KALKSANDSTEIN
PLANUNGSHANDBUCH

Planung, Konstruktion, Ausführung
8. Auflage

www.kalksandstein.de

KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch

Planung, Konstruktion, Ausführung

Ein Nachschlagewerk für Architekten, Ingenieure,
Bauausführende und Studierende.

KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch
Planung, Konstruktion, Ausführung
Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.,
Entenfangweg 15, 30419 Hannover, Telefon 05 11/2 79 54-0
www.kalksandstein.de
https://de.linkedin.com/company/kalksandsteinindustrie
https://www.instagram.com/kalksandsteinindustrie/
https://www.facebook.com/kalksandstein

Auflage 8 – Stand 08/2025

BV-902-25/09

Redaktion:
Dipl.-Ing. I. Beer, Duisburg
Dipl.-Ing. H. Dörries, Parchim
B. Eng. A. Gärtner, Düsseldorf
Dipl.-Pol. B. Große, Hannover
H. Helmle, Saarlouis
Dipl.-Ing. (FH) A. Hobbie, Surwold
Dipl.-Ing. (FH) V. Koch, Osnabrück
Dipl.-Ing. (FH) O. Roschkowski, Haltern am See
Dipl.-Ing. A. Schlundt, Hannover
Dipl.-Ing. H. Schulze, Buxtehude
Dr.-Ing. M. Ziegler, Hannover

Cover: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Alle Angaben erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, jedoch ohne Gewähr.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung

Gesamtproduktion
TheissenKopp GmbH, 40789 Monheim am Rhein

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

Dipl.-Kfm. Roland Meißner
Geschäftsführer Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

die Anforderungen an das Planen und Bauen verändern sich stetig – sei es durch gesetzliche Vorgaben, technologische Fortschritte, gesellschaftliche Entwicklungen oder den wachsenden Fokus auf Nachhaltigkeit und Klimaschutz. In diesem dynamischen Umfeld braucht es zuverlässige, anpassungsfähige Werkzeuge. Unser Planungshandbuch möchte Sie genau dabei unterstützen!

Die vollständig überarbeitete und um zwei neue Kapitel erweiterte 8. Auflage berücksichtigt gültige Normen sowie neueste bauphysikalische Erkenntnisse. Unser Handbuch spiegelt den aktuellen Stand der Technik wider und richtet sich an Planende, Ausführende, Studierende sowie alle Fachleute der Baupraxis. Anschauliche Konstruktionsbeispiele und detaillierte technische Angaben unterstützen eine wirtschaftliche, sichere und normgerechte Planung.

Die Kalksandsteinindustrie ist seit Jahren Marktführer im mehrgeschossigen Wohnungsbau und ein verlässlicher Partner für die Bau- und Wohnungswirtschaft, wenn es um zukunftsfähige Lösungen geht. Im neuen Kapitel „Zukunftssichere Kalksandstein-Bauweise“ werden daher alle relevanten Einflussgrößen für nachhaltige Wohngebäude von der Entwurfsplanung über die Optimierung der Konstruktion sowie der ökologischen und ökonomischen Faktoren bis hin zu Behaglichkeitsaspekten aufgezeigt. Kalksandstein überzeugt durch eine außergewöhnlich lange Lebensdauer von über 80 Jahren und gewährleistet damit eine dauerhafte Stabilität der Bausubstanz. In Kombination mit hochwertigen Materialien für Gebäudehülle und Innenausbau ermöglicht er eine nachhaltige Nutzung über Jahrzehnte – ohne nennenswerte Instandsetzungsmaßnahmen. So entstehen Bauwerke, die Wertbeständigkeit und ökologische Verantwortung gleichermaßen vereinen.

Mit seiner regionalen Verfügbarkeit, Langlebigkeit und vollständigen Recyclingfähigkeit steht Kalksandstein für nachhaltiges und kreislauforientiertes Bauen. Erstmals enthält unser Planungshandbuch auch ein eigenes Kapitel zu den Themen „Klimaschutz und Nachhaltigkeit“. Es legt dar, wie Kalksandstein schon heute einen messbaren Beitrag zum klimafreundlichen Bauen leistet.

Für Immobilien als langlebige Wirtschaftsgüter ist eine umfassende Ökobilanzierung entscheidend, um als wirksames Steuerungsinstrument auf dem Weg zum Klimaziel der Netto-Null-Emissionen zu dienen. Dabei muss der gesamte Lebenszyklus mit sämtlichen Quellen und Senken von Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden. Die Vorgabe einer treibhausgasneutralen Bilanz bis spätestens 2045 steht sinnbildlich für eine strategische Ausrichtung hin zu einem ausgewogenen Kreislauf – geprägt von möglichst stark reduzierten Emissionen und deren gezielter Wiederaufnahme beziehungsweise Speicherung.

Mit unserem Planungshandbuch möchten wir Ihnen ein verlässliches Werkzeug an die Hand geben, das Ihnen ermöglicht, die vielfältigen Stärken des Kalksandsteins voll auszuschöpfen.

Darüber hinaus unterstützen wir auch mit vielen digitalen Tools wie dem KS-Schallschutzrechner sowie zahlreichen Arbeitshilfen Ihre Planungsarbeit, damit mehr Raum für Kreativität und architektonische Qualität bleibt. Neben den in diesem Handbuch vorgestellten Anwendungen – verfügbar als gedruckte Ausgabe sowie digital – stehen im Downloadcenter auf www.kalksandstein.de weitere Informationen, Richtlinien, praxisnahe Tipps und anschauliche Anwendungsbeispiele für Sie zur Verfügung.

Die 8. Auflage des Planungshandbuchs ist das Ergebnis einer intensiven Zusammenarbeit zahlreicher Fachleute aus Wissenschaft und Praxis. Mit ihrer fachlichen Expertise und ihrem großen Engagement haben die Autorinnen, Autoren und Redaktionsmitglieder wesentlich zur Qualität und Aktualität der Inhalte beigetragen. Dafür danken wir ihnen herzlich!

Viel Erfolg mit dem neuen KALKSANDSTEIN-Planungshandbuch wünscht Ihnen

Ihr Roland Meißner

Roland Meißner

Hannover, im September 2025

Kapitel 1: Zukunftssichere Kalksandstein-Bauweise (Stand 08/2025)

Dr. Burkhard Schulze Darup, Architekt, Berlin

1. Was macht Wohngebäude zukunftssicher? ... 15

2. Entwurfsaspekte für nachhaltige Gebäude ... 16
2.1 Ausrichtung und passive solare Gewinne ... 16
2.2 Erschließung ... 17
2.3 Geschossigkeit und Gebäudetiefe ... 17
2.4 Gebäudegeometrie ... 17
2.5 Fassadengestaltung im Entwurf ... 17
2.6 Fenster – Belichtung und Verschattung ... 18

3. Behaglichkeit und gesundes Wohnen ... 19
3.1 Winterlicher Wärmeschutz ... 19
3.2 Sommerlicher Wärmeschutz ... 19
3.3 Raumluftqualität ... 20
3.4 Schallschutz ... 20
3.5 Belichtung ... 20

4. Wirtschaftlichkeit ... 21
4.1 Kostentreiber ... 21
4.2 Lebenszyklusbilanzierung für Gebäudeerstellung und Betrieb ... 22
4.3 Beispiele für wirtschaftliche Lösungen ... 23
4.4 Langlebigkeit ... 24

5. Ökologische Aspekte ... 24
5.1 Ökobilanzierung in der Planungspraxis ... 25
5.2 Benchmarks ... 26
5.3 Gebäudeerstellung versus Gebäudebetrieb ... 26

6. Optimierung der Konstruktionen ... 27
6.1 Einfache Lösungen: hochwertiger Gebäudehülle und einfache robuste Gebäudetechnik ... 27
6.2 Wärmebrücken ... 27
6.3 Luftdichtheit ... 29
6.4 Serielles, modulares Bauen und Digitalisierung ... 29

7. Zukunftssichere Versorgungstechnik ... 30
7.1 Lüftungstechnik – Raumluftqualität als Grundlage gesunden Wohnens ... 30
7.2 Erneuerbare Versorgungskonzepte ... 31
7.3 Quartierskonzepte ... 34
7.4 Lastmanagement und Mieterstromkonzepte ... 35

8. Klimaneutralität bis 2045 – wie geht das? ... 36

Kapitel 2: Klimaschutz und Nachhaltigkeit (Stand 08/2025)

Dr. Sebastian Pohl, Darmstadt

1. Einleitung ... 39

2. Grundlagen der deutschen Systeme zur Nachhaltigkeitsbewertung ... 40
2.1 Ganzheitlicher Bewertungsansatz ... 40
2.2 Bewertungsmethodik der lebenszyklusorientierten Ökobilanzierung ... 45

3. Umweltproduktdeklarationen als Datenbasis der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung von Baustoffen und Gebäuden ... 48
3.1 Grundlagen ... 48
3.2 Umweltproduktdeklarationen des Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. ... 49

4. Roadmap für eine treibhausgasneutrale Kalksandsteinindustrie ... 50

5. Recarbonatisierung ... 52
5.1 CO_2-Kreisläufe in Baustoffen ... 52
5.2 Recarbonatisierung auf Bauteil- und Gebäudeebene ... 53

6. Rückbau und Recycling von KS-Mauerwerk ... 54

7. Klimaschutzgerechte und nachhaltige Gebäude aus Kalksandstein ... 56

Literatur ... 58

Kapitel 3: Kalksandstein (Stand 08/2025)

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

1. Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 ... 61
1.1 Verwendung von Kalksandsteinen in Deutschland nach DIN 20000-402 ... 61

2. Herstellung ... 62

3. Kalksandsteinprodukte ... 63
3.1 Bezeichnung ... 63
3.2 Steinarten ... 63
3.3 Physikalische Eigenschaften von Kalksandstein ... 64
3.4 Kalksandsteine für die Verarbeitung mit Normalmauermörtel ... 66
3.5 Kalksandsteine für die Verarbeitung mit Dünnbettmörtel ... 67
3.6 Bauteile zur Systemergänzung ... 69

4. Grundlagen für die Verwendung ... 72

5. Kennzeichnung ... 72

6. Mauerwerks- und systemgerechte Planung ... 73
6.1 Planung ... 73
6.2 Bauweise ohne Stoßfugenvermörtelung ... 75
6.3 Vertikale Wandausbildung, Höhenausgleich ... 75
6.4 Querschnittsabdichtung von Kalksandsteinwänden ... 75
6.5 Fenster und Türöffnungen in KS-Mauerwerk ... 75

7. Wirtschaftliche KS-Wandkonstruktionen ... 76

Literatur ... 76

Kapitel 4: Mauermörtel und Putz (Stand 08/2025)

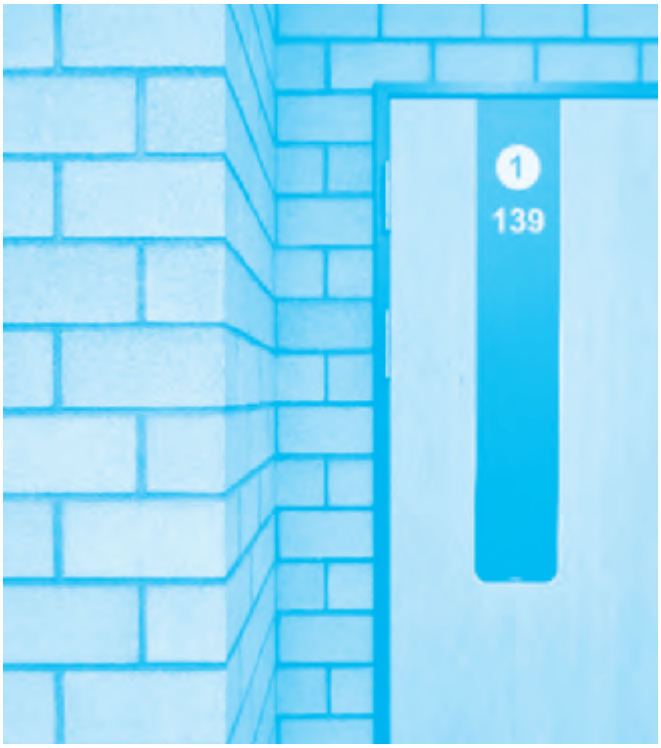
Prof.-Dr. Sylvia Stürmer, Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung

1. Mauermörtel ... 79
1.1 Definition, Aufgaben ... 79
1.2 Technische Regelwerke ... 79
1.3 Mauermörtel nach DIN EN 998-2/ DIN 20000-412 ... 79
1.4 Baustellenmauermörtel nach DIN 18580 ... 81
1.5 Allgemeine Anwendung ... 81
1.6 Mörtel für Sichtmauerwerk ... 82

2. Putz ... 84
2.1 Definition, Aufgaben ... 84
2.2 Technische Regelwerke ... 84
2.3 Lieferformen ... 85
2.4 Einteilung der Putze ... 85
2.5 Ausführung von Putz ... 87

3. Fliesenbekleidungen ... 91

Literatur ... 92



Kapitel 5: Außenwandkonstruktionen (Stand 08/2025)

Dipl.-Ing. Silke Sous, AlBau Aachen

1. Allgemeine Einleitung und Anforderungen 95
1.1 Standsicherheit 95
1.2 Wärmeschutz und Luftdichtheit 95
1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz 96
1.4 Schallschutz 96
1.5 Brandschutz 96
1.6 Dauerhaftigkeit 97

2. Konstruktionsübersicht 97

3. Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung ... 98
3.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen .. 98
3.2 Funktionsangepasste Detailplanung 104

4. Einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem 107
4.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen .. 107
4.2 Funktionsangepasste Detailplanung 112

5. Einschaliges KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung 115
5.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen .. 115
5.2 Funktionsangepasste Detailplanung 119

6. KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung 120
6.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen .. 120

7. Beidseitig bewitterte KS-Wände 121
7.1 Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit 121
7.2 Feuchteschutz und Witterungsschutz 121

Literatur 122

Kapitel 6: Nicht tragende Wände (Stand 08/2025)

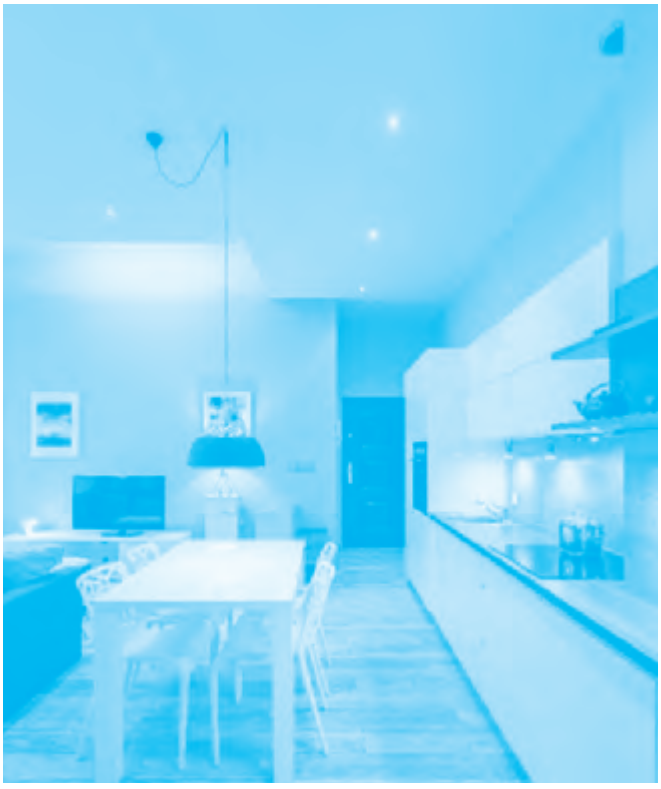
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Technische Universität Darmstadt,
Dr.-Ing. Michael Schmitt, bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Lauterbach

1. Einführung und Überblick 125
1.1 Vorbemerkungen 125
1.2 Nicht tragende Außenwände (Ausfachungsflächen) .. 125
1.3 Nicht tragende Innenwände 125

2. Nicht tragende Außenwände (Ausfachungsflächen) .. 126
2.1 Vereinfachter Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA ... 126
2.2 Erhöhte Werte der Ausfachungsfläche für Mauerwerk mit Normalmauermörtel 126
2.3 Erhöhte Werte der Ausfachungsfläche für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel 126
2.4 Anschlüsse an angrenzende Bauteile 129

3. Nicht tragende innere Trennwände nach DIN 4103-1 130
3.1 Vereinfachter Nachweis nach DIN 4103-1 und DGfM-Merkblatt 130
3.2 Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA 133
3.3 Befestigung an angrenzende Bauteile 133
3.4 Beschränkung der Deckendurchbiegung 135
3.5 Vorteile massiver nicht tragender innerer Trennwände 138
3.6 Schadensfreie Ausführung 139
3.7 Nicht tragende Innenwände aus KS-Bauplatten BP7 139

Literatur 141



Kapitel 7: Sichtmauerwerk (Stand 08/2025)

Prof. Dr.-Ing. Manfred Prepens

1. Planung und Ausschreibung 143

2. Einflüsse auf die Gestaltung von KS-Sichtmauerwerk 145
2.1 Steinart und Steinformat 145
2.2 Steinoberfläche 147
2.3 Mauerverband 147
2.4 Verfugung 147
2.5 Oberflächenbehandlung 148

3. Mörtel und Verfugung 148
3.1 Nachträgliche Verfugung 148
3.2 Fugenglattstrich 149

4. Abnahme und Beurteilung von KS-Sichtmauerwerk 150
4.1 Eindeutige Beschreibung 150
4.2 Musterbauteile 150
4.3 Abnahme und Beurteilung 150
4.4 Betrachtungsabstand 150

5. Beschichtungen und Imprägnierungen von KS-Sichtmauerwerk 151
5.1 Optisches Erscheinungsbild 151
5.2 Schutz des Verblendmauerwerks 151
5.3 Geeignete Beschichtungen und Imprägnierungen 152
5.4 Anforderungen 152
5.5 Vorbereitung und Schutz des Untergrundes 153
5.6 Verarbeitung 153

6. Reinigung von KS-Verblendmauerwerk 154
6.1 Leichte Verschmutzungen und kleinere Flächen 154
6.2 Stärkere Verschmutzungen und größere Flächen 154
6.3 Chemische Reinigungsmittel 155
6.4 Algen- oder Moosbelag 156

7. Erneuerung von Beschichtungen und Imprägnierungen 156
7.1 Beschichtungen 156
7.2 Imprägnierungen 156

Literatur 157

Kapitel 8: Mauerwerksgerechte Konstruktion (Stand 08/2025)

Dr.-Ing. Frank Purtak, Geschäftsführer TragWerk Ingenieure Döking+Purtak GmbH, Dresden

1. Einleitung 159

2. Entstehen von Zwangsspannungen und Rissen 159

3. Formänderungen 160
3.1 Wärmedehnung 160
3.2 Feuchtedehnung 160
3.3 Elastische und plastische Dehnung 161
3.4 Kriechen 161

4. Rissbildung durch Längenänderung 162
4.1 Rissbildung bei Verwendung unterschiedlicher Wandbaustoffe 162
4.2 Rissbildung im Mauerwerk in Verbindung mit Stahlbetondecken 164
4.3 Rechnerische Beurteilung der Risssicherheit 169

5. Rissbildung infolge Durchbiegung von Stahlbetondecken 170
5.1 Nicht tragende Trennwände ober- und unterhalb von Stahlbetondecken 170
5.2 Verdrehung der Decke am Auflager 172
5.3 Verdrehung der Dachdecke durch Aufschüsseln 173

6. Rissbildung infolge von Baugrundeigenschaften 174

7. Gebäudegliederung durch Fugen 175
7.1 Abstand von Gebäudedehnungsfugen 175

8. Dehnungsfugen in Ausfachungswänden und Verblendschalen 177
8.1 Rissbildung durch Längenänderung in vertikaler und horizontaler Richtung 177

Literatur 179

Kapitel 9: Bemessung (Stand 08/2025)

Prof. Dr.-Ing. Eric Brehm, Hochschule Karlsruhe

1. Einführung und Stand der Normung 181
1.1 Geschichtliche Entwicklung 181
1.2 Eurocode 6 182
1.3 Begriffe 183
1.4 Tragverhalten von Bauteilen aus KS-Mauerwerk 187

2. Sicherheitskonzept und Einwirkungen 188
2.1 Grundlagen des semiprobabilistischen Teilsicherheitskonzepts ($E_d \leq R_d$) 188
2.2 Charakteristische Werte der wesentlichen Einwirkungen im Mauerwerksbau 189
2.3 Bemessungswert der Einwirkungen und zugehörige Einwirkungskombinationen 190
2.4 Bemessungswert des Tragwiderstandes von Mauerwerkswänden 191

3. Festigkeits- und Verformungseigenschaften 192
3.1 Allgemeines 192
3.2 Charakteristische Druckfestigkeit 192
3.3 Charakteristische Biegezugfestigkeit 193
3.4 Zentrische Zugfestigkeit parallel zur Lagerfuge 194
3.5 Haftscherfestigkeit und Reibungsbeiwert 194
3.6 Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit 194
3.7 Verformungseigenschaften 196

4. Aussteifung von Gebäuden und Schnittgrößenermittlung 196
4.1 Räumliche Steifigkeit 196
4.2 Aussteifung tragender Wände 198

5. Bemessung nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren in DIN EN 1996-3/NA:2012-01 200
5.1 Allgemeines und Anwendungsgrenzen 200
5.2 Anwendungsgrenzen in Abhängigkeit der Windzone 201
5.3 Knicklänge und Schlankheit 202
5.4 Nachweisformat und Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft 204
5.5 Ermittlung des Tragwiderstandes (Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft) 204
5.6 Nachweis der Mindestauflast 207
5.7 Nachweis bei Querkraftbeanspruchung 209
5.8. Einzellasten und Teilflächenpressung 209

6. Bemessung von Aussteifungsscheiben nach dem genaueren Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 210

7. Bemessung von Kellerwänden und weiteren Bauteilen 211
7.1 Kelleraußenwände 211
7.2 Vorgefertigte Stürze 213

8. Bauliche Durchbildung 215
8.1 Vorbemerkungen 215
8.2 Schlitze und Aussparungen 215
8.3 Überbindemaß 216
8.4 Längen- und Höhenausgleich 217
8.5 Verbandsmauerwerk 217
8.6 Deckenauflager 218
8.7 Ringanker und Ringbalken 218
8.8 Wandanschlüsse 220
8.9 Stumpfstoßtechnik 221

Literatur 223

Kapitel 10: Brandschutz (Stand 08/2025)

Dipl.-Ing. Christiane Hahn, ö.b.u.v. Sachverständige für Brandschutz, Braunschweig/Hamburg

1. Einleitung 225
1.1 Bedeutung des Brandschutzes 225
1.2 Sicherheitskonzept 225
1.3 Brandschäden 225
1.4 Haustechnik 226
1.5 KS-Mauerwerk 226

2. Bauaufsichtliche Anforderungen 227
2.1 Grundlagen 227
2.2 Musterbauordnung (MBO) 227
2.3 Definition Gebäude 227
2.4 Bauprodukte – Wände 230
2.5 Verwendbarkeitsnachweise 234
2.6 Rauchdichte Bauteile 238
2.7 Brandschutznachweise, Brandschutzkonzepte 238

3. Brandschutznormen 240
3.1 Grundlagen und Verwendbarkeitsnachweise 240
3.2 Nationale Prüfnormen 240
3.3 Europäische Prüfnormen 240
3.4 Bauteil-Klassifizierungen nach DIN EN 13501-2 (Kurzbezeichnungen) 242
3.5 Brandschutzbemessung nach DIN EN 1996-1-2/NA 243

4. Baulicher Brandschutz mit KS-Mauerwerk 244
4.1 Grundlagen 244
4.2 Tragende Wände 245
4.3 Nicht tragende Trennwände 246
4.4 Außenwände 249
4.5 Gebäudetrennwände – Gebäudeabschlusswände 252
4.6 Brandwände 254
4.7 Komplextrennwände 261
4.8 Sonstige Anwendungen mit Kalksandstein 261
4.9 Haustechnische Aspekte 262
4.10 Versicherungstechnische Aspekte 263

5. Zusammenfassung des tabellarischen Brandschutznachweises von KS-Konstruktionen 265
5.1 Grundlagen 265
5.2 Nicht tragende Wände 265
5.3 Tragende Wände ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors 265
5.4 Tragende Wände mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$ 266
5.5 Brandwände 267
5.6 Komplextrennwände 267

Normen 268

Literatur 269

Kapitel 11: Schallschutz (Stand 08/2025)

Prof. Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Martin Schneider

1. Einleitung 271

2. Schalltechnische Grundlagen 272
2.1 Grundbegriffe 272
2.2 Schalldämmung und Schallschutz 273
2.3 Spektrum-Anpassungswerte 275
2.4 Schalltechnisches Verhalten massiver Bauteile 275

3. Schallschutz zwischen Wunsch und Wirklichkeit 277
3.1 Die Erwartungen der Bewohner 277
3.2 Der eigene Wohnbereich 277
3.3 Objektive Kriterien für den Schallschutz 277
3.4 Anforderungen und Empfehlungen 279
3.5 Zahlenmäßige Festlegungen des Schallschutzes 280
3.6 Schallschutz und Rechtsprechung 280
3.7 Die Umsetzung von Schallschutz-Anforderungen 282
3.8 Kosten des Schallschutzes 282

4. Anforderungen an den baulichen Schallschutz 283
4.1 Regelwerke 283
4.2 Hinweise zur Festlegung des Schallschutzniveaus 288
4.3 Planungsgrundlagen des Schallschutzes mit den Kenngrößen R'_w und $D_{nT,w}$ 289

5. Bemessung des Schallschutzes und der Schalldämmung 291
5.1 Die Schallschutznorm DIN EN 12354 als Grundlage der Berechnungsverfahren in DIN 4109-2 291
5.2 DIN 4109 292
5.3 KS-Schallschutzrechner 299

6. Hinweise zur Planung und Ausführung 300
6.1 Einschalige Wände 300
6.2 Zweischalige Haustrennwände 315

7. Außenlärm 320
7.1 Anforderungen 320
7.2 Nachweise 322
7.3 Zweischalige massive Außenwände 323
7.4 Einschalige Außenwände mit WDVS 324

8. Schallabsorption 328
8.1 Begriffe 328
8.2 Einsatz von Schallabsorbern 329
8.3 Schallabsorption mit KS-Wänden 329

Literatur 329

Kapitel 12: Winterlicher Wärmeschutz (Stand 08/2025)

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach, MHS Ingenieurbüro München

1. Überblick 333

2. Normen zum baulichen Wärmeschutz 334
2.1 Normenreihe DIN 4108 335
2.2 Normenreihe DIN/TS 18599 335
2.3 Grundlegende ISO-Berechnungsnormen für die Gebäudehülle 336
2.4 Beheizter Bereich und wärmeübertragende Gebäudehülle 337

3. Von der Wärmeleitfähigkeit zum U-Wert 338
3.1 Wärmestrom, Widerstand 338
3.2 Wärmeübergangswiderstände 342
3.3 Wärmemenge, Nutzenergie Wärme bzw. Kälte 343
3.4 Wärmeleitfähigkeit 343
3.5 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten 346
3.6 U-Wert von Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten 347
3.7 U-Wert-Korrekturen für Luftspalte, Befestigungsmittel und Umkehrdächer 347

4. Hygienischer Mindestwärmeschutz 348
4.1 Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile bei normal beheizten Gebäuden 348
4.2 Vermeiden von Schimmelpilzwachstum durch ausreichenden Wärmeschutz 349

5. Wärmeschutz und Schimmelvermeidung bei Wärmebrücken 350
5.1 Energetische Charakterisierung von Wärmebrücken 351
5.2 Reduzierung der Wärmebrückenverluste nach DIN 4108 Beiblatt 2 352
5.3 Gleichwertigkeitsnachweis 353
5.4 Hygienische Mindestanforderung an Wärmebrücken 354
5.5 Rollladenkästen 355
5.6 Einbaulage von Fenstern 356

6. Wärmebrücken in KS-Mauerwerk 357
6.1 Verringerung der Wärmebrückenwirkung durch KS-Wärmedämmsteine 357
6.2 Einfluss von mechanischen Befestigungsmitteln 358

7. Klimabedingter Feuchteschutz 360
7.1 Diffusion von Wasserdampf 360
7.2 Kennwerte für die Wasserdampfdiffusion 361
7.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist 361
7.4 Konstruktive Hinweise 362
7.5 Austrocknungsverhalten von Mauerwerkswänden 362

8. Luftdichtheit 363

9. Lüftung zum Feuchteschutz 365

10. Wärmeübertragung über das Erdreich 366
10.1 Temperatur-Korrekturfaktoren F_x und Bodenplattenmaß B' 366

Anhang 368

Literatur 371

Kapitel 13: Sommerlicher Wärmeschutz (Stand 08/2025)

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach, MHS Ingenieurbüro München

1. Einleitung 373

2. Sommerlicher Wärmeschutz von Aufenthaltsräumen 373

3. Umgang mit besonderen Raumsituationen 374
3.1 Besonders große Räume, L- und U-förmige Räume ..374
3.2 Geschossübergreifende Raumsituationen 375
3.3 Räume mit beheizten oder unbeheizten Glasvorbauten und Räume mit bzw. hinter Schaufenstern 375
3.4 Räume mit Raumhöhen über 4 m (z.B. Hallen), Räume mit Doppelfassaden oder transparenten Wärmedämmsystemen (TWD) 375

4. Struktur des Sonneneintragskennwertverfahrens nach DIN 4108-2 376
4.1 Überblick 376
4.2 Vorhandener Sonneneintragskennwert S_{vorh} 376
4.3 Standard- und Anhaltswerte für Glas und Sonnenschutz 376
4.4 Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul} 378
4.5 Klimakarte und Sommerklimaregionen 379
4.6 Einstufung der Bauart hinsichtlich ihrer Wärmespeicherfähigkeit 379
4.7 Nachtlüftung 381
4.8 Geneigte oder nordorientierte Fenster des kritischen Raums 381
4.9 Passive Kühlung 381

5. Vergleichsrechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz 382
5.1 Beispielraum 382
5.2 Nachweis mit dem vereinfachten Sonneneintrags-kennwertverfahren (Beispiel) 384
5.3 Nachweis mittels thermischer Gebäudesimulation .. 384
5.4 Vergleich der Ergebnisse aus Sonneneintrags-kennwertverfahren und thermischer Gebäude-simulation 386

6. Individuelle Komfortbewertung nach DIN 4108-2 Anhang B bzw. nach DIN EN ISO 16798-1 387

7. Zusammenfassung 389

Literatur 390

Kapitel 14: Abdichtung (Stand 08/2025)

Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller, AIBau, Aachen

1. Einleitung 393

2. Feuchtetransport 394
2.1 Strömen 394
2.2 Kapillartransport 394
2.3 Diffusion 395

3. Feuchteschäden an erdberührten Bauteilen historischer Gebäude – Erfahrungen 396

4. Wassereinwirkungen aus dem Baugrund 398
4.1 Begriffe 398
4.2 Bemessungsgrundwasserstand (BGW) 399
4.3 Wassereinwirkungen oberhalb des BGW 400
4.4 Neue Zuordnungen 404
4.5 Hochwasser 404
4.6 Neue Überlegungen auf Basis alter Erfahrungen 405
4.7 Wassereinwirkungsklassen nach geotechnischen Aspekten 406
4.8 Grundleitungen unter Bodenplatten 407
4.9 Lichtschächte und außenliegende Zugänge in Untergeschosse 408

5. Feuchteschutz von Wänden und Bodenplatten 408
5.1 Von Abdichtungen zu WU-Konstruktionen 408
5.2 (Keine) Dränung von Stauwasser 409
5.3 Folge von übertrieben auf der sicheren Seite liegenden Festlegungen 409
5.4 Angleichung der Technischen Empfehlungen 409
5.5 Zusammenfassung 410

6. DIN-Normen zu Abdichtungen 411

7. Wassereinwirkungen nach DIN 4095-1 412
7.1 Situation oberhalb des BGW 412
7.2 Situation teilweise unter dem BGW 413

8. Schutz durch Abdichtungen 413
8.1 Abdichtungen von Wänden bei E1 413
8.2 Bodenplatten 414
8.3 Schutzmaßnahmen bei E2 415
8.4 Abdichtungen nach DIN 18533 415

Literatur 422

Kapitel 15: Befestigung (Stand 08/2025)

Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann, MPA Universität Stuttgart

1. Allgemeines 425

2. Befestigungssysteme 425
2.1 Kunststoffdübel 425
2.2 Injektionsdübel 426
2.3 Schraubanker 427

3. Sicherheitsanforderungen 428

4. Dübel für sicherheitsrelevante Befestigungen 429
4.1 Kunststoffdübel 429
4.2 Injektionsdübel 429
4.3 Schraubanker 430

5. Bemessung 431
5.1 Zugbelastung 431
5.2 Querbelastung 433

6. Baustellenversuche 434
6.1 Allgemeines 434
6.2 Durchführung 434
6.3 Auswertung 434

7. Befestigungen für Fenster 435

8. Befestigungen von Vorhangfassaden 435

9. Befestigungen im Brandfall 435

Literatur 436

Kapitel 16: Spezielle Anwendungsbereiche (Stand 08/2025)

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

1. Kalksandstein im Erdreich 439

2. Kabelabdeckungen 439

3. Aggressive Medien 440

4. Strahlenschutz in Gebäuden 441
4.1 Das elektromagnetische Spektrum 441
4.2 Elektromagnetische Strahlung 441
4.3 Radioaktive Strahlung 442

5. Beschusssicherheit 443

6. Mauern im Winterhalbjahr und Absäuern des Mauerwerks 444

7. Erdbebensicherheit 445
7.1 Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe 445
7.2 Erdbebennachweis 445

8. Einbruchhemmung 446

9. Austrocknungsverhalten von KS-Mauerwerk 447
9.1 Übliche Baufeuchte 447
9.2 Durchfeuchtung infolge von Extrem-Ereignissen wie Hochwasser 448

10. Explosionsdruck 449

Literatur 451

Stichwortverzeichnis

Stichwortverzeichnis 453

Bildnachweise

Bild S. 5: © palladium.de/KS-ORIGINAL;
Bild S. 6: KS-Quadro GmbH;
Bild S. 8: Ojo Images; **Bild S. 10:** UNIKA GmbH;
Bild S. 13: Sven-Erik Tornow, Flüstertüte – Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Köln

Kapitel 1

ZUKUNFTSSICHERE KALKSANDSTEIN-BAUWEISE

Dr. Burkhard Schulze Darup,
Architekt, Berlin

Stand: 08/2025

1. Was macht Wohngebäude zukunftssicher?

Das Klimaschutzgesetz (KSG) schreibt für die Bundesrepublik Deutschland Treibhausgasneutralität bis 2045 verbindlich fest. Als Zwischenziel soll bis zum Jahr 2030 eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 65 % gegenüber 1990 erreicht werden. Für den Gebäudesektor ist eine Reduktion für den Zeitraum 2023 bis 2030 von 102 auf 67 Mio. Tonnen CO_2-Äq. vorgegeben, was jährlich einer Einsparung von ca. 5 Mio. t CO_2-Äq. entspricht.

Um diese ambitionierten Ziele zu erreichen, ist beim Neubau in etwa der Standard Effizienzhaus 40 erforderlich in Verbindung mit umfassender erneuerbarer Energieversorgung. Denn unabhängig von zukünftigen politischen Vorgaben gibt es für zukunftssichere Planung eine einfache Maxime: maßgebend ist es, welches Anforderungsprofil ein klimaneutrales Gebäude im Jahr 2045 haben muss, damit keine unwirtschaftlichen Nachbesserungen an den Gebäudekomponenten vor Ablauf der Nutzungszeiten anfallen. Sinnvolle Leitplanken für wirtschaftliche Planungen müssen bereits in der Bauleitplanung und in den frühen Projektplanungsphasen gestellt werden.

Der Vorteil im Gebäudesektor liegt darin, dass Lösungen für klimaneutrale Gebäude marktreif sind. Bei zahlreichen gebauten Beispielen übertreffen die erneuerbaren Erträge z.B. durch Photovoltaik in der Jahresbilanz den gesamten Energiebedarf des Gebäudes und erzielen Treibhausgasneutralität. Vom baulichen Standard her ist es völlig unstrittig, dass dafür nur hocheffiziente Gebäude zukunftsfähig sind. Über viele Jahre gibt es dazu zahlreiche Monitoring-Beispiele insbesondere aus dem Bereich der Passivhaus-Technik mit äußerst guten Ergebnissen (Bild 1). Der Standard ist validiert, mit etwas Erfahrung sehr kostengünstig und vor allem mit gestalterisch und funktional hochwertiger Architektur umsetzbar.

Eine zusätzliche Herausforderung liegt darin, neben der Berücksichtigung der Nutzungsphase auch die herstellungsbedingten Emissionen in die Optimierung der Entwürfe einzubeziehen. Die Ökobilanzierung bietet dafür ein Instrumentarium, das sich bisher sehr aufwändig und kostenintensiv darstellte, jetzt jedoch an der Schwelle zur einfachen Umsetzung in der Breite steht. Dadurch wird es im Planungsprozess ermöglicht, bereits in der entscheidenden Vorentwurfsphase begründete Entscheidungen im Hinblick auf die Nachhaltigkeit zu treffen.

Bild 2 **Zukunftsfähiges Mehrfamilienhaus in KS-Bauweise mit strombasierter Versorgung aus erneuerbaren Energien**

Energetisch hochwertige Bauten bieten zudem den Vorteil, dass die Gebäudetechnik deutlich einfacher ausgeführt werden kann. Die erforderliche Heizlast ist schlichtweg so niedrig, dass hochkomfortable Heizsysteme mit sehr geringer Leistung ausreichend sind. Große Unterstützung dafür bietet Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung, die nicht nur hohen Komfort und Raumluftqualität gewährleistet. Insbesondere in den kalten Winterphasen werden Energiebedarf und Heizlast um 30 bis 50 % reduziert als Voraussetzung für kostengünstige erneuerbare Versorgung.

Wir befinden uns in einem Transformationsprozess von der Energiebereitstellung mit fossilen Brennstoffen hin zu einer weitestgehend strombasierten Versorgung aus erneuerbaren Energien (Bild 2). Das stellt sich als große Herausforderung dar, bietet aber zugleich Chancen zur Vereinfachung der Technik, insbesondere wenn Heizen, Kühlen, Warmwasser, Nutzerstrom und E-Mobilität in Zukunft vernetzt gedacht und geplant werden. Dadurch kann zugleich eine hohe Netzverträglichkeit erzielt werden, damit eine erneuerbare Versorgung auch in Zeiten der kalten Dunkelflaute wirtschaftlich sichergestellt werden kann, also in der Zeit, zu der Windkraft und Photovoltaik nur bedingt zur Verfügung stehen.

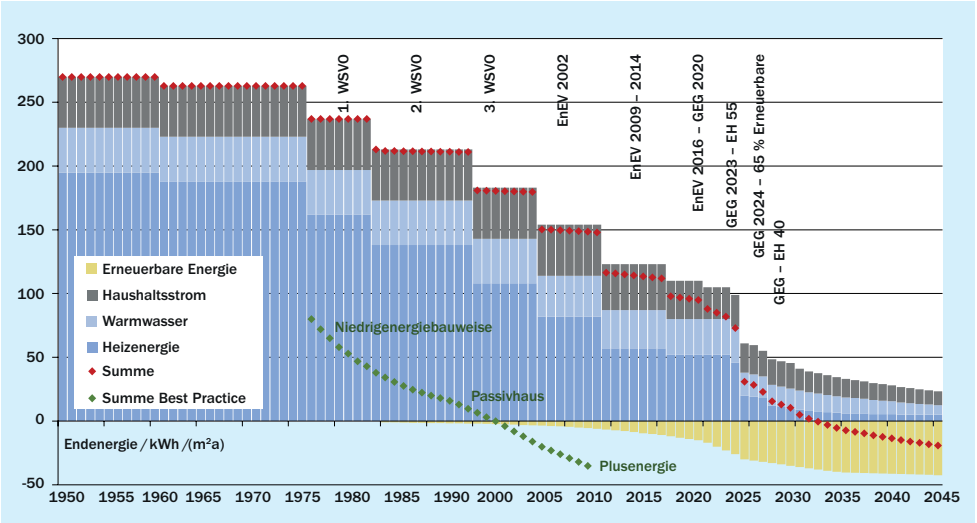


Bild 1 **Entwicklung des Endenergiebedarfs von Neubauten, Vergleich von gesetzlichen Mindestanforderungen und Best-Practice-Standard**

2. Entwurfsaspekte für nachhaltige Gebäude

Nachhaltiges Bauen erfordert interdisziplinäre Zusammenarbeit in einem Team, das bereits in den ersten Leistungsphasen des Planungsprozesses intensiv zusammenarbeitet. Darüber hinaus gilt jedoch, dass jedes Bauvorhaben – selbst bei seriellen Bauweisen – ein spezifisches Anforderungsprofil aufweist, dem es gerecht zu werden gilt.

In der städtebaulichen Planung werden die Grundlagen für eine hohe architektonisch-städtebauliche Qualität gelegt, aber auch für die Wirtschaftlichkeit der Baugebiete und zahlreiche weitere Anforderungen. Dabei muss den Planenden bewusst sein, dass ein Entwurf die Optimierung einer hohen Zahl von Parametern darstellt. Nie können alle Aspekte gleichermaßen perfekt gelöst sein. Dabei erfordert jede Entwurfsaufgabe – beginnend mit den städtebaulichen Festsetzungen – aufgrund ihrer spezifischen Herausforderungen individuelle Lösungsansätze. Die nachfolgenden beispielhaften Entwurfsfaktoren sind wichtig für Gestaltung, Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Komfort. Um hohe Nachhaltigkeit zu erzielen, ist integrale Planung innerhalb des Planungsteams ab Projektbeginn Voraussetzung.

2.1 Ausrichtung und passive solare Gewinne

Im städtebaulichen Entwurf und in den frühen Planungsphasen können relevante Vorteile für die spätere Objektplanung gesetzt werden. Ein wesentlicher Aspekt ist eine optimierte Ausrichtung, die den Komfort, die Belichtung und auch passive solare Gewinne optimiert (Bild 3). Vorrangig südliche Ausrichtungen der Aufenthaltsräume sind optimal für winterlichen Energieertrag und sommerlichen Wärmeschutz. Ost- und Westseiten weisen niedrige Einstrahlwinkel auf, die zu hohem Wärmeeintrag im Sommer führen und somit den sommerlichen Wärmeschutz anspruchsvoller werden lassen.

Eine optimierte Gebäudegeometrie und Ausrichtung führt zu passiv-solaren Gewinnen von bis zu 20 kWh/(m²a), im Vergleich dazu liegen ungünstige Lösungen bei nur 5 bis 10 kWh/(m²a). Bei einem Heizwärmebedarf von 10 bis 20 kWh/(m²a) hocheffizienter Gebäude sind das relevante Größenordnungen, die zu Einsparungen bei den baulichen Maßnahmen und der Gebäudetechnik genutzt werden können. Je kompakter ein Gebäude wird, desto unwichtiger wird die Ausrichtung aus energetischer Sicht, d.h. Gebäude mit einem sehr günstigen Verhältnis von Außenhülle zu beheiztem Volumen (A/V-Verhältnis) vertragen auch eine ungünstigere Ausrichtung der Fenster.

Bild 3 **Optimierte Gebäudeausrichtung und Belichtung bei einer Quartiersentwicklung**

2.2 Erschließung

Optimierte Erschließung weist sowohl für die städtebauliche Situation als auch für die daraus resultierende Objektplanung eine hohe Relevanz auf. Wenn wir uns an dieser Stelle auf den zweiten Aspekt beschränken, gilt besonders im verdichteten Wohnungsbau, dass Kosten für die Zuwegung der Wohnungen anteilig sinken, je mehr Einheiten von einem Erschließungssystem erschlossen werden. Bei sehr kompakten Gebäuden können Erschließungen im Gebäudekern mit fünf bis sieben Wohnungen je Etage gut funktionieren. Ein Nachteil besteht darin, dass eine Einschränkung bei der Ausrichtung gegeben ist und keine Querlüftung über Fenster möglich ist. Da die Nebenräume bei solchen Wohnungen ohnehin im Gebäudekern situiert sind, können die Lüftungsanforderungen sehr gut über mechanische Lüftungsanlagen erfüllt werden.

INFO

Bei der Erschließung über Treppenhäuser und Aufzugsanlagen ist neben brandschutztechnischen Auflagen besonders der Schallschutz zu beachten. Eine sehr wirtschaftliche Konstruktion ist die Ausführung mit KS-Mauerwerk.

Eine Alternative stellen Laubengangerschließungen dar, deren großer Vorteil in der sehr hohen Wohnungsanzahl pro Treppenhaus und Aufzug liegt. Nachteile ergeben sich für Grundrisse größerer Wohnungen, sodass zum Laubengang in den meisten Fällen kleine Wohnungen angeordnet werden und die größeren an den Enden der Laubengänge. Zu beachten sind die Bewirtschaftungskosten, insbesondere für Schneeräumung und sonstige wetterbedingte Einflüsse.

2.3 Geschossigkeit und Gebäudetiefe

In der Bebauungsplanung legen die Geschossflächenzahl (GFZ) und Grundflächenzahl (GRZ) das Maß der baulichen Nutzung fest. Damit korrespondiert die Anzahl der Geschosse, die in Verbindung mit den Abstandsflächen die städtebauliche Dichte definiert. Diese kann bereits bei 4-5 Geschossen extrem optimiert werden. Die Umsetzung dieser Festsetzungen in qualitätvolle städtebauliche Planung weist hohe Relevanz für die Wirtschaftlichkeit der Bebauung aber auch für die energetischen Belange auf: je höher die Geschossigkeit und die Gebäudetiefe, desto günstiger kann das Verhältnis der Außenfläche zum Gebäudevolumen (A/V-Verhältnis) sein. Bei hoher Gebäudetiefe gilt analog zu den Erschließungsoptionen, dass in den schlecht belichteten inneren Gebäudeteilen die Neben- und Sanitärräume der Wohnung untergebracht werden, belüftet durch möglichst hochwertige Lüftungskonzepte.

INFO

Je weniger Fläche benötigt wird, um die Funktion des Gebäudes zu erfüllen, desto nachhaltiger ist der Entwurf. Es gilt also möglichst flächeneffizient zu planen sowohl für Nebenflächen, Funktionsflächen als auch Verkehrsflächen, z.B. für Tiefgaragen. Jede Flächeneinsparung senkt die Treibhausgas-Bilanz.

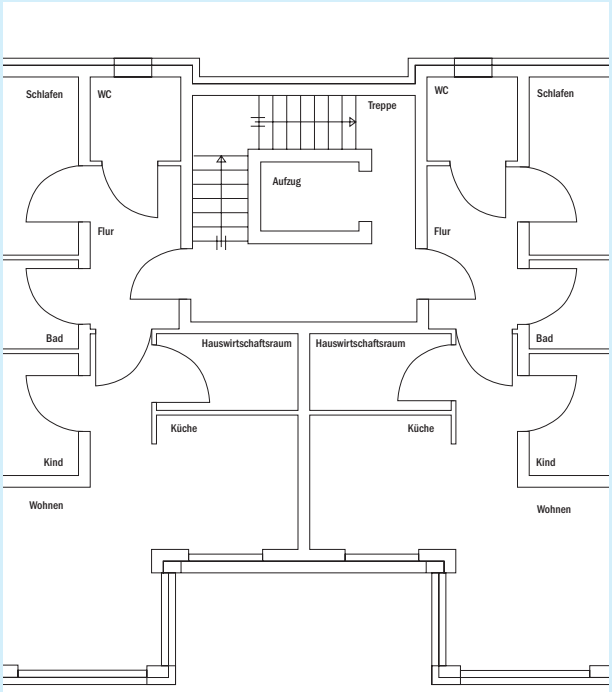


Bild 4 **Aufzugsschacht zentral im Treppenraum ist wirtschaflich mit KS-Mauerwerk ausführbar**

2.4 Gebäudegeometrie

Geschossigkeit und Gebäudetiefe sind wesentliche Parameter für die Gebäudegeometrie. Durch kompakte Gebäudeformen, also durch ein günstiges A/V-Verhältnis, werden Transmissionsflächen eingespart. Die Reduzierung der Hüllfläche im Vergleich zur Nutzfläche senkt die Baukosten. Zugleich werden Energieverluste über die Gebäudehülle minimiert. Weitere Faktoren wie eine hohe Gebäudetiefe erhöhen ebenfalls die Effizienz der Entwürfe sowohl hinsichtlich der Investitionskosten als auch der energetischen Parameter. Entwürfe mit Hauptaufenthaltsbereichen in Fensternähe und Nebenräumen sowie Sanitärbereiche im Gebäudekern ermöglichen gute und wirtschaftliche Lösungen.

2.5 Fassadengestaltung im Entwurf

Eine besondere Kunst des Entwurfs liegt in hoher Gestaltungsqualität ohne unnötige Versatz- oder Versprungelemente in der Gebäudehülle, die zu aufwendigen konstruktiven Anschlüssen und erhöhten Transmissionsflächen führen (Bild 5). Das gilt für Gestaltungselemente der Fassade in der Vertikalen und Horizontalen, für Balkone und Loggien. Beim unteren Abschluss des Gebäudes ist es ideal, wenn keine Unterkellerung vorliegt und die Bodenplatte des untersten beheizten Geschosses vollflächig die thermische Hülle darstellt. Dem stehen allerdings Nutzungsaspekte, insbesondere in verdichteten Gebieten gegenüber, die z.B. Tiefgaragen erfordern können.

Bei Unterkellerung ist in der Vorplanung festzulegen, wo beheizte und unbeheizte Bereiche liegen, sodass die Übergänge zu unbeheizten Kellerräumen mit möglichst geringen Transmissionsflächen erzielt werden, die zugleich wärmebrückenarm ausführbar sind.

Beim oberen Abschluss ist eine analoge Situation bei unbeheizten Dachböden gegeben. Eine optimierte Planung ist aber auch bei Staffelgeschossen erforderlich, die sehr schnell zu deutlichen Mehrkosten führen können und zudem die Photovoltaikfläche reduzieren. Vergleichbare Fragestellungen ergeben sich aus Dachaufbauten und Techniknutzungen im Dachbereich.

2.6 Fenster – Belichtung und Verschattung

Die Fensterflächen in der Fassade stellen ein zentrales Gestaltungselement des Entwurfs dar. Zugleich sind zahlreiche weitere Aspekte des winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes, aber auch der Wirtschaftlichkeit zu beachten. Die Planung die ggf. durch eine Tageslichtsimulation unterstützt wird, führt zu angemessenen Fenstergrößen: Zu große Fensterflächen sind teuer und bringen Nachteile vor allem für den sommerlichen Wärmeschutz. Zu geringe Fensterflächen beeinträchtigen die Tageslichtnutzung. Energetisch liegt das Optimum auf Südseiten oft zwischen 25 und 50 % der Fassadenfläche, bei West-, Ost- und vor allem Nordfassaden sollte die Fensterfläche deutlich geringer geplant werden.

INFO

Kompaktes Bauen ohne unnötige Versprünge in der Vertikalen und Horizontalen führt zu wirtschaftlichen Lösungen – unter Beachtung hochwertiger architektonischer Gestaltung. Vorteilhaft ist zudem eine günstige solare Ausrichtung mit angemessenen Fensterflächen. Zudem gilt es ein wirtschaftliches Erschließungskonzept zu planen, das eine höhere Anzahl Wohnungen mit wenig Verkehrsfläche und einer geringen Zahl an Aufzügen erschließt.

Bild 5 **Gradlinige Fassadenlösung für ein Gebäude mit guter Kompaktheit**

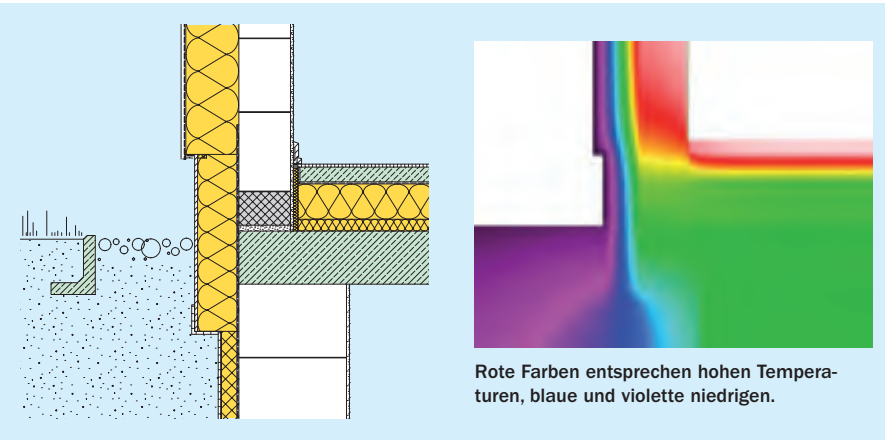
3. Behaglichkeit und gesundes Wohnen

Das Erreichen hohen Wohnkomforts ist eine grundlegende Anforderung an die Gebäudeplanung. Wirtschaftliche Planung zeichnet sich dadurch aus, möglichst viele der im Folgenden benannten Aspekte in einem integralen Planungsprozess im Entwurf zu optimieren. Das ist vorteilhaft für die resultierenden Lebenszykluskosten, die sich besonders günstig darstellen bei energetisch effizienten Gebäuden in Verbindung mit möglichst einfacher und kleiner Gebäudetechnik, die zudem wartungsarm und langlebig sein sollte.

Bild 6 **Komfortfaktoren bestimmen in hohem Maß die Qualität von Gebäuden**

3.1 Winterlicher Wärmeschutz

Seit mehr als dreißig Jahren bewähren sich hocheffiziente Gebäudekonzepte wie das Passivhaus. Die Gebäudehülle aus Kalksandsteinwänden sorgt aufgrund der hochwertigen Dämmung und der Speichermasse für ausgeglichenes Raumklima und warme Oberflächen an den Innenseiten der Außenbauteile, was von den Bewohnern als sehr behaglich empfunden wird. Bei Abschalten der Heizung sinkt die Temperatur innerhalb von 24 Stunden selbst an kalten Tagen gerade einmal um ein Kelvin. Lastmanagement kann dieses Verhalten in Verbindung mit der hohen Speichermasse nutzen, indem zu Lastspitzenzeiten des Netzes die Heizung abgeschaltet wird. Zudem kann die Heizleistung sehr kostengünstig mittels niedriger Temperaturen über Heizkörper oder Flächenheizungen bereitgestellt werden und der Heizenergieverbrauch liegt bei hocheffizienten Gebäuden niedriger als der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung.



Rote Farben entsprechen hohen Temperaturen, blaue und violette niedrigen.

Bild 7 **Hochwertige Details als Grundlage für hohe Energieeffizienz**

3.2 Sommerlicher Wärmeschutz

Sommerlicher Wärmeschutz erlangt nicht nur aufgrund der Klimaveränderungen zunehmende Bedeutung. Die diesbezügliche Planung hängt von vielfältigen Parametern ab. Neben der Ausrichtung des Gebäudes und optimiert angeordneten Fensterflächen stellt die aktive regel- und steuerbare Verschattung eine wesentliche Maßnahme dar. Als wesentlicher Faktor wirkt die Masse des Gebäudes. Massive Baukonstruktionen aus Kalksandstein verbessern die sommerliche Situation durch ihr hohes Wärmespeichervermögen. Die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz müssen gemäß DIN 4108-2 nachgewiesen werden. In der Regel kann bei der schweren Bauweise mit Kalksandstein auf eine zusätzliche klimatechnische Lösung verzichtet werden. Zur Erhöhung des sommerlichen Komforts kann bei Heizsystemen mit Wärmepumpen sehr kostengünstig eine Konditionierung erfolgen und die Temperatur in Hitzeperioden um zwei bis vier Kelvin gesenkt werden. Bei Gebäuden in Leichtbauweise müssen bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes Defizite durch aufwändigere gebäudetechnische Maßnahmen ausgeglichen werden.

3.3 Raumluftqualität

Ventilatorgestützte Lüftungssysteme bieten den Vorteil, dass eine hohe Raumluftqualität nutzerunabhängig sichergestellt wird. Die Luftmengen können individuell und raumweise geregelt werden und bieten einen hohen Wohnkomfort, da auf eine regelmäßige Fensterlüftung verzichtet werden kann. Bei Zu-/Abluftsystemen mit Wärmerückgewinnung wird zudem kontinuierlich über den Wärmetauscher vorgewärmte Außenluft ohne Zugerscheinungen in die Aufenthaltsräume gebracht, was einen nochmals erhöhten Komfort mit sich bringt. Zudem ist die Belastung durch Außenlärm bei geschlossenen Fenstern deutlich geringer, was insbesondere bei innerstädtischen Quartieren von großem Vorteil ist. Selbst der sommerliche Wärmeschutz ist ohne Nachtauskühlung über geöffnete Fenster möglich, wenn die Maßnahmenkonstellation des vorhergehenden Kapitels zur Anwendung kommt.

3.4 Schallschutz

In Massivbauten aus Kalksandstein kann aufgrund der hohen Masse der Wände ein Schallschutzniveau deutlich oberhalb des Mindestschallschutzes nach DIN 4109-1 erreicht werden.

Besonders im Wohnungsbau wird häufig ein erhöhtes Schallschutzniveau erwartet und auch umgesetzt. Dies gilt nicht nur für die Wohnungstrennwände, sondern auch für die Raumtrennwände. Auch bei der Nachhaltigkeitszertifizierung fließt dieses erhöhte Niveau positiv in die Bewertung ein.

Das Schallschutzniveau sollte schon in der Vorplanungsphase festgelegt werden. In den weiteren Planungsphasen müssen die vereinbarten Schallschutzanforderungswerte für die jeweiligen Raumsituationen durch schalltechnische Berechnungen nachgewiesen und bewährte Ausführungsdetails eingeplant werden (Bild 8). Ein unzureichender Schallschutz in einem erstellten Gebäude lässt sich nicht bzw. nur mit erheblichem Aufwand nachträglich verbessern.

3.5 Belichtung

Die Verschattung durch Gebäude und Bäume im Umfeld sollte durch den städtebaulichen Entwurf möglichst geringgehalten werden. Wichtig ist aber auch eine minimierte Eigenverschattung z.B. durch Überstände, Balkone/Loggien und Versprünge. Zudem bringen reduzierte äußere Laibungstiefen und geringe Rahmenanteile der Fenster erhöhte Solareinträge im Winter und vor allem einen günstigen Tageslichteintrag. Gute Belichtung stellt einen essentiellen Wohlfühlfaktor dar. Dazu helfen zusätzlich helle Oberflächen im Belichtungs- und Laibungsbereich sowie minimierte Sturzhöhen der Fenster, um den Anteil des Zenitlichts zu erhöhen, wodurch verbesserte Belichtung und Tageslichtkomfort in der Raumtiefe erzielt werden. Dagegen weisen die Fensterflächen bei raumhohen Fenstern im Brüstungsbereich eher einen geringen Einfluss auf die Belichtung auf.

Bild 8 Durchgehende Wohnungstrennwand als Beispiel für eine optimierte schalltechnische Planung

4. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit eines Bauwerks wird nicht allein durch die Höhe der Investitionskosten geprägt. Diese Sichtweise prägte die Bauwirtschaft und Investitionsentscheidungen über viele Jahrzehnte. Erst wenn die ökonomische Betrachtung um eine Lebenszykluskostenanalyse (LCC-Anlayse) erweitert wird, können alle Kosten (Erstellung und Nutzung) beurteilt werden. Dabei geht es um zahlreiche Faktoren wie die Betriebs- und Wartungskosten, Langlebigkeit der Baukonstruktionen und der Aufwand für ihre Instandsetzung inkl. der jeweiligen Dauer der Instandsetzungszyklen. Bauten mit hohem Technikaufwand schneiden ungünstiger ab als dauerhaft konstruierte Gebäude mit hochwertiger Gebäudehülle und sehr niedrigem Energiebedarf. Bei einem stimmigen erneuerbaren Versorgungskonzept liegen die Investitionskosten sicher etwas höher, die Betriebskosten dagegen weisen im günstigsten Fall sogar ein jährliches Plus auf. Schließlich geht es um die Finanzierungskosten, die einen hohen Einfluss auf die Neubautätigkeit ausüben.

4.1 Kostentreiber

Zunächst gilt es allerdings die Aspekte zu betrachten, die Bauen teuer machen können. Nach einer Hochkonjunkturphase im Wohnungsbau, die sich seit 2010 zunächst in den Metropolen aufbaute, führten Markt-, Förder- und Zinsentwicklung ab 2022 dazu, dass die Anzahl der Neubauvorhaben sukzessive einbrach.

In Bild 9 werden zahlreiche Parameter mit ihren Auswirkungen auf die Investitionskosten pro m² Wohnfläche dargestellt. Dabei handelt es sich um Kostenspektren, die im Rahmen eines umfassenden Forschungsvorhabens in Zusammenarbeit mit der Wohnungswirtschaft festgestellt wurden.

- Marktsituation: seit ca. 2012 stiegen die Immobilienpreise und parallel dazu die Gestehungskosten jährlich um 5 bis über 15 %. Die Darstellung zeigt das Kostenspektrum in Abhängigkeit von der konkreten Marktsituation, welches mehrere hundert Euro pro m² Wohnfläche betragen kann, in Metropolregionen auch deutlich darüber.
- Grundstückskosten: Steigerungsraten pro Jahr deutlich über 100 Euro pro m² waren temporär die Regel, seit 2022 ist die Entwicklung verlangsamt, in einigen Regionen sogar rückläufig.
- Vergabeverfahren: Die beteiligten Unternehmen erhielten in Abhängigkeit vom Vergabeverfahren sehr unterschiedliche Angebote. Wirtschaftliche Ergebnisse wurden insbesondere bei Vergabeverfahren in Zusammenhang mit Bauteam-Lösungen erzielt.
- Stellplätze: Ein Stellplatz kostet in günstigsten Fällen um 10.000 Euro, bei aufwendigen Tiefgaragen deutlich über 30.000 Euro. Umgerechnet auf eine 2- bis 3-Zimmer-Wohnung sind das 150 bis 600 Euro pro m² Wohnfläche. Stellplatzsatzungen haben mithin einen sehr hohen Einfluss auf die Immobilienpreise. Sie sollten in Abhängigkeit von einem zu erbringenden Mobilitätskonzept zielgerichtete Spielräume bieten, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Zahlreiche Wohnungsunternehmen müssen Garagenflächen in andere Nutzungen umwandeln, um Leerstand zu vermeiden.
- Erschließung: Sowohl das städtebauliche als auch das gebäudebezogene Erschließungskonzept hat hohe Auswirkungen auf die Kosten. Gleiches gilt für die Versorgungsmedien, bei denen sowohl die Investitionskosten, vor allem aber die späteren Betriebskosten von Belang sind.
- Barrierefreiheit und Bauqualität sind hinsichtlich ihrer Kostenprägung unstrittig.

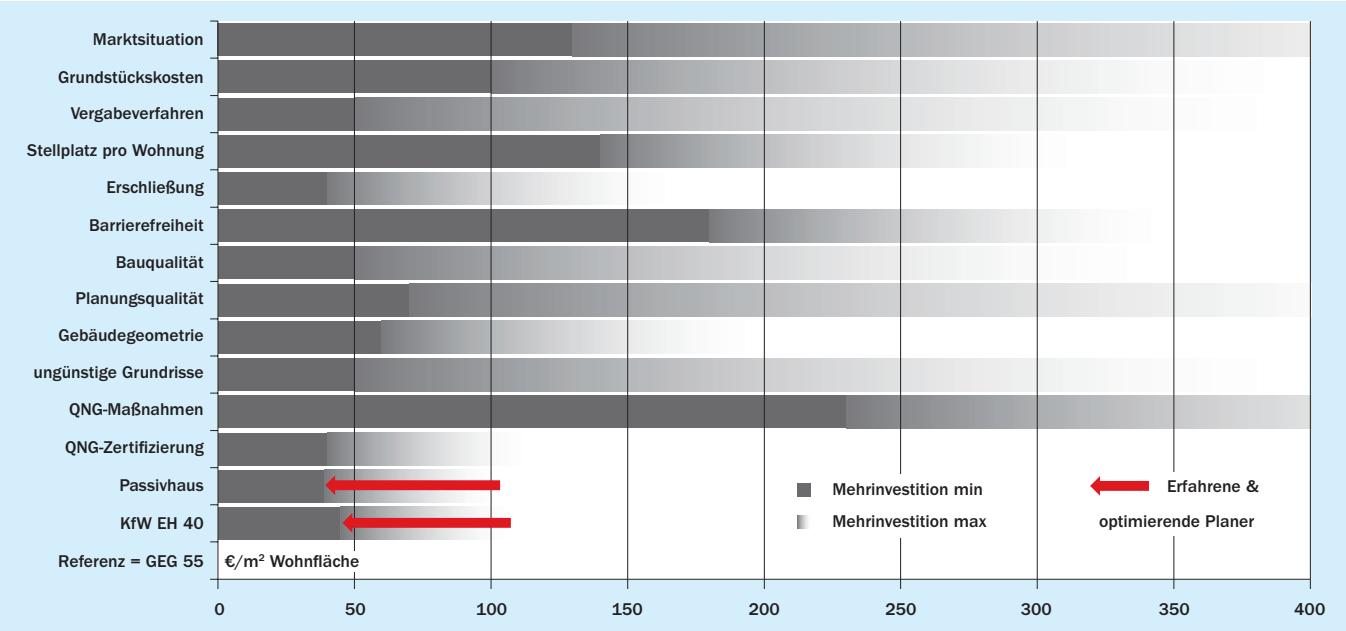


Bild 9 Vergleich von Kostentreibern im Geschosswohnungsbau

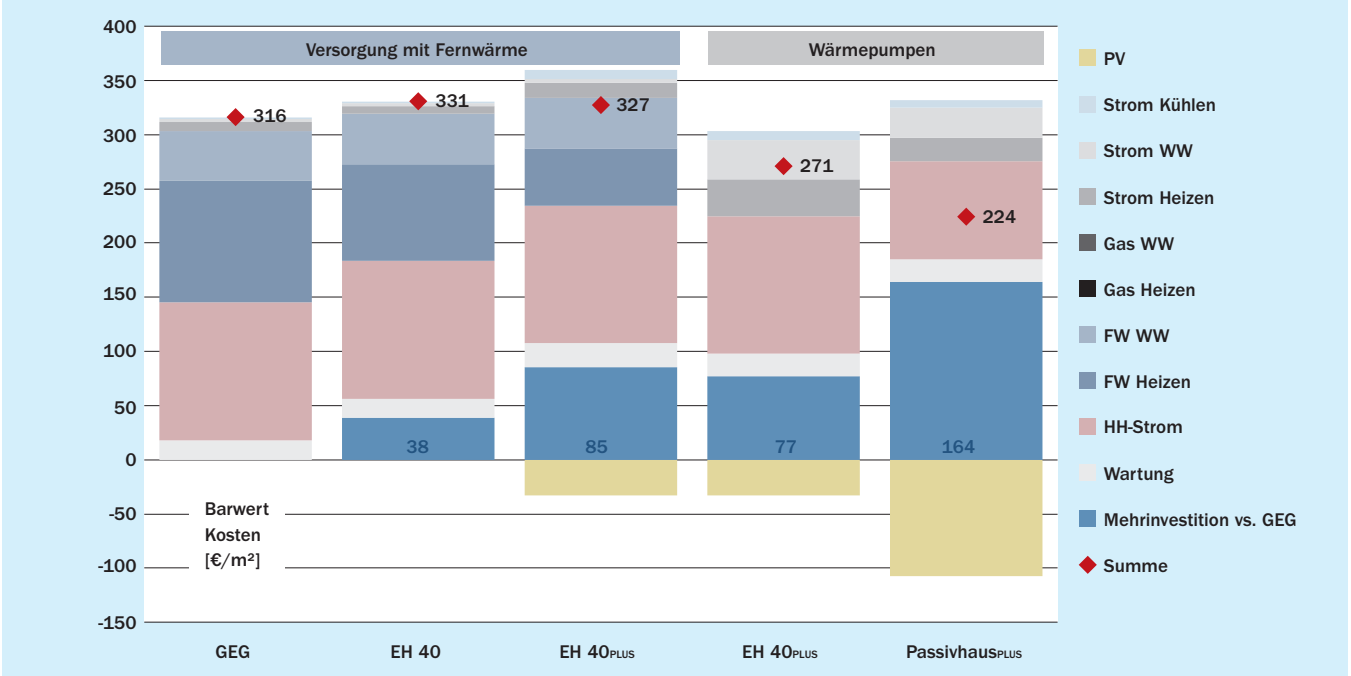


Bild 10 **Vergleich der Lebenszykluskosten unterschiedlicher Effizienzstandards**

- Planungsqualität: Planungsteams, die Erfahrungen mit nachhaltigen Entwürfen inkl. effizienter Details und Ausführungsoptimierungen haben, können wirtschaftliche Lösungen nicht nur hinsichtlich der Investitionen, sondern auch hinsichtlich der Lebenszykluskosten umsetzen. Gebäudegeometrie und optimierte Grundrisslösungen sind dabei zwei wichtige Parameter.

- QNG: Anforderungen des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) können zu relevanten Kosten führen. In Abhängigkeit von den Fähigkeiten der zertifizierenden Akteure geht es einerseits um die Kosten für die zu erfüllenden Maßnahmen. Dazu kommt der Zertifizierungsprozess, der zu Mehrkosten zwischen 40 und – insbesondere bei kleineren Gebäuden – deutlich über 100 Euro pro m² führen kann.

- Passivhaus und KfW Effizienzhaus 40: Im Vergleich dazu liegen die energetisch bedingten Mehrkosten eher niedrig. Der Standard Effizienzhaus 40 und auch der Passivhaus-Standard liegen ca. 50 bis 100 Euro pro m² Wohnfläche über dem Referenzstandard GEG, der bei sinnvoller Planung dem ehemaligen Effizienzhaus 55 entspricht. Erfahrene Effizienz-Planende liegen dabei fast immer am unteren Rand der im Diagramm aufgeführten Mehrinvestitionen. Effizienzmaßnahmen weisen zudem den Vorteil auf, dass sie im Gebäudebetrieb, also für die Lebenszyklusbetrachtung, relevante Vorteile bewirken.

4.2 Lebenszyklusbilanzierung für Gebäudeerstellung und Betrieb

Lebenszyklusanalysen erfassen nicht nur die Investitionskosten, sondern darüber hinaus zahlreiche weitere Faktoren des Gebäudebetriebs. Es werden mithin die Kosten ausgewiesen, die bei der Nutzung des Gebäudes ausschlaggebend sind. Dabei ist das Investor-Nutzer-Dilemma zu beachten, bei dem bisher Investitionen in die Effizienz von Gebäuden vor allem den Nutzern zugutekommen. Allerdings wird die zukünftig wachsende CO_2-Abgabe zu relevanten Anteilen auf die Eigentümer umgelegt, sodass es kurzsichtig wäre, bei Neubauten auf überkommene Standards zu setzen.

Eine Bilanzierung der Lebenszykluskosten eines Gebäudes bezieht neben den Investitions- und Finanzierungskosten die Betriebs- und Unterhaltungskosten ein. Die herstellungsbedingten Einflüsse können zudem mittels einer umfassenden Ökobilanzie-

Wasserturm Niederlehme, ein Symbol für die Langlebigkeit der KS-Bauweise aus dem Baujahr 1902

rung ermittelt werden, die neben der Betriebsphase zusätzlich Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung beinhalten. Dabei spielen die Nutzungszeiten der einzelnen Bauteile eine wesentliche Rolle, die bei bisherigen Betrachtungen für das Tragwerk von Gebäuden meist bei 50 Jahren liegt. Bauteile aus Kalksandstein können problemlos 80 oder 150 Jahre genutzt werden. Das kann in Ökobilanzierungen über Restwertbetrachtungen abgebildet werden. Beim üblichen 50-jährigen Betrachtungszeitraum würden die erfassten Bilanzierungswerte für Kalksandstein mit dem Faktor 0,625 multipliziert für eine 80-jährige Nutzungszeit oder mit dem Faktor 0,33 für 150 Jahre. Umgekehrt wird für die Gebäudetechnik bei Nutzungszeiten von 20 Jahren mit dem Faktor 2,5 multipliziert oder bei 15-Jahreszyklen mit dem Faktor 3,3.

Gegenüber der immer noch üblichen Einschränkung von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf die Investitionskosten zeigt eine Lebenszyklusbilanzierung für den Gebäudebetrieb die tatsächlichen Kosten, die pro Jahr anfallen. Vor allem hochwertige energetische Standards führen bei sinnvoller Planung dazu, dass trotz erhöhter Investitionskosten die Lebenszykluskosten niedriger liegen als für Standards niedrigerer Güte. In Bild 10 wird dargestellt, dass hohe Effizienzstandards zwar Mehrinvestitionen erfordern, durch die Einsparung bei den Betriebskosten wird dennoch eine höhere Wirtschaftlichkeit bei den jährlichen Kosten erzielt. Abgebildet wird der Barwert der Kosten über einen Zeitraum von 20 Jahren, bei dem, wie oben beschrieben, eine Restwertbetrachtung eingeflossen ist. Besonders günstig sind die Varianten mit Wärmepumpen-Systemen und Photovoltaikanlagen. Bei Einbeziehung der herstellungsbedingten Aufwendungen wird die Aussage nochmals präzisiert.

INFO

Kostengünstiges Bauen umfasst eine Vielzahl von Parametern. Es geht um die Reduktion von zahlreichen Kostentreibern. Bei guten Planungen wird die höchste Wirtschaftlichkeit bei hocheffizienten Gebäuden mit gut geplanter Gebäudetechnik unter Einbeziehung von erneuerbaren Energien erreicht.

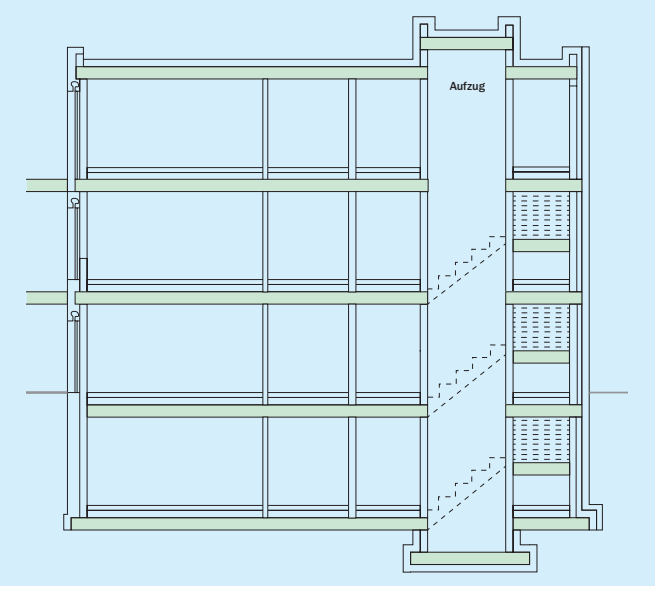


Bild 11 Einheitlicher Lastabtrag durch gleiche Grundrissgestaltung

4.3 Beispiele für wirtschaftliche Lösungen

Hohe Wirtschaftlichkeit wird erzielt als Ergebnis vielfältiger Optimierungen im Planungs- und Bauprozess. Es gibt zahlreiche Stellschrauben, mit denen die Investitionskosten niedrig gehalten werden können. Die folgenden Beispiele bieten dazu eine kleine Auswahl.

4.3.1 Statische Grundlagen

Zunächst gilt die Devise: je einfacher die Tragstruktur, desto wirtschaftlicher. In der Vertikalen sollten möglichst in den Grundrissen der einzelnen Geschosse keine, bzw. möglichst wenig Abweichungen auftreten und somit die tragenden Lastachsen über einander stehen (Bild 11). Somit ist ein optimaler Lastfluss über alle Geschosse bis in die Gründung gegeben. Lasten müssen nicht aufwendig über Unterzüge, wandartige Träger oder ähnliches weitergeleitet werden. Das spart Konstruktionshöhe und Material sowohl in der Wanddicke als auch beim Stahl und Beton. Worst case für die Statik ist dann gegeben, wenn z.B. in der Tiefgarage, dem Erdgeschoss, Obergeschossen und womöglich sogar im Dachgeschoss jeweils tragende Wände nicht übereinanderstehen.

Bei einem optimierten Tragwerk für den Wohnungsbau sollten auch die übereinanderstehenden Raumtrennwände z.B. KS-Wände mit 11,5 cm zur Lastabtragung mit herangezogen werden. Dadurch ergeben sich häufig sehr wirtschaftliche Deckenspannweiten mit < 5 m und die Deckendicke ergibt dann aus den Anforderungen des Schallschutzes und nicht mehr aus statischen Vorgaben. Durch schlanke KS-Wände wird nicht nur Material eingespart, sondern noch zusätzliche Wohnraumfläche geschaffen.

4.3.2 Außenwand – Funktionsgetrennte Bauweise als Grundlage für hohe Qualitäten

Die funktionsgetrennte Bauweise von KS-Außenwänden ermöglicht kostengünstige Energieeffizienzlösungen mit hoher Qualität. Die tragende KS-Innenschale kann in Abhängigkeit von Schallschutz und Statik-Anforderungen im Allgemeinen mit 17,5 cm Dicke ausgeführt werden, optimierte Lösungen sind mit 15 cm Wanddicke möglich. Dazu kommt die außenliegende Wärmedämmung, die als WDVS-, Vorhang- oder Verblendfassade als Witterungsschutz ausgeführt werden kann. Mit hochwertigen Dämmstoffen können dabei sehr schlanke Wanddicken erzielt werden, wie die Tafel 1 ausweist.

Tafel 1 Schlanke Außenwandkonstruktion

KS Mauerwerk 17,5 cm Dämmung mit:	Dämmdicke [mm] für U=0,15 W/(m²K)	Wanddicke [m]
λ = 0,035 W/(mK)	220	0,41
λ = 0,032 W/(mK)	200	0,39
λ = 0,028 W/(mK)	180	0,37
λ = 0,025 W/(mK)	160	0,35

4.3.3 Schallschutz

Schallschutz und Wirtschaftlichkeit schließen sich nicht aus, sondern ergänzen sich mit den KS-Wandkonstruktionen ideal. Das von den Bauherren festgelegte Schallschutzniveau lässt sich

durch den KS-Schallschutzrechner berechnen. Durch die richtige Kombination von Wanddicken und Rohdichten lassen sich optimale Ergebnisse erreichen. Zu beachten ist, dass dies nur erreicht werden kann, wenn auch alle flankierenden Bauteile (Außenwände, Raumtrennwände und Stahlbetondecken) mit einem hohen Flächengewicht geplant werden. Somit ist nicht nur der Luftschallschutz von Wohnung zu Wohnung in der Etage auf den Punkt planbar, sondern auch der Luftschallschutz über die Decke von Etage zu Etage. Gerade dieser Weg des Schalls innerhalb eins Gebäudes wird oft unzureichend betrachtet.

Ein hohes Flächengewicht der Außenwände sind gute Voraussetzungen für einen sehr guten Schutz gegen Außenlärm.

4.3.4. Elementiertes Mauerwerk

Angesichts des Fachkräftemangels gilt es zukünftig einen hohen Anteil der Wertschöpfung im Werk zu schaffen. Damit kann auf der Baustelle die Produktivität deutlich gesteigert werden. Deshalb stellen großformatige Kalksand-Planelemente einen etablierten und wirtschaftlichen Standard dar, der alle Vorteile serieller Bauweise sinnvoll verbindet. Geschosshohe KS-Mauerwerkstafeln bieten dafür eine weitere Option. Der Vorfertigungsgrad muss immer in Verbindung mit allen Bauteilen gesehen werden, wie z.B. auch Elementdeckenplatten.

4.3.5. Raster-Entwurf, Fensteröffnungen und Mauerwerkspfeiler

Eine gute Planung von Gebäuden sollte vorzugsweise an dem oktametrischen Raster von 12,5 Zentimeter ausgerichtet sein. Das gilt sowohl für die Grundrisssituation als auch die vertikale Ausbildung. Bei Ausführung in Kalksandstein-Mauerwerk wird dadurch eine hohe Wirtschaftlichkeit und Passgenauigkeit erreicht und der Verschnitt und Arbeitsaufwand minimiert. Auch Fensteröffnungen sollten möglichst so gewählt werden, dass sie bezüglich ihrer Sturz- und Brüstungshöhen ebenfalls dem Oktametermaß entsprechen. Bei optimierter Planung kann der komplette Lastabtrag über das Mauerwerk erfolgen und es sind keine zusätzlichen Stahlbetonbauteile erforderlich. Damit erhöht sich die Wirtschaftlichkeit nochmals.

4.3.6. Konstruktion und Gebäudetechnik in Relation

In den letzten Jahren ist eine kontinuierliche Steigerung der Kostenanteile für die Kostengruppe 400, also der Gebäudetechnik, gegenüber Kostengruppe 300 mit den baulichen Kosten zu verzeichnen. Die gestiegenen Kosten für die Technik sorgen für weitere hohe Folgekosten bezüglich der Instandsetzungszyklen, da Gebäudetechnik einem Erneuerungszyklus von nur 15 bis 25 Jahren unterliegt. Das KS-Mauerwerk bedarf innerhalb der Nutzungsdauer von 80 bis 150 Jahren keiner Erneuerung. Ein hochwertiger Energiestandard sorgt dafür, dass die Gebäudetechnik möglichst einfach, robust und wartungsarm sowie kostengünstig realisiert werden kann. Gebäude im Passivhaus- oder Effizienzhaus 40 Standard weisen bei einer Heizlastauslegung um 10 Watt pro m² Wohn-/Nutzfläche eine Leitung um 6 m² im Januar auf. Zur Veranschaulichung: Eine gute Wärmepumpe heizt eine 60-m²-Wohnung dann mit gerade einmal 80 Watt – dem Äquivalent einer Wohnzimmerbeleuchtung vor 20 Jahren oder der Leistung eines laufenden Kühlschranks.

4.4. Langlebigkeit

Ein essentielles Bewertungskriterium der Nachhaltigkeit und vor allem der Wirtschaftlichkeit stellt die Nutzungsdauer von Bauteilen dar. Die eingesetzten Ressourcen für die Erstellung und späterer Rückbau werden auf die Anzahl der Jahre aufgeteilt, die das Bauteil bzw. Gebäude genutzt werden kann. Konstruktionen aus Kalksandstein bieten sehr gute Voraussetzungen für Nutzungszeiten von 80 Jahren und mehr. Dabei muss bedacht werden, dass vor allem im Fassadenbereich ebenfalls langlebige Materialien Verwendung finden, die mit möglichst geringem Instandsetzungsaufwand über diesen Zeitraum betrieben werden können z.B. Verblendung und Vorhangfassaden. Ein weiterer Aspekt liegt in der energetischen Qualität des Außenbauteils: sie sollte so gewählt werden, dass aus Klimaschutzgründen während der Nutzungszeit keine energetische Ertüchtigung mehr stattfinden muss.

INFO

Das Gebäudetragwerk inkl. des Mauerwerks kann so geplant werden, dass es nahezu wartungsfrei ist und zudem eine hohe Effizienz aufweist, die auch im Jahr 2050 und darüber hinaus noch aktuell ist. Dagegen ist die Gebäudetechnik hingegen kurzlebiger und muss alle 15 bis 25 Jahre überarbeitet oder ausgetauscht werden. Fazit: Die Gebäudehülle möglichst hochwertig ausführen, damit die Gebäudetechnik möglichst einfach und klein geplant werden kann.

5. Ökologische Aspekte

Mauerwerk stellt eine historisch gewachsene Bautradition unterschiedlichster Ausprägungen dar. Der Massivbau erfährt besonders in den letzten Jahrzehnten auch aus Nachhaltigkeitssicht gravierende Entwicklungen, die eine fortwährende Optimierung der Konstruktionen ermöglicht. Seit dem ersten KS-Patent im Jahr 1880 hat sich die Qualität und Lebenszyklusbilanz kontinuierlich verbessert. Das gilt von der Rohstoffgewinnung über eine zunehmend nachhaltige industrielle Fertigung bis hin zur Verarbeitung, bei der die Reduzierung der körperlichen Belastung und eine erhöhte Produktivität auf der Baustelle wesentliche Aspekte darstellen. Die sehr lange Nutzungsdauer und das Recycling bzw. die Wiederverwendung der Materialien bei Abbruch des Gebäudes runden die Nachhaltigkeitsaspekte ab.

Das Dreisäulenmodell der Nachhaltigkeit (Bild 12) umfasst die ökologischen, ökonomischen und sozialen Belange, die es gleichermaßen umzusetzen gilt. Ein zentraler Aspekt, bei dem es Ökologie und Ökonomie zu verbinden gilt, ist die Minimierung der Energieaufwendungen und Emissionen. Das Gebäudeener-

giegesetz (GEG) soll zukünftig neben den Emissionen für den Gebäudebetrieb auch das Treibhauspotenzial der Gebäudeerstellung erfassen.

Grundlage für den Nachweis ist das Qualitätssiegel Nachhaltige Gebäude (QNG). Mehrere Anbieter haben auf dieser Grundlage Zertifizierungssysteme erarbeitet. Aufgrund der hohen Komplexität kann die Erfüllung der QNG-Anforderungen zu relevanten Mehrkosten bei der Gebäudeerstellung führen. Dazu kommen nennenswerte Kosten für den Zertifizierungsprozess.

INFO

Die drei Säulen der Nachhaltigkeit bestehen aus den ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten. Die zentrale Anforderung der Emissionsminimierung wird durch das Gebäudeenergiegesetz geregelt. Das gilt sowohl für den Gebäudebetrieb, der nach wie vor die Hauptemissionen verursacht, als auch für die Erstellung von Gebäuden.

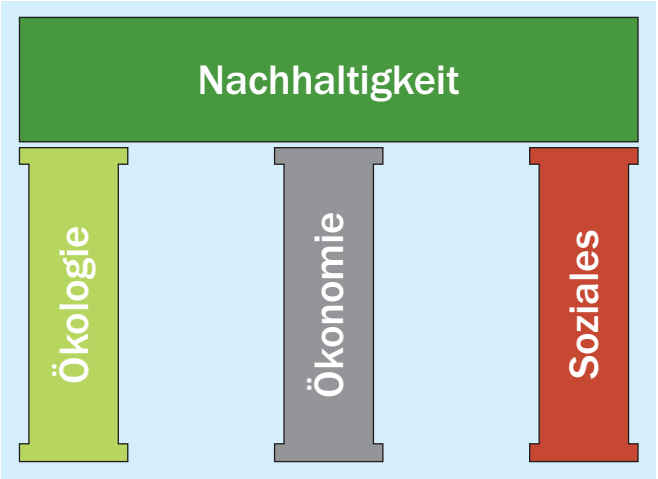


Bild 12 Grundstruktur der Nachhaltigkeit – das Dreisäulenmodell

5.1. Ökobilanzierung in der Planungspraxis

Im Rahmen der QNG-Zertifizierung werden mittels Ökobilanzierung die Umweltwirkungen eines Bauwerks nach 14 Kriterien bilanziert, wobei eine besondere Bedeutung das Global Warming Potential (GWP) aufweist. Diese Bilanzierung wird zukünftig integraler Bestandteil eines jeden Planungsprozesses sein und ermöglicht die Optimierung der herstellungsbedingten Emissionen. Die Rechenergebnisse können aber immer nur so gut sein wie die Bilanzierungsgrundlagen. Derzeit stellt die Ökobaudat für die Lebensphasen-Module nach Bild 13 vor allem generische EPDs (Umweltproduktdeklarationen) zur Verfügung. Materialien werden gruppenspezifisch mit einem gewissen Sicherheitszuschlag hinsichtlich der Nachhaltigkeitsaspekte bewertet. Sobald ausreichend belastbare EPDs von einzelnen Herstellern für spezifische Produkte in der Ökobaudat enthalten sind, wird das zu einer Optimierung von Gebäuden hinsichtlich der CO_2-Äquivalente führen, indem die besten Produkte ausgewählt werden können. Durch diesen Optimierungsprozess wird die Bauindustrie zu einer kontinuierlichen Optimierung ihrer Produkte angeleitet.

Für die Planungspraxis stellt sich hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbewertung eine sehr einfache Frage: Wie kann die bisher sehr aufwändige Ökobilanzierung planungs- und kostenverträglich erstellt werden? Da alle Bauteile eines Gebäudes möglichst genau erfasst werden müssen, sollte auf Datenerfassungen aufgebaut werden, die ohnehin im Planungsprozess gegeben sind. Am sinnvollsten erscheint die Erfassung im Rah-

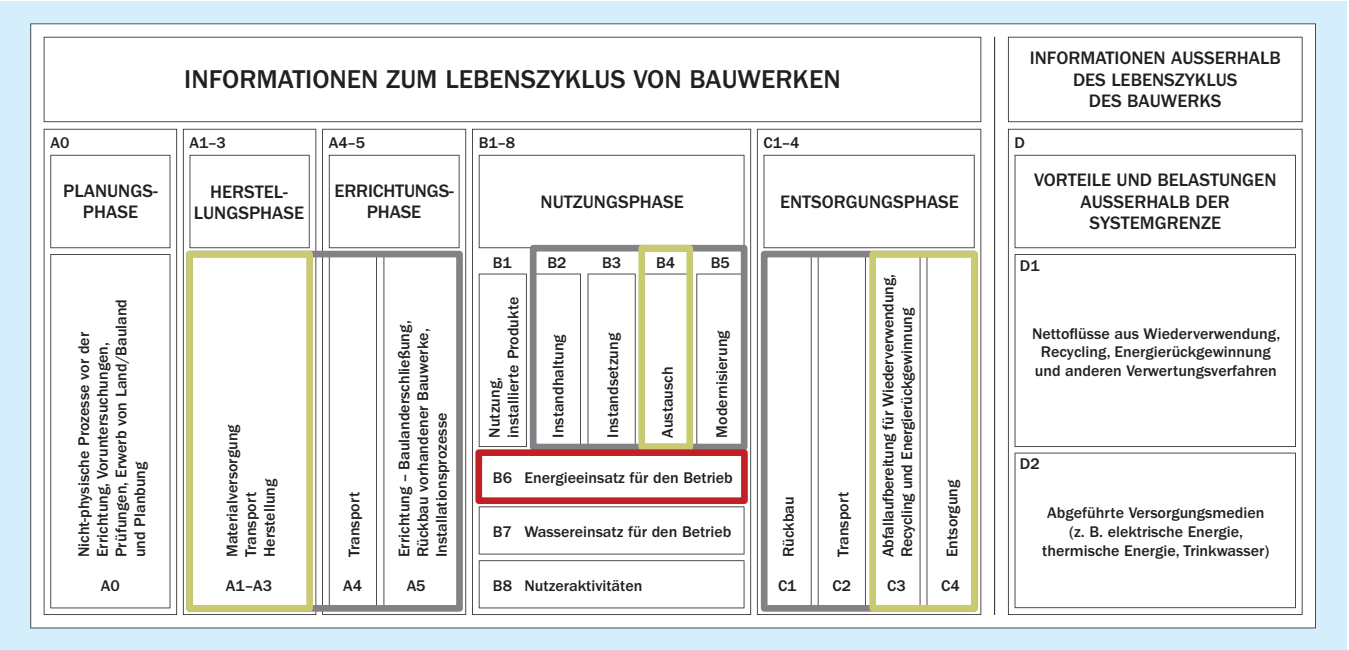


Bild 13 Module der Ökobilanzierung von Bauwerken: unabdingbar sind für die herstellungsbedingte Betrachtung die Module A1-3, B4 und C3-4, für die betriebsbedingten das Modul B6

men der energetischen Berechnung nach DIN 18599 oder mittels BIM, wofür sich zunehmend praxisnahe und einfache Programme im Markt etablieren. Dabei ist relevant, dass bereits in sehr frühen Leistungsphasen eine möglichst hohe Datengenauigkeit gegeben ist und der Mehraufwand für die Ökobilanzierung sehr gering ist.

5.2. Benchmarks

Für die Baubeteiligten ist es wichtig, ein Gefühl für den Optimierungsprozess zu erlangen, d.h. die Planenden sollten möglichst in die Ökobilanzierung einbezogen sein und verschiedene Bauweisen, Konstruktionen und Materialien bereits in der Vorplanungsphase rechnerisch gegenüberstellen können. So ist es möglich, Optimierungen durchzuführen, die in späteren Planungsphasen planerisch und wirtschaftlich aufwändig wären.

Die Ergebnisse in Bild 14 zeigen beispielhaft die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen für die Erstellung eines 4-geschossigen charakteristischen Mehrfamilienhauses mit 1.200 m² Wohnfläche und Unterkellerung. Zur Anrechnung kamen die Module A1-3 und C3-4. Es werden zunächst ungünstige bis optimierte Planungen im GEG-Standard Effizienzhaus 55 gegenübergestellt. Dabei weist neben der Materialität auch die Einfachheit des Entwurfs, der Statik und der Konstruktion, der Aufwand für die Gebäudetechnik und vor allem der Anteil der erdberührten Bauteile eine hohe Relevanz auf.

Darüber hinaus wird in der vierten Säule des Diagramms der Effizienzhaus Standard 40 dargestellt und in Säule 5 die Wirkung von Photovoltaik auf der gesamten Dachfläche, durch die in der Bilanz eine deutliche THG-Einsparung möglich ist. Bei einem zweigeschossigen Gebäude und gleicher PV-Belegung auf dem Dach wäre die Wirkung pro m² Wohnfläche nochmals doppelt so hoch. Im Umkehrschluss bedeutet das aber auch, dass bei weiter verdichteter Bebauung die Wirkung durch PV nachlässt, also für das Gebäude keine Klimaneutralität mehr nachweisbar ist. Daraus sollte nicht der Rückschluss gezogen werden, hohe Verdichtung zu vermeiden. Nachhaltiges Planen sollte immer in der Gesamtheit gesehen werden, es gilt möglichst alle Parameter umfassend zu optimieren.

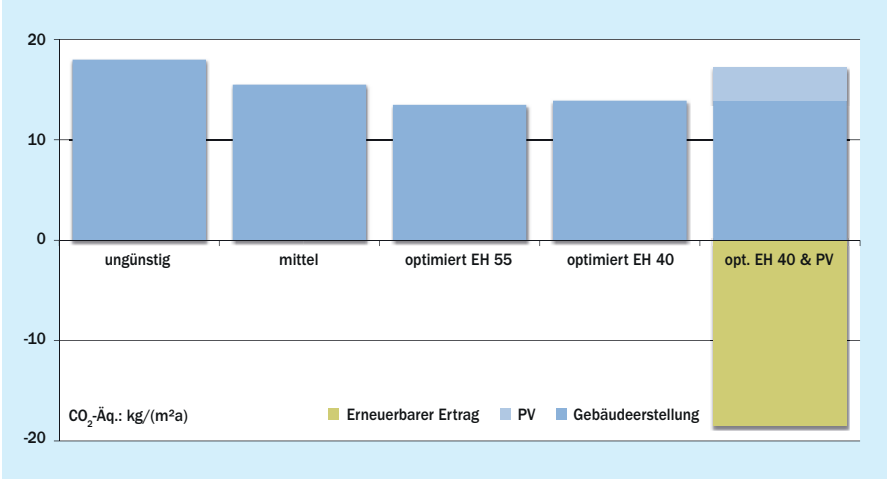


Bild 14 Treibhausgasemissionen der Gebäudeerstellung ohne den Gebäudebetrieb, Beispiel: MFH, 1.200 m² Wohnfläche, 4-geschossig, Massivbau

5.3. Gebäudeerstellung versus Gebäudebetrieb

In zahlreichen Publikationen und Medienberichten wird suggeriert, dass die herstellungsbedingten Emissionen entscheidend für die Nachhaltigkeitsqualität eines Gebäudes seien. Die Ergebnisse der

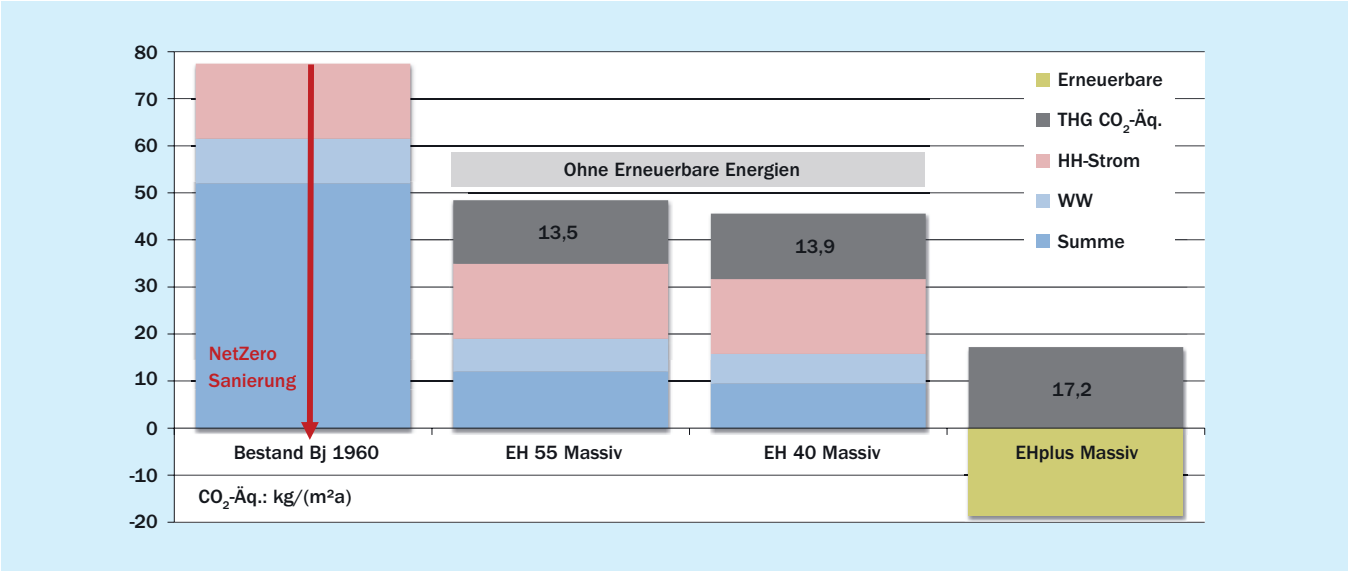


Bild 15 Treibhausgasemissionen der Gebäudeerstellung (MFH, 4-geschossig, unterkellert, Module A1-3/C3-4) vs. Gebäudebetrieb (B6): der Gebäudebetrieb dominiert deutlich mit Ausnahme des Effizienzhaus Plus in der vierten Säule, bei dem die erneuerbaren Erträge den Emissionen des Gebäudebetriebs entgegengerechnet wurden

Bilanzierung zeigen jedoch sehr deutlich, dass die betriebsbedingten Emissionen (inkl. Stromnutzung) nicht nur im Bestand, sondern auch bei den gängigen Neubaustandards die deutlich höhere Relevanz aufweisen (Bild 15). Neben den baulich bedingten Emissionen, wie sie in der Abbildung bei den ersten drei Säulen dargestellt werden, ist der Einfluss der erneuerbaren Erträge von entscheidender Bedeutung, wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben. Wird die Dachfläche optimiert mit Photovoltaik versehen, kann ein Gebäude inkl. der herstellungsbedingten Emissionen klimaneutral bilanziert werden, wenn es nicht mehr als zwei Geschosse aufweist. Bei drei bis vier Geschossen ist die Klimaneutralität für die betriebsbedingten Emissionen möglich. Darüber hinaus müssten zusätzliche erneuerbare Erträge generiert werden, z.B. in der Fassade oder im Freiflächenbereich von Quartieren.

INFO

Betriebsbedingte Emissionen liegen bei den üblichen Gebäudestandards deutlich höher als die herstellungsbedingten Emissionen. Durch hohe Energieeffizienz und erneuerbare Energien werden Gebäude in der Jahresbilanz klimaneutral.

6. Optimierung der Konstruktionen

Die Wahl der Konstruktionsweise hat zentrale Auswirkungen auf die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit von Gebäuden. Dabei gilt es, aus der Vielfalt von Komponenten und Materialien möglichst nachhaltige Konstruktionen auszuwählen, die gekennzeichnet sind durch eine möglichst hohe Nutzungszeit der Grundkonstruktion und Gebäudehülle in Verbindung mit minimiertem Instandsetzungsaufwand. Selbstverständlich muss bei diesem Zeithorizont aus baulich-energetischer Sicht die Klimaneutralität des Gebäudes sichergestellt sein, also der Standard im Bereich des Effizienzhaus 40-Niveaus in Passivhausqualität mit einem resultierenden Heizwärmebedarf von 10 bis 20 kWh/(m²a).

Bild 16 **Modulares Bauen: hier mit KS XL**

6.1. Einfache Lösungen: hochwertiger Gebäudehülle und einfache robuste Gebäudetechnik

Unter dem Aspekt der Lebenszyklusbetrachtung stellt sich ein Gebäude als besonders nachhaltig dar, wenn aufgrund der hochwertigen energetischen Qualität sowohl bezüglich des winterlichen als auch des sommerlichen Wärmeschutzes ein hoher thermischer Komfort gegeben ist und nur eine einfache robuste Anlagentechnik zur thermischen Konditionierung benötigt wird. Das ist doppelt sinnvoll, sowohl hinsichtlich der Investitionskosten als auch bezüglich der Erneuerungszyklen der Technik von 15 bis 25 Jahren, die damit ca. dreimal so oft erneuert werden muss im Vergleich zu einer gut geplanten baulichen Substanz.

6.2. Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Bereiche der Gebäudehülle, an denen gegenüber der sonstigen Fläche abweichende Transmissionswärmeverluste auftreten. Gegenüber dem Wärmedurchgang für die ermittelte Transmissionsfläche beträgt die Differenz des U-Wertes durch die Wärmebrückenwirkung bei eher ungünstiger Planungsqualität ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K). Bei guter Planung kann der Wert auf unter 0,02 W/(m²K) gesenkt werden.

Darauf hat die Wahl des konstruktiven Systems eine hohe Auswirkung. Die Funktionstrennung der Wandschichten ermöglicht in der KS-Bauweise einfache und funktionssichere Lösungen. In der Tragschicht bieten sich Vorteile für die Statik, den Brand- und den Schallschutz. Die Dämmschicht wiederum umfasst das Gebäude außenseitig, sodass eine äußerst günstige Situation für die Wärmebrückengestaltung gegeben ist. Für den Nachweis des Standards Effizienzhaus 40 sollte auf keinen Fall auf den detaillierten Wärmebrücken-Nachweis verzichtet werden (Bild 17-19).

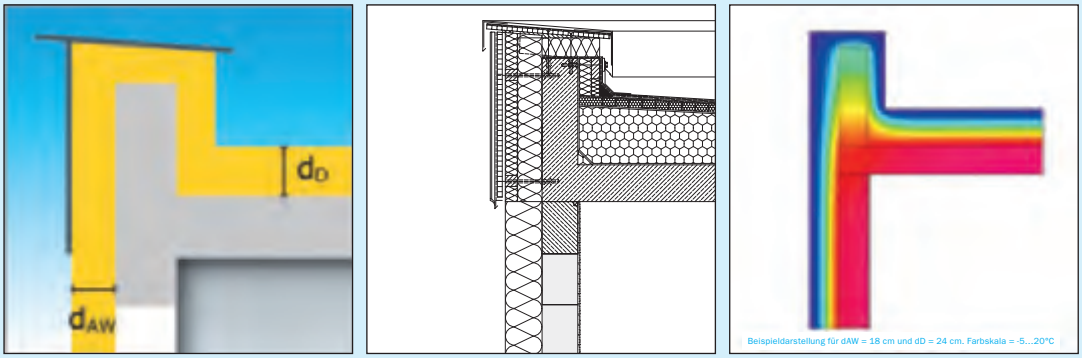


Bild 17 Wärmebrückendetail Traufe/Attika: Beim Übergang zum Dach kann sowohl beim Schrägdach ein Übergang ohne relevante Verringerung der Dämmdicke erreicht werden als auch bei Ausführung einer Attika beim Flachdach, bei der negative Wärmebrücken Standard sein sollten

Bild 18 Wärmebrückendetail Fensteranschluss: Fenster werden so montiert, dass der Rahmen möglichst weitgehend von Dämmung umfasst wird. Dadurch ergeben sind sehr geringe Einbauwärmebrücken im Bereich von 0,01 W/(mK)

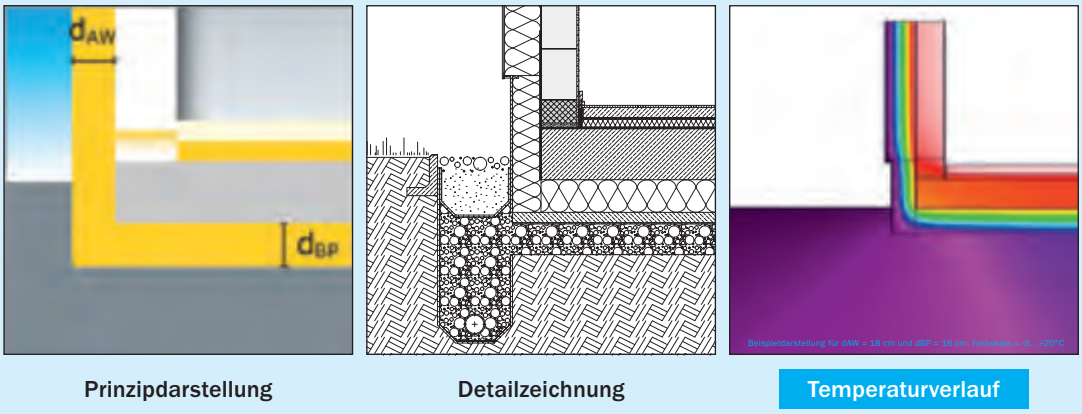


Bild 19 Wärmebrückendetail Sockel nicht unterkellert: Die Dämmung der Außenwand geht vollflächig in die Dämmung unterhalb der Bodenplatte über, wodurch die Wärmeverluste im Sockelbereich minimiert werden können

6.3. Luftdichtheit

Luft- und Winddichtheit stellen wesentliche Qualitätskriterien von Gebäuden dar. So wird die Effizienz der Gebäudehülle mit ihrer Wärmedämmung gesichert, ein guter Schallschutz ebenso sichergestellt wie komfortables, zugfreies Wohnen. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung weisen ohne Leckagen in der Gebäudehülle die höchste Wirksamkeit auf und der Energiebedarf liegt so niedrig wie in der Planung vorgesehen.

Die Luftdichtheitsebene befindet sich bei KS-Mauerwerk im Allgemeinen in der Innenputzlage, lässt sich also leicht herstellen und vor allem mittels Luftdichtheitsmessung (z.B. durch einen Blower-Door-Test) hinsichtlich seiner Funktionsfähigkeit einfach überprüfen. Ergänzend muss die Winddichtheit der Konstruktion sichergestellt werden, damit die Dämmschicht nicht durchlüftet und damit in ihrer Funktion gemindert wird.

6.4. Serielles, modulares Bauen und Digitalisierung

Serielles, modulares und typisiertes Bauen in der KS-Bauweise ermöglicht Kosteneinsparungen, kürzere Bauzeiten und die Einsparung von Arbeitskräften, was aufgrund des zunehmenden Fachkräftemangels ein wesentliches Umsetzungskriterium für zukünftiges Bauen darstellt. Zudem kann durch industrielle Vorfertigung eine erhöhte Qualität und Maßhaltigkeit sichergestellt werden. Im Massivbau bewähren sich vor allem Kalksandstein-Planelemente (KS XL) im Baukastenprinzip oder als werksseitig konfektionierte Wandbausätze. Diese werden auf der Baustelle angeliefert und mit Versetzgeräten sehr effizient und schnell vermauert (Bild 20).

Durch digitalisierte Planung kann eine direkte Schnittstelle zwischen Planungsbüro und Hersteller geschaffen werden, wodurch die Prozesse weitestgehend automatisiert erfolgen können und die Fehlerhäufigkeit auf der Baustelle deutlich gesenkt wird. Diese Daten können auch in einen digitalen Gebäuderessourcenpass eingepflegt werden.

INFO

Kalksandsteine weisen eine Lebensdauer von 80 Jahren und mehr auf. Hochwertige Materialien bei der Gebäudehülle und im Ausbau gewährleisten für diese Zeit eine nachhaltige Nutzung ohne relevante Instandsetzungsmaßnahmen. Hohe Energieeffizienz garantiert zudem, dass nicht bereits nach 30 bis 40 Jahren eine grundlegende Sanierung erforderlich ist, und zudem die Gebäudetechnik so einfach und „klein“ wie möglich ausgeführt werden kann.

Bild 20 **Kostenoptimiertes Bauen mit KS-Planelementen**

7. Zukunftssichere Versorgungstechnik

Versorgungstechnik stellt einen essentiellen Faktor für das Erreichen der Klimaneutralität dar. Sie wird in Zukunft vor allem auf erneuerbarem Strom aus PV und Wind aufbauen. Das führt im Vergleich zur bisherigen Versorgung mit fossilen Brennstoffen zu einer Transformation der Gebäude- und Versorgungstechnik. Während Strom bei fossiler Versorgung mit relevanten Verlusten vor allem aus Brennstoffen generiert wurde, wird er in einem erneuerbaren Versorgungssystem direkt und ohne nennenswerte Verluste verfügbar sein. Für den Gebäudesektor ergeben sich daraus zahlreiche Chancen.

7.1. Lüftungstechnik – Raumluftqualität als Grundlage gesunden Wohnens

Um hochwertige Raumluftqualität sicherzustellen und die Anforderungen der DIN 1946-6 zu erfüllen, ist der Einsatz eines mechanischen Lüftungssystems erforderlich. Im Wesentlichen gibt es Lösungen als Abluftanlagen oder als Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung, die zentral für das Gebäude oder pro Wohnung installiert werden können.

INFO

Hochwertige Lüftungstechnik sorgt für Wohlbefinden und gute Raumluftqualität. Wird sie mit Wärmerückgewinnung ausgeführt, halbiert sich bei effizienten Gebäuden in etwa der Heizwärmebedarf. Analog dazu reduziert sich die Heizlast, sodass die Heizanlage mit deutlich geringerer Leistung ausgeführt werden kann, was insbesondere bei Wärmepumpen zu relevanten Kosteneinsparungen führt.

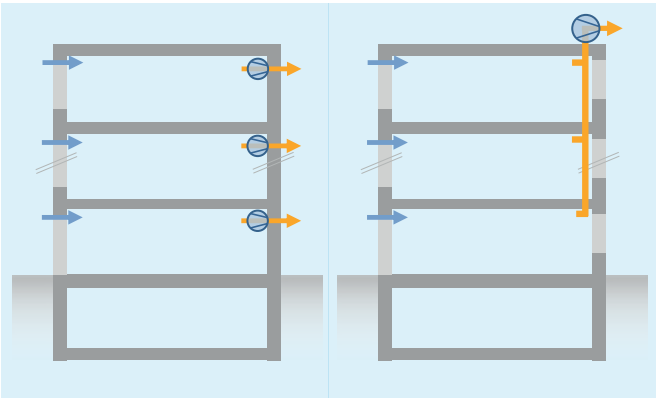


Bild 21 Schema einer dezentralen Abluftanlage (links) und einer zentralen Anlage mit Ventilator auf dem Dach

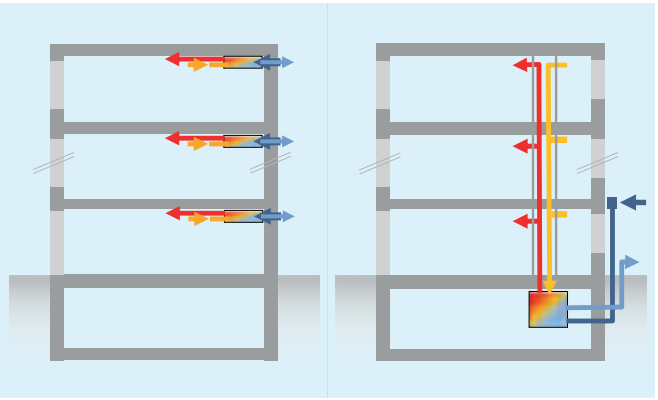


Bild 22 Schema einer dezentralen Zu-/Abluftanlage mit WRG (links) und einer zentralen Anlage mit Lüftungszentrale im KG

7.1.1. Abluftsysteme

Kernelemente von Abluftanlagen sind Ventilatoren pro Abluftraum bei dezentralen Systemen, zentrale Anlagen benötigen einen Ventilator pro Strang bzw. für das Gebäude (Bild 21). Sie sorgen dafür, dass verbrauchte Luft in der Küche und den Sanitärräumen, ggf. auch in Abstellbereichen abgesaugt wird. Die Außenluft strömt über Durchlässe in der Gebäudehülle in die Aufenthaltsräume, die so geplant werden müssen, dass keine unkomfortabel kalten Bereiche entstehen. Gute Fassadenintegration ist mit Fenster- oder Laibungsdurchlässen möglich. Überströmelemente öffnen der Luft den Weg von den Aufenthaltsräumen zu den Ablufträumen. Filterwartung ist für Abluftfilter unabdingbar und für die Außenluftdurchlässe zu empfehlen, weil sonst der erforderliche Außenluftvolumenstrom sukzessive abnimmt. Abluftwärmepumpen können Wärme aus der abgesaugten Fortluft nutzen für Warmwasser und/oder Heizen und die Energie aus der Abluft mit einer Jahresarbeitszahl von 3 bis 5 nutzen.

7.1.2. Zu-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung

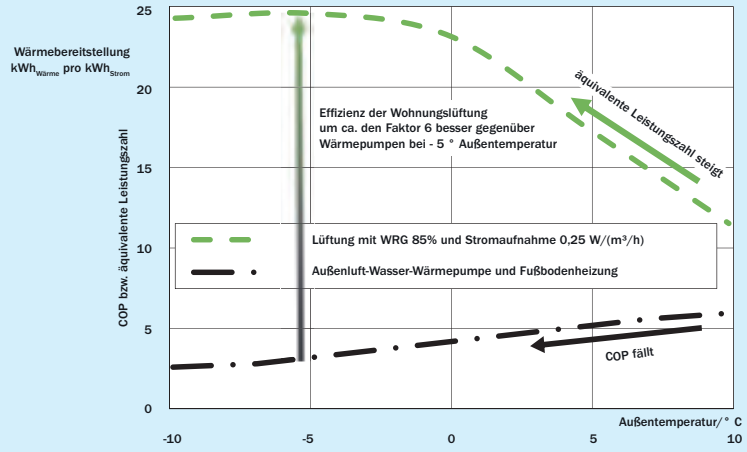
Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) erfordern zusätzlich zu den Abluftkomponenten ein Zuluftsystem, welches frische Außenluft gezielt über einen Wärmetauscher mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 75 bis über 90 % führt und sie in der Wohnung in die Aufenthaltsräume verteilt (Bild 22). Neben der kontinuierlichen Zuführung von frischer Außenluft ohne den Zwang, Fenster öffnen zu müssen, liegt der Vorteil im hohen Komfort und der Reduktion des Heizwärmebedarfs um 15 bis 30 kWh/(m²a) gegenüber Abluftanlagen. Dadurch wird bei effizienten Gebäuden der Heizwärmebedarf etwa halbiert. Bei optimierter Planung können dadurch die Investitionskosten für die Heizanlage insbesondere bei Wärmepumpen um 20 bis 40 % gesenkt werden. Weiterhin bieten die Systeme eine sehr gute Entlastungmöglichkeit für Allergiker durch die Integration von Pollenfiltern. Hochwertiger Schallschutz wird ermöglicht, da gute Raumluftqualität bei geschlossenen Fenstern sichergestellt ist und Dämpfung des Schalls durch die Anlagen sehr effizient ausgeführt werden kann.

Wichtig ist, dass Schlafzimmer im Nachtbetrieb pro Person etwa 20 m³/h erhalten. Ideal ist es, wenn das nicht nur im Nennbetrieb, sondern bereits bei reduzierter Lüftungsstufe erfüllt wird. Das kann insbesondere durch Kaskadenlüftung mit Doppelnutzung der frischen Luft in mehreren Räumen ermöglicht werden, z.B. durch Zuluftführung in die Schlafräume und Überströmung in den Wohnbereich.

Bei wohnungszentralen Anlagen ist die Filterwartung wie bei Abluftanlagen innerhalb der Wohnung durchzuführen. Bei gebäu-

dezentraler Ausführung der Anlagen kann ein zentrales Gerät in der Lüftungszentrale positioniert und dort gewartet werden, allerdings sind Brandschutzanforderungen für das Verteilsystem zu beachten.

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung senken nicht nur die Kosten von Heizsystemen sondern wirken hervorragend mit Wärmepumpenheizung zusammen, wie das folgende Bild 23 illustriert.



Lüftung mit Wärmerückgewinnung wirkt synergetisch zur Wärmepumpen-Heizung: während der COP von Wärmepumpen bei sinkender Temperatur fällt, steigt die äquivalente Leistungszahl von Lüftung mit WRG insbesondere bei niedrigen Temperaturen deutlich an, sodass mit einer Kilowattstunde Stromeinsatz deutlich über 20 kWh Wärme eingespart werden können.

Bild 23 Vergleich der nutzbareren Wärmebereitstellung einer Lüftungsanlage mit einer Wärmepumpe

7.2. Erneuerbare Versorgungskonzepte

Da erneuerbare Energiesysteme vorrangig strombasiert sind, wird Endenergie zukünftig zur bestimmenden Größe. Anders gesagt, wenn uns vor allem Strom aus Wind und PV zur Verfügung steht, können wir durch Wärmepumpentechnik den Heizenergiebedarf für ein effizientes Wohngebäude statt bisher mit brennstoffbasierten 15 bis 50 kWh/(m²a) via Wärmepumpen um den Faktor 3 bis 4 reduziert mit 4 bis 15 kWh Strom pro m² und Jahr bereitstellen (Bild 24). Im Wohngebäudebereich liegen wir damit unterhalb des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung. Allerdings gilt es zu bedenken, dass die höchsten monatlichen Bedarfswerte für den Heizsektor in den kalten Wintermonaten anstehen, die Spitzenlast also auch bei kalter Dunkelflaute gedeckt werden muss. Sowohl die Energiekosten zu diesen Zeiten werden nachfragebedingt in Zukunft höher liegen als auch die Kosten für die Leistungsspitzen. Eine Versicherung dagegen ist vor allem durch hocheffiziente Gebäude mit geringem Heizwärmebedarf und einem guten Lastmanagement gegeben.

Die weiteren Stromanwendungen wie z.B. für den Haushaltsstrom weisen eine sehr hohe Relevanz für die Versorgung unserer Gebäude und Quartiere auf. Zudem wird der Bedarf für Mobilität nicht mehr vorrangig an Tankstellen gezapft, sondern durch die E-Mobilität integraler Bestandteil der Versorgungstechnik.

7.2.1. Erneuerbare Energien

Regenerative Versorgung ist besonders wirkungsvoll, wenn ein möglichst hoher Anteil der erneuerbaren Energien in den Siedlungsstrukturen bereitgestellt wird. Klimaneutralität wird oft-

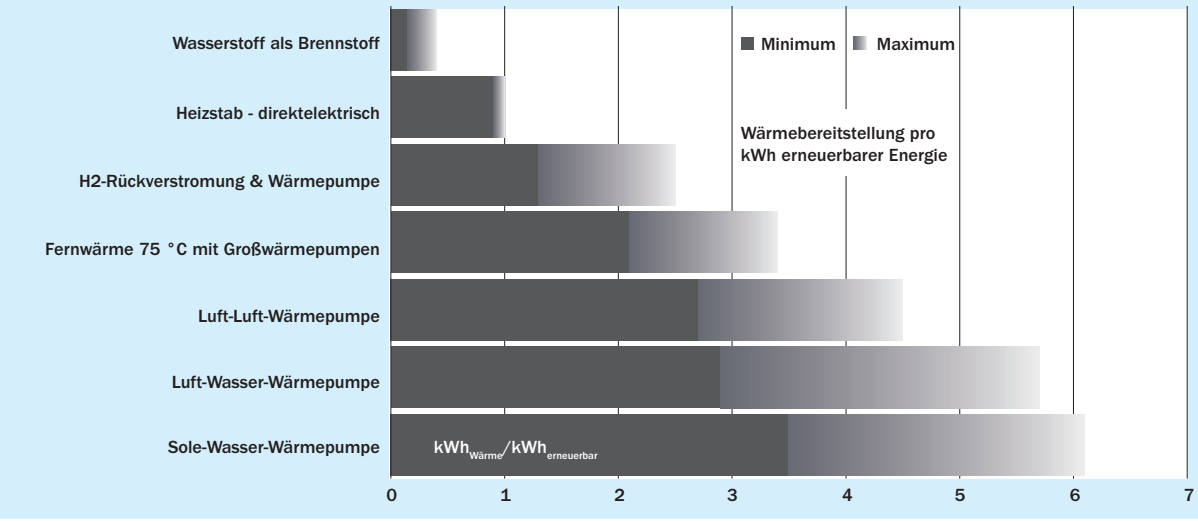


Bild 24 Effizienz von Heizsystemen im Vergleich: Anteil der nutzbaren Wärme pro kWh erneuerbaren Stroms

mals so definiert, dass durch die erneuerbaren Erträge eine jahresbezogene Plusenergiebilanz erreicht wird gegenüber den Bedarfswerten für Heizen, Kühlen, Warmwasser und die Stromanwendungen. Bisweilen wird sogar die E-Mobilität einbezogen. Die Bilanzierung kann sowohl über die Endenergie als auch über die Treibhausgasemissionen erfolgen. Herstellungsbedingte Emissionen können in diese Bilanzierung ebenfalls einbezogen werden, was bei zweigeschossigen Gebäuden noch funktionieren mag, bei höhergeschossiger Bebauung ist es im Allgemeinen nicht mehr möglich. Aus Nachhaltigkeitssicht ist verdichtetes Bauen allerdings sehr sinnvoll, sodass die Definition von Klimaneutralität entsprechend definiert werden muss.

Photovoltaik ist die relevanteste erneuerbare Technik, die innerhalb der Siedlungsstrukturen eingesetzt werden kann (Bild 25). Eine Leistung von 1 kWp kann mit einer Absorberfläche von unter 5 m² installiert werden. Der jährliche Ertrag liegt in Abhängigkeit von der Ausrichtung und dem Standort bei 700 bis ca. 1000 kWh pro kWp. Bei Dachanlagen können für ein zweigeschossiges Gebäude bezogen auf die Wohnfläche 60 bis 100 kWh/(m²a) generiert werden, bei Viergeschossigkeit 30 bis 50 kWh/(m²a) und bei hoher Verdichtung mit acht Geschossen nochmals die Hälfte, also 15 bis 25 kWh/(m²a).

Für die Nutzung von Windkraft in Wohngebieten gibt es einzelne Beispiele. Es sollte allerdings sehr genau auf die Rahmenbedingungen und die realisierbaren Erträge geschaut werden, weil die prognostizierten Werte bei zahlreichen Projekten nicht erreicht wurden und zudem Schallimmissionsschutz besondere Beachtung erfordert.

Bild 25 Dach mit Photovoltaikanlage

Solarthermie ist durch PV aufgrund des günstigeren Kosten-Nutzenverhältnisses fast vollständig verdrängt worden. Die Kombination von PV und Thermie kann eine Option sein, wenn die Wärme für die Primärkreise von Wärmepumpenanlagen genutzt werden kann und die Kosten angemessen niedrig sind.

Biomasse könnte mittelfristig aufgrund von Konkurrenznutzungen für das Heizen im Gebäudebereich unattraktiv werden. Abfallprodukte der Holzwirtschaft stellen dennoch für die thermische Verwertung eine sinnvolle Option dar, ggf. für die Spitzenlastnutzung in Verbindung mit Wärmepumpenkonzepten.

7.2.2. Heizung

Für die Wärmebereitstellung können die GEG-Anforderungen bezüglich der erneuerbaren Versorgung am besten mittels Wärmepumpen erfüllt werden. Es liegt bei den Planenden, ob sie dabei eher dezentrale Varianten oder zentrale Lösungen bis hin zur Nah- oder Fernwärme bevorzugen, die zukünftig in vielen Fällen ebenfalls auf Wärmepumpentechnik aufbauen. Weitere erneuerbare Optionen, wie sie im vorherigen Kapitel beschrieben werden, können selbstverständlich auch einbezogen werden, wobei jeweils individuell die Wirtschaftlichkeit genau überprüft werden sollte.

Anschluss an ein Wärmenetz

Das Wärmeplanungsgesetz verpflichtet die Kommunen, Festlegungen zu den Gebieten mit Fernwärme sowie zum Dekarbonisierungs-Fahrplan zu treffen. Wärmenetze können in sehr verdichteten Gebieten wirtschaftlich und sinnvoll sein. In Gebieten mit geringerer Wärmedichte können bei Vorliegen von Abwärmepotenzialen ebenfalls gute Lösungen gefunden werden, wobei das Temperaturniveau des Netzes aber möglichst niedrig liegen sollte. Grundsätzlich ist es zielführend, in fernwärmeversorgten Gebieten die Gebäude anzuschließen. Es sollte mit dem Versorger allerdings eine langfristig kalkulierbare Festlegung zu den Tarifen vereinbart werden und dabei eine Vergleichsbetrachtung für eine individuelle Wärmepumpenversorgung inklusive der langfristigen Lebenszykluskosten vorliegen. Ein Vorteil bei Wärmenetzen kann darin bestehen, dass die Investitionskosten zum Teil ausgelagert und auf die Betriebskosten umgelegt werden. Das gilt auch im Fall von kalten Netzen, wodurch die Kosten für den Primärkreis von Wärmepumpen eingespart werden können. Es sollte aber sehr genau auf die daraus resultierenden Betriebskosten geachtet werden inkl. verbindlichen Vereinbarungen zu den Konditionen bei Vertragsverlängerungen bzw. zur Übernahme des Netzes nach dessen Abschreibung. Ziel muss es sein, dass auch langfristig die Wärmekosten nicht höher liegen als bei einer dezentralen Versorgung über Wärmepumpen.

Wärmepumpen

Je geringer der spezifische Leistungsbedarf für ein Gebäude ist, desto effizienter und kostengünstiger sind Wärmepumpensysteme zu erstellen. Zur Auswahl stehen zahlreiche Varianten. Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpen sind im Betrieb am wirtschaftlichsten, wenn sie auch in Kältephasen auf einen Primärkreis mit erhöhten Temperaturen zugreifen können.

Der Nachteil liegt in den erhöhten Investitionskosten für die (Sonden)-Bohrungen bzw. für die Erdkollektoren. Luft-Wasser-Wärmepumpen stellen sich hinsichtlich der Investitionskosten günstiger dar. In den letzten Jahren sind zudem Systeme auf den Markt gekommen, die Jahresarbeitszahlen bis über 5,0 erzielen. Damit liegen hochwertige Anlagen nah bei erdgekoppelten Systemen. Allerdings muss auf die Schallemissionen des Luft-Wasser-Wärmetauschers geachtet werden, die bei innovativen Systemen bereits sehr niedrig liegen. Insbesondere bei Gebäuden mit sehr geringem Energiebedarf bieten sich zudem sehr kostengünstige Luft-Luft-Wärmepumpen an, die dezentral pro Wohnung bzw. pro Raum installiert werden.

Wärmepumpen eröffnen in einem strombasierten Versorgungssystem den großen Vorteil, dass relevante Anteile des Strombedarfs vor Ort durch Photovoltaik bereitgestellt werden können. Je höher der genutzte Eigenstromanteil über Photovoltaik, desto wirtschaftlicher der Betrieb.

INFO

Erneuerbare Versorgung und Wärmepumpen ergänzen sich hervorragend. Aus jeder Kilowattstunde erneuerbaren Stroms können 3 bis über 5 Kilowattstunden Wärme bereitgestellt werden. Wenn zudem relevante Anteile des Strombedarfs aus PV-Anlagen auf dem Gebäude oder im Quartier gedeckt werden können, ist eine hervorragende Wirtschaftlichkeit gegeben.

Stromdirektheizung

Vereinzelt kommen direktelektrische Heizungen bei Gebäuden mit besonders hoher Energieeffizienz zum Einsatz. Auch bei hocheffizienten Gebäuden ist das volkswirtschaftlich nicht sinnvoll, weil eine ungünstige Netzverträglichkeit mit hohen Lastspitzen an kalten Tagen gegeben ist. Auch aus betriebswirtschaftlichen Gründen stellen Luft-Luft-Wärmepumpen mit ihren geringen Investitionskosten sicher eine Alternative dar. Zur Komfortsicherung könnte in dem Fall eine minimierte direktelektrische Zusatzheizung unter 5 Watt pro m² Wohnfläche vorgehalten werden.

Wasserstoff einschließlich daraus hergestellter Derivate

Im fossilen Versorgungssystem sind Brennstoff-Kessel oder Thermen die kostengünstigsten Optionen. Die aufwendige Produktion von erneuerbaren Brennstoffen führt zukünftig zu einer sehr ungünstigen Bilanz für das Heizen mit Grünem Wasserstoff (vgl. Bild 24) oder erneuerbarem Methan, sodass die Installation von Kesseln und Thermen nicht mehr zu empfehlen ist. Außerdem werden Netzkosten deutlich ansteigen, weil einerseits neue Netze erforderlich sind und zugleich die Versorgungsdichte abnehmen wird.

7.2.3 Verteilung und Wärmeübergabe

Die Verteilung im Gebäude und heizseitige Übergabe in die beheizten Räume sollte auf einem möglichst niedrigen Temperaturniveau erfolgen. Beim Neubau geht dies kostengünstig mit Flächenaktivierungen als Fußboden- oder Wandheizung sowie als Betonkernaktivierung oder Deckenheizung. Wenn das System außerdem kühlend oder temperierend wirken kann für den sommerlichen Wärmeschutz, ist die Lösung hoch komfortabel und zukunftssicher.

7.2.4. Kühlung

Passive Maßnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes können in Kalksandsteingebäuden sehr gut umgesetzt werden und stellen die Grundlage für hohen sommerlichen Komfort dar. In Verbindung mit Wärmepumpensystemen und Flächenaktivierungen bieten sich zudem Komfortvarianten an, da mit eher geringem Aufwand eine Temperierung oder Kühlung nahezu zum Nulltarif erfolgen kann. Besonders kostengünstig ist dies bei erdgekoppelten Wärmepumpen-Primärkreisen erzielbar. Die Erdreichtemperatur reicht aus, um die Temperatur über die Flächenaktivierung um einige Grade zu reduzieren, wofür nur ein geringer Pumpenstrom erforderlich ist. Zugleich wird damit der Primärkreis im Erdreich regeneriert. Darüber hinaus kann durch reversible Wärmepumpen Kühlung bereitgestellt werden. Bei installierter PV ist an heißen Tagen im Allgemeinen ein ausreichender Stromertrag für aktive Kühlung vorhanden.

7.2.5. Warmwasserbereitung

Bei hoch effizienten Gebäuden liegt der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung in der Jahresbilanz höher als für das Heizen. Der Nutzenergiebedarf für die Warmwasserbereitung liegt nach GEG im Wohnungsbau bei 12,5 kWh/(m²a) für die Bezugsfläche AN. Bei Umrechnung auf die Wohnfläche entspricht das etwa 15 bis 16 kWh/(m²a). Dazu kommen die Anlagenverluste, die aufgrund der geforderten Vorlauftemperaturen zur Legionellenvermeidung für gebäudezentrale Systeme bei guter Planung zwischen 25 und 50 % liegen, oftmals in der Praxis deutlich höher, sodass bei zentralen Verteilsystemen Verbrauchswerte bis über 40 kWh/(m²a) warmwasserseitig gemessen werden, insbesondere wenn wohnungsinterne Zirkulation aus Komfortgründen installiert wird. Eine Reduzierung der Anlagenverluste kann durch die Minimierung der Steigstränge und Leitungslängen erreicht werden. Schächte und Sanitärzellen sollten vertikal übereinander liegen und kurze Anbindungen ohne Zirkulation in den Wohnungen möglich sein. Sinnvoll ist eine hochwertige Leitungsdämmung oberhalb des üblichen GEG-Standards. Es gilt: Je einfacher das System und je geringer die Systemtemperatur, desto günstiger für Investition und Betrieb (Bild 26). Bei Wärmepumpen-Lösungen gilt zudem in den meisten Fällen, dass eine klare Trennung zwischen dem Heizsystem und der Warmwasserversorgung sinnvoll ist, da die Temperatur- und Lastprofile über das Jahr stark voneinander abweichen. Die Vorlauftemperatur der zentralen Warmwasserbereitung kann niedriger gehalten werden durch die Einbindung von Wohnungsstationen. Sie kann sogar auf dem Temperaturniveau von Flächenheizungen gesenkt werden, wenn in der Station ein Warmwasser-Booster mittels Durchlauferhitzer das Wasser auf die erforderliche Temperatur bringt.

Durch Umstellung auf erneuerbar-strombasierte Versorgung ergibt sich als hoch wirtschaftliche Option die dezentrale Warmwasserversorgung pro Wohnung. Die Anlagenverluste können dadurch auf 2 – 5 % reduziert werden (Bild 27). Hocheffiziente Mini-Wärmepumpen stellen eine sehr effiziente Lösung dar, allerdings mit dem Nachteil, dass etwas Platz in der Wohnung verloren geht. Durchlauferhitzer, möglichst mit Duschwärmerückgewinnung, sind kostengünstiger. Der Nachteil gegenüber der Wärmepumpe liegt im erhöhten Energiebedarf. Deshalb sollten die direktelektrischen Systeme nur in Verbindung mit erneuerbarer Energie (z. B. durch PV) und Batteriespeichern installiert werden. Ein gutes Lastmanagement muss zudem sicherstellen, sodass die Leistungsanforderung des Gebäudes zu Spitzenzeiten in einem günstigen Rahmen liegt. Da Warmwasser-

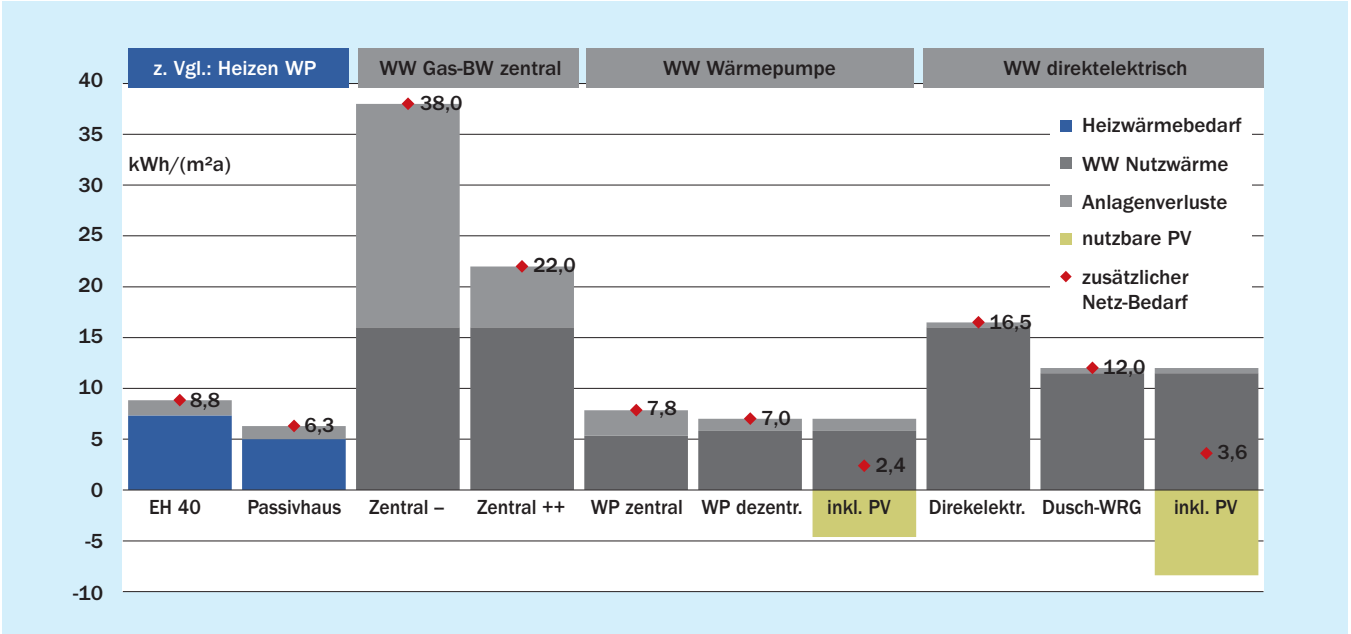


Bild 26 Endenergiebedarf von Warmwasser-Systemen im Vergleich zum Heizenergiebedarf eines effizienten Gebäudes

bereitung das ganze Jahr über erfolgt, wird ein hoher Anteil des Energiebedarfs über PV gedeckt. Bei gutem Lastmanagement können das deutlich mehr als 60 % sein, sodass nur noch wenige Kilowattstunden pro m² und Jahr aus dem Stromnetz gezogen werden.

7.3. Quartierskonzepte

Quartierskonzepte sind sowohl städtebaulich als auch für die Energieversorgung von hoher Bedeutung. Sie ermöglichen bei angemessenen Rahmenbedingungen zahlreiche Chancen, da in komplexen und zentralen Systemen Synergien möglich sind. Auf der anderen Seite führen große Wärmeleitungssysteme zu erhöhten Anlagenverlusten und gegebenenfalls zu hohen Kosten. Kleine, dezentrale Technik kann in vielen Fällen günstiger erstellt werden. Zudem stellt sich die Frage, welche Sektoren in das Versorgungskonzept einbezogen werden. War es bis vor kurzem ausschließlich der Wärmesektor mit Heizen und Warmwasserbereitung, kommen im Zuge der Energiewende Stromanwendungen, Mobilität und Digitalisierung als integrale Bestandteile hinzu. Vorteile ergeben sich vor allem, wenn die erneuerbaren Erträge im Gebiet mit einem sinnvollen Lastmanagement und wirtschaftlichen Mieterstromkonzepten wirtschaftlich genutzt werden.

Im Gegensatz zu Stromnetzen verursachen Wärmenetze grundsätzlich relevante Verluste, wie Bild 27 zeigt. Ziel muss es sein, die Systemtemperatur der Netze so niedrig wie möglich auszulegen bis hin zum „kalten Netz“, das analog zu einem Primärkreis geothermischer Umweltwärme zu betrachten ist. Als Quelle kommen Erdwärme über Bohrungen oder Körbe, Wärmeentzug aus Gewässern oder aus Abwasserkanälen etc. in Frage. Für warme Netze kann neben Tiefengeothermie auch Abfallwärme aus Industrie, Müllverbrennung, Klärwerken etc. genutzt werden. Wichtig ist dabei, dauerhaft wirtschaftliche Vertragsbedingungen für die Wärmelieferung zu erhalten, was angesichts der anstehenden Einsparungen in all diesen Sektoren in vielen Fällen nicht gegeben sein wird.

Ist kostengünstige Abfallwärme nicht verfügbar, sind dezentrale Lösungen oftmals deutlich günstiger. Das gilt für Luft-Wasser-Wärmepumpen, die zunehmend Jahresarbeitszahlen bis über 5,0 aufweisen. Alternativ können auch dezentrale Versorgungssysteme pro Wohnung mit Luft-Luft-Wärmepumpen sinnvoll sein. Auf jeden Fall ist eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung inkl. Lebenszyklusbilanzierung zu empfehlen.

Aus Sicht konventioneller Versorgungstechnik gilt die Maxime, dass große Systeme ein hohes Maß an kostengünstiger zentraler Technik auf dem neuesten Stand ermöglichen. Allerdings könnten sich sowohl bei Fernwärme als auch Quartiersnetzen diese Grundlagen

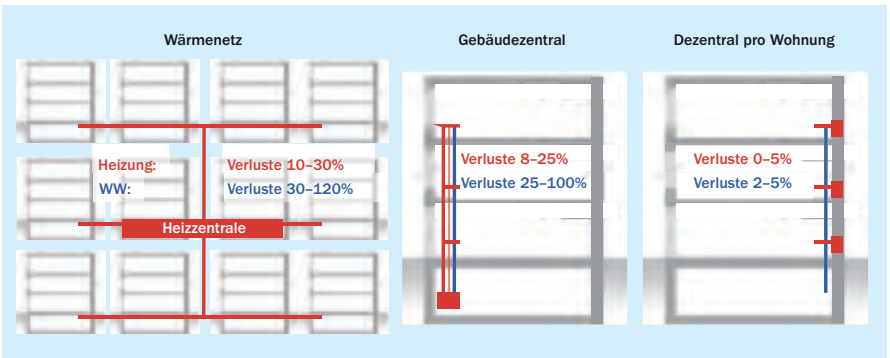


Bild 27 Vergleich der Anlagenverluste verschiedener Wärmeverteilsysteme

innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte grundlegend ändern. Da die Investitionszyklen im Versorgungsbereich lang sind, drohen Fehlinvestitionen. Deshalb ist immer ein Lebenszyklusvergleich mit dezentralen Lösungen zu empfehlen. Bild 28 zeigt schematisch, welche Energieträger für Wärmenetze zukunftsfähig sind. Falls Tiefengeothermie wirtschaftlich erschließbar ist, steht diese Option ganz vorne in der Prioritätenliste. Danach kommen Wärmepumpen, die allerdings für Netze entsprechend groß dimensioniert werden müssen und in Abhängigkeit vom erforderlichen Temperaturniveau inkl. der Leitungsverluste zu deutlich schlechteren Jahresarbeitszahlen als dezentrale Wärmepumpenlösungen führen.

Wasserstoff-Techniken ermöglichen dezentrale Energiespeicherung und -nutzung. Auf Quartiersebene erfordert das allerdings einen sehr hohen Aufwand. Die volkswirtschaftlich sinnvollere Lösung scheint in einem bundesweiten Verbund von Gas- und Dampf-Kombikraftwerk (GUD) zu liegen, die bei kalter Dunkelflaute die fehlende elektrische Leistung zur Verfügung stellen, wenn nicht genügend PV- und Windstrom verfügbar ist.

7.4. Lastmanagement und Mieterstromkonzepte

Gebäudetechnikregelung, Monitoring und Abrechnung sind bisher drei getrennte Sektoren. Im Zuge der Digitalisierung bilden diese Aspekte eine technische Einheit. Gebäude mit hoher Energieeffizienz ermöglichen auf einfache Art ein vorausschauendes Lastmanagement, besonders wenn sie eine hohe Masse und damit thermische Trägheit aufweisen. Wird die Heizung im Winter abgestellt, sinkt die Raumtemperatur in solchen Gebäuden nur um etwa 1 K pro Tag, was als Schlüssel zu hoher Wirtschaftlichkeit durch Lastmanagement zu sehen ist, weil das temporäre Abschalten des Wärmeerzeugers von den Nutzenden kaum wahrnehmbar ist.

Wohnungen, Gebäude und Quartiere sind als Bausteine in einem Strom-Liefer- & Bezugsnetzwerk mit synergetischem Lastmanagement für die gesamte Region zu sehen. Einfache Lastschalt- und Lastabwurfsysteme bieten in der Summe ein hohes Regelpotenzial für die regionalen Netze. Das gilt besonders, wenn Wärme elektrisch via Wärmepumpen bereitgestellt wird. Niedrige Lastspitzen im Winter sind bei vollerneuerbarer Versorgung als Qualitätsmerkmal für Gebäude zu sehen, denn sie führen zu einer guten Netzverträglichkeit und ermöglichen in den kommenden Jahren einen Netzausbau mit Augenmaß ohne überhöhte Aufwendungen für die Versorger, auch angesichts von Zeiten kalter Dunkelflaute.

Außerdem wird der Strombedarf, also auch Haushaltsstrom und E-Mobilität in die Versorgungsstruktur und mithin in das Lastmanagement einbezogen mit zahlreichen positiven Synergieeffekten. Dazu gehört auch Stromeffizienz: durch stromsparende Geräteausstattung und Beleuchtung lassen sich mit bestem Kosten-Nutzen-Verhältnis Nebenkosten einsparen.

Werden diese Aspekte durch erneuerbare Erträge ergänzt, was bereits jetzt Standard im Neubau ist, ergeben sich bei richtiger Planung hochwirtschaftliche Betriebsmodelle. Dazu gehören auch Nutzer- bzw. Mieterstromkonzepte, die zukünftig im Geschosswohnungsbau zur Regel werden. Eine sehr wirksame Option stellen dabei Flatrate Modelle für Heizen, Warmwasser und Haushaltsstrom dar. Jede Mieteinheit erhält ein Verbrauchskontingent, das eine effiziente Ausstattung und ein sparsames Verhalten impliziert. Werden diese Werte relevant überschritten, wird der Mehrverbrauch automatisiert gesondert in Rechnung gestellt. Flatrate-Lösungen haben sich vor allem für Quartiere mit hocheffizienten Gebäuden bewährt, wie sie in Zukunft ohnehin gebaut werden.

Mieter erhalten direkten Zugang auf ihre digitalen Medien und können ihre Daten in Echtzeit verfolgen. Zudem können in einem System von Smart Building & Living digitale Dienstleistungen integriert werden, was einen zusätzlichen Komfort für die Bewohner sicherstellt.

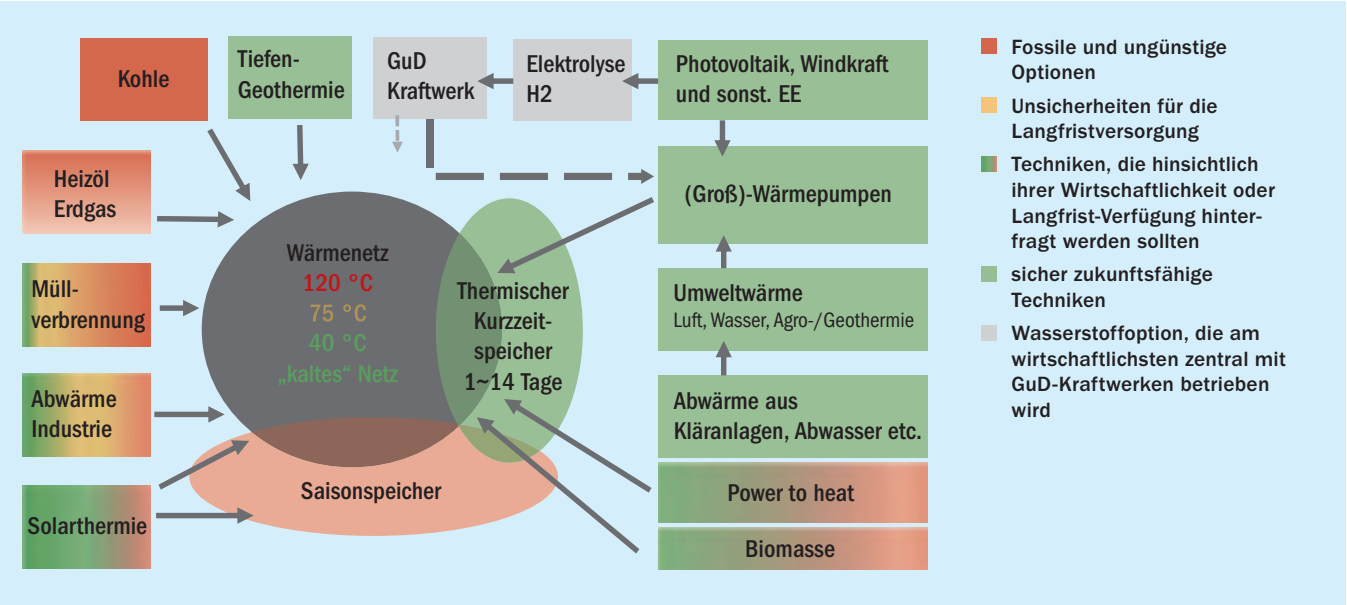


Bild 28 Schema für eine Versorgung via Wärmenetz

8. Klimaneutralität bis 2045 – wie geht das?

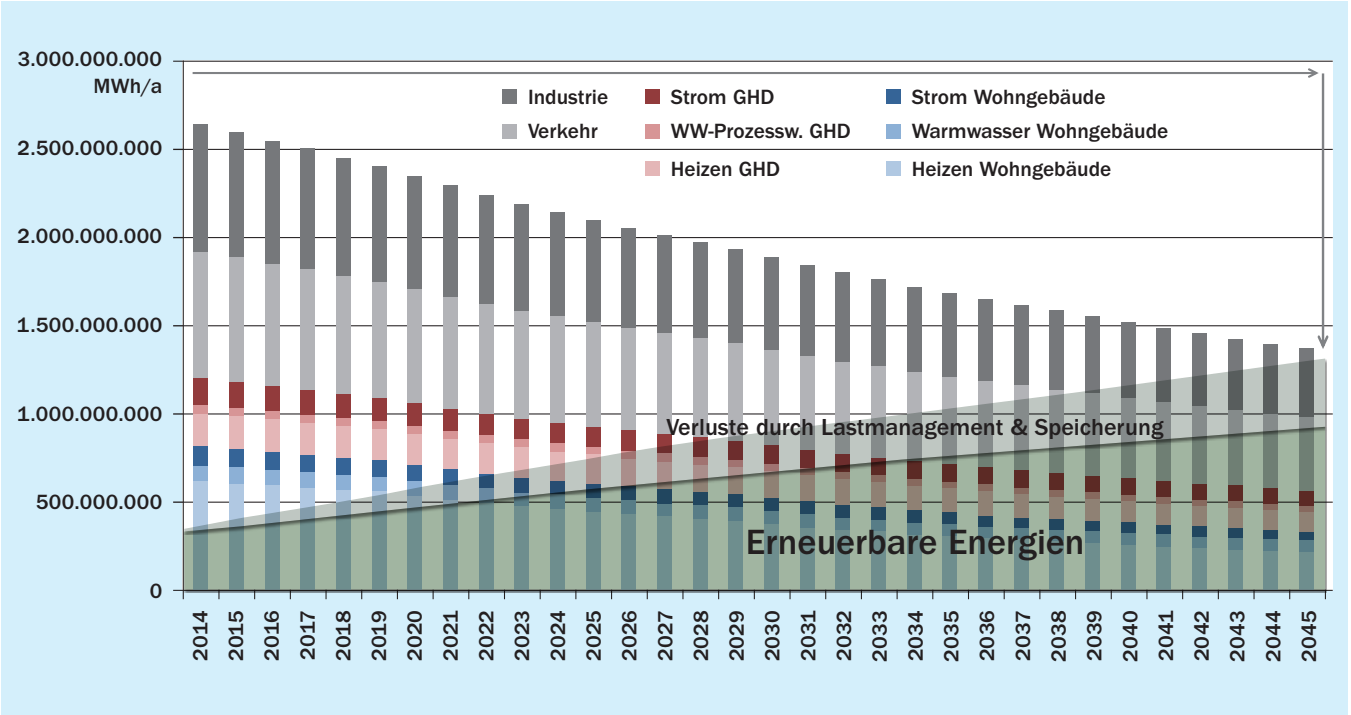


Bild 29 **Entwicklung des Endenergiebedarfs der unterschiedlichen Sektoren in Deutschland und Deckung des verbleibenden Bedarfs bis zur Klimaneutralität im Jahr 2045**

Zum Erreichen der Klimaneutralität sind Best Practice Techniken sowohl auf der Effizienzseite als auch bei Generierung erneuerbarer Energien erforderlich. Bis 2045 muss der Endergiebedarf um ca. 50 % gesenkt werden. Ein relevanter Teil der Einsparung wird allein durch die Transformation von Brennstoffen auf Strom erzielt. Auf dieser Basis kann der Restbedarf an erneuerbaren Energien wirtschaftlich und mit einem landschaftsverträglichen Kontingent von Windkraft und PV-Anlagen bereitgestellt werden. Im Klimaschutzgesetz wird mit Blick auf die Treibhausgasemissionen der Senkungspfad mit jährlichen Zielwerten angegeben. Folgende Anforderungen zeigen, wie Neubauten gestaltet werden können, um bis zum Jahr 2045 klimaneutral betrieben werden zu können (Bild 29):

- Effizienz der Gebäudehülle: Standard KfW EH 40, möglichst in Passivhaus-Qualität mit einem Zielwert für den Heizwärmebedarf von 10 bis 20 kWh/(m²a). Durch Wärmepumpentechnik kann der Heizenergiebedarf mit 3 bis 8 kWh/(m²a) gedeckt werden, die zu relevanten Teilen auf dem Grundstück bzw. im Quartier erneuerbar bereitgestellt werden können.

- Warmwasser: hocheffiziente, weitgehend erneuerbare Systeme mit minimierten Verlusten; nach Abzug der direkt erneuerbar bereitgestellten Energie sollte der aus dem Netz zu deckende Endenergiebedarf höchstens 5 kWh/(m²a) betragen.

- Strombedarf: Ausstattung der Haushalte mit hocheffizienten Geräten und LED-Beleuchtung sowie Einbeziehung der E-Mobilität in die Versorgungssysteme als integraler Faktor.

- Anlagen zur Bereitstellung erneuerbarer Energie auf dem Grundstück mit einem Zielwert von mindestens 100 kWh/(m²a) bezogen auf die überbaute Fläche bei einem hohen Anteil Eigenstromnutzung durch Lastmanagement und Zwischenspeicherung. Eine hohe Netzverträglichkeit der Gebäude ergibt sich durch möglichst geringe Leistungsanforderung aus dem Netz bei Dunkelflaute.

- Die Jahresbilanz der Treibhausgasemissionen und des Endenergiebedarfs sollte unter null liegen für Wärme, Strom und E-Mobilität gegenüber dem erneuerbaren Ertrag. Bei hoch verdichteten Gebäuden oder Quartieren mit durchschnittlich mehr als vier Geschossen muss diese Anforderung differenziert betrachtet werden, weil die Dachflächen für die Anforderung an die PV-Erträge nicht ausreichen.

Wir Bauschaffenden können einen großen Beitrag zum Gelingen der Energiewende beitragen. Zugleich stellt dieser herausfordernde Prozess eine Chance dar, unsere gebaute Umwelt hochwertig weiterzuentwickeln und Gebäude, Quartiere und Kommunen dauerhaft nachhaltig zu gestalten.

Bildnachweise

Bild S. 14: Xella;
Bild 1, Bild 9, Bild 10: Schulze Darup;
Bild 2, Bild S. 16, Bild 16: Olaf Mahlstedt;
Bild 3: UNIKA GmbH/Sven-Erik Tornow;
Bild 5; Bild 20: UNIKA GmbH;
Bild 6: EFH, Privat_Köhler & Meinzer Leopoldshafen_Wohnen & Essen ;
Bild 10: target; **Bild 12:** Evisys;
Bild 14, Bild 15: Schöffel/Schulze Darup;
Bild 17, Bild 18, Bild 19: Martin Spitzner;
Bild 23: Hartmann, Leppig, Schulze Darup;
Bild 25: Stefan Witte; **Bild S. 37:** Xella

Bild 8; Bild S. 22 unten:
Bundesverband der Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 2

KLIMASCHUTZ UND NACHHALTIGKEIT

Stand: 08/2025

Dr. Sebastian Pohl, Darmstadt

1. Einleitung

Die Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (UN Sustainable Development Goals, kurz: UN SDGs [1]) und die Klimaschutzziele des Pariser Abkommens von 2015 [2] stecken global den politischen Rahmen für eine dauerhaft zukunftsfähige Lebens- und Wirtschaftsweise ab.

Als Teil der klimaschutzgesetzlich maßgeblichen Sektoren

- Gebäude
- Industrie
- Energie-/Abfallwirtschaft
- Verkehr

kommt der Bau- und Immobilienwirtschaft eine Schlüsselrolle im Transformationsprozess zu. Hintergrund ist ihre sozioökonomische Bedeutung sowie insbesondere Ressourcenintensität und der Anteil an der Emittierung von schädlichen Treibhausgasen (Bild 1).

Im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung [4] wird den sogenannten Handlungsfeldern Industrie und Gebäude eine zentrale Position zugeordnet. Für die Baustoffindustrie wird ein Schwerpunkt auf die Bereiche Zement/Kalk (als Bindemittel für viele mineralisch basierte Baustoffe wie z.B. auch den Kalksandstein) und Stahl gesetzt. Denn deren Potenziale bei der Reduzierung von Verbrennungs- und Prozessemissionen durch Energieträgersubstitution, Verfahrensumstellungen und Effizienzsteigerungen scheinen noch nicht ausgeschöpft. Das Handlungsfeld Gebäude wird neben energiewirtschaftlichen Aspekten beispielsweise auch mit einem Maßnahmen- und Förderstrang für effiziente Gebäude unterfüttert. Hiermit sollen vormalige investive Förderprogramme im Immobilienbereich zu einem Förderangebot konsolidiert werden, der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) für Einzelmaßnahmen, die Sanierung bestehender Gebäude und den Neubau.

Innerhalb dieses Maßnahmen- und Förderstrangs für effiziente Gebäude wird nicht nur ein starker Bezug zum Klimaschutz, sondern auch zum ganzheitlich nachhaltigen Bauen gesetzt. Denn die Förderung respektive die Förderkonditionen werden in den Kontext des sogenannten *Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG)* als Anforderungs- und Bewertungsraster für nachhaltiges Bauen gestellt. Das QNG ist dabei vor allem ein Instrument zum Erhalt bestehender Nachhaltigkeitsbewertungs- und -zertifizierungssysteme bei gleichzeitiger Qualitätssicherung in Bezug auf die Gewährleistung von Grund- und Mindestanforderungen und einer inhaltlichen Harmonisierung.

Bereits vor dem Aufkommen der BEG-Förderung waren die Zertifizierungssysteme für Nachhaltiges Bauen markt- und praxisrelevant für bestimmte Bauvorhaben und Projektkonstellationen. Insofern waren sie grundsätzlich branchengängig und etabliert. Durch die BEG-Förderung haben sie einen weiteren deutlichen Schub erhalten, fraglos jedenfalls, was die branchenweite Bekanntheit betrifft.

Aktuell streben die Trägerschaften der Zertifizierungssysteme für Nachhaltiges Bauen eine Weiterentwicklung in Richtung einer Selbst-Harmonisierung mit den QNG-Anforderungen an, um dadurch die Anwendbarkeit in und für Projekte mit Förderambitionen zu erleichtern. Parallel zeichnen sich in der Systemlandschaft auch übergeordnete, generelle Weiterentwicklungen ab, z.B. beim Zertifizierungssystem für Neubauten der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB) als nach statistischen Zertifizierungszahlen marktführendem System in Deutschland.

Die Fokusthemen Klimaschutz/Reduzierung von Treibhausgasemissionen und Kreislauffähigkeit/Ressourceneffizienz zeigen über welche großen Chancen und Potenziale der Baustoff Kalksandstein verfügt, um ganz wesentliche Beiträge zu mehr ganzheitlicher Nachhaltigkeit in den genannten Fokusthemen zu leisten.

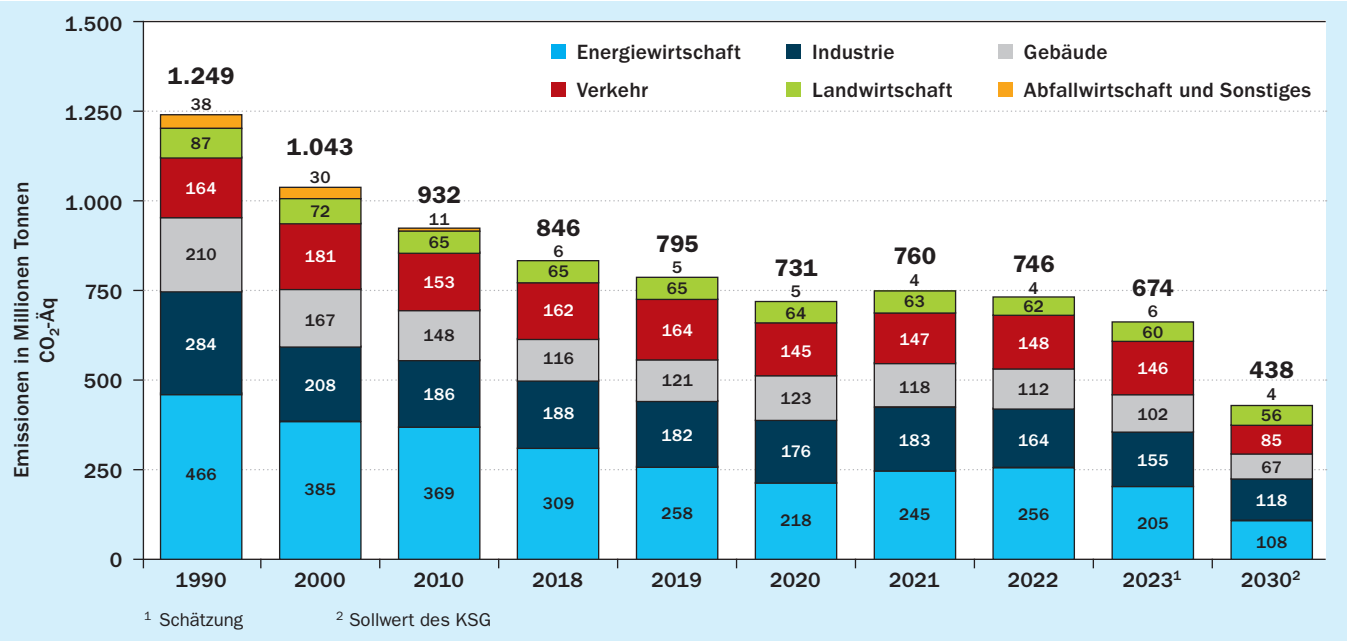


Bild 1 **Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland gemäß Sektoren des Klimaschutzgesetzes (KSG) [3]**

DGNB der Version 2023

Das DGNB-System fokussiert die Themen Klimaschutz/Reduzierung von Treibhausgasemissionen und Kreislauffähigkeit/Ressourceneffizienz und ergänzt diese auch um Aspekte der Klimaresilienz oder einer digitalisierten Projekt- und Objektdokumentation. Dazu werden einige bisherige Kriterien gestrichen oder deren Inhalte selektiv „umverteilt“ und insbesondere neue Kriterien und Bewertungsinhalte integriert.

Neu ist auch eine deutliche Ausweitung von Mindestanforderungen an die grundlegende Zertifizierbarkeit von Gebäuden und die Aufnahme von (weiteren) Mindestanforderungen an eine Zertifizierung in der höchsten Zertifikatsstufe Platin.

Auch Suffizienzthemen finden verstärkt Einzug ins System, indem u.a. bei der Betrachtung des thermischen Komforts eine Fokussierung auf die Kühlperiode erfolgt und der Aspekt des Schallschutzes nur noch zwischen fremden Nutzungseinheiten eines Gebäudes im Rahmen der raumakustischen Bewertung adressiert wird.

Eine angepasste Kalibrierung der Gewichtung der Querschnittsqualitäten Technik und Prozesse rundet die Weiterentwicklungen in der DGNB ab.

2. Grundlagen der deutschen Systeme zur Nachhaltigkeitsbewertung

2.1 Ganzheitlicher Bewertungsansatz

Die Landschaft an (nationalen) Bewertungs- und -zertifizierungssystemen für nachhaltige Gebäude in Deutschland wird von folgenden Systemanbietern bzw. -trägerschaften repräsentiert:

- der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB)
- dem Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (NaWoh)
- dem Bau-Institut für Ressourceneffizientes und Nachhaltiges Bauen GmbH (BiRN)
- dem ressortzuständigen Bauministerium (BMWSB) als Anbieter und Träger des hoheitlichen Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB)

Internationale System wie

- die britische Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) und
- das US-amerikanische Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

haben für die deutsche Wohnungswirtschaft nur eine untergeordnete Bedeutung und bisher auch keine Relevanz für die BEG-Förderung/das QNG-Siegel.

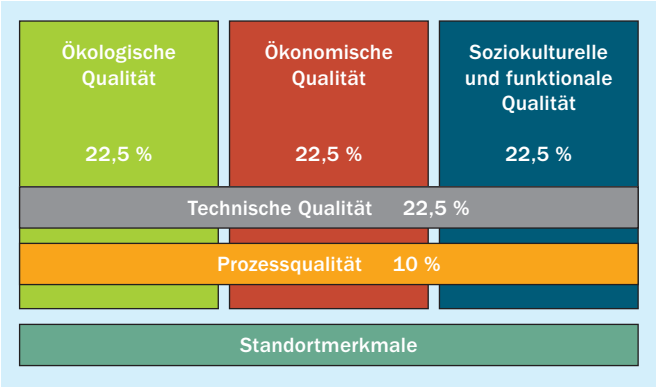


Bild 2 Nachhaltigkeitsdefinition und Grundstruktur BNB-System [5]

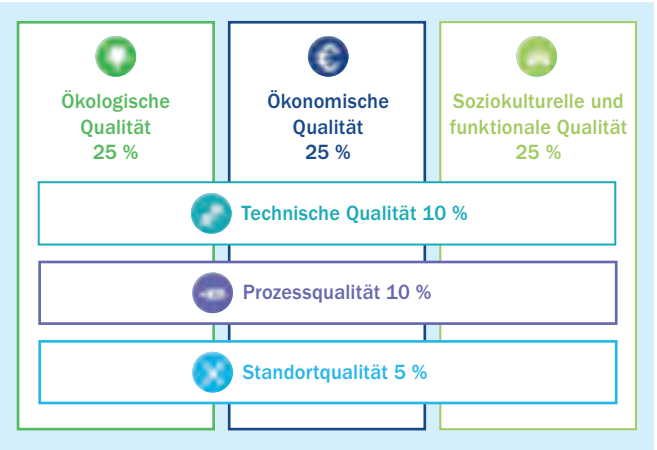


Bild 3 Nachhaltigkeitsdefinition und Grundstruktur DGNB-System [6]

2.1.1 Systemgrundlagen und Kriterienübersicht der Basis-Systeme BNB und DGNB

Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes (BNB-System) als öffentlicher und das System der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB-System) als privatwirtschaftlicher Strang des damaligen Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen mit gemeinsamem Entwicklungs- und Markteinführungsursprung verfolgen von Anfang an einen ganzheitlichen Ansatz bei der Bewertung (und anschließenden Zertifizierung) der Nachhaltigkeitsqualität von Gebäuden. Dies zeigt sich daran, dass

- die Definition der Nachhaltigkeit von Gebäuden das allgemein anerkannte Drei-Säulen-Modell aus gleichwertiger Ökologie, Ökonomie und Soziokultur widerspiegelt, vervollständigt um sogenannte Querschnittsqualitäten (Technische- und Prozessqualität) und Qualitäten des Standorts (Bild 2 und 3)
- die weitere Strukturierung und Konkretisierung über sogenannte Bewertungskriterien je Säule bzw. Qualität erfolgt und
- jedes Kriterium über Indikatoren inklusive entsprechender Bewertungsmethoden und Benchmarks quantifiziert und operationalisiert wird.

Ökologische Qualität nach DGNB-Kriterien-System Version 2023

Ökobilanz des Gebäudes

Ziel: konsequent lebenszyklusorientierte Planung von Gebäuden, um die Treibhausgasbilanz, weitere emissionsbedingte Umweltwirkungen und den Verbrauch von endlichen Ressourcen über alle Lebenszyklusphasen hinweg auf ein Minimum zu reduzieren

Indikatoren:
- Optimierung CO_2-Bilanz in Planung
- Emissionsbilanz CO_2
- weitere Ökobilanz-Indikatoren

Risiken für die lokale Umwelt

Ziel: Reduzierung/Vermeidung/Substitution aller gefährdenden oder schädigenden Werkstoffe, (Bau-)Produkte sowie Zubereitungen, die Mensch, Flora und Fauna beeinträchtigen und/oder schädigen können

Indikatoren:
- Umweltverträgliche Materialien

Verantwortungsbewusste Ressourcengewinnung

Ziel: Verwendung von Produkten im Gebäude und dessen Außenanlagen, die hinsichtlich ökologischer und sozialer Auswirkungen über die Wertschöpfungskette transparent sind und deren Rohstoffgewinnung und Verarbeitung anerkannten ökologischen und sozialen Standards entsprechen

Indikatoren:
- Verantwortungsbewusst gewonnene Rohstoffe
- Sekundärrohstoffe
- weitere Ökobilanz-Indikatoren

Trinkwasserbedarf/ Abwasseraufkomen

Ziel: Erhalt des natürlichen Wasserkreislaufs sowie Reduktion des Trinkwasserbedarfs (Regen-/Grauwassernutzung)

Indikatoren:
- Wassernutzungskonzept
- Vergleichswerte Trinkwasserbedarf/ Abwasseraufkommen
- Außenanlagen
- Integration in Quartiersinfrastruktur

Flächeninanspruchnahme

Ziel: Verringerung der zusätzlichen Inanspruchnahme von Flächen für bauliche Nutzungen und Begrenzung der Bodenversiegelung nicht bebauter Flächen

Indikatoren:
- Flächeninanspruchnahme
- Versiegelungsgrad und Ausgleichsmaßnahmen
- Bodenqualitätssteigerung (Sanierung/ Dekontamination)

Biodiversität am Standort

Ziel: Erhaltung und Förderung biologischer Vielfalt im lokalen Kontext

Indikatoren:
- Biodiversitätsstrategie
- Lebensraum und Vegetation
- Umgebungsbezug
- Reduzierung negativer Einflüsse
- Pflege und Monitoring

Bild 4 **Inhaltsüberblick Themenfeld Ökologie im DGNB-System**

Das Themenfeld (für DGNB) *Ökologie* adressiert die Bewertungsaspekte ökobilanzieller Umweltwirkungen über den Gebäudelebenszyklus (u.a. CO_2-Fußabdruck als Treibhausgaspotenzial in CO_2-Äquivalenten), der nachhaltigen Ressourcenverwendung/ Ressourceneffizienz (inklusive der Ressource Wasser) und der Materialökologie/Baubiologie (bzgl. Verwendung möglichst gesundheitsverträglicher/umweltschonender Bauprodukte) sowie ergänzend der Biodiversität (Bild 4).

INFO

Der Baustoff Kalksandstein beinhaltet keine umweltgefährdenden oder schädigende Inhaltsstoffe und zeichnet sich durch eine extreme Langlebigkeit aus.

Ökonomische Qualität nach DGNB-Kriterien-System Version 2023

Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus

Ziel: Minimierung der Kosten von Gebäude über deren gesamten Lebenszyklus

Indikatoren:
- Lebenszykluskostenrechnungen in der Planung
- Energie- und Klimabilanz im Betrieb
- Benchmarking Lebenszykluskosten

Wertstabilität und Anpassungsfähigkeit

Ziel: Schaffung von Gebäuden mit möglichst hoher Nutzungsakzeptanz und langfristigem Marktpotenzial und Vorsorge für langfristige Wertstabilität

Indikatoren:
- Standortanalyse und Gebäudekonzept
- Anpassungsfähigkeit/Drittverwendbarkeit
- Nutzungsgrad/Vermietungsquote
- Flächeneffizienz

Klimaresilienz

Ziel: Schutz von Personen und Gebäuden sowie Gewährleistung langfristiger Nutzbarkeit und Anpassung an den Klimawandel

Indikatoren:
- Klimarisiken am Standort
- Gebäudekonzept und Risikoadaption
- Anpassung an den Klimawandel
- Maßnahmen gegen weitere Standort-Risiken

Dokumentation

Ziel: zur reelen Bauausführung adäquate Dokumentation der digitalen Bauplanung

Indikatoren:
- vollständige Revisionsdokumentation
- Betreiberinformationen
- Planung mit BIM
- Verfügbarkeit und Pflege eines digitalen Zwillings

Bild 5 **Inhaltsüberblick Themenfeld Ökonomie im DGNB-System**

Das Themenfeld *Ökonomie* thematisiert einerseits den Aspekt der gebäudebezogenen Kosten über den gesamten Lebenszyklus, andererseits ergänzend auch die Wertstabilität im Sinne einer möglichst hohen Nutzungsflexibilität und Anpassungsfähigkeit eines Gebäudes (Bild 5).

INFO

Kalksandstein als robuster und wartungsfreier Wandbaustoff ermöglicht eine der wirtschaftlichsten Wandkonstruktionen.

Soziokulturell-funktional steht der Mensch als Gebäudenutzer im Fokus, abgebildet z.B. über eine Bewertung der thermischen, akustischen und visuellen Komfortbedingungen sowie der Raumluftqualität (als wichtige Grundvoraussetzung der Nutzergesundheit) und der barrierefreien Nutzbarkeit eines Gebäudes (Bild 6).

INFO

Gebäude aus Kalksandstein tragen durch die hohe Masse zu einem sehr guten Schallschutz und einem hohen thermischen Komfort bei. Sie sorgen für ein behagliches Wohnraumklima und eine sehr gute Raumluftqualität.

In der ersten Querschnittsqualität der *Technik* werden vor allem bauliche/technische Voraussetzungen für möglichst reduzierte Umweltwirkungen über den Lebenszyklus (Wärmeschutz) und für eine möglichst hohe Ressourceneffizienz (Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit bzw. zirkuläres Bauen) inklusive Mobilitätsaspekten (Merkmale der Mobilitätsinfrastruktur) thematisiert (Bild 7).

INFO

Die funktionsgetrennte Kalksandstein-Bauweise mit separater Trag-, Dämm-,, und Witterungsschicht ermöglicht die nachhaltige Optimierung der Außenwand.

In der zweiten Querschnittsqualität der *Prozesse* geht es um prozessuale Voraussetzungen in Planung, Bauausführung und Inbetriebnahme für ein möglichst nachhaltiges Ergebnis eines Projekts (Bild 8).

INFO

Eine optimale Planung mit Kalksandstein als Normprodukt trägt dazu bei, dass den Kriterien der Prozessqualität z.B. der Abfallvermeidung Rechnung getragen wird.

Abschließend werden unter der *Standortqualität* zum einen nachhaltigkeitsrelevante Merkmale des Standorts in Sachen Attraktivität (z.B. Verkehrsanbindung, Nähe zu nutzungsrelevanten Einrichtungen, etc.) gebündelt und zum anderen Risiken für ein Gebäude inklusive einer Betrachtung von möglichen (konstruktiven/baulichen/technischen) Gegenmaßnahmen und

Soziokulturell und funktionale Qualität nach DGNB-Kriterien-System Version 2023

Thermischer Komfort

Ziel: Gewährleistung eines thermischen Komforts im Winter und im Sommer, der der vorgesehenen Nutzung entspricht und für angemessene Behaglichkeit sorgt

Indikatoren:
- Operative Temperatur Kühlperiode
- Rel. Luftfeuchte Heiz-/Kühlperiode
- Zugluft Kühlperiode
- Temperaturasymmetrie/Fußbodentemperatur – Einflussnahme Nutzer

Innenraumluftqualität

Ziel: Gewährleistung einer Luftqualität im Innenraum, die das Wohlbefinden und die Gesundheit der Nutzer nicht beeinträchtigt

Indikatoren:
- Innenraumhygiene (VOCs)
- Lüftungsrate

Schallschutz und akustischer Komfort

Ziel: Gewährleistung eines der Nutzung der Räume entsprechenden Schallschutzes, der unzumutbare Belästigungen vermeidet und einen angemessenen Nutzungskomfort sicherstellt

Indikatoren:
- Bauakustik: Einhaltung normativer Schallschutz
- Raumakustische Konzeption
- Raumakustik: Einhaltung normativer Anforderungen/Empfehlungen

Visueller Komfort

Ziel: Ausreichende und störungsfreie Versorgung mit Tages- und Kunstlicht in allen ständig genutzten Innenräumen

Indikatoren:
- Tageslichtverfügbarkeit Gesamtgebäude und ständige Arbeitsplätze
- Sichtverbindung nach außen
- Blendfreiheit bei Tageslicht
- Kunstlicht
- Besonnung

Aufenthaltsqualitäten innen und außen

Ziel: Angebot eines Innen- und Außenraums mit möglichst vielseitigen Aufenthaltsmöglichkeiten und guter Ausstattungsqualität

Indikatoren:
- Kommunikationsfördernde Angebote
- Zusätzliche Angebote für Nutzer
- Familien-, Kinderfreundlichkeit
- Aufenthaltsqualität innere Erschließung
- Gestaltungskonzept Außenraum
- Ausstattungsmerkmale

Barrierefreiheit

Ziel: uneingeschränkte Zugänglichkeit und Nutzbarkeit der gebauten Umwelt für jeden Menschen, unabhängig von persönlicher Situation

Indikatoren:
- Qualität und Ausmaß der Barrierefreiheit, nach diskreten Qualitätsstufen inkl. formeller Mindestanforderungen für Nachhaltigkeitszertifizierung

Bild 6 Inhaltsüberblick Themenfeld Soziokultur und Funktionalität im DGNB-System

Technische Qualität nach DGNB-Kriterien-System Version 2023

Qualität der Gebäudehülle

Ziel: Ausschöpfung des gesamten Potenzials der Gebäudehülle bzgl. Minimierung Energiebedarfe, Sicherstellung thermischer Komfort und Vermeidung von Bauschäden sowie bzgl. Energieerzeugung auf „erweiterter" Außenfläche

Indikatoren:
- Potenzialanalyse Gebäudehülle-Transmission über Gebäudehüllfläche
- Luftdichtheit
- Sommerlicher Wärmeschutz
- Qualitätssicherung

Einsatz/Integration von Gebäudetechnik

Ziel: Gebäudekonzeption mit optimaler Nutzung passiver Systeme und Einbindung regenerativer Energien sowie Anpassbarkeit an wechselnde Nutzungsbedingungen und veränderte Bedingungen im umgebenden Quartier

Indikatoren:
- Passive Systeme
- Anpassbarkeit der Verteilung auf Betriebstemperaturen für Integration erneuerbare Energien
- Zugänglichkeit TGA
- Integrierte Systeme

Zirkuläres Bauen

Ziel: Sparsamer Umgang mit natürlichen Ressourcen und deren effiziente Nutzung

Indikatoren:
- Standort- und Bestandsanalyse
- Konzeptionsphase
- Ausführung und Dokumentation

Mobilitätsinfrastruktur

Ziel: Sparsamer Umgang mit natürlichen Ressourcen bei Infrastrukturdimensionierung, Reduktion verkehrsbedingter Emissionen, Steigerung des Nutzerkomforts und Stärkung von Mobilitätsangeboten

Indikatoren:
- Mobilitätskonzept
- Infrastrukturen inkl. alternativer Antriebstechnologien
- Benutzerkomfort

Bild 7 Inhaltsüberblick Themenfeld Technik im DGNB-System

Prozessqualität nach DGNB-Kriterien-System Version 2023

Qualität der Projektvorbereitung

Ziel: Erreichung einer bestmöglichen Gebäudequalität durch optimierte Planungsprozesse und frühzeitige Definition relevanter Rahmenbedingungen

Indikatoren:
- Bedarfsplanung
- Information der Öffentlichkeit
- Pflichtenheft

Nachhaltigkeit in Ausschreibung und Vergabe

Ziel: frühzeitige Integration der Nachhaltigkeitsqualitäten in die Ausschreibungsphase zur Sicherstellung eines entsprechenden Bausolls

Indikatoren:
- Qualitätsstufen je nach Integrationsgrad/-modus in Ausschreibung und Vergabe

Städtebauliche und gestalterische Konzeption

Ziel: Steigerung der gestalterischen Qualität der gebauten Umwelt als Basis für hohe baukulturelle Qualität und langfristige Nutzerakzeptanz

Indikatoren:
- Variantenuntersuchung oder
- Planungswettbewerb
- Einbindung Gestaltungsgremien

Baustelle/Bauprozess

Ziel: Minimierung negativer Auswirkungen auf die lokale Umwelt während der Bauphase

Indikatoren:
- Lärmarme Baustelle
- Staubarme Baustelle
- Boden-/Grundwasserschutz
- Abfallarme Baustelle
- Kommunikation
- Ressourcenschutz
- Schimmelpilzprävention

Geordnete Inbetriebnahme

Ziel: Überführung Gebäude in geordneten Betrieb, optimal gestalteter Gebäudebetrieb und planungsgem. Gebäudeperformance

Indikatoren:
- Technisches Monitoring in Planung
- Technisches Monitoring im Bau
- Probebetrieb
- Technisches Monitoring in erster Nutzungsphase
- Inbetriebnahmemanagement
- Gebäudeperformance

FM-gerechte Planung

Ziel: Berücksichtigung von Facility Management-Anforderungen bereits in Planung als Basis für optimalen Gebäudebetrieb

Indikatoren:
- FM-Check
- Wartungs-, Inspektions-, Betriebs-, Pflegeanleitungen
- Betreiberhandbuch
- Nutzerhandbuch und Befragungen
- Informationssystem Nachhaltigkeit
- Betriebskostenprognose

Bild 8 Inhaltsüberblick Themenfeld Prozessqualität im DGNB-System

Standortqualität nach DGNB-Kriterien-System Version 2023

Mikrostandort

Ziel: Generierung von strategischem Wissen zu spezifischen Standortbedingungen für Planungs- und Nutzungsphase Gebäude

Indikatoren:
- Klimarisikoanalyse
- Risikobewertung
- Bewertung weiterer äußerer Einflüsse (z.B. Luftqualität)

Verkehrsanbindung

Ziel: Förderung einer zukunftsfähigen und vielfältigen Mobilität für Gebäudenutzer und nachhaltige Verkehrsinfrastruktur

Indikatoren:
- Motorisierter Individualverkehr
- ÖPNV
- Radverkehr
- Fußgängerverkehr + Barrierefreiheit

Nähe zu nutzungsrelevanten Objekten und Einrichtungen

Ziel: Optimale Versorgung ermöglicht der Gebäudenutzer durch nahe, gut erreichbare soziale und erwerbswirtschaftliche Infrastruktur

Indikatoren:
- soziale Infrastruktur (Kinderbetreuung, Schulen, etc.)
- erwerbswirtschaftliche Infrastruktur (Nahversorgung, etc.)

Bild 9 Inhaltsüberblick Themenfeld Technik im DGNB-System

Kompensationen im Sinne einer möglichst hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber möglichen Schadensereignissen (Resilienz) [7] (Bild 9) bewertet.

INFO

Konstruktionen aus Kalksandstein weisen eine ausgesprochene Widerstandsfähigkeit gegenüber potentiellen Schadensergebnissen aus veränderten Umweltbedingungen auf.

2.1.2 Grundlagen der Systeme NaWoh und BNK/BNG

Mit dem System Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) des gleichlautenden o.g. Vereins und dem Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnhausbau/ für Nachhaltige Gebäude (BNK|BNG) des Bau-Instituts für Ressourceneffizientes und Nachhaltiges Bauen (BiRN) wurde der öffentliche Systemstrang des BNB insofern weiterentwickelt, als damit Wohngebäude der Größenklassen Mehrfamilienhäuser ab sechs Wohneinheiten (NaWoh) sowie Ein- und Mehrfamilienhäuser bis 5 (BNK) und seit 2023 auch Mehrfamilienhäuser ab 6 Wohneinheiten (BNG) bewertet und zertifiziert werden sollen (Bild 10, 11). Im Prinzip wurden

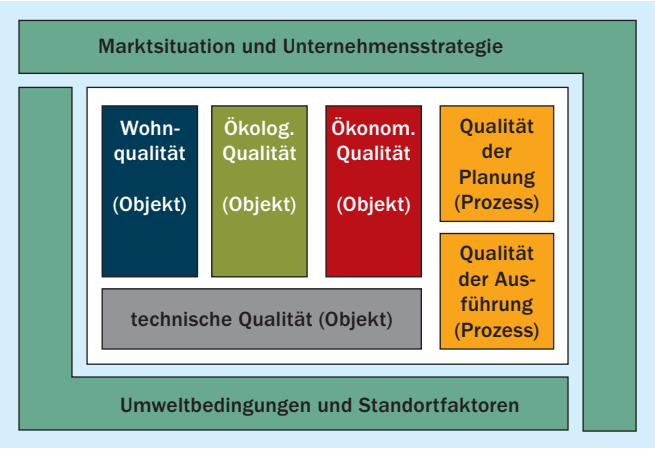


Bild 10 Nachhaltigkeitsdefinition und Grundstruktur NaWoh [8]

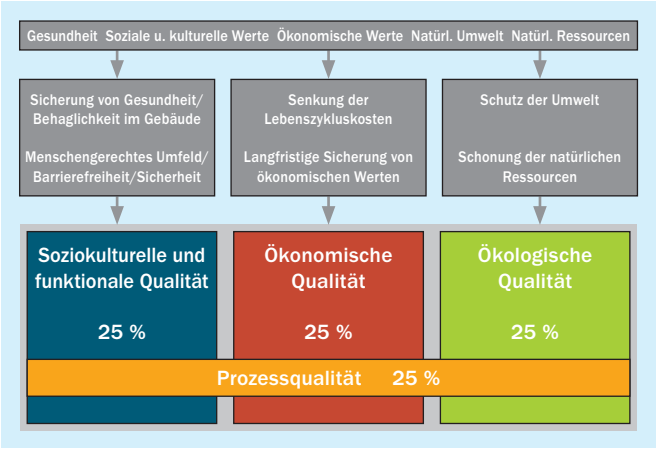


Bild 11 Nachhaltigkeitsdefinition und Grundstruktur BNK/BNG [9]

ähnliche Strukturen und Kriterien der Bewertung wie in DGNB und BNB verwendet (Bild 2, 3), jedoch speziell zusammengestellt für wohnungswirtschaftliche Randbedingungen – für das BNK|BNG wegen des (ursprünglichen) Systemeinsatzes für kleinere Gebäude/Bauvorhaben insbesondere auch bezüglich einer Aufwandsreduzierung durch angepasste Kriterienanzahl und Bewertungsdetails. Bei NaWoh ist ferner zu erwähnen, dass das System neben Bewertungskriterien ergänzend auch lediglich beschreibende Kriterien umfasst, sowie, dass weder ein Gesamterfüllungsgrad/-ergebnis ausgewiesen wird (Ziel ist der Nachweis der Einhaltung von (Mindest-)Anforderungen) noch Qualitäts-/Zertifikatsstufen vergeben werden.

Mit Blick auf die Bewertungstabellen und Gewichtungsmatrizen der o.g. Zertifizierungssysteme (mit Ausnahme NaWoh), d.h. letztlich die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kriterien, kann konstatiert werden, dass es trotz des ganzheitlichen Bewertungs- und -zertifizierungsansatzes einige wenige herausragend bedeutsame Kriterien gibt. Als eines davon kann mit zweistelligen Gesamtergebnisanteilen (DGNB: ca. 10 % | BNB: 12,5 % | BNK: ca. 15 %) sicherlich das Bewertungselement einer sogenannten Ökobilanz (eines Gebäudes über dessen Lebenszyklus) bezeichnet werden.

2.2 Bewertungsmethodik der lebenszyklusorientierten Ökobilanzierung

Im Wesentlichen wird durch eine Ökobilanz ermittelt, welches Ausmaß definierter Umweltwirkungen (u.a. Treibhausgaspotenzial als Beitrag zur globalen Erwärmung) ein Gebäude über seinen vollständigen Lebenszyklus hinweg, d.h. bei Herstellung von Bauprodukten, durch seine Errichtung, bei Nutzung und Betrieb und bei Rückbau/Verwertung (End of Life), verursacht.

Normung zur Methodik der Ökobilanzierung

Eine entsprechende Ökobilanzierung (*engl.: Life Cycle Assessment; kurz: LCA*) nach DIN EN ISO 14040 und 14044 stellt bereits seit vielen Jahren eine etablierte Methodik zur Quantifizierung und Beurteilung (potenzieller) Umweltwirkungen eines „Produktsystems“ im Verlauf dessen Lebensweges dar. Insbesondere auch in der Bau- und Immobilienwirtschaft ist eine LCA heute ein anerkannter Standard des Umweltmanagements.

DIN EN ISO 14040/14044 normieren und konkretisieren insbesondere die abgrenzbaren Phasen einer Ökobilanzierung (Bild 12) und die nötigen allgemeinen inhaltlichen Festlegungen für die Arbeitsschritte innerhalb dieser Phasen.

LCA-Phasen

Ziel/Untersuchungsrahmen: Festlegungen zu funktioneller Einheit, Systemgrenzen, Abschneidekriterien, Wirkungskategorien/-indikatoren

Sachbilanz: Bestandsaufnahme des Bilanzobjekts, d.h. Quantifizierung aller In- und Output-Flüsse über Lebensweg eines Produkt(-system)s

Wirkungsabschätzung: Verknüpfung der Sachbilanzdaten mit ökologischen Wirkungskategorien

Auswertung: Ableitung von Schlussfolgerungen bzgl. übergeordneter Zielstellung, schlüssige Ergebnisdarstellung

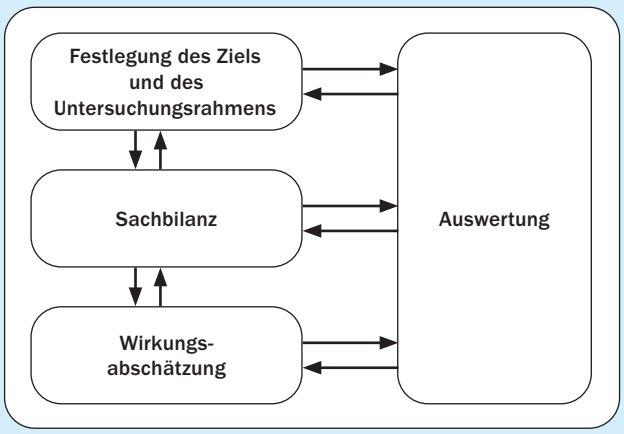


Bild 12 Phasen Ökobilanz DIN EN ISO 14040/14044

Mit der DIN EN 15978 liegt eine gebäude-/bauwerksspezifische Konkretisierung der allgemeinen normativen Vorgaben vor, über die etwa Festlegungen zu den Lebenszyklusstadien eines Gebäudes (Bild 13) oder zu den zu verwendenden ökobilanziellen Basisdaten erfolgen. Weitere Ausführungen zu Grundlagen der Methodik der Ökobilanzierung sind in [10] zu finden.

Ökobilanzierung in deutschen Systemen zur Nachhaltigkeitsbewertung

Auf dieser Basis nehmen die o.g. Bewertungs- und -zertifizierungssysteme dann weitere spezifische Anpassungen vor, die vor allem einer gesteigerten Anwendbarkeit und Praxistauglichkeit dienen sollen – dazu zählen u.a.:

- Vorgaben für nicht zu bilanzierende Lebenszyklusmodule eines Gebäudes (vgl. exemplarisch Bild 13 gemäß Vorgaben des DGNB-Systems [6])
- Vorgaben für mögliche Rechenverfahren zur Herstellungsphase/Module A1 bis A3 (Vereinfachtes versus Vollständiges Rechenverfahren | detaillierte Erläuterungen zu Rechenverfahren zur Herstellungsphase werden in [10] beschrieben)
- Vorgaben zum Bilanzierungszeitraum, d.h. dem zeitlichen Gebäudelebenszyklus
- Vorgaben für zu betrachtende Umweltwirkungen, sogenannte Umweltindikatoren

INFO

Während der Nutzungsphase (Modul B1) nehmen Kalksandsteine CO_2 aus der Luft auf und bauen dies dauerhaft und fest in ihr Gefüge ein. Die Menge an aufnehmbaren CO_2 beträgt rund 50 kg CO_2/t Kalksandsteinmaterial.

Hinweis zu nicht deklarierten Lebenszyklusmodulen

Der Verzicht auf die bilanzielle Abbildung von Lebenszyklusmodulen (Nicht-Deklaration) wie A4 bis A5 (Errichtungsphase) oder C1 (Rückbau/Abriss) im Rahmen einer Gebäudeökobilanz (z.B. im DGNB-System) hat vor allem Gründe der Anwendungspraxis und Datenverfügbarkeit sowie einer Aufwands-Nutzen-Abwägung. Beispielsweise erfordert die Erhebung von Daten zu allen Transport-/Liefervorgängen zu und von Baustellen einen enormen Aufwand, bei erfahrungsgemäß nur marginalem Ergebnisbeitrag zur Ökobilanz eines Gebäudes über dessen Lebenszyklus.

Gleichwohl weist die Reihung der deklarierten Module in Bild 13 auch Lücken auf, die geschlossen werden sollten, um eine Konsistenz in der Abbildung von u.a. CO_2-Speichereffekten sicherzustellen. In diesem Sinne sollte der Effekt der sog. Recarbonatisierung von mineralisch basierten bindemittelgebundenen Bauprodukten in der Gebäudeökobilanz, konkret: im Modul B1, abgebildet werden.

Im Kern besteht die Methodik der Ökobilanzierung dann darin, im Rahmen der Sachbilanz alle (relevanten) Input- und Output-Flüsse zur Erstellung eines Gebäudes (inklusive Vorketten zur Herstellung der Bauprodukte), zu dessen Betrieb und zum Rückbau und Verwertung zu bestimmen. Diese Sachbilanz-Ergebnisse sind dann im Zuge der Wirkungsabschätzung bestimmten ökologischen Wirkungskategorien (z.B. Treibhausgaspotenzial; *engl.: Global Warming Potential; kurz: GWP*) und ökobilanziellen Basisdaten zuzuordnen und die Wirkungskategorien in adäquate Indikatoren zu übersetzen (z.B. CO_2-Äquivalente für GWP). Vereinfacht ausgedrückt muss dazu lediglich eine Multiplikation der Sachbilanzergebnisse, d.h. der Menge (Masse, Volumen, etc.) eines Bauprodukts, mit ökobilanziellen Basisdaten, d.h. beispielsweise CO_2-Äquivalenten je Mengeneinheit des Bauprodukts, durchgeführt werden – gefolgt von der Addition von Zwischenergebnissen je Bauteil, Bauteilgruppe und Lebenszyklusmodul hin zum Gesamtgebäude-Ergebnis.

Lebenszyklusphase	A 1-3 Herstellungsphase			A 4-5 Errichtungsphase		B 1-7 Nutzungsphase							C 1-4 Ende des Lebenszyklus				D Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze
	Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung/Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau/Abriss	Transport	Abfallverwertung	Entsorgung	Potenzial für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling
Module gemäß DIN EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Deklarierte Module	X	X	X						(X)		X				X	X	X

Bild 13 **Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach DIN EN 15978**

Die folgende Abbildung (Bild 14) verdeutlicht die Methodik der Ökobilanzierung schematisch und beispielhaft für das konstruktive Bauteil einer beidseitig verputzten Innenwand aus Kalksandstein als konstruktives Element des MFH-Typengebäudes aus Bild 23.

Die Beurteilung der ökobilanziellen Qualität eines Gesamtgebäudes über den Lebenszyklus erfolgt in den o.g. Systemen dann über einen Abgleich mit definierten Vergleichswerten (*Benchmarks*) für Umweltwirkungen wie das Treibhausgaspotenzial.

Ökobilanzielle Beispiel-Rechnung für Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äq.)

Objekt:
MFH-Typengebäude, ca. 1.000 m² Netto Raumfläche (NRF)
Lebenszyklus 50 Jahre
Bauteil Innenwände: ca. 450 m² KS-Innenwand, 11,5 cm, Rohdichteklasse (RDK) 1,8, beidseitig 15 mm Kalk-Innenputz

Massenermittlung:
Kalksandstein 450 m² · 0,115 m · 1,8 t/m³ = 93,2 t
Kalk-Innenputz 450 m² · 0,015 m = 6,8 m³

Nutzungsdauern:
Kalksandstein + Innenputz ≥ 50 Jahre
➔ kein Austausch erforderlich

LCA-Datensatz Kalksandstein aus EPD KS-Bundesverband:
Herstellung: Modul A1-A3 126 kg CO_2-Äq. pro t

End of Life:
gewählt: Szenario der Abfallbehandlung zur stofflichen Wiederverwertung C3/1 2,51 kg CO_2-Äq. pro t
Informativ: Modul D *-2,71 kg CO_2-Äq. pro t*

LCA-Datensatz für Kalk-Innenputz (in kg CO_2-Äq. pro m³) aus Ökobaudat:
Herstellung: 191 | End of Life: 13,5 | Modul D: 0

Gebäude	Schicht	Bauteil	Material	Einheit	Herstellung	Nutzung	End of Life	Modul D
				Ökobilanzielle Basisdaten – z.B. Treibhausgaspotenzial GWP aus Ökobaudat				
MFH	Wände	Innenwände	Innenputz	GWP/m³	... kg CO_2-Äq.	... kg CO_2-Äq.	... kg CO_2-Äq.	... kg CO_2-Äq.
			KS-Mauerwerk	GWP/kg	... kg CO_2-Äq.	... kg CO_2-Äq.	... kg CO_2-Äq.	... kg CO_2-Äq.
			Innenputz	GWP/m³	... kg CO_2-Äq.	... kg CO_2-Äq.	... kg CO_2-Äq.	... kg CO_2-Äq.
	Decken	Stahlbetondecke Erdgeschoss	Estrichbeton	GWP/...	... kg CO_2-Äq.			
			Trittschalldämmung	GWP/...				
			Beton	GWP/...				
			Stahl	GWP/...				
	Dach							

Beispielrechnung für die Innenwände

Bauteil	Baustoff		Herstellung		Nutzung		End of Life		Ergebnis Bauteil		Nutzungsdauer		Fläche Gebäude		Ergebnis Gebäude
Innenwände Material	Menge/ Gebäude		GWP/... kg CO_2-Äq.		GWP/... kg CO_2-Äq.		Innenwände Material		GWP/Bauteil kg CO_2-Äq.		50 Jahre		m² NRF		GWP/m² NRF kg CO_2-Äq.
Innenputz	6,8 m³	·	191	+	entfällt, > 50 Jahre	+	13,5	→	1.390	÷	50	÷	1.000	→	0,028
KS-Mauerwerk	93,2 t	·	126	+	entfällt, > 50 Jahre	+	2,51	→	11.977	÷	50	÷	1.000	→	0,239
Innenputz	6,8 m³	·	191	+	entfällt, > 50 Jahre	+	13,5	→	1.390	÷	50	÷	1.000	→	0,028
Innenwände															**0,295**
Decken															.....
Dach															.....
Gesamt															.....

Bild 14 Methodik der Ökobilanzierung

3. Umweltproduktdeklarationen als Datenbasis der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung von Baustoffen und Gebäuden

3.1 Grundlagen

Der methodische Kern einer Gebäude-Ökobilanz besteht gemäß Darstellung unter Abschnitt 2.2 in der Kopplung von Input-/Output-Flüssen des Gebäudelebenszyklus mit ökobilanziellen Basisdaten zu bestimmten Wirkungsindikatoren, z.B. CO_2-Äquivalenten für das Treibhausgaspotenzial. Deshalb sind eine Ökobilanzierung wie übergeordnet eine ökologische Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden nur möglich, wenn entsprechende ökobilanzielle Basisdaten für Bauprodukte/-materialien sowie Transport-, Energie- und Entsorgungsprozesse vorliegen und für Ersteller von Ökobilanzen verfügbar sind.

Als solche grundsätzlich verbindlich vorgeschriebene Datenbasis fungiert(e) für die deutschen Bewertungs- und Zertifizierungssysteme von Beginn an (seit Markteinführung im Jahr 2008/2009) und nach wie vor die Ökobaudat. Sie stellt als frei verfügbare und kostenfreie Online-Plattform in Trägerschaft des ressortzuständigen Bundesbauministeriums Daten sowie weiteren Informationen und Links rund um die Ökobilanzierung von Gebäuden zur Verfügung. Grundsätzlich gilt sie als vorgeschriebene Datenbasis für Ökobilanzen im Zuge der deutschen Bewertungs- und Zertifizierungssysteme.

Hinweis für Anwender
Trotz Positionierung der Ökobaudat als grundsätzliche Datenbasis für Ökobilanzen im Rahmen von z.B. DGNB-Zertifizierungen ist gleichwohl vom DGNB-System auch die Verwendung von Ökobilanz-Daten aus EPDs (siehe unten) vorgesehen, und zwar unabhängig davon, ob die Ökobilanz-Daten einer EPD in der Ökobaudat „veröffentlicht“ sind oder nicht. Dies gilt allerdings derzeit (noch) nicht für Zertifizierungsverfahren im Kontext der o.g. BEG-Förderung des o.g. QNG-Siegels: hier ist ausschließlich die Anwendung eines definierten Ausschnitts der Ökobaudat (sog. Ökobilanzierung – Rechenwerte) zulässig.

Die Ökobaudat und ihre Informationen und Tools gehen zurück auf diverse Forschungsprojekte des Innovationsprogramms ZukunftBau. Sie basiert prinzipiell auf der Hintergrunddatenbank GaBi (Ganzheitliche Bilanzierung; Software und Datenbank des kommerziellen Anbieters Sphera) und bietet sowohl sogenannte generische/repräsentative als auch firmen-/verbands-, letztlich produktspezifische Datensätze.

Generisch vs. spezifisch
Generische Daten werden auf Basis von Literaturangaben, Expertenwissen, etc. modelliert. Demgegenüber werden spezifische Daten basierend auf Industriedaten – z.B. hersteller-/unternehmensspezifisch für ein konkretes Produkt, im Durchschnitt für Industrieverbände oder über mehrere Firmen oder Werke/Produktionsstätten hinweg oder für ein Land/eine Region – gebildet [11].

Produktspezifische Datensätze der Ökobaudat resultieren dabei oft aus Umweltproduktdeklarationen (*kurz: EPD; engl.: Environmental Product Declaration*), die normativ eine Typ III-Umweltdeklaration nach ISO 14025 und damit ein verifiziertes/geprüftes und von unabhängigen Dritten vergebenes Umweltzeichen repräsentieren. EPDs stellen umweltbezogene (v.a. auch Ökobilanzdaten; Bild 15) und technisch-funktionale Daten und Eigenschaften eines Produkts oder Produktsystems über den gesamten Lebensweg auf Basis (u.a. normativ) festgelegter Parameter und Randbedingungen zur Verfügung.

Diese festgelegten Parameter und Randbedingungen sollen freilich für das Vertrauen der EPD-nutzenden Marktteilnehmer und -akteure sorgen und bestehen im Wesentlichen aus sogenannten Produktkategorieregeln (*kurz: PCR; engl.: Product Category Rules*), die von den Betreibern/Haltern eines EPD-Programms unter Einbeziehung interessierter Kreise erarbeitet und durch ein unabhängiges Expertengremium geprüft werden. In den PCR sind alle erforderlichen produktspezifischen Regeln, Anforderungen und Prüfverfahren definiert, wobei die DIN EN 15804 eine Art (normative) Produktkategorie-Kernregel auf EU-Ebene darstellt, die für alle Bauprodukttypen gilt und die Grundlage für EU-weit harmonisierte EPDs darstellt.

Die beiden führenden deutschen EPD-Programmhalter das Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) und ift Rosenheim setzen auf

dieser Kernregel mit 2-teiligen eigenen PCR-Dokumenten ihres EPD-Programms auf und regeln in

- Teil A die einheitlichen Rechenregeln für die zu erstellenden Ökobilanzen sowie allgemeine Anforderungen an die EPD-Erstellung,
- Teil B konkrete Anforderungen an die Inhalte einer EPD.

Bild 16 zeigt eine Übersicht dieser grundlegenden Inhalte einer EPD nebst den Basisschritten im Prozess der EPD-Erstellung aus Sicht eines Deklarationsinhabers. Für weitere grundsätzliche Erläuterungen zum Themenfeld der Umweltproduktdeklarationen kann hier auf [13] verwiesen werden.

Bild 16 **Grundlegende Inhalte und Basisschritte der Erstellung einer EPD**

3.2 Umweltproduktdeklarationen des Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Die Mauerwerks- und insbesondere Kalksandsteinindustrie hatte den sich abzeichnenden Trend zur transparenten Darstellung ihrer Produkte und deren Umweltwirkungen früh aufgegriffen und veröffentlicht bereits seit 2009 über das Institut Bauen und Umwelt (IBU) e.V. als Programmhalter EPDs für ihre Mauersteine und -elemente.

Die jüngste Aktualisierung der EPD des Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. wurde Ende 2021 mit der Veröffentlichung der neuen Umweltproduktdeklaration erfolgreich abgeschlossen [12]. Diese Aktualisierung ist der Endpunkt eines Projekts zusammen mit der LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH als Ökobilanzierer, in dem zwischen 2020 und 2021 für die Kalksandsteinindustrie umfassende Datenerhebungen und -analysen der Produktionsprozesse und deren Umweltwirkungen erfolgten.

Im Rahmen dieses Projekts zur EPD-Aktualisierung erfolgte zum einen insbesondere auch eine Umstellung auf den aktuell gültigen Normungsstand der DIN EN 15804: +A2. Dies bedeutete als eine der sichtbarsten Veränderungen, dass nunmehr verpflichtend auch das Lebensende eines Produkts in der EPD abzubilden und dazu die Lebenszyklusmodule der Entsorgungsphase (Module C1 bis C4) sowie Gutschriften/Lasten außerhalb der Systemgrenzen (Modul D) zu deklarieren sind (Bild 13). Zudem musste durch die Aktualisierung der EPD adressiert werden, dass durch die Normumstellung bei der Wirkungsabschätzung, d.h. der „Übersetzung“ der vielen unterschiedlichen Umweltwirkungen respektive Emissionen und Ressourcenverbräuche in definierte Kennzahlen, überarbeitete Faktoren und Modelle vorgeschrieben sind. In diesem Sinne sind die Ergebnisse einer EPD nach alter versus neuer Norm nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichbar.

Zum anderen konnte über die Aktualisierung der EPD vor allem auch eine Integration des Aspekts der sogenannten Recarbonatisierung (Modul B1 Nutzung/Anwendung (eines Produkts)) in die Gesamtbilanz von CO_2-Quellen und -Senken des Bauprodukts eines Kalksandsteins erfolgen.

4. Roadmap für eine treibhausgasneutrale Kalksandsteinindustrie

Klimaschutz im Sinne der Reduzierung von Treibhausgasemissionen, letztlich eine ganzheitliche Dekarbonisierung des Gebäudelebenszyklus, ist einer der Hauptstränge für Nachhaltiges Bauen. Viele Teilindustrien der Bau- und Immobilienwirtschaft haben in den letzten Jahren Roadmaps für ihren Weg in eine klimaneutrale Zukunft aufgesetzt – so auch die Kalksandsteinindustrie [15] [16]. Nicht zuletzt das Engagement der EPD-Erstellung und die erforderlichen zugehörigen branchenweiten Datenerhebungen und -analysen (u.a. auf Basis eines virtuellen Durchschnitts-Werks als Repräsentant für die gesamte Branche) haben die Kalksandsteinindustrie in die Lage versetzt, ihren aktuellen *Status quo* zu bestimmen und Treiber ihrer Klima- bzw. CO_2-Bilanz zu identifizieren, die auf dem Klimaneutralitätspfad bis spätestens 2045 auf Null zu reduzieren sind.

Einflussbereiche und Herausforderungen der Kalksandsteinindustrie

In der Roadmap werden die Treibhausgasemissionen der gesamten deutschen Kalksandsteinindustrie betrachtet. Für die Identifikation der Potenziale zur Dekarbonisierung der industriellen Prozesse ist es aber essentiell, eigene und fremde Einflussbereiche zu kennen und die Quellen von Emissionen in *Scopes* zu strukturieren. Sie gelten als anerkannte grundlegende Vorgehensweise für die Analyse und Bewertung von Emissions-/CO_2-Bilanzen. Für die Bilanzierung von Treibhausgasemissionen hat sich dabei die Strukturierung nach Scope 1-, 2- und 3-Emissionen etabliert

Scope 1-, 2- und 3-Emissionen

- Scope 1 – umfasst die direkte Freisetzung klimaschädlicher Gase im eigenen Unternehmen/eigenen Produktionsstätten
- Scope 2 – die indirekte Emittierung durch Energielieferungen und
- Scope 3 – indirekte Emissionen durch vor- und nachgelagerte Lieferketten.

Übersetzt auf die spezielle Wertschöpfungskette der Kalksandstein-Produktion können die Scopes wie in Bild 17 dargestellt werden – um auf dieser Basis dann die Einflussfaktoren auf die Gesamt-CO_2-Bilanz der Kalksandstein-Produktion herausarbeiten zu können.

Gemäß Datenerhebung und -analyse der in der Roadmap abgebildeten Herstellerwerke stellt sich die Emissionsbilanz wie in Bild 18 gezeigt dar: fast 80 % der branchenweiten Emissionen der Kalksandstein-Produktion sind Scope 3 (vor- und nachgelagerten Lieferketten) zuzuordnen und nur etwas über 20 % entstehen als Scope 1 und 2 in den Herstellerwerken selbst oder durch die Energielieferung in die Herstellerwerke.

Ein tieferer Blick in die Scope 3-Emissionen (Bild 19) zeigt auch, dass diese mit 92 % weit überwiegend von den Emissionen der Kalk-Herstellung bestimmt werden und die Emissionen aus Prozessen des Sandabbaus und der Transporte nur einen sehr geringen Anteil an der Scope 3-Bilanz wie auch an der Gesamt-Bilanz haben. Herausforderungen für die Kalksandsteinindustrie liegen damit bei weitem nicht nur im eigenen Handlungs- und Prozessbereich, sondern maßgeblich auch in der Abhängigkeit von Prozessen und Lieferketten externer Dritter.

Pfade der Roadmap für Treibhausgasneutralität

Ausgehend von dieser Zustandsbestimmung wurden in der Roadmap unterschiedliche Pfade entwickelt, analysiert und bewertet, um den Wandel der eigenen Branche in einen künftigen klimaneutralen Status zu skizzieren. Von den insgesamt drei dargelegten Pfaden dient der erste lediglich als Referenzpfad und definitorischer Vergleichswert für die beiden anderen eigentlichen Transformationswege (Bild 20).

Auf diesem *Referenzpfad* erfolgt prinzipiell eine Fortschreibung des *Status quo* unter Annahme eines *Business as usual:* keine Implementierung neuer Technologien und Prozesse, jedoch Abbildung von Effizienzsteigerungen und notwendiger Modifikationen von Produktionsanlagen und Abbildung bekannter externer Randbedingungen wie der politisch angestrebten Dekarbonisierung des deutschen Strommix bis 2045.

Der *Pionierpfad* als zweite Route innerhalb der Roadmap bildet ab, dass die Branche deutlich größere eigene Anstrengungen betreibt, um eine Klimaneutralität zu erreichen. Der Titel ergibt sich daraus, dass in diesem Szenario sehr innovative Änderungen wie

- eine Umstellung auf Wasserstofftechnologien,
- eine weitgehende Digitalisierung der Produktionsprozesse inklusive Wärmemanagement und
- neue Kalksandstein-Rezepturen mit reduziertem Bindemittel-, d.h. Kalk-Gehalt,

zunächst nur von Vorreitern in der Branche umgesetzt werden. Diese Maßnahmen schlagen sich aber wegen bestehender Restriktionen noch nicht branchenweit nieder. Der Pionierpfad setzt zusätzlich auch Verringerungen der

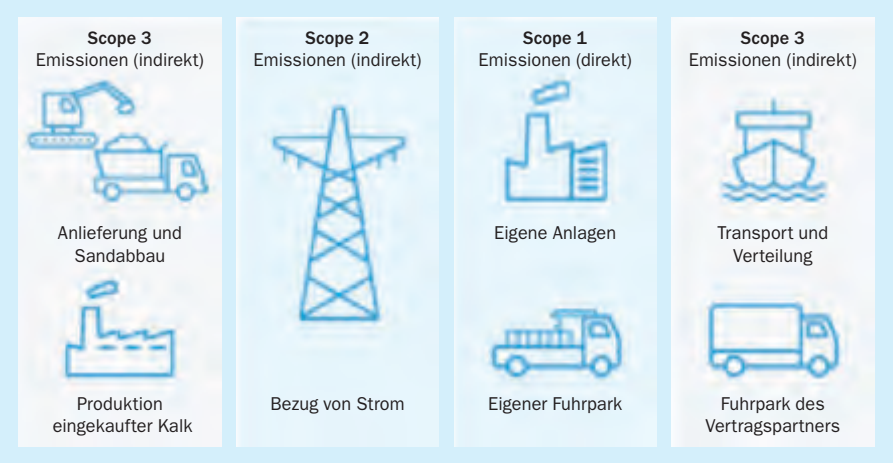


Bild 17 **Scopes 1, 2 und 3 der Wertschöpfungskette Kalksandstein-Produktion [16]**

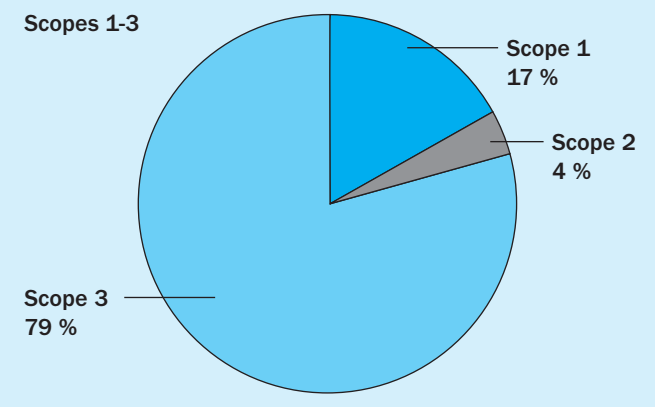


Bild 18 CO_2-Emisssionen der Kalksandstein-Produktion [15] nach Scopes im Basisjahr 2021 [16]

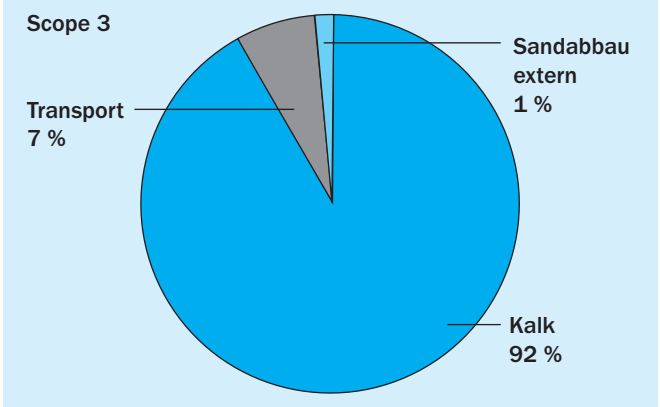


Bild 19 CO_2-Emission der Kalksandstein-Produktion im Basisjahr 2021 [15]

Scope 3-Emissionen voraus, insbesondere im Bereich der Vorketten-Emissionen des Bindemittels Kalk.

Im *Klimaneutralitätspfad* werden dann als Weiterentwicklung alle betriebswirtschaftlichen Begrenzungen der Branche und Herstellerwerke bewusst fallengelassen, um zu ermitteln, welche Maßnahmen für eine Klimaneutralität bis 2045 erforderlich sind. Insofern „erzwingt" der *Klimaneutralitätspfad* rechnerisch eine Reduzierung der Emissionen auf null, verbunden mit der kompletten Umstellung der deutschen Kalksandsteinindustrie auf neue Technologien und einer Dekarbonisierung der vor- und nachgelagerten Lieferketten inklusive Kalk-Produktion.

Allen drei betrachteten Pfaden ist gemein, dass jeweils Untervarianten ohne und mit Effekten der *Recarbonatisierung* betrachtet werden – was beim Szenario des Klimaneutralitätspfads mit Recarbonatisierung dazu führt, dass die Kalksandsteinindustrie sogar klimapositiv sein würde. Die Recarbonatisierung als Effekt und automatischer Prozess der dauerhaften CO_2-Speicherung während der Nutzungsdauer mineralischer bindemittelgebundener Baustoffe wird anschließend näher beleuchtet.

Zentrale Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Roadmap

Erwartbar wären auch auf dem Referenzpfad durch kontinuierliche Effizienzsteigerungen und verbesserte externe Randbedingungen Emissionsrückgänge in der 2045-Perspektive zu konstatieren gegenüber dem Emissionsniveau von 780 Tsd. Tonnen CO_2 pro Jahr in 2021 als Basisjahr der Roadmap. Allerdings würde das Ziel der Klimaneutralität auch in der Untervariante mit Recarbonatisierung mit 568 Tsd. Tonnen CO_2 in 2045 bei weitem nicht erreicht. Auf dem Pionierpfad hingegen gelingt es der Branche, dem Ziel der Klimaneutralität signifikant näher zu kommen und die Emissionen auf bis zu 282 Tsd. Tonnen (mit Recarbonatisierung) erheblich zu reduzieren. Auf dem Klimaneutralitätspfad ist das Emissionsniveau von 0 Tonnen CO_2 bis 2045 definitorisch vorgegeben bzw. wird wie oben geschildert rechnerisch erzwungen, was allerdings die Inkaufnahme sehr hoher Investitions- und Betriebskosten erfordert. Immerhin wäre die deutsche Kalksandsteinindustrie unter Berücksichtigung der Recarbonatisierung bereits ab 2042 klimapositiv und hätte für die verbleibende 2045-Perspektive einen gewissen Puffer, wenn die Prozessemissionen der Kalkindustrie nicht planmäßig dekarbonisiert wären.

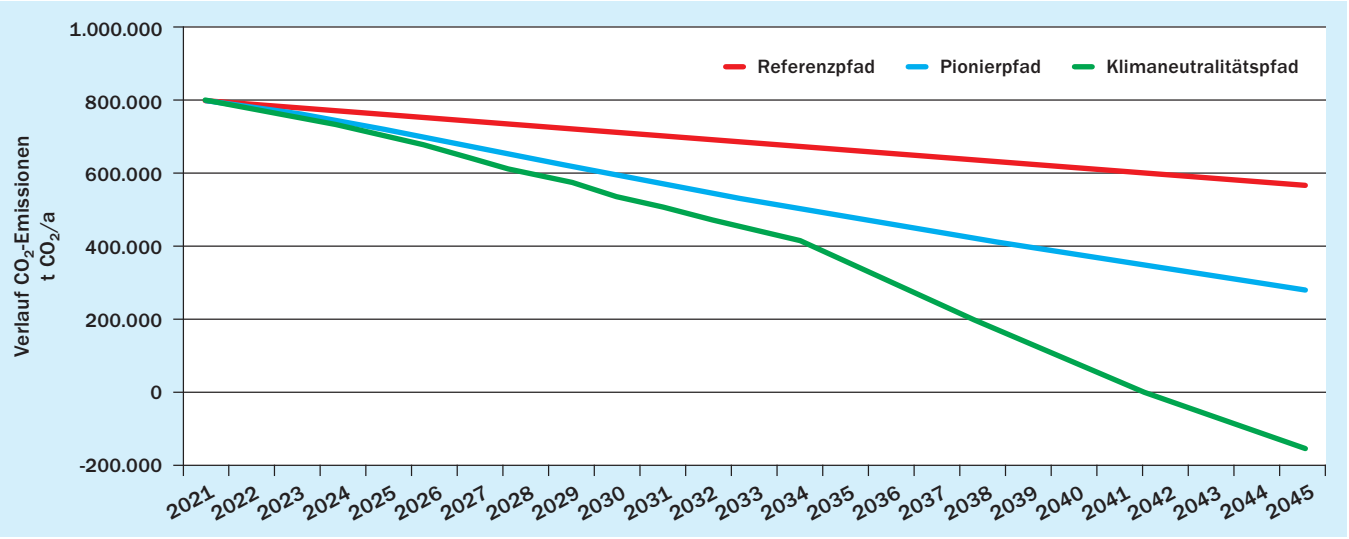


Bild 20 Emissionsentwicklung der drei betrachteten Pfade mit Recarbonatisierung [15]

5. Recarbonatisierung

5.1 CO_2-Kreisläufe in Baustoffen

Für Immobilien als Wirtschaftsgüter mit extrem langen Nutzungsdauern ist es entscheidend, dass bei einer Ökobilanzierung als wichtigem Steuerungsinstrument in Richtung des klimaschutzgesetzlichen Zielpunkts von Netto-Null-Emissionen ganzheitlich bilanziert wird. Und entsprechend der gesamte Lebenszyklus mit allen Quellen und Senken für Treibhausgasemissionen berücksichtigt wird. Denn die klimapolitische Zielsetzung hin zu einer Netto-Null-Treibhausgas-Bilanz bis spätestens 2050 repräsentiert letztlich auch die strategische Herangehensweise eines balancierten Kreislaufs an (möglichst weit reduzierten) Emissionen und deren Wieder-Aufnahme bzw. -Speicherung.

CO_2-Kreislauf von holzbasierten Bauprodukten

Seit vielen Jahren, spätestens mit Breitenanwendung von Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen wie dem DGNB- oder BNB-System, werden diese Zusammenhänge der Auslösung, Speicherung und etwaigen erneuten Entspeicherung von Treibhausgasemissionen in Ökobilanzierungen von holzbasierten Bauprodukten bzw. von Gebäuden in Holzbauweise wie folgt berücksichtigt.

Am Beginn des Lebenszyklus steht die Bereitstellung von Rohstoffen. Für holzbasierte Bauprodukte bedeutet dies, dass ökobilanziell abzubilden ist, dass die Rohstoffquelle Wald über die CO_2-Aufnahme der Bäume während deren Wachstum/bis zu deren Fällung per Saldo (unter Berücksichtigung von energetischen Aufwendungen und etwaigen korrelierten CO_2-Emissionen für die Fällung, etc.) eine lediglich temporäre Treibhausgas-/CO_2-Senke darstellt (biogene Einspeicherung von CO_2). Die Weiterverarbeitung und Herstellung von holzbasierten Bauprodukten/-bauteilen (z.B. Sägen/Zuschneiden, Trocknen) erfordern dann insbesondere energetische Aufwendungen, die (je nach Energieträger) Treibhausgas-/CO_2-Emissionen auslösen. Selbiges gilt analog für die Bau-/Errichtungsphase z.B. eines Gebäudes in Holzbauweise. Die Umweltwirkungen bzw. CO_2-Emissionen der Nutzungsphase werden einerseits durch Energieaufwendungen für den Betrieb/die Nutzung eines Gebäudes (Heizung, Beleuchtung, ggf. Lüftung, ggf. Kühlung) ausgelöst. Und andererseits auf Bauteilebene durch etwaige Ersatzmaßnahmen (konstruktiver) Bauteile am Ende deren (technischer) Lebensdauer, wobei sich dann in CO_2-Bilanzen Langlebigkeitsunterschiede verschiedener Bauweisen zeigen können.

Von besonderer Bedeutung für die Treibhausgas-/CO_2-Bilanz von holzbasierten Bauprodukten ist das Ende des Lebenszyklus, das End of Life (EoL). Denn hier erfolgt eine thermische Verwertung von Altholz. Der biogene CO_2-Speicher des Holzes wird wieder „aufgelöst“ und CO_2-Emissionen freigesetzt. Vor diesem Hintergrund der lediglich temporären (biogenen) Speicherung von CO_2 ist auch ersichtlich, warum eine lebenszyklusorientierte Betrachtungsweise von holzbasierten Bauprodukten respektive Gebäuden in Holzbauweise unerlässlich ist.

CO_2-Kreislauf von mineralisch basierten bindemittel-gebundenen Bauprodukten

Auch bei mineralisch basierten, bindemittel-gebundenen Baustoffen wie Kalksandstein sind Prozesse der dauerhaften CO_2-Speicherung materialtechnologisch als *Recarbonatisierung* seit vielen Jahren bekannt. Diese rücken aber erst mit dem Aufkommen der oben skizzierten Roadmaps in den Fokus bei der Analyse und Bewertung von Bauprodukten und Bauweisen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeits- und Klimaschutzqualität über den Lebenszyklus. Die CO_2-Speichereffekte der Recarbonatisierung lassen sich jedenfalls mit folgenden Hintergründen und Zusammenhängen erklären (Bild 21).

Die wesentliche Rohstoffbasis für Mauerwerk aus Kalksandstein bilden Gesteinskörnungen sowie Bindemittel (Branntkalk) und Wasser. Die Rohstoffe werden gemischt und geformt und dann in Autoklaven dampfgehärtet.

Mit Blick auf eine erste Zwischenbilanz an Treibhausgasemissionen für die Herstellungsphase lässt sich auf Basis aktueller Analysen der Kalksandsteinindustrie festhalten, dass für Kalksandstein zwischen 80 % und 90 % der Emissionen aus den Vorketten resultieren [16], konkret aus der Herstellung des Bindemittels Branntkalk (Bild 22). Dabei werden die CO_2-Emissionen bei der Herstellung von Branntkalk nur zu maximal einem Drittel ausgelöst vom thermischen Prozess bzw. dem Energieverbrauch beim Brennen des Rohmaterials Kalkstein (Verbrennungs-CO_2). Mindestens zwei Drittel der CO_2-Emissionen entstammen dem Rohmaterial selbst, wenn der Kalkstein ($CaCO_3$) im thermischen Prozess in Calciumoxid (CaO) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) aufgespaltet wird (Prozess-CO_2) [17].

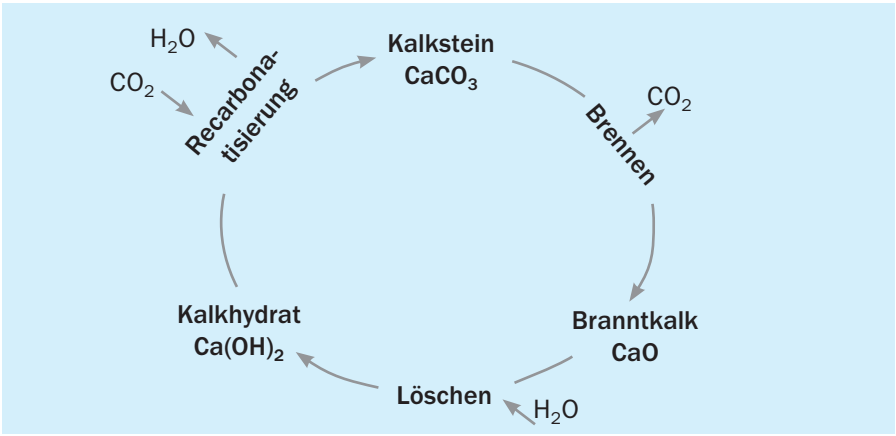


Bild 21 Schematische Darstellung CO_2-Kreislauf bindemittel-gebundener Baustoffe

Anders als das Verbrennungs-CO_2, das durch Effizienzsteigerungen beim Einsatz von Energieträgern des Verbrennungsprozesses und/oder durch den Einsatz CO_2-neutraler Energieträger reduziert und grundsätzlich komplett auf null minimiert werden kann, lässt sich das Prozess-CO_2 prinzipiell nicht vermeiden, sondern nur durch technische und/oder natürliche Prozesse absorbieren. Technische Verfahren wie *CCS (Carbon Capture and Storage)* oder *CCU (Carbon Capture and Utilization)* aber sind aufwendig und kostenintensiv – mithin erscheinen natürliche Vorgänge, die „automatisch“ und ohne weitere erforderliche Infrastruktur ablaufen, umso effektiver und effizienter.

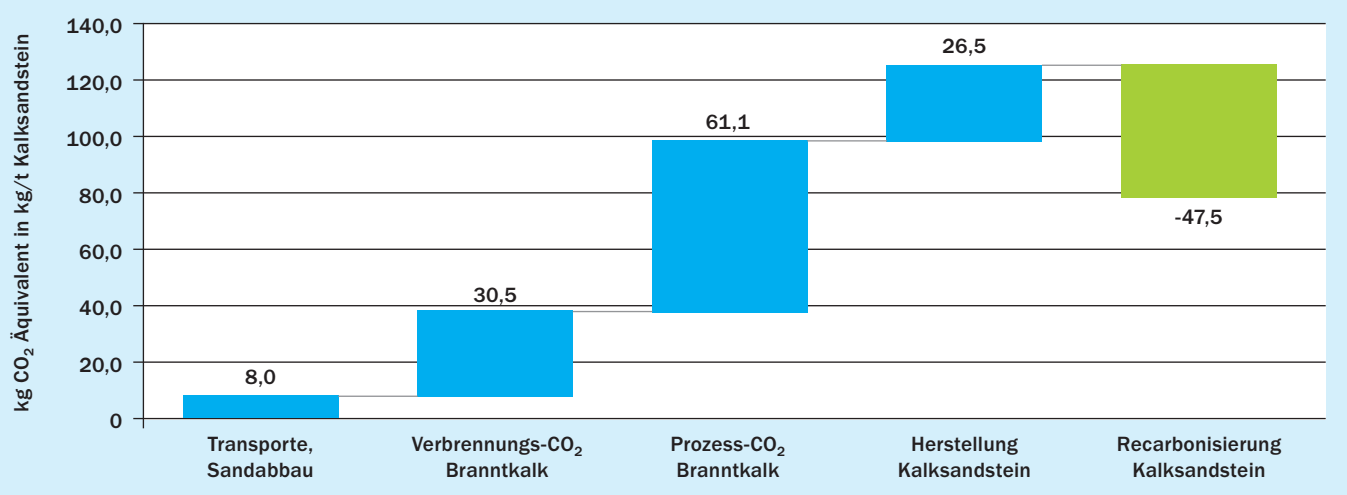


Bild 22 Treibhausgasemissionen der Herstellung A1-A3 von Kalksandstein sowie der Nutzungsphase B1

Bemerkenswerterweise bieten die das Prozess-CO_2 auslösenden Produkte Branntkalk und auch Zement bzw. die aus diesen Grundstoffen hergestellten bindemittel-gebundenen Baustoffe genau einen solchen natürlichen Prozess der CO_2-Aufnahme und dauerhaften CO_2-Speicherung, schließen sozusagen selbst den CO_2-Kreislauf (Kalk-CO_2-Kreislauf).

Wenn KS-Mauerwerk während seiner Nutzungsphase mit dem CO_2 der Umgebungsluft in Berührung kommt und das CO_2 in das Gefüge des Mauerwerks eindringt, reagiert es dort mit dem Calciumoxid (CaO), das über das Abbinden des Bindemittels beim Autoklavieren in den CSH-Phasen entstanden ist. Es bildet (wieder) Calciumcarbonat ($CaCO_3$), in dem das aufgenommene CO_2 dauerhaft festgehalten wird, was gleichzeitig auch zu einer gewissen Festigkeitszunahme des Mauersteins führt. Dieser Vorgang heißt ***Recarbonatisierung***.

Gemäß verfügbarer Daten sind Kalksandsteine bis zum Abschluss ihrer Nutzungsphase grundsätzlich vollständig recarbonatisiert [18]. In der unabhängig verifizierten EPD für Kalksandstein [12] wird konservativ von einem 95 %-igen Recarbonatisierungsgrad ausgegangen, was beim Kalksandstein zu einer CO_2-Aufnahme von ca. 47,5 kg [12] CO_2-Äq. pro Tonne Kalksandstein führt.

INFO

Die Recarbonatisierung von Kalksandstein ist ein natürlicher Prozess der CO_2-Aufnahme und dauerhaften CO_2-Speicherung.

Entlang des Lebenszyklus von mineralisch basierten, bindemittel-gebundenen Baustoffen wie Mauerwerk aus Kalksandstein stellt sich der Prozess der Recarbonatisierung und des geschlossenen CO_2-Kreislaufs für das Prozess-CO_2 zusammengefasst dann so dar: durch die Bereitstellung der Rohstoffe (im Wesentlichen Verbrennungs- und Prozess-CO_2 für Zement und Branntkalk) und die Herstellung des Mauerwerks (sowie den Transport zur Baustelle und die Errichtung des Bauwerks) werden CO_2-Emissionen freigesetzt, die im Zuge der Nutzungsphase teilweise wieder gebunden und dauerhaft gespeichert werden, und insbesondere – im Gegensatz zum Lebenszyklus von holzbasierten Baustoffen – nicht im Zuge des End of Life (Entsorgungsstadium) wieder „entspeichert“ und in die Atmosphäre emittiert werden.

5.2 Recarbonatisierung auf Bauteil- und Gebäudeebene

In den letzten Jahren wurden für bindemittel-gebundene Mauersteine im Allgemeinen [17] [18] und für Kalksandsteine im Speziellen [15] umfassende Untersuchungen zum Ablauf und Ausmaß der Recarbonatisierung durchgeführt. Deren Erkenntnisse und quantitativen Ergebnisse in Sachen dauerhafter Speicherung von CO_2 sind mittlerweile auch im Rahmen der jüngsten Aktualisierung der EPD für KS-Mauerwerk berücksichtigt und in die Ökobilanz-Daten der Kalksandstein-EPD integriert worden. Insofern stehen damit insbesondere auch verifizierte Daten für eine vollständige, lebenszyklusorientierte Ökobilanzierung von Kalksandsteinen oder Gebäuden aus KS-Mauerwerk zur Verfügung. Bei einem konservativ angenommenen Recarbonatisierungsgrad von 95 % über die gesamte Nutzungsphase eines Kalksandsteins bzw. einer Konstruktion aus Kalksandstein gemäß [11] werden ca. 47,5 kg CO_2-Äq. pro Tonne Kalksandstein bzw. ca. 85,5 kg CO_2-Äq. pro Kubikmeter Kalksandstein aus der Luft aufgenommen und dauerhaft gespeichert (Bild 22).

INFO

Die Treibhausgasemissionen der Herstellung A1 bis A3 werden durch die Rekarbonatisierung um rund 38 % reduziert.

Bauprodukte stiften ihren Nutzen erst, wenn daraus Bauteile und in Gesamtheit ein Gebäude entstanden sind. Insofern muss das Gebäude die eigentliche Betrachtungsperspektive für Fra-

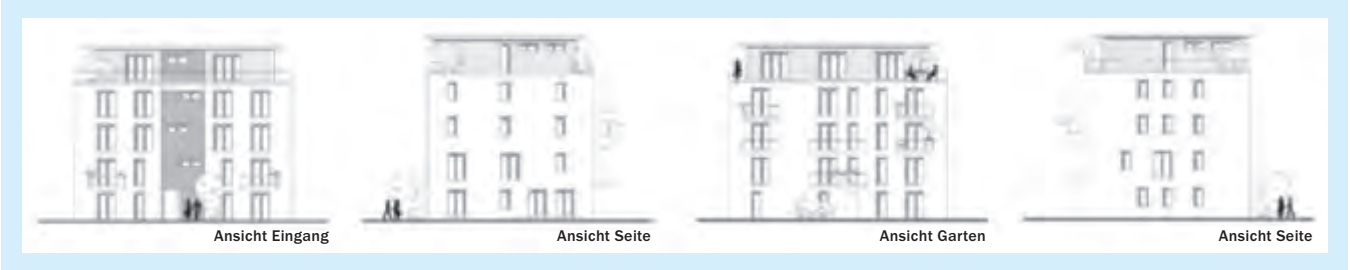


Bild 23 Ansichten MFH-Typengebäude gemäß [22]

gestellungen zu Klimaschutz und Emissionsreduzierung sein. In jüngerer Vergangenheit ist eine große Vielfalt an Untersuchungen zur Öko- respektive CO_2-Bilanz marktrelevanter Bau- und Konstruktionsweisen entstanden [19] – als sehr aktuelles Beispiel kann aus diesem Kontext eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP benannt werden [20] [21].

In der Studie „Potenziale im Mauerwerksbau“ wurde u.a. für ein Typengebäude aus dem Segment Mehrfamilienhaus (MFH) eine lebenszyklusorientierte Ökobilanzierung der marktrelevanten Bau- und Konstruktionsweisen (Kalksandstein, Ziegel, Leicht- und Porenbeton sowie Stahlbeton, Holzmassivbau und Stahlbeton mit vorgehängten Holzrahmentafeln) über Betrachtungszeiträume von 50 und 80 Jahren generiert und im Zuge dessen vor allem auch die öko- bzw. CO_2-bilanziellen Effekte der Recarbonatisierung abgebildet [20].

Typengebäude ermöglichen die Generierung repräsentativer und auf den gesamt-deutschen (Wohnungs-)Bau übertragbarer Ergebnisse in ökobilanziellen Analysen. Denn auch bei der Analyse und Bewertung einer Vielzahl einzelner (realer) Beispielgebäude wären die jeweils gebäudespezifischen Besonderheiten von derart großer Bedeutung, dass Ergebnisse nur in sehr weiten Spektren dargestellt bzw. lediglich tendenziell gewertet werden könnten. Das in [20] [21] verwendete MFH-Typengebäude der Arbeitsgemeinschaft für Zeitgemäßes Bauen e.V. [22] (Bild 23) stellt einen auf Grundlage von aktuellen Statistiken, Marktbeobachtungen und einer differenzierten Bautätigkeitserfassung bestimmten „Durchschnitt“ für den deutschen Wohnungsbau in der derzeitigen Baupraxis und erfüllt daher Anforderungen an Repräsentativität und Praxisrelevanz.

Die Ergebnisse waren einerseits hervorragend geeignet, das quantitative Ausmaß der Recarbonatisierung auf Gesamtgebäude-Ebene des MFH-Typengebäudes abzubilden – und andererseits letztlich auch, um ein differenzierteres Verständnis für die Klimaschutzqualität marktrelevanter Bau- und Konstruktionsweisen herbeizuführen, was im Rahmen der Kurzstudie *Recarbonatisierung von Mauerwerk* [23] umgesetzt wurde. Aus den Ergebnissen [20] über den Lebenszyklus auf Gesamtgebäudeebene für das MFH-Typengebäude lässt sich festhalten, dass der CO_2-Fußabdruck des MFH-Typengebäudes aus Kalksandstein (in absoluten Tonnen an CO_2-Äquivalenten) über einen 50- respektive 80-Jahre-Gebäudelebenszyklus durch die Effekte der Recarbonatisierung in der Nutzungsphase (Modul B1) um 6 respektive 4 % reduziert wird.

INFO

Jede Tonne Kalksandstein speichert in 50 Jahren fast 50 kg CO_2, und das dauerhaft über ein späteres Recycling/Aufbrechen hinaus.

6. Rückbau und Recycling von KS-Mauerwerk

Durch die natürliche Rohstoffbasis und Rezeptur aus Kalk, mineralischen Gesteinskörnungen (zumeist Quarzsande und/oder gebrochenes Natursteinmaterial) und Wasser ohne (chemische) Zusatzmittel entsteht bei der Herstellung von Kalksandsteinen ein sehr homogenes, monolithisches Produkt. Insofern liegt grundsätzlich eine sehr gute stoffliche Ausgangsbasis für ein Recycling und entsprechend geschlossene Stoffkreisläufe am Ende des Lebenszyklus von KS-Mauerwerk vor – im Übrigen ohne jedwedes Gefährdungspotenzial für die Umwelt.

INFO

Die Umweltverträglichkeit von reinem Kalksandstein-Recycling-Material wurde durch Feststoff- und Eluat-Analysen (Auslaugungsverhalten) sowie Analysen zu Ausgasungen und Radioaktivität intensiv untersucht und durch die Analyseergebnisse bestätigt [24] [25].

Die Abfallfraktion Bauschutt, zu der am Ende des Lebenszyklus auch Mauerwerk im Allgemeinen bzw. Kalksandsteine im

Speziellen zählen, repräsentiert mit ca. 55,2 Mio. Tonnen einen maßgeblichen Teil sowohl des mineralischen Bauabfallstroms als auch der gesamten nationalen Abfallbilanz (Bild 24). Dabei wird die Abfallfraktion Bauschutt nach Zahlen des 14. Monitoringberichts der Initiative Kreislaufwirtschaft Bau (Zahlen/Statistik aus 2022) nahezu vollständig (ca. **97,4 %**) stofflich verwertet bzw. zu fast **81,7 %** einem Recycling zugeführt, d.h. einer stofflichen Verwertung zur Gewinnung marktfähiger Sekundärrohstoffe.

Speziell für das Recycling von Kalksandstein und KS-Mauerwerk wurden durch verschiedene Forschungsprojekte unterschiedlichste mögliche Verwertungswege und Recyclingpfade aufgezeigt – einen Überblick über Möglichkeiten der Kreislaufführung gibt Bild 25.

Kalksandstein-Recycling-Material wird in den Produktionsprozess von Kalksandstein zurückgeführt oder als Zuschlag bei der Herstellung von Beton verwendet – wobei der Anteil des rückführbaren Kalksandstein-Recycling-Materials entscheidend von dessen Sortenreinheitsgrads bestimmt wird.

Auch eine nennenswerte Verwendung von Kalksandstein-Recycling-Material im Erd-, Straßen- und Wegebau erscheint auf Basis der Forschungsergebnisse prinzipiell möglich.

Vielversprechende Ergebnisse zeigen auch Untersuchungen zum Einsatz von Recycling-Material im Vegetationsbau (für Dachbegrünungen, Baum- und Strauchpflanzungen), bei der vegetationstechnischen Bodenverbesserung (Einsatz wasserspeichernder poröser Gesteinskörnungen) und im Deponiebau, wo Kalksandstein-Granulaten als Träger für Mikroorganismen dienen, die das extrem klimaschädliche Methan abbauen können.

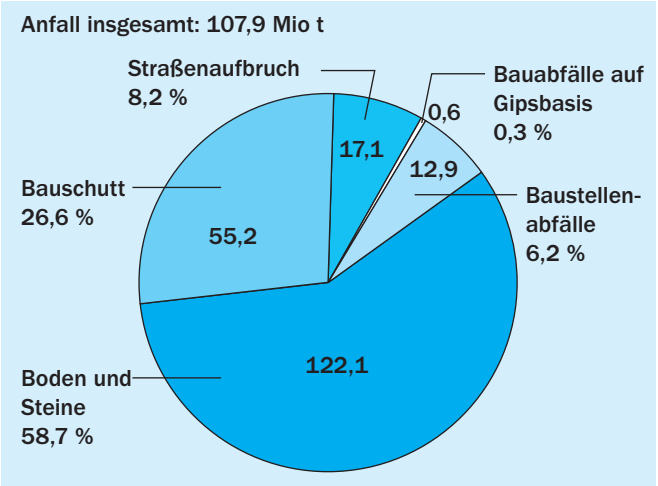


Bild 24 Mineralische Bauabfälle in Mio. t [26]

INFO

Kalksandstein ist im vollen Umfang recyclingfähig – Primärrohstoffe werden geschont.

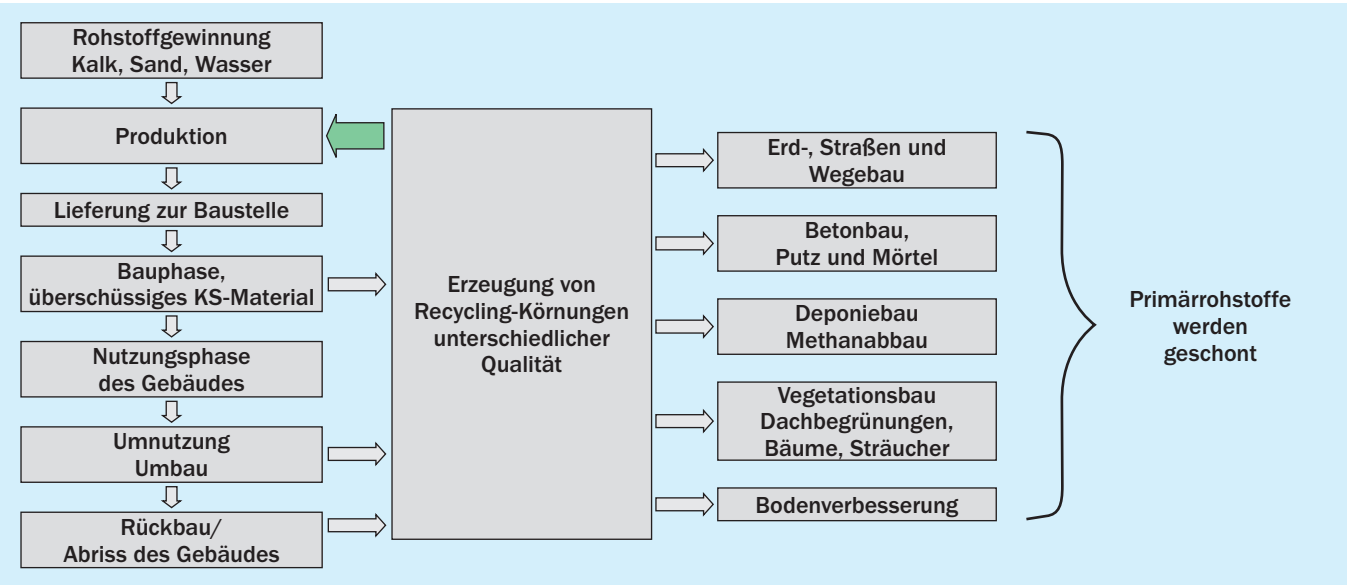


Bild 25 Kreislaufführung von Kalksandstein [15]

7. Klimaschutzgerechte und nachhaltige Gebäude aus Kalksandstein

Lebenszyklusorientierte CO_2-Bilanz von Gebäuden aus Kalksandstein

Die Ergebnisse zur Recarbonatisierung von Kalksandstein bzw. der dahinterstehenden Studien [20] [21] [23] können auch genutzt werden, um Aussagen zur CO_2-Bilanz von Gebäuden aus Kalksandstein über den gesamten Lebenszyklus abzuleiten.

Unter Berücksichtigung aller zu bilanzierenden Lebenszyklusmodule gemäß Bild 13 bleibt festzuhalten, dass die Bau- und Konstruktionsweise eines Gebäudes bei heutigem Energiestandard und Zusammensetzung der Energieversorgung (d.h. dem sehr hohen Ergebnisanteil des betrieblichen Energieeinsatzes der Nutzungsphase = Modul B6) für die Gesamtbilanz nur eine nachgeordnete Rolle spielt.

Die CO_2-bilanziellen Unterschiede zwischen den Varianten des Typengebäudes in Mauerwerk, Stahlbeton und Holzbauweise aus der Herstellungsphase (Module A1 bis A3) ebnen sich über den Lebenszyklus von 50 Jahren bereits weitgehend ein, weil

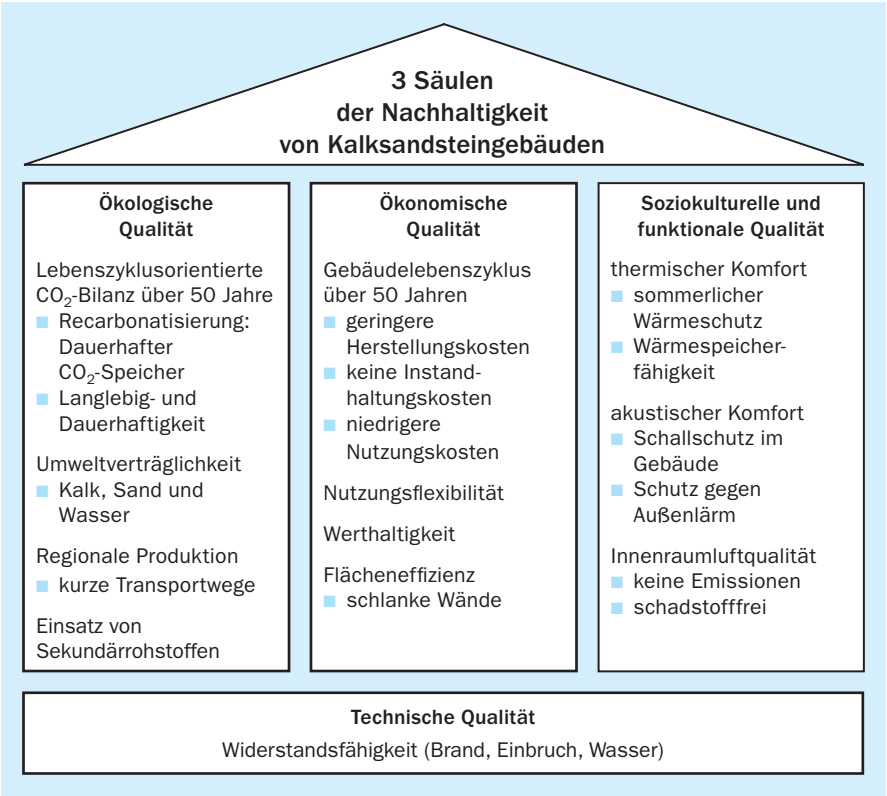


Bild 26 Nachhaltigkeit von Kalksandsteingebäuden

- die (biogene) Speicherwirkung des Holzes beim End of Life umgekehrt, d.h. der Speicher wieder aufgelöst wird (thermische Verwertung),
- massive Bauweisen in Mauerwerk und Stahlbeton in der Nutzungsphase wegen höherer Wärmespeicherkapazitäten etwas weniger Heizenergie benötigen als leichte Bauweisen und dadurch weniger Emissionen verursachen und
- mineralisch basierte, bindemittel-gebundene Baustoffe wie Kalksandstein über den Effekt der Recarbonatisierung dauerhaft CO_2 speichern können.

Bei einer realitätsnäheren Betrachtung über einen Lebenszyklus von beispielsweise 80 Jahre setzt sich die Nivellierung weiter fort – hier treten dann auch die Langlebigkeitsvorteile massiver Bauweisen in Mauerwerk positiv zu Tage.

INFO

Gebäude in massiver Bauweise erreichen Nutzungsdauern von deutlich über 80 Jahren.

Ökonomische Nachhaltigkeit

Gemäß Definition der dargestellten deutschen Systeme zur Nachhaltigkeitsbewertung wird die *ökonomische Nachhaltigkeit* durch die sogenannten *Lebenszykluskosten* einerseits und die Werthaltigkeit von Gebäuden andererseits bestimmt. Der An-

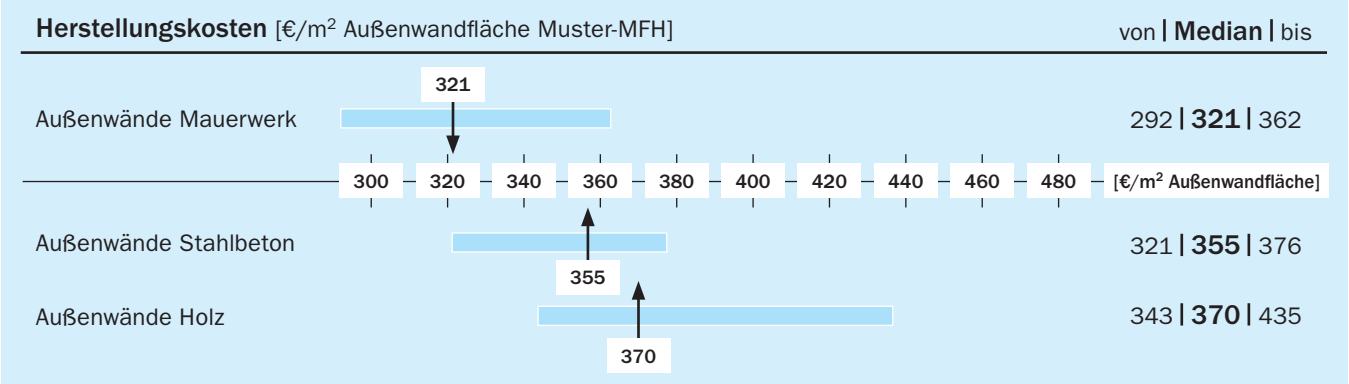


Bild 27 Herstellungskosten von Außenwandkonstruktionen für MFH-Typengebäude aus [22] gemäß Daten aus [28]

satz der Lebenszykluskosten adressiert über die bloßen Herstellungskosten hinaus u.a. auch die Kosten für die Instandhaltung über den definierten Gebäudelebenszyklus von 50 Jahren inklusive Preissteigerungsraten und Diskontierung künftiger Zahlungen auf den aktuellen Betrachtungszeitpunkt. In diesem Bereich wirken sich zweierlei Vorzüge des Mauerwerks allgemein reduzierend auf die Lebenszykluskosten aus. Zum einen geringere Herstellungskosten (Bild 27) im Vergleich zur Stahlbeton- oder Holzbauweise u.a. aufgrund einer einfacheren bautechnischen Verarbeitung. Zum anderen zeichnen sich Wandkonstruktionen in Mauerwerk gegenüber anderen Bauweisen aufgrund längerer technischer Lebensdauern – insbesondere bei Betrachtung realitätsnaher Ansätze für Lebenszyklen von Gebäuden über 80 Jahre – durch deutlich niedrigere Nutzungskosten aus (Bild 28).

INFO

KS-Mauerwerk gehört zu den wirtschaftlichsten Bauweisen, sowohl bei den Herstellkosten als auch bei den Lebenszykluskosten.

Massive Bauweisen wie Mauerwerk begünstigen zudem die Nutzungsflexibilität von Gebäuden als eine Facette der *Werthaltigkeit*. Ihre regelmäßig vorliegenden statischen Reserven führen in Kombination mit den üblicherweise ausgeführten Decken in Stahlbeton bei Veränderungen in der Nutzung dazu, dass auftretende erhöhte Lasten kompensiert und unter Umständen erforderliche Grundrissänderungen aus statischer und bauplaktischer Sicht einfacher realisierbar sind als etwa bei (leichten) Ständerbauweisen.

Auch die hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Schadensereignissen respektive ein entsprechendes Sicherheitsniveau (Resilienz) – etwa beim Brandschutz oder gegenüber veränderten Umweltbedingungen aufgrund des Klimawandels [7] – trägt zur Wertstabilität von Mauerwerksgebäuden bei.

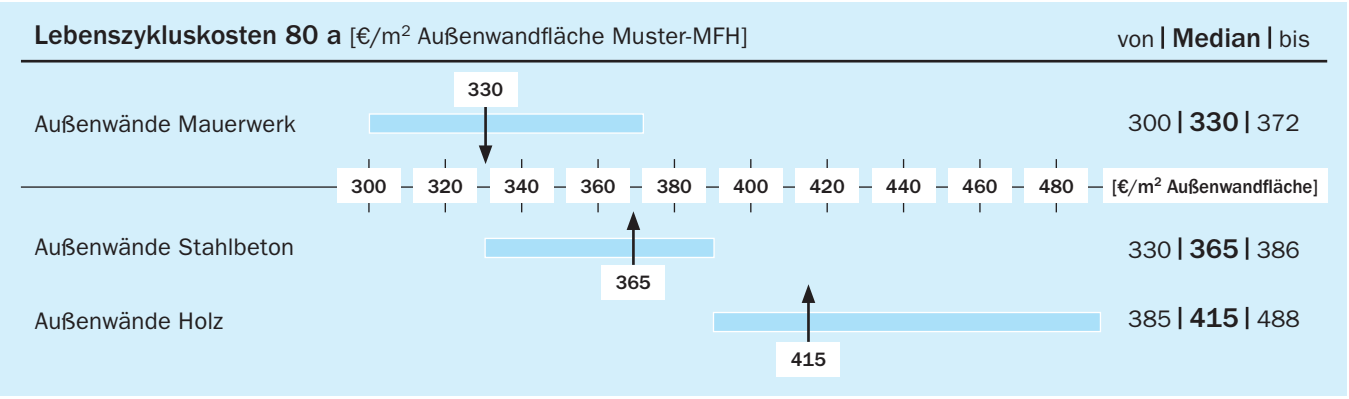


Bild 28 **Lebenszykluskostenbetrachtung über 80 Jahre für Außenwandkonstruktionen des MFH-Typengebäudes aus [22] gemäß Daten aus [28]**

Der Klimaschutz bzw. das klimakompatible Bauen stellt letztlich nicht den alleinigen Baustein für Nachhaltiges Bauen dar.

Bereits im Bereich der *ökologischen Nachhaltigkeit* tritt mit der *Baubiologie*, sprich der Vermeidung von potenziellen Schadstoffen in Baustoffen und -produkten (z.B. halogenierte Treib- oder Flammschutzmittel in Dämmstoffen, Schwermetalle oder organische Lösemittel und Weichmacher, etc.), ein wichtiges Anforderungsfeld hinzu. Anders als viele hochverarbeitete Holzwerkstoffe im Baubereich können mineralisch basierte Baustoffe wie Mauerwerk hier *grundsätzlich* als unkritisch und emissionsarm klassifiziert werden, was insbesondere von Relevanz für die Innenraumluftqualität in Gebäuden als soziokultureller Nachhaltigkeitsaspekt ist.

Für die Nutzergesundheit ist außerdem die *Raumluftqualität* entscheidend. Sie wird auch von Schadstoffquellen in der Gebäudekonstruktion bestimmt. Die können von vorneherein durch die Auswahl emissionsarmer Bauprodukte vermieden werden: mineralische Baustoffe wie Mauerwerk legen hier hervorragende baukonstruktive Voraussetzungen.

Im Feld der *soziokulturellen Nachhaltigkeit* ist als zentraler konstruktionsspezifischer Komfortaspekt der *thermische Komfort* zu nennen. Dabei liegen die Vorteile des Mauerwerks sowohl beim winterlichen als auch sommerlichen Wärmeschutz; weil hier die Wärmespeicherfähigkeit mitentscheidend ist. Mauerwerk ist wegen seiner vergleichsweise hohen Masse und Trägheit bei Temperaturveränderungen besser in der Lage als leichtere Konstruktionsweisen, Wärme aufzunehmen und erst zeitverzögert wieder abzugeben – mit entsprechend positiven Folgen für Heizenergiebedarfe und Spitzenheizleistungen im Winter sowie Überhitzungszeiträume und Spitzentemperaturen im Sommer. Die skizzierten Masseunterschiede zwischen massiven und leichten Bauweisen haben auch Auswirkungen auf den soziokulturellen Aspekt des *akustischen Komforts* bzw. aus baukonstruktiver Perspektive den *Schallschutz*. Mit der schweren KS-Mauerwerksbauweise lassen sich Anforderungen an das Bau-Schalldämm-Maß einfacher realisieren als bei leichten Bauweisen, die komplexere Konstruktionsdetails erfordern.

Literatur

[1] United Nations (UN) [Hrsg.]: Global indicator framework for the Sustainable Development Goals and Targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development, April 2020. Zugriff: https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/

[2] Bundesministerium für Justiz (BMJ) [Hrsg.]: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2016 Teil II Nr. 26, ausgegeben zu Bonn am 30. September 2016: Gesetz zu dem Übereinkommen von Paris vom 12. Dezember 2015.

[3] Statista: Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren des Klimaschutzgesetzes in den Jahren 1990 bis 2023 und Prognose für 2030. Zugriff: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1241046/umfrage/treibhausgasemissionen-in-deutschland-nach-sektor/

[4] Die Bundesregierung (BReg) [Hrsg.]: Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Fassung von Oktober 2019. Zugriff: https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/massnahmenprogramm-klima-1679498

[5] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen [Hrsg.]: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Systemvariante BNB 2015 für Büro- und Verwaltungsneubauten. https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/buerogebaeude/steckbriefe-bnb-bn-2015/

[6] DGNB GmbH [Hrsg.]: DGNB-System Kriterienkatalog Gebäude Neubau, Version 2023, 1. Auflage. Stuttgart, 2023

[7] Pohl, S., Clanget-Hulin, M., Purkert, B.: Klimaresilienz in der Nachhaltigkeitsbewertung von Bauweisen. Mauerwerk 26 (2022), Heft 1, Berlin 2022

[8] NaWoh e.V. [Hrsg.]: Nachhaltiger Wohnungsbau – Bewertungssystem und Qualitätssiegel. Zugriff: https://www.nawoh.de/uploads/pdf/Praesentation_NaWoh.pdf

[9] BiRN GmbH [Hrsg.]: Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnhausbau, Allgemeine Grundlagen zur Bewertungsmethode. Zugriff: https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Steckbriefe_Kleinhausbau/000_Allgemeine_Grundlagen_V1.0.pdf

[10] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Ist vereinfacht vollständig genug? – Spannungsfeld der Ökobilanzverfahren des Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen. Zeitschrift Bauingenieur, Band 90, Januar 2015.

[11] BBSR [Hrsg.]: Ökobaudat, Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung. Forschung für die Praxis | Band 09. Bonn, 2019

[12] Institut Bauen und Umwelt e.V. [Hrsg.]: Umwelt-Produktdeklaration Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., EPD-BKS-20210205-IBE2-DE.

[13] Graubner, C.-A., Pohl, S.: EPD – Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte. Ein Kommunikationskanal für ökologische Nachhaltigkeitsqualität. In: Betonwerk international, Dezember 2012.

[14] ift Rosenheim [Hrsg.]: Änderungen in der EN 15804 für EPDs – Neue Version der EN 15804 für Typ-III-Umweltdeklarationen von Bauprodukten, -leistungen und -prozessen. Newsletter 11/2021, Rosenheim

[15] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. [Hrsg.]: Roadmap für eine treibhausgasneutrale Kalksandsteinindustrie (Langfassung). Hannover, 2021

[16] Kalksandstein-Dienstleitung GmbH [Hrsg.]: Wege in eine zukunftsorientierte Transformation: Roadmap für eine treibhausgasneutrale Kalksandsteinindustrie in Deutschland (Kommunikationsfassung). Hannover, November 2021

[17] Caballero Gonzalez, A.: Recarbonation of Calcium Silicate Masonry Products. AAC Worldwide, Ausgabe 1/2022, Köln 2022

[18] Walther, H.B.: CO_2-Einbindung in Porenbeton und Kalksandstein durch Recarbonatisierung. Mauerwerk 26 (2022), Heft 1, Berlin 2022

[19] Lenz, K., Steier, S., Göttig, R.: Potenziale im Mauerwerksbau – Teil 1: Literaturstudie zur qualitativen Analyse bei der Bewertung verschiedener Bauweisen – Ökologie/Energie/Wohngesundheit. Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart/Holzkirchen/München, 2021

[20] Lenz, K., Steier, S., Göttig, R.: Potenziale im Mauerwerksbau – Teil 2: Detailanalyse ausgewählter Aspekte der Nachhaltigkeit – Ökologie/Energie – Teil A: Status Quo. Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart/München, 2022

[21] Lenz, K., Steier, S., Göttig, R.: Potenziale im Mauerwerksbau – Teil 2: Detailanalyse ausgewählter Aspekte der Nachhaltigkeit – Ökologie/Energie – Teil B: Zukunftsszenarien. Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart/München, 2022

[22] Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. [Hrsg.]: Typengebäude MFH: EnEV2016. Massenermittlung gemäß DIN 276/277, Kiel 2014

[23] LCEE GmbH [Hrsg.]: Recarbonatisierung von Mauerwerk (Kurzstudie). Darmstadt, 2022

[24] Institut Bauen und Umwelt e.V. [Hrsg.]: Umwelt-Produktdeklaration Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., EPD-BKS-20160002-IAE1-DE

[25] BfS-SW-14/12: Gehrke, K; Hoffmann, B; Schkade, U; Schmidt, V.; Wichterey, K.: Natürliche Radioaktivität in Baumaterialien und die daraus resultierende Strahlenexposition, Salzgitter, 2012

[26] bbs [Hrsg.]: Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin 2024

[27] Jäger, W.: Nachhaltigkeit im Mauerwerksbau – Wiederverwendungsfähige Mauerwerkskonstruktionen ReMoMaB – Rezyklierbare modulare Massive Bauweise. Vortrag zur 12. Sitzung des Runden Tisches Ressourceneffizienz im Bauwesen, Berlin 2019

[28] Pohl, S.: Beiträge des Mauerwerksbaus zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit. DAfM Schriftenreihe, Heft 3, Berlin 2020

Bildnachweise

Bild S. 38: TommL (iStock);
Bild S. 49; Bild S. 59: UNIKA GmbH

Bild S. 48: Bundesverband der Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 3

KALKSANDSTEIN

Stand: 08/2025

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

1. Kalksandsteine nach DIN EN 771-2

Als am 5. Oktober 1880 ein Patent zur Erzeugung von Kalksandsteinen an Dr. Michaelis in Berlin erteilt wurde, konnte niemand ahnen, welcher Erfolg dieser Entwicklung beschieden sein würde. Die Formgebung durch Pressen und die Hochdruckdampfhärtung ermöglicht bereits seit mehr als 125 Jahren eine industrielle Kalksandstein-Produktion. Im Jahre 1900 wurden rund 300 Mio. Steine und 1905 bereits 1 Mrd. Kalksandsteine produziert. Durch die schnelle Marktverbreitung und das Vertrauen zu diesem Mauerstein erschien bereits 1927 die erste Ausgabe der deutschen Kalksandsteinnorm DIN 106. Im Jahr 2005 löste die europäisch harmonisierte Kalksandsteinnorm DIN EN 771-2 die nationale Produktnorm ab. Auf dieser Grundlage werden Kalksandsteine nunmehr mit einer Leistungserklärung versehen und mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet.

Kalksandsteine sind Mauersteine, die aus den natürlichen Rohstoffen Kalk, kieselsäurehaltigen Zuschlägen (Sand) und Wasser hergestellt, nach intensivem Mischen verdichtet, geformt und unter Dampfdruck gehärtet werden. Für die Zuschläge sollen Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 verwendet werden. Die Verwendung von Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1 ist, mit Ausnahme von Blähglas und Kesselsand, zulässig, soweit hierdurch die Eigenschaften der Kalksandsteine nicht ungünstig beeinflusst werden.

Kalksandsteine werden für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk vorwiegend für die Erstellung von Außen- und Innenwänden verwendet. Für tragende und nicht tragende Außenwände sowie für tragende Innenwände gilt in Deutschland DIN EN 1996/NA, für nicht tragende Innenwände DIN 4103-1.

1.1 Verwendung von Kalksandsteinen in Deutschland nach DIN 20000-402

Entsprechend der Bauproduktenverordnung erhalten Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 [1] eine Leistungserklärung und werden CE-gekennzeichnet. Die CE-Kennzeichnung regelt jedoch nur das „Inverkehrbringen“ harmonisierter Bauprodukte. Die Regeln für die Verwendung in Deutschland auf Grundlage der Landesbauordnungen und der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) sind für Kalksandsteine in der Norm DIN 20000-402 [2] festgelegt.

Dort sind alle wesentlichen Merkmale (Leistungen) aufgeführt, die für die Verwendung in Deutschland in der Leistungserklärung zu deklarieren sind. Gleichzeitig werden die deklarierten Leistungen für die Anwendung nach DIN EN 1996/NA (Eurocode 6) [3] klassifiziert, so dass Kalksandsteine auch nach DIN 20000-402 die traditionelle Bezeichnung erhalten und in die bekannten Steinarten, Druckfestigkeits- und Rohdichteklassen sowie Formate eingeordnet werden können. Ist eine Eingruppierung nach DIN 20000-402 nicht möglich, muss für die betreffenden Steine eine Bauartgenehmigung (früher Anwendungszulassung) vorliegen.

Kalksandsteine gehören damit zu den wenigen harmonisierten Bauprodukten, für die allein die Angaben in der Leistungserklärung ausreichen, um alle Anforderungen gemäß den Landesbauordnungen zu erfüllen. Die VV TB und DIN 20000-402 fordern keine zusätzlich einzuhaltenden Eigenschaften. Der Verwender kann bei Planung, Bemessung, Ausschreibung und Bestellung allein durch Bezugnahme auf DIN 20000-402 und die dort verwendeten Bezeichnungen sicherstellen, dass Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Deutschland auch verwendet werden dürfen. Diese Angaben reichen zudem aus, um Kalksandsteine nach DIN EN 1996/NA bemessen und ausführen zu können. Gleichzeitig erübrigt sich für den Verwender auch die aufwändige Überprüfung von Leistungserklärungen (Bild 2).

INFO

Mit Angabe der Bezeichnung von Kalksandsteinen nach DIN 20000-402 auf dem Lieferschein bestätigt der Hersteller, dass die CE-gekennzeichneten Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 im Sinne der Landesbauordnungen und auf Grundlage der VV TB in Deutschland verwendet werden dürfen.

Bild 1 Die Rohstoffe: Kalk, Sand und Wasser

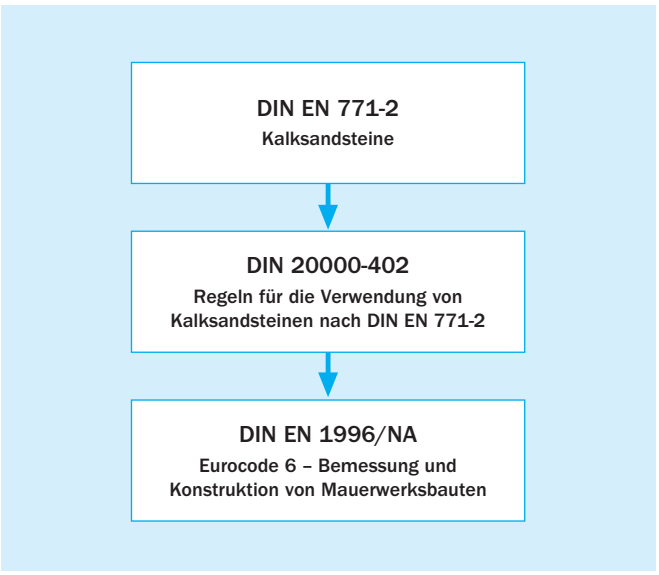


Bild 2 Verwendbarkeit von Kalksandsteinen

2. Herstellung

Die wesentlichen Stationen der Kalksandstein-Produktion sind (Bild 3):

1 Kalk und Sand aus den heimischen Abbaustätten werden im Werk in Silos gelagert. Die Rohstoffe werden im Mischungsverhältnis Kalk : Sand = 1 : 12 nach Gewicht dosiert, intensiv miteinander gemischt und über eine Förderanlage in Reaktoren geleitet.

2 Hier löscht der Branntkalk unter Zugabe von Wasser zu Kalkhydrat ab. Gegebenenfalls wird das Mischgut dann im Nachmischer auf Pressfeuchte gebracht.

3 Mit vollautomatisch arbeitenden Pressen werden die Steinrohlinge geformt und auf Härtewagen gestapelt (Bild 4).

4 Anschließend erfolgt das Härten der Rohlinge unter geringem Energieaufwand bei Temperaturen von ca. 200 °C unter Wasserdampf-Sättigungsdruck, je nach Steinformat etwa vier bis zwölf Stunden. Der Vorgang ist von der Natur abgeschaut. Beim Härtevorgang wird durch die heiße Wasserdampfatmosphäre Kieselsäure von der Oberfläche der Quarzsandkörner angelöst. Die Kieselsäure bildet mit dem Bindemittel Kalkhydrat kristalline Bindemittelphasen – die CSH-Phasen – die auf die Sandkörner aufwachsen und diese fest miteinander verzahnen. Die beim Herstellungsprozess gebildeten Strukturen aus Kalk, Sand und Wasser sind dafür verantwortlich, dass der Kalksandstein ein festes Gefüge hat. Dabei entstehen keine Schadstoffe (Bild 5).

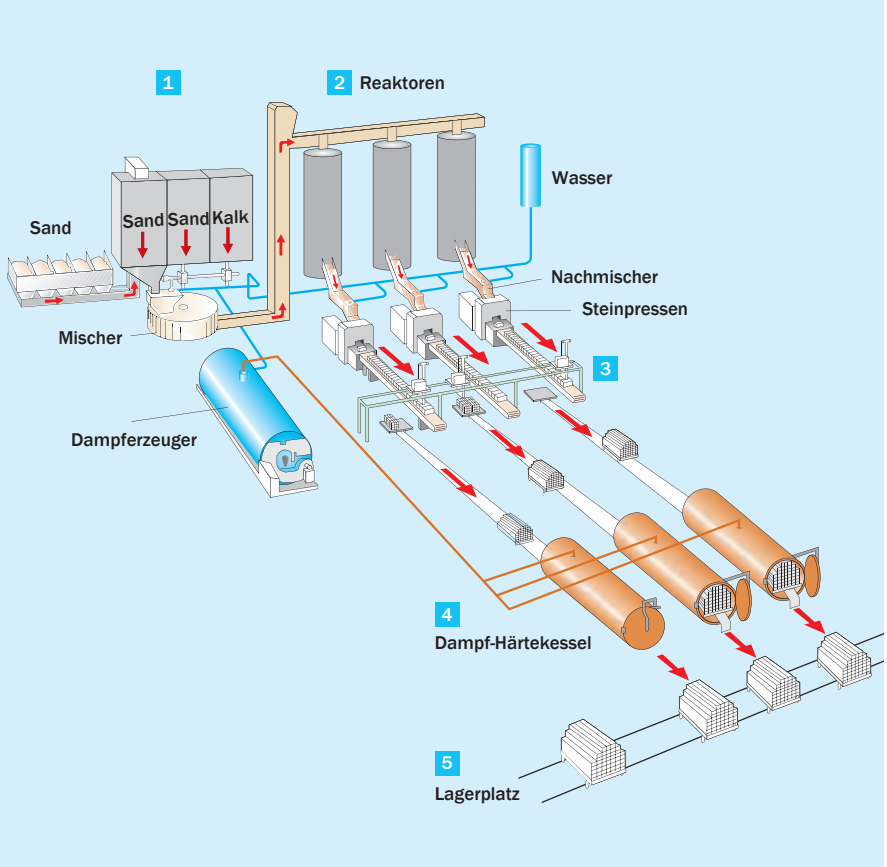


Bild 3 Herstellung von Kalksandstein

5 Nach dem Härten und Abkühlen sind die Kalksandsteine gebrauchsfertig, eine werksseitige Vorlagerung ist nicht erforderlich.

Bild 4 Nach dem Mischen werden die Rohlinge gepresst

Bild 5 Das Härten der Rohlinge erfolgt in Dampf-Härtekesseln

3. Kalksandsteinprodukte

Von der Kalksandsteinindustrie wird eine Vielzahl an Formaten für die Handvermauerung und für das Mauern mit Versetzgerät angeboten. Das KS-Bausystem umfasst neben den Steinformaten für die Erstellung von Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA auch Bauteile zur Systemergänzung sowie Sonderprodukte.

Das Produktprogramm zur Herstellung von tragenden und nicht tragenden Wänden reicht von traditionellen, kleinformatigen Kalksandsteinen zur Handvermauerung über mittelformatige Voll- und Lochsteine bis zu großformatigen Elementen mit Nut-Feder-System zum maschinellen Versetzen.

Mit KS-Bauplatten werden schlanke nicht tragende Wände hergestellt. Besonders wirtschaftlich sind zudem KS-Plansteine und KS-Planelemente, die mit Dünnbettmörtel verarbeitet werden. KS -E-Steine ermöglichen – auch nachträglich – die Verlegung von Elektroinstallation ohne Schlitzen und Fräsen. Steine zur Erstellung von Sichtmauerwerk runden die Palette ab.

Alle Kalksandsteine sind nach DIN EN 771-2 mit dem CE-Kennzeichen versehen. Anhand der in der Leistungserklärung deklarierten wesentlichen Merkmale werden die Steine nach DIN 20000-402 für die Verwendung in Deutschland eingestuft und bezeichnet.

3.1 Bezeichnung

Die Bezeichnung der Kalksandsteine erfolgt nach DIN 20000-402. Sie setzt sich zusammen aus der Steinsorte, der DIN-Hauptnummer, der Steinart, der Steindruckfestigkeitsklasse, der Steinrohdichteklasse und dem Format-Kurzzeichen. Ab dem Format 4 DF ist zusätzlich die Wanddicke anzugeben. Anstelle des Format-Kurzzeichens dürfen auch die Maße in der Reihenfolge Länge/Breite/Höhe angegeben werden. Die Breite entspricht der Wanddicke (Bild 6).

3.2 Steinarten

Kalksandsteine werden in verschiedenen Eigenschaften für unterschiedliche Anwendungsbereiche angeboten. Bei der Unterscheidung der Steinarten sind nach DIN 20000-402 verschiedene in der Leistungserklärung deklarierte Merkmale zu beachten (Tafel 1, Bilder 7 bis 13).

Tafel 1 Wichtige Steinarten und -bezeichnungen nach DIN 20000-402

	Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
a) Kalksandsteine: Lochanteil ≤ 15 % der Lagerfläche				
1	**KS-Vollsteine**	KS	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
2	**KS -R-Blocksteine**	KS -R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 1, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen
3	**KS-Plansteine KS -R-Plansteine**	KS P KS -R P	≤ 25	Wie Zeile 2, aufgrund höherer Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) zum Versetzen in Dünnbettmörtel geeignet
4	**KS-Fasensteine**	KS F	≤ 25	Wie Zeile 3, jedoch mit beidseitig umlaufender Fase an der Sichtseite von ca. 4 bis 7 mm
5	**KS XL-Planelemente**[1]	KS XL-RE	≥ 50 ≤ 62,5	Wie Zeile 3; Lieferung von Regelelementen der Länge 498 mm sowie Ergänzungselementen der Längen 373 mm und 248 mm
		KS XL-PE	≥ 50 ≤ 65	Wie Zeile 3; Lieferung von Regelelementen der Länge 998 mm, unkonfektioniert
				Wie Zeile 3; Lieferung von werkseitig vorkonfektionierten Wandbausätzen mit Regelelementen der Länge 998 mm
6	**KS XL-E-Planelemente**	KS XL-E	= 50	Wie Zeile 5, jedoch mit durchgehenden Installationskanälen (KS -E-Steine)
b) Kalksandsteine: Lochanteil > 15 % der Lagerfläche				
7	**KS-Lochsteine**	KS L	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
8	**KS -R-Hohlblocksteine**	KS L-R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 7, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen
9	**KS-Plansteine KS -R-Plansteine**	KS L P KS L-R P	≤ 25	Wie Zeile 8, aufgrund höherer Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) zum Versetzen in Dünnbettmörtel
c) Frostwiderstandsfähige Kalksandsteine[2]				
10	**KS-Vormauersteine**	KS Vm	≤ 25	Kalksandsteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 10, die frostwiderstandsfähig sind (mindestens Frostwiderstandklasse F1)
11	**KS-Verblender**[2]	KS Vb	≤ 25	Kalksandsteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 16 mit höheren Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) als Zeile 10 und erhöhter Frostwiderstandsfähigkeit (mindestens Frostwiderstandklasse F2)

[1] Im Markt sind unterschiedliche Marken bekannt.
[2] KS-Verblender werden regional auch als bossierte Steine oder mit bruchrauer Oberfläche angeboten.
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

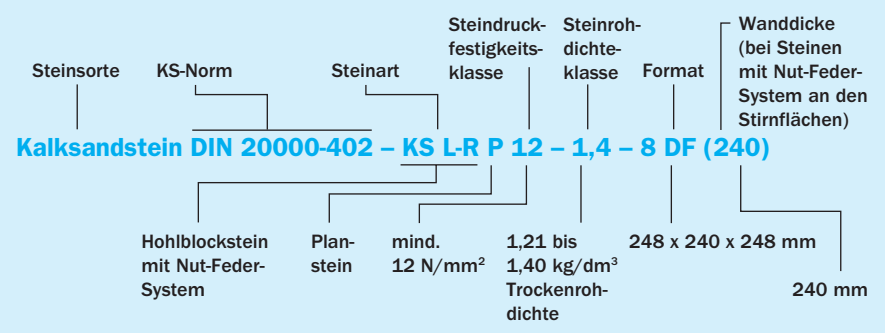


Bild 6 Bedeutung der Kurzzeichen (Beispiel)

3.2.1 Maße

Kalksandsteine halten die in DIN 20000-402 angegebenen Mindest- und Höchstmaße ein. Hierbei wird unterschieden in Sollmaße von Klein- und Mittelformaten sowie Sollmaße von großformatigen Planelementen (KS XL). Für KS-Bauplatten gelten gesonderte Abmessungen.

Die Kalksandsteinindustrie bietet für jeden Anwendungsfall das richtige Steinformat an. Alle Steinformate entsprechen den Anforderungen in DIN 20000-402. Klein- und Mittelformate werden in der Regel als Vielfaches vom Dünnformat (DF) angegeben (Ausnahme: NF = Normalformat).

INFO

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

3.2.2 Grenzabmaße (Toleranzen)

Kalksandsteine sind durch das Herstellverfahren sehr maßgenau. Die in der Leistungserklärung deklarierte Abmaßklasse nach DIN EN 771-2 muss gemäß DIN 20000-402 für die Verwendung mit Dünnbettmörtel mindestens T3 und für die Verwendung mit Normalmauermörtel mindestens T1 entsprechen (Tafel 2). Für KS-Verblender sind die Grenzabmaße der Klasse Tm in DIN 20000-402 angegeben.

3.2.3 Form und Ausbildung

Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Einordnung von Kalksandsteinen in die verschiedenen Steinarten nach DIN 20000-402 ist die Unterscheidung hinsichtlich Form und Ausbildung. Hierzu gehören beispielsweise die folgenden Kriterien:

- Lochanteil bezogen auf die Lagerfläche (Vollsteine/Lochsteine)
- Stegdickensumme (Lochsteine)
- Anordnung und Ausbildung von Grifflöchern und Hantierlöchern
- Anordnung und Ausgestaltung von Lochbildern (Lochreihenanzahl, Stegdicken, Lochdurchmesser)
- Stoßfugenausbildung (Nut-Feder-System)
- Kantenausbildung (Fasensteine)

3.3 Physikalische Eigenschaften von Kalksandstein

Die physikalischen Eigenschaften von Kalksandsteinen werden in DIN 20000-402 anhand der deklarierten wesentlichen Merkmale klassifiziert.

3.3.1 Druckfestigkeitsklasse

Die Steindruckfestigkeit wird in N/mm^2 angegeben. Kalksandsteine sind in den Druckfestigkeitsklassen 4 bis 60 genormt. In der Praxis werden im Wesentlichen die Druckfestigkeitsklassen 12 und 20 hergestellt (Tafel 3).

Tafel 2 Grenzabmaße von Kalksandsteinen

Maße	KS	KS -R P und KS XL	KS Vb[1)]
Abmaßklasse	T1	T3	Tm
Steinlänge und -breite **Mittelwerte** **Einzelwerte**	 Soll ±2 mm Mittel ±2 mm	 Soll ±2 mm Soll ±3 mm	 Soll ±1 mm Mittel ±1 mm
Steinhöhe **Mittelwerte** **Einzelwerte**	 Soll ±2 mm Mittel ±2 mm	 Soll – Soll ±1,0 mm	 Soll ±2 mm Mittel ±2 mm
Ebenheit und Planparallelität	–	1,0 mm	–

[1)] KS-Verblender mit strukturierter Oberfläche haben eine oder zwei bossierte bzw. bruchraue Sichtflächen. Die Anforderungen an die Grenzabmaße gelten nicht für die Richtung senkrecht zur strukturierten Oberfläche.

Für die Zuordnung in die Druckfestigkeitsklassen nach DIN 20000-402 muss die nach DIN EN 772-1 geprüfte und in der Leistungserklärung deklarierte mittlere Druckfestigkeit noch auf die in Deutschland maßgebende Druckfestigkeit unter Berücksichtigung des Formfaktors und des Faktors für den lufttrockenen Zustand umgerechnet werden.

Tafel 3 **Marktübliche Druckfestigkeitsklassen von Kalksandstein**

Druckfestigkeitsklasse[1]	10[2]	12	16[2]	20	28[2]
Mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm²]	12,5	15,0	20,0	25,0	35,0

[1] Entspricht auch dem kleinsten zulässigen Einzelwert bei einer Prüfung
[2] Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

3.3.2 Rohdichteklasse

Die Steinrohdichte wird in kg/dm³ angegeben. Der in der Leistungserklärung deklarierte Wertebereich der Brutto-Trockenrohdichte wird nach DIN 20000-402 der zugehörigen Rohdichteklasse zugeordnet (Tafel 4).

Tafel 4 **Marktübliche Rohdichteklassen von Kalksandstein**

Rohdichteklasse	1,2[1]	1,4	1,6[1]	1,8	2,0	2,2[1]
Klassengrenzen [kg/dm³]	1,01 bis 1,20	1,21 bis 1,40	1,41 bis 1,60	1,61 bis 1,80	1,81 bis 2,00	2,01 bis 2,20

[1] Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Voll- und Blocksteine sind dabei in der Regel den Rohdichteklassen ≥ 1,6 zuzuordnen, Loch- und Hohlblocksteinen den Rohdichteklassen ≤ 1,6. Ob Steine der Rohdichteklasse 1,6 zu den Voll- oder Lochsteinen zu zählen sind, ist abhängig vom prozentualen Lochanteil der Steine. In der Praxis werden im Wesentlichen die Rohdichteklassen 1,4 bis 2,2 hergestellt.

3.3.3 Frostwiderstand

Kalksandsteine für ungeschütztes Mauerwerk, die der Witterung ausgesetzt sind (z.B. in der Verblendschale von zweischaligem Mauerwerk), müssen frostwiderstandsfähig sein. Die Einstufung in Vormauersteine und Verblender erfolgt nach DIN 20000-402. Bei KS-Vormauersteinen (Vm) muss mindestens die Frostwiderstandsklasse F1 und bei KS-Verblendern (Vb) mindestens die Frostwiderstandklasse F2 deklariert sein. Dies entspricht einer extremen Beanspruchung von 25 bzw. 50 Frost-Tau-Wechseln, wobei die Temperatur im Verlauf der Prüfung zwischen -15 °C und +20 °C wechselt. Zudem müssen KS-Vm mindestens die Druckfestigkeitsklasse 10 und KS-Vb mindestens die Druckfestigkeitsklasse 16 aufweisen.

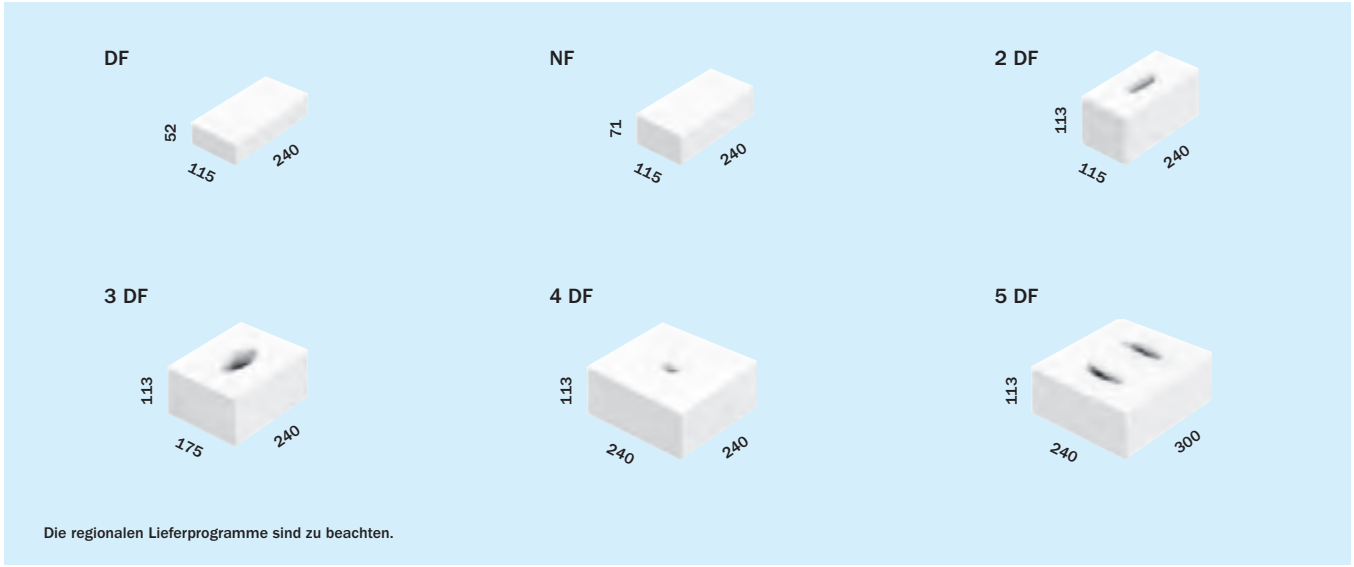
INFO

Die Frostwiderstandsklasse wird in der Leistungserklärung gemäß DIN EN 771-2 nur bei Kalksandsteinen für ungeschütztes Mauerwerk deklariert.

3.3.4 Brandverhalten

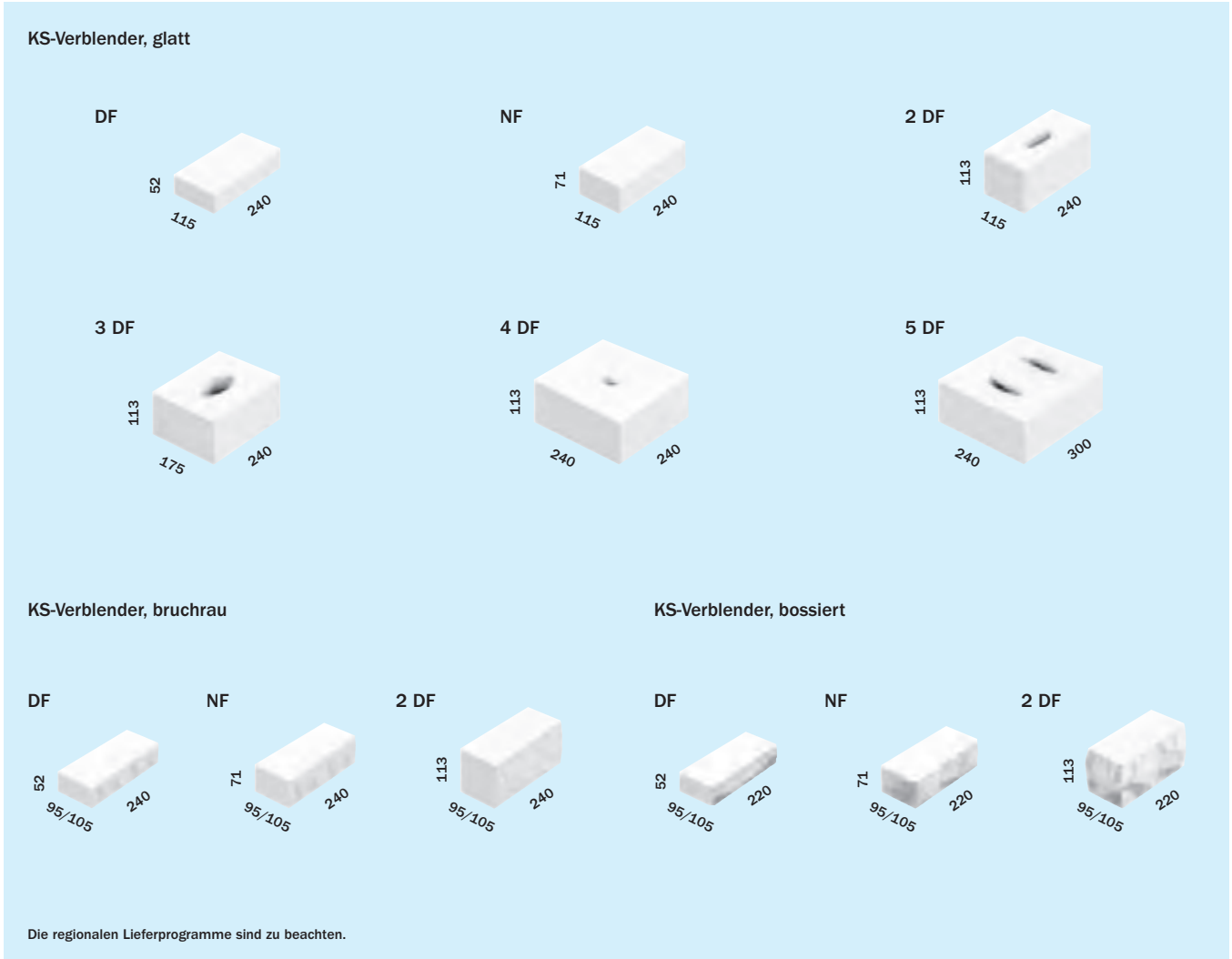
Kalksandsteine nach DIN 20000-402 entsprechen der Brandverhaltensklasse A1 (nicht brennbar) und werden entsprechend deklariert.

3.4 Kalksandsteine für die Verarbeitung mit Normalmauermörtel



Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

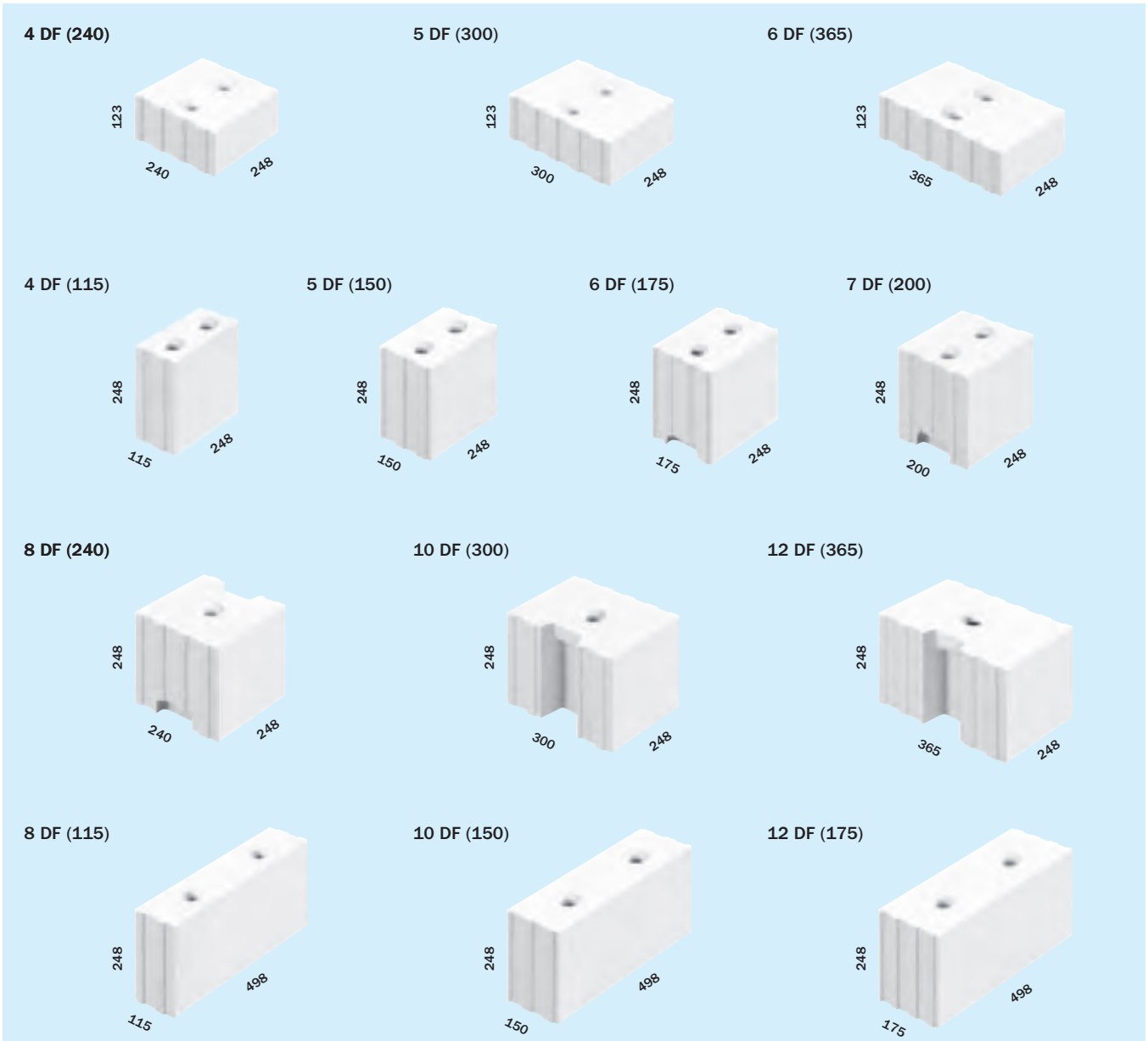
Bild 7 Beispiele von Kalksandsteinen zur Verarbeitung mit Normalmauermörtel



Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

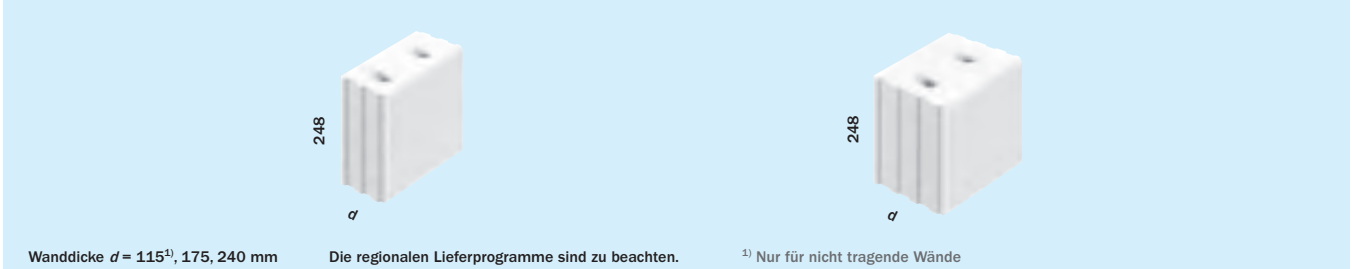
Bild 8 Beispiele von KS-Produkten für Sicht- und Verblendmauerwerk zur Verarbeitung mit Normalmauermörtel

3.5 Kalksandsteine für die Verarbeitung mit Dünnbettmörtel



Steine mit einem Gewicht bis zu 25 kg lassen sich von Hand mauern.
Bei größerem Einzelsteingewicht werden Versetzgeräte eingesetzt.
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

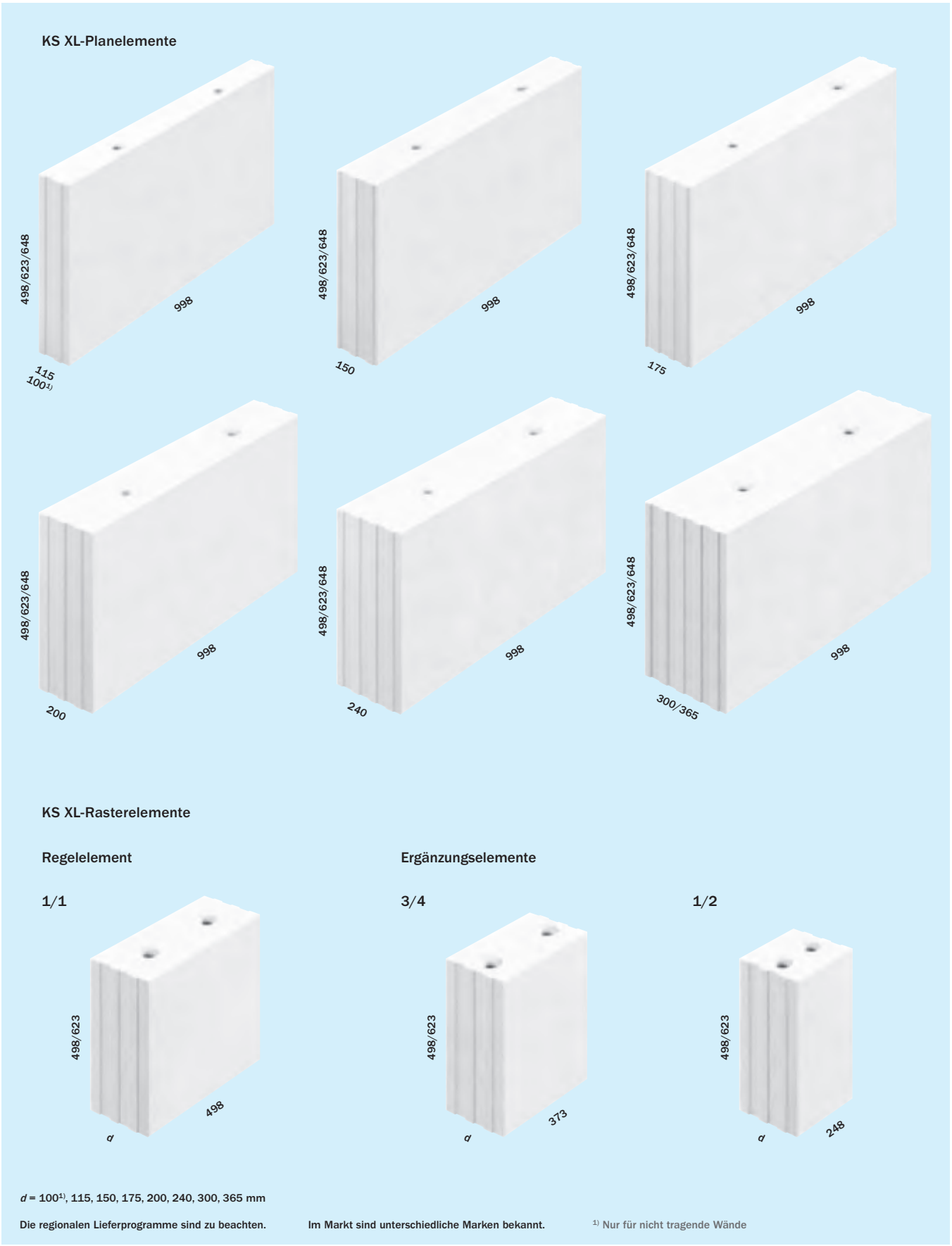
Bild 9 Beispiele von KS -R-Plansteinen (h = 123 mm bzw. 248 mm) zur Verarbeitung mit Dünnbettmörtel



Wanddicke d = 115[1)], 175, 240 mm Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

[1)] Nur für nicht tragende Wände

Bild 10 Beispiele von KS-Fasensteinen zur Verarbeitung mit Dünnbettmörtel



d = 100[1)], 115, 150, 175, 200, 240, 300, 365 mm

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten. Im Markt sind unterschiedliche Marken bekannt.

[1)] Nur für nicht tragende Wände

Bild 11 Beispiele von KS XL-Planelementen und KS XL-Rasterelementen zur Verarbeitung mit Dünnbettmörtel

3.6 Bauteile zur Systemergänzung

Die Bauteile zur Systemergänzung runden das Lieferprogramm ab und ermöglichen somit die Erstellung von Wänden aus einem Baustoff.

3.6.1 KS-Kimmsteine

KS-Kimmsteine sind Ergänzungssteine nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402, die in unterschiedlichen Höhen zum Höhenausgleich am Wandfuß bzw. am Wandkopf eingesetzt werden (Bild 13).

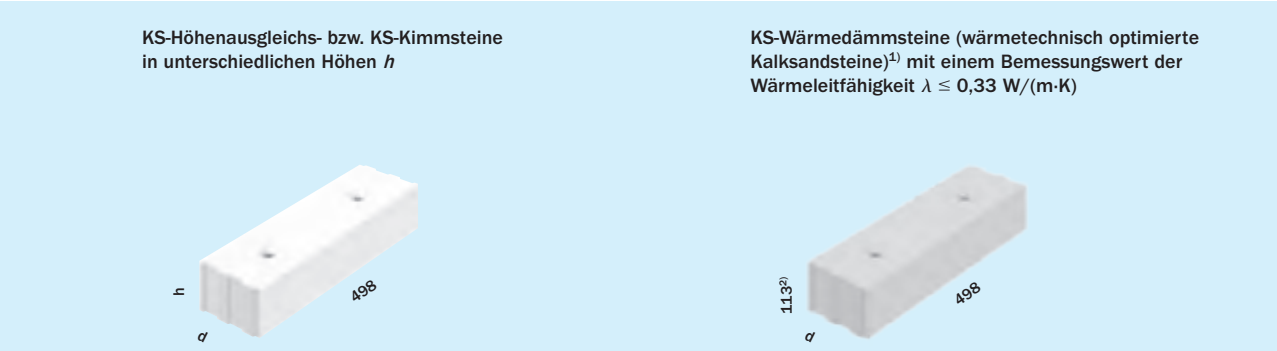
3.6.2 KS-Wärmedämmsteine

KS-Wärmedämmsteine sind wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402, die unter Verwendung eines natürlichen Leichtzuschlags hergestellt werden. Sie werden in der Regel als Vollstein in der Druckfestigkeitsklasse ≤ 20 und einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0{,}33$ W/(m·K) angeboten, regional auch mit anderen Steineigenschaften (Bild 13).

KS-Wärmedämmsteine werden an Wärmebrücken wie z.B. Wandfußpunkten von Außen- und Innenwänden über nicht beheizten Kellern, Fundamentplatten oder belüfteten Kriechkellern eingesetzt.

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Bild 12 KS-Produkte nur für nicht tragende Wände nach DIN 4103



Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

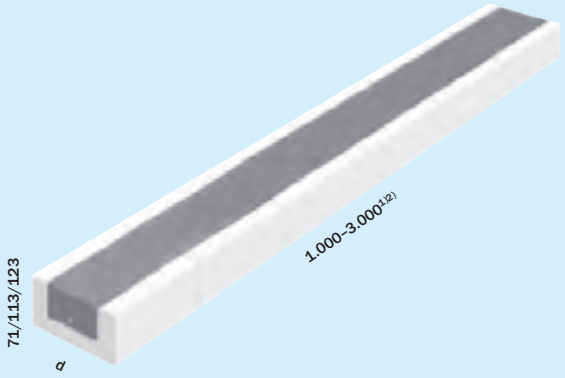
1) Im Markt sind unterschiedliche Marken bekannt.
2) Andere Höhen auf Anfrage

Bild 13 KS-Kimmsteine und KS-Wärmedämmsteine

3.6.3 KS-Stürze

Als vorgefertigte Bauteile zur Öffnungsüberdeckung werden vorgefertigte KS-Stürze nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung angeboten (Bild 14).

Unterschieden wird zwischen *KS-Flachstürzen* ($h \leq 12{,}5$ cm), deren Druckzone (Übermauerung) auf der Baustelle hergestellt wird, und *KS-Fertigteilstürzen* ($h > 12{,}5$ cm) (Bild 15).

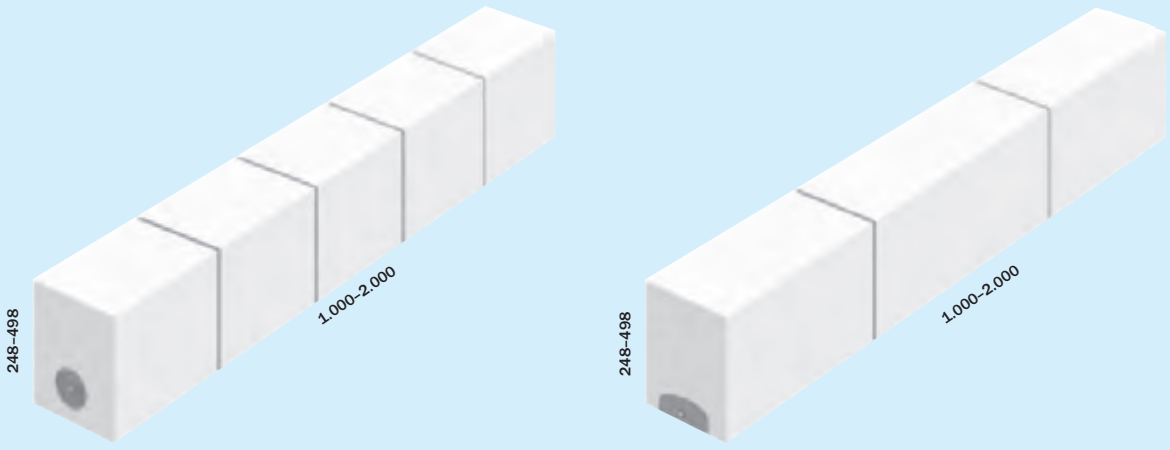


Sturzbreite d = [mm]	Sturzhöhe [mm]	Nennlänge [mm]
115 175	71	1.000 bis 3.000[1)]
115 150 175 200 240	113	
100[3)4)] 115 150 175 200 240	123	1.000 bis 3.000[2)]

[1)] Abgestuft in 250 mm-Schritten
[2)] Abgestuft in 125 mm-Schritten
[3)] Nur für nicht tragende Wände
[4)] Auf Anfrage

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Bild 14 KS-Flachstürze nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)



Lieferbar in verschiedenen Wanddicken und Längen.
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

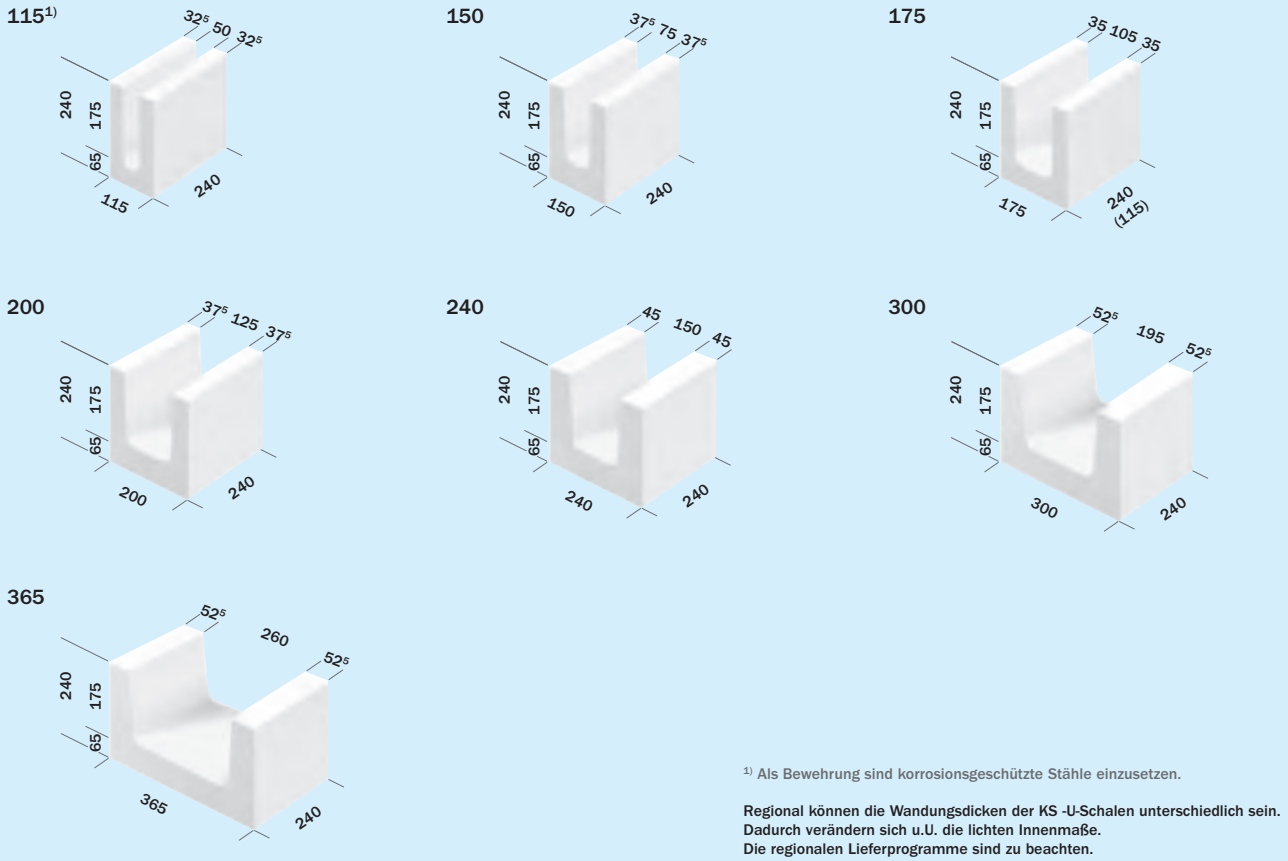
Bild 15 KS-Fertigteilstürze nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)

3.6.4 KS -U-Schalen

KS -U-Schalen sind Kalksand-Formsteine nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402, die aus anwendungstechnischen Gründen von der Form eines geschlossenen Mauersteins abweichen. Sie werden z.B. für Ringbalken, Stürze, Stützen und Installationsschlitze im Mauerwerk verwendet. KS -U-Schalen werden als Ergänzung für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk sowie für Verblendmauerwerk angeboten (Bild 16).

3.6.5 KS -E-Steine

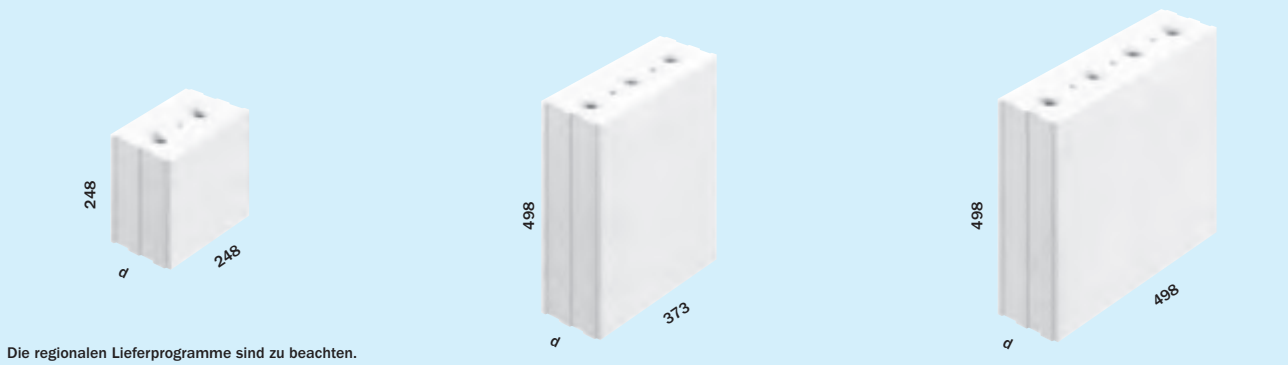
KS-Produkte nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402 mit durchgehenden vertikalen Installationskanälen (∅ ≤ 60 mm) im Abstand von 12,5 bzw. 25 cm werden als KS -E-Steine bezeichnet. Sie sind so im Verband zu mauern, dass über die gesamte Wandhöhe eines Geschosses durchgehende Kanäle entstehen. In diese Kanäle können nach Fertigstellung der Wände von der oberen Decke her Leerrohre für die Installation eingezogen werden. Der Vorteil dieser Bauweise ist, dass Installationsleitungen nicht eingefräst werden müssen, sondern geschützt in der Wand liegen (Bild 17).



[1)] Als Bewehrung sind korrosionsgeschützte Stähle einzusetzen.

Regional können die Wandungsdicken der KS -U-Schalen unterschiedlich sein. Dadurch verändern sich u.U. die lichten Innenmaße. Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Bild 16 KS -U-Schalen



Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Bild 17 Beispiele von KS-Produkten mit durchgehenden Installationskanälen (KS -E-Steine)

4. Grundlagen für die Verwendung

Grundlage für das Inverkehrbringen von Kalksandsteinen ist die Bauproduktenverordnung (BauPVO) [4]. Diese gilt europaweit für alle Bauprodukte mit europäisch harmonisierter Norm. Die für Kalksandsteine geltende Norm DIN EN 771-2 wird in der jeweils aktuellen Fassung im Amtsblatt der Europäischen Kommission bekannt gemacht und gilt dann unmittelbar in allen Mitgliedsländern.

Auf dieser Grundlage erhalten alle Kalksandsteine eine Leistungserklärung und werden mit dem CE-Kennzeichen versehen.

CE-gekennzeichnete Bauprodukte dürfen zwar ohne zusätzliche Anforderungen im Markt bereit gestellt, aber nicht ohne weitere Verwendungsregeln in Bauwerken auch verwendet werden. Die Festlegung der Bauwerksanforderungen obliegt im Gegensatz zum Inverkehrbringen von harmonisierten Bauprodukten den einzelnen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union.

Grundlage der Anforderungen an Bauprodukte zur Verwendung in Bauwerken sind in Deutschland gemäß den Landesbauordnungen die bauaufsichtlich eingeführten Technischen Baubestimmungen. Diese sind in der vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) herausgegebenen Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) aufgelistet.

Gemäß VV TB ist die im Mauerwerksbau bei Bemessung und Anwendung einzuhaltende Technische Regel der Eurocode 6 (DIN EN 1996/NA) mit den verschiedenen Teilen und Nationalen Anhängen. Gleichzeitig sind nach VV TB die für Mauersteine geltenden Anwendungsnormen – für Kalksandsteine DIN 20000-402 – zu beachten.

Hintergrund ist, dass nicht alle nach DIN EN 771-2 herstellbaren Kalksandsteine auch die in Deutschland geltenden Bauwerksanforderungen erfüllen. Daher legt DIN 20000-402 fest, welche der in DIN EN 771-2 definierten wesentlichen Merkmale in der Leistungserklärung mindestens zu deklarieren sind und welchen Wert die deklarierten Leistungen erfüllen müssen. Für Produkte, die diese Anforderungen nicht erfüllen, muss gemäß den Landesbauordnungen eine Bauartgenehmigung (früher Anwendungszulassung) des Deutschen Instituts für Bautechnik vorliegen.

Kalksandsteine werden in DIN 20000-402 zudem für die Anwendung nach DIN EN 1996/NA klassifiziert. Sind alle Anforderungen an die wesentlichen Merkmale erfüllt und sind die Steine entsprechend klassifiziert, darf für die betreffenden Kalksandsteine die in Deutschland bekannte Bezeichnung verwendet werden (Bild 6).

5. Kennzeichnung

Wegen der umfangreichen Deklarationspflicht in der Leistungserklärung und im CE-Kennzeichen ist die Einordnung von Kalksandsteinen nach DIN 20000-402 aufwändig und für den Verwender ohne detaillierte Kenntnisse nur schwer zu leisten. Die deutsche Kalksandsteinindustrie nimmt die Einstufung ihrer Produkte nach der nationalen Anwendungsnorm daher bereits im Vorfeld selbst vor.

Die zusätzliche Bezeichnung nach DIN 20000-402 auf Lieferschein, Beipackzettel und/oder auf der Verpackung gibt dem Verwender in bekannter Form die notwendigen Hinweise für die Verwendung. Bei Kalksandsteinen, die diese Bezeichnung tragen, braucht der Verwender daher nicht mehr selbst zu überprüfen, ob CE-gekennzeichnete Kalksandsteine nach den Landesbauordnungen in Deutschland auch verwendbar sind. Die prägnante und bewährte Bezeichnung nach DIN 20000-402 vereinfacht zudem ganz wesentlich den Umgang mit Kalksandsteinen in der Baupraxis. Erst durch diese Bezeichnung ist die Planung, Bemessung, Ausschreibung und Bestellung von Produkt und Qualität in der deutschen Baupraxis mit einem überschaubaren Aufwand möglich.

INFO

Die deutsche Kalksandsteinindustrie hält – zusätzlich zur CE-Kennzeichnung – an der bewährten und etablierten Kurzkennzeichnung nach DIN 20000-402 fest.

Neben den bauaufsichtlich relevanten Aspekten ist mit der Klassifizierung von Kalksandsteinen nach DIN 20000-402 durch den Hersteller damit sicher gestellt, dass Kalksandsteine auch in der Praxis einfach und für alle Beteiligten leicht überschaubar im Mauerwerksbau nach DIN EN 1996/NA (Eurocode 6) verwendet werden können.

6. Mauerwerks- und systemgerechte Planung

Die Steinlängen und die Steinhöhen der Kalksandsteine entsprechen der oktametrischen Maßordnung nach DIN 4172. Abweichende Wanddicken, z.B. 15 cm und 20 cm, aber auch die klassischen 30 cm dicken Wände durchbrechen dieses Raster. In DIN 4172 „Maßordnung im Hochbau“ sind Rohbau- Richtmaße festgelegt, die vom „Meter“ (m) und „Achtelmeter“ (am = 1/8 m = 12,5 cm) abgeleitet sind. Es wird deshalb auch vom „oktametrischen Raster“ (12,5er-Raster) gesprochen. Diese Rohbau-Richtmaße gelten für alle Längen-, Breiten- und Höhenmaße im Bauwesen. Sie sind Vielfaches des Achtelmeters (n · 12,5 cm) und als Planungsmaße für den Architekten von Bedeutung. Für Ausführungspläne werden Nennmaße benötigt, die abhängig von der Bauweise (mit oder ohne Fugen) differenziert werden (Bild 20).

INFO

Kalksandsteine mit Nut-Feder-System entsprechen ebenso wie Kalksandsteine mit glatten Stirnseiten der Maßordnung der DIN 4172.

Bild 18 KS-R-Plansteine für Dünnbettmörtel

6.1 Planung

Neben den Randbedingungen, die sich aus den Rohbau-Richtmaßen ergeben, sollten bei heute üblichem Mauerwerk aus mittel- oder großformatigen Kalksandsteinen, die systembedingten Eigenschaften der jeweiligen KS-Produkte bereits in der Planung berücksichtigt werden, um das hohe Wirtschaftlichkeitspotenzial modernen KS-Mauerwerks auszuschöpfen. Deshalb werden diese Eigenschaften nachfolgend aufgezeigt, bevor allgemeine Empfehlungen zur mauerwerksgerechten Planung gegeben werden.

6.1.1 KS -R-Plansteine

Die hohe Maßgenauigkeit (Höhentoleranz ± 1,0 mm) von KS -R-Plansteinen (KS -R P) ermöglicht besonders ebenflächiges und sauberes Mauerwerk. Die einfache Verarbeitung und der geringe Mörtelbedarf sind Merkmale für das Versetzen in Dünnbettmörtel (Bild 19). Die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit nach DIN EN 1996/NA für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel ist gegenüber Mauerwerk mit Normalmauermörtel erhöht.

6.1.2 KS XL

KS XL sind großformatige Kalksandsteine, die in der Regel mit Schichthöhen von 50 cm bzw. 62,5 cm geliefert werden. Die Länge der jeweiligen Regelelemente beträgt je nach System 50 cm oder 100 cm.

KS XL werden nur mit Dünnbettmörtel verarbeitet. Die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit für KS XL ist gegenüber Plansteinen nochmals erhöht (Tafel 6). Das Versetzen erfolgt maschinell mit einem Versetzgerät (Bilder 20 und 21).

Die Wände werden aus Regelelementen hergestellt. Zum Längen- und Höhenausgleich kommen Passelemente und/oder Ausgleichselemente zum Einsatz.

Bild 19 Anlegen der Kimmschicht

Bild 20 Versetzen von KS XL in Dünnbettmörtel

Bild 21 Maschinelles Versetzen von KS XL-Planelementen

Die Anwendung von KS XL ist seit Einführung von DIN EN 1996/NA normativ geregelt. Weitere bauaufsichtliche Nachweise oder Herstellererklärungen sind nicht erforderlich.

Auch bei KS XL mit Schichthöhen von 50 cm bzw. 62,5 cm soll das Überbindemaß von $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot$ Steinhöhe der Regelfall sein. Da dies aber nicht an allen Stellen baupraktisch ausführbar ist, ist in DIN EN 1996/NA auch die Reduzierung des Überbindemaßes bis zu $l_{ol} \geq 0{,}2 \cdot$ Steinhöhe $\geq$ 12,5 cm geregelt (Tafel 5).

INFO

Eine Verringerung des Regelüberbindemaßes von KS XL ist in der statischen Bemessung der Wände zu berücksichtigen. Das Überbindemaß ist dann in den Ausführungsplänen anzugeben. Änderungen auf der Baustelle sind mit dem Statiker abzustimmen.

KS XL-Planelemente

KS XL-Planelemente können als werkseitig konfektionierte Bausätze oder Elemente im Baukastenprinzip bezogen werden. Bei werkseitig konfektionierten Bausätzen werden optimierte Versetzpläne vom Hersteller erstellt, nachdem die Planungsunterlagen vorliegen. Die Pass- und Ausgleichselemente werden bereits werkseitig passgenau zugeschnitten. Ein Sägen auf der Baustelle ist daher nicht erforderlich. Lediglich das Ablängen der Kimmsteine erfolgt bauseits.

Es besteht dadurch keine Bindung an ein bestimmtes Raster jedoch führt eine Orientierung an der oktametrischen Maßordnung zu mehr Effizienz. Der gesamte Bausatz – inklusive der erforderlichen Elemente zum Höhen- und Längenausgleich sowie ggf. passgenaue Giebelelemente – wird zusammen mit dem Versetzplan auf die Baustelle geliefert.

Die optimale Anwendung des Baukastenprinzips setzt eine konsequente Planung im oktametrischen (12,5 cm) Raster voraus.

Die Wandlängen in einem Vielfachen von 12,5 cm können erreicht werden, indem neben den Regelelementen auch Passelemente mit kürzeren Längen eingesetzt werden.

Planänderungen können kurzfristig auf der Baustelle umgesetzt werden. Erforderliche Elemente zum Höhen- und Längenausgleich können auf der Baustelle hergestellt werden. Dadurch ergibt sich eine kurze Vorlaufzeit bis zum Baubeginn.

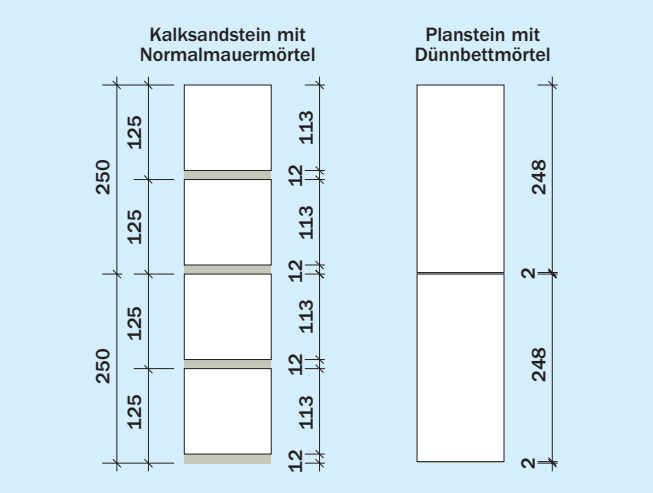
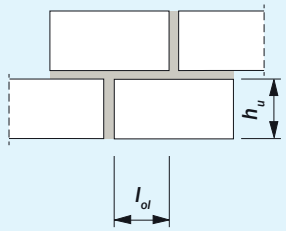


Bild 22 Schichtmaß

Tafel 5 Mindestüberbindemaße

Überbindemaß l_{ol} in Abhängigkeit von der Steinhöhe		
Steinhöhe h_u [cm]	Regelfall $l_{ol} = 0{,}4 \cdot$ Steinhöhe [cm]	Mindestüberbindemaß l_{ol} [cm]
< 11,3	5	≥ 4,5
11,3 / 12,3	5	≥ 0,4 · Steinhöhe $\hat{=}$ 5
24,8	10	≥ 0,4 · Steinhöhe $\hat{=}$ 10
49,8	20	≥ 0,25 · Steinhöhe $\hat{=}$ 12,5
62,3	25	≥ 0,2 · Steinhöhe $\hat{=}$ 12,5



6.1.3 KS-Bauplatten (KS BP)

Für nicht tragende innere Trennwände nach DIN 4103-1 [5] können KS BP eingesetzt werden. KS-Bauplatten sind Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402 mit Regelhöhen von 248 mm und einer Dicke < 115 mm, die bei einer Dicke von 70 mm mit einem umlaufenden Nut-Feder-System ausgebildet sind. Die Stoßfugen der KS-Bauplatten werden in der Regel vermörtelt.

Tafel 6 Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksand-Planelementen mit Dünnbettmörtel

Dünnbettmörtel DM Steindruckfestigkeitsklasse	Planelemente		Plansteine	
	KS XL	KS XL-E KS XL-N	KS P KS -R P	KS L-P KS L-R P
10[1)]	–	–	–	5,0
12	9,4	7,0	7,0	5,6
16[1)]	11,2	8,8	8,8	6,6
20	12,9	10,5	10,5	–
28[1)]	16,0	–	13,8	–

[1)] Auf Anfrage regional lieferbar
KS XL: KS-Planelement ohne Längsnut, ohne Lochung
KS XL-E: KS-Planelement ohne Längsnut mit einem Lochanteil ≤ 15 %
KS XL-N: KS-Planelement mit Längsnut, ohne Lochung
KS P: KS-Planstein mit einem Lochanteil ≤ 15 %
KS L-P: KS-Planstein mit einem Lochanteil > 15 %

6.2 Bauweise ohne Stoßfugenvermörtelung

In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurde ausschließlich Mauerwerk mit Normalmauermörtel und Stoßfugenvermörtelung ausgeführt. Die standardmäßig angesetzte Fugendicke betrug daher 1 cm. Die Steinlänge glatter Steine entspricht daher dem Baurichtmaß abzüglich der Fugendicke (z.B.: 24 cm) (Bild 23).

Heute werden im Mauerwerksbau in der Regel Steine mit Nut-Feder-System ohne Stoßfugenvermörtelung verwendet. Die Ausführung des Mauerwerks ohne Stoßfugenvermörtelung ist in DIN EN 1996/NA geregelt. Die Steine werden knirsch aneinander gereiht.

Sinnvollerweise erfolgt daher die Planung für die Wandlängen im Baurichtmaß (12,5 cm-Raster).

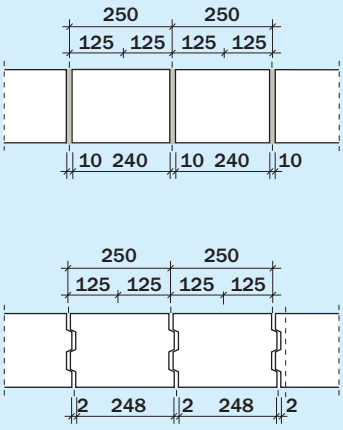


Bild 23 Baurichtmaße von Mauerwerk mit und ohne Stoßfugenvermörtelung

6.3 Vertikale Wandausbildung, Höhenausgleich

Bei Dünnbett-Mauerwerk erfolgt der Toleranz- und Höhenausgleich in der Regel am Wandfuß. Das Aufmauern der Wände beginnt mit einer Höhenausgleichsschicht aus Normalmauermörtel M 10, Dicke d = 1 bis 3 cm, und KS-Kimm- und/oder KS-Wärmedämmsteinen. Die Mörtelschicht dient neben dem Höhenausgleich der Wand zur Herstellung eines planebenen Niveaus in Längs- und Querrichtung und dem Ausgleich von Unebenheiten in der Betondecke (Bild 19).

Hinsichtlich der Höhenmaße ergeben Steinhöhe und Lagerfugendicke das Schichtmaß, das stets ein Vielfaches von 12,5 cm und somit das Rohbau-Richtmaß darstellt.

6.4 Querschnittsabdichtung von Kalksandsteinwänden

Als Querschnittsabdichtung für Kalksandsteinwände im Keller (Erddruckbeanspruchung) werden die in DIN 18533-3 genormten, mineralischen Dichtungsschlämme (MDS) empfohlen. Die nach DIN EN 1996/NA ebenfalls zulässigen Bitumendachbahnen mit Rohfilzeinlage (R 500) sind für eine Dünnbettfuge nicht geeignet. Bei Verwendung der R 500 ist die Abdichtung nur in der Dickbettfuge unterhalb der Kalksandsteinwand möglich. Andere Mauersperrbahnen benötigen für die Anwendung in tragendem Mauerwerk eine allgemeine Bauartgenehmigung des DIBt.

6.5 Fenster und Türöffnungen in KS-Mauerwerk

Fenster- und Türöffnungen werden rationell durch Stürze (KS-Flachstürze oder KS-Fertigteilstürze) überdeckt. In der Druckzone über Flachstürzen sind die Stoßfugen unabhängig von Mörtelart und Stirnseitenausbildung grundsätzlich vollflächig zu vermörteln. Fenster- und Türöffnungen lassen sich auch mit deckengleichen Unterzügen überspannen. Geschosshohe Öffnungen können mit entsprechenden, darauf abgestimmten Tür- und Fensterelementen ausgeführt werden (Bilder 25 und 26).

Bild 24 Vorgefertigte KS-Flachstürze zur schnellen und rationellen Öffnungsüberdeckung

Bild 25 KS-Fertigteilstürze für großformatiges Mauerwerk

7. Wirtschaftliche KS-Wandkonstruktionen

Der Bedarf an Wohnraum ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich angestiegen. Insbesondere in den Ballungsgebieten fehlen hunderttausende neuer Wohnungen vor allem im Bereich des kostengünstigen Bauens. Knappes Bauland und hohe Grundstückspreise verteuern hingegen das Bauen. Die rationelle Nutzung der Grundflächen wird daher immer wichtiger. Schlanke KS-Wände vergrößern bei gleichen Gebäudeaußenmaßen die Wohn- und Nutzfläche gegenüber Gebäuden mit dickeren Wandkonstruktionen um bis zu 7 %. Alternativ kann bei gleich bleibender Wohn- und Nutzfläche das Gebäudevolumen reduziert werden. Dies führt zu einer erheblichen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.

Werden nicht tragende Wände durch hochbelastbare, tragende KS-Wände, $d = 11{,}5$ cm, ersetzt, können ggf. auch die Decken durch die geringeren Stützweiten schlanker dimensioniert werden. Die Deckendurchbiegung wird somit reduziert und die Risssicherheit weiter erhöht. Tragende Wände, die nicht durch Querwände ausgesteift sind, sind als zweiseitig gehaltene Wände zu bemessen. DIN EN 1996/NA bietet dazu die Bemessungsgrundlagen und regelt neben der traditionellen Ausführung auch Mauerwerk mit Stumpfstoßtechnik, ohne Stoßfugenvermörtelung und mit Dünnbettmörtel. Kalksandsteine mit hoher Steindruckfestigkeit und Steinrohdichte sind damit bestens geeignet für schlanke, tragende Wände – auch bei Anforderungen an den Schallschutz. Kalksandstein-Außenwände tragen aufgrund des Konzepts der Funktionstrennung besonders auch bei steigenden Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz zu besonders wirtschaftlichen Gebäuden bei.

Das bewährte KS-Bausystem rationalisiert und humanisiert den Mauerwerksbau bei hoher Qualität und berücksichtigt ökologische Aspekte.

Das KS-Bausystem umfasst wie zuvor beschrieben systemgerechte Mauersteine und Ergänzungsprodukte, berücksichtigt Arbeitsvorbereitung und Arbeitstechniken, ermöglicht die mauerwerksgerechte Planung und Wandoptimierung und die Bemessung von schlanken Wänden. Es bietet damit die Grundlage für die Planung und Errichtung technisch hochwertiger und gleichzeitig kostengünstiger Gebäude. Spezifische KS-Serviceleistungen und komplette Systemlösungen runden das KS-Bausystem ab.

Literatur

[1] DIN EN 771-2:2015-11 Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine; Deutsche Fassung EN 771-2: 2011+A1:2015

[2] DIN 20000-402:2017-01 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2:2015-11

[3] DIN EN 1996/NA (Eurocode 6): Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

[4] VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates

[5] DIN 4103-1:2015-06: Nicht tragende innere Trennwände – Teil 1: Anforderungen und Nachweise

Bildnachweise

Bild S. 60, Bild 1, Bild 2, Bild 4, Bild 5, Bild S. 64, Bild S. 65, Bild 18, Bild 19, Bild 20, Bild 21, Bild 24, Bild 25, Bild S. 77: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 4

MAUERMÖRTEL UND PUTZ

Prof.-Dr. Sylvia Stürmer,
Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung

Stand: 08/2025

1. Mauermörtel

1.1 Definition, Aufgaben

Mauermörtel sind ein Gemisch aus Gesteinskörnung(en), Bindemittel(n) sowie ggf. Zusatzstoffen und Zusatzmitteln.

Mauermörtel werden zur Herstellung der Lagerfugen und bei Bedarf auch der Stoß- und Längsfugen im Mauerwerk sowie zum nachträglichen Verfugen verwendet. Wesentliche Aufgaben sind der Ausgleich der Maßtoleranzen der Mauersteine und deren kraftschlüssige Verbindung sowie ein funktionsgerechter Fugenabschluss bei Sichtmauerwerk. Mauermörtel tragen maßgeblich zum Tragverhalten des Mauerwerks und bei Außensichtmauerwerken zum Witterungsschutz bei.

1.2 Technische Regelwerke

Mauermörtel sind europäisch harmonisiert in DIN EN 998-2 [1] genormt. Um Mauermörtel nach DIN EN 998-2 für Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA [2] verwenden zu können, muss nach MVV TB die zugehörige Anwendungsnorm DIN 20000-412 [3] beachtet werden (Bild 1). Diese Mörtel sind grundsätzlich Mauermörtel nach Eignungsprüfung, für die der Hersteller mindestens die in DIN 20000-412 geforderten Leistungen deklariert hat.

Die Norm DIN 18580 [4] enthält nur die Regelungen für auf der Baustelle hergestellte Normalmauermörtel (Baustellenmauermörtel), die in DIN EN 998-2/DIN 20000-412 nicht geregelt sind. Baustellenmauermörtel können als Mauermörtel nach Eignungsprüfung oder als Mauermörtel nach Rezept hergestellt werden, deren Eigenschaften aus den vorgegebenen Anteilen der Bestandteile abgeleitet werden (Rezeptkonzept). Diese dürfen ebenfalls für Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA verwendet werden.

1.3 Mauermörtel nach DIN EN 998-2/DIN 20000-412

Lieferformen

Die für KS-Mauerwerk verwendeten Mauermörtel nach DIN EN 998-2/DIN 20000-412 werden als Werkmörtel geliefert. Werkmörtel sind im Mörtelwerk oder außerhalb unter werkmäßigen Bedingungen aus Ausgangsstoffen nach DIN EN 998-2 zusammengesetzte Mörtelmischungen. Durch die werkmäßige Herstellung ist eine hohe Gleichmäßigkeit der Mörtelkennwerte erreichbar und eine gezielte Optimierung für den jeweiligen Anwendungsfall möglich. Heutzutage wird überwiegend Werk-Trockenmörtel verwendet. Grundsätzlich gibt es bei Werkmörteln folgende Lieferformen:

- Werk-Trockenmörtel
  Ein fertiges Gemisch aller trockenen Ausgangsstoffe, dem bei der Aufbereitung auf der Baustelle nur noch Wasser zugemischt werden darf, um eine verarbeitbare Konsistenz zu erreichen. Werk-Trockenmörtel wird im Silo, Minitainern, BigBags oder in Säcken auf die Baustelle geliefert.

- Werk-Vormörtel
  Ein Gemisch aus Gesteinskörnungen und Kalk sowie ggf. weiteren Zusätzen. Auf der Baustelle werden Zement (nach Herstellerangabe) und Wasser zugegeben.

- Werk-Frischmörtel
  Gebrauchsfertiger Mörtel in verarbeitbarer Konsistenz, der in Fahrmischern auf die Baustelle geliefert, dort in Mörtelkübeln entladen wird und durch Verzögerer i.d.R. 36 Stunden verarbeitbar ist. Eine bauseitige Wasserzugabe ist nicht zulässig!

- Mehrkammer-Silomörtel
  In einem Silo sind in getrennten Kammern die Mörtelausgangsstoffe enthalten. Sie werden unter Wasserzugabe automatisch dosiert und gemischt, so dass am Mischerauslauf auf der Baustelle verarbeitungsfähiger Mörtel entnommen werden kann. Bei Mehrkammer-Silomörtel darf das Mischungsverhältnis baustellenseitig nicht verändert werden.

Mörtelarten

In DIN 20000-412 werden drei Mörtelarten unterschieden:

- Normalmauermörtel (NM)
- Dünnbettmörtel (DM)
- Leichtmörtel (LM)

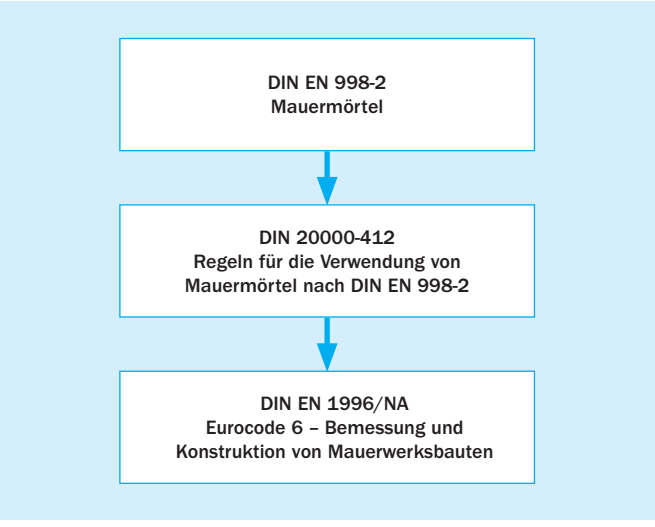


Bild 1 Verwendbarkeit von Mauermörteln

Normalmauermörtel nach DIN 20000-412 sind Werkmörtel aus Gesteinskörnungen mit in der Regel dichtem Gefüge und einer Trockenrohdichte > 1.300 kg/m³. Die Normalmauermörtel werden nach steigender Druckfestigkeit in die Mörtelklassen M 1, M 2,5, M 5, M 10 und M 20 eingeteilt, wobei die Mörtelklasse M 1 für tragendes Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA nicht verwendet werden darf. Die Klassifizierung der Normalmauermörtel entspricht den früher nach DIN 1053 üblichen Mörtelgruppen NM I, II, IIa, III und IIIa.

Dünnbettmörtel (DM) sind Werk-Trockenmörtel aus Gesteinskörnungen mit in der Regel dichtem Gefüge und einem Größtkorn von 1,0 mm. Sie müssen eine Druckfestigkeit mindestens der Mörtelklasse M 10 und eine Trockenrohdichte von mindestens 1.300 kg/m³ aufweisen.

Leichtmauermörtel sind Werk-Trocken- oder Werk-Frischmörtel mit leichten Gesteinskörnungen (Leichtzuschlägen), ggf. auch

mit Anteilen von Gesteinskörnungen mit dichtem Gefüge. Die Trockenrohdichte der Leichtmauermörtel muss kleiner als 1.300 kg/m³ sein und ihre Druckfestigkeit muss den Mörtelklassen M 5 oder M 10 entsprechen. Leichtmauermörtel der Mörtelklasse M 5 werden zudem in Abhängigkeit der Trockenrohdichte (700 bzw. 1.000 kg/m³) und der zugehörigen Wärmeleitfähigkeit in die Gruppen LM 21 und LM 36 eingeteilt. Diese unterscheiden sich auch beim nachzuweisenden Längs- und Querdehnungsmodul.

Anforderungen

Die Anforderungen an Mauermörtel nach DIN 20000-412 sind in Tafel 1 zusammengestellt. Diese müssen zusammen mit weiteren Anforderungen im Rahmen einer Erstprüfung und der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) kontinuierlich nachgewiesen werden. Dadurch werden – sachgerechte Verarbeitung vorausgesetzt – die angestrebten Mörteleigenschaften im Mauerwerk gewährleistet. Alle Mörtel müssen nichtbrennbar (Klasse A 1) sein und sind hinsichtlich des Chloridgehaltes beschränkt.

Von großer Bedeutung für die Mauerwerksfestigkeit sind insbesondere die Druck- und Haftscherfestigkeit des Mauermörtels. Bei Normal- und Leichtmauermörtel muss zusätzlich auch die Fugendruckfestigkeit nachgewiesen werden. Bei Dünnbettmörtel ist dies nicht erforderlich, da diese wegen der dünnen Fuge für die Mauerwerksdruckfestigkeit von untergeordneter Bedeutung ist. Für den Verbund der Mauersteine und damit für die Zug-, Biegezug- und Schubbeanspruchbarkeit des Mauerwerks ist die Haftscherfestigkeit zwischen Mauermörtel und Mauerstein maßgebend. Diese muss daher bei allen Mörteln in Abhängigkeit der Druckfestigkeit entsprechend nachgewiesen werden (Tafel 1).

Die Mauerwerksdruckfestigkeit verringert sich zudem mit zunehmender Verformungsfähigkeit der Mauermörtel in der Lagerfuge quer zur vertikalen Belastung des Mauerwerks. Daher wird bei Leichtmauermörteln geringerer Druckfestigkeit eine gewisse „Mindeststeifigkeit“ des Mörtels verlangt, die durch einen ausreichenden Längs- und Querdehnungsmodul nachzuweisen ist.

Dünnbettmörtel haben ein hohes Wasserrückhaltevermögen, damit wegen der geringen Mörtelmenge in der Fuge nicht zu viel Anmachwasser abgesaugt wird. Zur Gewährleistung einer ausreichend langen Verarbeitbarkeitszeit nach dem Anrühren eines Gebindes (Sack) und der notwendigen Korrigierbarkeitszeit sind entsprechende Mindestzeiten für den Dünnbettmörtel nachzuweisen (Tafel 1).

Für Dünnbettmörtel, die besonders für die Verarbeitung von KS-Mauerwerk geeignet sind, hat der Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. zudem gemeinsam mit der Gütegemeinschaft Naturstein, Kalk und Mörtel e.V. (GG-Cert) ein freiwilliges Gütesicherungssystem entwickelt. Dieses wird bei Dünnbettmörteln angewendet, die höhere Anforderungen erfüllen als nach DIN EN 998-2 und DIN 20000-412 gefordert

Tafel 1 Anforderungen an Mauermörtel nach DIN 20000-412

	Normalmauermörtel				Leichtmauermörtel			Dünnbettmörtel
Bezeichnung DIN EN 1996 / DIN 20000-412	**M 2,5**	**M 5**	**M 10**	**M 20**	**LM 21**	**LM 36**	**M 10**	**DM**
frühere Bezeichnung DIN 1053-1	**NM II**	**NM IIa**	**NM III**	**NM IIIa**			–	
Druckfestigkeit DIN EN 998-2 [Mörtelklasse]	M 2,5	M 5	M 10	M 20	M 5		M 10	M 10
Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) DIN EN 1052-3, Verfahren B [N/mm²]	≥ 0,04	≥ 0,08	≥ 0,10	≥ 0,12	≥ 0,08		≥ 0,10	≥ 0,20
Fugendruckfestigkeit nach 28 Tagen								
DIN 18555-9, Verfahren I [N/mm²]	1,25	2,5	5,0	10,0	2,5		–	–
DIN 18555-9, Verfahren II [N/mm²]	2,5	5,0	10,0	20,0	5,0			
DIN 18555-9, Verfahren III [N/mm²]	1,75	3,5	7,0	14,0	3,0			
Trockenrohdichte Festmörtel [kg/m³]	> 1.300				≤ 700	≤ 1.000	≤ 1.300	≥ 1.300 [1]
Chloridgehalt	≤ 0,1 % (Massenanteile) bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels							
Brandverhaltensklasse	A 1							
Größtkorn [mm]	–				–			≤ 1,0 [1]
Korrigierbarkeitszeit [min]	–				–			≥ 7 [1]
Verarbeitbarkeitszeit [h]	–				–			≥ 4 [1]
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,dry,mat}$ (P = 90 %) [W/(m·K)]	–				≤ 0,18	≤ 0,27	–	–
Längsdehnungsmodul E_l [N/mm²]	–				≥ 2.000	≥ 3.000	–	–
Querdehnungsmodul E_q [N/mm²]	–				≥ 7.500	≥ 15.000	–	–

[1] Gemäß MVV TB

Tafel 2 Zusammensetzung und Mischungsverhältnisse für Normalmauermörtel nach DIN 18580

Mörtelklasse nach DIN EN 998-2	Mörtelgruppe	Luftkalk		Hydraulischer Kalk	Hydraulischer Kalk (HL5), Putz- und Mauerbinder (MC5)	Zement	Sand[1] aus natürlichem Gestein
	NM	Kalkteig	Kalkhydrat	(HL2)			
M 2,5	II	1,5	–	–	–	1	8
		–	2	–	–	1	8
		–	–	2	–	1	8
		–	–	–	1	–	3
M 5	IIa	–	1	–	–	1	6
		–	–	–	2	1	8
M 10	III	–	–	–	–	1	4

[1] Die Werte des Sandanteils beziehen sich auf den lagerfeuchten Zustand.

sind. Erforderliche Produktprüfungen und die Überwachung werden von der GG-Cert durchgeführt, die Zertifizierung erfolgt gemeinsam durch Qualitätsgemeinschaft Mauerwerksprodukte e.V. (QMP) und die GG-Cert. Die Liste der Produkte, die mit dem gemeinsamen Logo gekennzeichnet werden dürfen, ist auf der Internetseite der GG-Cert veröffentlicht.

INFO

Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt, zur Herstellung von Planstein- und Planelement-Mauerwerk Dünnbettmörtel mit dem gemeinsamen Zertifikat der QMP und GG-Cert zu verwenden.

Leichtmauermörtel (LM) sind Werk-Trocken- oder Werk-Frischmörtel mit leichten Gesteinskörnungen (Leichtzuschlägen) ggf. auch mit Anteilen von Gesteinskörnungen mit dichtem Gefüge. Die Trockenrohdichte der Leichtmauermörtel muss kleiner als 1.300 kg/m^3 sein. Sie werden nach der Wärmeleitfähigkeit in die Gruppen LM 21 und LM 36 eingeteilt. Die beiden Gruppen unterscheiden sich zudem nach Trockenrohdichte ($\rho_d \leq$ 700 bzw. 1.000 kg/m^3) und Querdehnungsmodul.

1.4 Baustellenmauermörtel nach DIN 18580

Baustellenmauermörtel wird auf der Baustelle aus den angelieferten, trocken und sauber zu lagernden Ausgangsstoffen hergestellt. Er darf nur als Normalmauermörtel hergestellt werden. Die nach DIN 18580 zulässigen Ausgangsstoffe müssen mit Waagen oder Zumessbehältern abgemessen werden. Wird der Mörtel nach Rezept hergestellt und ist die Mörtelzusammensetzung nach Tafel 2 eingehalten, sind keine weiteren Nachweise für die Verwendung nach DIN EN 1996-1-1/NA erforderlich. Andernfalls sind eine Erstprüfung und entsprechende Eignungsprüfungen mit dem Mörtel durchzuführen, wobei die Anforderungen in DIN 18580 und DIN EN 998-2 einzuhalten sind.

1.5 Allgemeine Anwendung

Die Dicke der Dünnbettmörtelfugen muss nach DIN EN 1996-1-1/NA zwischen 1 und 3 mm betragen, wobei in der Regel nur die Lagerfugen vermörtelt werden. Diese sind immer vollflächig zu vermörteln. Bei unvermörtelten Stoßfugen müssen die Steine knirsch aneinander versetzt werden. Sollen die Stoßfugen im Sonderfall vermörtelt werden, gelten diese als vermör-

Bild 2 Anmischen von Dünnbettmörtel

Bild 3 Dünnbettmörtelauftrag mit Mörtelschlitten

Bild 4 Versetzen von KS -R-Plansteinen in Dünnbettmörtel

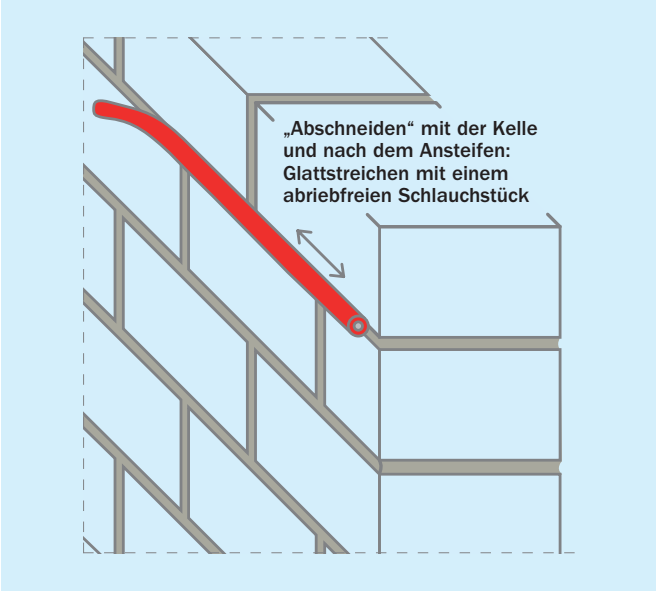


Bild 5 Fugenglattstrich

telt, wenn mindestens die halbe Steinbreite auf der gesamten Steinhöhe vermörtelt ist. Die Verwendung von Dünnbettmörtel setzt eine entsprechend geringe Maßtoleranz der Mauersteine in der Steinhöhe von ±1,0 mm (Abmaßklasse T3) voraus. Die Bilder 2 bis 4 zeigen das Mischen und Aufbringen von Dünnbettmörtel sowie das Versetzen von Plansteinen.

INFO

Eine planmäßige Lagerfugendicke von 2 mm ist bei Dünnbettmörtel im Hinblick auf Verarbeitung und Verbund vorzusehen.

Bei Verwendung von Normal- oder Leichtmauermörtel beträgt die Sollfugendicke nach DIN EN 1996-1-1/NA 12 mm für die Lagerfuge und 10 mm für eine (planmäßig vermörtelte) Stoßfuge. Bei Außenschalen (Verblendschalen) von zweischaligem Mauerwerk ist in den meisten Fällen die Mörtelklasse M 5 am besten geeignet. Die Mörtelklassen M 10 oder größer sollten in diesem Anwendungsbereich aufgrund der hohen Festigkeiten nicht eingesetzt werden.

1.6 Mörtel für Sichtmauerwerk

KS-Sichtmauerwerk mit Normalmauermörtel soll mit der Mörtelklasse M 5 in einem Arbeitsgang im Fugenglattstrich hergestellt werden (Bild 5), da so die vollständige Vermörtelung der Mörtelfugen sichergestellt wird.

Es kann auch nachträglich verfugt werden. Dazu wird der Mauermörtel an der Sichtseite ca. 15 mm tief ausgekratzt. Die offene Fuge wird nachträglich mit erdfeuchtem bis schwach plastischem Fugenmörtel fachgerecht geschlossen (Bild 6).

Die Form der Mörtelfuge darf den Abfluss von Niederschlagswasser nicht behindern (Bild 7).

Bei Verblendschalen hat der Mauermörtel die Aufgabe, gemeinsam mit dem Mauerstein eine geschlossene Fläche zu bilden, die den Witterungsbeanspruchungen widersteht. Deshalb muss der Mauermörtel besonders gut am Stein haften. Andernfalls bilden sich feine Flankenabrisse zwischen Stein und Fugenmörtel, die das Eindringen von Niederschlagswasser in das Mauerwerk ermöglichen und damit die Dauerhaftigkeit beeinträchtigen.

Mauermörtel für Verblendschalen werden daher in ihrer Zusammensetzung auf das Saugverhalten der Steine abgestimmt. Dabei wird das Wasserrückhaltevermögen durch Zusatzstoffe und/oder Zusatzmittel, wie z.B Methylzellulose, eingestellt. Die Empfehlungen des Mörtelherstellers sind zu beachten.

INFO

Für Sichtmauerwerk, vor allem für Verblendmauerwerk, ist wegen der gleichmäßigen und ggf. besonders auf den Anwendungsfall abgestimmten Zusammensetzung Werk-Trockenmörtel zu empfehlen.

Der Mauermörtel in Verblendschalen muss ausreichend druckfest und gleichzeitig genügend verformungsfähig sein. Da Verblendschalen vertikal nur durch ihr Eigengewicht belastet werden, sind mögliche Verformungen – z.B. infolge Temperaturänderung – größer als in belastetem Mauerwerk. Die Formänderungen, z.B. durch Temperatur- und Feuchteänderungen bei der Freibewitterung, führen ggf. auch zu Dehnungen mit Zugbeanspruchung, die von Steinen und Mörtel im Verbund aufgenommen werden müssen. Verformbare Mauermörtel mit geringem Elastizitätsmodul wirken sich günstig auf die Risssicherheit aus. Der Mörtel muss andererseits ausreichend fest und beständig gegen Witterungsbeanspruchung sein. Daher werden im Allgemeinen Normalmauermörtel der Mörtelklasse M 5 empfohlen. Mauern bei Frost ist nur unter besonderen Schutz-

1. Fugen auskratzen
2. Fassadenreinigung
3. Vornässen
4. Verfugen
5. Säubern/ Nachbehandlung

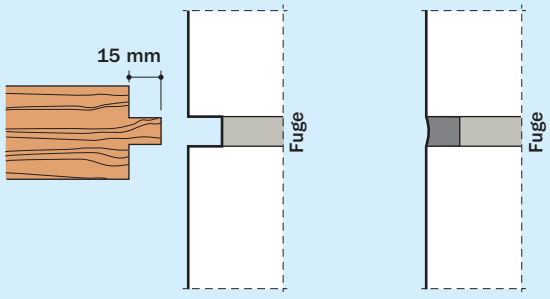


Bild 6 Nachträgliche Verfugung, Steinbreite ≥ 105 mm

maßnahmen (z.B. Einhausen) erlaubt. Frostschutzmittel und der Einsatz von Salzen sind nicht zulässig. Alle Maßnahmen sind nach VOB/C:DIN 18330 [5] mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Mit eingefärbten Werktrockenmörtel kann die gewünschte Farbwirkung im Gesamterscheinungsbild der Verblendschale erzielt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Farbwirkung des Mörtels vom Saugverhalten der Mauersteine, den Witterungsbedingungen bei der Ausführung und der handwerklichen Bearbeitung der Fugenoberfläche abhängt: raue Oberflächen erscheinen dunkler als geglättete.

INFO

Kalksandstein-Verblender sind mit darauf abgestimmten Mörteln zu verarbeiten.

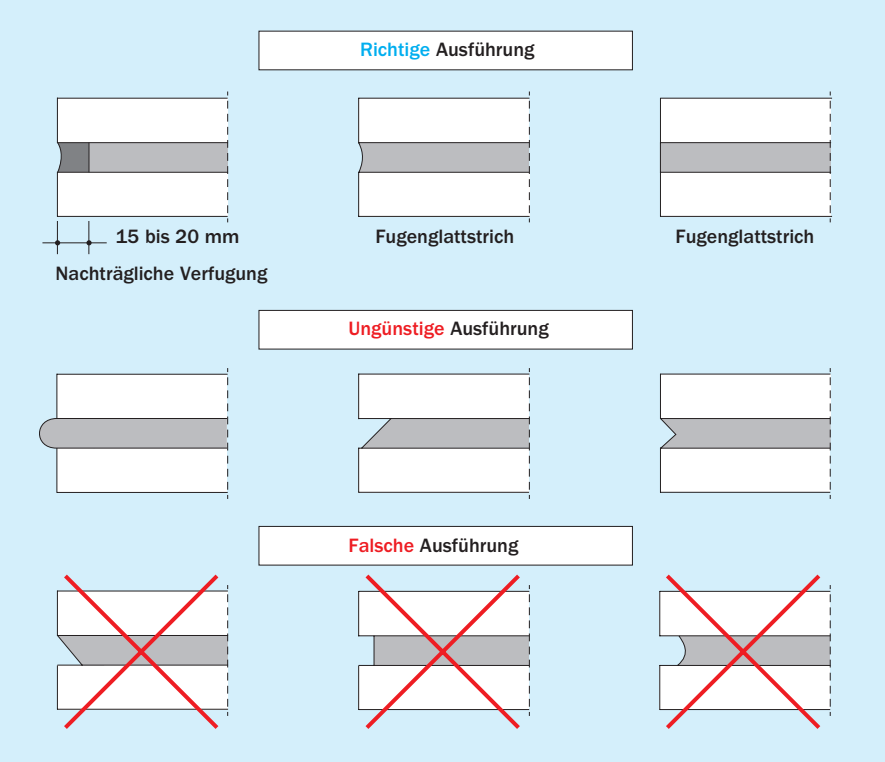


Bild 7 Fugenausbildung bei Sichtmauerwerk

2. Putz

2.1 Definition, Aufgaben

Putz ist ein an Wänden und Decken aufgetragener Belag aus Putzmörtel oder Beschichtungen mit putzartigem Aussehen. Putzmörtel ist ein Gemisch aus Bindemittel, Gesteinskörnung, ggf. Zusätzen und Wasser.

Putz wird ein- oder mehrlagig in bestimmter Dicke aufgebracht. Die Lagen eines Putzes (Unter-, Oberputze), die in ihrer Gesamtheit und in Wechselwirkung mit dem Putzgrund die Anforderungen an den Putz erfüllen, werden als Putzsystem bezeichnet. Bewährte Putzsysteme sind in DIN 18550 [7] für Außen-, Innen- und Leichtputze (außen) tabelliert. In den Tafeln 3 und 4 sind Putzmörtelgruppen und zuzuordnende Druckfestigkeitskategorien aufgeführt. Putz erreicht seine endgültigen Eigenschaften erst durch Verfestigung am Bauteil.

Grundsätzlich ist zwischen Innen- und Außenputzen sowie zwischen Putzen (Putzarten) für verschiedene Funktionen und Anforderungen zu unterscheiden.

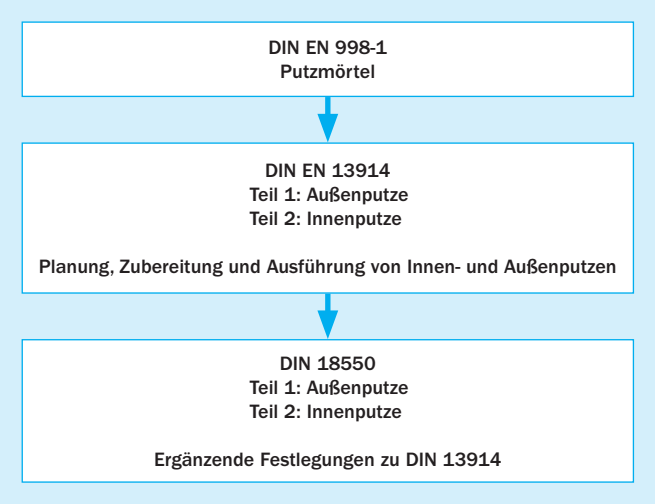


Bild 8 **Entspricht der Putzmörtel DIN EN 998-1, wird er mit einem CE-Kennzeichen versehen**

INFO

Einlagig aufgetragene Putze sind in der Regel Unterputze zur weiteren Aufnahme eines Oberputzes, eines Belags oder einer Beschichtung. Bei höheren Anforderungen sind auf den Grundputz z.B. zusätzliche Wandbeläge (Vliese, Gewebetapeten) oder fachgerecht ausgeführte Beschichtungen nach DIN 18550-2 mit Grundierung, (Gewebe-, Vlies-) Spachtelung und Beschichtung bzw. Anstrich aufzubringen. In Abstimmung mit dem Bauherren ist frühzeitig ein abgestimmtes System für die Oberflächengestaltung (Grundputz, Beschichtung, Wandbeläge etc.) festzulegen und auszuschreiben.

Aufgaben von Putzen/Putzsystemen:

- Schaffung von ebenen Oberflächen als Sichtflächen oder Untergrund für Anstriche, Tapeten, Beschichtungen
- Beständigkeit gegen langzeitig einwirkende Feuchtigkeit in Innenräumen (Innenwand- und Deckenputze in Feuchträumen)
- Ausreichende mechanische Beanspruchbarkeit bzw. Abriebfestigkeit (z.B. Sockelputz, Treppenhauswände, Außenwandputz als Träger von Beschichtungen – z.B. Kellerwandputze – oder mit erhöhter mechanischer Beanspruchung)
- Das Erzielen von Luftdichtheit bei Außenwänden
- Witterungsschutz, vor allem Feuchteschutz (Regenschutz)
- Ästhetisch ansprechende Oberflächengestaltung (Putzweise, Struktur, Farbe)

2.2 Technische Regelwerke

Mineralische Putzmörtel nach DIN EN 998-1 [8] werden auf Basis natürlicher Rohstoffe hergestellt.

DIN EN 998-1 gilt für im Werk hergestellte Putzmörtel aus anorganischen Bindemitteln für Außen- und Innenputz. Die Norm enthält Definitionen und Anforderungen.

Entspricht der Putzmörtel DIN EN 998-1, wird er mit einem CE-Kennzeichen versehen.

DIN 18550 [7] und VOB Teil C (DIN 18350 [9]) enthalten die handwerklichen Ausführungsregeln für das Verputzen.

Tafel 3 **Putzmörtel und Anwendungsmöglichkeiten**

Bezeichnung	Beschreibung	Übliche Druckfestigkeitskategorie nach DIN EN 998-1	Anwendungsbeispiele
Mörtel mit Luftkalk (CL)	Putzmörtel mit Luftkalk (Kalkhydrat) als Hauptbindemittel	CS I	Denkmalpflege
Mörtel mit hydraulischem Kalk (NHL, HL)	Putzmörtel mit Hauptbindemittel hydraulischer Kalk (NHL, HL)	CS I/CS II	Außenbereich, Denkmalpflege
Kalk-Zementmörtel	Putzmörtel, der die Bindemittel Baukalk (Kalkhydrat) und Zement enthält	CS II/CS III	Außenbereich, Spritzwasser[1)]-Sockelbereich
Zementmörtel	Putzmörtel mit Hauptbindemittel Zement	CS III/CS IV	Außenbereich, (Spritzwasser[1)]/ Sockelbereich, Kelleraußenwände)

[1)] Wassereinwirkungsklasse W4-E, DIN 18533

INFO

Neben den europäischen Normen DIN EN 13914-1 für Außenputz und DIN EN 13914-2 für Innenputz gelten in Deutschland zusätzlich die Normen DIN 18550-1 und DIN 18550-2 für die „Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen“ mit „Ergänzenden Festlegungen zu DIN EN 13914-1 und DIN EN 13914-2“. Auf diese deutschen Normen wird auch in der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) für Putz- und Stuckarbeiten DIN 18350 [9] Bezug genommen.

2.3 Lieferformen

Putzmörtel werden heute in der Regel als Werk-Trockenmörtel hergestellt, maschinell gemischt, gefördert und verarbeitet. Die Werk-Trockenmörteltechnologie gewährleistet hohe Gleichmäßigkeit und ermöglicht, die Putzmörtel-Zusammensetzung gezielt den besonderen Bedingungen des Putzgrundes und bei der Verarbeitung anzupassen. Deshalb ist vorzugsweise die Anwendung von Putzmörteln aus Werktrockenmörtel zu empfehlen, die als Silo- oder Sackware nur durch Zugabe von Wasser und Mischen in die geeignete Verarbeitungskonsistenz gebracht werden.

Werkfrischmörtel wird fertig gemischt auf die Baustelle geliefert und ist ohne weitere Arbeitsschritte sofort verarbeitbar.

Putzmörtel können im Sonderfall auch aus Werkmörtel oder als Baustellenmörtel hergestellt werden.

- Werkmörtel

  Zu den Werkmörteln gehören auch werkmäßig hergestellte Kalk-Sand-Werk-Vormörtel. Dieser Mörtel kommt als Kalk-Sand-Vorgemisch auf die Baustelle, wo ihm Wasser und weitere Bestandteile (z.B. Zement) nach Angabe des Lieferwerks zugegeben werden.

- Baustellenmörtel

  Putzmörtel, die auf der Baustelle nach DIN 18550-2 zusammengesetzt und gemischt werden.

INFO

Aufgrund der größeren Qualitätsschwankungen sind Werk- und Baustellenmörtel für Außenputze und Innenputze ab der Qualitätsstufe Q2 nicht zu empfehlen.

2.4 Einteilung der Putze

2.4.1 Eigenschaften/Verwendungszweck

Nach den Eigenschaften und/oder dem Verwendungszweck werden die Putzmörtel wie folgt unterschieden:

- Normalputzmörtel (GP)
- Leichtputzmörtel (LW)
- Edelputzmörtel (CR)
- Einlagenputzmörtel für außen (OC)
- Sanierputzmörtel (R)
- Wärmedämmputzmörtel (T).

Die Buchstaben in den Klammern beziehen sich auf die englische Bezeichnung im Rahmen der europäischen Normen.

2.4.2 Bindemittelart

Nach der Bindemittelart wird unterschieden in

- Putze mit mineralischen Bindemitteln (mineralische Putze) aus Putzmörteln nach DIN EN 998-1 und DIN EN 13279-1 (Gipsbinder und -trockenmörtel).
- Putze mit organischen Bindemitteln nach DIN EN 15824 werden nach den chemischen und physikalischen Eigenschaften des(r) hauptsächlich aktiven Bindemittel(s) definiert. Sie werden anwendungsfertig in pastöser Form oder pulverförmig hergestellt d.h.: Es gibt auch pastöse Putze mit anorganischem Bindemittel, wie Silikatputze mit Wasserglas als Bindemittel.

Tafel 4 Klassifizierung der Eigenschaften von Fest-Putzmörtel – DIN EN 998-1

Eigenschaft	Kategorien	Eigenschaftswerte
Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen [N/mm²]	CS I CS II CS III CS IV	0,4 bis 2,5 1,5 bis 5,0 3,5 bis 7,5 ≥ 6
Kapillare Wasseraufnahme [kg/(m²·min^{0,5})]	W 0 W 1 W 2	nicht festgelegt $c \leq 0,40$ $c \leq 0,20$
Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]	T 1 T 2	≤ 0,1 ≤ 0,2

2.4.3 Anforderungen / besondere Eigenschaften

Neben Putzen, die allgemeinen Anforderungen genügen, gibt es Putze mit besonderen Eigenschaften, die zusätzlichen Anforderungen genügen. Sie sind nachfolgend aufgeführt.

Wasserabweisende Putze/Putzsysteme für Anforderungen nach DIN 4108-3 (Schlagregenschutz)

Das Putzsystem muss nach DIN 18550 aufgebaut sein.

Die Zuordnung der Außenputze zu den unterschiedlichen Schlagregenbeanspruchungsgruppen ist in DIN 4108-3 geregelt. Die Anforderungen an den Regenschutz von Außenputzen und an wasserabweisende Putze nach den unterschiedlichen zulässigen Prüfverfahren enthalten die Tafeln 5 und 6.

Mit diesen Anforderungen soll erreicht werden, dass eingedrungenes Wasser durch Kapillartransport und Diffusion wieder abtrocknen kann. Auch wenn die Kriterien in den Tafeln 5 und 6 als erfüllt gelten, wenn mindestens eine Putzlage des Außenputzsystems wasserabweisend ist, ist bei zweilagigem Außenputz in den Schlagregenzonen II und III eine Wasserabweisung beider Schichten, d.h. des Unter- und Oberputzes zu empfehlen.

Bei Wärmedämm-Verbundsystemen sind für den armierten Unterputz (Armierungsschicht) und den Oberputz bzw. die sonstige Beschichtung/Belag die systemzugehörigen Komponenten gemäß allgemeiner Bauartgenehmigung (Mörtel, Gewebe etc.) zu verwenden.

Sockelputz

Sockelputze müssen ausreichend fest, Wasser abweisend und widerstandsfähig gegen kombinierte Einwirkung von Feuchte und Frost sein. Der Putz ist bis mindestens 5 cm über die Gelände- bzw. Belagsoberkante hinauszuführen.

Als Sockelputze werden mineralische Putze Kategorie CS IV oder auf leichteren und weicheren Wandbaustoffen (Steine der Festigkeitsklasse ≤ 8) Unterputze der Kategorie CS III nach DIN EN 998-1 (Druckfestigkeit 3,5 bis 7,5 N/mm²) mit hydraulischen Bindemitteln (Tafel 3) oder Leichtsockelputze verwendet. Für den Oberputz können organisch gebundene Putze, z.B. Kunstharzputze und mineralische Putze eingesetzt werden. Die Druckfestigkeit mineralischer Oberputze soll mindestens 2,5 N/mm² betragen. Die Hinweise der Hersteller bezüglich der Eignung als Sockeloberputz sind zu beachten.

Details zur Ausführung von Sockelputzen sind der Richtlinie „Fassadensockelputz/Außenanlage“ [13] und im Merkblatt „Sockelausführung im Übergang zu Wärmedämm-Verbundsystemen und Putzsystemen“ [12] beschrieben.

Kellerwand-Außenputz

Kellerwand-Außenputze als Träger von Beschichtungen müssen aus Mörteln mit hydraulischen Bindemitteln der Kategorie CS IV nach DIN EN 998-1 hergestellt werden. Bei Mauerwerk aus Steinen der Druckfestigkeitsklassen ≤ 8 sollte jedoch die Mindestdruckfestigkeit für CS IV nicht wesentlich überschritten werden.

INFO

Sockelputze sowie Putze im erdberührten Bereich sind immer zusätzlich mit einer Putzabdichtung zu versehen. Dabei dient der Putz als Träger der vertikalen Abdichtung [7, 13]. Die Hohlkehlen sind zuvor mit einem Sperrputz zu gestalten.

Wärmedämmputz / -putzsysteme

Wärmedämmputzsysteme werden zur Verbesserung der Wärmedämmung von einschaligen Außenwänden eingesetzt. Sie sind in DIN 18550-1 und EN 998-1 genormt und bestehen aus einem wärmedämmenden Unterputz (Wärmedämmputz) mit leichten wärmedämmenden Zuschlägen und einem Oberputz, der im Außenbereich Wasser abweisend sein muss. Der Wärmedämmputz muss einen Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit von höchstens 0,2 W/(m·K) aufweisen. Die Putzdicke beträgt mindestens 20 mm.

Putze mit besonderen Anforderungen an Schall-, Brand- und Strahlenschutz

Die Dicke dieser Putze richtet sich nach den jeweiligen Anforderungen.

Die besonderen Funktionen und Anwendungsbereiche werden im WTA-Merkblatt 2.14 „Funktionsputze“ 7/2019D [22] beschrieben.

Akustikputz

Akustikputze sind sehr hohlraumreich und absorbieren Schallenergie. Sie reduzieren die Schallreflexion und den Schallpegel und verkürzen die Nachhallzeit. Die Akustikputze werden nach DIN EN ISO 11654 [25] in 5 Schallabsorptionsklassen eingeteilt.

Brandschutzputz

Mineralische Putze wie Gips- und Kalkzementputze verlängern die Feuerwiderstandsdauer von Mauerwerk und anderen Bauteilen. Brandschutzputze der Baustoffklasse A1 werden speziell für den Brandschutz von Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen entwickelt und enthalten mineralische Leichtzuschläge,

Tafel 5 Kriterien für wasserabweisende Putze und Beschichtungen nach DIN 4108-3 bei Prüfung nach DIN EN ISO 15148[1)] aus [11]

Kriterien für den Regenschutz	Wasseraufnahmekoeffizient W_w [kg/(m²·h^{0,5})]	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d [m]	Produkt $W_w \cdot s_d$ [kg/(m·h^{0,5})]
Wasserabweisend	≤ 0,5	≤ 2,0	≤ 0,2

[1)] Siehe hierzu auch DIN 18550

Tafel 6 Anforderungen an den Regenschutz von Außenputzen nach DIN 18550-1 aus [11]

	Beanspruchungsgruppe nach DIN 4108-3		
	I Geringe Schlagregenbeanspruchung	II Mittlere Schlagregenbeanspruchung	III Starke Schlagregenbeanspruchung
Bezeichnung nach DIN 4108-3	Außenputz ohne besondere Anforderung	Mindestens wasserabweisender Außenputz	Mindestens wasserabweisender Außenputz
Mindestens zu erfüllende Anforderungskategorien für die Wasseraufnahme der Putze[1)]			
Putz nach DIN EN 998-1	W0, W1, W2	W2	W2
Putz nach DIN EN 15824	W_1, W_2, W_3	W_2, W_3	W_2, W_3

[1)] Die Kriterien gelten dann als erfüllt, wenn mindestens eine Putzlage des Außenputzsystems die Anforderungen erfüllt.

z.B. Blähglas oder Vermiculite (Blähglimmer). Zu Anforderungen an Putz als Brandschutzbekleidung siehe DIN 4102.

Strahlenschutzputz

Strahlenschutzputze können zur Reduzierung des Ein- oder Austretens von Strahlen (u.a. Röntgenstrahlung) in bzw. aus Räumen eingesetzt werden. Sie können u.a. Baryt als Zuschlagkomponente enthalten.

Sanierputz

Sanierputzmörtel sind Mörtel mit hoher Porosität und geringem Wasserdampfdiffusionswiderstand sowie verminderter kapillarer Leitfähigkeit. Sie werden zur Sanierung von feuchtem, salzbelastetem Mauerwerk eingesetzt. Hinweise für Sanierputzsysteme enthält das WTA-Merkblatt „Sanierputzsysteme“ [14]. Sanierputzmörtel sind in DIN EN 14391-1 und DIN 18550-1 geregelt.

Dünnlagenputz

Innenputze aus Dünnlagenputzmörtel bestehen aus mineralischen Bindemitteln, feinen Gesteinskörnungen und ggf. organischen Zusätzen. Das erhöhte Wasserrückhaltevermögen und die Haftungseigenschaften sind auf die jeweilige Putzdicke abgestimmt. Die mittlere Dicke von Dünnlagenputzen beträgt bis zu 6 mm, die Mindestdicke (an jeder Stelle!) 3 mm [15]. Im Vergleich dazu müssen einlagige Innenputze aus Werk-Trockenmörtel eine mittlere Putzdicke von 10 mm und eine zulässige Mindestdicke (nur an einzelnen Stellen) von 5 mm aufweisen.

INFO

Dünnlagenputze ermöglichen keinen Ebenheitsausgleich zwischen Untergrund und Bekleidung/Belag. Damit wird von der Annahme zunehmender Genauigkeit mit fortschreitendem Ausbau abgewichen, wie sie der DIN 18202 [16] zugrunde liegt. Fachgerecht hergestelltes KS-Planstein- und KS XL Mauerwerk erfüllen diese Voraussetzung.

Die geringen Putzdicken müssen jedoch bereits bei der Planung berücksichtigt werden. Sonderbauteile wie Rollladenkästen, Stürze, Türzargen sowie die Fensterlaibungen, müssen auf die mit Dünnlagenputz versehene Wand abgestimmt sein. Ebenso müssen bei der Planung der Elektro- und Heizungsinstallation Schächte und Hohlräume eingeplant werden, da selbst dünne Leitungen nicht mehr auf dem Mauerwerk verlegt werden dürfen. Auch Putzprofile an Bauteilanschlüssen oder an Ecken sind an die geringen Putzdicken anzupassen.

2.5 Ausführung von Putz

2.5.1 Putzgrund

DIN EN 1996/NA sowie zusätzliche Empfehlungen der Kalksandstein-Industrie

- Die Lagerfugen sind vollständig mit Mauermörtel auszufüllen. Die Solldicke beträgt bei Mauerwerk mit Normalmauermörtel 12 mm. Bei Planstein-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel beträgt die Solldicke 2 mm.

- Die Stoßfugen dürfen nach DIN EN 1996-1-1/NA bis zu einer Breite von 5 mm unvermörtelt bleiben. Breitere Stoßfugen sind beidseitig mit geeignetem Mauermörtel beim Vermauern zu schließen.

INFO

Bei Dünnlagenputz ist es vorteilhaft, unvermörtelte Stoßfugen vor dem Putzauftrag zu schließen.

2.5.2 Prüfen und Vorbereiten des Putzgrundes

Der Putzgrund KS-Mauerwerk muss den Ausführungsregeln der DIN EN 1996-1-1/NA und den Anforderungen der DIN 18550-1,2 genügen. Für einen guten und dauerhaften Haftverbund des Putzes auf dem Putzgrund ist dessen Beschaffenheit von wesentlicher Bedeutung.

Der Putzgrund muss nach DIN 18550-1, 18550-2 in Anlehnung an DIN 18350 eben, tragfähig, formstabil und frei von Verunreinigungen sein. Diese Anforderungen werden von regelgerechtem KS-Mauerwerk erfüllt. Darüber hinaus muss der Putzgrund bei der Putzausführung staubfrei, trocken und frostfrei sein sowie mindestens +5 °C Untergrundtemperatur bei mindestens +5 °C Umgebungslufttemperatur aufweisen.

Deshalb muss der Putzausführende vor dem Beginn der Putzarbeiten den Putzgrund gemäß VOB/C-ATV: DIN 18350 [9] prüfen. Bedenken müssen ggf. angemeldet werden. Die Prüfungen sind

im gewerkeüblichen Rahmen vorzunehmen. Der Auftragnehmer kann davon ausgehen, dass ordnungsgemäß nach DIN EN 1996-1-1/NA hergestelltes Mauerwerk den Anforderungen genügt.

Die Ebenheitsanforderungen der DIN 18202, d.h. eine Ebenheit ≤ 5 mm bei 10 cm Messpunktabstand an der rohen Wand, sind ohne weitere Vereinbarung an jeder Stelle einzuhalten.

Bei der Ausführung von Bekleidungen ohne die Möglichkeit eines Ebenheitsausgleichs (z.B. Dünnlagenputz, Fliesen im Dünnbettverfahren) muss bereits der Putzgrund (das Mauerwerk) erhöhte Anforderungen an die Ebenheit erfüllen [17].

INFO

Erhöhte Anforderungen an die Ebenheit der Rohbauwand (z.B. wie bei einer flächenfertigen Wand nach DIN 18202, Tabelle 3, Zeile 6) sind vom Planer zu beschreiben.

Zur Herstellung einer fachgerechten Putzoberfläche ist ein gleichmäßiger und nicht zu stark saugender Untergrund erforderlich. Im Regelfall ist bei KS-Mauerwerk keine besondere Putzgrundvorbereitung wie z.B. eine „Aufbrennsperre“ oder ein Haftvermittler erforderlich. Die üblichen Putze aus Werk-Trockenmörtel weisen ein erhöhtes Wasserrückhaltevermögen auf und haften gut am Untergrund. Bei Materialwechseln im Mauerwerk oder bei besonderen Witterungsbedingungen, z.B. bei großer Hitze oder starkem Wind, kann eine Aufbrennsperre sinnvoll sein. In jedem Fall sind die Ausführungsempfehlungen des Putzmörtelherstellers zu beachten.

Bei der Anwendung von Aufbrennsperren ist die Dosierungsempfehlung der Hersteller einzuhalten. Zu hohe Konzentrationen oder sich überlappende Auftragszonen können die Putzhaftung beeinträchtigen.

INFO

Bei baustellengemischten Putzmörteln ist ein Spritzbewurf erforderlich.

2.5.3 Allgemeine Ausführungsregeln

„Der Mörtel für die einzelnen Putzlagen ist von Hand oder mit einer Maschine möglichst gleichmäßig dick aufzubringen und eben-flächig zu verziehen oder zu verreiben. Die folgende Lage darf erst aufgebracht werden, wenn die vorhergehende ausreichend trocken und so fest ist, dass sie eine neue tragen oder eine neue an ihr haften kann. Die Standzeit beträgt mindestens einen Tag je mm Putzdicke. Bei feuchten und kalten Witterungsverhältnissen ist die Standzeit entsprechend zu verlängern.

Auf einen Haftmörtel oder einen Spritzbewurf darf die erste Putzlage erst aufgetragen werden, wenn der Mörtel ausreichend erhärtet ist, frühestens jedoch nach einem Tag.

Die Oberfläche des Unterputzes ist, soweit erforderlich, aufzurauen. Vor Aufbringen des Oberputzes ist der Unterputz ggf. je nach Mörtelart und der Witterung entsprechend anzunässen.

Werden Putzlehren aus Mörtel angelegt, so müssen sie aus dem gleichen Mörtel bestehen wie der auszuführende Putz. Bei Ein-, Zu- und Beiputzarbeiten sowie bei Ausbesserungen soll die gleiche Mörtelgruppe oder Mörtel vergleichbarer Zusammensetzung verwendet werden. Letzteres bezieht sich sowohl auf das Bindemittelgemisch als auch auf Art, Menge und Sieblinie der Gesteinskörnung.

Mineralische Putze sind vor zu schneller Austrocknung zu schützen und nötigenfalls durch Benetzen mit Wasser feucht zu halten (= Nachbehandlung).

Nach Fertigstellung von Innenputzen sind die Räume häufig kurzfristig zu lüften (Querlüftung empfehlenswert), um überschüssige Feuchte abzuführen.“ [7]

Risse in begrenztem Umfang sind nicht zu beanstanden, wenn sie die technischen Funktionen nicht und den optischen Wert des Putzes nicht maßgeblich beeinträchtigen. Putzbewehrungen vermindern die Gefahr von Rissbildungen im Putz. Konstruktionsbedingte Rissbildungen (z.B. durch Durchbiegungen von Decken und Unterzügen sowie starke Verformungen tragender Bauteile) können mit Putzbewehrungen nicht verhindert werden. Ist eine Putzbewehrung notwendig, so ist diese straff und faltenfrei in die zugbelastete Zone, in der Regel in der oberen Hälfte der Putzlage einzulegen.

INFO

Werden Glattstriche an den Laibungen für den Einbau von Fenstern gefordert, so sind diese nach VOB/C:ATV DIN 18330 [9] besondere Leistungen und daher besonders zu beschreiben.

Bild 9 Arbeitsschritte beim Verputzen einer Wand; Maschineller Auftrag des Putzmörtels

Bild 10 Arbeitsschritte beim Verputzen einer Wand; Glätten des Putzes

2.5.4 Innenputze

Die Putzmörtel müssen DIN EN 998-1, DIN EN 13279 [20](Gips-Putztrockenmörtel) bzw. DIN EN 15824 (Kunstharzputze) entsprechen.

Bei Innenputzen werden unterschieden:

- Innenwandputz für Räume üblicher Feuchte einschließlich häuslicher Küchen und Bäder
- Innenwandputz für Feuchträume (z.B. gewerbliche Küchen)

Der Innenputz soll dem Mauerwerk eine ebene und abriebfeste Oberfläche geben. Er soll mit dem flächendeckenden und nahtlosen Auftrag die für den Wärme- und Schallschutz wichtige Luftdichtigkeit der Wand sicherstellen.

Für Innenwandputze aus mineralischen Bindemitteln mit üblichen Anforderungen (z.B. Träger von Tapeten, Anstrichen) werden i.d.R. Putzmörtel der Kategorie CS II gemäß DIN EN 998-1 oder DIN EN 13279 eingesetzt.

INFO

Häusliche Küchen und Bäder sind keine Feuchträume.

Es werden überwiegend gips- oder anhydritgebundene Putze angewendet. Bei Putzsystemen nach DIN 18550, Tabelle 3 ist kein Nachweis erforderlich. Innenwandputze für Feuchträume müssen langfristig gegen Feuchte beständig sein. Deshalb dürfen dort Putzsysteme aus gipsgebundenen Putztrockenmörtel nach DIN EN 13279 nicht verwendet werden. Häusliche Küchen und Bäder sind keine Feuchträume. Wandbekleidungen und Beläge (z.B. keramische Fliesen) auf Putz mit direkter Wasserbelastung, wie Duschkabinen und Wannenbereiche, erfordern besondere Feuchteschutzmaßnahmen. Die Putzflächen sind vor Aufbringen der Bekleidung fachgerecht abzudichten. Kann eine rückseitige Durchfeuchtung des Putzes vom Putzgrund her ausgeschlossen werden, sind auch Gipsputze anwendbar.

Die Dicke der meist einlagigen Innenputze beträgt (mittlere Dicke/Mindestdicke):

- allgemein: 15 mm/10 mm
- einlagig, Werk-Trockenmörtel: 10 mm/5 mm
- Dünnlagenputz: 6 mm/3 mm

Spachtelungen bis 3 mm sind keine Putze und werden hier nicht behandelt.

Innenputze auf Gipsbasis werden in einem Arbeitsgang aufgebracht. Zweischichtiges Verputzen mit Gipsputzmörteln ist nicht zu empfehlen, da durch Kristallisation der ersten Putzschicht der Haftverbund der Folgeschicht beeinträchtigt wird.

Dünnlagenputze werden von Hand oder maschinell nach den Angaben der Putzhersteller aufgebracht.

Dünnlagenputz dient in der Regel als Untergrund für eine Tapete bzw. für ein strukturloses Malervlies.

Haarrisse infolge nicht völlig vermeidbarer Putzgrundunebenheiten bzw. -ungleichmäßigkeiten („Überzähne“) und insbesondere trocknungsbedingter Putzgrundverformungen können bei Dünnlagenputzen wegen der geringen Putzdicke ohne weitere Maßnahmen nicht völlig ausgeschlossen werden. Das ist besonders zu berücksichtigen, wenn auf eine Tapete bzw. ein strukturloses Malervlies, die in gewissem Maße rissüberbrückend wirken, verzichtet werden soll und durch eine glatte, gestrichene Putzoberfläche ersetzt wird. Die Hinweise zu Dünnlagenputzen und deren Beschichtungsstoffen der Putzhersteller sind zu beachten.

Die gewünschte Oberflächenbeschaffenheit muss bei der Planung beschrieben werden. Dazu werden in DIN EN 13914-2 in Verbindung mit DIN 18550-2 vier Qualitätsstufen Q1 bis Q4 angegeben [18], [7].

Bei einlagigen Putzen der Qualitätsstufe Q2 sind bei geglätteten und abgeriebenen Oberflächen als Endbeschichtung mindestens mittel bis grob strukturierte Tapeten oder entsprechend mit grober Lammfellrolle aufgetragene gefüllte Anstriche auszuführen. Die Qualitätsstufen Q3 und Q4 sollten (bei Verzicht auf Tapeten) mit zweilagigem Putz ausgeführt werden. Die zweite Putzlage ist deutlich später als die erste Putzlage aufzubringen. Bei den Stufen Q3 und Q4 ist immer Rücksprache mit dem Putzhersteller zu halten oder Kontakt aufzunehmen.

INFO

Sind im Leistungsverzeichnis keine Angaben über die Oberflächenqualitäten enthalten oder sind diese vom Auftraggeber nicht näher spezifiziert, gilt stets Qualitätsstufe Q2 (geglättet oder gefilzt) als vereinbart [24].

2.5.5 Außenputze

Außenputze müssen als „Gebäudehaut“ den dauerhaften Schutz der Außenbauteile vor Witterungseinflüssen, vor allem den Feuchteschutz (Regen, Schlagregen) und Luftdichtheit gewährleisten.

Als sichtbare Außenflächen sollen sie in Farbe und Oberflächenstruktur den Anforderungen des Bauherrn genügen.

Außenputze bestehen in der Regel aus zwei Putzlagen: dem Unterputz und dem Oberputz, der im Allgemeinen aus Edelputzen hergestellt wird. Der Oberputz bestimmt in der Hauptsache das optische Erscheinungsbild. Der Witterungsschutz wird vom Unter- und Oberputz gemeinsam gewährleistet.

Unterputze aus Werk-Trockenmörtel können in der Regel ohne besondere Putzgrundvorbehandlung aufgebracht werden. In der Regel wird der Unterputz in zwei Arbeitsgängen – frisch in frisch – ausgeführt.

Bei farbigen Edelputzen – mit Ausnahme der Putzweise Kratzputz – sollte grundsätzlich ein Egalisationsanstrich vorgesehen und in Ausschreibung und Angebot aufgenommen werden. Die Ausführung kann dann, im Einvernehmen mit dem Bauherrn, davon abhängig gemacht werden, ob der gewünschte Eindruck einen solchen Anstrich erfordert. Dies gilt auch für Oberputze von Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS), Bild 11.

Es dürfen nur bauaufsichtlich zugelassene WDVS (DIBt oder ETA) verwendet werden, bei denen in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) die einzelnen Systemkomponenten, so auch der Putz, genau beschrieben sind. Von dem System darf nicht abgewichen werden, z.B. durch Austausch einzelner Komponenten, wie des Außenputzes. Da diese Außenputze und auch ihre Verarbeitung in der abZ bzw. ETA festgelegt sind, wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

Für den Sockelbereich gelten besondere Anforderungen, siehe 2.4.3.

Beim Verputzen von zweischaligem KS-Mauerwerk (Bild 12), sind die im Vergleich zu dem üblicherweise belasteten Mauerwerk größeren Verformungen des Putzgrundes zu beachten. Die Außenschalen sind nicht vertikal, z.B. durch eine Geschossdecke, belastet, so dass thermische und hygrische Beanspruchungen zu größeren Verformungen führen können. Der Putzmörtel muss diese Verformungen schadensfrei aufnehmen können. Besonders geeignet sind deshalb Putzmörtel mit niedrigem Elastizitätsmodul. Infrage kommen dafür Leichtputze Typ II, auch mit Faserbewehrung, und leichte Armierungsputze mit Gewebeeinlage.

Dehnungsfugen in der Vormauerschale sind im Putz fortzusetzen. Entwässerungsöffnungen sind nicht erforderlich und müssen, sofern vorhanden, vor dem Putzauftrag mit Mörtel verschlossen werden.

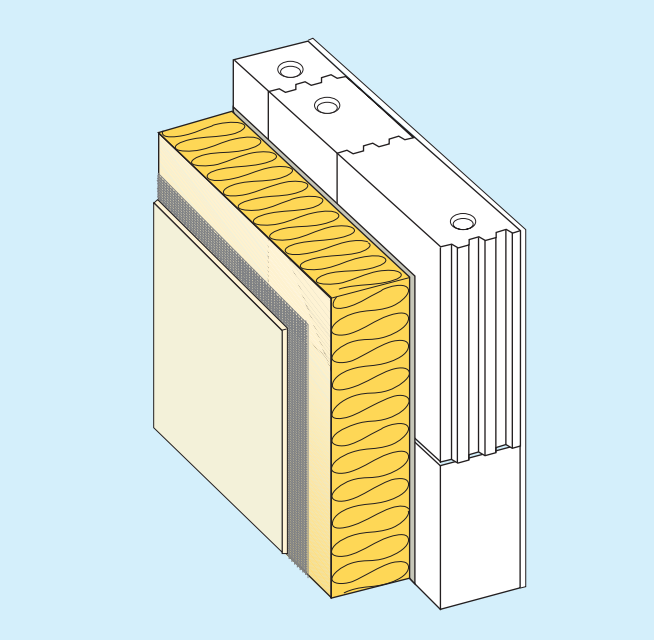


Bild 11 KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)

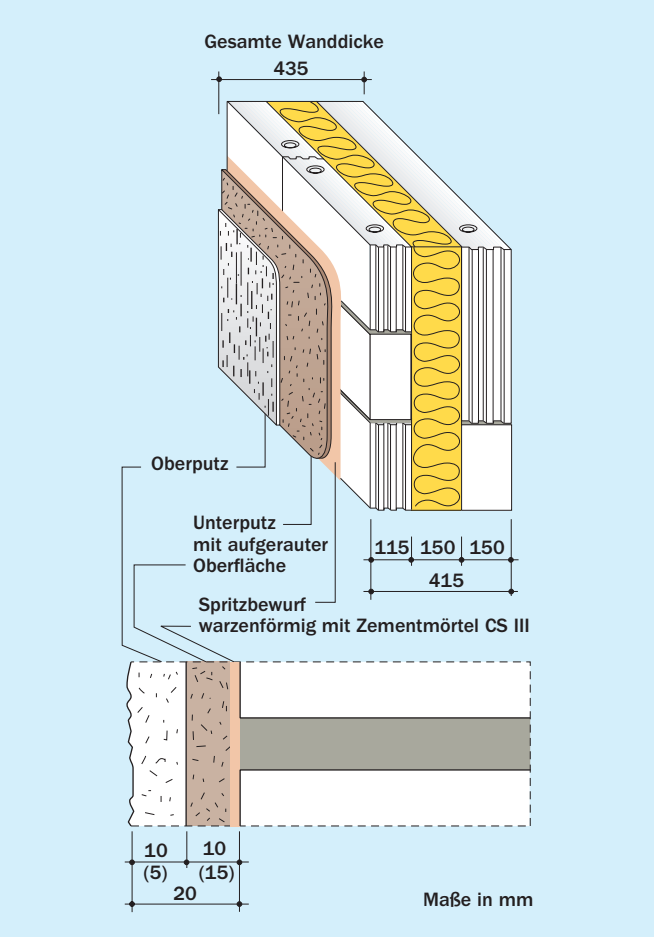


Bild 12 Geputzte Außenschale (Vormauerschale) von zweischaligem Außenmauerwerk – empfohlener Unterputz: Leichtputz

3. Fliesenbekleidungen

Fliesen können auf KS-Mauerwerk sowohl im Dünn- als auch im Dickbettverfahren verlegt werden. Sofern die Ebenheitstoleranzen des KS-Mauerwerks es zulassen, können die Fliesen direkt mit einem flexiblen Fliesenkleber verarbeitet werden.

Zementgebundene Mörtel für die Dünn- und Dickbettverlegung sowie Fliesenkleber werden im Allgemeinen aus vorgemischten Werk-Trockenmörteln hergestellt.

Die allgemeinen Anforderungen an den Untergrund nach DIN 18157:2017 [19] sind zu beachten. Insbesondere darf sich der Untergrund nach dem Anbringen der Fliesen nur noch begrenzt verformen. Spätere Schwind- und Kriechverformungen können zum Abscheren des Fliesenbelags führen. In der Regel ist eine Wartezeit zwischen Rohbaufertigstellung, Verputz und Fliesenarbeiten einzuhalten.

Grundsätzlich sind alle Flächen, auf denen eine direkte Feuchtebelastung zu erwarten ist, abzudichten. Besondere Sorgfalt erfordert die Abdichtung von Bewegungsfugen zwischen Wand und schwimmendem Estrich, da hier mit größeren Verformungen infolge der trocknungsbedingten Schwindvorgänge (z.B. Schüsseln) zu rechnen ist.

Dickbettverfahren nach DIN 18352 [23]

Bei der Fliesenverlegung im Dickbettverfahren werden die Fliesen in ein 15 bis 20 mm dickes Mörtelbett gelegt. Dafür ist ein zementgebundener Mörtel einzusetzen. Der Mörtel muss gut am Putzgrund haften. Die Empfehlungen des Putzmörtelherstellers zur Verarbeitung und besonders zur Untergrundvorbehandlung sind zu beachten. Von der KS-Industrie wird der Auftrag eines deckenden Spritzbewurfs mit Zementmörtel CS IV nach DIN 18550 auf das KS-Mauerwerk empfohlen.

Dünnbettverfahren nach DIN 18157

Bei der Fliesenverlegung im Dünnbettverfahren werden die Fliesen in ein dünnes, wenige Millimeter dickes Mörtelbett verlegt. Bei planebenem Mauerwerk aus KS-Plansteinen oder KS XL können die Fliesen im Dünnbettverfahren auch direkt auf das Mauerwerk geklebt werden.

Die DIN 18157 mit ihren drei Teilen [19] unterscheidet folgende Verfahren:

- Floating-Verfahren
  Der Mörtel wird mittels Glättkelle auf die Verlegefläche aufgetragen und mit einem Kammspachtel abgekämmt. Auf der frischen Schicht werden die Fliesen oder Platten verlegt, bevor auf der Oberfläche des Mörtels Hautbildung eintritt.

- Buttering-Verfahren
  Der Mörtel wird auf die Fliese oder Platten in der erforderlichen Dicke aufgebracht. Danach werden die Fliesen oder Platten verlegt, bevor auf der Oberfläche des Mörtels Hautbildung eintritt.

Beide Verfahren können auch kombiniert werden (Buttering-Floating-Verfahren), indem der Mörtel sowohl auf das KS-Mauerwerk als auch auf die Fliesenrückseite aufgetragen wird.

Literatur

[1] DIN EN 998-2 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauermörtel; Deutsche Fassung 2016

[2] DIN EN 1996-1-1:2019:09 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA:2019-12.

[3] DIN 20000-412: 2017-02 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 412: Regeln für die Verwendung von Mauermörtel nach DIN EN 998-2:2003-09 (Vornorm)

[4] DIN V 18580:2007-03 Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften (Vornorm)

[5] DIN 18330:2019-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Mauerarbeiten

[6] Merkblatt Sicheres Aufstellen und Betreiben von Baustellensilos, Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. April 2020

[7] DIN 18550:2018-01: Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1:2016-09 für Außenputze; – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2: 2016-09 für Innenputze

[8] DIN EN 998-1:2017 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel; Deutsche Fassung 2016

[9] DIN 18350:2019-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Putz- und Stuckarbeiten

[10] DIN EN 13914-1:2016-09 Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 1: Außenputz

[11] Leitlinien für das Verputzen von Mauerwerk und Beton. Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. November 2022

[12] Merkblatt: Ausführung von Sockelbereichen bei Wärmedämm-Verbundsystemen und Putzsystemen, Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. August 2020

[13] Richtlinie Fassadensockelputz/Außenanlage. Hrsg.: Fachverband der Stuckateure für Ausbau und Fassade Baden-Württemberg, Verband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau Baden-Württemberg e.V., 2024

[14] WTA-Merkblatt 2-9-04/D Sanierputzsysteme, Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., München 03.2020

[15] Merkblatt Dünnlagenputz im Innenbereich. Hrsg.: Deutscher Stuckgewerbebund u.a., Berlin 09/2012

[16] DIN 18202:2019 Toleranzen im Hochbau – Bauwerke

[17] Ertl, R.: Toleranzen im Hochbau – Kommentar zur DIN 18202. Verlag Rudolf Müller, Köln 2006

[18] DIN EN 13914-2:2016-09 Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 2: Planung und wesentliche Grundsätze für Innenputz

[19] DIN 18157 Ausführung keramischer Bekleidungen im Dünnbettverfahren: 2017-04 – Teil 1: Hydraulisch erhärtende Dünnbettmörtel; – Teil 2: Dispersionsklebstoffe; – Teil 3: Epoxidharzklebstoffe

[20] DIN EN 13279:2008-11 Gipsbinder und Gips-Trockenmörtel – Teil 1: Begriffe und Anforderungen

[21] DIN EN 15824:2017-09 Festlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln

[22] WTA-Merkblatt 2-14 Funktionsputze Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., München, 07.2019

[23] DIN 18352 2019-09, VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Fliesen- und Plattenarbeiten

[24] VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen; Ausgabe 2019 + Ergänzungsband 2023

[25] DIN EN ISO 11654 07/1997 Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden

Bildnachweise

Bild S. 78: © palladium.de/KS-ORIGINAL;
Bild S. 83: © Erich Spahn/KS-ORIGINAL; **Bild 9, Bild 10:** Knauf;
Bild S. 89: Architekten Spiekermann/KS-ORIGINAL;
Bild S. 91, Bild S.93: Stefan Witte

Bild 2, Bild 3, Bild 4:
Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 5

AUßENWAND-KONSTRUKTIONEN

Stand: 08/2025

Dipl.-Ing. Silke Sous, AIBau Aachen

1. Allgemeine Einleitung und Anforderungen

Außenwände müssen bestimmungsgemäß zahlreiche baukonstruktive und bauphysikalische Anforderungen erfüllen. Hierzu zählen u.a.:

- Standsicherheit,
- Sommerlicher Wärmeschutz,
- Winterlicher Wärmeschutz (Mindestwärmeschutz und Energieeinsparung),
- Luftdichtheit,
- Feuchteschutz und Witterungsschutz,
- Schallschutz,
- Brandschutz,
- Dauerhaftigkeit.

Aufgrund der funktionalen Trennung zwischen Tragstruktur, Wärmedämmung und Witterungsschutz können KS-Außenwände für den konkreten Anwendungsfall optimiert und als dauerhaft gebrauchstaugliche Bauteile geplant und errichtet werden.

1.1 Standsicherheit

Außenwände müssen standsicher sein. Diese Anforderung ergibt sich aus der Musterbauordnung sowie den jeweiligen Landesbauordnungen. Im Eurocode 6 (DIN EN 1996-1-1 [1] bis DIN EN 1996-3 [4]) mit den jeweiligen Nationalen Anhängen sind die zur Planung und Ausführung notwendigen Bemessungsregeln enthalten. Der geforderte Nachweis der Standsicherheit kann unter bestimmten Randbedingungen mit einem vereinfachten Verfahren oder – ohne Einschränkung – mit einem genauen Verfahren geführt werden. Neben den anfallenden Eigen- und Nutzlasten einer Wandkonstruktion müssen hierzu auch Beanspruchungen aus Winddruck und -sog sowie Spannungen aus klimatischen Einwirkungen zu Grunde gelegt werden.

1.2 Wärmeschutz und Luftdichtheit

Außenwände müssen den Anforderungen des sommerlichen und des winterlichen (Mindest-) Wärmeschutzes, der Luftdichtheit und der Energieeinsparung gerecht werden. Einzelheiten sind in DIN 4108-2 [6], DIN 4108-7 [8] und dem Gebäudeenergiegesetz GEG [9] enthalten.

- Sommerlicher Wärmeschutz
  Die Aufheizung von Räumen in Gebäuden durch übermäßige Sonneneinstrahlung wird von Nutzern oft als unbehaglich empfunden und wirkt sich bei Überhitzung gesundheitsschädlich aus. Besonders kritische Räume sind daher nach DIN 4108-2 [6] hinsichtlich der vorhandenen thermischen Behaglichkeit zu prüfen. Unterschieden werden leichte und schwere Bauweisen. Typische leichte Bauweisen sind die Holzbauweisen. KS-Außenwände zählen durch ihre große flächenbezogene Masse zu den schweren Bauweisen, die eine hohe Wärmespeicherfähigkeit aufweisen und sich daher positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirken.

  Weitere Einflusskriterien auf den sommerlichen Wärmeschutz sind:

  – der Fensterflächenanteil eines Raumes,
  – der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung,
  – die Wirksamkeit einer ggf. vorhandenen Sonnenschutzvorrichtung,
  – die Möglichkeit einer erhöhten Nachtlüftung.

  Bei optimaler Abstimmung dieser einzelnen baulichen Komponenten kann häufig eine Klimatisierung der Räume entfallen.

- Winterlicher (Mindest-) Wärmeschutz
  Zur Gewährleistung eines gesunden und hygienischen Wohnklimas müssen Schimmel und Tauwasser auf der Innenseite von Außenbauteilen vermieden werden. Um eine ausreichend hohe, innenseitige Oberflächentemperatur von Außenbauteilen zu realisieren, müssen daher Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 [6] eingehalten werden.

- Energiesparender Wärmeschutz
  Darüber hinaus ist aus Gründen des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung die zur Beheizung eines Gebäudes notwendige Energie zu reduzieren. Dieses Ziel wird zunächst durch die Begrenzung von Transmissionswärmeverlusten (bauliche/wärmeschutztechnische Qualität einer wärmeübertragenden Umfassungsfläche) und im Weiteren durch die Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs (auf die bauliche Qualität abgestimmte technische Gebäudeausrüstung – Energieaufwand zur Beheizung) erreicht, die nach GEG [9] mit Hilfe des Verfahrens nach DIN V 18599 [10] ermittelt werden.

- Luftdichtheit
  Durch Außenbauteile ungeplant stattfindende Luftströmungen verringern den Wärmeschutz eines Gebäudes deutlich und können über Leckagen im Bauteilinnern Schäden durch mitgeführte Feuchte hervorrufen. Daher ist die Luftdurchlässigkeit eines Gebäudes zu begrenzen (DIN 4108-7 [8] und GEG [9]). Eine unter energetischen Gesichtspunkten ausreichende Luftdichtheit kann mit dem Differenzdruckverfahren (Blower-Door-Prüfung) nachgewiesen werden. Aber selbst bei Erreichen der geforderten Grenzwerte können in der Hüllfläche des Gebäudes Leckagen vorhanden sein, die zu Tauwasserschäden in der Konstruktion führen. Daher sind diese Leckagenstellen vom Prüfer zu dokumentieren und zeitnah von dem jeweiligen Gewerk zu beseitigen.

  KS-Außenwände mit vermörtelten Stoßfugen sind ausreichend luftdicht. Werden sie mit unvermörtelten Stoßfugen errichtet, sind sie erst dann im Regelquerschnitt ausreichend luftdicht, wenn sie innenseitig mit einem Nassputz ausgestattet werden. Obligatorisch ist – wie bei allen Bauarten auch – die Planung und Ausführung luftdichter Bauteilanschlüsse (z.B. Außenwand und Dach).

- Winddichtheit
  Die Winddichtheit kennzeichnet die – bestenfalls nicht vorhandene oder geringe – Durchströmbarkeit eines Außenbauteils durch Außenluft. Die Winddichtheitsebene liegt im

Gegensatz zur Luftdichtheitsebene auf der Außenseite der Dämmebene und verhindert Rotationsströmungen im und um den Dämmstoff. Konkrete Anforderungen werden hierzu in den Regelwerken aber nicht formuliert.

1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Der Schutz vor in der Außenwand und auf deren Innenoberfläche entstehender Feuchte sowie gegenüber der außen vorhandenen Witterung wird in unterschiedlichen Teilen der DIN 4108 geregelt.

- **Feuchteschutz durch Vermeidung von Tauwasser im Bauteilinnern**
  Der Nachweis zur Begrenzung des Tauwassers im Bauteil erfolgt nach dem stationären Glaserverfahren nach DIN 4108-3 [7]. Es ist nachzuweisen, dass das in den Wintermonaten (Tauperiode) anfallende Tauwasser in den Sommermonaten wieder austrocknet (Verdunstungsperiode). Die angrenzenden Baustoffe dürfen grundsätzlich nicht geschädigt werden. Daher ist die maximal zulässige Tauwassermenge bei kapillar saugfähigen Baustoffen auf 1,0 kg/m², bei kapillar nicht saugfähigen Stoffen auf 0,5 kg/m² begrenzt. Bei Verwendung von Holz oder Holzwerkstoffen darf sich der massebezogene Feuchtegehalt um nicht mehr als 5 M.-% bzw. 3 M.-% erhöhen.

INFO
KS-Außenwände mit einem Wärmedämmverbundsystem, einer hinterlüfteten Bekleidung oder einer Verblendschale sind von dem Nachweis zur Begrenzung des Tauwassers befreit.

- **Feuchteschutz durch Vermeidung von Schimmelpilzbildung und Tauwasser an der inneren Bauteiloberfläche**
  Die Vermeidung von Schimmelpilzbildung oder Tauwasser auf den inneren Wandoberflächen wird dann sicher erreicht, wenn bei einem Norminnenraumklima von 20 °C und 50 % relativer Luftfeuchte eine innere Oberflächentemperatur von 12,6 °C überschritten und eine oberflächennahe Feuchte von 80 % unterschritten wird (Schimmelkriterium nach DIN 4108-2 [6] und DIN TS 4108-8 [11]).

INFO
KS-Außenwände, die dem Mindestwärmeschutz entsprechen, erfüllen die Anforderungen an Schimmelpilzvermeidung.

Diese Temperatur- und Feuchtegrenzen des Schimmelkriteriums sind nach DIN 4108-2 [6] auch im Bereich von Wärmebrücken einzuhalten. Wärmebrücken sind Flächen mit vom Regelquerschnitt abweichenden (höheren) Wärmeströmen, die zur Abkühlung der inneren Oberflächentemperatur beitragen. Sie können an Gebäuden als materialbedingte Wärmebrücken (Baustoffwechsel mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten), als geometrische Wärmebrücken (Kanten und Ecken zwischen Außenwänden und Decken) und als konstruktive Wärmebrücken (Durchdringungen durch die Wärmedämmung, Verankerungen) vorhanden sein. Zahlreiche Beispiele für wärmeschutztechnisch optimierte Anschlusslösungen, die nicht nachgewiesen werden müssen, sind im Beiblatt 2 zu DIN 4108 [14] enthalten.

- **Witterungsschutz gegen Schlagregen- und Spritzwasserbeanspruchung**
  In Abhängigkeit von der Jahresniederschlagsmenge werden nach DIN 4108-3 [7] drei Schlagregenbeanspruchungsgruppen definiert und regional in die Gruppen I (geringe Beanspruchung), II (mittlere Beanspruchung) und III (starke Beanspruchung) eingeteilt. Bei lokalen Abweichungen hinsichtlich Topografie (windgeschützt oder windangeströmt) oder Gebäudehöhe (Bungalow oder Hochhaus) ist eine Beurteilung im Einzelfall erforderlich.

  In jedem Fall ist aber am Gebäudesockel ein Spritzwasserschutz erforderlich, der durch Gefälle vom Gebäude weg realisierbar ist.

1.4 Schallschutz

Öffentlichrechtliche Anforderungen an den notwendigen Mindestschallschutz gegen Außenlärm sind aus Gründen der Gesundheitsvorsorge nach den jeweiligen Landesbauordnungen einzuhalten. In DIN 4109-1 [15] sind die entsprechenden Schalldämmmaße enthalten, die je nach Gebäudenutzung und vorhandenem Außenlärmpegel variieren. Zivilrechtliche Anforderungen an einen erhöhten Schallschutz sind darüber hinaus grundsätzlich in DIN 4109-5 [16] und den Schallschutzstufen II und III nach VDI 4100 [17] geregelt. Für Außenwände werden im Hinblick auf die Anforderungen gegenüber Außenlärm in DIN 4109-5 [16] allerdings keine erhöhten Anforderungen festgelegt, wohl aber ein erhöhtes Anforderungsniveau zwischen fremden, schutzbedürftigen Räumen.

Ausschlaggebend zur Gewährleistung einer ausreichenden Direktschalldämmung ist die flächenbezogene Masse der tragenden KS-Wand. Die weiteren Funktionsschichten sind in der Regel von geringerer Bedeutung für das bewertete Schalldämmmaß (Ausnahme: Das Masse-Feder-Masse-Prinzip zweischaliger Wandkonstruktionen kann zu einer Verbesserung der Schalldämmung führen. Die Resonanzfrequenz kann bei WDVS ggf. zur Verringerung der Schalldämmung beitragen).

Weiterhin ist die Flankenschallübertragung, über in die Außenwand einbindende Trennbauteile, zwischen schutzbedürftigen Räumen zu ermitteln. Die Ausbildung der Stoßstelle hat hier eine entscheidende Bedeutung. Es ist zwischen starr verbundenen und entkoppelten Anschlüssen zu unterscheiden.

1.5 Brandschutz

Die einzuhaltenden Brandschutzanforderungen, die durch Baustoff- und Feuerwiderstandsklassen gekennzeichnet sind, ergeben sich in Abhängigkeit von der vorhandenen Gebäudeklasse ebenfalls aus den jeweiligen Landesbauordnungen. Die notwendige Klassifizierung für die Baustoffe ist nach DIN EN 13501 [18] vorzunehmen und die Bemessung des KS-Mauerwerks für den Brandfall nach DIN EN 1996-1-2/NA [2] zu führen.

Zusätzlich ist auch die Vermeidung einer Brandausbreitung über die Fassade konstruktionsabhängig nachzuweisen.

Da es sich bei Kalksandsteinen um einen nicht brennbaren Baustoff der Baustoffklasse A1 handelt, können zweischalige KS-Außenwände, die ohne geplante Luftschicht mit nicht brennbaren Dämmstoffen ausgeführt werden, in allen Gebäudeklassen errichtet werden.

1.6 Dauerhaftigkeit

KS-Außenwände werden aufgrund der konsequent verfolgten Funktionstrennung des Wandaufbaus neben sämtlichen zuvor beschriebenen Anforderungen auch Beanspruchungen aus UV-Strahlung oder chemischem Angriff dauerhaft zuverlässig gerecht. Sie erfüllen die ihnen zugewiesenen Funktionen über die Lebensdauer eines Gebäudes und sind daher langfristig gebrauchstauglich. KS-Außenwand-Konstruktionen sind als nachhaltig zu bewerten

2. Konstruktionsübersicht

In Abhängigkeit von der zu lösenden Bauaufgabe stehen unter Verwendung von KS-Mauerwerk eine Vielzahl von Konstruktionsmöglichkeiten zur Verfügung (Bild 1 und Bild 2). Die Auswahl richtet sich gem. GEG [9] nach der vorgesehenen Nutzung:

- normal beheiztes Gebäude mit Norm-Innentemperatur ≥ 19 °C
- niedrig beheiztes Gebäude mit Norm-Innentemperaturen von 12 °C bis < 19 °C

Bei Außenwänden für normal beheizte Gebäude werden unterschiedliche Funktionsebenen (Tragebene aus KS-Mauerwerk, Dämmebene und Ebene des Witterungsschutzes) errichtet.

Für normal beheizte, neu zu errichtende Gebäude mit Anforderungen an den Wärmeschutz stehen folgende KS-Außenwandkonstruktionen zur Verfügung (Bild 1):

- zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und mit/ohne Luftschicht,
- einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung (Wärmedämmverbundsystem, hinterlüfteter Außenwandbekleidung, bei erdberührten Wänden mit Perimeterdämmung).

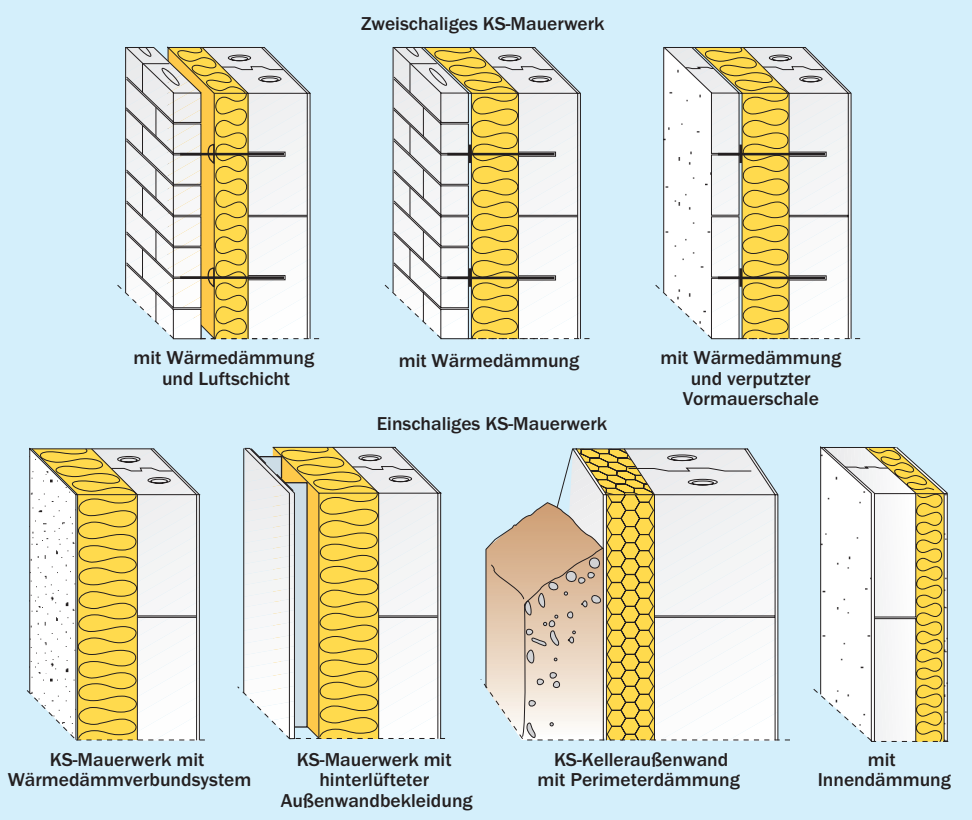


Bild 1 KS-Außenwandkonstruktionen für normal beheizte Gebäude

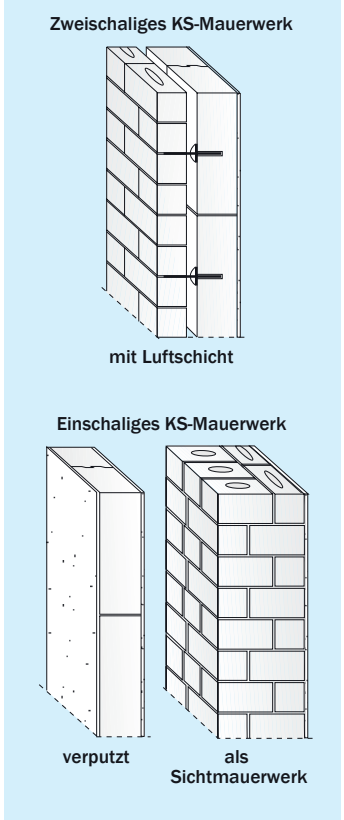


Bild 2 KS-Außenwandkonstruktionen für niedrig oder nicht beheizte Gebäude

Sollen bestehende Gebäude umfassend umgebaut und energetisch modernisiert werden, können neben den bereits beschriebenen Varianten Außenwände auch auf der Innenseite schadenfrei gedämmt werden. Innendämmungen bieten sich bei Denkmalschutzauflagen an das äußere Erscheinungsbild oder sonstigen baulichen Sonderfällen an.

Bei Gebäuden mit nur geringen oder ohne Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz können folgenden KS-Außenwandkonstruktionen zur Ausführung kommen (Bild 2):

- zweischaliges KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung mit Luftschicht
- einschaliges KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung (verputzt, Sichtmauerwerk)

3. Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung

3.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen

3.1.1 Systemaufbau

Der Aufbau von zweischaligem KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und mit/ohne Luftschicht folgt der klaren funktionalen Trennung zwischen Tragstruktur, Wärmedämmung und Witterungsschutz: die tragende KS-Innenschale gewährleistet die statischen und mit dem Innenputz auch die luft-/winddichtenden Funktionen, die Dämmebene den Wärmeschutz und die äußere (verputzte oder nicht verputzte) KS-Verblendschale den Witterungsschutz (Bild 3 und Bild 4).

3.1.2 Standsicherheit

3.1.2.1 Tragende Innenschale

Die Standsicherheit einer tragenden KS-Innenschale wird aufgrund der hohen Druckfestigkeiten von Kalksandsteinen ab einer Dicke von 11,5 cm erfüllt. Die Bemessung erfolgt entweder im vereinfachten Verfahren nach DIN EN 1996-3/NA [4] oder im genauen Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA [1].

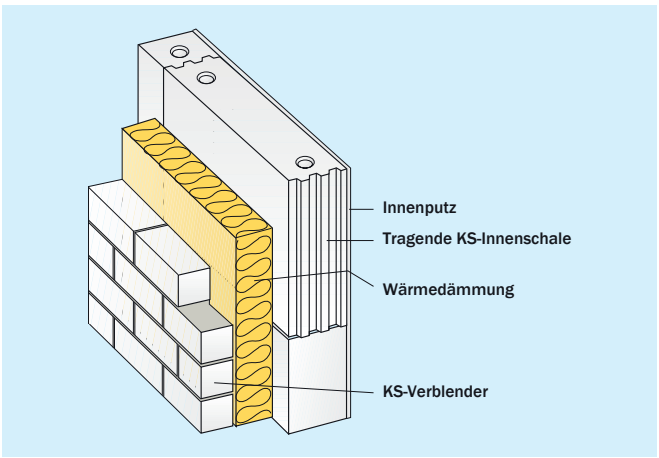


Bild 3 Systemaufbau zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und Verblendschale

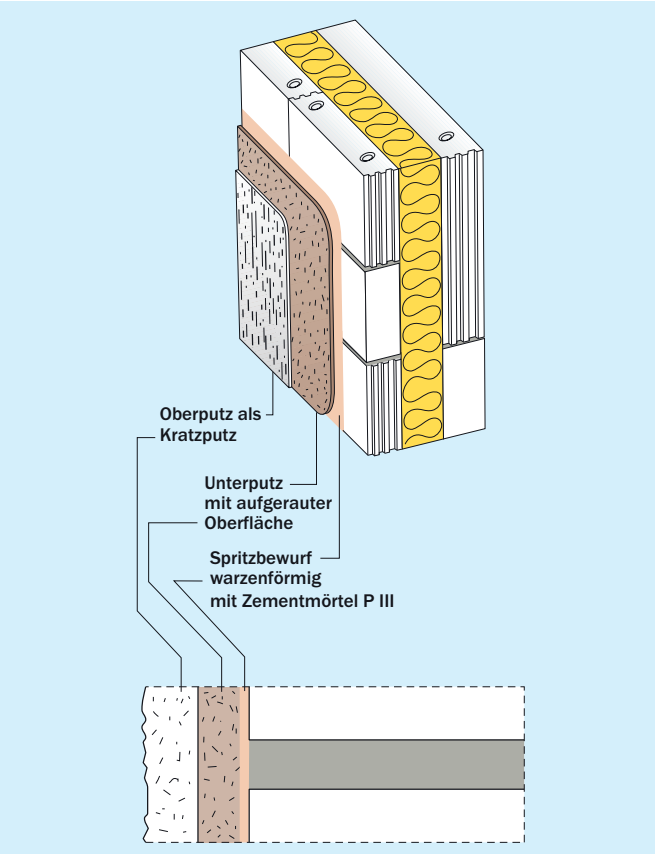


Bild 4 Systemaufbau zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und verputzter Verblendschale

3.1.2.2 Anker

Die Verbindung der tragenden Innenschale und der nicht tragenden Außenschale erfolgt über Anker aus nicht rostendem Stahl, die für diesen Anwendungsbereich nach DIN EN 1996-2/NA [3] bauaufsichtlich zugelassen sein müssen. Die notwendige Anzahl der zu verwendenden Anker ist abhängig von der Gebäudehöhe und der Lage des Gebäudes in Bezug auf die regionale Windanströmung sowie die hieraus resultierende Windlast nach DIN 1055-4 [5] (Tafel 1 und Bild 6).

An allen freien Rändern (von Öffnungen, an Gebäudeecken, entlang von Dehnungsfugen und an den oberen Enden der Außenschalen) sind zusätzlich drei Drahtanker je Meter Wandlänge anzuordnen.

Bei einem nach Norm begrenzten Abstand beider Schalen für Drahtanker von 15 cm soll der vertikale Ankerabstand maximal 50 cm, der horizontale Abstand maximal 75 cm betragen. Bei größeren Schalenabständen (bis 25 cm) müssen hierfür zugelassene Luftschichtanker aus profiliertem Flachstahl verwendet werden. Luftschichtanker werden beim Aufmauern in die Lagerfugen eingelegt.

Bei Elementmauerwerk sollten Dübelanker verwendet werden, die in die tragende KS-Innenschale eingedübelt werden. Dies bietet den Vorteil, dass die Anker gleichmäßig über die Fläche verteilt und Schalenabstände bis 40 cm realisiert werden können (Bild 5 und 7).

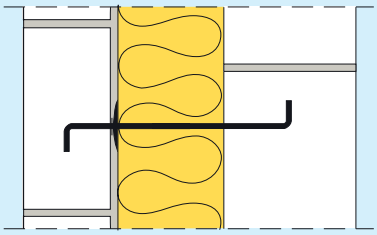
Häufig werden auf die Anker zur Fixierung des vor der tragenden Innenschale eingebauten Dämmstoffs Klemmscheiben aufgeschoben. Die Anker selbst dürfen keinesfalls ein Gefälle zum Dämmstoff hin aufweisen, damit das hinter die Verblendschale gelangende Niederschlagswasser keine Durchfeuchtungserscheinungen hervorrufen kann.

Tafel 1 Mindestanzahl Anker je m² Wandfläche nach DIN EN 1996-2/NA [3]

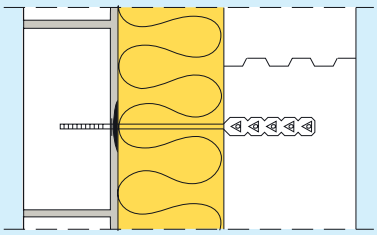
Gebäudehöhe	Windzonen 1 bis 3, Windzone 4 Binnenland	Windzone 4 Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	Windzone 4 Inseln der Nordsee
$h \leq 10$ m	7 [1)]	7	8
10 m < $h \leq 18$ m	7 [2)]	8	9
18 m < $h \leq 20$ m	7	8 [3)]	

[1)] In Windzone 1 und Windzone 2 Binnenland: 5 Anker/m²
[2)] In Windzone 1: 5 Anker/m²
[3)] Ist eine Gebäudegrundrisslänge < $h/4$: 9 Anker/m²

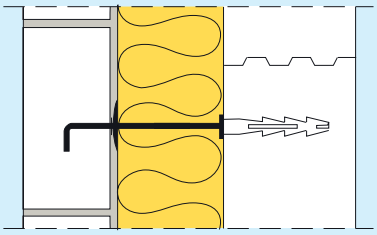
Windzonen nach DIN EN 1991-1-4/NA
An allen freien Rändern (von Öffnungen, entlang von Dehnungsfugen und an den oberen Enden der Außenschalen) sind zusätzlich zu dieser Tafel drei Drahtanker je m Randlänge anzuordnen.



Drahtanker für Normalmauermörtel mit Klemm-und Abtropfscheibe beim Mauern eingelegt



Luftschichtanker für Dünnbettmörtel mit Klemm- und Abtropfscheibe beim Mauern eingelegt



Dübelanker mit Klemm- und Abtropfscheibe zum nachträglichen Eindübeln

Bild 5 Varianten der Verankerung

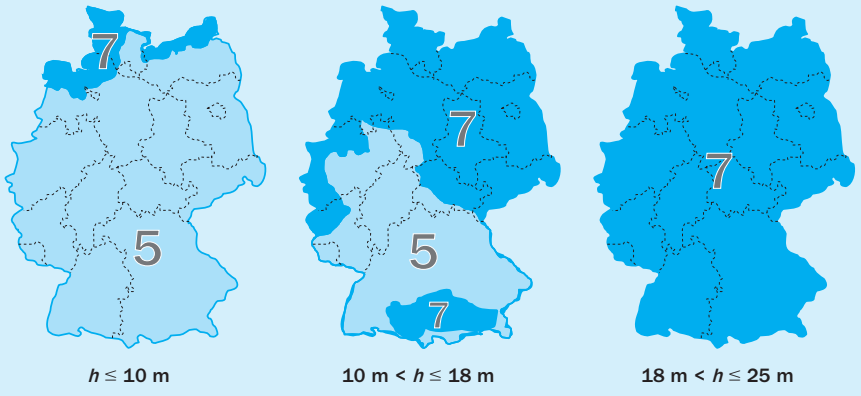


Bild 6 Erforderliche Ankeranzahl in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und der Windlastzone

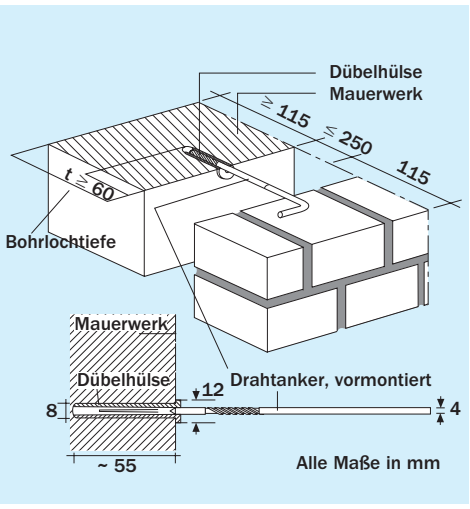


Bild 7 Dübelanker

Tafel 2 Luftschichtanker zum Einlegen beim Aufmauern

Schalenabstand	100 bis 170 mm	120 bis 200 mm	120 bis 250 mm	> 200 bis 250 mm
Tragschale	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel M 5 oder M 10 oder KS-Plansteine/KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel			
Beispiele für Zulassungen	Z-17.1-633 (Bever GmbH) [1] Z-17.1-1192, (H & R GmbH)	Z-17.1-888 [2] (Bever GmbH)	Z-17.1-1198, (H & R GmbH)	Z-17.1-1155 [2] (Bever GmbH); Z-17.1-1168 (Gebr. Bodegraven bv)

[1] Vormauerschale nur in Normalmauermörtel M 5 zulässig
[2] Auch für Vormauerschalen aus Plan- oder Fasensteinen in Dünnbettmörtel zulässig
Bei Anforderungen an den Brandschutz (Gebäudeklasse nach Landesbauordnung) sind ggf. vorhandene Einschränkungen zur Verwendung von Dämmstoffen in den abZ zu beachten.

Tafel 3 Luftschichtanker zum Eindübeln in die Tragschale

Max. Schalenabstand	> 150 mm bis 200 mm	> 200 mm bis 250 mm	> 200 mm bis 400 mm
Tragschale	Vollsteine, SFK ≥ 12 mit Normalmauermörtel ≥ M 5, oder mit Dünnbettmörtel		
Ankerdurchmesser	4 mm	4 mm	5 mm
Bohrerdurchmesser	8 mm	8 mm	8 mm
Bohrlochtiefe	≥ 60 mm	≥ 60 mm	≥ 60 mm
Beispiele für Zulassungen	Z-17.1-825 (Bever GmbH) Z-17.1-822 (H & R GmbH)	Z-17.1-1138 (Bever GmbH) Z-17.1-1142 (H & R GmbH)	Z-21.2-1009 (Bever GmbH)

Bei Anforderungen an den Brandschutz (Gebäudeklasse nach Landesbauordnung) sind ggf. vorhandene Einschränkungen zur Verwendung der Dämmstoffe und Dübel in den abZ zu beachten.

3.1.2.3 Verblendschale und Abfangungen

Da die Verblendschale selbst nicht tragend konzipiert ist und somit nur ihre Eigenlast trägt, muss ihre Höhe nach DIN EN 1996-2/NA [3] durch Abfangungen begrenzt werden. Die maximal zulässige Gesamthöhe einer Verblendschale und die maximal zulässigen vertikalen Abstände ihrer notwendigen Abfangungen richten sich nach der Dicke der Außenschale und ihrem Überstand am Fußpunkt (Tafel 4 und Bild 8).

Üblicherweise werden Abfangungen im Bereich der Deckenauflager positioniert. Die Bemessung erfolgt von den jeweiligen Herstellern im Rahmen einer typenbezogenen statischen Berechnung.

3.1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Tauwasser im Bauteilquerschnitt sowie auf der inneren Wandoberfläche ist bei zweischaligen Außenwänden aufgrund der bauphysikalischen Schichtenfolge ausgeschlossen. Aus diesem Grund ist ein Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 [7] entbehrlich.

Zweischalige KS-Außenwandkonstruktionen folgen dem sog. zweistufigen Abdichtungsprinzip: der Schutz vor Niederschlägen und das Ableiten des auf die Fassade treffenden Regens erfolgt an bzw. auf der Rückseite der äußeren Schale. Die Aufgabe der erforderlichen Wind- und Luftdichtheit wird in der Regel vom Innenputz übernommen. Alternativ ist eine Stoßfugenvermörtelung erforderlich. Daher sind solche Wandkonstruktionen nach DIN 4108-3 [7] bei der Bewertung des Schlagregenschutzes für die höchste Beanspruchung nach Schlagregenbeanspruchungsgruppe III gut geeignet.

In die Verblendschale selbst durch Kapillarität eingedrungenes Wasser trocknet nach dem Regenereignis auf demselben Weg und nach Enden des Kapillarzuges weiter durch Diffusion wieder ab. Jedoch sind zur Vermeidung übermäßiger Auffeuchtung und hiermit ggf. verbundenen Frostabplatzungen frostwiderstandsfähige KS-Verblender bzw. KS-Vormauersteine zu verwenden. Fugen von Verblendschalen sind ebenfalls zur Vermeidung zu großer Auffeuchtungen und Gewährleistung eines ungehinderten Wasserabflusses an der Oberfläche im Fugenglattstrich entweder bündig mit der Steinoberfläche oder höchstens kon-

Tafel 4 Höhenabstand der Abfangung bei Verblendschalen

Dicke der Außenschale	Maximale Höhe über Gelände	Maximaler Überstand über Auflager	Höhenabstand der Abfangung
9,0 cm ≤ *d* < 10,5 cm	≤ 20,0 m	≤ 1,5 cm	≤ ca. 6,0 m
10,5 cm ≤ *d* < 11,5 cm	≤ 25,0 m	≤ 1,5 cm	≤ ca. 6,0 m
d = 11,5 cm	unbegrenzt	≤ 3,8 cm ≈ *d*/3	≤ 2 Geschosse
d = 11,5 cm	unbegrenzt	≤ 2,5 cm	≤ ca. 12,0 m

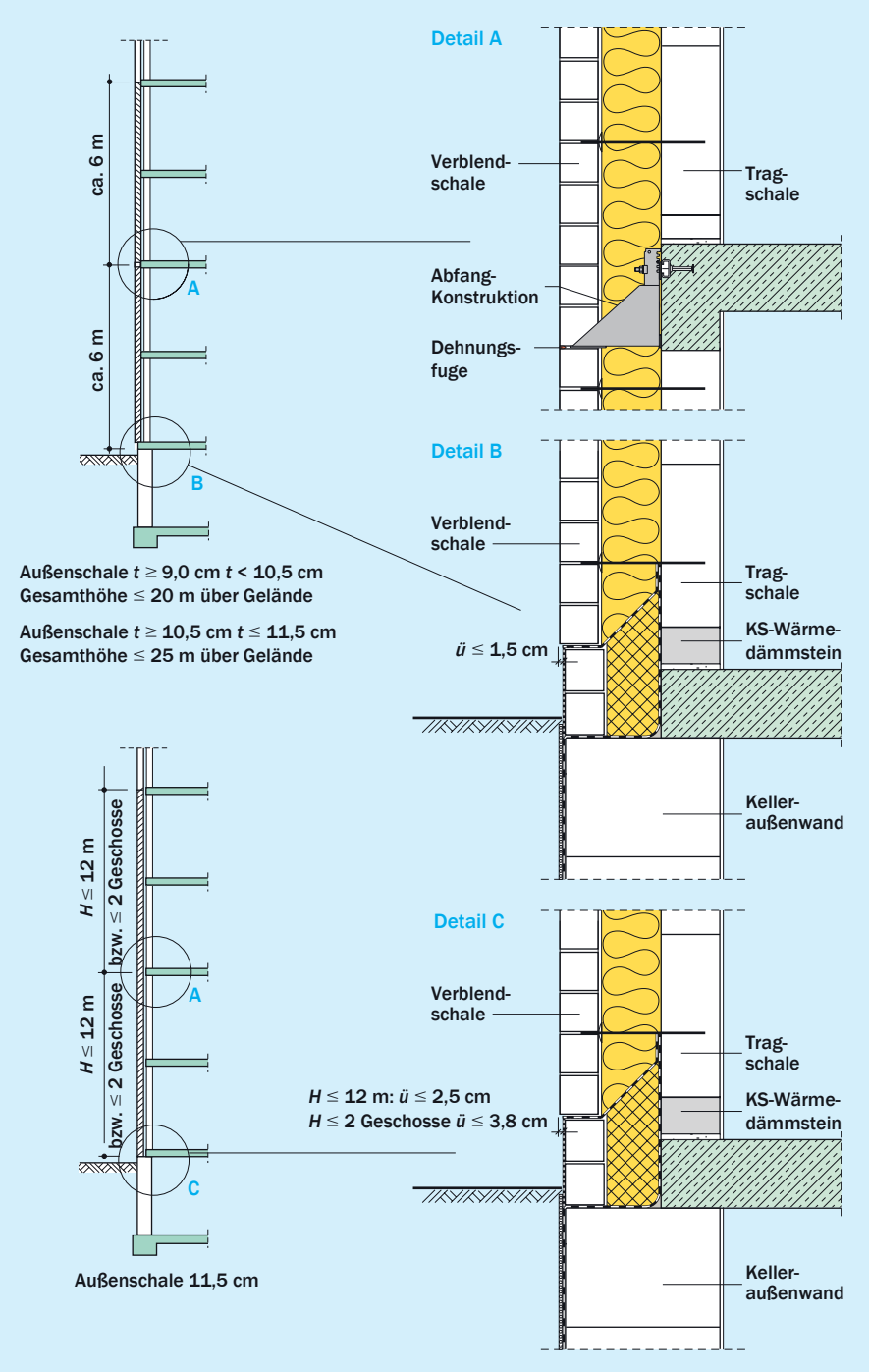


Bild 8 Randbedingungen zur Ausführung von zweischaligen Außenwänden nach DIN EN 1996-2/NA [3]

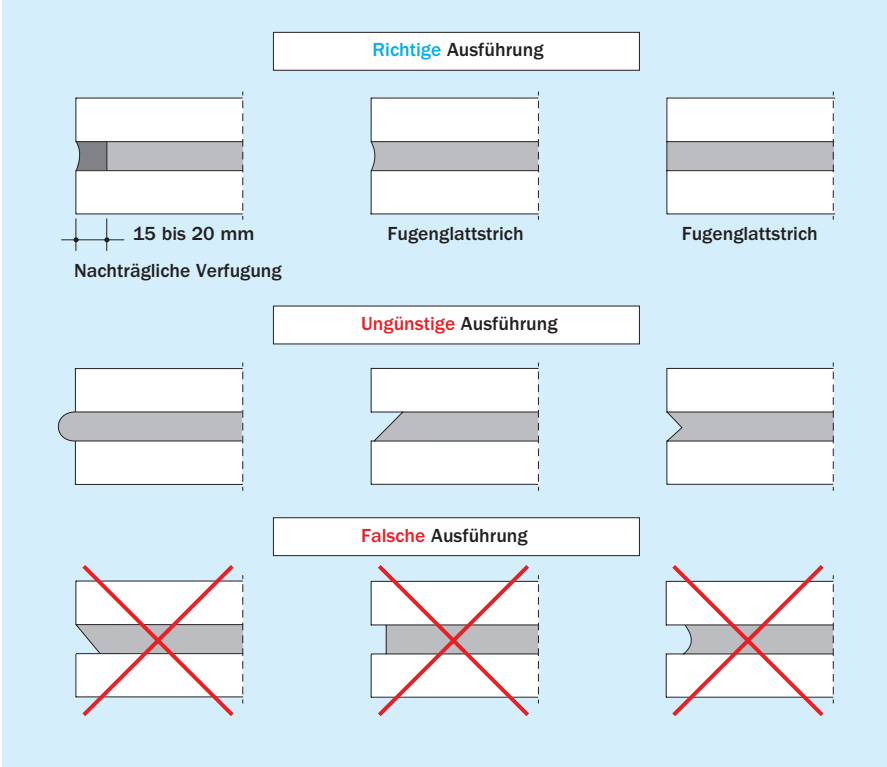


Bild 9 **Ausführung von Mörtelfugen bei Verblendschalen**

kav zurückliegend auszuführen. Dies gilt auch bei nachträglicher Verfugung (Bild 9).

3.1.4 Wärmeschutz

Alle für zweischalige Außenwände verwendbaren Dämmstoffe müssen für diesen Anwendungsbereich als Hohlraumdämmung von zweischaligen Wänden oder Kerndämmung (WZ nach DIN 4108-10 [12]) über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Bauartgenehmigung geregelt sein.

Dämmstoffe sind vielfältig verfügbar:

- Mineralwolle (MW)
- expandiertes Polystyrol (EPS)
- extrudiertes Polystyrol (XPS)
- Polyurethan (PUR)
- Polyisocyanurat (PIR)
- Phenolharz (PF)
- expandiertes Blähperlite (EPB)
- Holzwolle (WW)
- Holzfasern (WF)
- Schaumglas (CG)

In Abhängigkeit vom jeweiligen Produkt können sie als Platten oder Matten am Untergrund befestigt oder als Flocken oder Granulat in den Schalenzwischenraum lose eingebracht bzw. eingeblasen werden.

Wird der Schalenzwischenraum vollständig mit Dämmstoff einer sehr geringen Wärmeleitfähigkeit gefüllt, sind auch hochwärmedämmende Bauweisen im Passivhausstandard realisierbar. Die Berechnung erfolgt nach DIN 4108-2 [6] und umfasst den gesamten Wandquerschnitt zzgl. eines äußeren Wärmeübergangswiderstands R_{se} von 0,04 m²K/W und eines inneren Wärmeübergangswiderstands R_{si} von 0,13 m²K/W. Hier ist auch der handwerklich notwendige, Fingerspalt mit R = 0,15 m²K/W zu berücksichtigen (Tafel 5).

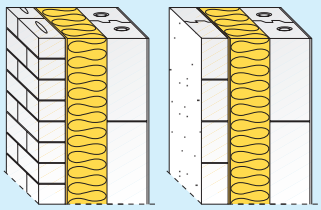
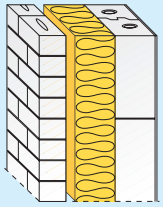
Entlang offener Stoßfugen können bei Dämmstoff-Platten/Matten Wärmeverluste auftreten. Strömungstechnisch wirken sich diese miteinander verbundenen Spalten ab einer Breite von 5 mm negativ auf den Wärmeschutz aus DIN EN ISO 6946 [13]. Lücken in der Dämmebene können durch knirsch verlegte Platten (ggf. mit Stufenfalz oder Nut und Feder) oder gut verdichtete Hohlräume bei losen Dämmstoffen vermieden werden. Zweilagig eingebaute Dämmschichten bieten eine hohe Sicherheit gegen Hinterströmung.

Auch Anker durchdringen die Dämmebene und müssen als punktuelle Wärmebrücke über den punktförmigen Wärmebrückenverlustkoeffizienten χ ermittelt werden. Sie sind ab einer Verschlechterung des U-Werts nach DIN 4108-2 [6] von 0,04 W/(m²K) zu berücksichtigen.

Werden zweischalige KS-Außenwände mit Luftschicht konstruiert, muss diese mindestens 60 mm betragen. Sie darf bis auf 40 mm vermindert werden, wenn der Mauermörtel mindestens an einer Hohlraumseite abgestrichen wird. Dabei darf der Hohlraum nicht von herunterfallenden Mörtel verstopft werden. Strömungstechnisch sind diese Luftschichten – je nach Größe der Lüftungsöffnungen und Dicke der Schicht – nach DIN EN ISO 6946 [13] als schwach oder stark belüftet zu bewerten. Bei den üblicherweise stark belüfteten Luftschichten dürfen die außerhalb der Luftschicht befindlichen Bauteilschichten nicht bei der Ermittlung des Wärmeschutzes berücksichtigt werden. Außerdem entspricht dann der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} dem inneren Wärmeübergangswiderstand R_{si} von 0,13 m²K/W (Tafel 5). Zur Optimierung der möglichen Energieeinsparung wird der Schalenzwischenraum jedoch meist vollständig gedämmt.

Neben der bei Außenwandkonstruktionen aus wärmetechnischen Gründen erforderlichen Luftdichtheit dient die massive Innenschale mit ihrer hohen spezifischen Wärmekapazität als optimaler Wärmespeicher. Somit tragen KS-Wandkonstruktionen zu behaglichem Wohnen bei und helfen, eine Überhitzung von Räumen zu vermeiden. Diese Wärme speichernden Eigen-

Tafel 5 **U-Werte von zweischaligem KS-Mauerwerk**

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)] 0,022	0,024	0,032	0,035	Wandaufbau
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt R = 0,15 (m²·K)/W 0,115 m KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)[1] oder verputzte KS-Vormauerschale λ = 1,1 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	43,0	12	0,16	0,18	0,23	0,25	
	45,0	14	0,14	0,16	0,20	0,22	
	47,0	16	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	55,0	24	0,09	0,09	0,12	0,13	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ R_{se} = 0,13 (m²·K)/W ≥ 0,04 m Luftschicht 0,115 m KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)
	46,0	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	48,0	14	0,15	0,16	0,21	0,22	
	50,0	16	0,13	0,14	0,18	0,20	
	52,0	18	0,12	0,13	0,16	0,18	
	54,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.
[1] Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

schaften wirken sich insbesondere im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz aus. Helle Verblendschalenoberflächen absorbieren zudem weniger Sonneneinstrahlung als sie reflektieren. Sie unterliegen daher einer geringeren Aufheizung als dunklere Fassaden.

3.1.5 Schallschutz

Als Masse-Feder-Masse-Systeme erfüllen zweischalige KS-Außenwände aufgrund der großen flächenbezogenen Masse der beiden Mauerwerksschalen einen guten bis sehr guten Schallschutz gegen Außenlärm. Der Nachweis erfolgt in Anlehnung an DIN 4109 [15].

Bei der Ermittlung der Flankenschalldämmung zwischen schutzbedürftigen Räumen innerhalb des Gebäudes wird nur die tragende Innenschale der Außenwand berücksichtigt. Die äußeren Schichten werden vernachlässigt. Erheblichen Einluss auf den erreichbaren Schallschutz insgesamt, durch den Übertragungsweg entlang der Flanke, hat daher die Ausbildung der Stoßstelle zwischen Außen- und Innenwand. Stoßstellen können im Verband gemauert, stumpf gestoßen oder durchgeführt werden. Als schalltechnisch günstig hat sich eine Durchführung der Wohnungstrennwand durch die Außenwand erwiesen.

Grundsätzlich wird ein KS-Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung verputzt, um einen direkten Schalldurchgang durch offene Fugen zu vermeiden. Hierzu eignet sich ein einseitig, mindestens in einer Schichtdicke von 10 mm aufgetragener Putz.

3.1.6 Brandschutz

Auch Anforderungen des baulichen Brandschutzes werden bei der Verwendung von nicht brennbaren Materialien eingehalten.

3.2 Funktionsangepasste Detailplanung

3.2.1 Dehnungsfugen

Verblendschalen verformen sich unabhängig von der tragenden KS-Innenschale. Sie unterliegen neben den austrocknungsbedingten Verformungen zu Beginn der Gebäudestandzeit auch thermisch bedingten Längenänderungen. Während die austrocknungsbedingten Verformungen auch in der tragenden KS-Innenschale auftreten, spielen thermisch bedingte Längenänderungen für die Verformung des tragenden Mauerwerks keine bedeutende Rolle. Damit keine rissverursachenden Zwängungsspannungen zwischen beiden Schalen auftreten, müssen nach DIN EN 1996 [3] in Verblendschalen Dehnungsfugen in horizontaler und vertikaler Richtung vorgesehen werden. Dieser Sachverhalt trifft auch auf verputzte Vormauerschalen zu.

Empfehlenswert ist der Einbau von vertikalen Dehnungsfugen daher an folgenden Stellen:

- bei zusammenhängenden Bauteillängen von mehr als 6-8 m
- an Gebäudeecken und -kanten
- an großen Fenster- und Türöffnungen in der Verlängerung der Laibungen

Bild 10 Dehnungsfuge an einer Gebäudeecke mit Dichtstoff verschlossen

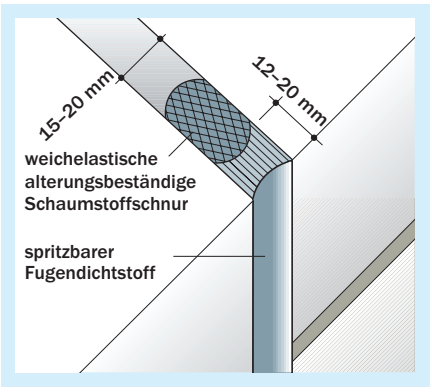


Bild 11 Dehnungsfuge mit Dichtstoff verschlossen

Die Dehnungsfugenausbildung kann in unterschiedlichen Varianten erfolgen:

- offenbleiben
- mit einem hinterfüllten Dichtstoff verschlossen werden nach DIN 18540 [18]
- mit einem vorkomprimierten, imprägnierten Dichtband verschlossen werden nach DIN 18542 [19]
- mit einem Abdeckprofil verschlossen werden

Bild 12 Dehnungsfuge an Gebäudeaußenecke

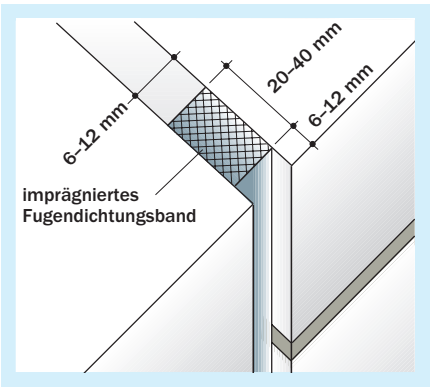


Bild 13 Dehnungsfuge mit vorkomprimiertem Dichtband verschlossen

3.2.2 Maßnahmen zur Rissvermeidung – Abfangungen und konstruktive Überbrückung von Mauerwerksöffnungen

Um die vorhandene Last nicht zu groß werden zu lassen, muss nach DIN 1996-2 [3] zum einen die Gesamthöhe der Verblendschale begrenzt werden und zum anderen die Verblendschale in regelmäßigen Abständen abgefangen werden. Je nach vorhandener Verblendschalendicke sind auch unbegrenzte Gesamthöhen realisierbar. In jedem Fall sind aber Abfangungen zwischen 6 und 12 m Höhenabstand erforderlich. Die im Regelquerschnitt eingebauten Konsolauflagerungen können als

Einzelkonsolen oder lineare Winkelkonsolen konzipiert werden (Bild 14 und Bild 16).

Zur Vermeidung von Rissbildungen zwischen dem Regelwandquerschnitt und den Brüstungsbereichen unter größeren Fensteröffnungen können folgende Maßnahmen ergriffen werden: In Verlängerung der Fensterlaibung ist auf eine möglichst halbsteinige Überbindung der Verblendschale zu achten. Zudem kann in den rissempfindlichen Bereichen eine konstruktive Lagerfugenbewehrung unterhalb der Öffnung angeordnet oder eine fachgerecht dimensionierte Dehnungsfuge ausgebildet werden (Bild 15).

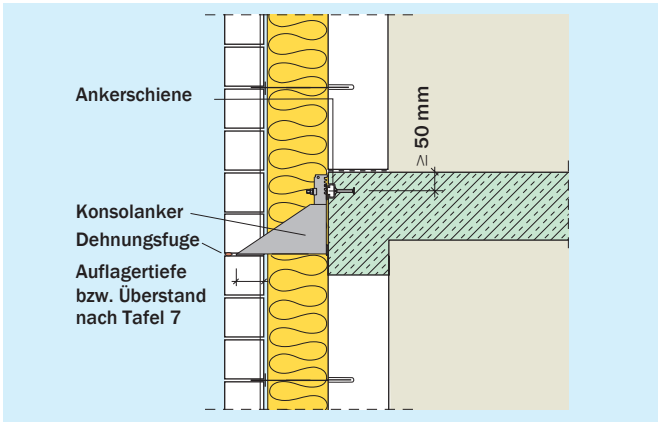


Bild 14 Zwischenabfangung mit Konsolanker

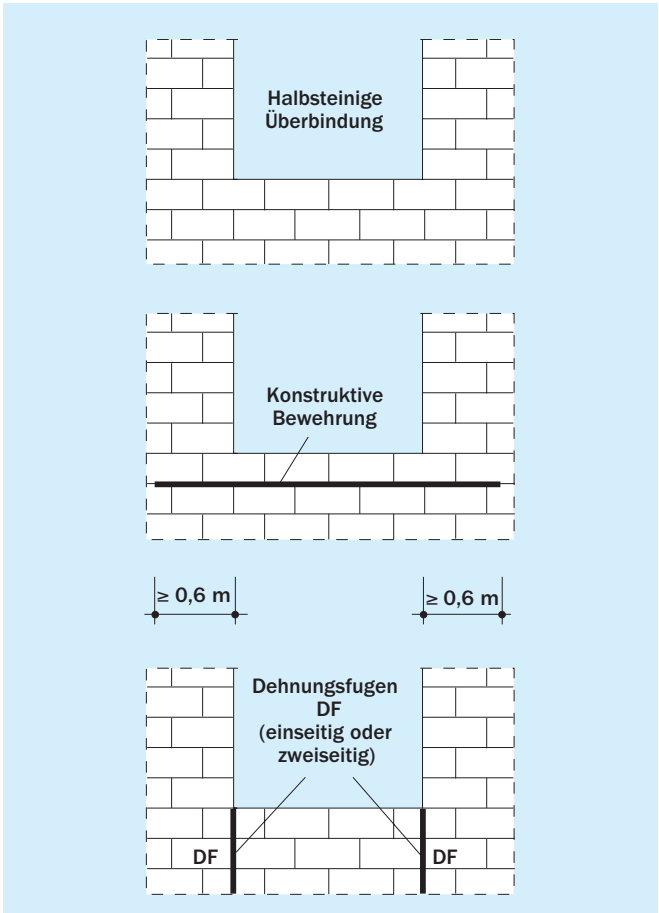


Bild 15 Rissvermeidung im Brüstungsbereich von Verblendschalen

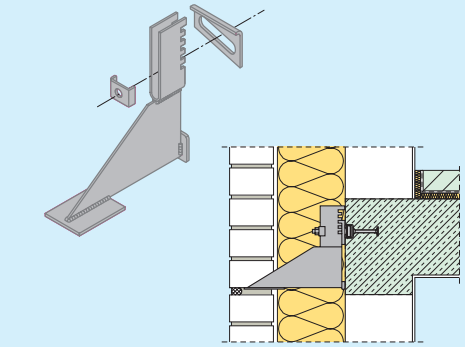
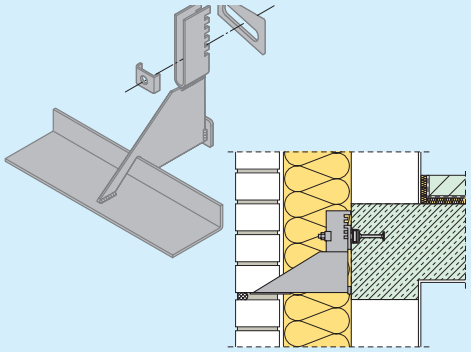
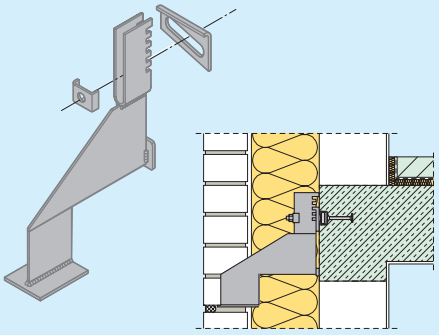
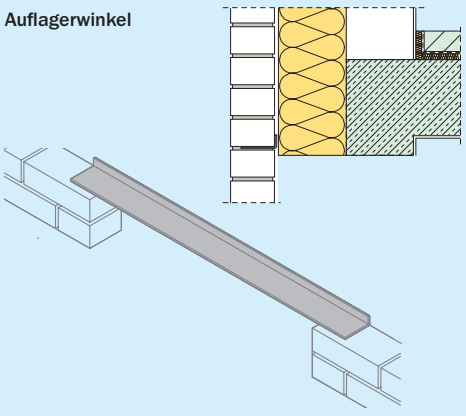
Verankerungen für Verblendmauerwerk	Einsatzbereich
Einzelkonsole 	Höhenjustierbare Abfangung von geschlossenen Wandflächen
Winkelkonsole 	Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen
Einzelkonsolanker mit Höhenversatz 	Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen mit Höhenversatz
Auflagerwinkel 	Einfache Abfangung über Öffnungen, ohne Verschluss des Schalenraums

Bild 16 Übersicht unterschiedlicher Abfangkonstruktionen

3.2.3 Fußpunktabdichtungen und Entwässerungsöffnungen

Verblendschalen sind nicht wasserdicht und können daher von Niederschlagswasser zumindest in geringen Mengen hinterlaufen werden. Das eingedrungene Wasser tropft auf der Schalenrückseite nach unten ab und muss dort nach außen abgeleitet werden.

Diese Funktion übernimmt eine fachgerecht eingebaute Fußpunktabdichtung, die an der tragenden Hintermauerschale lagesicher verwahrt und außen bis nahezu an die Vorderkante der Verblendschale geführt wird. Da der obere Abdichtungsrand an der tragenden Hintermauerschale nicht hinterläufig ist, kann eine zusätzliche dauerhaft mechanische Fixierung nach DIN 18533 [20] dort entfallen. Auch das früher übliche Einlegen der Abdichtungsbahn in eine Lagerfuge des Hintermauerwerks ist aus demselben Grund entbehrlich. Baupraktisch ist dies bei Verwendung von Dünnbettmörtel und großformatigen Elementen auch kaum möglich (Bild 17).

Beim Einbau der Fußpunktabdichtung mit geplanter Entwässerung unterhalb der Geländeoberkante muss nach DIN 18533 [20] darauf geachtet werden, dass der außen angrenzende Baugrund eine ausreichende Versickerungsfähigkeit zur Ableitung anfallenden Wassers aufweist, um kapillar aufsteigende Feuchte in der Verblendschale zu vermeiden. Zudem ist darauf zu achten, dass die Fußpunktabdichtung keinen „Wassersack“ bildet. Außerdem sollten die Längsstöße der Abdichtungsbahnen zur Vermeidung von in den Untergrund sickernden Wassers verklebt werden.

Der Einbau von Entwässerungsöffnungen als offene Stoßfugen der Verblendschale erhöht die Entwässerungsleistung nur unwesentlich. Auch eine Belüftungsfunktion der offenen Stoßfugen ist nicht belegt. Daher wurden die in der zurückgezogenen Mauerwerksnorm DIN 1053 enthaltenen Flächenangaben für Entwässerungsöffnungen nicht in den DIN EN 1996 aufgenommen. Der ehemals zwingenden Einbauvorschrift ist also einer Einbaumöglichkeit gewichen.

3.2.4 Wärmedämmung und Feuchteschutz im Sockelbereich

Zur Minimierung der sonst am Gebäudesockel vorhandenen Wärmebrücke ist der Schalenzwischenraum mit feuchteunempfindlicher Wärmedämmung/Perimeterdämmung auszufüllen.

Soll die Außenseite der Verblendschalenfläche unterhalb der Fußpunktabdichtung zusätzlich gegen Spritzwasser und/oder gegen eine Beanspruchung aus Tausalz geschützt werden, kann ein wasserabweisender Sockelputz mit einer mineralischen Dichtungsschlämme aufgetragen werden.

Der Einbau eines Kiesrandstreifens kann zur Vermeidung einer Beanspruchung aus Spritzwasser ebenfalls hilfreich sein, ist aber nur dann zielführend, wenn unter der Geländeoberfläche auch versickerungsfähiger Baugrund anschließt. Ist dies nicht der Fall, sollte auf den Kiesrandstreifen verzichtet werden. In jedem Fall ist zur Vermeidung unnötig hoher Wasserbeanspruchungen nach DIN 18533 [20] darauf zu achten, dass das angrenzende Gelände ein Gefälle vom Gebäude weg aufweist.

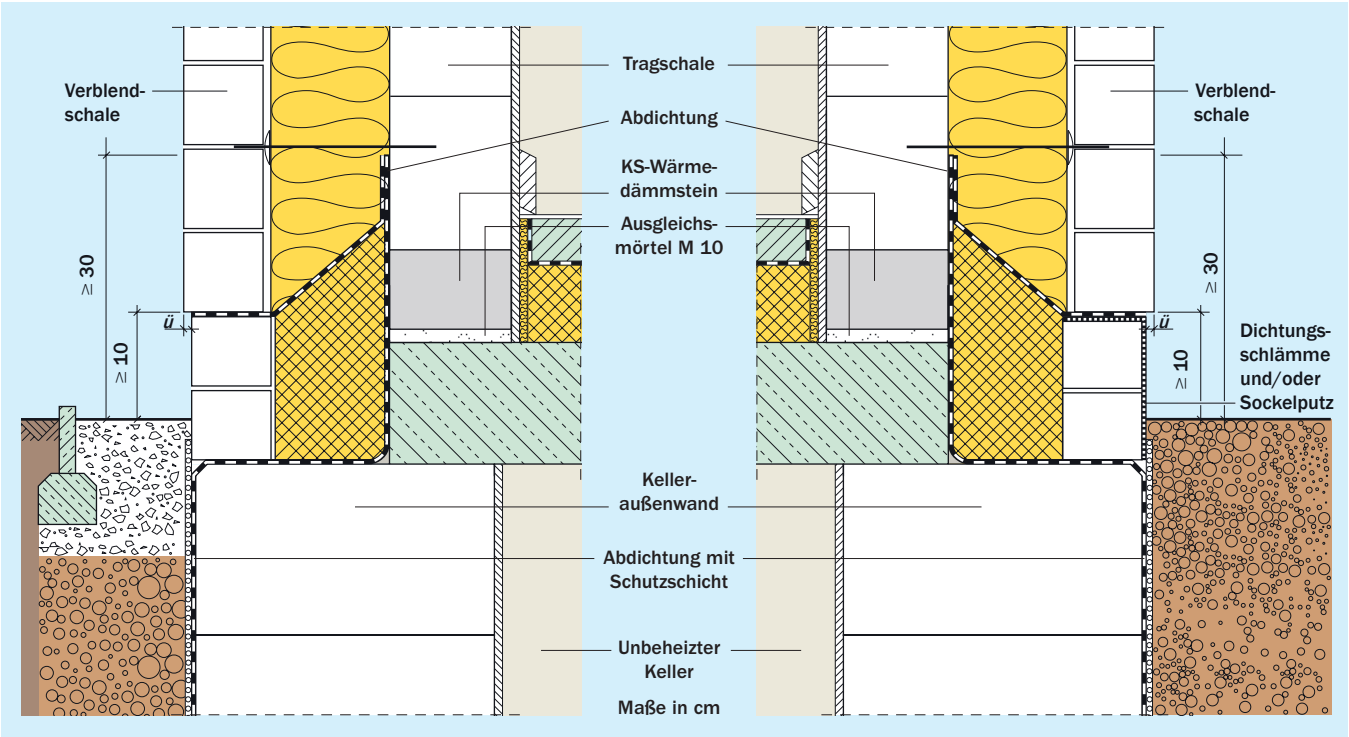


Bild 17 Fußpunktabdichtung Oberkante Gelände und unter Geländeanschluss

4. Einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem

4.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen

4.1.1 Systemaufbau

Am Aufbau von KS-Außenwänden mit Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) ist die funktionale Trennung des Systems zwischen Tragstruktur, Wärmedämmung und Witterungsschutz gut ablesbar: das tragende KS-Mauerwerk gewährleistet die statischen und mit dem Innenputz auch die luft-/winddichtenden Funktionen, die Dämmebene den Wärmeschutz und der Außenputz den Witterungsschutz (Bild 18).

Die möglichen Systemaufbauten sind aufgrund der zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Komponenten (Befestigungen, Wärmedämmstoffe, Unter- bzw. Armierungsputz und Oberputz) vielfältig (Bild 19). Jede der möglichen Varianten muss aber als Gesamtsystem für den jeweiligen Anwendungsbereich durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin (DIBt) in einer ETA (Europäisch technische Bewertung) oder einem AbZ/aBG (Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/allgemeine Bauartgenehmigung) hinsichtlich der Verwendbarkeit geprüft und zugelassen werden. Ein Austausch einzelner Komponenten abweichend von der erteilten Zulassung ist nur dann möglich, wenn hierüber eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erteilt wurde. In der Zulassung werden die einzuhaltenden Anforderungen an Untergrund, Befestigung sowie brand-, wärme- und schallschutztechnische Eigenschaften formuliert und die Einzelheiten des Putzaufbaus geregelt.

Varianten der Bausätze eines Wärmedämmverbundsystems beinhaltet DIN EN 17237 [29] als Nachfolgenorm von DIN EN 13499 [30] und DIN EN 13500 [31], die aber keine baupraktischen Hinweise zur Verarbeitung gibt. Diese sind in DIN 55699 [32] zu finden.

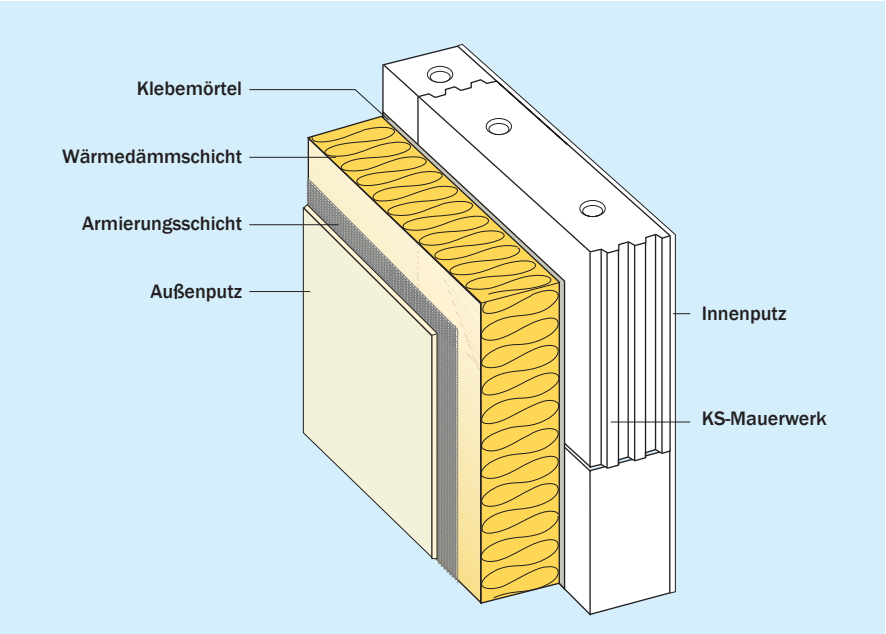


Bild 18 Systemaufbau einer KS-Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem

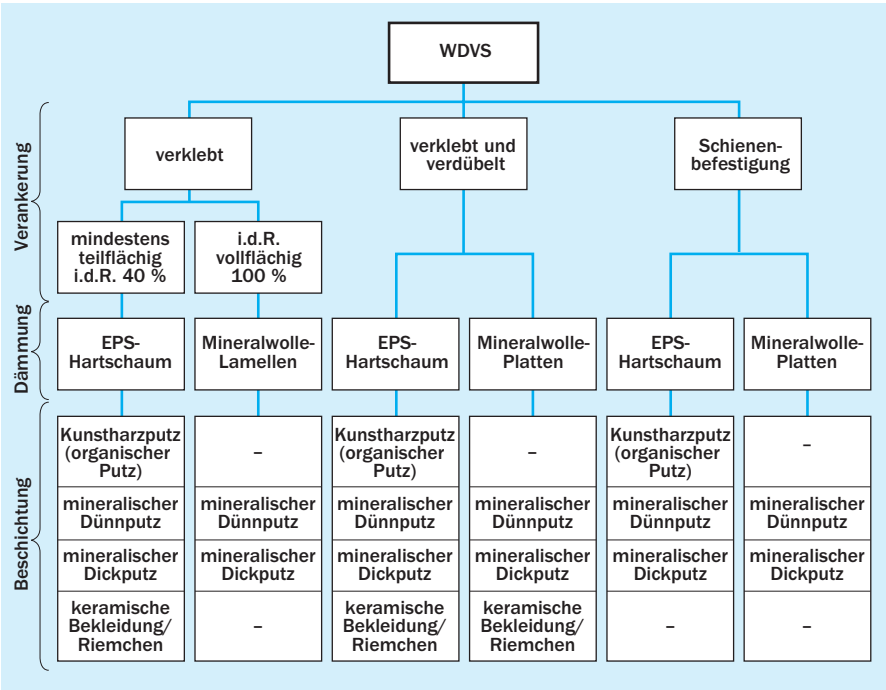


Bild 19 Übersicht der marktüblichen Wärmedämmverbundsysteme

4.1.2 Standsicherheit

4.1.2.1 Tragendes KS-Mauerwerk

Der Tragfähigkeitnachweis der KS-Mauerwerksinnenschale selbst erfolgt nach den bereits beschriebenen Verfahren nach DIN EN 1996/NA [1].

Grundsätzlich gilt nach DIN 55699 [32], dass der Untergrund sauber, trocken, staub- und fettfrei sein muss. Auch die Ebenheit des Untergrundes ist zu prüfen. Die Abweichung darf bei verklebten Systemen max. 1 cm/m Bauteillänge, bei verklebten und verdübelten Systemen 2 cm/m Bauteillänge und bei Schienenbefestigung 3 cm/m Bauteillänge betragen. Diese zulässigen Abweichungen sind allerdings auch auf einen Meter Messpunktabstand zu beziehen und nicht als Aufadditionen über Gesamtwandlängen.

4.1.2.2 Befestigungsarten

Der Nachweis der Standsicherheit des Wärmedämmverbundsystems wird über die Einhaltung der systembezogenen Zulassung erbracht und für den konkreten Anwendungsbereich

definiert. In Abhängigkeit von der Ebenheit und der Tragfähigkeit des Untergrundes und der Querzugfestigkeit der Wärmedämmung ist die Befestigungsart des Systems zu bestimmen: Es kommen verklebte, verklebte und verdübelte und über Schienensysteme befestigte Systeme zur Ausführung.

Sollen die Dämmplatten am Untergrund verklebt werden, kann dies voll- oder teilflächig erfolgen. Der Nachweis ist durch eine Haftzugprüfung zu erbringen, bei der eine Abreißfestigkeit von 0,08 N/mm² erreicht werden muss. Üblich ist bei EPS-Dämmplatten eine Teilflächenverklebung im Randwulst-Punkt-Verfahren auf der Dämmplattenrückseite oder mäanderartig auf dem Untergrund (Bild 20). Mindestens ist ein Klebeflächenanteil von 40 % erforderlich. Sollen Mineralwolle-Lamellen-Platten verwendet werden, sind diese vollflächig zu verkleben. Hierzu ist der Kleber auf den werkseitig beschichteten Rückseiten der Dämmplatten einzuarbeiten, je nach Zulassung ist auch ein teilflächiger Klebemörtelauftrag auf dem Untergrund (Anteil mind. 50 %) möglich. Eine vollflächige Verklebung mit aufgekämmtem Klebemörtel kann bei sehr ebenem Untergrund auch bei anderen Dämmstoffen vorgesehen werden, erhöht jedoch die Anforderungen an die Verarbeitung.

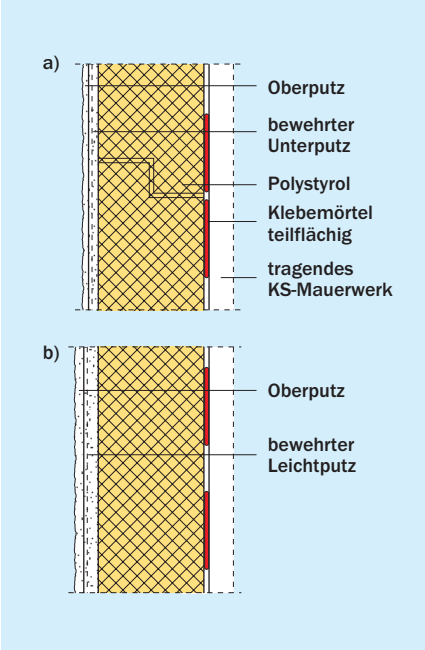


Bild 20 Teilflächig verklebtes WDVS mit EPS-Dämmplatten

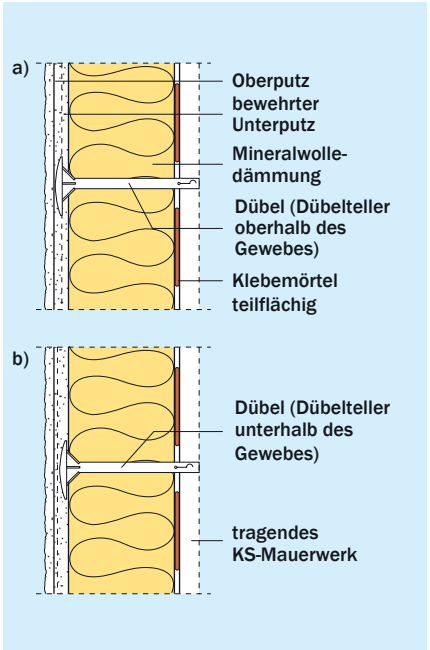


Bild 21 Teilflächig verklebtes und verdübeltes WDVS mit Mineralwolle-Dämmplatten

Bei mit der Gebäudehöhe zunehmender Windsogbeanspruchung, geringerer Scherfestigkeit der verwendeten Dämmplatten (Mineralschaum) oder aufgrund systembedingter höherer Eigenlasten (Riemchenbekleidung) kann es erforderlich sein, verklebte Wärmedämmverbundsysteme zusätzlich zu verdübeln (Bild 21).

Die notwendige Dübelanzahl ist von der konkreten Einbausituation abhängig. Parameter sind: Gebäudehöhe und Positionierung der Befestigung zum Gebäuderand, Art und Dicke des Wärmedämmstoffs sowie Durchmesser und Lage des Dübeltellers. Neben den allgemeinen Hinweisen aus DIN 55699 [32] muss der Nachweis der Standsicherheit den jeweiligen Zulassungsbestimmung der AbZ/aBG entsprechen.

Eine Befestigung mit Schienensystemen kommt in der Regel bei sehr unsicheren Untergründen im Altbaubestand zur Ausführung. Am Markt erhältlich sind PVC-Schienen für EPS-Dämmplatten und Aluminium-Schienen für Mineralwolle-Dämmplatten.

4.1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Tauwasser im Bauteilquerschnitt einer mit WDVS bekleideten Außenwand sowie Tauwasser und Schimmel auf den inneren Bauteiloberflächen wird aufgrund der bauphysikalisch unproblematischen Schichtenfolge vermieden. Ein rechnerischer Nachweis zur Einhaltung des klimabedingten Feuchteschutzes nach DIN 4108-3 [7] ist daher entbehrlich.

Der mögliche Witterungsschutz eines Wärmedämmverbundsystems hängt von zwei physikalischen Eigenschaften der Putzschicht ab: der Wasseraufnahmefähigkeit in Bezug auf flüssiges Wasser (Wasseraufnahmekoeffizient *w*) und der Diffusionsfähigkeit in Bezug auf Wasserdampf (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d). Damit eine mit Wärmedämmverbundsystem bekleidete Außenwand auch die Anforderungen der Beanspruchungsgruppe II und III (mittlere und hohe Schlagregenbeanspruchung) nach DIN 4108-3 [7] erfüllt, muss ein wasserabweisender Putz auf die Dämmebene aufgebracht werden. Diese Anforderung an die Putzschicht wird erreicht, wenn der Wasseraufnahmekoeffizient $w \leq 0{,}5\ kg/(m^2 \cdot h^{0,5})$, die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d \leq 2{,}0$ m und das Produkt daraus $w \cdot s_d \leq 0{,}2\ kg/(m \cdot h^{0,5})$ ist. Liegt eine Beanspruchung nach Schlagregengruppe I (geringe Schlagregenbeanspruchung) vor, müssen diese Anforderungen nicht erfüllt werden.

Die Auswahl der Putzarten erfolgt in Abhängigkeit vom verwendeten Dämmstoff: EPS-Dämmplatten als diffusionsdichtere Systeme werden in der Regel mit organisch gebundenen Putzsystemen kombiniert. Mineralwolle-Dämmplatten werden meist mineralisch verputzt. Der bauaufsichtlichen Zulassung bzw. der allgemeinen Bauartgenehmigung ist zu entnehmen, welche Systemkombinationen möglich sind.

Im Sockelbereich muss der Putz eines Wärmedämmverbundsystems vor Spritzwasser und ggf. aufsteigender Feuchte geschützt werden. Dies kann z.B. durch eine mineralische Dichtungsschlämme geschehen (Bild 22). Wird anstelle eines Sockelputzes zur Erhöhung des Schutzes vor mechanischer Beschädigung eine stoßfeste Bekleidung eingebaut, kann der zusätzliche Feuchteschutz entfallen (Bild 23).

In jedem Fall ist im Sockelbereich eine für die ggf. vorhandene Feuchtebeanspruchung zugelassene Perimeterdämmung zu verwenden.

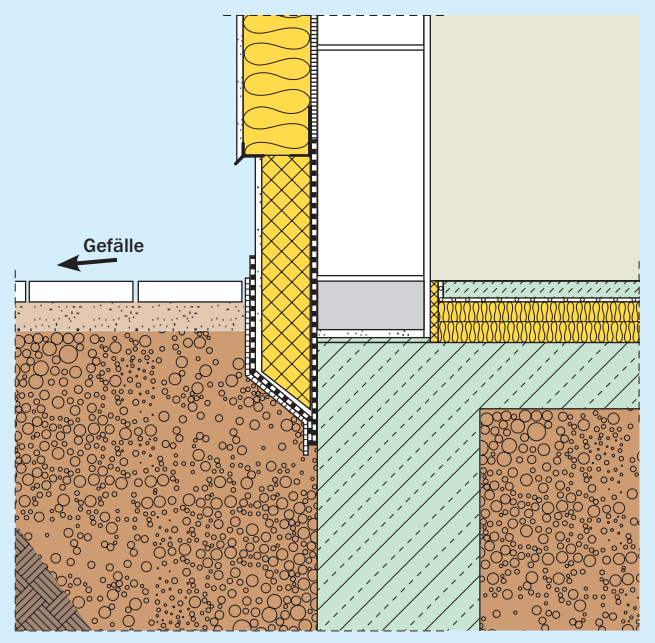


Bild 22 Zusätzlicher Feuchteschutz des verputzten WDVS-Sockels

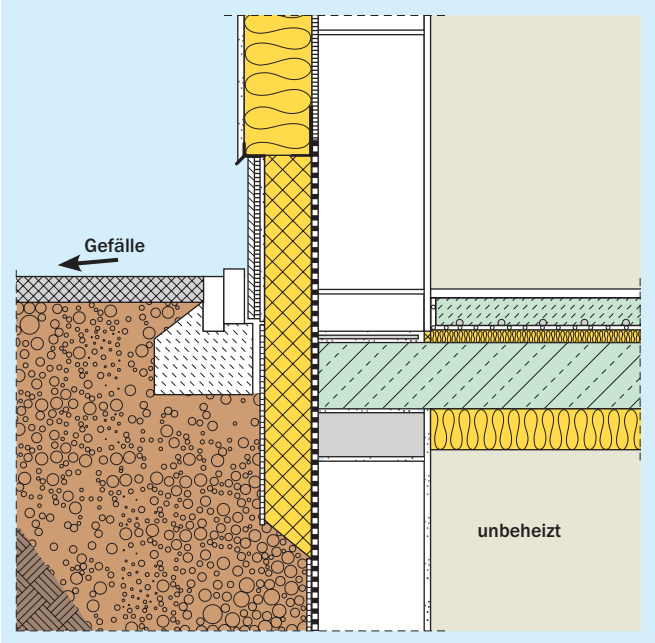


Bild 23 Verzicht auf zusätzlichen Feuchteschutz, da der WDVS-Sockel nicht verputzt, sondern mit einer Bekleidung überdeckt ist

4.1.4 Wärmeschutz

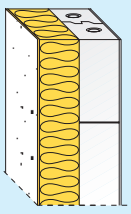
Am häufigsten werden Wärmedämmplatten aus Polystyrol, Mineralwolle und Mineralwolle-Lamellen zur Errichtung von Wärmedämmverbundsystemen verwendet. Darüber hinaus kommen in geringem Umfang auch Dämmplatten aus Mineralschaum, Phenolharz und Polyurethan zum Einsatz. Die unterschiedlichen Dämmstoffe unterscheiden sich hinsichtlich der stoffabhängigen Wärmeleitfähigkeiten, Querzugfestigkeiten und der hieraus resultierenden zulässigen Dämmstoffdicken und notwendigen Befestigungsarten. Einzelheiten sind den Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. der allgemeinen Bauartgenehmigung zu entnehmen.

Die Berechnung des vorhandenen Wärmeschutzes erfolgt nach DIN 4108-2 [6] und umfasst den gesamten Wandquerschnitt zzgl. eines äußeren Wärmeübergangswiderstands R_{se} von 0,04 (m²K)/W und eines inneren Wärmeübergangswiderstands R_{si} von 0,13 (m²K)/W (Tafel 6).

Regenfallrohre oder Elektroleitungen, die in Aussparungen der Dämmebene verlegt werden, verringern den Wärmeschutz deutlich und können durch Luftströmungen Tauwasserschäden hervorrufen. Daher sind sie zu vermeiden bzw. nur im Ausnahmefall in Kombination mit besonderen strömungstechnisch abdichtenden Maßnahmen in geringem Umfang zulässig.

Dämmstoffdübel durchdringen konstruktionsbedingt die Dämmebene und stellen damit punktuelle Wärmebrücken dar, die über den punktförmigen Wärmebrückenverlustkoeffizienten χ (chi) zu ermitteln sind. Ab einer Gesamt-Verschlechterung des U-Wertes von 0,04 W/(m²K) müssen sie daher nach DIN 4108-2 [6] bei der Ermittlung der Transmissionswärmeverluste berück-

Tafel 6 U-Werte von einschaligen KS-Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystem

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)] 0,022	0,024	0,032	0,035	Wandaufbau
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	**Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz λ = 0,70 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	33,5	14	0,15	0,16	0,21	0,23	
	35,5	16	0,13	0,14	0,19	0,20	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	43,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.
[1] Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

sichtigt werden. Wann diese Verschlechterung eintritt, hängt von der wärmetechnischen Qualität des Dämmstoffdübels und der Dämmschichtdicke ab (Tafel 7).

Eine mögliche Verringerung der punktförmigen Wärmebrücke kann neben der Auswahl geringer wärmeleitender Materialien für den Dübel selbst auch durch versenkt eingebaute Dämmstoffdübel mit einer partiellen Abdeckung durch eine Dämmstoffrosette erfolgen (Bild 24, Bild 25).

Tafel 7 **Dübelanzahl n je m², ab der eine Berücksichtigung des punktuellen Wärmebrückeneinflusses erforderlich ist**

χ_p [W/K]	$60 \le d \le 100$ [mm]	$100 < d \le 150$ [mm]	$d > 150$ [mm]
0,008	$n \ge 4$	$n \ge 4$	$n \ge 4$
0,006	$n \ge 5$	$n \ge 4$	$n \ge 4$
0,004	$n \ge 7$	$n \ge 5$	$n \ge 4$
0,003	$n \ge 9$	$n \ge 7$	$n \ge 5$
0,002	$n \ge 13$	$n \ge 9$	$n \ge 7$
0,001	$n \ge 17$[1)]	$n \ge 17$[1)]	$n \ge 13$

[1)] Maximale Dübelanzahl ohne gegenseitige Beeinflussung

4.1.5 Schallschutz

Ähnlich wie zweischalige KS-Außenwände mit Verblendschale werden KS-Außenwände mit Wärmedämmverbundsystemen als Masse-Feder-Masse-Systeme bewertet, die unvermeidbar eine Resonanzfrequenz aufweisen. Da die Putzschicht als äußere Schale aber eine deutlich geringere Masse darstellt als eine Verblendschale, kann es bei ungünstigen Kombinationen der einzelnen Elemente zu einem Einbruch der Schalldämmung im bauakustischen Messbereich kommen, der zu einer Verschlechterung des bewerteten Schalldämm-Maßes führt. Korrekturen und somit auch Verbes-

Bild 24 **Oberflächenbündig eingebauter Dämmstoffdübel**

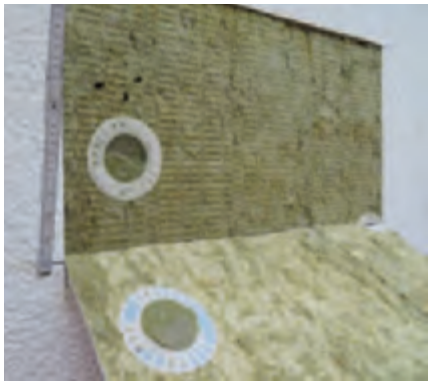


Bild 25 **Versenkt eingebauter Dämmstoffdübel**

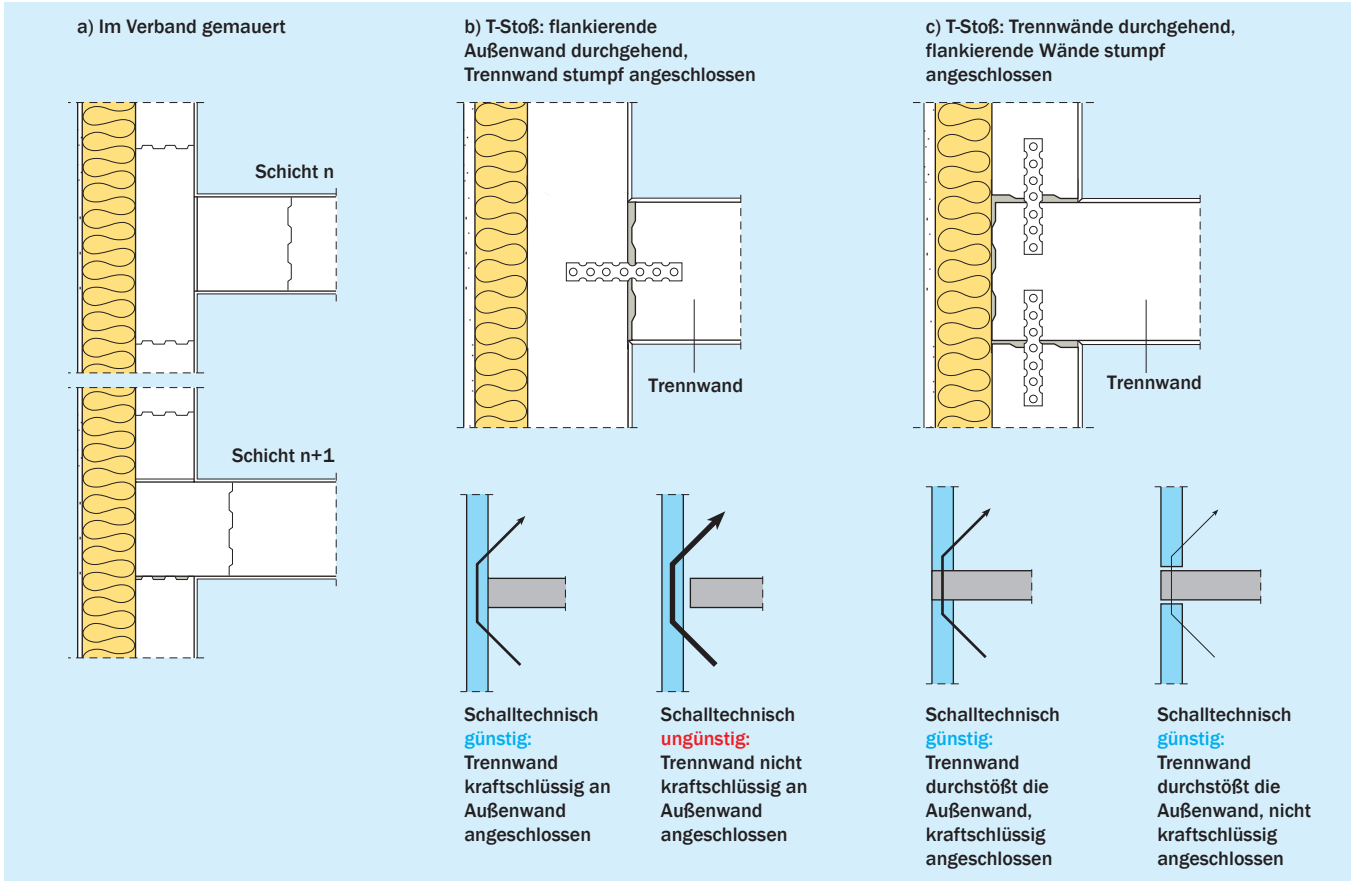


Bild 26 **Schalltechnische Bewertung von Stoßstellen zwischen Außen- und Trennwänden**

serungen sind über Veränderung des Klebeflächenanteils, der dynamischen Steifigkeit und der Dicke des Dämmstoffs sowie der Masse des Putzes möglich.

Bei der Ermittlung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung im Gebäude (Flankenschall) kann der Einfluss eines WDVS vernachlässigt werden. Es wird nur die Wandkonstruktion aus KS-Mauerwerk berücksichtigt. Als schalltechnisch günstig hat sich eine Durchführung der Wohnungstrennwand durch die Außenwand erwiesen (Bild 26).

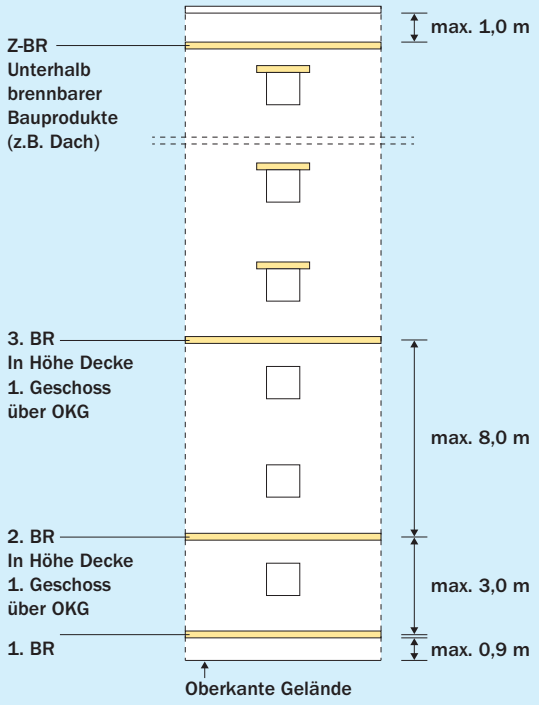
4.1.6 Brandschutz

Gemäß Landesbauordnungen dürfen Gebäude der Gebäudeklassen 1 – 3 mit normal entflammbaren Wärmedämmverbundsystemen errichtet werden. Erst bei Gebäuden ab Gebäudeklasse 4 sind die Wärmedämmverbundsysteme als schwer entflammbar zu konzipieren, bei Hochhäusern müssen sie nicht brennbar sein (Tafel 8).

Wärmedämmverbundsysteme mit EPS-Dämmplatten sind bauordnungsrechtlich bis Gebäudeklasse 3 ohne besondere Maßnahmen verwendbar. Sollen sie darüber hinaus eingesetzt werden, müssen bestimmte zusätzliche Anforderungen erfüllt werden, wenn die Dämmstoffdicke zwischen 10 cm und 30 cm liegt. Ziel ist es, die Brandausweitung in der Fassadenebene und den Brandüberschlag aus dem Raum auf die Fassade zu unterbinden. Hierzu werden vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) mögliche Varianten zugelassen, von denen eine in Bild 27 dargestellt ist: Es müssen mindestens drei umlaufende Brandriegel aus nicht brennbarer Mineralwolle bzw. nicht brennbaren Mineralwolle-Lamellenplatten aus Steinfasern (Schmelzpunkt 1.000 °C) bis zur Decke über dem 2.OG und ein zusätzlicher Brandriegel zur Vermeidung des Übertretens des Brandes auf die Dachfläche auch unterhalb der Attika eingebaut werden. Diese Brandriegel sind vollflächig zu verkleben und zusätzlich zu verdübeln. Weiterhin müssen oberhalb des 3. Brandriegels an Fensteröffnungen Sturzschutzmaßnahmen von mindestens 20 cm Höhe und einer seitlichen Einbindung über die Fenster hinaus von 30 cm ebenfalls aus nicht brennbaren Steinfasern vorgesehen werden. Alternativ zum Sturzschutz können auch weitere Brandriegel in jedem 2. Geschoss verwendet werden. Das Armierungsgewebe des Putzes muss ein Flächengewicht ≥ 150 g/m² aufweisen und an Gebäudeinnenecken müssen Eckwinkel aus Glasfasergewebe eingearbeitet werden.

Tafel 8 Brandschutzanforderungen an Wärmedämmverbundsysteme

Bauprodukt (Bauart)	Baustoffanforderung		
	Gebäudeklassen		Hochhäuser
	1 bis 3	4 und 5	
WDVS	normalentflammbar	schwerentflammbar	nichtbrennbar



Brandriegel (Höhe mindestens 200 mm) gegen Brandbeanspruchung von außen

- aus nichtbrennbaren Mineralwolle-Lamellen (oder alternativ: Mineralwolle-Dämmplatten) aus Steinfasern
- 1. – 3. Brandriegel mit mineralischem Klebemörtel vollflächig angeklebt und zusätzlich mit zugelassenen WDVS-Dübeln verdübelt
- Zusatz-Brandriegel unterhalb brennbarer Bauprodukte, nur angeklebt, wenn keine Verdübelung infolge Windsoglasten zusätzlich erforderlich wird

Sturzschutz (Höhe mindestens 200 mm) gegen Brandbeanspruchung aus Außenwandöffnungen

- Sturzschutz oberhalb jeder Öffnung im Bereich über dem 3. Brandriegel bei Dämmstoffdicken zwischen 100 und 300 mm
- Nichtbrennbare Mineralwolle-Lamellen (oder Mineralwolle-Dämmplatten) aus Steinfasern seitlich jeweils mindestens 300 mm überstehend
- Mit mineralischem Klebemörtel vollflächig angeklebt und ggf. zusätzlich mit zugelassenen WDVS-Dübeln verdübelt
- Gewebeeinlage des Putzsystems im Kantenbereich mit Gewebeeckwinkeln verstärkt
- In der Dämmstoffebene montierte Fenster sind dreiseitig nichtbrennbar (oberhalb/links/rechts) einzufassen

Bild 27 Ausführungsvariante eines schwer entflammbaren WDVS mit EPS (d ≤ 300 mm) - Ausbildung mit umlaufenden Brandriegeln so wie Schutz der Fensteröffnungen

4.2 Funktionsangepasste Detailplanung

4.2.1 Schutz vor mechanischen Beschädigungen

Zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen durch stoßartige Belastungen und einer Verringerung frühzeitig notwendiger Instandsetzungen sollte ein Wärmedämmverbundsystem insbesondere in öffentlich zugänglichen Bereichen entsprechend robust konzipiert werden. Hinweise hierzu gibt DIN 55699 [32]. Solche Maßnahmen können aus einer zweiten Unterputzlage mit Bewehrung/Armierung oder verstärktem Armierungsgewebe („Panzergewebe“) bestehen. Es können auch druckfeste Platten wie Putzträgerplatten oder Verbundplatten unter dem Unterputz verwendet werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Montage einer stoßfesten Bekleidung in Form von Wandschutzplatten vor der Wärmedämmung.

Nach ETAG 004 [34] und DIN EN ISO 7892 [35] kann die Notwendigkeit eines Schutzes vor mechanischer Beschädigung durch Nutzungskategorien bzw. Beanspruchungsgruppen beurteilt werden:

- Gruppe I: Ein der Öffentlichkeit leicht zugänglicher und gegen Stöße mit harten Körpern ungeschützter Bereich in Erdbodennähe, der jedoch keiner abnorm starken Nutzung unterliegt
- Gruppe II: Ein Bereich, der Stößen durch geworfene oder mit dem Fuß gestoßene Gegenstände ausgesetzt ist, sich jedoch an öffentlich zugänglichen Stellen befindet, wo die Höhe des Systems die Größe des Stoßes begrenzt; oder in niedrigen Bereichen, wo ein Zugang zum Gebäude in erster Linie durch Personen erfolgt, die einen Grund haben, Sorgfalt walten zu lassen
- Gruppe III: Ein Bereich, in dem Beschädigungen durch Personen oder geworfene Gegenstände unwahrscheinlich sind (> 5 m Gebäudehöhe)

4.2.2 Dehnungsfugen

Da ein Wärmedämmverbundsystem die auftretenden Spannungen durch den Verbund zum Untergrund ableitet, sind Dehnfugen in der Regel entbehrlich. Allerdings müssen bauwerkbedingte Gebäudedehnfugen aus dem Untergrund im System übernommen werden (Bild 28 und 29).

Bei Einbau einer Riemchenbekleidung anstelle der Putzschicht muss allerdings die mögliche thermisch bedingte Längenänderung des Materials berücksichtigt werden. Daher sollten in diesem Fall Dehnfugen in der Bekleidung vorgesehen werden, so dass sich Feldgrößen unter 40 m² mit einer maximalen Länge bzw. Breite von 8 m ergeben [36] und [37].

4.2.3 Vermeidung von Rissen

Zur Vermeidung von Rissbildungen im Putz eines Wärmedämmverbundsystems sind einige grundsätzliche Verlege- und Ausführungshinweise zu beachten:

Die Dämmplatten sind im Verband zu verlegen und die Fugen zwischen den Platten dicht zu stoßen (Bild 31). Die Verwendung von Platten mit Stufenfalz oder Nut-/Feder-Kanten vereinfachen die Verlegung erheblich. Auch entlang der Gebäudekanten sind durchgehende Fluchten von Dämmplattenstirnseiten zu vermeiden (Bild 32). An Fenster- und Türöffnungen sollen die Dämmstoffplatten möglichst ausgeklinkt und nicht der Verlängerung der Öffnung folgend verlegt werden. Ist dies nicht möglich (z.B. MW-Brandriegel bei EPS), kann in der Dämmplattenebene ausnahmsweise ein T-Stoß (Verlängerung einer Bauteilöffnung durch den Dämmplattenstoß) ausgeführt werden. In jedem Fall ist ein Kreuzstoß zu vermeiden.

In den Unterputz ist ein Armierungsgewebe glatt und faltenfrei einzulegen, dessen Stöße sich nach DIN 55699 [32] 10 cm überlappen sollen. Dieses Textilglasgewebe hat die Aufgabe, die auftretenden Zugspannungen aufzunehmen und flächig zu verteilen. Ziel ist, die Rissbreite der einzelnen Risse zu verringern. Organische Putzsysteme (Kunstharzputze, Dispersionsputze, Silikonputze oder Silikatputze) werden meist dünnschichtig bis 4 mm Schichtdicke ausgeführt. Dann ist das Armierungsgewebe mittig in den Unterputz einzuarbeiten. Bei mineralischen Putzsystemen (Kalk-Zement- oder Zementputze), die meist dickschichtig mit mehr als 4 mm Schichtdicke ausgeführt werden, soll das Armierungsgewebe im oberen Drittel des Unterputzes eingelegt werden. An Gebäudekanten werden in der Regel Eckprofile mit bereits angearbeitetem Gewebe verwendet (Bild 30).

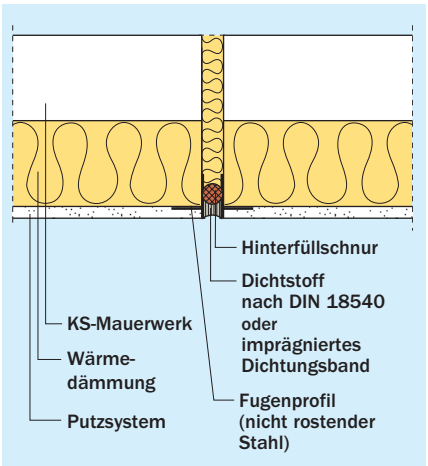


Bild 28 Dehnfuge mit Dichtstoff

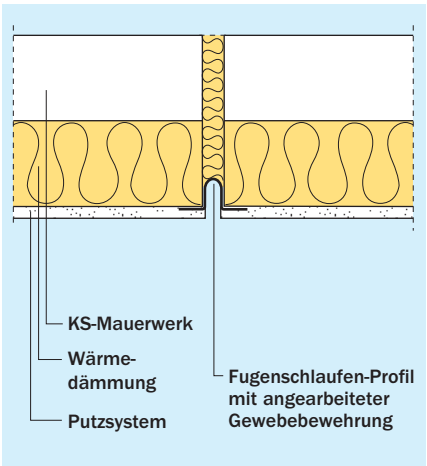


Bild 29 Dehnfuge mit Fugenprofil

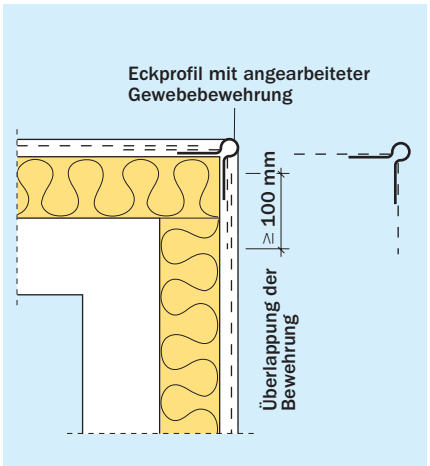


Bild 30 Kantenprofil

Zur Verringerung der geometriebedingt an den Ecken der Öffnungen auftretenden Kerbspannungen sollen zusätzlich Diagonalarmierungen vorgesehen werden (Bild 33). Bei hoher thermischer Beanspruchung kann aber auch durch diese Maßnahme das Entstehen von Rissen an dieser Stelle nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Die Struktur des Oberputzes hat erheblichen Einfluss darauf, ob zum einen Risse entstehen und zum anderen ob ggf. entstandene Risse oder sonstige Unregelmäßigkeiten optisch wahrgenommen werden oder nicht. Während bei glatten Putzen Rissbreiten um 0,1 mm bereits sichtbar sind, sind bei strukturierten Putzoberflächen Risse mit einer Breite von 0,2 mm kaum wahrnehmbar und noch akzeptabel nach WTA Merkblatt 2-4 [33].

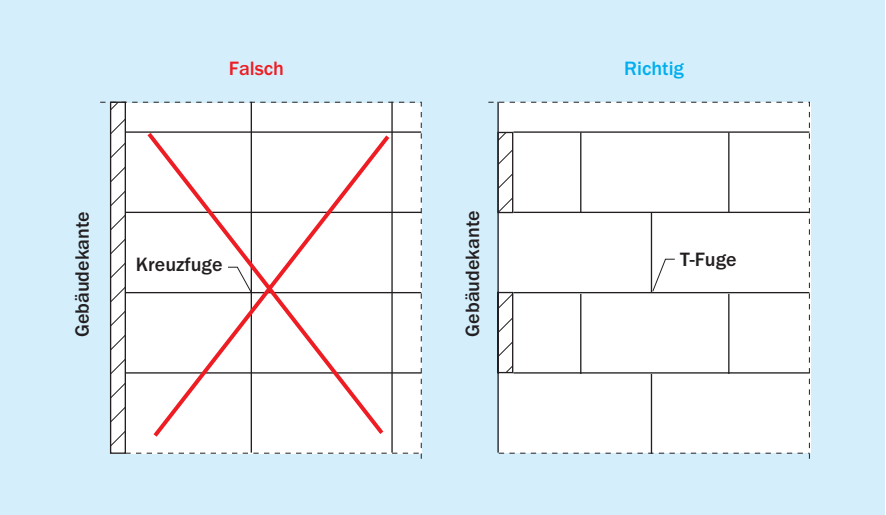


Bild 31 Verlegung von WDVS-Dämmplatten im Verband im Regelquerschnitt

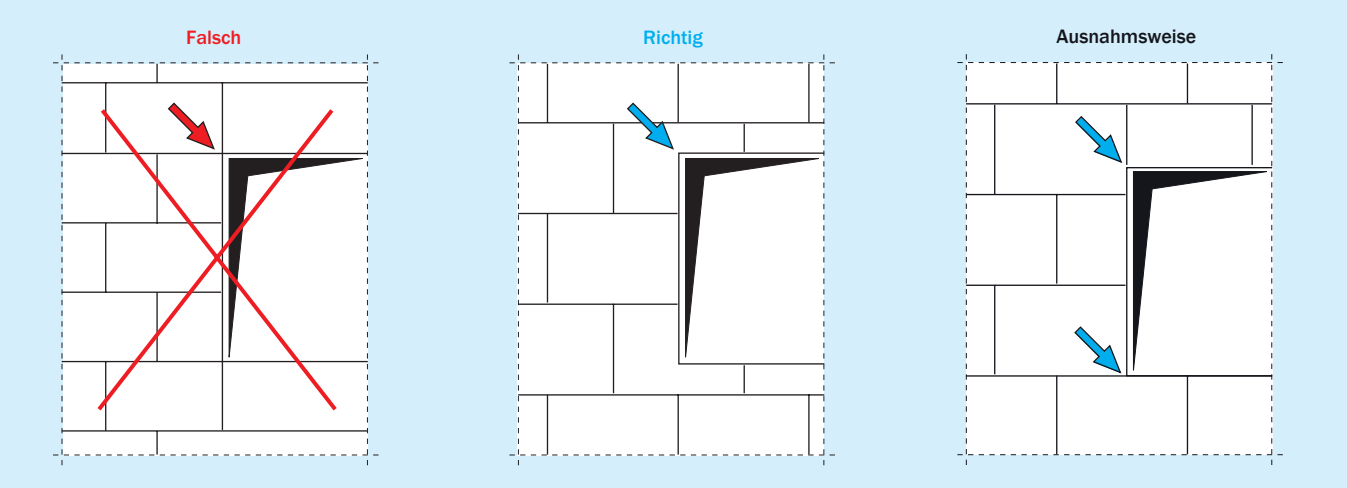


Bild 32 Verlegevarianten von WDVS-Dämmplatten an Wandöffnungen

Die Rissanfälligkeit eines Putzes wird weiterhin durch die Sonneneinstrahlung deutlich beeinflusst, da durch thermisch bedingte Längenänderungen größere Spannungen entstehen. Dunkle Fassaden heizen sich aufgrund der größeren Absorption der Sonnenstrahlung mehr auf als helle Fassaden. Daher ist die Ausführung heller Fassaden mit einem Hellbezugswert nicht unter 20 zu empfehlen (100 = weiß, 0 = schwarz). Dieser Hellbezugswert berücksichtigt die Aufheizung von Fassaden durch das sichtbare Licht. Durch Weiterentwicklung der Farbbeschichtung (Einbindung von Pigmenten in die Mikrostruktur der Farbe) können aber auch dunklere oder kräftigere Farben verwendet werden. Die Beurteilung erfolgt mit Hilfe des TSR-Wertes (totale

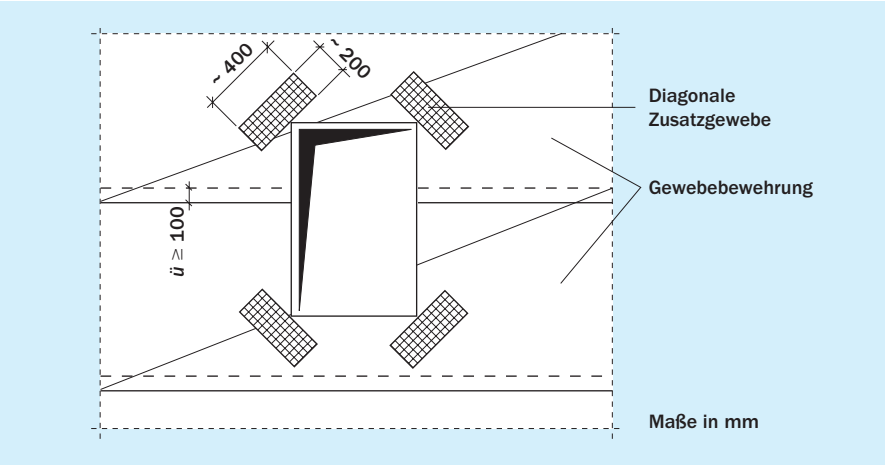


Bild 33 Erforderliche Überlappung der Gewebearmierung und Einbau der Diagonalarmierung an Ecken von Wandöffnungen

solare Reflexion, Merkblatt TSR [38]). Dieser Wert sollte über 25 liegen. Er ermöglicht eine Bewertung der Aufheizung der Fassade über die Reflexion des gesamten sichtbaren Lichts, also auch im infraroten und ultravioletten Bereich, der nicht wesentlich zur Wärmeentwicklung einer Oberfläche beiträgt.

4.2.4 Schutz vor Veralgung

Algen benötigen einen ausreichend hohen Feuchtegehalt auf Fassadenoberflächen, um wachsen zu können. Daher ist der wirksamste Schutz vor Veralgung, Fassadenoberflächen trocken zu halten. Dies kann dadurch geschehen, dass Niederschläge konstruktiv von der Oberfläche ferngehalten, zügig abgeleitet oder durch dickschichtige Putze gespeichert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass das durch Unterschreitung der Taupunkttemperatur entstehende, nächtliche Oberflächentauwasser verhindert wird.

Schutz vor Schlagregen bieten ausreichend große Dachüberstände und/oder Tropfkanten. Auf die Wasserableitung hat die Struktur des Putzes erheblichen Einfluss: In Rillen oder Vertiefungen bleiben Wassertropfen länger anhaften. Eine weitere Möglichkeit – insbesondere bei Silikonharzfarben – der raschen Wasserableitung bietet die Verwendung von hydrophob eingestellten Mikrostrukturfarben (Lotuseffekt).

Schutz vor Oberflächentauwasser bieten dunkle Farbanstriche, da diese höhere Energiegewinne aufweisen. Auch dickschichtige Putzsysteme weisen eine höhere spezifische Wärmespeicherkapazität auf. Zudem sind diese meist mineralischen Putze hydrophil eingestellt und speichern das an der Oberfläche anfallende Wasser, so dass einem Algenbefall durch Entzug der Wachstumsgrundlage (Feuchtigkeit) vorgebeugt wird.

Vielfach diskutiert wird der Einsatz von biozid ausgerüsteten Farben zur Verhinderung von Algenwachstum. Es ist zu berücksichtigen, dass Biozide aus den Farben ausgewaschen werden, um ihre Wirksamkeit zu entfalten. Somit gelangen sie in die Umwelt, was jedem Nachhaltigkeitsbestreben entgegensteht. Auch bei inzwischen entwickelten verkapselten Bioziden tritt dieser Wirksamkeitsmechanismus – wenn auch zeitverzögert – ein. Daher ist nach dem Merkblatt zur Veralgung [39] und der Entscheidungshilfe des Umweltbundesamtes [40] von der Verwendung biozid eingestellter Farbe abzuraten.

5. Einschaliges KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung

5.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen

5.1.1 Systemaufbau

Auch der Aufbau von KS-Mauerwerk mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen folgt der klaren funktionalen Trennung zwischen Tragstruktur, Wärmedämmung und Witterungsschutz: die tragende KS-Innenschale gewährleistet die statischen und mit dem Innenputz auch die luft-/winddichtenden Funktionen, die Dämmebene den Wärmeschutz und die äußere Bekleidung den Witterungsschutz (Bild 34). Das Bindeglied zwischen der Tragstruktur und der Bekleidung bilden Verankerungselemente, Unterkonstruktion und Befestigungselemente.

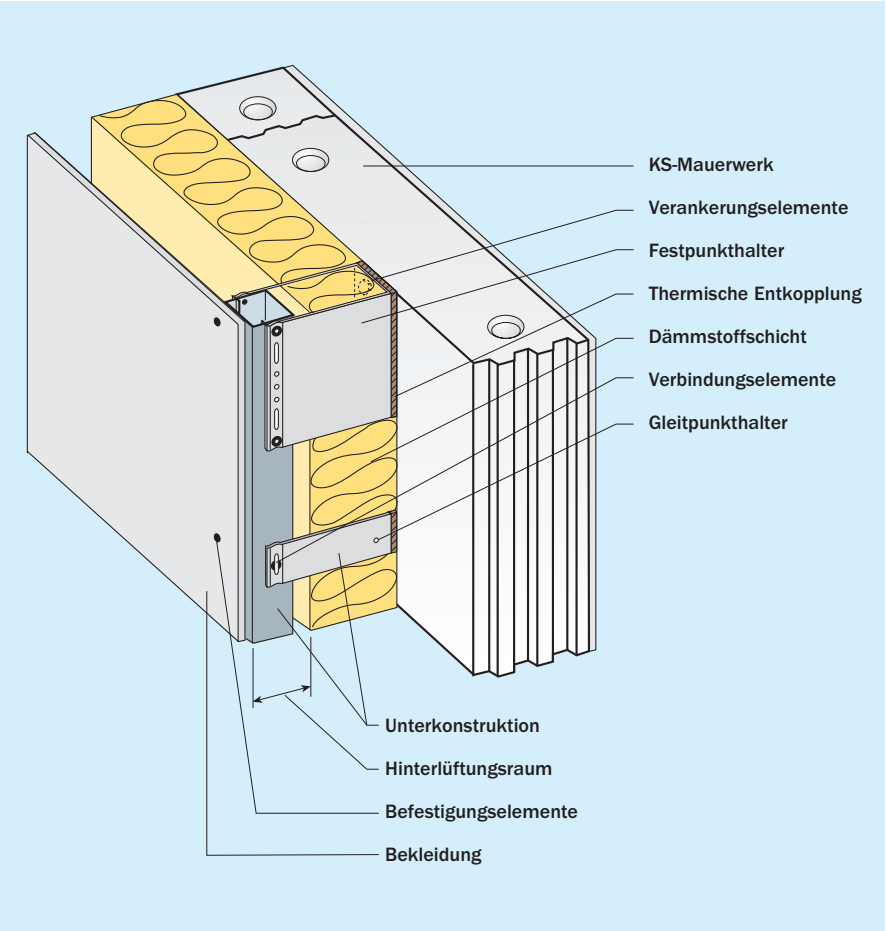


Bild 34 Systemaufbau von KS-Außenwänden mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden

5.1.2 Standsicherheit

5.1.2.1 Tragende Innenschale

Der Standsicherheitsnachweis des tragenden KS-Mauerwerks erfolgt nach den bereits beschriebenen Verfahren aus DIN EN 1996/NA.

INFO

Für die aus der vorgehängten hinterlüfteten Bekleidung auftretenden Lasten ist ein tragendes KS-Mauerwerk besonders gut geeignet.

Die zur Verankerung der Unterkonstruktion verwendbaren Dübel sind den entsprechenden Zulassungen zu entnehmen und richten sich nach der Tragfähigkeit des Untergrundes.

Mögliche Verformungen des Untergrundes werden von vorgehängten Konstruktionen problemloser aufgenommen als von starr mit dem Untergrund verbundenen Konstruktionen, da der Einbau der Bekleidung zwängungsfrei (Festpunkt- und Gleitpunkthalter) erfolgt.

Hinsichtlich der erforderlichen Ebenheit des Untergrundes sind aus diesem Grund auch geringere Anforderungen zu stellen. Herstellungsbedingte Toleranzen des Untergrundes bis zu 20 mm können in der Regel durch Anpassung der Verankerung und der Unterkonstruktion ausgeglichen werden. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Wärmedämmung lückenlos verlegt und der notwendige Hinterlüftungsraum nicht unzulässig verringert wird.

5.1.2.2 Verankerung und Unterkonstruktion

Die aus der vorgehängten hinterlüfteten Bekleidung resultierenden Eigenlasten sowie Wind- oder Schneelasten werden über Einzelbefestigungen und/oder von der Unterkonstruktion auf das tragende KS-Mauerwerk übertragen. Sie bestehen bei großformatigen Bekleidungen meist aus Metall (Aluminium oder nicht rostendem Stahl), bei kleinformatigen Bekleidungen aus Holz (Bild 35 und 36). Die notwendigen Nachweise sind nach DIN 18516-1 [41] oder über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen bzw. Prüfzeugnisse zu erbringen.

Da Unterkonstruktionen nach der Fertigstellung der Fassade nur nach teilweisem Rückbau der Bekleidung zugänglich sind, sind sie gegen chemische und biologische Einflüsse dauerhaft zu schützen. Bei Metallunterkonstruktionen ist daher ggf. ein zusätzlicher Korrosionsschutz nach DIN 18516-1 [41] zu erbringen, da es bei der Verwendung unterschiedlicher Metalle zu Kontaktkorrosion kommen kann. Zu berücksichtigen sind bei diesem Nachweis auch die an die Fassade angrenzenden Abdeckungen aus Metall. Ausgenommen hiervon sind nach DIN 18516-1 [41] geeignete Metalle (z. B. nichtrostende oder feuerverzinkte Stähle, Aluminiumlegierungen, oder Kupferwerkstoffe), die keines gesonderten Nachweises bedürfen. Holzunterkonstruktionen müssen nach DIN 68800 [42] durch geeignete Maßnahmen gegen biologische Einflüsse geschützt werden.

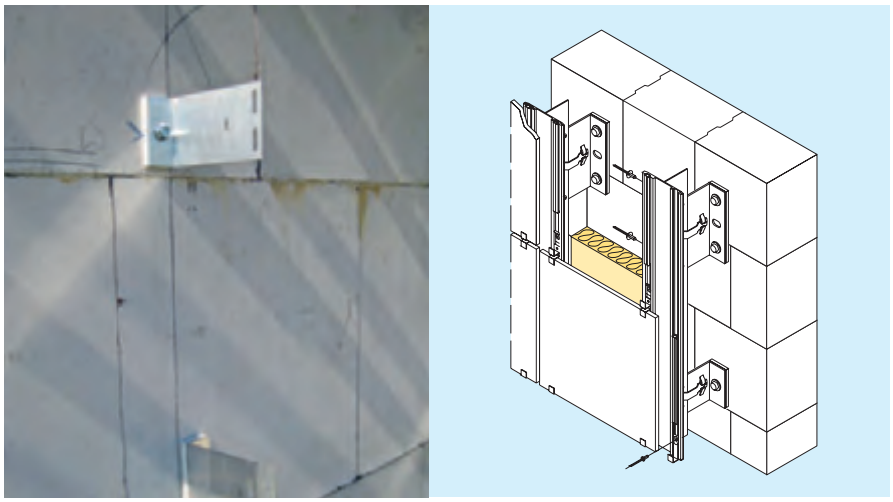


Bild 35 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden mit Aluminium-Unterkonstruktion

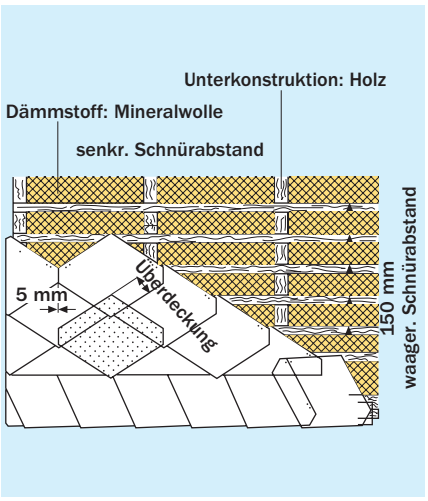


Bild 36 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden mit Holz-Unterkonstruktion

5.1.2.3 Windsperren

An Gebäuderändern können vertikale Windsperren dazu beitragen, die dort auftretenden Windsoglasten zu verringern (Bild 37). Bei Berücksichtigung einer ausreichenden Durchströmbarkeit und Durchlässigkeit der äußeren Bekleidung kann dann nach DIN EN 1991-1-4 [24] von reduzierten Lastannahmen ausgegangen werden.

5.1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Der Feuchteschutz vor Tauwasser, das durch Wasserdampfdiffusion resultierend aus Luftfeuchte aus dem Innenraum oder als Baufeuchte im Wandquerschnitt ausfallen kann, wird baukonstruktiv dadurch vermieden, dass der Bauteilaufbau hinterlüftet ist. Nach DIN 4108-3 [7] sind daher die hinterlüfteten Außenwandkonstruktionen vom rechnerischen Nachweis befreit.

KS-Außenwandkonstruktionen mit hinterlüfteter Bekleidung folgen dem sog. zweistufigen Abdichtungsprinzip: der Schutz vor Niederschlägen und das Ableiten des auf die Fassade treffenden Regens erfolgt an bzw. auf der Rückseite der Bekleidungselemente. Die Aufgabe der erforderlichen Wind- und Luftdichtheit wird von der tragenden, inneren Schale übernommen. Zur Gewährleistung dieser Funktionen und Vermeidung von Konvektionsströmen ist die tragende KS-Innenschale mindestens mit vermörtelten Stoßfugen auszubilden oder bei unvermörtelten Stoßfugen auf der Innenseite zu verputzen. Unter Berücksichtigung dieser Maßnahmen sind solche hinterlüfteten Außenwandkonstruktionen nach DIN 4108-3 [7] bei der Bewertung des Schlagregenschutzes für die höchste Beanspruchung nach Schlagregenbeanspruchungsgruppe III gut geeignet.

Der Hinterlüftungsraum ist von entscheidender Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der gesamten Konstruktion: Aus dem Raum-/Bauteilinnern in die Wandkonstruktion diffundierende Feuchte trocknet in diesem durchströmbaren Luftspalt ebenso ab wie die von außen über die Fugen eindringenden Niederschläge. Nach DIN 18516-1 [41] beträgt daher die Min-

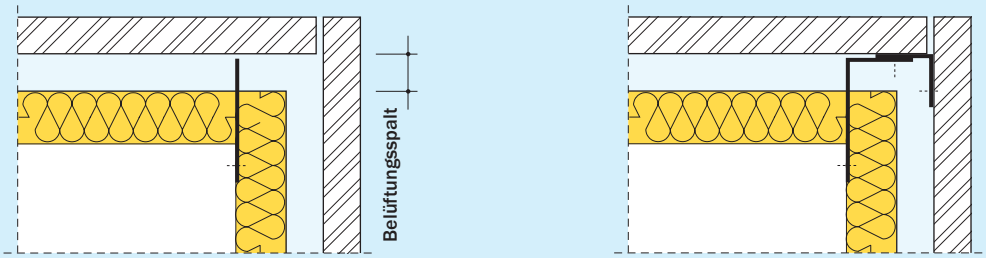


Bild 37 Vertikale Windsperren an Gebäudekanten

destbreite des Luftspaltes 20 mm. Zu- und Abluftöffnungen sollen mindestens 50 cm²/m umfassen und zur Vermeidung eines Schädlingsbefalls mit Insektengittern verschlossen werden. Eine partielle Unterschreitung bis 5 mm Breite des Hinterlüftungsraums ist zulässig. Diese Mindestwerte setzen allerdings voraus, dass die verwendete Wärmedämmung sehr maßhaltig ist und sich auch durch Luftströmungen nicht „aufplustert". Bei offenen Bekleidungsfugen sollte daher ein Luftspalt von mindestens 40 mm Breite vorgesehen werden (Bild 38).

Hinsichtlich der Bekleidungselemente ist zwischen kleinformatigen (< 0,4 m² und 5 kg/Element) und großformatigen Elementen zu unterscheiden (Tafel 9). Klein- oder brettformatige Bekleidungen werden meist auf Holzunterkonstruktionen verschraubt oder mit Haken fixiert. Großformatige Bekleidungen werden auf Metall-Unterkonstruktionen verklammert oder genietet. Zu achten ist in diesem Fall auf eine zwängungsfreie Befestigung der Elemente an der Unterkonstruktion, damit die unvermeidbar auftretenden hygrothermischen Verformungen bei Metallbekleidungen nicht zum Verbiegen oder bei Faserzement- bzw. Naturwerksteinbekleidungen zu Rissen oder Ausbrüchen führen.

Tafel 9 Typische Materialien für Bekleidungselemente

Werkstoff der Bekleidung	Anwendung		
	großformatig	kleinformatig	brettformatig
Metall	x	x	–
Naturwerkstein	x	x	–
Keramik	x	x	–
Tonstrangelemente	x	x	x
Faserzement	x	x	x
Holzzement	x	–	x
Faserverstärktes Harzkomposit	x	x	x
Hochdruck-Schichtpressstoff (HPL)	x	x	x
Verbundwerkstoff	x	x	x

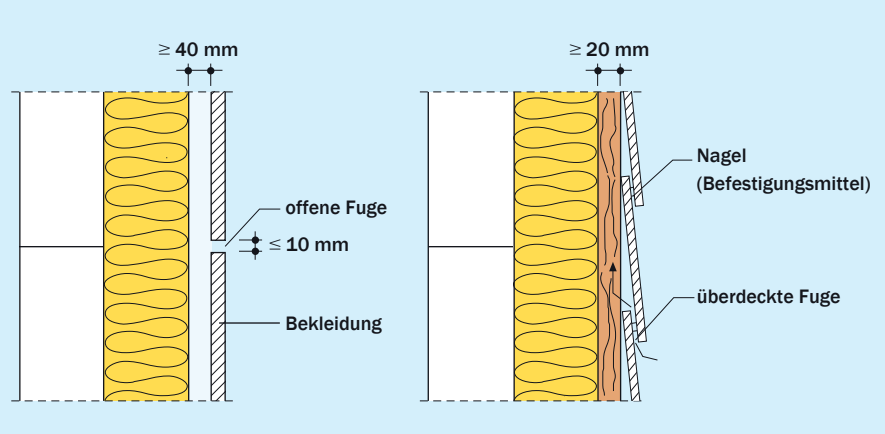


Bild 38 Fugenausbildung bei hinterlüfteten Bekleidungen (aus [35])

Bei kleinformatigen Bekleidungen wird der Witterungsschutz durch eine Verlegung der Elemente mit überdeckten Fugen erreicht. Bei großformatigen Bekleidungen erfolgt die Verlegung mit offenen, mindestens 10 mm breiten Fugen zwischen den Elementen (Bild 38). Eine Auffeuchtung der hinter den offenen Fugen vorhandenen Dämmung findet nur in sehr geringem Umfang statt (z.B. bei hydrophobierter Mineralwolle ein bis zu 4 cm breiter und 1 mm tiefer Streifen).

Um ein optisch gleichmäßiges Fugenbild hervorzurufen, ist es dann sinnvoll, den Wärmedämmstoff mit einem schwarzen Vlies zu kaschieren. Das optische Erscheinungsbild gilt bei einem üblichen Betrachtungsabstand von 3 m vor der Fassade trotz Abweichungen von ±20 % der Fugenbreite nach FHVF-Leitlinie [43] als regelmäßig.

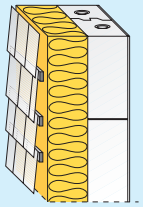
Das Schließen der offenen Fugen durch Profile oder Dichtstoff ist aufgrund der Verschmutzungs- bzw. Rissanfälligkeit nicht empfehlenswert. Der durch offene Fuge stattfindende zusätzliche Luftaustausch trägt zudem zur Funktionssicherheit der gesamten Fassadenkonstruktion bei, auch wenn er planerisch nicht bei der Dimensionierung der Hinterlüftung eingerechnet wird.

5.1.4 Wärmeschutz

Grundsätzlich sind alle Wärmedämmstoffe zum Einbau hinter eine belüftete Bekleidung geeignet, die für den Anwendungsfall einer Feuchteeinwirkung zugelassen sind. Die Dämmstoffe unterscheiden sich hinsichtlich der stoffabhängigen Wärmeleitfähigkeiten, Querzugfestigkeiten und der hieraus resultierenden zulässigen Dämmstoffdicken und notwendigen Befestigungsarten. Einzelheiten sind den Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen.

Die Berechnung des vorhandenen Wärmeschutzes erfolgt nach DIN 4108-2 [6] und umfasst die tragende Innenschale, die Wärmedämmung zzgl. eines äußeren Wärmeübergangswiderstands R_{se} von 0,13 (m²K)/W und eines inneren Wärmeübergangswiderstands R_{si} von 0,13 (m²K)/W. Die Schichten außerhalb der thermischen Hülle (Wärmedämmung) werden aufgrund der Luftströmung im Hinterlüftungsraum nicht mit angesetzt (Tafel 10).

Tafel 10 U-Werte von KS-Außenwänden mit vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)] 0,022	0,024	0,032	0,035	Wandaufbau
	31,5	10	0,20	0,22	0,28	0,30	**Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff WAB R_{se} = 0,13 (m²·K)/W 0,02 m Hinterlüftung 0,01 m Fassadenbekleidung
	33,5	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	37,5	16	0,13	014	0,18	0,20	
	41,5	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	45,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	51,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.
[1] Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

Wärmedämmstoffe sind flächig auf dem Untergrund im Verband anzubringen und hohlraumfrei zu verlegen. Daher müssen Unebenheiten im Untergrund vorab ausgeglichen werden. Werden zur Fixierung der Dämmung am Untergrund Dämmstoffhalter verwendet, sind in der Regel 5 Halter pro m² ausreichend. Alternativ können die Dämmplatten bei sehr ebenem Untergrund wie z.B. KS-Mauerwerk auch im Rand-Wulst-Punkt-Verfahren verklebt werden, wenn durch diese Verklebung eine Haftzugfestigkeit von 1 kPa erreicht wird.

Die lineare Verankerung der Unterkonstruktion am tragenden Untergrund führt zu Wärmebrücken, die in der energetischen Bilanzierung berücksichtigt werden müssen. Die Anordnung, die Form sowie die Anzahl der Verankerungen sind ausschlaggebend für die energetischen Verluste. Hinweise sind in der FVHF-Leitlinie zur Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden [45] enthalten. Eine mögliche Verringerung der Wärmebrücken kann neben der hohlraumfreien Verlegung der Wärmedämmung auch im Bereich der Verankerungselemente in der Verwendung eines thermischen Trennelementes zwischen tragender Innenschale und Verankerungselement bestehen (Bild 39).

Auch die durch Dämmstoffhalter auftretenden punktuellen Wärmebrücken müssen in der Berechnung analog zu den bei Wärmedämmverbundsystemen beschriebenen Randbedingungen berücksichtigt werden.

5.1.5 Schallschutz

Auch KS-Außenwände mit hinterlüfteten Bekleidungen wirken als Masse-Feder-Masse-System und weisen daher ein im Vergleich zu einschaligen Außenwänden deutlich höheres bewertetes Schalldämmmaß gegenüber Außenlärm auf. Weitere Optimierungen sind durch Anpassung des Hinterlüftungsraums und der dynamischen Steifigkeit des Dämmstoffs möglich.

In Bezug auf die vorhandene Flankenschalldämmung zwischen schutzbedürftigen Räumen wird nur die tragende Innenschale und die Ausbildung der Stoßstelle berücksichtigt.

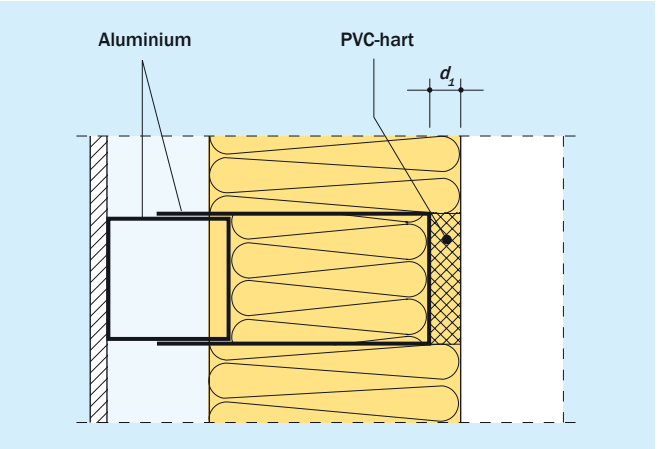


Bild 39 Reduzierung der Wärmebrücke am Wandhalter

5.1.6 Brandschutz

Das Bauordnungsrecht stellt an die einzelnen Elemente einer vorgehängten hinterlüfteten Bekleidung in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe Anforderungen an die zu verwendende Baustoffklasse: Bis Gebäudeklasse 3 (7 Meter Gebäudehöhe) sind normal entflammbare Baustoffe zulässig. Ab 7 Meter Gebäudehöhe muss mindestens ein nichtbrennbarer Dämmstoff, ab 22 Meter Gebäudehöhe müssen alle Elemente der vorgehängten hinterlüfteten Fassade nichtbrennbar sein (Tafel 11).

Bei geschossübergreifenden Hohl- oder Lufträumen muss die Brandausbreitung in der Fassadenebene durch zusätzliche Maßnahmen verhindert werden. Diese können durch horizontale oder vertikale Brandsperren erfolgen, die einem Feuer mindestens 30 Minuten standhalten. Horizontal sind solche Brandsperren alle zwei Geschosse, vertikal im Bereich von Brandwänden im Hinterlüftungsraum einzubauen (z.B. nicht brennbare Dämmplatten mit einem Schmelzpunkt > 1.000 °C oder 1 mm dickes Stahlblech). Horizontale Brandsperren sind entbehrlich, wenn bei nichtbrennbaren Baustoffen zusätzlich der Hinterlüftungsraum um Fensteröffnungen nach den zu-

vor beschriebenen Kriterien verschlossen wird. Öffnungen in Brandsperren sind mit 100 cm²/m Fassadenlänge zulässig. Die maximal zulässige Breite des Hinterlüftungsraums beträgt bei Holzunterkonstruktionen 50 mm, bei Unterkonstruktionen aus Metall 150 mm.

5.2 Funktionsangepasste Detailplanung

5.2.1 Schutz vor mechanischen Beschädigungen

Zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen durch Stoß- oder Schlagbeanspruchungen und einer dann frühzeitig notwendigen Instandsetzung sollten auch hinterlüftete Bekleidungen insbesondere in öffentlich zugänglichen Bereichen (Hauseingänge, stark frequentierte Fußwege, Erdgeschoss-Fassaden von Schulgebäuden etc.) entsprechend robust konzipiert werden. Erreichbar sind solche Flächen etwa in Erdgeschosshöhe. Der Schutz kann durch eine zusätzliche Aussteifung der Elemente (z.B. bei Metallbekleidungen) oder durch den Einbau dickerer Platten (z.B. Faserzementplattenbekleidungen) bestehen.

Hinsichtlich des Schutzes vor Vandalismus und Verunreinigungen durch Graffiti ist die Reinigungsfähigkeit der Bekleidungselemente ausschlaggebend. Zum vorbeugenden Schutz sind Hinweise zu möglichen Oberflächenbehandlungen im WTA-Merkblatt 2-5-97 Anti-Graffiti-Systeme [47] enthalten. Sollte es dennoch zur Beschädigung einzelner Elemente kommen, lassen diese sich meist ohne großen Demontageaufwand ersetzen.

5.2.2 Anschlussfugenausbildung

Da bei hinterlüfteten Bekleidungen konstruktionsbedingt Niederschlagswasser auf die Rückseite der Bekleidungselemente gelangen kann, ist es wichtig, dieses an Fensteranschlüssen oder Fassadenrücksprüngen nach außen abzuleiten, um Feuchteschäden im Innenraum und/oder Auffeuchtungen der Wandkonstruktion selbst durch unkontrolliertes Abtropfen zu vermeiden (Bild 40).

Tafel 11 **Brandschutzanforderungen bei vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen**

Bauprodukt (Bauteil)	Baustoffanforderung		
	Gebäudeklassen		
	1 bis 3	4 und 5	Hochhäuser
Bekleidung	normal-entflammbar	schwer-entflammbar	nichtbrennbar
Unter-konstruktion	normal-entflammbar	schwer-entflammbar[1)]	nichtbrennbar
Wärme-dämmung	nicht-brennbar[2) 3)]	nichtbrennbar[2)]	nichtbrennbar[2)]

[1)] Die Verwendung von normalentflammbaren Baustoffen (z.B. stabförmige Unterkonstruktionen aus Holz) ist zulässig, wenn die Brandausbreitung „ausreichend lang begrenzt ist".
[2)] Gilt nicht für die Dämmstoffhalter.
[3)] Nach Empfehlung FVHF e.V.

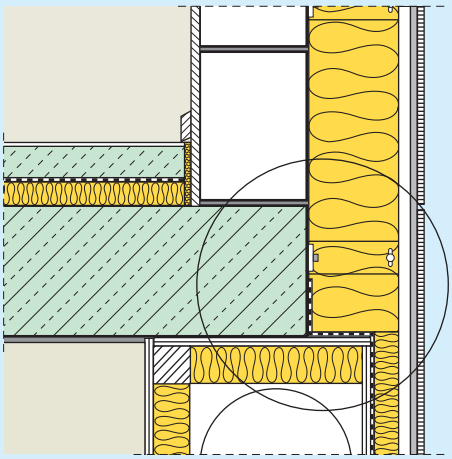


Bild 40 **Fußpunktabdichtung bei vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen (aus FHVF 21 [44])**

6. KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung

6.1 Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen

6.1.1 Systemaufbau

Für Gebäude, die als niedrig oder nicht beheizt konzipiert werden, kann auf den zusätzlichen Wärmeschutz der Außenwände verzichtet werden. Typische Beispiele hierfür sind Wirtschaftsbauten (z.B.: Industriehallen) oder landwirtschaftliche Gebäude (z.B. bestimmte Stallanlagen). Die Funktionstrennung ist bei diesen Wandkonstruktionen aufgehoben: Der gesamte Wandquerschnitt wird als tragende Schale konzipiert und muss in der Variante Sichtmauerwerk auch den notwendigen Witterungsschutz erbringen). Bei erhöhten Anforderungen an den Schlagregenschutz kann dieser durch eine zusätzliche Putzschicht oder hinterlüftete Bekleidung erfolgen (Bild 41).

6.1.2 Standsicherheit

Bei einschaligen KS-Außenwänden trägt der gesamte Wandquerschnitt die anfallenden Lasten. Die Bemessung erfolgt nach DIN EN 1996-1-1 [1].

6.1.3 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Unverputzte KS-Außenwände erbringen als Sichtmauerwerke den erforderlichen Witterungsschutz durch das Speichern des auftreffenden Regens und das zeitversetzte wieder Austrocknen (Prinzip: Regenspeicher). Um ein „Durchschlagen“ der Feuchtigkeit bis an die Innenseite der Außenwand zu vermeiden, müssen die außen liegenden Steine aus frostbeständigen KS-Verblendsteinen bestehen und muss die innere Schalenfuge lageweise versetzt und durchgehend kraftschlüssig und hohlraumfrei vermörtelt in einer Dicke von 2 cm nach DIN 1053-1 hergestellt werden (Bild 41).

Für die Schlagregenbeanspruchungsgruppe I nach DIN 4108-3 [7] beträgt die erforderliche Wanddicke mindestens 31 cm, zur Erreichung der Schlagregenbeanspruchungsgruppe II nach DIN 4108-3 [7] mindestens 37,5 cm. Die Zuordnung zu Schlagregenbeanspruchungsgruppe III nach DIN 4108-3 [7] wird erst dann erreicht, wenn entweder ein wasserabweisender Putz oder eine hinterlüftete Bekleidung auf der Außenseite der Außenwand ausgeführt wird.

6.1.4 Schallschutz

Bei der Verwendung hoher Steinrohdichteklassen (z.B. RDK 2,0) bieten einschalige KS-Außenwände einen für den Anwendungsfall ausreichend guten Schallschutz.

6.1.5 Brandschutz

Da Kalksandsteine nicht brennbar sind und in die Baustoffgruppe A1 nach DIN 4102-1 [22] bzw. A1/A2-s_1 nach DIN EN 13501 [21] eingeordnet werden, bieten sie für den vorgesehenen Anwendungsfall eine ausreichend hohe Feuerwiderstandsdauer.

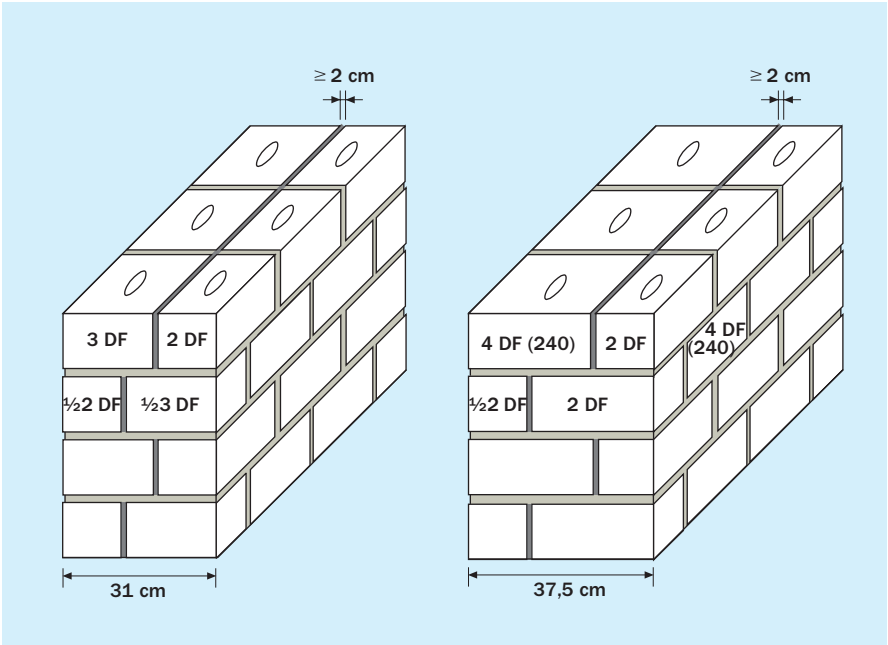


Bild 41 KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung als Sichtmauerwerk

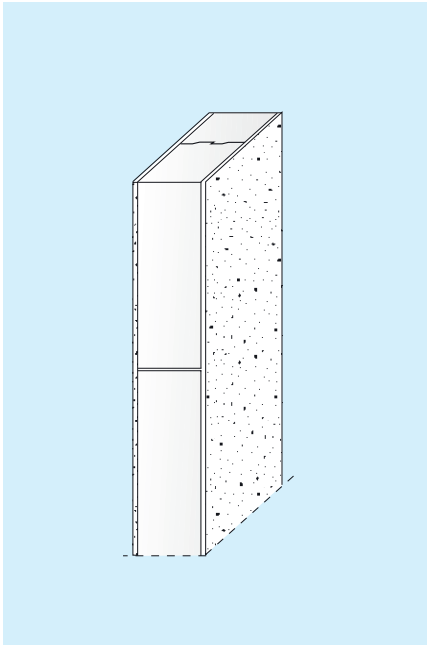


Bild 42 Verputztes KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung

7. Beidseitig bewitterte KS-Wände

7.1 Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Einfriedungen oder Stützmauern können als freistehende KS-Wände konstruiert werden und sind dann nicht durch seitlich einbindende Querwände oder Stützen bzw. obere Decken- oder Ringbalken gehalten.

Die Ermittlung der Lastannahmen erfolgt unter Berücksichtigung von DIN 1991/NA [23] + [24]. Bei Annahme von Windlastzone 2 und einer Mauerkronenhöhe bis 8 m über Oberkante Gelände können in Abhängigkeit von der Wanddicke 1 (Wanddicke 17,5 cm) bis 5 (Wanddicke 36,5 cm) Steinreihen (Schichtmaß: 25 cm) übereinandergeschichtet werden [25].

Sollen beidseitig bewitterte Wände höher aufgemauert werden, sind Pfeiler oder zusätzliche Querriegel als aussteifende Elemente erforderlich (Bild 43). Dann gelten die Wände als drei- bzw. vierseitig gehalten. Zur Aussteifung eignen sich Stahlprofile oder Stahlbetonpfeiler (Tafel 12).

Unvermeidbar sind hygrothermisch bedingte Längenänderungen als wiederkehrende Verformungen und die daraus resultierenden Zwängungsbeanspruchungen. Zur Vermeidung von Rissbildungen sind die zusammenhängenden Wandlängen daher durch Dehnfugen zu begrenzen. Ohne weitere aussteifende Elemente bleiben freistehende Wände bis zu 6-8 m Länge schadenfrei.

7.2 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Frostbeständigkeit sind freistehende Wände aus KS-Verblendsteinen oder KS-Vormauersteinen aufzumauern.

Um Niederschläge dauerhaft abzuleiten, müssen Mauerkronen abgedeckt werden. Rollschichten haben sich hierzu nicht bewährt. Fugen von kleinteilig ausgebildeten Rollschichten können von Regen durchströmt werden, wodurch ein frostbedingtes Abplatzen der Fugen selbst und eine Auffeuchtung der darunter befindlichen Wandflächen unvermeidbar ist. Gut geeignet hingegen sind Natursteinplatten, Betonfertigteile, Dachsteine/-ziegel oder Metallabdeckungen. Weitere Hinweise zur Art der Abdeckung in Abhängigkeit von der Exposition eines Bauteils können DIN 1996-2 [3], zu notwendigen Tropfkantenüberständen DIN EN 13914-1 [26] oder den Klempnerfachregeln [27] entnommen werden.

Auch der Sockel freistehender KS-Mauern ist vor dem Eindringen von Feuchtigkeit (kapillar aufsteigende Feuchte und Spritzwasser) und Tausalz zu schützen. Dies kann durch einen 30 cm hohen Betonsockel auf frostfreier Gründung oder durch einen 30 cm hohen wasserabweisenden Putz mit 5 cm oberhalb des angrenzenden Geländes endender mineralischer Dichtungsschlämme als Feuchteschutz sowie einer zusätzlich eingebauten Querschnittsabdichtung unterhalb des KS-Mauerwerks erfolgen.

Bild 43 Freistehende KS-Wand mit horizontalen und vertikalen Aussteifungen

Tafel 12 Zulässige Wandhöhen freistehender Wände mit Aussteifungen

Wanddicke *d* [cm]	Wandhöhe *h* [m]	Empfohlener Abstand *a* [m]	Aussteifungspfeiler: Stahlprofil (statisch erforderlich)[3]	Aussteifungspfeiler: Stahlbetonquerschnitt *b*/*d* [4] [cm/cm]
mit oberem Querriegel				
11,5[2]	1,50	5,50	I 120	35/12
	2,00	4,00	I 120	40/12
	2,50	3,50	I 120	45/12
	3,00	3,00	I 120	50/12
17,5	2,00	5,50	I 180	30/18
	2,50	4,50	I 180	35/18
	3,00	3,50	I 180	40/18
	3,50	3,00	I 180	45/18
24	2,50	8,00	I 240	30/24
	3,00	6,50	I 240	35/24
	3,50	5,50	I 240	40/24
	4,00	5,00	I 240	45/24
ohne oberen Querriegel				
11,5[2]	1,00	3,50	I 120	20/12
	1,50	3,00	I 120	30/12
	2,00	2,00	I 120	40/12
17,5	1,50	3,50	I 180	20/18
	2,00	2,50	I 180	30/18
	2,50	2,00	I 180	40/18
24	2,00	5,00	I 240	20/24
	2,50	4,00	I 240	25/24
	3,00	3,00	I 240	30/24

[1] Die Angaben gelten für ein Mischprofil der Geländekategorien I–II (Regelprofil im Binnenland) der Windlastzone 2.
[2] Mindestens Steindruckfestigkeitsklasse 12
[3] Aus konstruktiven Gründen werden größere Stahlquerschnitte empfohlen.
[4] Bewehrung gemäß statischem Nachweis

Literatur

[1] DIN EN 1996-1-1: 2013-02 und Entwurf 2019-09 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

[2] DIN EN 1996-1-2: 2011-04 und Entwurf 2022-10 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall

[3] DIN EN 1996-2: 2010-12 und Entwurf 2022-10: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk

[4] DIN EN 1996-3: 2010-12 und Entwurf 2021-10: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrtes Mauerwerk

[5] DIN 1055-4: 2005-03 mit Berichtigung 1 von 2006-03: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten

[6] DIN 4108-2: 2013-02 und Entwurf 2024-12: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestwärmeschutz

[7] DIN 4108-3: 2018-10 und Entwurf 2024-03: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz

[8] DIN 4108-7: 2011-01 und Entwurf 2024-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele

[9] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG); 2024-01

[10] DIN V 18599: 2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung

[11] DIN TS 4108-8: 2022-09: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden

[12] DIN 4108-10: 2021-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe

[13] DIN EN ISO 6946: 2018-03: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren
[14] DIN 4108 Beiblatt 2: 2019-06: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele
[15] DIN 4109-1: 2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen
[16] DIN 4109-5: 2020-08: Schallschutz im Hochbau – Teil 5: Erhöhte Anforderungen
[17] VDI 4100: 2012-10: Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz
[18] DIN 18540:2014-09: Abdichten von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen
[19] DIN 18542:2020-04: Imprägnierte Fugendichtungsbänder aus Schaumkunststoff zur Abdichtung von Außenwandfugen – Anforderungen und Prüfung
[20] DIN 18533-1: 2017-07 und E 2023-10: Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze
[21] DIN EN 13501-1: 2019-05: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
[22] DIN 4102-1: 1998-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
[23] DIN 1991-1-1: 2010-12 und Entwurf 2023-04: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichte von Baustoffen und Lagergütern, Eigengewicht von Bauwerken und Nutzlasten im Hochbau
[24] DIN 1991-1-4: 2010-12 und Entwurf 2024-03: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Windlasten
[25] Graubner, C.-A., Schmitt, M.: Tragverhalten freistehender windbeanspruchter Wände aus Kalksandstein nach DIN EN 1996/NA, Gutachten 120243 von 06/2013
[26] DIN 13914-1: 2016-09: Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Außenputze
[27] Richtlinien für die Ausführung von Klempnerarbeiten an Dach und Fassade, Klempnerfachregeln, Ausgabe:06/2018, Hrsg.: Zentralverband Heizung, Sanitär, Klima, Sankt Augustin
[28] WTA-Merkblatt 3-17 „Hydrophobierende Imprägnierungen von mineralischen Baustoffen“, Ausgabe 06/2010, Hrsg.: Wissenschaftlich technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, München
[29] E DIN EN 17237: 2022-02: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Außenseitige Wärmedämmverbundsysteme mit Putzoberfläche (WDVS)
[30] DIN EN 13499: 2003-12: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Außenseitige Wärmedämverbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol
[31] DIN EN 13500: 2003-12: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Außenseitige Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle
[32] DIN 55699: 2017-08: Anwendung und Verarbeitung von außenseitigen Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) mit Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) oder Mineralwolle (MW)
[33] WTA-Merkblatt 2-4 „Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze an Fassaden“, Ausgabe 2014, Hrsg.: Wissenschaftlich technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, München
[34] ETAG 004 Leitlinie für Europäische Technische Zulassungen für Außenseitige Wärmedämmverbundsysteme mit Putzschicht, Ausgabe 03/2000 -
[35] ISO 7892: 1988-08: Vertikale Bauwerksteile; Prüfung der Stoßfestigkeit; Stoßkörper und allgemeine Prüfverfahren
[36] Oberhaus, Heribert: Risiken bei Riemchenbekleidung auf Wärmedämmverbundsystemen? Hinweise zur Planung, Ausführung und Beurteilung, in: Aachener Bausachverständigentage 2022
[37] Oberhaus, Heribert; Bretz, Thomas: Wärmedämmverbundsysteme – Wärmeschutz in Alt- und Neubau, Heft 3, 03/2024, in: Baurechtliche und -technische Themensammlung, IRB Verlag, Stuttgart
[38] Merkblatt „Totale solare Reflexion und Hellbezugswert“, Ausgabe 04/2014, Hrsg.: Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V., Berlin
[39] Merkblatt „Mikrobiologischer Bewuchs auf Fassaden – Algen und Pilze“, Ausgabe 2020, Hrsg.: Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V., Berlin
[40] Merkblatt 2 „Entscheidungshilfe zur Verringerung des Biozideinsatzes an Fassaden“, Ausgabe 2023, Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin
[41] DIN 18516-1: 2024-10: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze
[42] DIN 68800-2: 2022-02: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau
[43] FHVF-Leitlinie: Planung und Ausführung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF), Ausgabe 11/2017, Hrsg.: Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V., Berlin
[44] FVHF-Fokus: Schadenfreies Bauen mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, Ausgabe 10/2007, Hrsg.: Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V., Berlin
[45] FVHF-Leitlinie zur Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, Ausgabe 1998, Hrsg.: Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V., Berlin
[46] FVHF-Leitlinie Brandschutztechnische Vorkehrungen für vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF) nach DIN 18516-1, Ausgabe 03/2016, Hrsg.: Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V., Berlin
[47] WTA-Merkblatt 2-5-97 „Anti-Graffiti-Systeme“, Ausgabe 2014, Hrsg.: Wissenschaftlich technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, München

Bildnachweise

Bild S. 94: Unika/Sven Erik Tornow;
Bild S. 100: Csaba Mester/KS-ORIGINAL;
Bild S. 103: Erich Spahn/KS-ORIGINAL;
Bild 16: Halfen; **Bild S. 114:** UNIKA GmbH;
Bild S. 122: Zapf Daigfuss

Bild 7, Bild 10, Bild 12, Bild 24, Bild 25, Bild 35, Bild S. 119, Bild 43:
Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 6

NICHT TRAGENDE WÄNDE

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner,
Technische Universität Darmstadt,
Dr.-Ing. Michael Schmitt,
bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Lauterbach

Stand: 08/2025

1. Einführung und Überblick

1.1 Vorbemerkungen

Entsprechend ihrer Definition dürfen nicht tragende Wände keine Lasten aus anderen Bauteilen aufnehmen oder weiterleiten. Sie müssen jedoch in der Lage sein, auf sie selbst einwirkende Belastungen – z.B. infolge Eigengewicht oder Wind – auf andere tragende Bauteile abzutragen. Demzufolge sind aussteifende Wände, welche ausschließlich der Aussteifung tragender Wände dienen, ebenfalls tragende Wände und können nicht mit den nachfolgenden Regelungen beschrieben werden.

Grundsätzlich ist zwischen nicht tragenden Außenwänden (z.B. Giebelwände oder Ausfachungswände bei Stahlbetonskelettbauten) und nicht tragenden Innenwänden (z.B. Trennwände) zu unterscheiden. Im Eurocode 6 – DIN EN 1996 [1], [2] – sind Regelungen für nicht tragende Außen- und Innenwände zu finden. Nicht tragende innere Trennwände sind darüber hinaus auch in DIN 4103-1 [3] geregelt.

1.2 Nicht tragende Außenwände (Ausfachungsflächen)

Nicht tragende Außenwände sind Bauteile, die in vertikaler Scheibenrichtung überwiegend durch ihr Eigengewicht beansprucht werden. Sie müssen die auf ihre Fläche wirkenden Windlasten sicher auf die angrenzenden tragenden Bauteile, z.B. Wand- und Deckenscheiben, Stahl- oder Stahlbetonstützen und -unterzüge, abtragen.

Nicht tragende KS-Außenwände können entsprechend den an sie gestellten Anforderungen u.a. einschalig oder mehrschalig, verputzt oder unverputzt, mit zusätzlicher Wärmedämmung, mit vorgehängter Fassade ausgeführt werden. Sind in nicht tragenden Außenwänden Fenster- oder Türöffnungen vorgesehen, die die Stabilität und Lastabtragung der Wand beeinträchtigen, wird ein statischer Nachweis der Wand erforderlich.

1.3 Nicht tragende Innenwände

Nicht tragende Innenwände sind Raumtrennwände, die keine statischen Aufgaben für die Gesamtkonstruktion, insbesondere die Gebäudeaussteifung, zu erfüllen haben. Sie können entfernt werden, ohne dass die Standsicherheit des Gebäudes beeinträchtigt wird. Die Standsicherheit der nicht tragenden Innenwände selbst ist durch die Verbindung mit den an sie angrenzenden Bauteilen (Querwände oder gleichwertige Maßnahmen und Decken) gegeben, sofern die zulässigen Grenzlängen (früher: Grenzabmessungen) der Wände (siehe Tafeln 7, 8 und 12) nicht überschritten werden.

Nicht tragende KS-Innenwände werden in Wohngebäuden sowie in Stahl- und Stahlbetonskelettbauten als Zwischen- oder Ausfachungswände ausgeführt. Sie werden auch bei Gebäuden mit großen Deckenspannweiten – z.B. Schulen, Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser, Hallen- und Wirtschaftsbauten – eingesetzt.

Die Wände werden aus klein- und mittelformatigen KS-Vollsteinen oder KS-Lochsteinen oder besonders rationell aus großformatigen KS XL Plan-/Rasterelementen oder KS-Bauplatten KS BP erstellt. Bei entsprechender Ausbildung erfüllen sie die hohen Anforderungen an den Brand- und Schallschutz oder auch an den Wärme- und Feuchtigkeitsschutz. Ihr hohes Wärmespeichervermögen – besonders bei Steinen hoher Rohdichte – gewährleistet ein ausgeglichenes Raumklima und guten sommerlichen Wärmeschutz. Nicht tragende KS-Innenwände können mit Putz versehen oder als Sichtmauerwerk erstellt werden. In Kombination mit Holz, Sichtbeton, Stahl oder anderen Baustoffen werden so gestalterische Akzente gesetzt.

2. Nicht tragende Außenwände (Ausfachungsflächen)

2.1 Vereinfachter Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA

Bei vorwiegend windbelasteten, nicht tragenden Außenwänden ist nach DIN EN 1996-3/NA Anhang C [2] kein gesonderter Nachweis erforderlich, wenn

- die Wände an den angrenzenden Bauteilen vierseitig gehalten sind (z.B. durch Verzahnung, Versatz oder Anker) und
- die Größe der Ausfachungsflächen $A_w = h \cdot l$ nach Tafel 1 eingehalten ist, wobei h die Höhe und l die Länge der Ausfachungsfläche bezeichnet.

Zur Ermittlung des Seitenverhältnisses der Ausfachungsflächen sind die lichten Maße des Ausfachungsmauerwerks zwischen den angrenzenden tragenden Bauteilen (Stützen, Riegel usw.) zu verwenden. Die angegebenen Höhen über Gelände beziehen sich auf die Oberkante der jeweiligen Ausfachungsfläche. Eine Stoßfugenvermörtelung ist entsprechend DIN EN 1996-3/NA auch bei zweiachsigem Lastabtrag nicht zwingend erforderlich, wenn das Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$ ist.

2.2 Erhöhte Werte der Ausfachungsfläche für Mauerwerk mit Normalmauermörtel

Die in den Normen, z.B. auch in DIN EN 1996-3/NA [2] angegebenen Größtwerte von Ausfachungsflächen nicht tragender KS-Außenwände dürfen nach Kirtschig [4] bei Verwendung von Kalksandsteinen der Höhe h_u = 238 mm (KS-Blocksteine und KS-Hohlblocksteine) und einem Überbindemaß von $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$ vermauert mit Normalmauermörtel NM III und Stoßfugenvermörtelung, überschritten werden. Die Steine sind vorzunässen.

Unter diesen Voraussetzungen sind in einigen Fällen – siehe Tafel 2 – auch dreiseitig gehaltene Wände mit oberem freiem Rand als Ausfachungsfläche realisierbar.

2.3 Erhöhte Werte der Ausfachungsfläche für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel

Nach DIN EN 1996-1-1 [1] können Ausfachungsflächen mit Hilfe eines Verfahrens mit Biegemomentenkoeffizienten nachgewiesen werden. In Deutschland ist die Anwendung dieses Verfahrens mit den in [1] angegebenen Parametern gemäß dem zugehörigen Nationalen Anhang jedoch nicht zulässig, da die in EC 6 angegebenen Biegemomentenkoeffizienten die begrenzte Rotationskapazität vom Mauerwerk nicht hinreichend abdecken. Daher wurde in verschiedenen Forschungsvorhaben an der Technischen Universität Darmstadt – z.B. [5] und [6] – ein vereinfachtes Nachweisverfahren zur Bestimmung der im Grenzzustand der Tragfähigkeit aufnehmbaren Beanspruchungen für nicht tragende Wände entwickelt, welches gleichzeitig auch die Angabe zulässiger Ausfachungsflächen in Abhängigkeit einer Einheitswindbelastung erlaubt.

Das Berechnungsmodell beruht auf einer umfangreichen wissenschaftlichen Forschungsarbeit zur Beanspruchbarkeit nicht tragender Wände und einer in diesem Zusammenhang entwickelten Nachweismethodik zur Bestimmung der sich einstellenden Schnittgrößenverteilung. Grundgedanke ist die Bestimmung eines dimensionslosen Tragfähigkeitskoeffizienten Y_w, welcher die verschiedenen Einflussgrößen beinhaltet. Neben den direkten Effekten aus Wandgeometrie, Lagerungsbedingungen und Verhältnis der Biegezugfestigkeiten in horizontaler und vertikaler Richtung beinhaltet der Tragfähigkeitskoeffizient auch die Einflüsse aus dem anisotropen Verformungsverhalten von Mauerwerk. Mit der entwickelten Nachweismethodik ist es möglich, die Tragfähigkeit biegebeanspruchter Ausfachungswände einfach und praxisnah unter Verwendung weniger Materialkenngrößen zu bestimmen.

Es bleibt festzuhalten, dass das entwickelte Nachweisverfahren die Berücksichtigung eines sich in vielen Fällen einstellenden Membranspannungseffektes auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Damit ergeben sich bei bestimmten Randbedingungen mit diesem Nachweisverfahren zum Teil auch kleinere Ausfachungsflächen als nach den Normen. In diesen Fällen sollten daher die in den Tafeln 1 und 2 angegebenen Werte verwendet werden.

Tafel 1 **Zulässige Größtwerte der Ausfachungsfläche von nicht tragenden Außenwänden ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA**

Alle Stein-Mörtel-Kombinationen nach DIN EN 1996-3/NA, ohne Stoßfugenvermörtelung						
Wanddicke t [mm]	Größte zulässige Werte[1), 2)] der Ausfachungsfläche A_w in m² bei einer Höhe über Gelände von					
	0 m bis 8 m			8 m bis 20 m[3)]		
	$h/l \leq 0{,}5$	$h/l = 1{,}0$	$h/l \geq 2{,}0$	$h/l \leq 0{,}5$	$h/l = 1{,}0$	$h/l \geq 2{,}0$
115[3)]	8 / 11[4)]	12 / 16[4)]	8 / 11[4)]	–	–	–
150	8 / 11[4)]	12 / 16[4)]	8 / 11[4)]	5 / 7[4)]	8 / 11[4)]	5 / 7[4)]
175	14	20	14	9	13	9
240	25	36	25	16	23	16
≥ 300	33	50	33	23	35	23

[1)] Bei Seitenverhältnissen $0{,}5 < h/l < 2{,}0$ dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.
[2)] Die angegebenen Werte gelten für KS-Mauerwerk mit Normalmauermörtel mindestens NM IIa und Dünnbettmörtel.
[3)] In Windlastzone 4 nur im Binnenland zulässig
[4)] Bei Verwendung von Kalksandsteinen (Festigkeitsklasse ≥ 12) dürfen die größeren Werte verwendet werden.

Tafel 2 Erhöhte Größtwerte der Ausfachungsflächen von nicht tragenden Außenwänden mit Normalmauermörtel

KS-Blocksteine und KS-Hohlblocksteine mit Steinhöhen h_u = 238 mm, mit Stoßfugenvermörtelung, NM III						
Wanddicke t[2] [mm]	Erhöhte Größtwerte[1] der Ausfachungsfläche A_w [m²] bei einer Höhe über Gelände von					
	0 m bis 8 m			8 m bis 20 m[3]		
	$h/l \leq 0{,}5$	$h/l = 1{,}0$	$h/l \geq 2{,}0$	$h/l \leq 0{,}5$	$h/l = 1{,}0$	$h/l \geq 2{,}0$
4-seitig gehalten; $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$						
115	11	16	11	–	–	–
150	11	16	11	7	11	7
175	22	20	22	13	13	13
240	38	36	38	25	23	25
≥ 300	60	54	60	38	35	38
3-seitig gehalten; oberer Rand frei; $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$						
175	8	10	16	–	–	–
240	16	20	30	10	12	18
≥ 300	25	30	45	16	20	28

[1] Bei Seitenverhältnissen $0{,}5 < h/l < 2{,}0$ dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.
[2] Für andere Wanddicken dürfen die Zwischenwerte geradlinig interpoliert werden.
[3] In Windlastzone 4 nur im Binnenland zulässig

Das Berechnungsmodell benötigt als Eingangsgrößen zur Bestimmung der aufnehmbaren Beanspruchung von Ausfachungswänden lediglich die Biegezugfestigkeiten des Mauerwerks senkrecht und parallel zur Lagerfuge. Für den eigentlichen Nachweis auf Grundlage des Teilsicherheitskonzepts sind diese Materialkenngrößen als 5 %-Quantilwerte anzusetzen. Dabei ist besonders vorteilhaft, dass durch die Verwendung der Biegezugfestigkeit parallel zur Lagerfuge eine Reihe von Einflussgrößen – z.B. das Überbindemaß, die Steingröße und die Art der Stoßfugenausbildung – integral erfasst werden. Die zulässige Ausfachungsfläche ergibt sich mit Hilfe des Tragfähigkeitskoeffizienten Υ_w und der Biegezugfestigkeit f_{tk1} senkrecht zur Lagerfuge. Letztere wird üblicherweise vernachlässigt, darf aber nach DIN EN 1996-1-1/NA [1] bei Mauerwerk aus KS XL, KS XL-E und KS XL-N mit Dünnbettmörtel, welches nur durch zeitweise einwirkende Lasten rechtwinklig zur Oberfläche beansprucht wird, mit f_{tk1} = 0,2 N/mm² angenommen werden.

Nach dieser Nachweismethodik ergibt sich für die zulässige Ausfachungsfläche:

$$A_w = t^2 \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{1}{w_d} \cdot \Upsilon_w \qquad (2.1)$$

mit
A_w Ausfachungsfläche
t Wanddicke
f_{tk1} Vertikale Biegezugfestigkeit
f_{tk2} Horizontale Biegezugfestigkeit
μ_t Biegezugverhältnis: $\mu_t = f_{tk1}/f_{tk2}$
Υ_w Bezogene Traglast in Abhängigkeit von: Lagerungsbedingungen, h/l, μ_t
γ_M Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite: $\gamma_M = 1{,}5$
w_d Bemessungswert der Windlast

In Tafel 3 werden die zulässigen Ausfachungsflächen für Mauerwerk aus KS-Plansteinen und KS XL (h_u und $l_u \geq 248$ mm) mit Dünnbettmörtel und Überbindemaßen $l_{ol}/h_u \geq 0{,}4$ angegeben. Für ein Überbindemaß von $0{,}2 \leq l_{ol}/h_u < 0{,}4$ sind die Werte um 50 % abzumindern. Eine Stoßfugenvermörtelung ist nicht erforderlich. Die Materialkenngrößen der Stein-Mörtel-Kombinationen stammen aus [7] (f_{tk1} = 0,2 N/mm²; $\mu_t = f_{tk1}/f_{tk2} \leq 1{,}11$) und die Ausfachungsflächen wurden in Anlehnung an [8] ermittelt. Für die Berechnung der Bemessungswindlast nach DIN EN 1991-1-4/NA [9] wurden die folgenden in den überwiegenden Fällen geltenden Faktoren verwendet:

$$w_d = \gamma_Q \cdot c_{pe,10} \cdot q_p \cdot = 1{,}5 \cdot 0{,}8 \cdot q_p \qquad (2.2)$$

mit
γ_Q Teilsicherheitsbeiwert für Windeinwirkung auf der Einwirkungsseite nach DIN EN 1990/NA [10]
$c_{pe,10}$ Aerodynamischer Außendruckbeiwert für vertikale Wände für den Bereich D nach DIN EN 1991-1-4/NA [9]
q_p Vereinfachter charakteristischer Böengeschwindigkeitsdruck nach DIN EN 1991-1-4/NA [9]

In Tafel 3 sind für verschiedene Lagerungsbedingungen sowie verschiedene Verhältnisse h/l die zulässigen Ausfachungsflächen in den folgenden Anwendungsbereichen angegeben:

Windzone 1: Gebäudehöhe h bis 18 m
Windzone 2: Gebäudehöhe h bis 10 m

Für die Anwendung in anderen Windzonen (z.B. WZ 2 mit h > 10 m, WZ 3 und WZ 4) müssen die in Tafel 3 angegebenen Ausfachungsflächen mit dem entsprechenden Faktor k_{wd} aus Tafel 4 multipliziert werden. Für die Windzone WZ 1 und Gebäudehöhen $h \leq 10$ m können die in Tafel 3 angegebenen Ausfa-

Tafel 3 Erhöhte Größtwerte der Ausfachungsflächen von nicht tragenden Außenwänden mit Dünnbettmörtel

KS-Plansteine und KS-XL, KS XL-E und KS XL-N ohne Stoßfugenvermörtelung mit Dünnbettmörtel, mit Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$						
Erhöhte Größtwerte[1] der Ausfachungsflächen A_{w0} in m² in den Windzonen WZ 1 bis $h \leq 18$ m und WZ 2 (Binnenland) bis $h \leq 10$ m[2]						
4-seitig gehalten; seitlich gelenkig gelagert						
Wanddicke t [mm]	Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)[3]					
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
115	11,7	7,4	6,1	5,9	6,4	7,2
150	19,9	12,5	10,3	10,0	10,8	12,2
175	27,0	17,0	14,0	13,6	14,7	16,6
200	35,3	22,2	18,3	17,8	19,2	21,7
240	50,9	32,0	26,4	25,6	27,7	31,2
300	79,5	50,0	41,3	40,0	43,3	48,8
365	117,6	74,1	61,1	59,2	64,1	72,2
4-seitig gehalten; seitlich eingespannt						
Wanddicke t [mm]	Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)[3]					
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
115	11,8	7,8	7,7	8,5	10,5	12,5
150	20,0	13,3	13,1	14,4	17,8	21,3
175	27,3	18,1	17,8	19,7	24,3	28,9
200	35,6	23,6	23,3	25,7	31,7	37,8
240	51,3	34,0	33,5	37,0	45,7	54,4
300	80,1	53,2	52,4	57,8	71,4	85,0
365	118,6	78,7	77,5	85,5	105,7	125,8
3-seitig gehalten; oberer Rand frei; seitlich gelenkig gelagert						
Wanddicke t [mm]	Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)[3]					
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
115	3,0	2,7	2,9	3,3	4,5	5,8
150	5,2	4,5	4,9	5,6	7,6	9,8
175	7,1	6,2	6,6	7,6	10,3	13,4
200	9,2	8,0	8,6	10,0	13,5	17,5
240	13,3	11,6	12,4	14,3	19,4	25,2
300	20,7	18,1	19,4	22,4	30,3	39,4
365	32,4	28,3	30,3	35,0	47,4	61,5
3-seitig gehalten; oberer Rand frei; seitlich eingespannt						
Wanddicke t [mm]	Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)[3]					
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
115	4,6	5,0	5,5	6,1	7,5	9,2
150	7,9	8,4	9,3	10,4	12,8	15,7
175	10,7	11,5	12,7	14,1	17,5	21,3
200	14,0	15,0	16,6	18,4	22,8	27,9
240	20,1	21,6	23,8	26,5	32,8	40,1
300	31,5	33,7	37,3	41,5	51,3	62,7
365	49,2	52,6	58,2	64,8	80,2	98,0

[1] Bei Überbindemaßen $0{,}2 \leq l_{ol}/h_u < 0{,}4$ sind die zulässigen Größtwerte der Ausfachungsflächen um 50 % abzumindern.
[2] In anderen Windzonen ist der Tabellenwert mit dem Faktor k_{wd} nach Tafel 4 zu multiplizieren.
[3] Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

chungsflächen noch mit dem Faktor 4/3 erhöht werden (siehe Tafel 4).

zul $A_W = A_{W0} \cdot k_{wd}$ (2.3)

mit

A_{W0} Ausfachungsfläche für WZ 1 bis $h = 18$ m und WZ 2 (Binnenland) bis $h = 10$ m nach Tafel 3

k_{wd} Faktor zur Umrechnung der zulässigen Ausfachungsflächen in andere Windzonen nach Tafel 4

Wesentlichen Einfluss auf die Größe der zulässigen Ausfachungsfläche hat eine vorhandene seitliche Einspannung der Ausfachungsfläche. Falls diese Lagerungsbedingung angenommen wird, so ist die seitliche Einspannung in die aussteifenden Bauelemente konstruktiv sicherzustellen.

Tafel 4 Faktor k_{wd} für die Umrechnung der Windlast in andere Windlastzonen nach DIN EN 1991-1-4/NA [9]

Windzone		Faktor k_{wd} für die Bemessungswindlast bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10$ m	10 m < $h \leq$ 18 m	18 m < $h \leq$ 25 m
1	Binnenland	1,33	1,00	0,89
2	Binnenland	1,00	0,80	0,73
	Küste [1] und Inseln der Ostsee	0,80	0,67	0,62
3	Binnenland	0,80	0,73	0,62
	Küste [1] und Inseln der Ostsee	0,62	0,57	0,50
4	Binnenland	0,73	0,57	0,50
	Küste [1] der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	0,53	0,47	0,42
	Inseln der Nordsee [2]	0,47	–	–

[1] Zur Küste zählt ein 5 km breiter Streifen, der entlang der Küste verläuft und landeinwärts gerichtet ist.
[2] Auf den Inseln der Nordsee ist der Böengeschwindigkeitsdruck für Bauwerke über 10 m in Abhängigkeit der Höhe zu ermitteln (siehe DIN EN 1991-1-4/NA [9]).

2.4 Anschlüsse an angrenzende Bauteile

Nicht tragende Außenwände müssen in den sich aus den vorstehenden Tafeln ergebenden Abständen horizontal gehalten werden. Werden die Größtwerte der Ausfachungsflächen überschritten, kann eine Zwischenhalterung durch andere Maßnahmen erreicht werden, z.B. mit Hilfe von Stahlprofilen in C- oder I-Form. Werden die Wände nicht bis unter die Decke oder den Unterzug gemauert, sind für eine vierseitige Halterung am Wandkopf entsprechende Riegel, z.B. aus Stahl oder Stahlbeton bzw. ausbetonierte KS -U-Schalen, erforderlich oder es ist eine dreiseitige Halterung mit freiem oberen Rand anzunehmen.

Nicht tragende Außenwände und ihre Anschlüsse müssen so ausgebildet sein, dass sie die auf sie wirkenden Windlasten auf die angrenzenden tragenden Bauteile sicher abtragen; diese Forderung wird bei den Konstruktionsbeispielen (Bilder 1 und 2) erfüllt. Für den Anschluss der Wand kann auf einen statischen Nachweis an angrenzende Bauteile verzichtet werden, wenn diese Verbindungen offensichtlich unter Einhaltung der üblichen Sicherheiten ausreichen. Bei den Wandanschlüssen

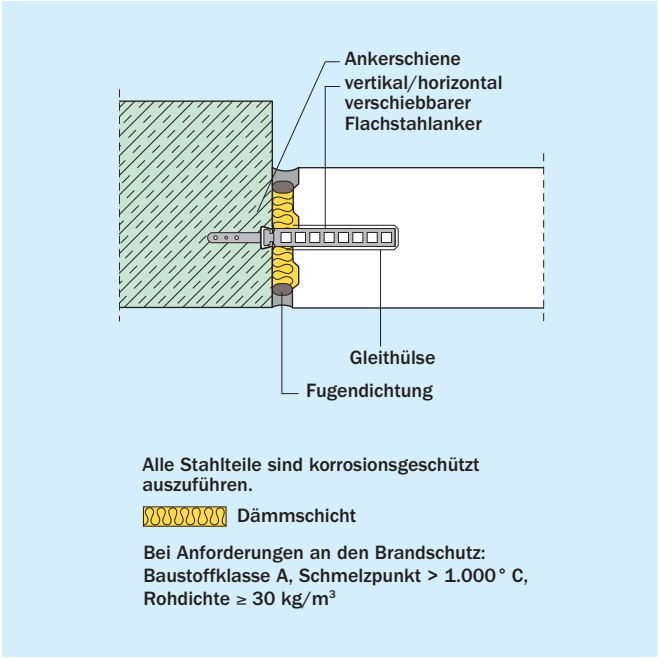


Bild 1 Beispiel für einen gelenkigen Wandanschluss an eine Stahlbetonstütze mit Ankerschienen bei Verwendung von Normalmauermörtel

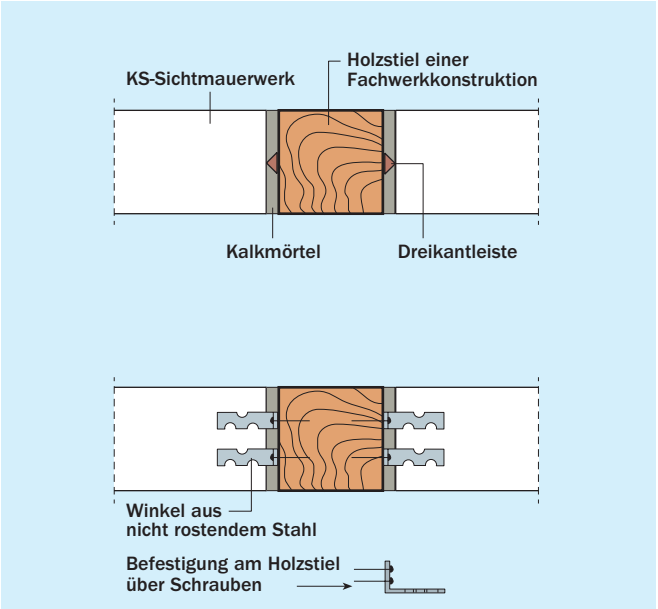


Bild 2 Wandanschluss von KS-Sichtmauerwerk an eine Holzfachwerkkonstruktion

ist zu beachten, dass infolge der Verformungen keine Zwängungsspannungen auftreten können.

Einflüsse, die aus den Formänderungen angrenzender Bauteile resultieren, z.B. durch Längenänderungen oder nachträgliches Durchbiegen weitgespannter Tragkonstruktionen sowie Formänderungen der Wände selbst infolge von Witterungs- und Temperatureinflüssen, sind bei der Wahl der Anschlüsse zu berücksichtigen.

Der seitliche Anschluss an angrenzende Bauteile erfolgt in der Regel gleitend und elastisch:

- durch Einführen der Wand in eine Nut
- durch übergreifende Stahlprofile oder Ankersysteme in korrosionsgeschützter Ausführung

Zwischen nicht tragenden Außenwänden und angrenzenden Bauteilen werden z.B. Streifen aus Mineralwolle o.Ä. eingelegt, äußere und innere Fugen sind elastoplastisch oder mit Fugenbändern abzudichten. Bei zweischaligen Wänden wird die Wandschale verankert, die für die Bestimmung der Größe der Ausfachungsfläche herangezogen wird, im Normalfall die Innenschale. Die Außenschale wird entsprechend DIN EN 1996-1-1/NA [1] mit Drahtankern aus nicht rostendem Stahl an die Innenschale angeschlossen. Die Mindestanzahl der Drahtanker je m^2 Wandfläche ist DIN EN 1996-1-1/NA zu entnehmen. Andere Ankerformen (z.B. Flachstahlanker) sind zulässig bei entsprechendem Nachweis der Brauchbarkeit, z.B. durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Bei nicht flächiger Verankerung der Außenschale (linienförmige oder geschossweise Verankerung) ist die Standsicherheit entsprechend nachzuweisen.

Der obere Anschluss der nicht tragenden Außenwand an die tragenden Bauteile sollte sinngemäß wie der seitliche Anschluss gleitend ausgeführt werden. Entsprechend Art und Spannweite der tragenden Konstruktion erfolgt im Bereich des oberen Wandanschlusses ein Toleranzausgleich, im Allgemeinen von ca. 2 cm. Der Hohlraum ist mit Mineralwolle auszufüllen und gegen Schlagregenbeanspruchung abzudichten. Dadurch wird vermieden, dass die tragenden angrenzenden Bauteile durch Formänderungen und nachträgliches Durchbiegen unbeabsichtigte Lasten und Spannungen auf die nicht tragenden Außenwände übertragen.

Am unteren Anschluss werden die Horizontalkräfte aus Windlasten zwischen der nicht tragenden Außenwand und dem tragenden Bauteil durch Reibung auf die tragende Konstruktion abgeleitet. Dies ist bei der Auswahl von Feuchtesperrschichten zu berücksichtigen.

3. Nicht tragende innere Trennwände nach DIN 4103-1

3.1 Vereinfachter Nachweis nach DIN 4103-1 und DGfM-Merkblatt

3.1.1 Anforderungen

Nicht tragende KS-Innenwände und ihre Anschlüsse müssen so ausgebildet sein, dass sie Anforderungen nach DIN 4103-1 [3] erfüllen.

- Sie müssen statischen – vorwiegend ruhenden – sowie stoßartigen Belastungen, wie sie im Gebrauchszustand entstehen können, widerstehen.
- Sie müssen, neben ihrer Eigenlast einschließlich Putz oder Bekleidung, die auf ihre Fläche wirkenden Lasten aufnehmen und auf andere Bauteile, wie Wände, Decken und Stützen, abtragen.
- Sie müssen leichte Konsollasten aufnehmen, deren Wert $q_k \leq 0{,}4$ kN/m beträgt (Lastanordnung siehe Bild 3). Bilder, Buchregale, kleine Wandschränke u.Ä. lassen sich so an jeder Stelle der Wand unmittelbar in geeigneter Befestigungsart anbringen. Eine Überlagerung des Lastfalls „Konsollasten“ mit anderen Lastfällen ist nicht erforderlich.
- Sie dürfen sowohl bei weichen als auch bei harten Stößen nicht zerstört oder örtlich durchstoßen werden.
- Sie müssen zum Nachweis ausreichender Biegegrenztragfähigkeit eine horizontale Streifenlast $q_{h,k}$ nach Abschnitt 3.1.2 aufnehmen, die 0,9 m über dem Fußpunkt der Wand angreift.
- Sie können auch Funktionen zur Sicherung gegen Absturz übernehmen (s. Abschnitt 3.1.3).

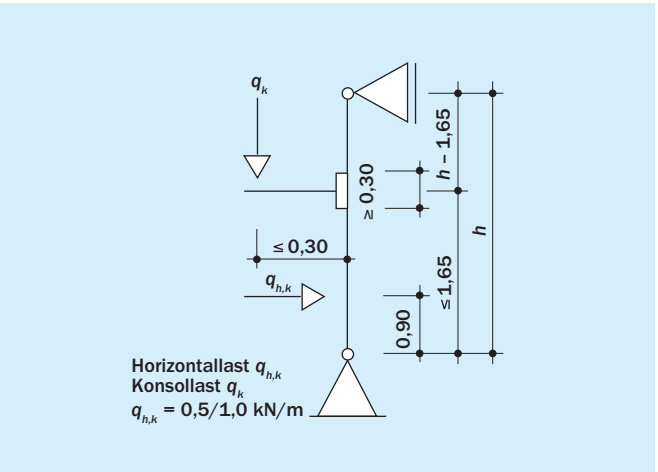


Bild 3 **Statische Belastungen nach DIN 4103-1** [3]

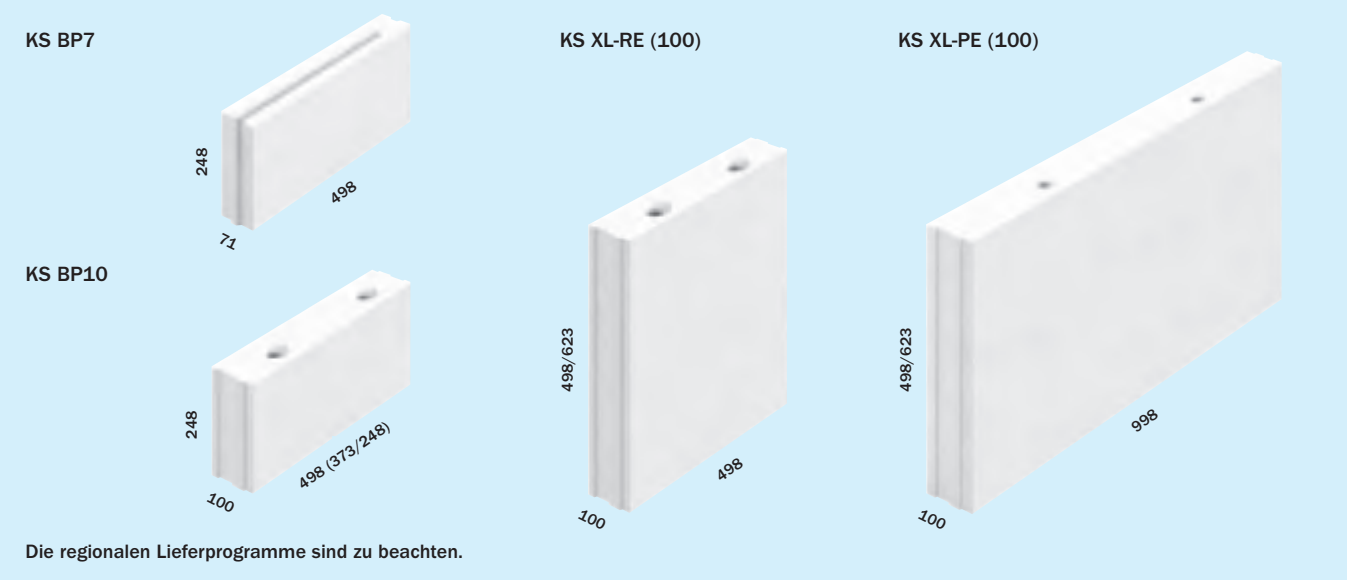


Bild 4 KS-Produkte für nicht tragende Wände < 115 mm

- Wenn Trennwände durch Windkräfte beansprucht werden, z.B. in Hallenbauten mit großen, häufig offenstehenden Toren, ist hierfür neben den nachfolgenden Nachweisen auch der Nachweis nach Abschnitt 2 für nicht tragende Außenwände erforderlich, wobei der Lastfall „Windlast“ nicht mit den anderen Lastfällen (z.B. Konsollast) zu kombinieren ist.

Nicht tragende innere Trennwände sind auch mit Wanddicken t < 115 mm zulässig. Hierfür werden spezielle Kalksandsteinprodukte angeboten (Bild 4). Die Lasten nicht tragender Trennwände auf Decken dürfen vereinfachend über einen flächig anzusetzenden Zuschlag auf die charakteristische Nutzlast berücksichtigt werden. Die in Tafel 5 angegebenen Werte gelten dabei für leichte Trennwände mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 5 kN/m. Schwerere Trennwände (> 5 kN/m) müssen gemäß DIN EN 1991-1-1/NA [11] als Linienlasten in der statischen Berechnung der Decken berücksichtigt werden.

Tafel 5 Technische Daten für nicht tragende KS-Wände mit Linienlasten ≤ 5 kN/m

	Eigenschaft	Einheit	Produkte			
	Wanddicke	[mm]	70	100	100	115
	Steinbezeichnung	–	KS BP7	KS BP10	KS BP10	KS L
	Steinrohdichteklasse	–	2,0	1,2	1,4	1,4
Statik [1)]	Maximale Wandhöhe bei Linienlast nach DIN EN 1991-1-1/NA (≤ 5 kN/m)	[m]				
	mit Dünnlagenputz (d = 2 · ca. 5 mm)		3,45	3,70	3,25	2,85
	mit beidseitigem Putz (d = 2 · 10 mm)		3,10	3,30	2,95	2,65
	Zuschlag zur Verkehrslast der Decke nach DIN EN 1991-1-1/NA	[kN/m²]	1,2	1,2	1,2	1,2
Schallschutz [1)]	Bewertetes Direktschalldämm-Maß R_w nach DIN 4109-2:2016-07	[dB]				
	mit Dünnlagenputz (d = 2 · ca. 5 mm)		44	42	44	46
	mit beidseitigem Putz (d = 2 · 10 mm)		45	43	45	47
Brandschutz	Feuerwiderstandsklasse nach DIN EN 1996-1-2/NA	–				
	mit Dünnlagenputz (d = 2 · ca. 5 mm)		EI 60	EI 90	EI 90	EI 120
	mit beidseitigem Putz (d = 2 · 10 mm)		EI 90	EI 90	EI 90	EI 120

[1)] Die Ermittlung der Wandflächengewichte bzw. flächenbezogenen Masse der Wände ist in DIN EN 1991-1-1/NA und DIN 4109 unterschiedlich geregelt.

Anmerkung: Wenn die maximalen Wandhöhen überschritten werden, ist ein Nachweis durch Ansatz einer Linienlast auf der Decke möglich. Wände mit höherem Wandeigengewicht (z.B. 115 mm dicke Wände der RDK 2,0) können alternativ zum Ansatz als Linienlast auch durch erhöhte Deckenzuschläge nach [12] berücksichtigt werden.

3.1.2 Einbaubereiche

Entsprechend der Nutzung der Räume, zwischen denen die nicht tragenden KS-Innenwände errichtet werden sollen, sind beim Nachweis der Biegegrenztragfähigkeit in Abhängigkeit vom Einbaubereich unterschiedlich große horizontale Streifenlasten anzusetzen. Nach DIN 4103-1 [3] werden die Einbaubereiche wie folgt definiert:

Einbaubereich 1:
Bereiche mit geringer Menschenansammlung, z.B. Wohnungen, Hotel-, Büro-, Krankenräume und ähnlich genutzte Räume einschließlich der Flure:

$q_{h1,k} = 0{,}5$ kN/m

Einbaubereich 2:
Bereiche mit großer Menschenansammlung, z.B. größere Versammlungsräume, Schulräume, Hörsäle, Ausstellungs- und Verkaufsräume sowie ähnlich genutzte Räume. Hierzu zählen auch stets Trennwände zwischen Räumen mit einem Höhenunterschied der Fußböden ≥ 1,00 m:

$q_{h2,k} = 1{,}0$ kN/m

3.1.3 Absturzsicherung

Bei absturzsichernden Wänden sind die Horizontallasten nach DIN EN 1991-1-1/NA [11] gemäß Tafel 6 anzusetzen. Die horizontalen Nutzlasten sind in Absturzrichtung in voller Höhe und in der Gegenrichtung mit 50 % mindestens jedoch 0,5 kN/m anzusetzen.

Damit ist bei den meisten absturzsichernden Wänden in Abhängigkeit des Einbaubereichs die gleiche Horizontalbelastung anzusetzen wie bei üblichen nicht tragenden inneren Trennwänden mit geringer oder großer Menschenansammlung. Die Bemessung der Wände kann in diesen Fällen entsprechend vorgenommen werden und führt zu den gleichen Ergebnissen.

3.1.4 Grenzmaße

Die Grenzabmessungen gemauerter nicht tragender Innenwände wurden in [13], [14] und [15] in Abhängigkeit der Lagerungsart (drei- oder vierseitig), einer möglichen vertikalen Auflast sowie der Wanddicke und der verwendeten Steinart durch umfangreiche Versuche ermittelt. Diese werden seit Jahrzehnten im Mauerwerksbau angewendet und haben sich allgemein bewährt.

Bei dem Lastfall „mit Auflast“ handelt es sich dabei nicht um eine planmäßige Auflast, z.B. aus darüber stehenden Wänden, sondern um einen ungewollten Lastabtrag der Decke infolge Kriechens und Schwindens. Werden die Trennwände an der Deckenunterkante voll vermörtelt, kann bei der Ermittlung der zulässigen Wandlängen vom Lastfall „mit Auflast“ ausgegangen werden [14].

Bei dreiseitiger Lagerung ist zu unterscheiden, ob sich der freie Rand an der Wandseite oder am Wandkopf befindet. Bei Wandhöhen $h > 6$ m ist stets ein statischer Nachweis erforderlich. Freie Wandlängen $l > 12$ m sollten vermieden werden [14]. Bei Verwendung von Kalksandsteinen mit Wanddicken $t < 115$ mm ist Mörtelgruppe III oder Dünnbettmörtel erforderlich; bei $t \geq 115$ mm genügt Mörtelgruppe IIa.

Die in den Tafeln 7 und 8 aufgeführten Grenzmaße gelten für ein Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$, da ein kreuzweiser Abtrag der auf die nicht tragende Wand wirkenden horizontalen Linienlast vorausgesetzt wird.

Bei Anwendung von Tafel 7 ist für KS-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel eine Stoßfugenvermörtelung nicht erforderlich [16].

Bei KS-Mauerwerk mit Normalmauermörtel darf bei Anwendung von Tafel 7 auf eine Stoßfugenvermörtelung verzichtet werden, wenn der Lastabtrag ausschließlich über die kürzere, vertikale Richtung erfolgt. Das ist gegeben, wenn bei vierseitig oder dreiseitig mit einem freien vertikalen Rand gehaltenen KS-Innenwänden die zulässigen Wandlängen ≥ 12 m betragen oder die Wandlänge größer als die doppelte Wandhöhe ist.

Bei Anwendung von Tafel 8 für dreiseitig gehaltene Wände mit oberem freiem Rand gelten die Werte nur für Vermauerung mit Stoßfugenvermörtelung (Normalmauermörtel oder Dünnbettmörtel).

Bei Überschreitung der zulässigen Wandlängen können die Wandflächen durch Aussteifungsstützen z.B. aus Holz, Stahl oder Stahlbeton unterteilt werden.

Tafel 6 Horizontale Nutzlasten bei absturzsichernden Trennwänden

Einbaubereiche (Beispiele)	Horizontale Nutzlast $q_{h,k}$ [kN/m]
■ Räume, Flure und Treppen in Wohn- und Bürogebäuden ■ Arztpraxen ohne schweres Gerät ■ Hotelzimmer, Betten-, Stations- und Aufenthaltsräume in Krankenhäusern ■ Verkehrs- und Parkflächen einschließlich Zufahrtsrampen (Anprall muss durch konstruktive Maßnahmen ausgeschlossen werden.)	0,5
■ Alle anderen Flure, Arbeitsflächen, Versammlungsräume und Flächen mit Personenansammlung einschließlich Treppen und Zugänge ■ Kindertagesstätten, Schulen, Restaurants, Sporthallen, Theater, Kinos	1,0
■ Konzertsäle, Terrassen und Eingangsbereiche für große Menschenansammlungen ■ Tribünen einschließlich Treppen und Zugänge	2,0

Der Planer muss entscheiden, ob die in den Tafeln 7 und 8 angegebenen Grenzlängen tatsächlich ausgenutzt werden. Bei Wandhöhen > 4,50 m wird empfohlen, solche Wände durch horizontale Tragelemente zu unterteilen (z.B. horizontale Riegel aus ausbetonierten KS-U-Schalen mit Bewehrung). Insbesondere bei Wandlängen > 6 m ist die Risssicherheit nach Schubert [17] abzuschätzen und die Verformungsverträglichkeit der nicht tragenden inneren Trennwände und der angrenzenden Bauteile zu beurteilen.

Vermeintliche Unstimmigkeiten der Grenzlängen zwischen vierseitig und dreiseitig gehaltenen Wänden sind vor allem

auf die Art der Belastung (Linienlast generell in 90 cm Höhe über Wandfuß) und unterschiedlich große Biegefestigkeiten des Mauerwerks senkrecht und parallel zur Lagerfuge zurückzuführen (unterschiedliche Auswirkungen).

3.2 Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA

In DIN EN 1996-3/NA [2] ist im Anhang B ein weiteres Verfahren für die Bemessung von nicht tragenden Innenwänden enthalten. Das Verfahren baut auf den Regelungen in DIN 4103-1/DGfM-Merkblatt [3, 15] auf und liefert mit den Tafeln 7 und 8 vergleichbare Werte. Entsprechend den Anwendungsbedingungen nach DIN EN 1996-3/NA [2] gilt das Verfahren für Wanddicken $t \geq 115$ mm im Einbaubereich 1. Die von Kirtschig auf der Grundlage von DIN 4103-1 veröffentlichten und seit Jahrzehnten in der Praxis ausschließlich angewendeten Bemessungstabellen sind damit nunmehr für Wanddicken $t \geq 115$ mm im Einbaubereich 1 – insbesondere auch hinsichtlich der von Kirtschig nachgewiesenen aufnehmbaren Stoßbelastung – auch normativ bestätigt.

3.3 Befestigung an angrenzende Bauteile

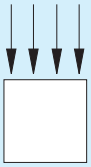
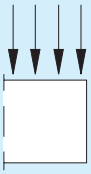
3.3.1 Allgemein

Die nicht tragenden Innenwände erhalten ihre Standsicherheit durch geeignete Anschlüsse an die angrenzenden Bauteile. Die Anschlüsse müssen so ausgebildet sein, dass die Formänderungen der angrenzenden Bauteile sich nicht negativ auf die nicht tragenden Innenwände auswirken können (siehe z. B. Bild 5).

Werden die nicht tragenden Innenwände nicht bis unter die Decke gemauert, z.B. bei durchlaufenden Fensterbändern, so ist zunächst einmal von einem freien Rand auszugehen. Die KS-Innenwände können dann als ausreichend gehalten angesehen werden, wenn die Wandkronen mit durchlaufenden Aussteifungsriegeln z.B. aus Stahlbeton (ausbetonierte KS -U-Schalen) oder aus Stahlprofilen gehalten werden.

In diesem Fall können die Grenzmaße aus Tafel 7 oder 12 bei vier- oder dreiseitiger Halterung (ein freier vertikaler Rand) entnommen werden. Ist innerhalb einer nicht tragenden KS-Innenwand eine Öffnung angeordnet, gilt die Wand im Regel-

Tafel 7 **Zulässige Wandlängen [m] nicht tragender Trennwände mit und ohne Auflast bei vierseitiger bzw. dreiseitiger Halterung, vertikaler Rand frei**

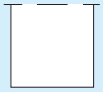
	Einbaubereich	Wandhöhe [m]	Wanddicke [mm]					
			50	70	100	115/150	175/200	240
			Zulässige Wandlänge [m]					
Vierseitige Halterung ohne Auflast	1	2,5	3	5	7			
		3	3,5	5,5	7,5			
		3,5	4	6	8	10	12	12
		4	–	6,5	8,5			
		4,5	–	7	9			
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
	2	2,5	1,5	3	5	6		
		3	2	3,5	5,5	6,5		
		3,5	2,5	4	6	7	12	12
		4	–	4,5	6,5	7,5		
		4,5	–	5	7	8		
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
Vierseitige Halterung  mit Auflast[1)]	1	2,5	5,5	8				
		3	6	8,5				
		3,5	6,5	9	12	12	12	12
		4	–	9,5				
		4,5	–	–				
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
	2	2,5	2,5	5,5	8			
		3	3	6	8,5			
		3,5	3,5	6,5	9	12	12	12
		4	–	7	9,5			
		4,5	–	7,5	10			
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
Dreiseitige Halterung ohne Auflast	1	2,5	1,5	2,5	3,5			
		3	1,75	2,75	3,75			
		3,5	2	3	4	5	8	12
		4	–	3,25	4,25			
		4,5	–	3,5	4,5			
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	8	12
	2	2,5	0,75	1,5	2,5	3		
		3	1	1,75	2,75	3,25		
		3,5	1,25	2	3	3,5	6	12
		4	–	2,25	3,25	3,75		
		4,5	–	2,5	3,5	4		
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	6	12
Dreiseitige Halterung  mit Auflast[1)]	1	2,5	2,75	4				
		3	3	4,25				
		3,5	3,25	4,5	6	8	10	12
		4	–	4,75				
		4,5	–	–				
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	10	12
	2	2,5	1,25	2,75	4			
		3	1,5	3	4,25			
		3,5	1,75	3,25	4,5	6	8	12
		4	–	3,5	4,75			
		4,5	–	3,75	5			
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	8	12

[1)] Unter Auflast wird hierbei verstanden, dass die Wände an der Deckenunterkante voll vermörtelt sind und die darüber liegenden Decken infolge Kriechens und Schwindens sich auf die nicht tragenden Wände zum Teil absetzen können. Ganz allgemein gilt, dass das Verfugen zwischen dem oberen Wandende und der Decke mit Mörtel geringer Festigkeit eher zu empfehlen ist als das Dazwischenlegen von stark nachgiebigem Material. Dies gilt insbesondere dann, wenn davon ausgegangen werden kann, dass nach dem Verfugen in die Trennwände keine Lasten mehr aus Verformung infolge Eigengewichts der darüber liegenden Bauteile eingetragen werden. Das Vermörteln der Anschlussfuge zwischen nicht tragender Wand und Stahlbetondecken soll daher möglichst spät erfolgen.

Bei KS-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel darf generell auf eine Stoßfugenmörtelung verzichtet werden.

Dies gilt auch bei Verwendung von Normalmauermörtel mit statisch zulässigen Wandlängen ≥ 12 m oder bei Wänden mit Wandlängen größer als die doppelte Wandhöhe. Für Wanddicken von 50 und 70 mm sowie 100 mm unter Auflast im Einbaubereich 2 gelten die angegebenen Grenzmaße bei Verwendung von Normalmauermörtel der NM III (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel.
Bei Wanddicken ≥ 115 mm ist Normalmauermörtel mindestens der Mörtelgruppe IIa (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel zu verwenden.

Tafel 8 Zulässige Wandlängen [m] nicht tragender innerer Trennwände ohne Auflast bei dreiseitiger Halterung, oberer Rand frei

Dreiseitige Halterung[1]	Einbaubereich	Wandhöhe [m]	Wanddicke [mm]					
			50	70	100	115/150	175/200	240
			Zulässige Wandlänge [m]					
 ohne Auflast	1	2	3	7	8	8		
		2,25	3,5	7,5	9	9		
		2,5	4	8	10	10		
		3	5	9	10	10	12	12
		3,5	6	10	12	12		
		4	–	10	12	12		
		4,5	–	10	12	12		
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
	2	2	1,5	3,5	5	6	8	8
		2,25	2	3,5	5	6	9	9
		2,5	2,5	4	6	7	10	10
		3	–	4,5	7	8	12	12
		3,5	–	5	8	9	12	12
		4	–	6	9	10	12	12
		4,5	–	7	10	10	12	12
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12

[1] Die obere Halterung kann durch einen Ringbalken hergestellt werden. In diesem Fall gelten die Werte der Tafel 7.

Die Stoßfugen sind generell zu vermörteln.

Für Wanddicken ≤ 100 mm ist Normalmauermörtel der NM III (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel zu verwenden.
Bei Wanddicken ≥ 115 mm ist Normalmauermörtel mindestens der NM IIa (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel zu verwenden.

delt, ist ein Nachweis in der Regel jedoch nicht erforderlich.

Zusätzlich zu den statischen Gesichtspunkten sind oft bauphysikalische Belange (Schall- und Brandschutz) für die Befestigung der nicht tragenden Wände an angrenzende Bauteile maßgebend.

3.3.2 Starrer (eingespannter) Anschluss

Starre Anschlüsse werden (Bild 6) durch Verzahnung, durch Ausfüllen der Fuge zwischen nicht tragender Innenwand und angrenzendem Bauteil mit Mörtel oder durch gleichwertige Maßnahmen wie Anker, Dübel oder einbindende Stahleinlagen hergestellt. Sie können ausgeführt werden, wenn keine oder nur geringe Zwängungskräfte aus den angrenzenden Bauteilen auf die Wand zu erwarten sind. Starre seitliche Anschlüsse bleiben im Regelfall auf den Wohnungsbau mit Wandlängen ≤ 5,0 m und geringen Deckenspannweiten beschränkt. Die Anschlussfugen zwischen Innenwänden und angrenzenden Bauteilen sind mit Mörtel satt, Mineralwolle o.Ä. auszufüllen, um die schall- und brandschutztechnischen Anforderungen zu erfüllen.

fall an dieser Stelle vertikal als nicht gehalten. Es ist ein freier vertikaler Rand anzunehmen. Raumhohe Zargen oder Stahlprofile in U- oder I-Form oder auch ausbetonierte KS -U-Schalen gelten bei entsprechender Ausbildung als seitliche Halterung.

Während die Wandscheiben selbst als nachgewiesen gelten, wenn die Grenzmaße nach den Tafeln 7, 8 und 12 eingehalten sind, ist die Aufnahme der Belastungen durch die Anschlüsse nachzuweisen. Sofern es sich um bewährte Anschlüsse han-

3.3.3 Gleitender (gelenkiger) Anschluss

Gleitende Anschlüsse sind insbesondere dann auszuführen, wenn mit unplanmäßigen Krafteinleitungen in die nicht tragenden Innenwände durch Verformung der angrenzenden Bauteile zu rechnen ist und diese zu erhöhten Spannungen führen können. Gleitende Anschlüsse werden durch Anordnung von Stahlprofilen oder Nischen, eventuell in Verbindung mit einer Gleitfolie, hergestellt (siehe Bilder 7 und 8). Bei Anschlussfu-

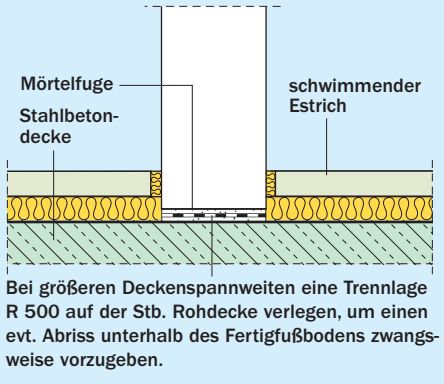


Bild 5 Wandanschluss im Fußpunkt

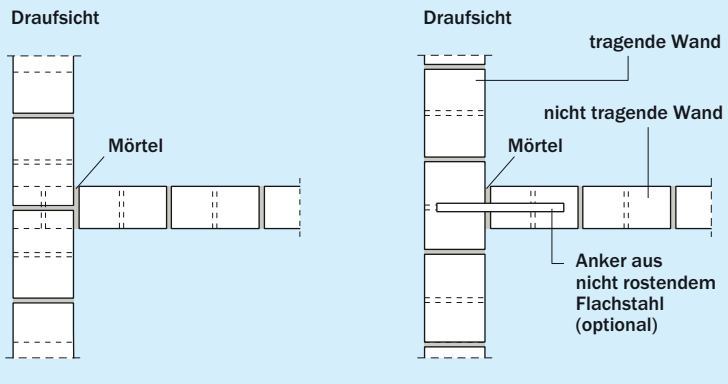


Bild 6 Wandanschlüsse seitlich (starr)

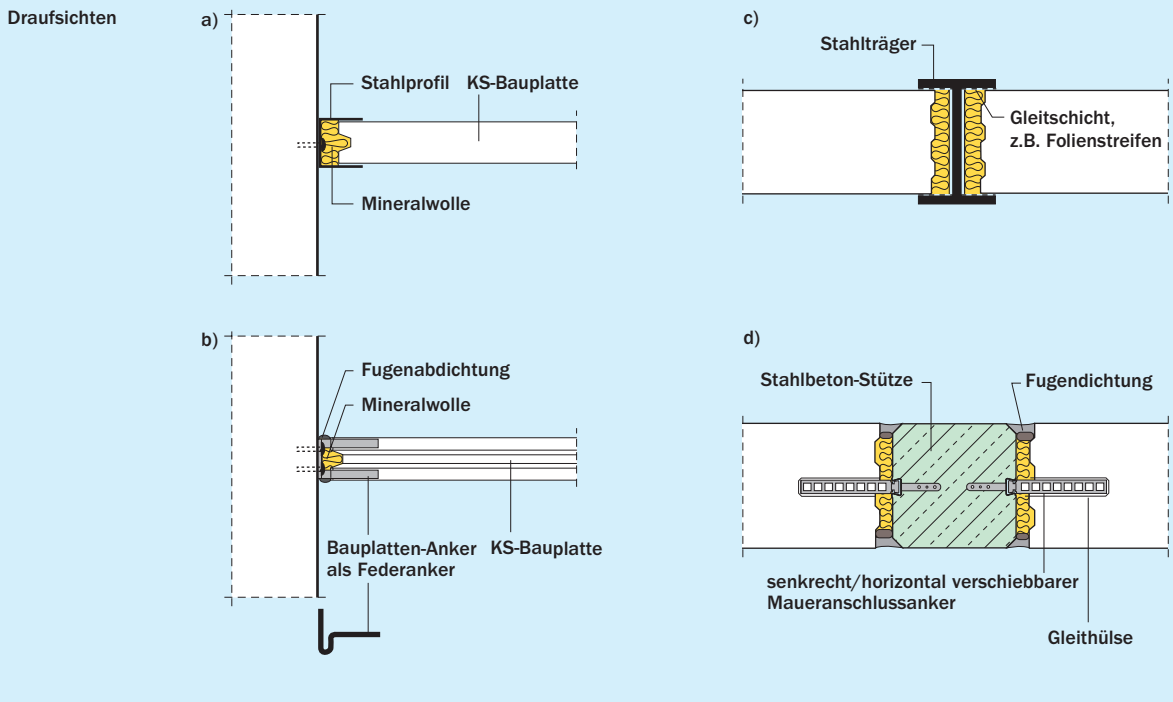


Bild 7 Seitliche Wandanschlüsse (gleitend)

gen, die mit Mineralwolle ausgefüllt werden, ist der Schallschutz besonders zu beachten.

Die Profiltiefe ist so zu wählen, dass auch bei einer Verformung der angrenzenden Bauteile die seitliche Halterung sichergestellt bleibt. Beim Anschluss im Fußpunktbereich (Trennwand/Stahlbetondecke) ist zur Abkopplung beider Systeme ohne Profil eine besandete Bitumendachbahn R 500 – insbesondere bei großen Deckenspannweiten – vorzusehen (siehe Bild 5).

3.4 Beschränkung der Deckendurchbiegung

Wenn durch zu große Durchbiegungen der Stahlbetondecke Schäden an nicht tragenden Innenwänden entstehen können, so ist die Größe dieser Durchbiegungen durch gezielte Maßnahmen zu beschränken oder es sind andere bauliche Vorkehrungen zur Vermeidung derartiger Schäden zu treffen. Der Nachweis der Beschränkung der Deckendurchbiegung kann durch die Begrenzung der Biegeschlankheit geführt werden.

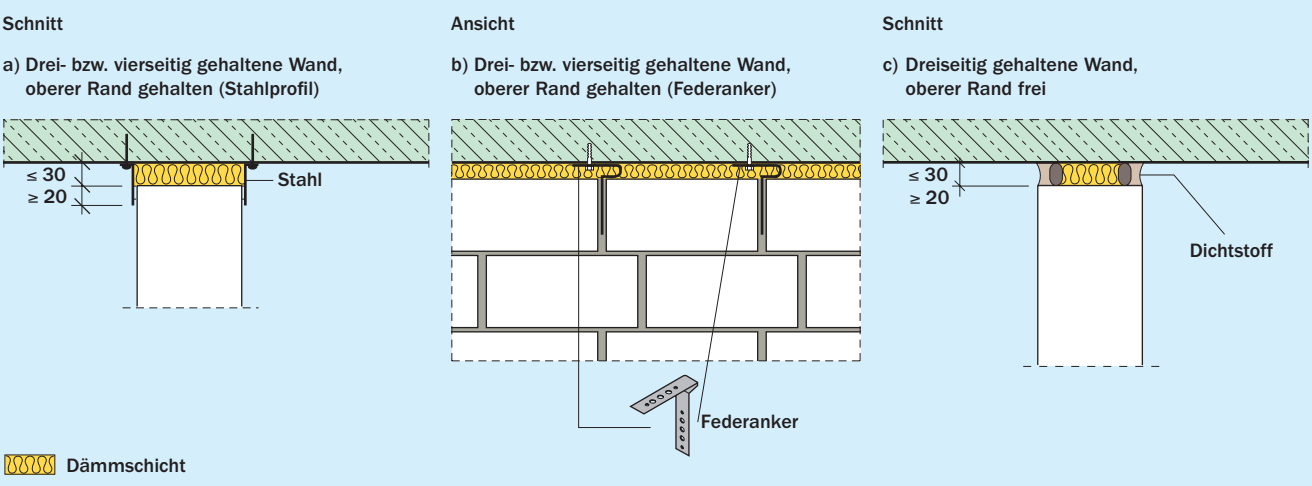
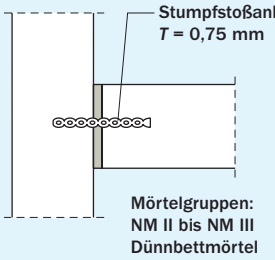
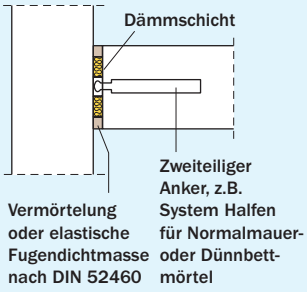
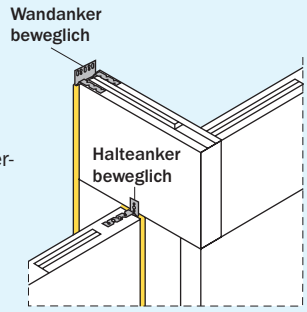
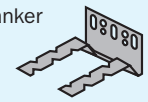
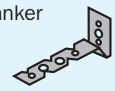
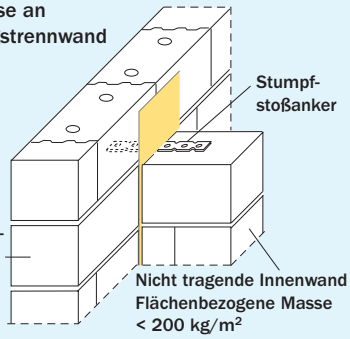


Bild 8 Deckenanschlüsse (gleitend)

Tafel 9 **Seitliche Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz**

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz[1]
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Starr gehalten** durch Maueranker und vollflächig satt vermörtelte Anschlussfuge mit NM oder DM	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten oder nicht vollflächiger Vermörtelung ist ggf. eine Entkopplung und Undichtigkeit anzunehmen.	**Anschlussfuge voll vermörtelt mit NM oder DM** EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch in Ankerschiene eingelegte Maueranker	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch Wandanker  durch Halteanker 	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Halteankern und Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse an Wohnungstrennwand  	**Gelenkig gehalten** durch Mauerwerksanker und nachgiebiger Füllung mit Mineralfaserstreifen des Stumpfstoßanschlusses	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

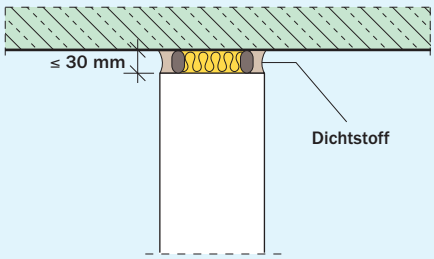
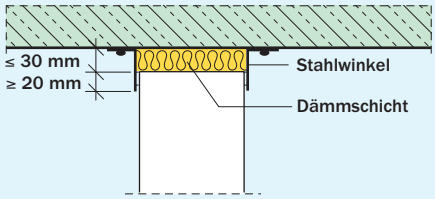
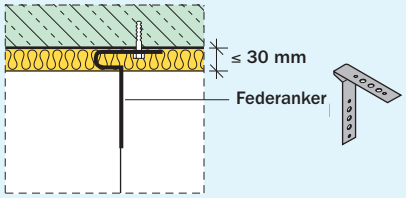
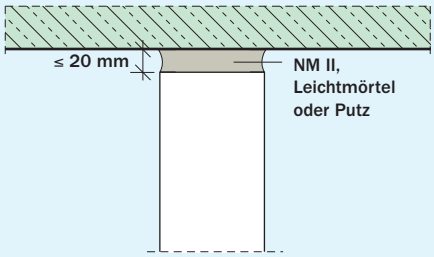
[1] Die Klassifizierung des Wandanschlusses entspricht der Klassifizierung der Wand, wenn die angegebenen Bedingungen eingehalten werden. Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2] Der Putz ist bei entkoppelten Anschlüssen mit einem Kellenschnitt zu trennen und nachträglich z.B. mit Acryl zu schließen.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Tafel 10 Obere Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz[1)]
	**Oberer Rand nicht gehalten** die Wand ist 3-seitig zu halten die Stoßfugen sind grundsätzlich zu vermörteln	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Dichtstoff, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60 Die Fugen müssen dicht ausgestopft werden. Für EI 30 mind. 50 mm; für EI 60 mind. 60 mm und für EI 90 und „Brandwände“ mind. 100 mm Breite der jeweiligen Wanddicke.
	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und nicht dicht** Als trennendes Bauteil nur geeignet mit zusätzlichem Fugendichtstoff in der Anschlussfuge	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Stahlwinkel, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
 Die Stoßfugen mit Federanker sind zu vermörteln.	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
	**Oberer Rand gehalten** mit Auflast infolge Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecke[2)] die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand Anschlussfuge vollständig durch NM II, Leichtmörtel oder Putz ausgefüllt	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Wänden mit Schallschutzanforderungen sollte diese Ausführungsvariante gewählt werden.	EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

[1)] Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2)] Bei Wandlängen > 5 m sollte dieser Anschluss mit dem Tragwerksplaner abgestimmt werden.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Die Schlankheit biegebeanspruchter Bauteile mit normalen Anforderungen nach Abschnitt 7.4.2 von DIN EN 1992-1-1/NA [18], die mit ausreichender Überhöhung der Schalung hergestellt werden, darf nicht größer sein als $l_f/d \leq K \cdot 35$.

Bei Deckenplatten, an die höhere Anforderungen gestellt werden, weil sie beispielsweise nicht tragende Innenwände zu tragen haben, sollte die Schlankheit wie folgt begrenzt werden:

$$\frac{l_f}{d} \leq K^2 \cdot \frac{150}{l_f} \text{ bzw. } d \geq \frac{l_f{}^2}{K^2 \cdot 150} \qquad (3.1)$$

mit

l_f Stützweite der Decke [m]
d Statische Höhe des biegebeanspruchten Bauteils [m]
K Beiwert zur Berücksichtigung der verschiedenen statischen Systeme nach Tafel 11

Auch Verformungen, die angrenzende Bauteile des Tragwerks beschädigen könnten, sind in der Regel zu begrenzen. Für die Durchbiegung unter quasi-ständiger Einwirkungskombination nach Einbau dieser Bauteile kann die Begrenzung 1/500 der Stützweite angenommen werden.

In DIN EN 1992-1-1/NA sind in Abschnitt 7.4.2 weitere Gleichungen zur Berechnung der zulässigen Biegeschlankheit angegeben, in welche neben der Betondruckfestigkeit auch der Längsbewehrungsgrad der Stahlbetonplatte eingeht. Es darf jedoch davon ausgegangen werden, dass unter Einhaltung dieser zulässigen Biegeschlankheiten die bereits erläuterte Begrenzung der Verformung von 1/500 der Stützweite eingehalten ist.

3.5 Vorteile massiver nicht tragender innerer Trennwände

Nicht tragende Innenwände aus Kalksandstein, die auch als Trennwände bezeichnet werden, zeichnen sich durch viele Vorteile gegenüber anderen Bauweisen aus. Diese Vorteile können in Anlehnung an die Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken in technische und soziokulturell-funktionale Qualitäten eingeteilt werden. Zu den technischen Qualitäten von Trennwänden aus Kalksandstein gehören neben den Vorzügen im statisch-konstruktiven Bereich vor allem die Vorteile in den bauphysikalischen Disziplinen des Brand-, Schall- und Wärmeschutzes. Die soziokulturell-funktionalen Qualitäten werden durch das entstehende Komfortniveau bestimmt. Hierzu gehören der thermische, visuelle und akustische Komfort sowie die Qualität der Innenraumluftqualität.

Die massive Bauweise von Trennwänden aus Kalksandsteinen mit ihrer homogenen Struktur aus Steinen und Mörtel zeichnet sich insbesondere durch hervorragende Stabilität aus. Hierzu zählt auch die herausragende Tragfähigkeit bei angehängten Konsollasten einschließlich der Dübelverankerung von Lasten, die beispielsweise durch schwere angehängte Küchenschränke entstehen. Durch die Wahl massiver Trennwände ergeben sich zudem erhebliche Vorteile hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit, da bei der Verwendung identischer Materialien für tragende und nicht tragende Außen- und Innenwände neben einem einheitlichem Putzgrund auch gleiche Verformungseigenschaften der Wände gegeben sind. Hierdurch wird in hohem Maße zur Vermeidung von Rissbildungen beigetragen.

In Bezug auf die bauphysikalischen Eigenschaften zeigen sich die Vorteile von KS-Mauerwerk vor allem im vorbeugenden baulichen Brandschutz. Die bauordnungsrechtlichen Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und an den Feuerwiderstand der Wände werden vollumfänglich erfüllt. Trennwände aus KS-Mauerwerk sind nicht brennbar und können damit auch nicht selbst zu einem Brand beitragen. Bei normgerechter Ausführung der Wandanschlüsse an die angrenzenden Bauteile wird der geforderte Feuerwiderstand problemlos erfüllt. Alle Brandschutzeigenschaften von KS-Mauerwerk sind zudem seit langem normativ geregelt und bedürfen keiner weiteren Prüfzeugnisse oder Bescheinigungen. Im Brandfall wirken sich die Materialeigenschaften von KS-Mauerwerk zudem positiv auf das Sicherheitsniveau der Gebäude aus, da der Entstehung und Ausbreitung von Rauch vorgebeugt wird.

Tafel 11 Beiwert K in Abhängigkeit der statischen Systeme nach DIN EN 1992-1-1/NA [18]

Statisches System	K
Frei drehbar gelagerter Einfeldträger; gelenkig gelagerte einachsig oder zweiachsig gespannte Platte	1,0
Endfeld eines Durchlaufträgers oder einer einachsig gespannten durchlaufenden Platte; Endfeld einer zweiachsig gespannten Platte, die kontinuierlich über einer längeren Seite durchläuft	1,3
Mittelfeld eines Balkens oder einer einachsig oder zweiachsig gespannten Platte	1,5
Platte, die ohne Unterzüge auf Stützen gelagert ist (Flachdecke) (auf Grundlage der größeren Spannweite)	1,2
Kragträger	0,4

Anmerkungen:
Die angegebenen Werte befinden sich im Allgemeinen auf der sicheren Seite. Genauere rechnerische Nachweise führen zu dünneren Bauteilen. Für zweiachsig gespannte Platten ist in der Regel der Nachweis mit der kürzeren Stützweite zu führen. Bei Flachdecken ist in der Regel die größere Stützweite zugrunde zu legen. Die für Flachdecken angegebenen Grenzen sind weniger streng als der zulässige Durchhang von 1/250 der Stützweite. Erfahrungsgemäß ist dies ausreichend.

Auch bei anderen Schadensszenarien kann der günstige Beitrag einer massiven Bauweise mit Kalksandsteinen genutzt werden. So wird beispielsweise bei Eintritt eines Hochwasserereignisses das materielle Schadensausmaß deutlich verringert. Die erforderliche Trocknung massiver Kalksandsteinwände ist erheblich günstiger als eine Kompletterneuerung durchfeuchteter Verkleidungs- und Dämmmaterialien bei Konstruktionen in Leichtbauweise. Zudem widerstehen massive Trennwände absichtlichen oder unabsichtlichen Beanspruchungen, z.B. durch Vandalismus, deutlich besser.

Ein weiterer bauphysikalischer Vorteil zeigt sich im Hinblick auf die energetische Qualität des Gebäudes. Massive Trennwände aus KS-Mauerwerk sind aufgrund ihrer hohen Masse und Trägheit bei Temperaturänderungen in der Lage,

thermische Energie zu puffern. Sie können zusätzliche Wärme- bzw. Kälteenergie aufnehmen, speichern und erst zeitverzögert im Tag-Nacht-Rhythmus wieder abgeben. Auch hinsichtlich des akustischen Komforts schützt die Trennwand aus KS-Mauerwerk den Nutzer vor Schallbelästigungen aus anderen Wohnbereichen in hohem Maße. Die große Rohdichte von Kalksandsteinen ist ausschlaggebend für die gute schallschutztechnische Qualität der Gebäude.

Für das Wohlbefinden und insbesondere die Gesundheit der Nutzer ist die Innenraumluftqualität in Gebäuden von entscheidender Bedeutung. Trennwände aus KS-Mauerwerk sind zur Sicherstellung einer hohen Innenraumluftqualität hervorragend geeignet. Dies gilt insbesondere, weil Trennwände aus Kalksandstein unbehandelt auch als Sichtmauerwerk ausgeführt werden können und in anderen Fällen auch die heute verfügbaren Ausbaumaterialien (Spachtelmassen, Putze, Anstriche etc.) emissionsarm sind. Vor allem ältere Menschen und Kinder gelten als besonders empfindlich hinsichtlich einer Belastung der Innenraumluft mit Schadstoffen biologischer (Schimmelpilze, Milben etc.) oder chemisch-physikalischer Herkunft (Faserstäube, Lösungsmittel, Halogene etc.). Ein erheblicher Teil an potentiellen Schadstoffquellen in Gebäuden kann bereits in der Planungsphase vermieden werden, indem bei der Auswahl von Baumaterialien emissionsarme Produkte in Verbindung mit Trennwänden aus KS-Mauerwerk gewählt werden.

3.6 Schadensfreie Ausführung

Zur schadensfreien Ausführung nicht tragender Innenwände sind folgende Konstruktions- und Ausführungshinweise zu beachten:

- Begrenzung der Deckendurchbiegung durch Einhalten einer Grenzschlankheit (siehe Abschnitt 3.4)
- Verringerung der Deckendurchbiegung aus Kriechen und Schwinden durch Beachtung der Ausschalfristen und sorgfältige Nachbehandlung des Betons nach DIN EN 1992-1-1/NA [18]. Bei kurzen Ausschalfristen sind wirksame Notstützen zu setzen.
- Nicht tragende Innenwände möglichst spät, d.h. nach Ausschalen der Geschossdecken, aufmauern und ggf. verputzen. Um feuchtebedingte Verformungen gering zu halten, sollten auf der Baustelle die Materialien – Mauersteine, Bauplatten – trocken gelagert bzw. vor starker Durchfeuchtung geschützt werden.
- Durchbiegungen der unteren Decke können bei nicht tragenden Innenwänden zu einer Lastabtragung als Gewölbe oder Biegeträger führen. Es wird empfohlen, die Innenwände als selbsttragend (z.B. als Dünnbettmauerwerk) auszubilden. Zudem sollte die Wand auf eine Trennlage R 500 aufgemauert werden.
- Bei großen Deckenstützweiten können weitere Maßnahmen, z.B. eine Bewehrung der Wand zur Erhöhung der Risssicherheit, erforderlich werden.
- Die Mauerwerksbewehrung wird in die Lagerfugen eingelegt und hat den Zweck, die Bogentragwirkung zu stärken und Risse zu verhindern oder zumindest so zu verteilen, dass sie unschädlich sind [19].
- Bei der Anordnung von Schlitzen sind die Angaben in DIN EN 1996-1-1/NA [1] zu beachten.
- Die Schlitztiefe ist generell zu berücksichtigen. Im üblichen Fall sollte diese von der Wanddicke t abgezogen werden und die Wand anschließend mit dem reduzierten Wandquerschnitt bemessen werden.
- Schlitze für Elektroinstallationen sind mit dafür geeigneten Geräten zu sägen oder zu fräsen, damit das Gefüge des Mauerwerks nicht zerstört wird und die Standsicherheit gewährleistet bleibt. Nach Verlegen der Elektroinstallation lassen sich diese Schlitze problemlos mit Putz schließen.

3.7 Nicht tragende Innenwände aus KS-Bauplatten BP7

Schlanke nicht tragende Innenwände aus KS-Bauplatten mit 70 mm Dicke haben sich seit vielen Jahren im Wohnungsbau, aber auch in Büro- und Wirtschaftsbauten, im Schul- und Krankenhausbau bewährt. Durch ihr günstiges Format und das Nut-Feder-System lassen sie sich äußerst rationell versetzen. Durch die Verarbeitung mit Dünnbettmörtel gelangt während der Herstellungsphase zudem wenig Baufeuchte in den Rohbau. Stoß- und Lagerfugen sind zu vermörteln. KS-Bauplatten sind auch für den nachträglichen Einbau, für Ausbauten und Sanierungen im Baubestand sehr gut geeignet.

Auch für nicht tragende Innenwände kann alternativ das bereits in Abschnitt 2.3 erläuterte Bemessungsverfahren der Technischen Universität Darmstadt [5], [6] angewandt werden, um erforderlichenfalls größere Wandlängen ausnutzen zu können. Jedoch ist bei nicht tragenden Innenwänden eine direkte Berechnung der Wandlänge nicht möglich, da die bezogene Traglast Y_w von der absoluten Wandhöhe h und gleichzeitig über das Seitenverhältnis von der Wandlänge l abhängt, so dass eine iterative Berechnung erforderlich ist.

Nachfolgende Gleichung gibt die maximale Länge der Wand in Abhängigkeit der einwirkenden Horizontallast an.

$$l_{max} = \frac{1}{q_{h,d}} \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{t^2}{h} \cdot Y_w \qquad (3.2)$$

mit

l	Wandlänge [m]
$q_{h,d}$	Horizontale Holmlast = $q_{h,k} \cdot \gamma_Q$
f_{tk1}	Vertikale Biegezugfestigkeit
f_{tk2}	Horizontale Biegezugfestigkeit
μ_t	Biegezugverhältnis: $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$
Y_w	Bezogene Traglast in Abhängigkeit von: Lagerungsbedingungen, h, h/l, μ_t
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite: $\gamma_M = 1{,}0$
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite: $\gamma_Q = 1{,}0$
h	Wandhöhe [m]
t	Wanddicke [m]

Damit können 70 mm dicke Wandbauplatten alternativ zur Ermittlung nach den Tafeln 7 und 8 entsprechend nachgewiesen werden. Da die Wandbauplatten nur als nicht absturzsichernde Trennwände eingesetzt werden (Nachweis der Gebrauchstauglichkeit), ist im Schadensfall die Auswirkung gering. Vor diesem Hintergrund ist ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1{,}0$ ausreichend (siehe [20]).

In Tafel 12 sind für den Haupteinsatzbereich (Einbaubereich 1 – siehe Abschnitt 3.1.2) die zulässigen Wandlängen für Kalksandstein-Wandbauplatten KS BP7 mit einer Wanddicke von t = 70 mm in Dünnbettmörtel mit Stoßfugenvermörtelung ohne Auflast angegeben. Die Werte gelten für ein Überbindemaß von $l_{ol} / h_u \geq 0{,}2$ und charakteristische Biegezugfestigkeiten von $f_{tk1} = 0{,}34$ N/mm² und $f_{tk2} = 0{,}49$ N/mm², die in [20] ermittelt wurden.

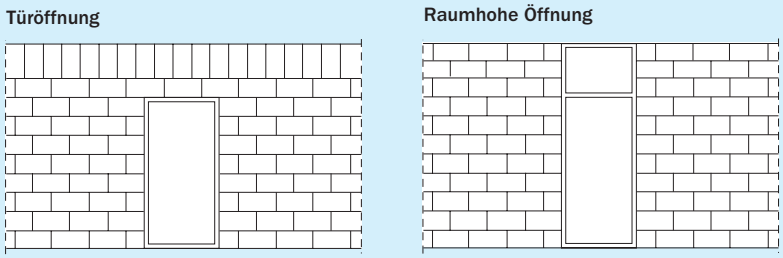
Weitere Vorteile von Wänden aus KS-Bauplatten sind:

- hohe Beständigkeit, unempfindlich gegen Feuchtigkeit
- Flächengewinn durch geringe Wanddicken
- glatte ebene Wandflächen mit hoher Maßgenauigkeit
- hohe Eigenstabilität der Wände bereits bei der Erstellung
- gute Tragfähigkeit für Konsollasten und für Dübel
- freie Grundrissgestaltung wegen relativ geringer Wandflächengewichte, die bei üblichen Einsatzgebieten im Wohnungsbau als Zuschlag zur Verkehrslast bei der Deckendimensionierung berücksichtigt werden können
- hohe Steinrohdichte, bereits bei 7 cm Dicke mit einem Direktschalldämm-Maß R_w 046 dB (RDK 2,0 zzgl. 2 · 10 mm Putz) für guten Schallschutz auch innerhalb der Wohnungen
- sicherer Brandschutz, nichtbrennbar; EI 60 ab 70 mm Dicke

Bei Türüberdeckungen bis etwa 1 m Breite werden die Platten ohne Sturz fortlaufend verlegt und vermörtelt (Bild 9). Während der Bauphase wird empfohlen, die Bauplatten im Öffnungsbereich mit einem horizontal angeordneten Kantholz zu unterstützen. Vom Arbeitsablauf rationeller ist es jedoch, raumhohe Öffnungen mit entsprechend ausgebildeten Türzargen vorzusehen. In diesem Fall kann bei der Ermittlung der Grenzmaße von einer vertikalen Halterung der nicht tragenden Innenwand ausgegangen werden.

Tafel 12 Erhöhte Wandlängen nicht tragender Innenwände aus KS-Bauplatten BP7

Wanddicke t = 70 mm, Überbindemaß $l_{ol}/h_u \geq 0{,}2$, Dünnbettmörtel, mit Stoßfugenvermörtelung			
	Wandhöhe [m]	Zulässige Wandlänge [m]	
		4-seitig gehalten, seitlich gelenkig gelagert	3-seitig gehalten, seitlich gelenkig gelagert; freier seitlicher Rand
Einbaubereich 1	2,5	12,0	12,0
	3,0	12,0	12,0
	3,5	12,0	12,0
	4,0	12,0	12,0
	≤ 4,5	12,0	12,0



Durch raumhoch angelegte Türöffnungen in nicht tragenden Wänden kann der zusätzliche Arbeitsaufwand für die Stürze eingespart werden. Bei üblicher Ausführung erfolgt der Höhenausgleich unter der Decke durch abgelängte, hochkant stehende, vermauerte Platten. Schmale Zuschnittplatten sind zu vermeiden.

Bild 9 Türöffnungen

Literatur

[1] DIN EN 1996-1-1:2013-02 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 + A1:2014-03 + A2:2015-01

[2] DIN EN 1996-3:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; in Verbindung mit DIN EN 1996-3/NA:2012-01 + A1:2014-03 + A2:2015-01

[3] DIN 4103-1:2015-06: Nicht tragende innere Trennwände – Teil 1: Anforderungen und Nachweise

[4] Kirtschig, K.: Gutachtliche Stellungnahme zur Größe der Ausfachungsflächen von nicht tragenden Außenwänden unter Verwendung von großformatigen Kalksandsteinen. Hannover Juli 1993

[5] Richter, L.: Tragfähigkeit nicht tragender Wände aus Mauerwerk, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2009

[6] Graubner, C.-A.; Richter, L.: Nicht tragende Wände aus Mauerwerk; Forschungsbericht F01-06; Juni 2008

[7] Brameshuber, W., Saenger, D.: Forschungsbericht F 7066 – Erarbeiten einer elektronischen Datenbank zu Biegezugfestigkeitsversuchen an Mauerwerk aus Kalksandsteinen sowie Auswertung der Daten; Aachen, 28.11.2011

[8] Graubner, C.-A.; Richter, L.: Nicht tragende Wände aus Mauerwerk; Forschungsbericht F01-08; September 2008

[9] DIN EN 1991-1-4:2010-12 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; in Verbindung mit DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12

[10] DIN EN 1990:2010-12 Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; in Verbindung mit DIN EN 1990/NA:2010-12

[11] DIN EN 1991-1-1:2010-12 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; in Verbindung mit DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12

[12] Röser, W.; Gusia, W.: Gutachten Deckenzuschläge für nicht tragende Wände aus Kalksandstein; Aachen 2005 + A1:2015-05

[13] Kirtschig, K.: Gutachtliche Stellungnahmen zur Tragfähigkeit von nicht tragenden KS-Innenwänden. Hannover Mai 1988, Oktober 1986, Januar 1992, Januar 1993, Mai 1998

[14] Kirtschig, K.; Anstötz, W.: Zur Tragfähigkeit von nichttragenden inneren Trennwänden in Massivbauweise. – In: Mauerwerk-Kalender 11, S. 697–734, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1986

[15] DGfM Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V.; ZDB Zentralverband Deutsches Baugewerbe (Hgg.): Nicht tragende innere Trennwände aus Mauerwerk; Berlin, 2. Auflage 2017

[16] Kirtschig, K.: Gutachten zu nicht tragenden, unter Verwendung von Dünnbettmörteln hergestellten KS-Innenwänden mit nichtvermörtelten Stoßfugen, 27.4.1998

[17] Schubert, P.: Zur rissfreien Wandlänge von nicht tragenden Mauerwerkswänden. – In: Mauerwerk-Kalender 13, S. 473–488, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1988

[18] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + A1:2015-03 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 + A1:2015-12

[19] Mann, W.; Zahn, J.: Bewehrtes Mauerwerk zur Lastabtragung und zur konstruktiven Rissesicherung, N. V. Bekaert S. A., 1996

[20] Graubner, C.-A.; Brehm, E.; Schmitt, M.: Bericht – Nicht tragende Innenwände aus Kalksandstein – Wandbauplatten KS P7; Frankfurt, 2011

Bildnachweise

Bild S. 124: Dariusz Jarzabek/AdobeStock; **Bild S. 125:** Erich Spahn

Bild 4: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 7

SICHTMAUERWERK

Stand: 08/2025

Prof. Dr.-Ing. Manfred Prepens

KS-Sichtmauerwerk mit glatter oder strukturierter Oberfläche bietet eine Fülle von gestalterischen Möglichkeiten, speziell auch in Kombination mit anderen Baustoffen, wie Holz, Glas und Beton. Das feine Fugennetz gliedert die Sichtmauerwerksflächen maßstäblich und unaufdringlich. KS-Sichtmauerwerk kann unbehandelt bleiben, farblos imprägniert oder deckend gestrichen werden.

Sowohl bei Außen- als auch bei Innenwänden wird KS-Sichtmauerwerk als Gestaltungselement eingesetzt.

Außensichtmauerwerk

Nach DIN EN 1996-2/NA [1] sind frostwiderstandsfähige Kalksandsteine nach DIN 20000-402 [2] zu verwenden und zwar

- KS-Verblender (KS Vb) oder KS-Vormauersteine (KS Vm) für zweischaliges Mauerwerk mit oder ohne Wärmedämmung
- KS-Verblender (KS Vb) oder KS-Vormauersteine (KS Vm) für einschaliges Außensichtmauerwerk
- KS-Verblender (KS Vb) bei Kellereingangsmauern, Stütz- und Gartenmauern, stark strukturiertem Mauerwerk, Schornsteinköpfen und ähnlichen Anwendungsbereichen

Innensichtmauerwerk

Für Innensichtmauerwerk spielt die Frostwiderstandsfähigkeit der Steine üblicherweise keine Rolle. Für Innensichtmauerwerk ist im Einzelfall zu entscheiden, ob KS-Verblender, KS-Vormauersteine oder Kalksandsteine ohne besondere Anforderungen (Hintermauersteine) – letztere bei geringeren optischen Anforderungen – zur Anwendung kommen. Regional werden auch Kalksandsteine mit höheren optischen Anforderungen für Innensichtmauerwerk angeboten.

Tafel 1 Außen- und Innensichtmauerwerk – Unterschiede

Außensichtmauerwerk	Innensichtmauerwerk
Verblendmauerwerk von ein- und zweischaligen Außenwänden	Innensichtmauerwerk mit optischen Anforderungen
Verblendmauerwerk für Industriebauten und Bauten in der Landwirtschaft	Sichtbar belassenes Innenmauerwerk mit geringen optischen Anforderungen, z.B. in untergeordneten Räumen

1. Planung und Ausschreibung

Der *Begriff Sichtmauerwerk* ist nicht eindeutig definiert. Einheitliche Kriterien für das optische Erscheinungsbild von Sichtmauerwerk gibt es nicht. Um Missverständnisse zwischen Planern, Bauunternehmern und Bauherren zu vermeiden, muss daher die erwartete Leistung – das Sichtmauerwerk – in der Leistungsbeschreibung möglichst vollständig und eindeutig beschrieben werden. Zu empfehlen ist, dass in der Leistungsbeschreibung neben Mustersteinen auch eine Musterfläche vereinbart wird. Mit Hilfe einer solchen Musterfläche können Steine, Mauerverband und Verfugung festgelegt und abgestimmt werden.

Die *konstruktive Ausführung* von Mauerwerk dagegen ist in Normen, Richtlinien und Merkblättern eindeutig beschrieben.

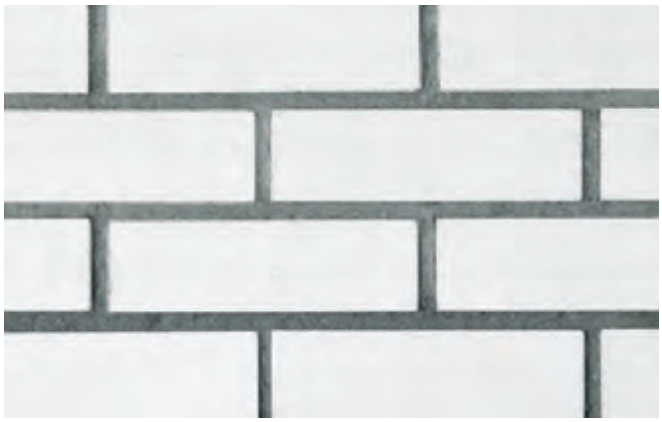


Bild 1 Sichtmauerwerk aus glatten KS-Verblendern, Format NF

Bild 2 Sichtmauerwerk aus bruchrauen KS-Verblendern, Format NF

Bild 3 Sichtmauerwerk aus bossierten KS-Verblendern, Format NF, weißer Fugenmörtel

Bild 4 Sichtmauerwerk aus KS-Fasensteinen, außen in Verblenderqualität und mit vermörtelten Stoßfugen

Konstruktive Ausführung

Sicht- und Verblendmauerwerk wird nach der Mauerwerksnorm DIN EN 1996/NA [1] ausgeführt sowie nach VOB/C:ATV DIN 18330 [3] ausgeschrieben und abgerechnet.

Von der Tradition her gibt es weiterhin Regeln und Festlegungen bei den Mauerverbänden, z.B. bei Läuferverband, Kreuzverband, Blockverband.

Festgelegt sind:

- die Soll-Dicken der Fugen mit Stoßfugen = 1 cm und Lagerfugen in der Regel 1,2 cm (formatabhängig)
- das Überbindemaß beträgt mindestens das 0,4-fache der Steinhöhe. Bei Schichthöhen unter 12,5 cm gilt $l_{ol} \geq 4{,}5$ cm
- die Begrenzung der zulässigen Maßabweichungen der Steine und des Sichtmauerwerks

Diese Festlegungen sind konstruktiv begründet und betreffen sowohl Sichtmauerwerk als auch Hintermauerwerk, das verputzt wird. Sie sagen jedoch wenig über das optische Erscheinungsbild aus.

Tafel 2 Übersicht über verschiedene Anwendungsbereiche und die entsprechenden Steinarten

Anforderungen an die Steine	Steinart	Anwendungsbereich, Beispiele
Hohe optische Anforderungen, Frostwiderstandsfähigkeit	KS-Verblender (KS Vb); mit oder ohne Anstrich oder Imprägnierung	Verblendmauerwerk von ein- und zweischaligen Außenwänden
Normale optische Anforderungen, Frostwiderstandsfähigkeit	KS-Verblender (KS Vb); KS-Vormauersteine (KS Vm)	Außensichtmauerwerk für Industriebauten und Bauten in der Landwirtschaft
Hohe optische Anforderungen, jedoch keine Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit	KS-Verblender (KS Vb); mit oder ohne Anstrich	Innensichtmauerwerk in Wohnbereichen und repräsentativen Gebäuden
Geringe optische Anforderungen, keine Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit	Kalksandsteine (auch nicht frostwiderstandsfähige), vorzugsweise mit Anstrich oder Schlämme	Sichtbar belassenes Innenmauerwerk in untergeordneten Räumen, Kellermauerwerk, Industriebauten und Bauten in der Landwirtschaft

2. Einflüsse auf die Gestaltung von KS-Sichtmauerwerk

Einflüsse auf die Gestaltung von KS-Sichtmauerwerk sind

- Steinart und Steinformat
- Steinoberfläche
- Mauerverband
- Verfugung
- Oberflächenbehandlung

2.1 Steinart und Steinformat

Für hochwertiges Sichtmauerwerk sind KS-Verblender zu verwenden. Sofern das Sichtmauerwerk nicht deckend gestrichen wird, sind die Verblendsteine für ein Gebäude nur von einem Werk zu beziehen, da sonst Farbunterschiede nicht zu vermeiden sind.

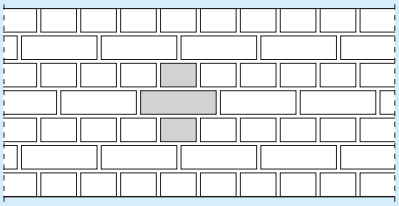
Weiterhin sollten die Liefermengen so disponiert werden, dass sie für einen Bauabschnitt oder zumindest für einen Wandabschnitt ausreichen, da auch geringe Unterschiede von Produktionscharge zu Produktionscharge nicht ganz auszuschließen sind.

INFO

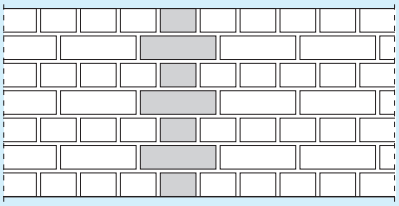
KS-Verblender und KS-Vormauersteine haben herstellungsbedingt jeweils nur eine kantensaubere Kopf- und Läuferseite. Das ist beim Vermauern durch entsprechendes Drehen der Steine zu berücksichtigen. Bei erhöhten Anforderungen, wie z.B. beidseitigem Ein-Stein-Sichtmauerwerk, kann es erforderlich sein, auf der Baustelle eine gewisse Anzahl von Steinen auszusortieren.

KS-Verblender gibt es in sehr unterschiedlichen Formaten, vom DF (Schichthöhe 6,25 cm) und NF (Schichthöhe 8,3 cm) zum 2 DF (Schichthöhe 12,5 cm) und größeren Formaten, z.B. 4 DF (115) (Schichthöhe 25 cm).

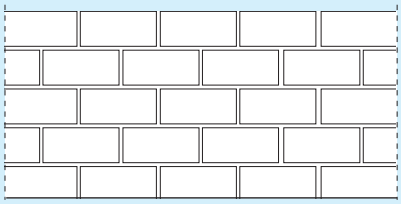
Hierbei ist zu berücksichtigen: Je größer das Steinformat ist, desto stärker fallen Unregelmäßigkeiten bei den Steinen oder insbesondere beim Mauerverband auf. Bei großformatigen Verblendsteinen sollten daher der Mauerverband, die Eckausbildungen sowie das Einpassen der Tür- und Fensteröffnungen in den Mauerwerksverband geplant werden.



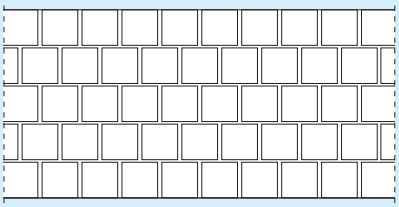
Kreuzverband



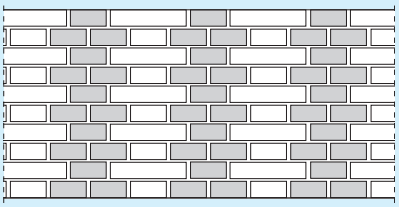
Blockverband



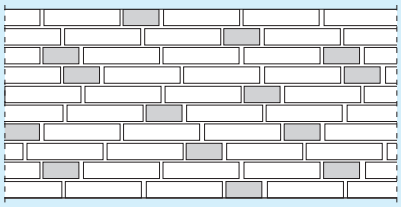
Läuferverband, besonders günstig mit Halbstein-Überbindung



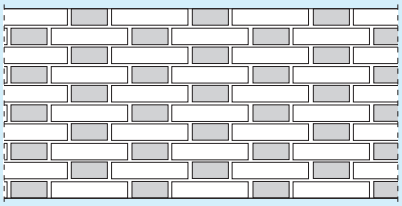
Binderverband



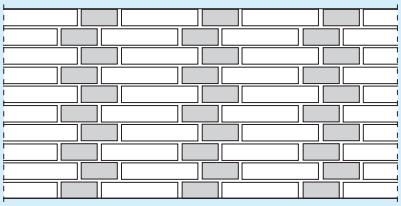
Holländischer Verband



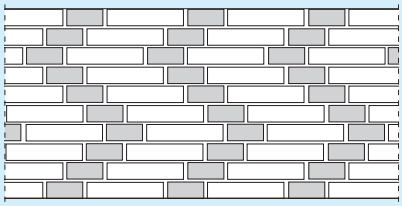
Wilder Verband



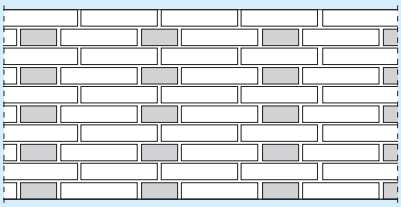
Gotischer Verband mit Läufer-Binder-Schichten



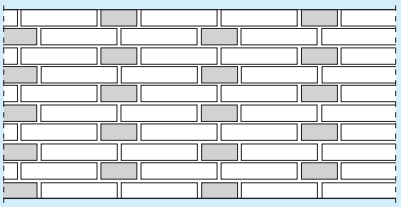
Gotischer Verband – Abwandlung



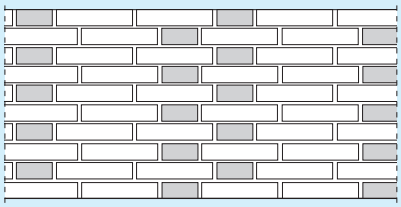
Gotischer Verband – Abwandlung als Zickzack-Verband



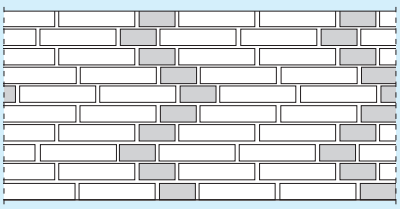
Gotischer Verband – Abwandlung mit Läuferschichten



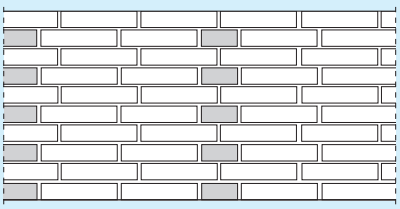
Märkischer Verband mit Läufer-Binderschichten



Märkischer Verband – Abwandlung



Märkischer Verband – Abwandlung als Zickzack-Verband



Märkischer Verband – Abwandlung mit Läuferschichten

Jeder Grundverband kann durch Verschieben der Schichten abgewandelt werden.

Bild 5 Mauerverbände für Sicht- und Verblendmauerwerk, Beispiele

2.2 Steinoberfläche

Durch die Wahl der Steinoberfläche – glatt oder strukturiert (bruchrau, bossiert oder gefast) – lassen sich sehr unterschiedliche gestalterische Wirkungen erreichen (Bilder 1 bis 4).

2.3 Mauerverband

Sichtmauerwerk von KS-Verblendschalen oder Einsteinmauerwerk mit einer Steinreihe je Schicht wird meist im Läuferverband ausgeführt. Zur Verbesserung der Risssicherheit ist ein Mauerverband mit halbsteiniger Überdeckung einem Verband mit viertelsteiniger Überdeckung vorzuziehen (Beispiel Bild 5).

2.4 Verfugung

Die Art der Verfugung hat ebenfalls großen Einfluss auf das Erscheinungsbild. Die nachfolgend dargestellten Ausführungsvarianten können zur Anwendung kommen.

2.4.1 Nachträgliche Verfugung

Die *nachträgliche Verfugung* führt zu glatten Fugen. Der Fugenmörtel wird nach Fertigstellung der Sichtmauerwerksfläche in einem separaten Arbeitsgang eingebracht. Dadurch kann die Mörtelfugenfarbe unabhängig vom Mauermörtel gewählt werden.

Fugenfarbe: Die Farbe des Fugenmörtels bestimmt den Kontrast zwischen Steinen und Fugen. Weiße Verblendsteine mit weißen Mörtelfugen ergeben ein flächig wirkendes Sichtmauerwerk. Steine und Fugen treten in der Fläche optisch stark zurück. Bei dunklem Fugenmörtel und hellen Steinen sind die einzelnen Steine und Schichten deutlicher erkennbar.

Außenschalen mit Dicken < 105 mm müssen nach DIN EN 1996-2/NA grundsätzlich mit Fugenglattstrich ausgeführt werden.

2.4.2 Fugenglattstrich

Der *Fugenglattstrich* ergibt im Allgemeinen halbrund geformte Fugen. Der Mauermörtel wird beim Aufmauern des Sichtmauerwerks mit einem Schlauch oder einem Fugholz glattgestrichen.

INFO

Für Außensichtmauerwerk sind frostwiderstandsfähige KS-Verblender und KS-Vormauersteine nach DIN 20000-402 und vorzugsweise Werk-Trockenmörtel zu verwenden.

Für Innensichtmauerwerk ohne Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit sollten bei hohen optischen Anforderungen ebenfalls KS-Verblender oder KS-Vormauersteine verwendet werden. Bei geringeren optischen Anforderungen, z.B. bei Kellermauerwerk, Industrie- und Wirtschaftbauten, können auch Kalksandsteine ohne besondere optische Anforderungen zur Anwendung kommen.

Verblendsteine für ein Gebäude sollten nur von einem Werk bezogen werden, da sonst Farbunterschiede nicht zu vermeiden sind. Weiterhin empfiehlt es sich, die Liefermengen so zu disponieren, dass sie für einen Bauabschnitt oder zumindest für einen Wandabschnitt ausreichen.

Eventuelle Mängel an den Steinen müssen bei der Anlieferung, in jedem Fall jedoch vor der Verarbeitung dem Lieferanten angezeigt werden. Keinesfalls sollten Steine verarbeitet und erst später reklamiert werden.

Ein langfristig einwandfreies Erscheinungsbild von KS-Sichtmauerwerk setzt voraus, dass das Mauerwerk handwerksgerecht erstellt wird. Es ist auch auf eine wirksame Ableitung des Regenwassers zu achten. Horizontale und schräge Mauerwerksflächen sind mit wasserundurchlässigen Materialien abzudecken. Fensterbänke und Attikaabdeckungen sollten mit Überstand und Tropfkante ausgeführt werden.

2.4.3 Geschlämmtes Mauerwerk

Geschlämmtes Mauerwerk wird häufig bei Kellermauerwerk, in Nebenräumen oder bei Industriebauten als preisgünstige Form des Sichtmauerwerks (sichtbar belassenes Mauerwerk) mit Abstrichen an das optische Erscheinungsbild ausgeführt.

Durch das Schlämmen mit einem Quast beim Aufmauern entsteht ein mehr oder weniger „rustikales Sichtmauerwerk“, das anschließend mit einem deckenden Anstrich versehen werden

kann. Wirtschaftlich erstelltes KS-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel und unvermörtelten Stoßfugen erhält durch Schlämmen eine optisch geschlossene Oberfläche.

2.5 Oberflächenbehandlung

Sichtmauerwerk kann aus optischen Gründen farblos imprägniert oder mit einem deckenden Anstrich versehen werden.

Auf witterungsbeanspruchtem KS-Außensichtmauerwerk sind nur Beschichtungen und Imprägnierungen geeignet, die die Wasserdampfdurchlässigkeit gegenüber dem unbehandelten Stein nicht erheblich vermindern (siehe auch Abschnitt 7.4.1). Deshalb sollten für KS-Außensichtmauerwerk nur Imprägniermittel und Beschichtungssysteme angewendet werden, die vom Hersteller des Beschichtungssystems ausdrücklich für KS-Außensichtmauerwerk als geeignet angegeben sind.

Eine *farblose Imprägnierung* verändert das Erscheinungsbild des Sichtmauerwerks nicht, sie wirkt einer Verschmutzung insbesondere bei Verblendsteinen mit strukturierten Oberflächen entgegen. Nach Regen trocknet das Sichtmauerwerk an der Oberfläche gleichmäßig und schnell ab.

3. Mörtel und Verfugung

Die Steine entziehen dem frischen Mörtel einen Teil des Anmachwassers. Damit der Mörtel nicht „aufbrennt“, muss der Mörtel ein auf die Saugcharakteristik der Kalksandsteine abgestimmtes Wasserrückhaltevermögen haben.

Für KS-Sichtmauerwerk müssen die Mörtel frei sein von Salzen, Lehmanteilen und anderen organischen oder anorganischen Verunreinigungen, die zu Ausblühungen oder Verfärbungen des Sichtmauerwerks führen können. In der Praxis gut bewährt haben sich Werk-Trockenmörtel.

Für KS-Sichtmauerwerk ist die Lieferform Werk-Trockenmörtel dem Baustellenmörtel aus folgenden Gründen vorzuziehen:

- gleich bleibend hohe Qualität und Sicherheit durch Gewährleistung einer genaueren Dosierung der Mörtelausgangsstoffe und damit einfache Handhabung auf der Baustelle
- einheitliche Farbe der Fugen
- Abstimmung des Wasserrückhaltevermögens auf das Saugverhalten der jeweiligen Kalksandstein-Verblender und damit höhere Sicherheit gegen das „Aufbrennen“ des Mörtels
- hoher und schneller Haftverbund
- einfachere Logistik durch gleichzeitige Lieferung von Steinen und Mörtel

3.1 Nachträgliche Verfugung

Nach VOB/C ATV DIN 18330 ist die Ausführung mit Fugenglattstrich die Regelausführung. Dies ist bei Ausschreibung bzw. Angebot zu beachten. Außenschalen von zweischaligem Verblendmauerwerk mit Dicken < 105 mm dürfen nur mit Fugenglattstrich ausgeführt werden.

Bei der nachträglichen Verfugung beträgt die Mindestdicke der Außenschale 105 mm. Die Fugen sind mindestens 1,5 cm tief und flankensauber beim Aufmauern „auszukratzen“.

Das Auskratzen der Fugen soll mit einem geeignetem Werkzeug erfolgen (Bild 6). So werden Beschädigungen an den Steinkanten vermieden und es wird eine gleichmäßige Fugentiefe erreicht.

Der Fugenmörtel wird in einem späteren Arbeitsgang hohlraumfrei so eingebracht, dass die Fugen mit der Vorderkante der Steine bzw. des Mauerwerks bündig abschließen.

3.1.1 Ausführung

Die Fugen des Sichtmauerwerks werden gründlich gesäubert und vorgenässt. Danach wird der erdfeuchte bis plastische Fugenmörtel mit einer Fugenkelle hohlraumfrei eingebracht und verdichtet. Dabei werden die Lager- und Stoßfugen gut miteinander verbunden. Es ist auf eine gute Flankenhaftung des Mörtels an den Steinen zu achten.

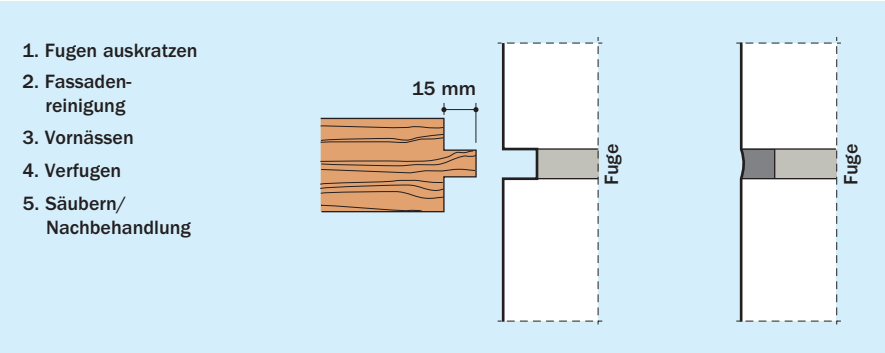


Bild 6 Arbeitsschritte bei nachträglicher Verfugung, Steinbreite ≥ 105 mm

Bild 7 Nachträgliche Verfugung

Es ist zu vermeiden, dass der Fugenmörtel über die Verblendsteine gewischt wird, insbesondere bei weißem Fugenmörtel ist darauf zu achten, dass nicht durch ungeeignetes Werkzeug Stahlabrieb die weißen Fugen dunkel verfärbt. Es sollte z.B. eine Fugkelle aus nicht rostendem Stahl verwendet werden.

3.1.2 Nachbehandlung

Um ein gleichmäßiges Fugenbild zu erzielen, sollte die nachträgliche Verfugung nur bei günstiger trockener Witterung ausgeführt werden. Das frische Sichtmauerwerk ist vor starkem Regen und starker Sonneneinstrahlung zu schützen und bei sommerlicher trockener Witterung mit Wasser zu besprühen.

3.2 Fugenglattstrich

Das Sichtmauerwerk wird vollfugig erstellt. Beim Fugenglattstrich sind die Fugen in ihrer ganzen Tiefe „aus einem Guss“, das heißt, der Mauermörtel ist gleichzeitig auch der Fugenmörtel. Hierbei handelt es sich um eine technisch einwandfreie und sehr wirtschaftliche Technik, bei der jedoch vorauszusetzen ist, dass die Maurer die Technik des Fugenglattstrichs beherrschen und ein optisch einwandfreies Fugenbild erstellen können.

Für diese Technik muss der Mauermörtel eine gute Verarbeitbarkeit und ein günstiges Wasserrückhaltevermögen besitzen. Beim Hervorquellen aus den Fugen darf der Mörtel nicht an den Steinen herunter laufen und diese verschmutzen. Gut bewährt haben sich die auf KS-Sichtmauerwerk eingestellten Werk-Trockenmörtel (Bild 8).

Bild 8 Fugenglattstrich

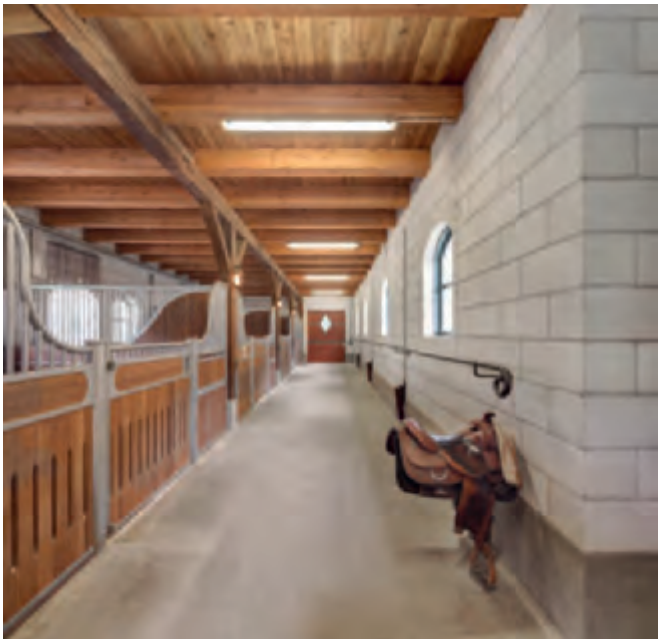
3.2.1 Ausführung

Beim Aufmauern wird der herausquellende Mauermörtel nach Beginn des Ansteifens mit einem Fugholz oder Schlauchstück – ggf. über ein Fugeisen gezogen – glattgestrichen und dabei verdichtet.

Bedingt durch diese Technik ergibt sich eine leicht gerundete Fuge, die die Steinkanten verbindet.

3.2.2 Nachbehandlung

Das frische Sichtmauerwerk muss vor starkem Regen und starker Sonneneinstrahlung geschützt werden und ist bei sommerlicher, trockener Witterung mit Wasser zu besprühen.



4. Abnahme und Beurteilung von KS-Sichtmauerwerk

4.1 Eindeutige Beschreibung

Um Sichtmauerwerk eindeutig zu definieren, sind die Anforderungen, die an das Erscheinungsbild des Sichtmauerwerks gestellt werden, im Voraus vom Planer eindeutig zu beschreiben. So kann die ausgeschriebene Leistung vom Bauunternehmer sicher kalkuliert und ausgeführt werden. Nach Fertigstellung kann die erbrachte Leistung vom Planer und vom Bauherrn objektiv beurteilt und abgenommen werden.

Sichtmauerwerk ist im wahrsten Sinne des Wortes „Ansichtssache“. Ein einfacher Hinweis in der Leistungsbeschreibung auf Sichtmauerwerk reicht nicht aus, wie sich immer wieder in der Praxis herausstellt.

4.2 Musterbauteile

Weil Sichtmauerwerk sehr unterschiedlich ausgeführt werden kann und sich jeder unter Sichtmauerwerk etwas sehr Unterschiedliches vorstellen kann, ist grundsätzlich zu empfehlen, dass bereits in der Leistungsbeschreibung neben Mustersteinen auch eine Musterfläche vereinbart wird.

Mit Mustersteinen allein kann oft nur ein unvollständiger Eindruck vom erwarteten Sichtmauerwerk wiedergegeben werden. Wenn aus wirtschaftlichen Gründen keine Musterwand errichtet wird, so ist zu empfehlen, eine zu Beginn errichtete, etwa 5 m^2 große Sichtmauerwerksfläche als Musterfläche zu verwenden und zu vereinbaren.

Nur mit Hilfe einer solchen Musterfläche können KS-Sichtmauersteine, Mauerverband und Verfugung eindeutig festgelegt und abgestimmt sowie ggf. ohne großen finanziellen und zeitlichen Aufwand geändert oder korrigiert werden.

Die Musterfläche sollte vom Planer, vom Bauherrn und vom Bauunternehmer gemeinsam abgenommen werden. Alle am Bau Beteiligten wissen im Voraus, was sie zu liefern bzw. zu erwarten haben. Die Musterfläche bildet den Maßstab für die Beurteilung des weiter zu errichtenden Sichtmauerwerks und ist nach allgemeiner Erfahrung eine gute – oft die einzige von allen akzeptierte – Möglichkeit, späteren Streitigkeiten bei der Beurteilung und Abnahme des Sichtmauerwerks aus dem Wege zu gehen. Dies gilt besonders auch für sichtbar belassenes Mauerwerk, das mit einem Anstrich versehen werden soll.

4.3 Abnahme und Beurteilung

Die nachfolgenden Ausführungen enthalten einige Kriterien, die für die Abnahme und Beurteilung von handwerklich erstelltem Sichtmauerwerk zu beachten sind:

- Sichtmauerwerk muss entsprechend DIN EN 1996/NA [1] konstruktiv einwandfrei ausgeführt werden. Es unterliegt durch die wechselnden Eigenschaften der Rohstoffe (Sande), der Oberflächenstruktur, des Farbtons der Steine und des Mörtels gewissen Schwankungen. Im Allgemeinen haben diese keinen Einfluss auf die Gesamtwirkung der Wandfläche oder des Gebäudes. Handwerksgerecht erstelltes Sichtmauerwerk lebt von diesen kleinen Unregelmäßigkeiten und ist z.B. nicht mit einer Fliesenbekleidung zu vergleichen.
- Bei der Beurteilung von Sichtmauerwerk spielt ein angemessener Betrachtungsabstand eine wichtige Rolle, der abhängig ist von der Größe und der gestalterischen Gesamtwirkung der Sichtmauerwerksfläche.

4.4 Betrachtungsabstand

Bei großflächigem Außensichtmauerwerk ist ein Betrachtungsabstand von ca. 5 m bis 10 m als angemessen anzunehmen. Das gilt insbesondere auch dann, wenn sich zwischen Betrachter und Gebäude ein Garten oder Vorgarten befindet. Kleinere Unregelmäßigkeiten an den Steinen oder an den Fugen sind in solchen Fällen aus diesem Abstand nicht zu erkennen, beeinträchtigen das Erscheinungsbild des Gebäudes nicht und sind daher nicht zu beanstanden.

Bei Sichtmauerwerk im Bereich von Hauseingängen und Terrassen ist der Betrachtungsabstand geringer anzunehmen, weil der Betrachter üblicherweise dichter an das Gebäude herantritt.

Gleiches gilt auch für Sichtmauerwerk in Räumen, insbesondere in Wohnräumen. Hier sollte ein Betrachtungsabstand je nach Größe der zu beurteilenden Wandfläche von 2 m bis 5 m angenommen werden.

5. Beschichtungen und Imprägnierungen von KS-Sichtmauerwerk

Deckende Anstriche und farblose Imprägnierungen vermindern die Feuchtigkeitsaufnahme des KS-Sichtmauerwerks bei Regen und Schlagregen. Sie wirken dadurch einer Verschmutzung entgegen.

KS-Verblendmauerwerk für witterungsbeanspruchte Bauteile wird aus frostwiderstandsfähigen Verblendern erstellt. Unter der Voraussetzung, dass das Mauerwerk entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik erstellt wird, ist das Mauerwerk ohne weitere Maßnahmen frostwiderstandsfähig. Es bedarf aus Gründen der Frostbeständigkeit keiner Beschichtung oder Imprägnierung. Es ist jedoch unbedingt darauf zu achten, dass die Bauteilanschlüsse im Dach-, Fenster- und Sockelbereich so ausgeführt werden, dass Regenwasser wirksam abgeleitet wird und nicht in größeren Mengen in die Wandkonstruktion eindringen kann.

Kalksandsteine haben die Eigenschaft, Feuchtigkeit kapillar zu leiten. Horizontale und gering geneigte Mauerwerksflächen sind daher mit wasserundurchlässigen Materialien abzudecken, z.B. Wandkronen frei stehender Wände, Attiken sowie außen liegende Fensterbänke.

KS-Verblendmauerwerk kann wahlweise unbehandelt bleiben oder mit einer deckenden Beschichtung bzw. einer farblosen Imprägnierung versehen werden. Durch die Behandlung von KS-Sichtmauerwerk kann

- das optische Erscheinungsbild individuell gestaltet und gleichzeitig
- ein Schutz vor Verschmutzungen und Niederschlägen geschaffen werden.

5.1 Optisches Erscheinungsbild

Deckende Beschichtungen werden auf Kalksandstein überwiegend weiß oder in hellen Farbtönen ausgeführt. Sie lassen das Mauerwerk insgesamt heller und flächiger erscheinen, ohne die Mauerwerksstruktur zu überdecken.

Die Mörtelfugen treten optisch in der Fläche zurück. Farbige Beschichtungen sind im Prinzip auch möglich, jedoch ist bei dunklen Beschichtungen zu beachten, dass sich besonnte Flächen stärker aufheizen und es dadurch zu größeren Verformungen kommen kann.

Farblose Imprägnierungen sind nicht filmbildend und belassen dem KS-Mauerwerk das natürliche Aussehen der Steine und der Mörtelfugen. Nach Beregnung trocknet imprägniertes KS-Verblendmauerwerk schnell und gleichmäßig an der Oberfläche ab und bleibt hell.

5.2 Schutz des Verblendmauerwerks

Durch die deckende Beschichtung oder eine farblose Imprägnierung kann, z.B. in ungünstiger Lage eines Gebäudes, einer frühzeitigen Alterung und Verschmutzung des KS-Verblendmauerwerks entgegengewirkt werden. Beschichtungen und Imprägnierungen vermindern die Feuchtigkeitsaufnahme des Verblendmauerwerks bei Regen und Schlagregen erheblich. Schmutzpartikel werden in deutlich geringerem Umfang in die Poren der Steine eingespült, sie werden vielmehr vom Regenwasser fortgespült. Damit ist ein gewisser Selbstreinigungseffekt verbunden.

Eine Verbesserung der Frostbeständigkeit des Mauerwerks – wie z.B. durch Putze – ist durch Beschichtungen und Imprägnierungen nicht zu erreichen. Beide sind nicht in der Lage und haben auch nicht die Aufgabe, Konstruktions- oder Ausführungsmängel zu überdecken.

Die außen auf das Verblendmauerwerk aufgebrachten Imprägnierungen und Beschichtungen unterliegen hohen Witterungsbelastungen und müssen starkem Schlagregen, Frost und intensiver Sonneneinstrahlung widerstehen. Die gesamte Wandkonstruktion einschließlich Imprägnierung oder Beschichtung muss einwandfrei funktionieren. Eine langjährige Funktionsfähigkeit und optische Wirkung geeigneter Beschichtungen und Imprägnierungen setzt voraus:

- die richtigen Baustoffe (frostwiderstandsfähige Kalksandsteine)
- auf Kalksandstein abgestimmten Mörtel
- technisch und bauphysikalisch einwandfreie Konstruktionen
- ausreichende Dachüberstände
- handwerksgerechte Anschlüsse

5.3 Geeignete Beschichtungen und Imprägnierungen

Folgende Beschichtungssysteme und Imprägnierungen sind für KS-Verblendmauerwerk geeignet, sofern die nachfolgend aufgeführten Anforderungen erfüllt werden und die Hersteller die Eignung ausdrücklich bestätigen:

- farblose Imprägnierungen, außen: Kieselsäure-Imprägniermittel, Silikon-, Silan- und Siloxan-Imprägniermittel
- deckende Beschichtungen, außen: Dispersions-Silikatfarben, Silikon-Emulsionsfarben, Kunststoff-Dispersionsfarben, Siloxanfarben

Andere Beschichtungssysteme z.B. für Sanierungen sollten nur verwendet werden, sofern der Hersteller die Eignung auf das Objekt bezogen bestätigt und das Austrocknungsverhalten des Mauerwerks nicht entscheidend reduziert wird.

Alle als außen anwendbar genannten Systeme sind auch innen anwendbar. Bei Innenbeschichtungen können auch Dispersionsfarben nach DIN EN 13300 – Kunststoff-Dispersionsfarben für innen – verwendet werden.

5.4 Anforderungen

Beschichtungen und Imprägnierungen für KS-Verblendmauerwerk müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Haftfestigkeit und Kälteelastizität:
  Wichtig ist eine hohe Haftfestigkeit der deckenden Beschichtung auf dem Untergrund. Beschichtungen und Imprägnierungen dürfen bei niedrigen Temperaturen sowie bei feuchter Witterung nicht abblättern oder reißen und auch nicht zu Spannungen auf dem Untergrund führen.
- Alkalibeständigkeit:
  Insbesondere frisches KS-Mauerwerk ist alkalisch (pH-Wert ≈ 13). Beschichtungsstoffe und Imprägniermittel müssen daher in hohem Maße alkalibeständig sein.
- Hohe Wasserdampfdurchlässigkeit und günstiges Austrocknungsverhalten

Durch Schlagregenbeanspruchung sowie Undichtigkeiten im Bereich der Bauteilanschlüsse dringt Feuchtigkeit in die Wandkonstruktion ein und wird durch die Kapillarität der Baustoffe verteilt und gespeichert. Ausschlaggebend dafür, dass keine Schäden an Beschichtungen und am Mauerwerk auftreten, ist ein möglichst geringer Feuchtegehalt im Mauerwerk zum Zeitpunkt der Frostbeanspruchung. Dies gilt selbst bei hoher Frostbeanspruchung.

Untersuchungen zur Frage der Frostwiderstandsfähigkeit von Beschichtungen und Mauerwerk haben gezeigt, dass es für KS-Verblendmauerwerk einen „kritischen Feuchtegehalt“ gibt. Dieser liegt bei etwa 80 % der maximalen Wasseraufnahme. Wird er überschritten, ist bei gleichzeitig hoher Frostbeanspruchung mit Schäden zu rechnen. Wird er unterschritten, kommt es nicht zu Frostschäden.

Beschichtungen und Imprägnierungen können die Austrocknung des einmal feucht gewordenen Mauerwerks mehr oder weniger stark behindern. Bei dichten Beschichtungen und Imprägnierungen kann sich das Verblendmauerwerk in den oft feuchten Herbstwochen nach und nach mit Feuchtigkeit anreichern, gibt diese aber nicht schnell genug wieder ab, so dass zu Beginn der Frostperiode das Mauerwerk einen maximalen Feuchtigkeitsgehalt hat und damit erhöhter Frostbeanspruchung ausgesetzt ist.

Bei Mauerwerk ohne Beschichtung oder mit günstiger Beschichtung oder Imprägnierung dagegen trocknet das Mauerwerk zwischenzeitlich immer wieder aus, so dass ein kritischer Feuchtegehalt nicht erreicht wird. Es ist dann nicht mit Frostschäden zu rechnen.

Maßgebend für Wirksamkeit einer Beschichtung oder Imprägnierung des Mauerwerks sind die:

- Wasserdampfdurchlässigkeit und
- Austrocknungsbehinderung.

5.4.1 Wasserdampfdurchlässigkeit

Ein Teil der Austrocknung des Mauerwerks erfolgt durch Wasserdampfdiffusion. Die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Baustoffen erfolgt nach DIN EN ISO 12572.

Zur Beurteilung von Beschichtungen auf KS-Verblendmauerwerk wird zweckmäßigerweise der s_d-Wert zur Bewertung herangezogen werden.

≤	0,1 m	sehr gut
bis	0,2 m	gut
bis	0,3 m	befriedigend
bis	0,4 m	ausreichend
>	0,4 m	unbefriedigend

Bei dieser Bewertung ist berücksichtigt, dass Beschichtungen eine Lebensdauer von etwa zehn Jahren haben und dann erneuert oder aufgefrischt werden müssen. Nach einer weiteren Wiederholungsbeschichtung ist dann ggf. ein Entfernen der Altbeschichtung notwendig.

INFO

Auch bei einer Wiederholungsbeschichtung sollte $s_d \leq 0{,}40$ m sein.

5.4.2 Austrocknungsbehinderung

Für die Beurteilung der Eignung von Imprägnierungen und Beschichtungen ist die Prüfung auf Austrocknungsbehinderung sehr aussagefähig. Die Prüfung erfolgt üblicherweise an Steinproben im Format NF, die auf einer Läuferseite beschichtet oder imprägniert und nach Wasserlagerung fünfseitig mit wasserdampfundurchlässiger Folie abgedichtet sind. Die Austrocknung der Steinproben kann nur über die „Außenläuferseite“ erfolgen.

Der Verlauf der Austrocknung wird als Kurve aufgetragen. Verglichen werden beschichtete bzw. imprägnierte Steinproben mit Vergleichsproben ohne Beschichtung oder Imprägnierung.

Für die Beurteilung von Imprägnierungen ist der s_d-Wert weniger gut geeignet.

Als gut geeignet ist eine Beschichtung oder Imprägnierung dann einzustufen, wenn sie die Austrocknung kaum oder nicht behindert oder sie sogar beschleunigt.

5.5 Vorbereitung und Schutz des Untergrundes

Verblendmauerwerk ist grundsätzlich während der Bauphase vor Verunreinigung und übermäßiger Wasserbelastung zu schützen, z.B. durch Abdecken mit Folie. Hinweis: Der Schutz vor Niederschlagswasser – mit dem üblicherweise gerechnet werden muss – und dessen Beseitigung ist nach VOB/C:ATV DIN 18299 [4] eine Nebenleistung und damit vom Maurer durchzuführen.

Eventuell vorhandene Verunreinigungen, wie Mörtelspritzer und Staub, sind vor Beginn der Malerarbeiten zu entfernen. Fehlstellen im Mauerwerk, wie Hohlstellen, Fugenabrisse über 0,2 mm Breite und vertikal oder horizontal verlaufende Risse, sind auszubessern. Zu berücksichtigen ist, dass farblose Imprägnierungen optische Mängel nicht überdecken.

Bei deckenden Beschichtungen können Beschädigungen am Mauerwerk durch Verspachteln mit einem speziell dafür geeigneten Reparaturmörtel saniert werden.

INFO

Das Mauerwerk ist so zu erstellen, dass es nicht gereinigt werden muss. Da Säuren und andere starke chemische Reinigungsmittel die Steinoberflächen angreifen können, ist auf diese Mittel bei Kalksandstein-Mauerwerk zu verzichten. Ein „Absäuern“ mit Salzsäure führt bei Kalksandstein-Mauerwerk zu Schäden und ist nach VOB/C:ATV DIN 18330 nicht zulässig.

5.6 Verarbeitung

5.6.1 Farblose Imprägnierungen

Farblose Imprägnierungen können bereits kurz nach Fertigstellung des Gebäudes aufgebracht werden – bei trockener, niederschlagsfreier Witterung und Temperaturen über 5 °C. Der Untergrund muss „handtrocken“ (Augenschein) und genügend saugfähig sein, um die ausreichende Menge Wirkstoff aufzunehmen (ca. 0,5 bis 0,8 l/m^2 Wandfläche, wobei der untere Wert für glatte Steine, der obere Wert für KS-Struktur gilt). Als besonders wirksam hat sich das Aufbringen durch Fluten mit entsprechenden Geräten erwiesen. Das Verblendmauerwerk sollte von unten nach oben imprägniert werden. Das ist insbesondere bei flüssigen Imprägnierungen notwendig, um Laufspuren zu vermeiden. Auf Imprägnierungen können zu einem späteren Zeitpunkt auch Beschichtungen aufgebracht werden. Hierbei ist jedoch auf Systemverträglichkeit zu achten.

Darüber hinaus stehen sogenannte Fassaden-Cremes zur Verfügung. Die Creme-Technologie ermöglicht die gewünschte Wasserabweisung mit hoher Eindringtiefe bei geringer Aufbringmenge in nur einem Arbeitsgang. Die Applikation erfolgt durch Rollen, Streichen oder Airless Spritzen.

5.6.2 Deckende Beschichtungen

Deckende Beschichtungen bestehen im Allgemeinen aus einem Grundanstrich und zwei Deckanstrichen. Grundsätzlich sollen nur geschlossene Beschichtungssysteme verwendet werden, bei denen die einzelnen Schichten stofflich aufeinander abgestimmt sind. Beschichtungen mit hydrophoben Grundierungen (Imprägnierungen) haben sich in der Praxis gut bewährt.

Der Grundanstrich als vollwertige Imprägnierung kann unmittelbar nach Fertigstellung des Gebäudes aufgebracht werden. Das Gebäude ist dadurch sofort gegen Verschmutzung geschützt. Der deckende Anstrich kann dann zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

In den ersten drei Wochen nach Aufbringen sind Beschichtungen empfindlich gegen erhöhte Feuchtigkeit im Untergrund und gegen Frosteinwirkung. Beschichtungen sollten daher unbedingt bei trockenem, niederschlagsfreiem Wetter und bei Temperaturen über 5 °C verarbeitet werden.

Wenn das Mauerwerk genügend ausgetrocknet ist, nicht mehr mit weiteren Verformungen zu rechnen ist und die Hersteller nicht andere, weitergehende Angaben machen, kann die deckende Beschichtung aufgebracht werden.

6. Reinigung von KS-Verblendmauerwerk

Sichtmauerwerk aus Kalksandsteinen sollte so sauber hergestellt und anschließend geschützt werden, dass es nicht gereinigt werden muss. Ein Absäuern von Kalksandstein-Mauerwerk ist nicht zulässig und kann im ungünstigen Fall sogar zu deutlichen optischen Beeinträchtigungen führen.

Ein langfristig einwandfreies Erscheinungsbild von KS-Sichtmauerwerk setzt voraus, dass das Mauerwerk handwerksgerecht erstellt wird, richtige und einwandfreie Baustoffe zur Anwendung kommen und die Bauteilanschlüsse technisch und bauphysikalisch einwandfrei ausgeführt werden.

INFO

Auf eine wirksame Ableitung des Regenwassers ist besonders zu achten. Horizontale und schräge Mauerwerksflächen sollten mit wasserundurchlässigen Materialien abgedeckt werden. Fensterbänke und Attikaabdeckungen sollten mit Überstand und Tropfkante ausgeführt werden.

Bild 9 Reinigung mit Hochdruckreiniger und ausreichendem Abstand zum Mauerwerk

6.1 Leichte Verschmutzungen und kleinere Flächen

Leichte Verschmutzungen lassen sich bei frisch erstelltem Verblendmauerwerk einfach und wirksam mechanisch wie folgt entfernen:

- Erhärtete Mörtelspritzer lassen sich z.B. mit einem Spachtel leicht abstoßen.
- Mörtelspritzer und leichte Verschmutzungen lassen sich auf kleinen bis mittleren Flächen schonend durch Abschleifen (mit einem halbierten oder geviertelten KS-Verblender, einem Stück Porenbeton oder mit Glas- oder Sandpapier mittlerer Körnung) von Hand oder mit einem Schwingschleifer entfernen.

6.2 Stärkere Verschmutzungen und größere Flächen

Bei stärkeren Verschmutzungen z.B. auf älterem Verblendmauerwerk ist eine Nassreinigung zu empfehlen, wobei geschlossene Flächen, also keine eng begrenzten Bereiche gereinigt werden sollten. Mit folgenden Reinigungsmethoden wurden gute Ergebnisse erzielt:

- Nassreinigung mit klarem Wasser unter Zusatz eines Netzmittels, das die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzt, und mit einer Wurzelbürste. Möglich ist auch die Reinigung mit einem Hochdruckreiniger. Die Reinigungsintensität ist vorab an einer Probefläche zu testen.
- Dampfstrahlreinigung bzw. Heißwasser-Hochdruckreinigung, wobei ebenfalls dem Wasser ein technisches Netzmittel zugegeben werden sollte.

Bild 10 Reinigungseffekt, Beispiel Reinigung mit Schleifpapier, Körnung 140

Tafel 3 Reinigungsmethoden

Art der Reinigung	Geeignet für	Ausführung	Ergebnis
Trockenreinigung mit Schleifpapier	Leichte Verschmutzungen und kleine Flächen		
	Verschmutzungen, jedoch nicht für fett- und ölhaltige Ablagerungen sowie Sprühlack	Schleifen von Hand per Schleifklotz, bei größeren Flächen mit Maschineneinsatz (Schwingschleifer). Geeignet sind Schleifpapiere mit feiner bis mittlerer Körnung.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt, glatte Steinoberflächen
Trockenreinigung mit Porenbetonstück oder Reinigungsstein	Verschmutzungen auf kleineren bis mittelgroßen Flächen, jedoch nicht für fett- und ölhaltige Ablagerungen sowie Sprühlack	Schleifen von Hand. Der entstehende Staub kann anschließend abgefegt werden.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt, glatte Steinoberflächen
Nassreinigung mit Haushaltsreiniger (Tenside, Seife, Citrat)	normale Ablagerungen und Verschmutzungen	Verdünnung mit Wasser ca. 1:200, bei starker Verschmutzung auch unverdünnte Anwendung. Auftragen mit der Wurzelbürste, gründlich nachspülen mit Wasser. Bei der Reinigung größerer Flächen ist das Schmutzwasser aufzufangen.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis, auch bei älteren Ablagerungen
Reinigung mit Tensidlösung	fett- und ölhaltige Ablagerungen und Verschmutzungen	Auftragen des Reinigers mit der Wurzelbürste, gründlich nachspülen mit Wasser. Bei der Reinigung größerer Flächen ist das Schmutzwasser aufzufangen.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis, auch bei älteren Ablagerungen
Nassreinigung mit Hochdruckreinigung, Dampfstrahlreinigung	Stärkere Verschmutzungen und große Flächen		
	großflächige, stärkere Verschmutzungen, Verstaubungen, Vergrünungen, z.B. auf älterem Verblendmauerwerk sowie bei Verblendmauerwerk aus bruchrauen oder bossierten Steinen	Zu reinigen sind geschlossene Flächen, keine eng begrenzten Bereiche. Es ist darauf zu achten, dass durch entsprechende Düseneinstellung und genügend große Entfernung der Düse vom Mauerwerk der Wasser- bzw. Wasserdampfstrahl nicht die Steinoberflächen oder die Fugen beschädigt. Die Reinigungsintensität sollte vorab an einer Probefläche getestet werden.	Gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt
Schwache Säurekombination	Chemische Reinigungsmittel für hartnäckige und ältere Verschmutzungen		
	kalkhaltige Ablagerungen und Verschmutzungen, jedoch nicht für fett- und ölhaltige Ablagerungen sowie Sprühlack	Auftragen mit der Wurzelbürste, gründlich nachspülen mit Wasser. Bei großen Flächen kann auch mit Reinigungsgeräten gearbeitet werden. Die Reinigungsintensität ist vorab an einer Probefläche zu testen.	Gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt
Steinreiniger auf Basis organischer Ameisensäure	(bedingt) die Reinigung kalkhaltiger Ablagerungen und Verschmutzungen	Verdünnung mit Wasser 1:3, Auftragen mit der Wurzelbürste Die Reinigungsintensität ist vorab an einer Probefläche zu testen.	Das Mittel kann den Fugenmörtel anlösen; ein so entstehender Schleier ist durch Abspülen mit Wasser nicht mehr zu entfernen

Die Dampfstrahlreinigung hat sich bei größeren Flächen sowie bei Verblendmauerwerk aus bruchrauen oder bossierten Steinen gut bewährt.

INFO

Bei Verblendmauerwerk ist darauf zu achten, dass durch entsprechende Düseneinstellung und genügend große Entfernung der Düse vom Mauerwerk der Heißwasserstrahl bzw. der Dampfstrahl nicht so stark ist, dass die Steinoberflächen angegriffen werden.

Anmerkung: Grundsätzlich ist die Reinigungsintensität an einer Probefläche zu testen. Bei Anwendung eines Hochdruckreinigungsgeräts mit Kaltwasser ist der Reinigungseffekt geringer.

6.3 Chemische Reinigungsmittel

Nur bei hartnäckigen und älteren Verschmutzungen sollten chemische Reinigungsmittel verwendet werden. Hierzu werden von der chemischen Industrie spezielle, für KS-Verblendmauerwerk geeignete Steinreiniger angeboten, die meist aus organischen Säuren bestehen. Möglich ist auch eine Reinigung mit 6 %iger Essigsäure.

Da die säurehaltigen, chemischen Reinigungsmittel die Oberfläche der Steine aufrauen und dadurch den Farbeindruck verändern können, sollte grundsätzlich die Reinigung an einer Probefläche ausprobiert werden.

Das Mauerwerk ist vor einer Reinigung gründlich vorzunässen und nach der Reinigung gründlich nachzuspülen.

Nach einer Reinigung mit chemischen Reinigungsmitteln empfiehlt es sich, das Verblendmauerwerk zu imprägnieren oder deckend zu streichen.

INFO

Da chemische Reinigungsmittel die Oberfläche der Steine aufrauen und dadurch den Farbeindruck verändern können, sollte grundsätzlich die Reinigung an einer Probefläche ausprobiert werden, insbesondere dann, wenn das Mauerwerk nach der Reinigung nicht deckend gestrichen wird.

6.4 Algen- oder Moosbelag

Tritt z.B. nach langen Schlechtwetterperioden auf KS-Verblendmauerwerk ein optisch störender grünlicher Belag aus Algen oder Moosen auf, kann dieser mit einem Mittel zur Algenentfernung behandelt und nach Abtrocknen bei kleineren Flächen abgebürstet oder bei größeren Flächen durch eine Dampfstrahlreinigung entfernt werden. Die gereinigten Flächen sollten anschließend mit einer farblosen Imprägnierung nachbehandelt werden, um einer erneuten Moosbildung vorzubeugen.

7. Erneuerung von Beschichtungen und Imprägnierungen

Hochwertige Beschichtungen und Imprägnierungen behalten ihre Funktion und optische Wirkung über einen langen Zeitraum.

7.1 Beschichtungen

Die Lebenserwartung von Beschichtungen beträgt etwa zehn Jahre. Danach ist oft ein Auffrischungsanstrich erforderlich.

Soll bei einer Erneuerung ein anderes Beschichtungssystem verwendet werden, ist die Systemverträglichkeit zu prüfen. Stark verwitterte oder abblätternde Beschichtungen müssen vor Erneuerung mechanisch oder mit Hilfe geeigneter Abbeizpasten und anschließender Dampfstrahlreinigung entfernt werden.

7.2 Imprägnierungen

Die Lebenserwartung von Imprägnierungen liegt bei etwa zehn bis fünfzehn Jahren. Bei einer Erneuerung sollte das gleiche System wie für die Erstimprägnierung verwendet werden, da auf diese Weise Systemverträglichkeit gewährleistet ist.

Die Verarbeitung der Beschichtungen und Imprägnierungen erfolgt nach den Herstellerrichtlinien.

Literatur

[1] DIN EN 1996-2:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; in Verbindung mit DIN EN 1996-2/NA:2012-01

[2] DIN 20000-402:2017-01 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2:2015-11

[3] DIN 18330:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Mauerarbeiten

[4] DIN 18299:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art

Bildnachweise

Bild S. 142: Anja Grah, GrahDesign;
Bild S. 143, Bild S. 147 links: © palladium.de/KS-ORIGINAL;
Bild S. 147 rechts: © Henning Koepke/KS-ORIGINAL;
Bilder S. 145, Bild S. 153, Bild S. 156 oben: Stefan Witte;
Bild S. 149 unten: KS-Original;
Bild S. 150: Stefan Witte;
Bild S. 151: © Erich Spahn/KS-ORIGINAL;
Bild S. 154 unten: Ninette Schumann-Jäkel;
Bild S. 156 unten: © Csaba Meste/KS-ORIGINAL;

Bild S. 144, Bild 1, Bild 2, Bild 3, Bild 4, Bild S. 149, Bild 7, Bild 8, Bild S. 154, Bild 9, Bild 10:
Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 8

MAUERWERKSGERECHTE KONSTRUKTION

Dr.-Ing. Frank Purtak, Geschäftsführer TragWerk Ingenieure Döking+Purtak GmbH, Dresden

Stand: 08/2025

1. Einleitung

Der Mauerwerksbau ist eine äußerst leistungsfähige und sichere Bauweise zur Errichtung eines Gebäudes. In Abhängigkeit von der Festigkeit und Rohdichte der verwendeten Mauersteine sowie der Mörtelart können alle Anforderungen an Tragfähigkeit, Wärmeschutz, Brandschutz und Schallschutz erfüllt werden. Bis zur Hochhausgrenze und darüber hinaus ist Mauerwerk flexibel einsetzbar und erfordert keine lange Arbeitsvorbereitung. Dabei können spontane Planungsänderungen problemlos umgesetzt werden. Zudem werden Mauerwerkssteine in der Regel aus kurzfristig regional verfügbaren Baustoffen ohne lange Lieferwege hergestellt.

Ein Mauerwerksbau kann aus unterschiedlichen Mauersteinen mit differenzierten Eigenschaften erstellt werden. Im Allgemeinen wird er – unabhängig von der verwendeten Mauersteinart – in Kombination mit Stahlbetonbauteilen errichtet. Das unterschiedliche Verformungsverhalten der Baustoffe und Bauteile – insbesondere während der abklingenden Feuchtedehnung – muss bereits bei der Planung berücksichtigt werden. Auch lastabhängige Verformungen und periodisch wiederkehrende thermische Längenänderungen von Bauteilen können durch konstruktive Maßnahmen bei entsprechender Planung schadlos aufgenommen werden.

Sollten bei Gebäuden aus mineralischen Baustoffen trotzdem Haarrisse auftreten, sind diese für die Funktion des Gebäudes und der Bauteile in der Regel nicht von Bedeutung. Beispielsweise sind bei Stahlbetonkonstruktionen im Innenbereich von Gebäuden Rissweiten bis 0,4 mm zulässig. Bei Putzen sind so genannte Haarrisse bis 0,2 mm unbedenklich. Auch bei Mauerwerk lassen sichtbare Risse in einer Wand noch nicht den Schluss zu, dass ein Mangel oder gar ein Schaden vorliegt. In der Regel handelt es sich um optische Auffälligkeiten. Durch das Herstellen des Mauerwerks mit einer Vielzahl von Steinen sind ohnehin Sollrisse in den Lager- und Stoßfugen vorhanden, wodurch konstruktionsbedingt etwaige Zwangsspannungen minimiert werden. Für eine Wandoberfläche ohne störende Risse ist weiterhin auch die Ausführung der Wandbeschichtung festzulegen.

Im Hinblick auf die Beurteilung einer Beeinträchtigung durch Rissbildungen gilt der Grundsatz, dass diese unter gebrauchsüblichen Bedingungen wie Betrachtungsabstand und Beleuchtungsbedingungen zu beurteilen sind. Die Beurteilung der Auswirkung von Rissen auf die Funktionstüchtigkeit des Bauteils orientiert sich am jeweiligen Anforderungsprofil: Bei Rissen im Innenbereich kann z.B. von Bedeutung sein, ob Luftdichtheit oder Schallschutz der betroffenen Wand beeinträchtigt sind. Bei Außenwänden stellt sich meist die Frage, ob durch eine Rissbildung die Schlagregenschutzfunktion und Dauerhaftigkeit des Putzes beeinträchtigt sind [1].

Nachfolgend sind Ursachen für das Entstehen von Rissen im Mauerwerk dargelegt und Hinweise zu deren Minimierung gegeben.

2. Entstehen von Zwangsspannungen und Rissen

Durch Quellen, Schwinden, Kriechen können Baustoffe wie Beton und Mauerwerk eine Formänderung erfahren. Die Formänderung wird durch Alter, Größe und Umgebungsbedingungen des Bauteils beeinflusst. Kann sich ein Bauteil hinsichtlich der Formänderung nicht frei verformen, kommt es häufig zu Rissen.

In der Praxis wird sich ein Bauteil in der Regel nicht behinderungsfrei verformen können, weil es mit Nachbarbauteilen verbunden ist. Verformen sich verbundene Bauteile unterschiedlich, so entstehen Spannungen. Wenn die Verformungen durch äußere Kräfte (Zwang) behindert werden, wird die dadurch verursachte Spannung als äußere bzw. Zwangsspannung bezeichnet. Spannungen in einem Bauteil können jedoch auch ohne Einwirkung äußerer Kräfte entstehen, z.B. wenn sich das Bauteil unterschiedlich erwärmt oder wenn es ungleichmäßig austrocknet, z.B. außen stärker als im Kern. Die dadurch entstehenden Spannungen werden dann als Eigenspannungen bezeichnet (Bild 1). Beim Mauerwerk tritt dieser Fall vor allem bei dickeren Wänden und Pfeilern auf, wenn Steine mit hoher Einbaufeuchte vermauert werden und anschließend austrocknen. Durch die ungleiche Austrocknung über den Querschnitt entstehen Eigenspannungen, und zwar Zugspannungen in den äußeren, stärker austrocknenden Bereichen und Druckspannungen im Kernbereich.

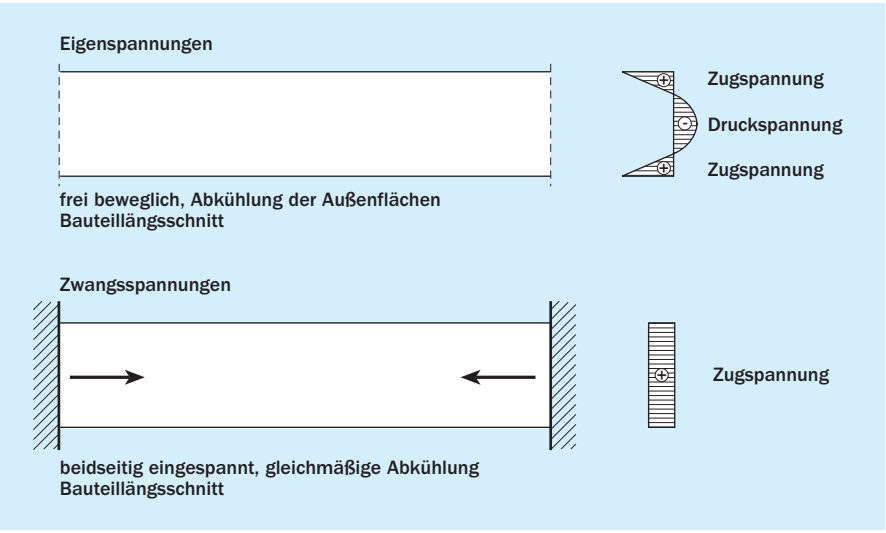


Bild 1 Eigen- und Zwangsspannungen

Die Größe der entstehenden Spannungen ist im Wesentlichen abhängig von

- der Größe der Formänderungen
- dem Behinderungs- und Einspanngrad
- den Steifigkeitsverhältnissen der miteinander verbundenen Bauteile mit Elastizitäts- und Schubmodul
- dem Spannungsabbau infolge Relaxation

Relaxation ist der zeitabhängige Spannungsabbau bei konstanter Dehnung. Beispielsweise wird in einem Bauteil eine Ausgangsspannung durch konstante Temperaturdehnung hervorgerufen. Diese Ausgangsspannung verringert sich infolge von Relaxation (innerer Spannungsabbau) nach einer gewissen Zeit auf eine wesentlich geringere Endspannung.

Kritisch sind Zugspannungen oder Scher- bzw. Schubspannungen, weil die Zugfestigkeit und die Schubbeanspruchbarkeit von Mauerwerk im Vergleich zur Druckfestigkeit relativ gering sind. Risse im Bauteil entstehen dann, wenn die Spannungen die entsprechende Festigkeit überschreiten bzw. die vorhandenen Dehnungen größer als die Bruchdehnung werden.

3. Formänderungen

Bauwerke und deren Bauteile (z.B. Mauerwerk) verformen sich in Abhängigkeit der Belastungssituation und aus lastunabhängigen Einwirkungen. Bild 2 gibt eine Übersicht über Formänderungen (Dehnungen) im Mauerwerk.

Der Oberbegriff Dehnung ε für ein Bauteil umfasst sowohl Verkürzen (Stauchen) als auch Verlängern (Strecken) als bezogene Längenänderung mit der „Einheit“ [mm/m = ‰], z.B. $\varepsilon = -0{,}3$ ‰ entspricht 0,3 mm Verkürzung je Meter Bauteillänge.

Rechenwerte, d.h. im Allgemeinen zutreffende Formänderungswerte, sowie Angaben zum Bereich möglicher Kleinst- oder Größtwerte finden sich in DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.13 [2] und einem ständig aktualisierten Beitrag im Mauerwerk-Kalender [3]. In [4] werden die Formänderungen von Mauerwerk sowie entsprechende Prüfverfahren ausführlich behandelt.

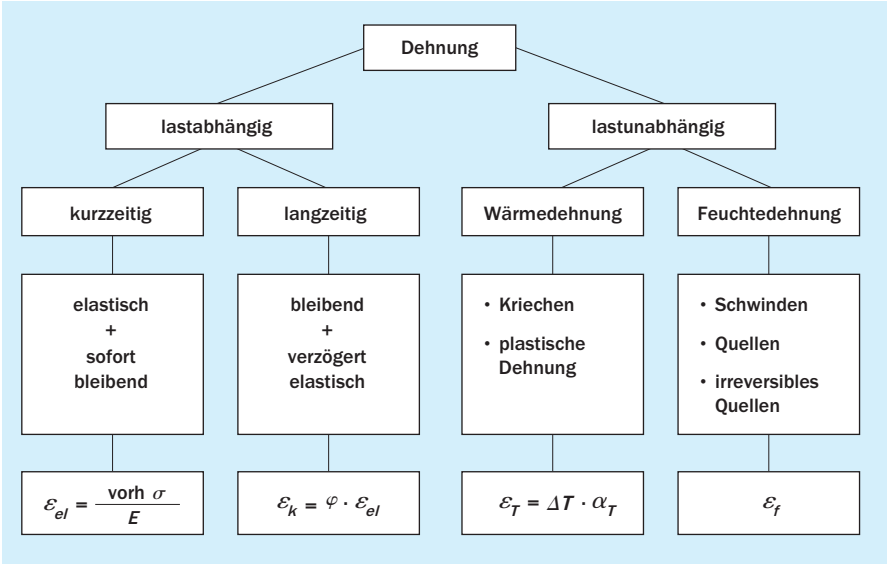


Bild 2 Formänderungen von Mauerwerk

3.1 Wärmedehnung

Maßänderungen durch Wärmeeinwirkung bzw. Temperaturänderung werden als Wärmedehnung bezeichnet. Die Wärmedehnung ε_T ergibt sich aus der jeweiligen Temperaturänderung ΔT in K und dem stoffspezifischen Wärmeausdehnungskoeffizienten α_T in 1/K:

$$\varepsilon_T = \Delta T \cdot \alpha_T$$

Der Koeffizient α_T muss versuchsmäßig bestimmt werden und gilt näherungsweise für Mauerwerk im Temperaturbereich von -20 °C bis +80 °C als konstant.

Rechenwerte und Wertebereiche für den Wärmeausdehnungskoeffizienten sind in Tafel 1 angegeben. Die zur Berechnung der Wärmedehnung erforderliche Temperaturdifferenz ΔT muss für den jeweiligen Anwendungs- und Betrachtungsfall festgelegt werden. Als Bezugstemperatur wird zumeist die Herstellungstemperatur des Bauteils bzw. der Bauteile gewählt.

3.2 Feuchtedehnung

Als Schwinden und Quellen werden Dehnungen (Volumen- bzw. Längenänderungen) von Mauerwerk und Mauerwerksbaustoffen infolge Feuchtigkeitsabgabe bzw. -aufnahme bezeichnet. Dabei wird vom erhärteten Zustand (Mauersteine) bzw. von einer gewissen Anfangserhärtung (Mauermörtel) ausgegangen. Schwinden und Quellen sind physikalische Vorgänge und mit Ausnahme von chemischem Quellen teilweise umkehrbar.

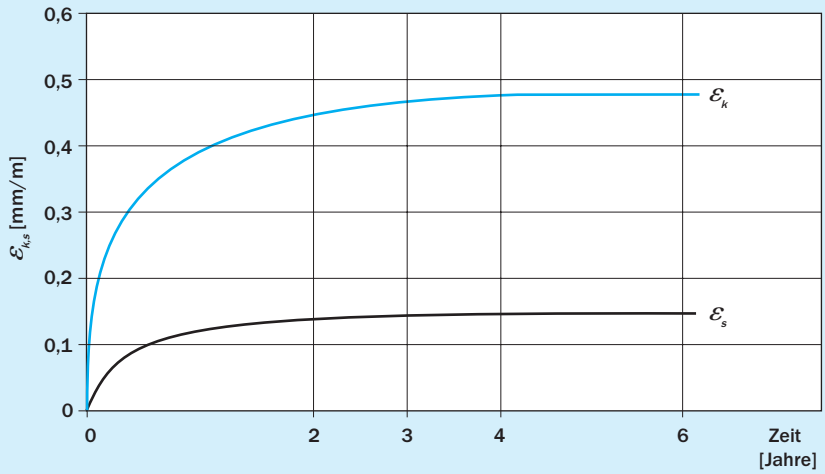


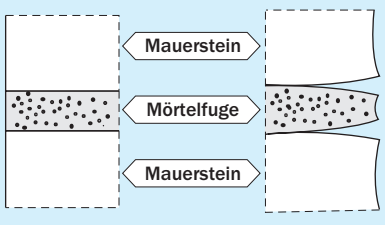
Bild 3 **Zeitlicher Verlauf von Schwind- (ε_s) und Kriechdehnung (ε_k) bei Mauerwerk, konstantes Lagerungsklima**

Schwinden von Mauerwerk ist bedeutungsvoller als dessen Quellen, weil es im Allgemeinen mit rissgefährdenden Zugspannungen verbunden ist. Hygrisches Schwinden oder hygrisches Quellen, also durch Wasserabgabe bzw. -aufnahme, treten bei allen Mauersteinen sowie bei Mauermörtel auf.

Der zeitliche Verlauf des Schwindens (Bild 3) wird beeinflusst durch:

- die Mauerwerksart
- den Anfangsfeuchtegehalt der Mauersteine beim Vermauern
- das Schwindklima (relative Luftfeuchte, Luftbewegung)
- die Bauteilgröße

Das Schwinden beschleunigt sich mit abnehmender relativer Luftfeuchte und mit zunehmender Luftbewegung. Es verläuft bei Mauerwerk aus z.B. Leichtbeton- und Porenbetonsteinen langsamer als bei Kalksandsteinen. Durch schnelles oberflächennahes Austrocknen im Stein- und im Fugenbereich kann es im Extremfall zu Anrissen zwischen Mauerstein und Fugenmörtel (Aufreißen der Fuge, Bild 4) kommen, da der Feuchtegehalt im Innenbereich größer als im Randbereich der Fuge ist. Nach vollständigem Austrocknen schließen sich die Randrisse in der Regel wieder.



Prinzipdarstellung stark überzeichnet

Bild 4 **Rissbildung durch Randschwinden von Stein und Mörtel**

Bei annähernd konstantem Schwindklima ist das Schwinden nach zirka zwei Jahren in der Regel abgeschlossen. Anhaltswerte zum Schwindverlauf sind in [4] angegeben.

Formänderungskennwerte sind auch in DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.13 angegeben (Tafel 1).

3.3 Elastische und plastische Dehnung

Formänderungen mit elastischer Dehnung steigen mit der Spannung an und gehen bei Entlastung wieder auf Null zurück. Im Mauerwerk ist nach Erstbelastung bereits ein geringer Anteil an bleibender Dehnung (plastische Dehnung) enthalten, welcher nach vollständiger Entlastung erhalten bleibt.

3.4 Kriechen

Die Formänderung unter langzeitiger Lasteinwirkung wird als Kriechen bezeichnet. Im Allgemeinen wird unter Kriechen die Formänderung (Verkürzung) in Beanspruchungsrichtung verstanden. Die Kriechzahl $\varphi = \varepsilon_{k,t}/\varepsilon_{el}$ ist der Verhältniswert von Kriechdehnung $\varepsilon_{k,t}$ zu elastischer Dehnung ε_{el}. Die Kriechzahl ist im Gebrauchsspannungsbereich näherungsweise konstant. Das Kriechen ist überwiegend irreversibel.

Wesentliche Einflüsse auf den zeitlichen Verlauf des Kriechens sind:

- die Mauerwerksart
- der Anfangsfeuchtegehalt der Mauersteine
- der Mörtel- bzw. Steinanteil
- das Belastungsalter

Bei Mauerwerk mit Dünnbettmörtel verursacht die Anlegefuge mit Normalmauermörtel den wesentlichen Kriechanteil.

Die Einflüsse auf den zeitlichen Verlauf des Kriechens können bislang nicht ausreichend quantifiziert werden. Bei näherungsweise konstanten Klimabedingungen und konstanter Belastung ist das Kriechen nach etwa drei Jahren weitgehend beendet.

Analog zur Endschwinddehnung sind in Abhängigkeit der Mauersteinart die Rechenwerte in Tafel 1 angegeben.

Tafel 1 **Kennwerte für Kriechen, Quellen oder Schwinden und Wärmedehnung nach DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.13**

Mauersteinart	Mauermörtelart	Endkriechzahl[1] ϕ_∞		Endwert der Feuchtedehnung[2] [mm/m]		Wärmeausdehnungskoeffizient α_T [10^{-6}/K]	
		Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich
Mauerziegel	Normalmauermörtel	1,0	0,5 bis 1,5	0	-0,1[3] bis +0,3	6	5 bis 7
	Leichtmauermörtel	2,0	1,0 bis 3,0				
Kalksandsteine	Normalmauermörtel/ Dünnbettmörtel	1,5	1,0 bis 2,0	-0,2	-0,3 bis -0,1	8	7 bis 9
Betonsteine	Normalmauermörtel	1,0	–	-0,2	-0,3 bis -0,1	10	8 bis 12
Leichtbetonsteine	Normalmauermörtel	2,0	1,5 bis 2,5	-0,4	-0,6 bis -0,2	10; 8[4]	
	Leichtmauermörtel			-0,5	-0,6 bis -0,3		
Porenbetonsteine	Dünnbettmörtel	0,5	0,2 bis 0,7	-0,1	-0,2 bis+0,1	8	7 bis 91

[1] Endkriechzahl $\phi_\infty = \epsilon_\infty / \epsilon_{el}$ mit ϵ_∞ als Endkriechmaß und $\epsilon_{el} = \sigma / E$
[2] Endwert der Feuchtedehnung ist bei Stauchung negativ und bei Dehnung positiv angegeben.
[3] Für Mauersteine < 2 DF gilt der Grenzwert -0,2 mm/m.
[4] Für Leichtbeton mit überwiegend Blähton als Zuschlag
Bemerkung: Die Verformungseigenschaften der Mauerwerksarten können stark streuen. Der Streubereich ist in Tabelle NA. 13 als Wertebereich angegeben; er kann in Ausnahmefällen noch größer sein.

4. Rissbildung durch Längenänderung

Mit dem derzeitigen Kenntnisstand über das Verformungsverhalten von Mauerwerk und die aus den behinderten Formänderungen entstehenden Spannungen lassen sich praktische Fälle von Bauteilkombinationen lediglich näherungsweise hinsichtlich ihrer Risssicherheit beurteilen. Diese Näherung ist schon allein dadurch begründet, dass die bauseitigen Bedingungen nicht, bzw. nicht genau bekannt und erfassbar sind. Das betrifft z.B. die Eigenschaften des Mörtels im Mauerwerk, den Einfluss der Witterungsbedingungen auf Festigkeits- und Formänderungseigenschaften aber auch den Einspanngrad bzw. die Größe der Formänderungsbehinderungen durch die Verbindung mit benachbarten Bauteilen.

Vor Anwendung von Rechenverfahren ist eine gründliche qualitative Vorabbeurteilung des Gesamtbauwerks hinsichtlich möglicher Problemfälle empfehlenswert. Dies bedarf entsprechender Kenntnisse und Erfahrungen. Nach der Vorabbeurteilung sollten wahrscheinliche Problemfälle hinsichtlich der Risssicherheit mit Rechenverfahren beurteilt werden, soweit diese überhaupt auf den jeweiligen Fall anwendbar sind.

Tafel 2 **Beurteilung der Risssicherheit von miteinander verbundenen Bauteilen**

$\Delta\varepsilon$ [mm/m]	Risssicherheit
≤ 0,2	ja, bei Verformungsfall V2: $\Delta\varepsilon \leq 0{,}1$
0,2 bis 0,4	fraglich → rechnerische Beurteilung
> 0,4	nein, ggf. rechnerische Beurteilung

Der Unterschied der Formänderungen zwischen zwei Bauteilen oder die Formänderung innerhalb eines Bauteilquerschnitts bilden das wichtigste Kriterium für die Risssicherheit. Der Formänderungs- bzw. Dehnungsunterschied wird aus der Formänderungsdifferenz $\Delta\varepsilon$ der gedanklich getrennten Bauteile ermittelt.

Beispiel: Kalksandstein-Verblendschale auf Kelleraußenmauerwerk

- Annahme Schwinden Verblendschale: $\varepsilon_{s,V} = -0{,}3$ mm/m
- Annahme Schwinden Kelleraußenwand: $\varepsilon_{s,K} = -0{,}1$ mm/m

$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{s,V} - \varepsilon_{s,K} = -0{,}2$ mm/m.

Mit Hilfe des Absolutwerts von $\Delta\varepsilon$ lässt sich zwischen miteinander verbundenen Bauteilen die Risssicherheit nach Tafel 2 grob beurteilen.

4.1 Rissbildung bei Verwendung unterschiedlicher Wandbaustoffe

Zwischen den miteinander verbundenen Innen- und Außenwänden können Verformungsunterschiede in vertikaler Richtung durch unterschiedliche Belastung und/oder unterschiedliche Formänderungseigenschaften des jeweiligen Mauerwerks entstehen. Eine unabhängige und unbehinderte Verformung von Außen- und Innenwand ist vor allem dann nicht möglich, wenn aussteifende Querwände und die auszusteifende Wand im Verband hergestellt werden.

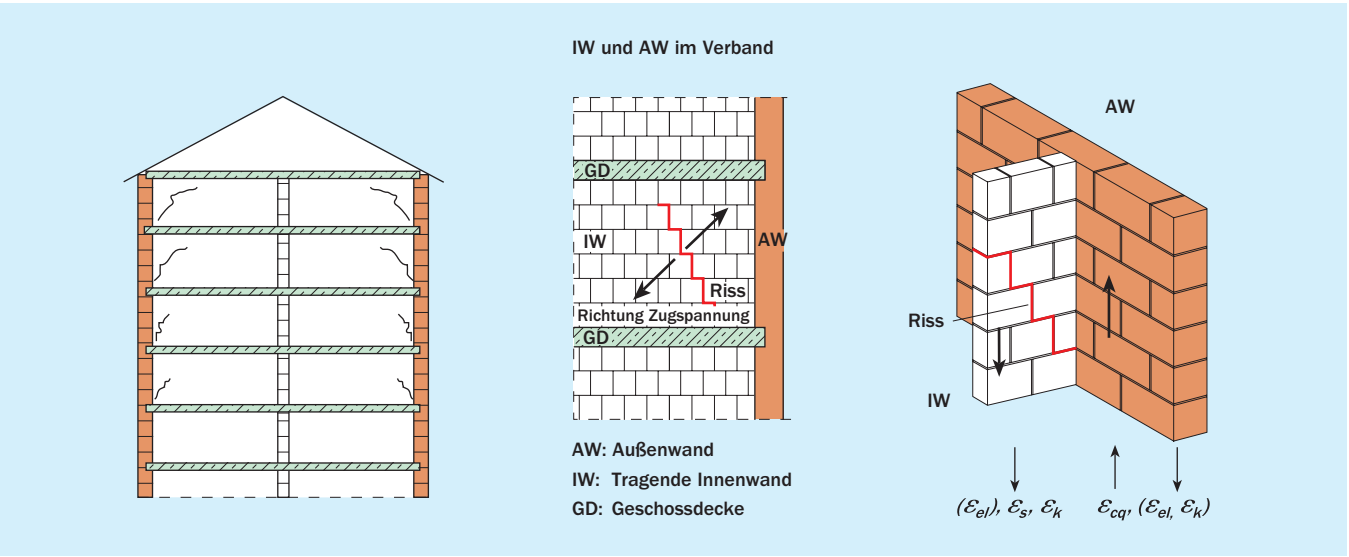


Bild 5 Verformungsfall V1: Die Innenwand verkürzt sich gegenüber der Außenwand

Die Formänderungsunterschiede zwischen Außen- und Innenwand führen deshalb zu Spannungen, in der Regel zu Zug- bzw. Schubspannungen. Diese entstehen in derjenigen Wand, die sich gegenüber der angebundenen Wand verkürzen „will“ (Bilder 5 und 6). Die relative Verkürzung kann durch Belastungsunterschiede (Kriechverformungen), vor allem aber durch Schwinden bzw. irreversibles Quellen verursacht werden.

Große Temperaturunterschiede im maßgebenden Kernbereich der Außenwände treten wegen der heute erforderlichen hohen Wärmedämmung nicht mehr auf. Die Größe der entstehenden Spannungen bzw. das Rissrisiko hängen im Wesentlichen ab von der Größe des Verformungsunterschiedes zwischen Innen- und Außenwand und der Art der Verbindung der beiden Wände, d.h. vom Behinderungsgrad sowie den Steifigkeitsverhältnissen.

Grundsätzlich sind die im Folgenden aufgezeigten zwei Verformungsfälle V1 und V2 zu unterscheiden.

4.1.1 Verformungsfall V1: Die Innenwand verkürzt sich vertikal gegenüber der Außenwand

Dies ist der Fall bei schwindenden Innenwänden sowie Außenwänden, die wenig schwinden ggf. sogar quellen (Mauerziegel). Wird der Verformungsunterschied zwischen Innen- und Außenwand zu groß, so entstehen Risse in der Innenwand, die vom Außenwandfußpunkt schräg ansteigend nach innen verlaufen (Bild 5).

Daher sind beispielsweise die Mauerwerks-Kombinationen: Außenwände in Leichtziegelmauerwerk, Innenwände in Kalksandstein- bzw. Leichtbetonsteinmauerwerk (Leichtbetonvollsteine) hinsichtlich Rissrisiko genauer zu analysieren.

4.1.2 Verformungsfall V2: Die Außenwand verkürzt sich vertikal gegenüber der Innenwand

Dies ist der Fall, wenn die Innenwand nur wenig schwindet, ggf. sogar quillt (Mauerziegel) und die Außenwand dagegen sehr stark schwindet, z.B. Bimsmauerwerk (Bild 6).

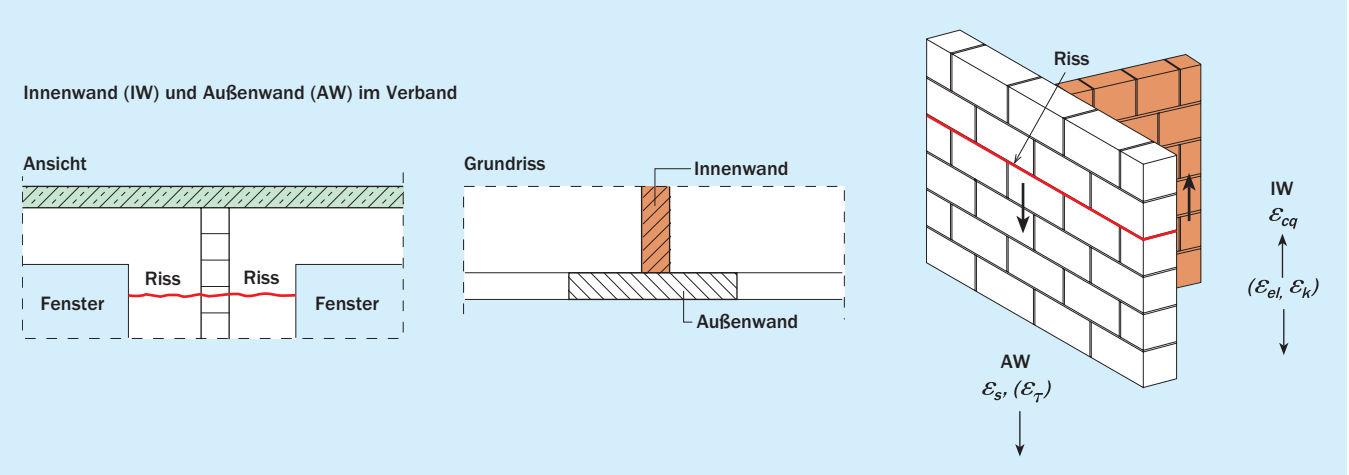


Bild 6 Verformungsfall V2: Die Außenwand verkürzt sich gegenüber der Innenwand

Durch das starke Schwinden bzw. Verkürzen der Außenwand kommt es zu einer Lastumlagerung auf die Innenwand. Die Außenwand „hängt“ sich an der Innenwand auf. Wird die Haftzugfestigkeit zwischen Stein und Mörtel in der Lagerfuge, bzw. in Einzelfällen auch die Zugfestigkeit der Mauersteine überschritten, so entstehen annähernd horizontal verlaufende Risse in der Außenwand. Diese werden im Allgemeinen im Anbindungsbereich zur Innenwand relativ fein verteilt, in größerem Abstand davon als wenige größere Risse auftreten. Die Risse finden sich vorzugsweise in vorgegebenen „Schwachstellen“, vor allem im Bereich von Öffnungen. Das Entstehen der Risse kann zusätzlich befördert werden aus Deckendurchbiegung mit der Verdrehung am Endauflager und damit exzentrischer Beanspruchung der Wand.

4.1.3 Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit

- Wahl von Mauerwerks-Kombinationen mit geringem Formänderungsunterschied $\Delta\varepsilon_0$

- Wahl – soweit möglich – günstiger Steifigkeitsverhältnisse von Innen- und Außenwand. Im Verformungsfall V1 sollen die Innenwand möglichst steif (hoher E-Modul, großer wirksamer Wandquerschnitt) und die Außenwand möglichst nachgiebig sein. Folge: Die Innenwand zwingt der Außenwand rissunwirksam einen hohen Anteil ihrer Verformung (Verkürzung) auf.

- Gleiche Setzungen des Baugrunds unter dem Baukörper. Dies kann erreicht werden, indem die Gründungskörper auch unter dem Gesichtspunkt des Setzungsverhaltens festgelegt werden; ggf. ist ein Baugrundingenieur einzuschalten.

- Durch Stumpfstoßtechnik mit der in vertikaler Richtung relativ weichen Verankerung wird eine weniger behinderte Verformung von Innen- und Außenwand erreicht. Dies kann durch Einlage einer Bitumendachbahn R 500 zwischen Unterseite Geschossdecke und Innenwand noch weiter begünstigt werden (Bild 7). Anschlüsse durch Stumpfstoßtechnik haben ein geringeres Risspotenzial im Wandbereich gegenüber verzahnten Anschlüssen. Beim Stoß der verputzten Wände ist ein „Kellenschnitt“ empfehlenswert.

- Wände möglichst spät mit geeigneten Produkten verputzen

Näherungsweise ist aus der Erfahrung davon auszugehen, dass Verformungsunterschiede $\Delta\varepsilon_0$ zwischen Innen- und Außenwand (aus Schwinden, irreversiblem Quellen) von 0,3 bis 0,4 mm/m unbedenklich sind.

Dies gilt prinzipiell auch für die in schallschutztechnischer Hinsicht optimierte Stumpfstoßausführung zwischen Trennwand und Außenwänden. Die Trennwand wird bis zur Außenfläche der Außenwand durchgeführt, die Außenwand wird an die Trennwand mittels Stumpfstoßverbindung angeschlossen. Ein weiterer Vorteil liegt hiermit darin, dass die Längen der Außenwandabschnitte geringer sind.

4.2 Rissbildung im Mauerwerk in Verbindung mit Stahlbetondecken

Bei der Risssicherheit aus Längenänderung in horizontaler Richtung wird hauptsächlich das Zusammenwirken der Mauerwerkswand mit anbindenden Stahlbetondecken betrachtet. Dabei spielen äußere vertikale Lasten eine wesentliche Rolle. Je kleiner die Auflast auf eine Mauerwerkswand ist, umso größer ist das Rissrisiko aus Längenänderung in horizontaler Richtung. Das ist besonders bei Dachdecken und längeren nicht tragenden Wänden von Bedeutung.

Es werden drei Situationen genauer beschrieben:

- Verformungsfall H1: Längsverformung der Wand gegenüber der Decke oder anschließenden Wänden

- Verformungsfall H2: Längsverformung der Geschosssdecke in Wandlängsrichtung

- Verformungsfall H3: Längsverformung der Dachdecke in Wandlängsrichtung

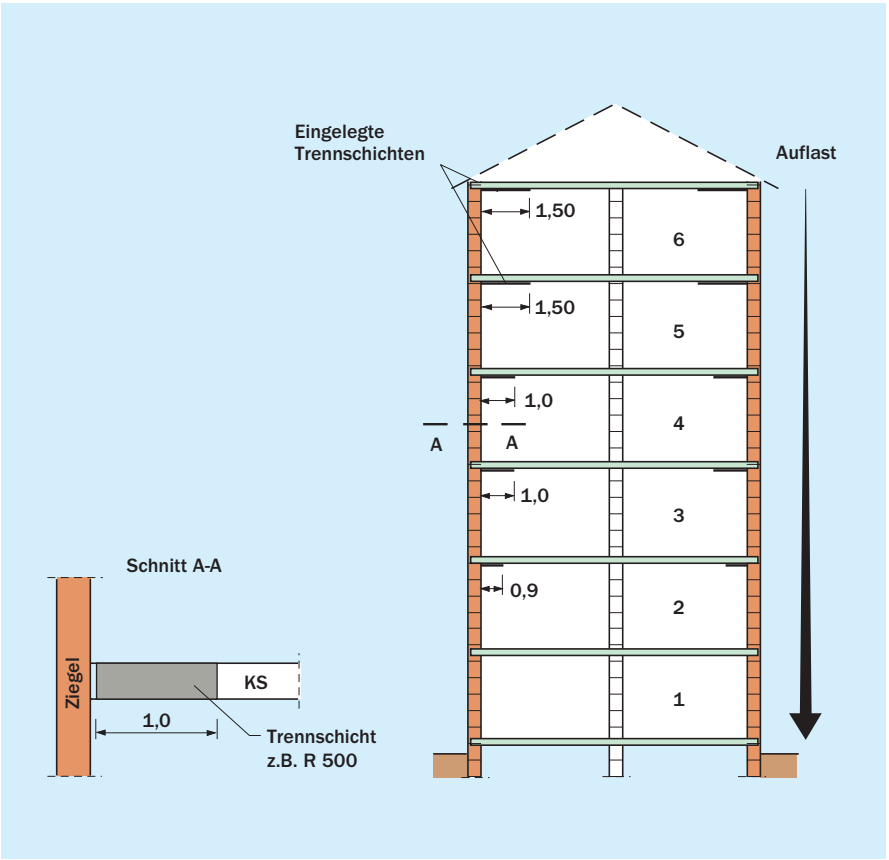


Bild 7 Stumpfstoßtechnik mit eingelegter Trennschicht in der Innenwand

4.2.1 Verformungsfall H1 – horizontale Verkürzung der Wand gegenüber der Decke

Dieser Verformungsfall ist für Gebäude aus Kalksandstein unter üblichen Baustellenbedingungen nicht relevant.

In der Massivbauweise ist eine Konstruktion mit Wänden aus Mauerwerk und Decken aus Stahlbeton üblich, wobei die Decke als aussteifende Scheibe wirkt. Bei Wahl einer anderen Deckenart (z.B. Holzbalkendecke) wird zur Festhaltung der Wand alternativ ein umlaufender Ringbalken ausgeführt.

Eine Verkürzung der Wände gegenüber den Decken ist schematisch in Bild 8 dargestellt. Gründe für eine Verkürzung können Schwinden der Mauerwerkswand und/oder eine Abkühlung nach Herstellung sein. Risse treten bei einer Verkürzung der Wand gegenüber der Decke von mehr als 0,2 mm/m auf [5], siehe auch Tafel 2. Dieser Verformungsfall tritt in der Regel nur im ungedämmten Bauzustand auf.

In Bild 9 sind einige typische Merkmale dieses Verformungsfalls zu erkennen. Die größten Zugspannungen treten in der Mitte von langen Wänden in den obersten Geschossen auf. Wenn die Zugspannungen in etwa der halben Wandlänge die Zugfestigkeit des Mauerwerks überschreiten, bildet sich an der Stelle ein spannungsentlastender Riss. Die Risse sind in halber Wandhöhe am breitesten. Nach unten und oben laufen sie zu den Geschossdecken auf Null aus.

Die Risse entstehen prinzipiell unabhängig vom Steinformat aus den Fällen (Bild 9):

- Überschreiten der Steinzugfestigkeit oder
- Überschreiten der Scherfestigkeit zwischen Mauerstein und -mörtel

Mit zunehmender vertikaler Belastung nimmt die Rissbreite in den unteren Geschossen ab bis keine Risse mehr aus der Formänderung der Wände auftreten. Die auf die Wände wirkende Auflast führt zu einer Stauchung in vertikaler und zu einer Dehnung in horizontaler Richtung. Die Querdehnung wirkt der Verkürzung der Wand entgegen und führt bei ausreichend großer Auflast zu einer rissfreien Wand.

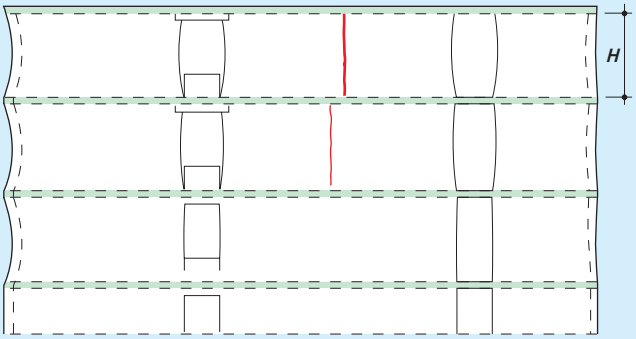


Bild 8 Verformungsfall H1: Verkürzung der Wände gegenüber den Geschossdecken

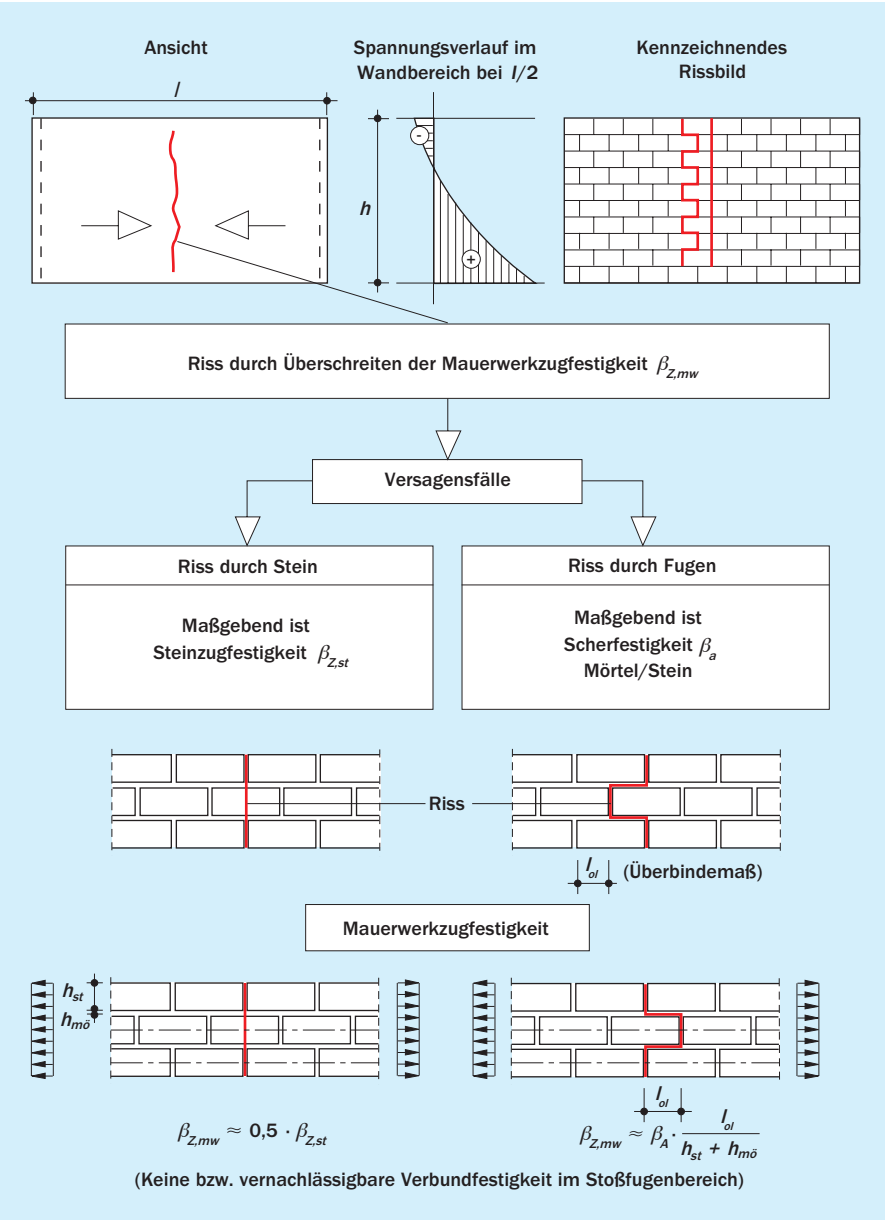


Bild 9 Prinzip der Rissentstehung

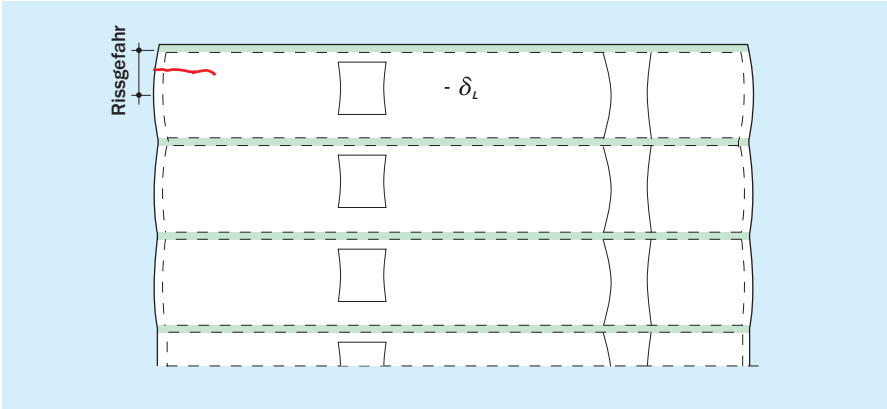


Bild 10 Verformungsfall H2: Verkürzung der Decken in Wandlängsrichtung

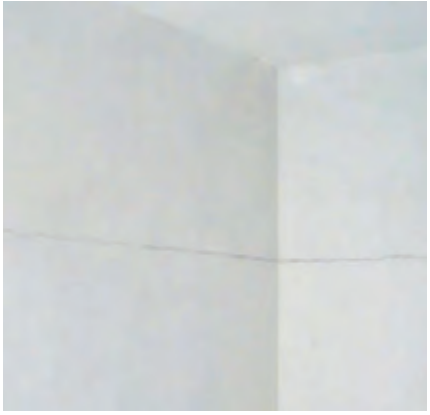


Bild 11 Rissbildung infolge Verkürzung der Decken in Wandlängsrichtung

4.2.2 Verformungsfall H2 – horizontale Verkürzung der Decke gegenüber der Wand

Im Verformungsfall H2 verkürzen sich die Geschossdecken gegenüber dem Mauerwerk, woraus in diesem Fall horizontale Risse im oberen Bereich der Wandecke entstehen können. Der geringen Auflast wegen ist hier das oberste Geschoss besonders gefährdet. Das Rissbild (Bilder 10 und 11) ähnelt sehr den Rissen aus Aufschüsseln der Dachdecke und wird daher oftmals allein darauf zurückgeführt.

Sonderfall: Stahlbetongurt auf Mauerwerks–Giebelwand

Bild 12 zeigt ein Beispiel mit Stahlbetongurt als oberem Abschluss einer Giebelwand aus Mauerwerk. Eine leichte Dachkonstruktion schließt das Gebäude ab und schützt es vor Witterungseinflüssen. Der Stahlbetongurt hat im Beispiel einen großen Querschnitt aber geringen Bewehrungsgehalt. Er verkürzt sich infolge Schwindens in Längsrichtung der Wand (Bild 13).

Die Schubkraft in der Fuge ist wegen der geringen Auflast nicht übertragbar, durch Rissbildung werden dann die Zwangsspannungen abgebaut.

Möglichkeiten zur Reduzierung des Rissrisikos:

- Mauerstein oben schräg schneiden („Zacken“ verhindern)
- U-Schale mit Stahlbetongurt einbauen
- Erhöhte Längsbewehrung im Gurt zur Reduzierung der Gesamtstauchung des Schwinden
- Verwendung von schwindarmem Beton, z.B. mit geringem w/z-Wert

4.2.3 Verformungsfall H3 – horizontale Verkürzung der Dachdecke gegenüber Wand und Geschossdecke

Der Verformungsfall H3 tritt besonders bei ein- und zweigeschossigen Gebäuden auf, bei denen das Fundament gegenüber der Dachdecke eine geringere Längenänderung aufweist. Bei Stauchung oder Streckung der Dachdecke aus z.B. Schwinden oder Temperaturanstieg wird das Mauerwerk bei gleichzeitig geringer Längenänderung des Fundamentes oder der unteren Geschossdecke auf Schub beansprucht, was auch im typisch diagonalen Rissverlauf erkennbar ist (Bilder 13 und 14).

Die geringe Auflast oberhalb der Dachdecke hat einen erheblichen Einfluss auf das Rissrisiko des tragende Außen- und Innenmauerwerks. Die Auflast von nur einem Geschoss kann bereits ausreichen, um z.B. die Verdrehungen im Bereich von Decken-Endauflagern zu minimieren und trocknungs- oder temperaturbedingte Spannungen im Mauerwerk zu überdrücken.

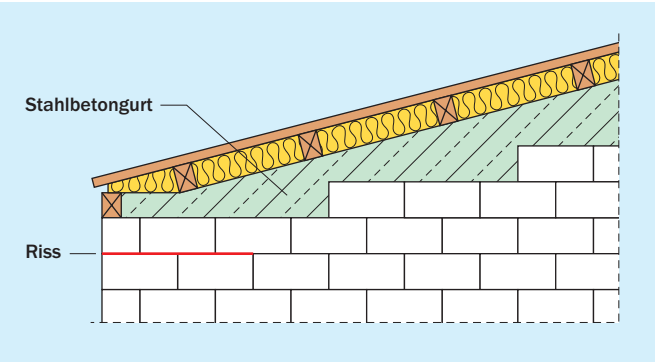


Bild 12 Stahlbetongurt auf Mauerwerks-Giebelwand

Bild 13 Rissbildung durch Verkürzung eines Stahlbetongurts

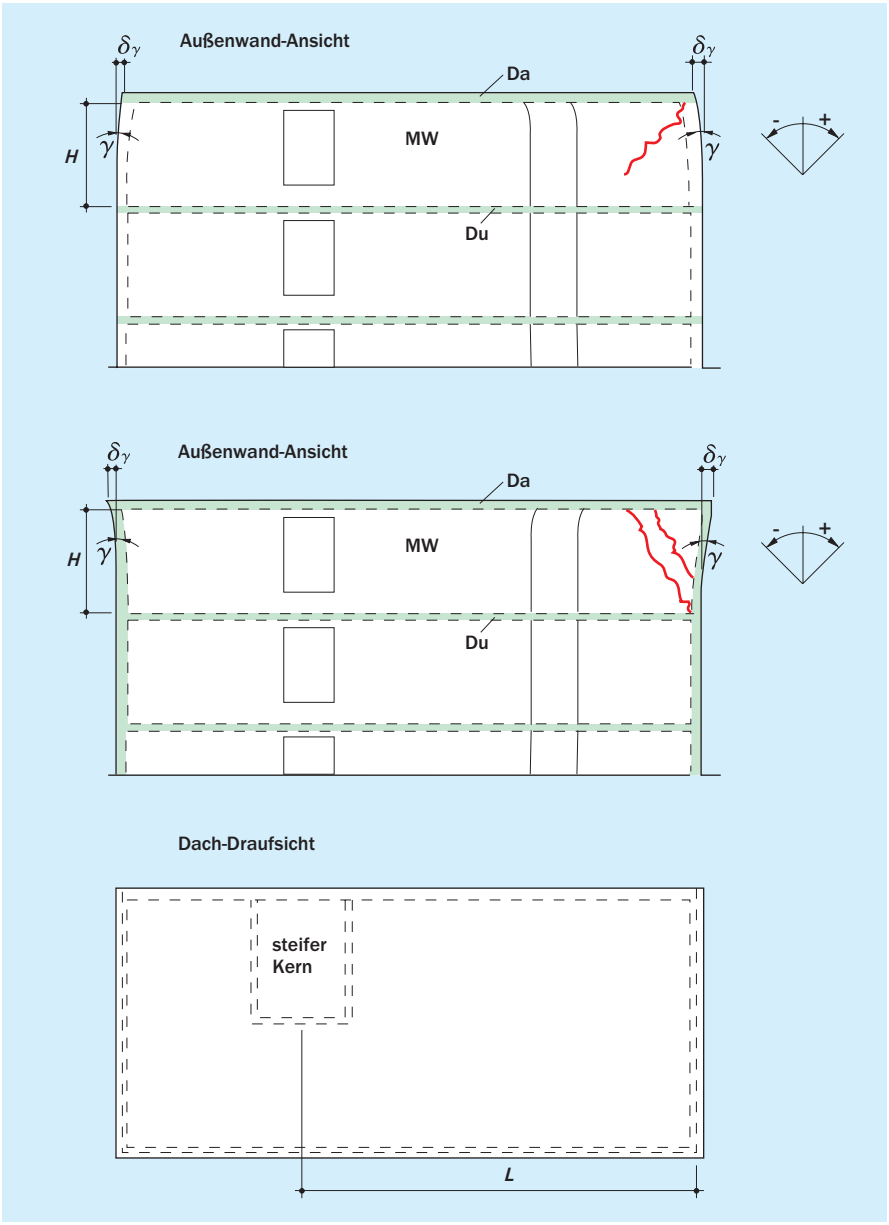


Bild 14 Verformungsfall H3: Verformung der Dachdecke gegenüber der Wand; Da = Dachdecke, Du = Decke unter Da, MW = Mauerwerkswand

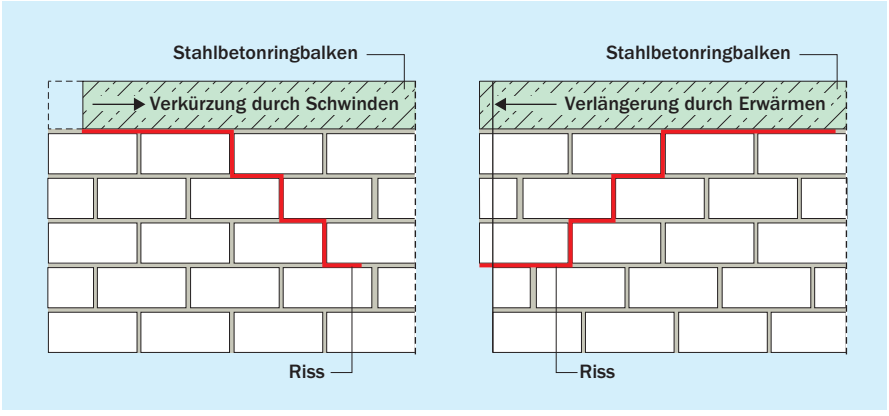


Bild 15 Verformungsfall H4: Verformung von einem ungedämmten Stahlbetonringbalken

Nach Erfahrungswerten und der nicht bauaufsichtlich eingeführten Norm DIN 18530:1987-03 [6] und [5] kann rechnerisch abgeschätzt werden, in welchen Fällen (Dachmaße, Baustoffeigenschaften, Formänderungen) ein Rissrisiko besteht. Ist hier mit Rissen zu rechnen, so sind geeignete Maßnahmen wie Trennschichten, Verformungslager, Gebäudetrennfugen etc. zu ergreifen.

Erfahrungen zeigen, dass bei mehrgeschossigen Gebäuden die Dachdecke auf Mauerwerk nur bis zur maßgebenden Verschiebelänge von $l = 6$ m unverschieblich gelagert werden sollte (Bild 16). Bei mehrgeschossigen Gebäuden mit $l > 6$ m und bei eingeschossigen Gebäuden muss, falls keine verschiebliche Lagerung vorgesehen ist, ein Nachweis der Unschädlichkeit der Verformungen geführt werden.

Bei dieser Untersuchung sind die zu erwartenden unbehinderten Verformungen mit den ohne Schaden aufnehmbaren Verformungen zu vergleichen. Maßgebend sind die Dehnungsdifferenz δ_E zwischen Wand und Decke und der Verschiebewinkel γ der Wand, der am Wandende durch unterschiedliche Längenänderung der Dachdecke und der darunter liegenden Geschossdecke hervorgerufen wird (Bild 15). Bei fester Auflagerung der Dachdecke gelten folgende Werte als obere Grenze.

- Dehnungsdifferenz δ_E: ±0,4 mm/m Verkürzung bzw. +0,2 mm/m Verlängerung
- Verschiebewinkel $\gamma = \Delta l / h$: -1/2.500 bis +1/2.500rad

4.2.4 Verformungsfall H4 – ungedämmte Dachdecken

In diesem Fall ist die Dachdecke möglichst reibungsfrei auf den Wänden zu lagern, damit nur geringe Schubkräfte auf diese übertragen werden. Eine solche Funktion kann eine „Gleitfuge“ übernehmen, bei der zwei Bauteile durch eine Gleitschicht voneinander getrennt sind, welche eine gegenseitige Verschiebung ohne große Reibung ermöglicht.

Bei Flachdachkonstruktionen mit Gleitfugen kann die Stahlbetondecke nicht die Funktion der oberen Wandhalterung übernehmen, weil zwischen der Decke und den Wänden durch die Anordnung einer Gleitschicht (Bild 17) bewusst auf ei-

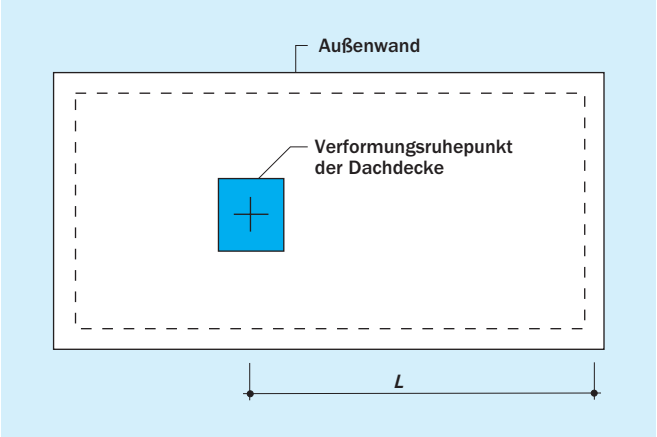


Bild 16 Maßgebliche Verschiebelänge, Dach-Draufsicht

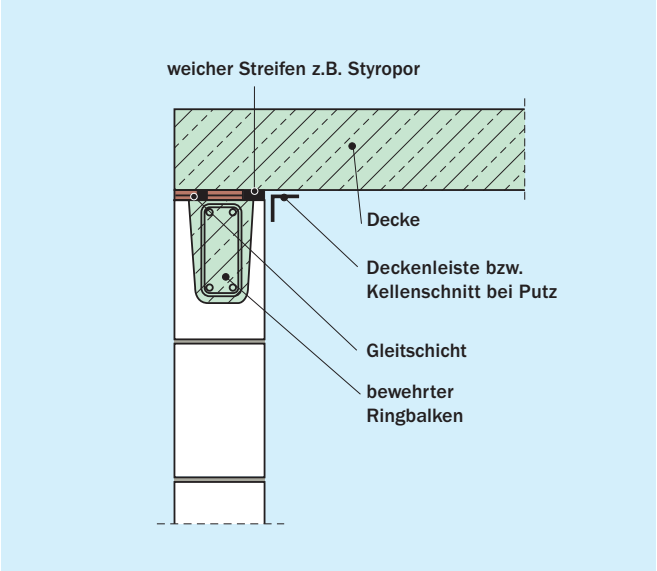


Bild 17 **Konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung der Deckenauflagerkraft am Beispiel der Außenwand unter einer ungedämmten Dachdecke – Gleitlager mit weichem Streifen an der Wandinnenseite**

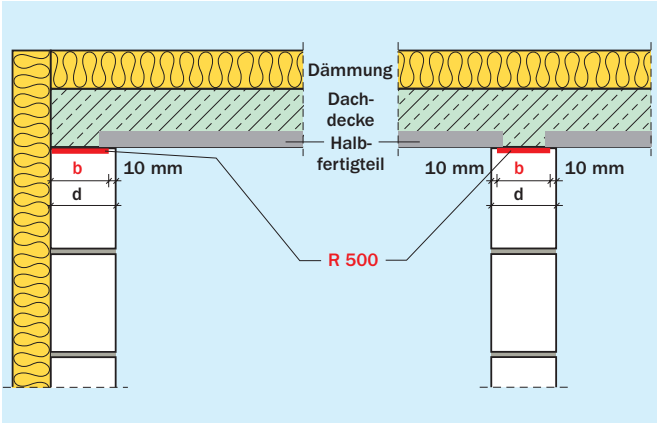


Bild 18 **Trennschicht zur Aufnahme der Schwindverkürzung der Stahlbetondecke im obersten Geschoss unter Beibehaltung der oberen Halterung**

ne Schubübertragung verzichtet wird. Aus diesem Grund sind die oberen Wandenden unterhalb der Gleitfuge durch entsprechende Ringbalken zu halten. Diese Wandkopfhalterung nimmt bei entsprechender Dimensionierung die Windlasten auf, die auf die Außenwände des Gebäudes wirken.

4.2.5 Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit

1. Konstruktion am Wandkopf und Wandfuß

Geringe Verformungsbehinderung am Wandfuß, ausreichende Verformungsmöglichkeiten am Wandkopf und den seitlichen Bauteilrändern verringern das Rissrisiko. Die Verformungsbehinderung am Wandfuß und Wandkopf kann durch Anordnung von Bitumendachbahnen R 500 verkleinert werden (Bild 18).

2. Geringe Schwinddehnung der Mauersteine nach dem Einbau

Die Steine sollen besonders während der Lagerung in den Wintermonaten gegen Feuchteaufnahme (Niederschlag) geschützt werden; Abdeckung und Lagerung auf Palette (Bild 19). Stark wassersaugende Mauersteine (Sommerbaustelle) sind ggf. vor dem Vermauern vorzunässen (Bild 20). Das Vornässen soll nur kurzzeitig und oberflächig unmittelbar vor dem Vermörteln erfolgen.

3. Vermörteln der Lagerfugen

Durch vollflächig vermörteltes Mauerwerk wird ein ausreichender Haftverbund zwischen Stein und Mörtel erreicht. Um dies sicherzustellen, soll der Mörtel gut verarbeitbar sein („sämig“), nicht zu schnell ansteifen und auch wenig schwinden.

Bei nicht sichtbarem Mauerwerk hat sich mittlerweile die Verarbeitung im Dünnbettverfahren als Standard etabliert. Mauerwerk mit Dünnbettmörtel ist wirtschaftlicher herzustellen und führt zu einer höheren Tragfähigkeit im Vergleich zu Normalmörtel. Die von der KS-Industrie empfohlene Lagerfugendicke im fertigen Mauerwerk bei Dünnbettmörtel von mindestens 2 mm ist vorteilhaft für Verarbeitung und Verbund und minimiert das Rissrisiko.

Bei Verwendung von Normalmauermörtel wird die Verwendung der Gruppen NM II und NM IIa nach DIN 20000-412 bzw. DIN V 18580 empfohlen, da Normalmauermörtel NM III und NM IIIa sich in der Regel schlechter verarbeiten lassen und aufgrund der hohen Festigkeit einen steifen und spröden Mauermörtel in der Fuge ergeben.

4. Große Überbindelängen

Von Bedeutung für die Zugbeanspruchung und damit auch für die Minimierung des Rissrisikos z.B. einer Verblendschale ist der Mauerwerkverband. Eine halbsteinige Überbindung (Bild 21) ist stets anzustreben, weil sie die größtmögliche Scherkraft übertragende Fläche zwischen Stein und Mörtel ergibt.

5. Großer Verhältniswert Wandhöhe zu Wandlänge

Soweit möglich, sollten lange Wände mit geringer Wandhöhe vermieden werden, weil in diesem Falle die größten Zugspannungen auftreten. Gegebenenfalls sind lange Wände, z.B. bei nicht tragenden Wänden, in Abschnitte zu unterteilen.

6. „Kurze“ Wandabschnitte

Die Ausbildung von kurzen Wandabschnitten durch geschosshohe Fenster- oder Türöffnungen sowie die bewusste Anordnung von stumpf gestoßenen oder aus Schallschutzgründen „durchgeführten“ Wänden sind als spannungsabbauende Maßnahmen nützlich.

Bild 19 Lagern von Steinen mit Schutz gegen Niederschlag

Bild 20 Bei sehr hohen Außentemperaturen sind die Steine vorzunässen

4.3 Rechnerische Beurteilung der Risssicherheit

Sollte in besonderen Fällen eine rechnerische Beurteilung erforderlich sein, kann diese nach einem Verfahren erfolgen, das auf theoretischen Untersuchungen basiert [7] und die Steifigkeitsverhältnisse der Wände berücksichtigt.

Erwartungsgemäß ergibt sich für ein erhöhtes Rissrisiko der Formänderungsanteil aus der Feuchtedehnung (Schwinden, irreversibles Quellen). Der Einfluss von unterschiedlichen Kriechdehnungen in Innen- und Außenwänden ist in der Regel geringer. Wesentliche temperaturbedingte Verformungsunterschiede sind wegen der guten Wärmedämmung der Außenwände nicht zu erwarten. Für den rechnerischen Nachweis wird auf [8] verwiesen.

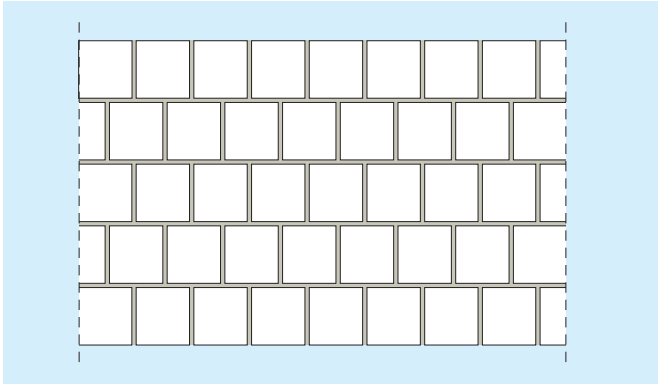


Bild 21 Halbstein-Überbindung minimiert Rissrisiko

5. Rissbildung infolge Durchbiegung von Stahlbetondecken

Verformungen von Stahlbetondecken sind so zu begrenzen, dass angrenzende Bauteile (wie leichte Trennwände, Verglasungen) nicht beeinträchtigt werden. DIN EN 1992-1-1 [9] gibt für Durchbiegungen, die angrenzende Bauteile beschädigen können, unter quasi-ständiger Einwirkungskombination einen Richtwert der Begrenzung von 1/500 der Stützweite an.

Der Nachweis des Grenzzustandes der Verformung ist über den Nachweis der Begrenzung der Biegeschlankheit oder rechnerischen Verformungsbetrachtung möglich – siehe DIN EN 1992-1-1- 7.4.2 und 7.4.3 [9].

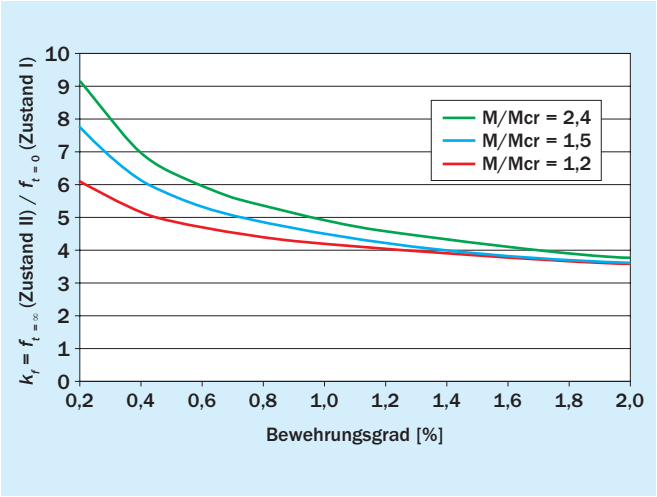


Bild 22 Verformungsvergrößerung im Zustand II ($t = \infty$) gegenüber Zustand I ($t = 0$) [10]

Im Allgemeinen erfolgt heute der Nachweis von Plattentragwerken mit Hilfe von FEM-Programmen. Betrachtet man dabei auch den Zustand II (gerissener Beton) sowie Langzeitverformungen aus Kriechen und Schwinden, so ist die ermittelte Verformung um ein Vielfaches größer als bei einer rein elastischen Betrachtung mit ungerissenem Querschnitt. Nach Bild 22 [10] ist je nach Bewehrungsgrad ein Erhöhungsfaktor von 3,5 bis 9 zu erwarten. Darüber hinaus haben der w/z-Wert, die Nachbehandlung und die Art der Belastung wesentlichen Einfluss auf die tatsächlich auftretende Verformung. Aufgrund der vielen stark streuenden Einflussfaktoren auf die reale Durchbiegung ist eher von einer Abschätzung als von einer Berechnung der Verformungen zu sprechen.

Die vielen Einflussfaktoren machen eine genaue rechnerische Analyse des Rissrisikos in angrenzenden Bauteilen schwierig und erfordern vielmehr die Einhaltung von Konstruktionsprinzipien, die im Wesentlichen aus der praktischen Erfahrung gewonnen wurden.

5.1 Nicht tragende Trennwände ober- und unterhalb von Stahlbetondecken

Die Durchbiegung von Geschossdecken ruft in Trennwänden auch Schub- und Zugspannungen hervor. Dabei kann die Durchbiegung der oberen Decke zu einer ungewollt hohen Belastung einer nicht tragenden Trennwand führen. Bedingt durch Zugspannungen können in der Wand dann verschiedene Rissverläufe auftreten (Bilder 23 und 24). Derartige Risse werden nicht durch fehlerhaftes Mauerwerk verursacht, sondern entstehen meist aufgrund unzureichender Durchbiegungsbegrenzungen der Decken.

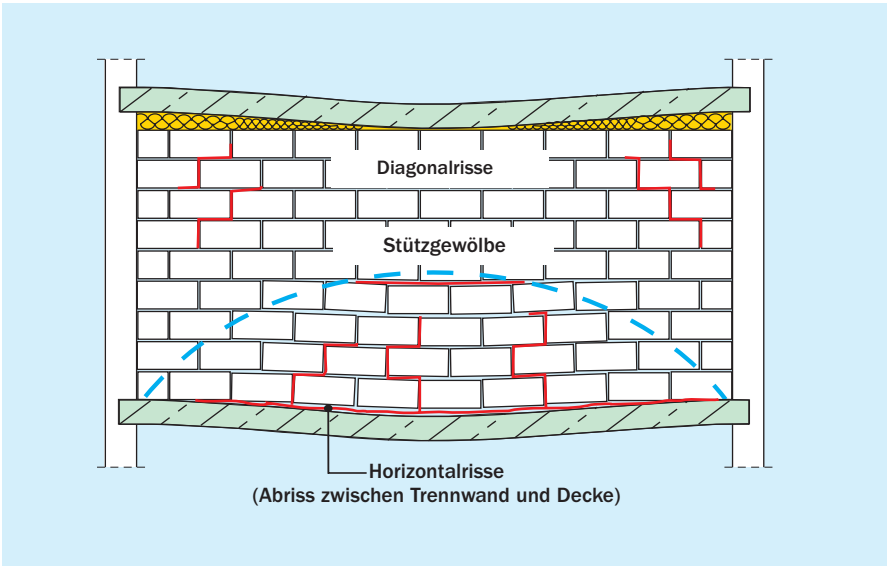


Bild 23 Riss in nicht tragender Trennwand infolge Durchbiegung der unteren Geschossdecke (Aufstandsfläche)

Bild 24 Rissbildung in nicht tragender Trennwand infolge Durchbiegung der unteren Geschossdecke

5.1.1 Maßnahmen zur Minimierung des Rissrisikos

Folgende Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit werden empfohlen:

1. Deckendurchbiegung genauer abschätzen, rechnerischer Nachweis nach DIN EN 1992 [9]

2. Deckendurchbiegung mit baulichen Maßnahmen begrenzen: durch spätes Ausschalen bei größeren Deckenspannweiten ab ca. 6 m Verformungsanteile aus Frühkriechen verringern, gute Nachbehandlung (Feuchthalten) und spätes Entfernen der Schalungsstützen

3. Verwendung kleinformatiger Steine und eines Normalmauermörtels mit niedrigem Elastizitätsmodul: größere Verformungsfähigkeit (Duktilität) der Mauerwerkswand

4. Erstellen der nicht tragenden Trennwand: nach dem Ausschalen der Decke, wenn ein hoher Anteil der Deckendurchbiegung bereits erfolgt ist

5. Nicht tragende Trennwand am Wandfuß von der unteren Geschossdecke trennen (Bild 25): Durch Anordnung von geeigneten Trennschichten, z.B. Bitumendachbahn R 500, wird erreicht, dass der horizontale Abriss zwischen Wand und Decke an einer unsichtbaren Stelle vorgesehen wird.

6. Nicht tragende Trennwand am Wandkopf: Ausreichende Verformungsmöglichkeit der Decken oberhalb der nicht tragenden Trennwand im oberen Wandbereich: Dazu sind zwischen der Geschossdecke und dem Wandkopf eine ausreichend verformungsfähige Zwischenschicht in genügender Dicke anzuordnen; vor allem bei Wandlängen über 5 m. Eine ausreichende Verformungsmöglichkeit der vertikalen Wandanschlüsse kann durch die Verwendung von beweglichen Wandanschlussankern verbessert werden. Das in vielen Fällen vorteilhafte Vermörteln der oberen Fuge sollte daher individuell überprüft werden.

7. Lange nicht tragende Trennwände vermeiden [11]: einzelne Türöffnungen raumhoch ausführen

8. Dehnungsfugen bei sehr langen Wänden: Anordnung in Abhängigkeit der Deckenfelder

9. Kein Betonieren von Stahlbetonstützen im Verband mit Mauerwerk: Rissrisiko durch Verformungsdifferenzen zwischen Mauerwerk und Beton

10. Vermeiden baulicher Durchfeuchtung, möglichst geringes Schwinden

11. Konstruktives Bewehren der Lagerfugen (Bild 27): Durch eine sinnvoll über die Wandhöhe gestaffelte Bewehrung – im unteren, zugbeanspruchten Wandbereich geringerer vertikaler Abstand der Bewehrung – lässt sich eine ausreichende Rissverteilung mit genügend kleinen Rissbreiten erreichen.

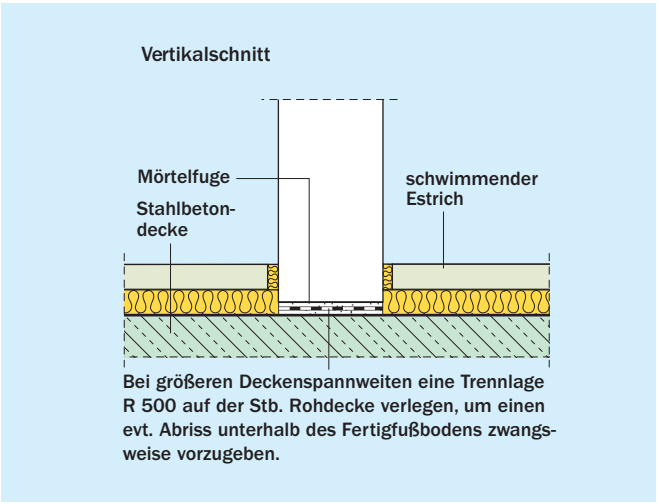


Bild 25 Trennlage am Wandfuß zwischen Mauerwerkswand und Stahlbetondecke

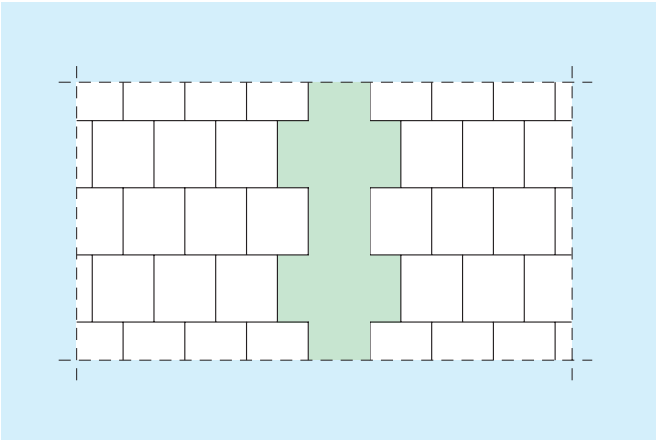


Bild 26 Rissrisiko beim nachträglichen Betonieren von Stahlbetonstützen im Verband mit Mauerwerk

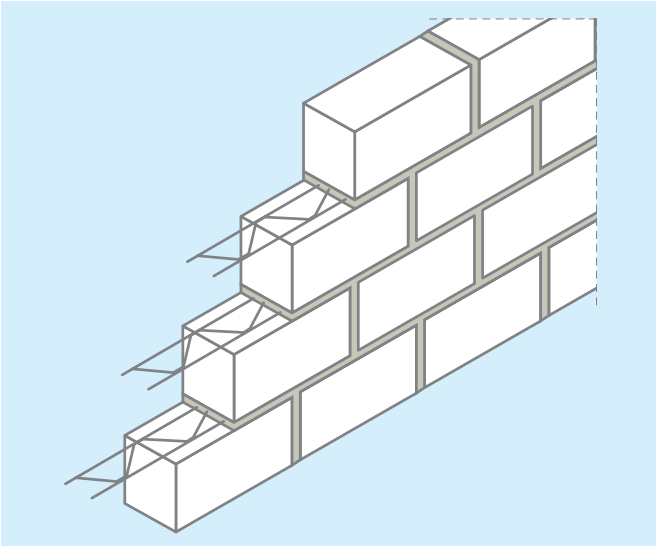


Bild 27 Lagerfugenbewehrung zur konstruktiven Risssicherung

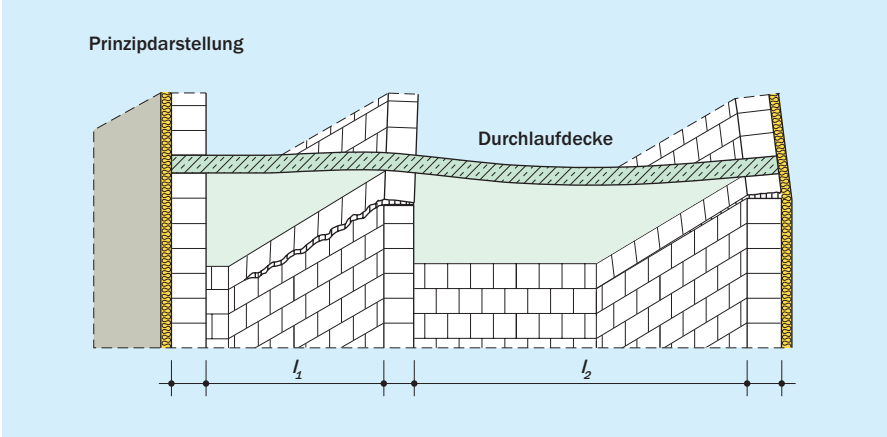


Bild 28 Rissbildung infolge großer Deckendurchbiegung

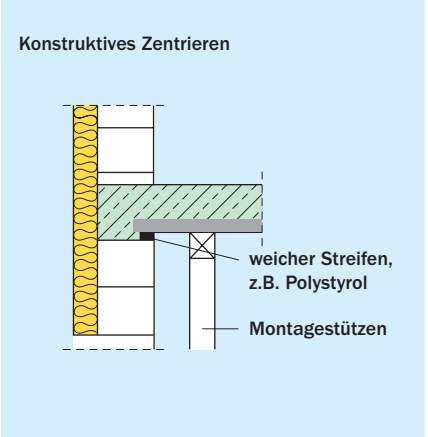


Bild 29 Einlage weicher Streifen zur Lastzentrierung

5.2 Verdrehung der Decke am Auflager

Die Durchbiegung der Decke führt zu einer Lageveränderung in Deckenmitte und einem Drehwinkel an den Auflagern. Infolge großer Deckendurchbiegungen kann es bei geringer Auflast zum Abriss zwischen Stahlbeton und Mauerwerk oder in der darunter liegenden Lagerfuge kommen (Bild 28). Bei Außenwänden werden diese Risse vom Wärmedämm-Verbundsystem bzw. Fassadensystemen überdeckt und sind daher in der Regel unproblematisch.

Zum Zentrieren der Deckenlast auf die Mauerwerkswand ist das Einlegen eines weichen Dämmstreifens empfehlenswert (Bilder 29 und 30).

Falls Schwind-, Temperaturverformungen und eine große Deckendurchbiegung gleichzeitig auftreten, können spezielle Verformungslager für eine mittige Lastzentrierung angeordnet werden. Ein Ringbalken ist dann nicht erforderlich, wenn die auftretenden Querkräfte vom Verformungslager aufnehmbar sind (Bild 31).

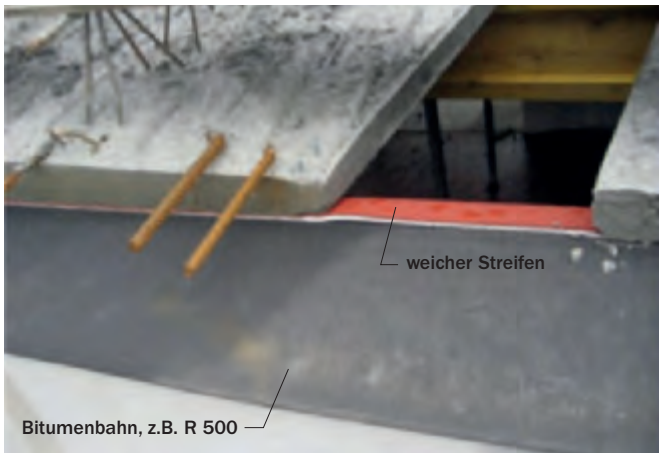


Bild 30 Beispiel für Einlage weicher Streifen und Bitumenbahnen

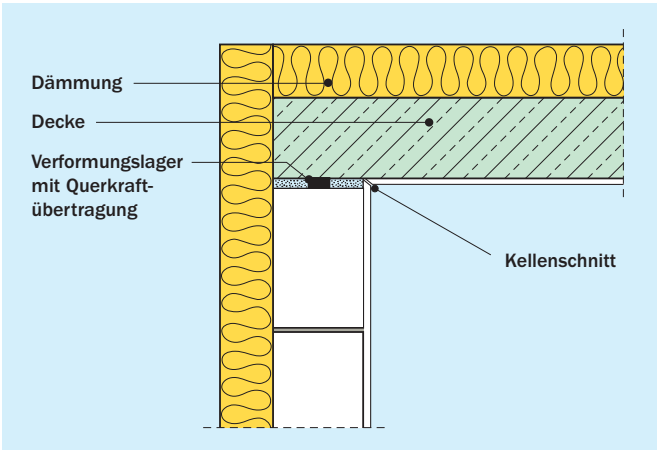


Bild 31 Konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung der Deckenauflagerkraft am Beispiel der Außenwand unter einer Dachdecke – Verformungslager mit Zentrierstreifen zwischen Wand und Decke

5.3 Verdrehung der Dachdecke durch Aufschüsseln

Die Verdrehung am Auflager von Dachgeschossdecken ist um ein Vielfaches größer als im Regelgeschoss, da hier ohne aufgehende Wände eine wesentlich geringere rissüberdrückende Auflast vorhanden ist.

Als Folge entstehen Risse in der ersten Steinschicht unter der Decke oder im Bereich ecknaher Öffnungen. Der Ortbeton der Dachdecke bildet einen größeren Haftverbund mit der obersten Steinreihe, so dass sich nur mit Einlage einer Trennschicht der Riss hierhin verlagern lässt (Bild 32).

5.3.1 Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit

1. **Einlegen einer Trennschicht im Eckbereich**
   Durch die Anordnung je eines von der Ecke aus mindestens 1,50 m langen Streifens einer besandeten Bitumendachbahn R 500 (nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202) tritt der planmäßige Sollriss in der Fuge zwischen Mauerwerk und Stahlbetondecke auf.

2. **Besondere Maßnahmen, um das Aufschüsseln der Betondecke zu verhindern (Bild 33)**

   - durch Auflast , z.B. Dachstuhl
   - Stahlbetonüberzug (Unterzug) für erhöhte Biegesteifigkeit
   - Sollbruchstelle durch getrennte obere Bewehrung („drillweiche Ecke“)
   - Zugstütze zur unteren Konstruktion

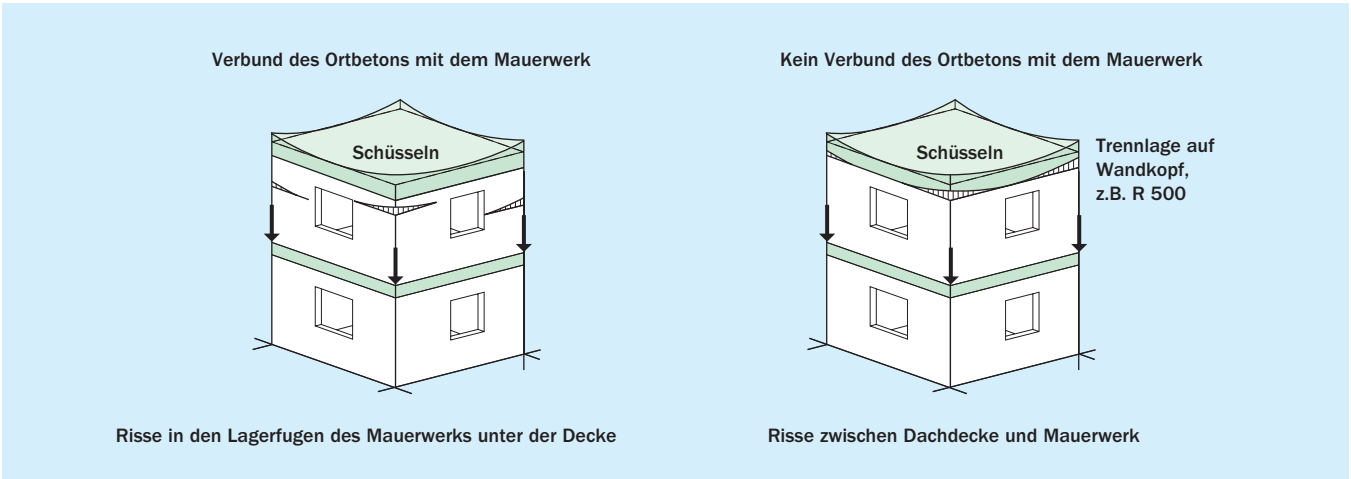


Bild 32 Eckabhebung der Dachdecke – Risse im Mauerwerk und zwischen Mauerwerk und Decke

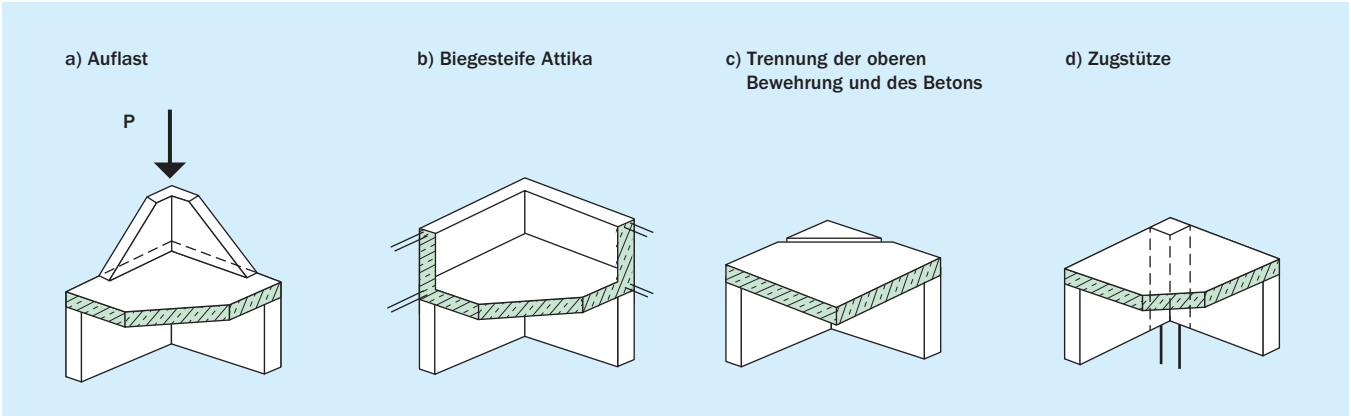


Bild 33 Maßnahmen zum Verhindern von „Schüsseln“ von Betondecken im Eckbereich

6. Rissbildung infolge von Baugrundeigenschaften

Ein weiterer Grund für Risse im Mauerwerk können zu große Setzungsunterschiede im Baugrund sein.

Ursache für ungleichmäßige Setzungen unterhalb der Gründung können ungleichmäßige Baugrundverhältnisse sein, Lastkonzentrationen über Gründungsbereichen oder Veränderungen infolge von Anbauten oder Nachbargebäuden (Bodenaushub, Tiefe und Art der Gründung, evt. Grundwasserabsenkung). Als seltene Fälle, aber mit sehr großer Auswirkung, sind die Gründung auf gestörtem Baugrund (z.B. Bergbaugebiet), die Unterspülung infolge von Hochwasser und Erdbeben bekannt.

In heute üblicher Bauweise werden die Gründungsbauteile (Bodenplatte und Kellerwände), sowie die Decke über dem Kellergeschoss meistens aus Stahlbeton hergestellt. Hier wird über die ausreichende Steifigkeit das Rissrisiko in den aufgehenden Mauerwerkswänden verringert. Stahlbetontragglieder können durch Umlagerung von Lasten ungleichmäßige Baugrundsetzungen teilweise ausgleichen.

Bei der Bemessung der Gründungsbauteile ist auf eine Begrenzung der Setzungsunterschiede zu achten. In Bild 34 ist erkennbar, dass bei einem Grenzwert s/L von 1/1.000 das Schadensrisiko sehr klein ist, damit sind jedoch auch besondere Aufwendungen und erhebliche Kosten verbunden. Hier ist vom Planer ein Optimum zwischen Rissrisiko und Kostenaufwand herauszuarbeiten. Bereits in der Planungsphase sollte in Abhängigkeit der Einflussfaktoren die Notwendigkeit von Gebäudetrennfugen überprüft werden.

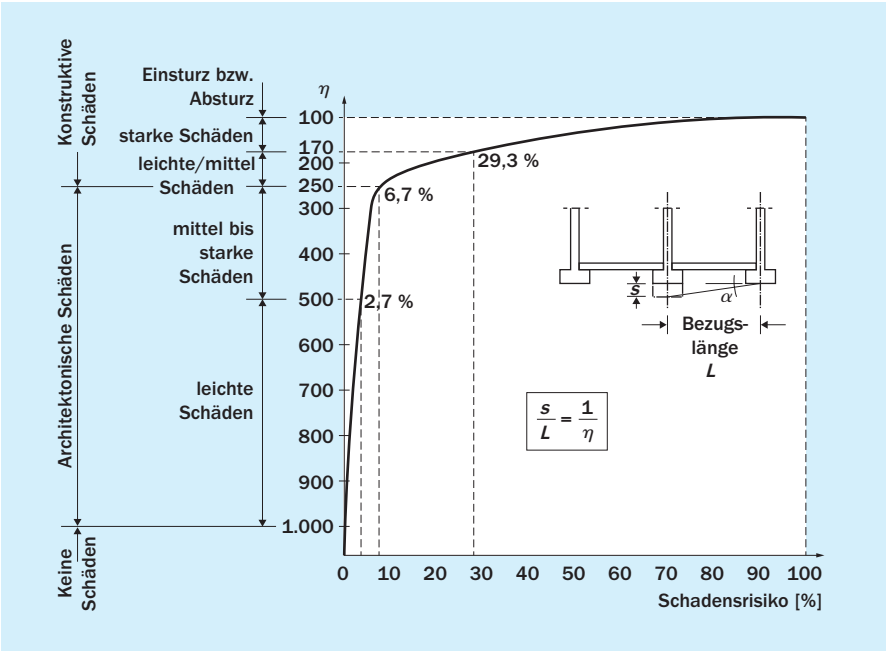


Bild 34 Verhältnis von Setzungsunterschied bei Gründungen und dem Schadensrisiko

7. Gebäudegliederung durch Fugen

Die Gliederung komplexer Gebäudegrundrisse in einzelne Baukörper durch Gebäudetrennfugen verringert die Zwangsspannungen z.B. aus Kriechen, Schwinden und Temperatureinflüssen. Je nach vorhandener Gründung und Gebäudegeometrie sind Setzungsfugen zu planen. Arbeitsfugen in Stahlbetondecken werden aus technologischen Gründen gewählt, lassen sich aber auch vom Planer festlegen und sind dann in den Bauunterlagen, insbesondere in der Ausschreibung, aufzuführen. Sind weder Arbeitsfugen noch Schwindgassen geplant und ausgeschrieben, werden in der Praxis sehr große Deckenbereiche in einem Zuge hergestellt, womit das Rissrisiko in den angekoppelten Mauerwerkswänden erheblich steigt.

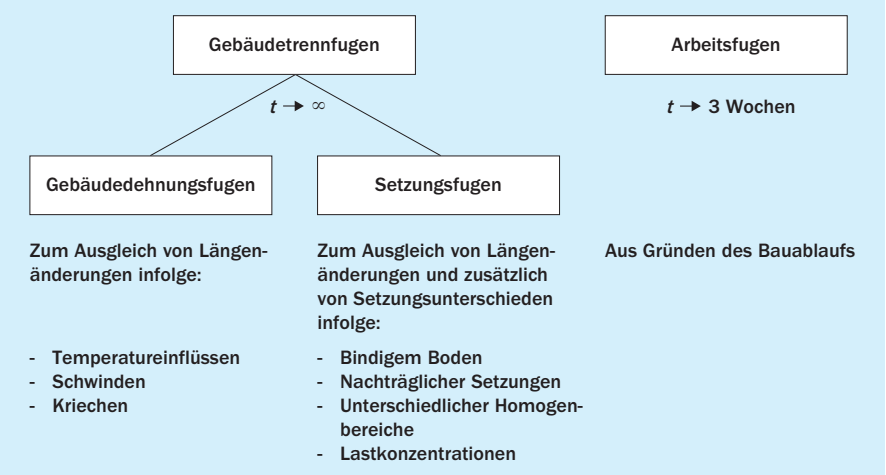


Bild 35 Gebäudegliederung durch Fugen

Tragende Außen- und Innenwände sollten möglichst geschossweise übereinander angeordnet sein. Neben den Einwirkungen aus Eigen- und Nutzlasten sowie möglichen Baugrundsetzungen sind insbesondere bei Dachdecken ohne Auflast die folgenden Einwirkungen zu beachten:

- einmaliges Schwinden des Betons im Zuge der Austrocknung (Einsatz von schwindarmen Betonen mit entsprechender Nachbehandlung)
- Verdrehungen im Bereich von Endauflagern
- Verformungen durch Temperaturänderungen zwischen Herstell- und Nutzungszeitraum

Dehnungsfugen sind konsequent zwischen den Baukörpern bis zur Oberkante des Fundamentes durchzuführen. Die Anordnung auch durch die Ausbauelemente ist daher mit erhöhtem Aufwand verbunden.

Bei Setzungsfugen wird zusätzlich die Gründung in Abschnitte getrennt, wenn dies komplizierte Baugrundverhältnisse erfordern, z.B. bei bindigem Boden, unterschiedlicher Homogenbereiche [12] oder Lastkonzentrationen.

Für nachhaltige Bauwerke ist deshalb schon in den frühen Planungsphasen zu prüfen, ob und an welchen Stellen Gebäudetrennfugen oder Arbeitsfugen sinnvoll sind (Bild 35).

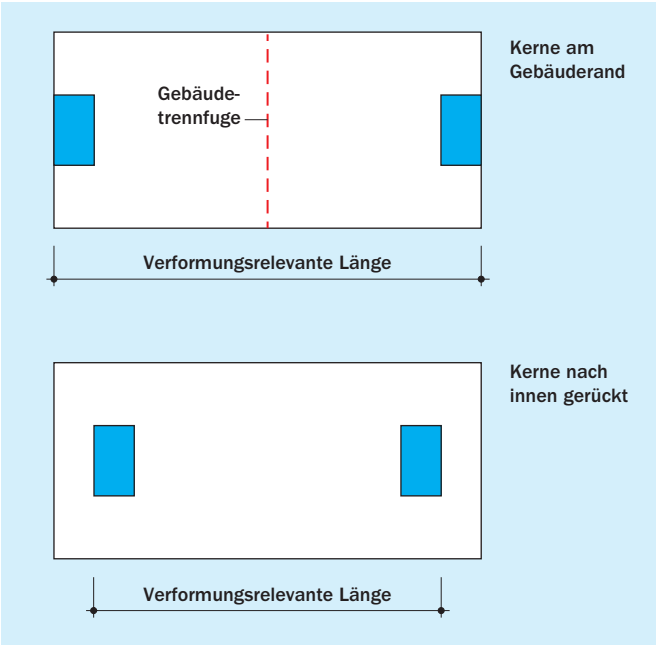


Bild 36 Auswirkung des Gebäudegrundrisses auf die Anordnung von Dehnungsfugen

7.1 Abstand von Gebäudedehnungsfugen

Verformungsbetrachtungen sollten grundsätzlich schon ab Gebäudelängen von etwa 20 m unternommen werden. In der Regel sind bei außengedämmten Konstruktionen größere Abstände der Gebäudetrennfugen möglich. Grundlage für die Planung von Gebäudetrennfugen ist zunächst die Wahl der Wandkonstruktion für die tragenden Innen- und Außenwände in Verbindung mit den angrenzenden Massivbauteilen aus Stahlbeton.

Wegen der außen angeordneten Dämmung bei KS-Funktionswänden sind Temperatureinwirkungen auf den gesamten Bau-

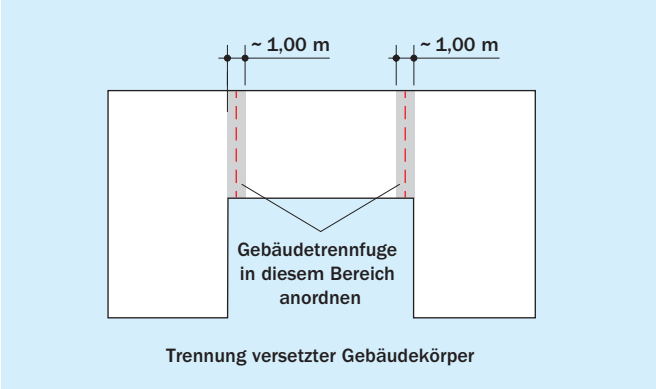


Bild 37 Trennung versetzter Gebäudekörper mit Gebäudetrennfugen

körper gering. Praxisbeispiele aus den letzten 20 Jahren zeigen, dass bei günstiger Grundrissplanung mit geeigneten Maßnahmen zur Mauerwerksausbildung und sorgfältiger Bauausführung deutlich größere Gebäudelängen ohne Gebäudetrennfugen möglich sind.

Zu beachten ist, dass bei gegliederten Gebäudeformen (z.B. L-, T- oder Z-förmige Grundrisse) das zu erwartende Rissrisiko infolge der unterschiedlichen Formänderungen im Übergang der einzelnen Gebäudeteile grundsätzlich durch Dehnungsfugen minimiert werden muss (siehe Bilder 36 und 37).

Ausgehend von den Festpunkten (z.B. Aussteifungswänden, Aufzugsschächte und Treppenhäuser) können mit Hilfe von Schwind- und Temperaturkennwerten die zu erwartenden Längenänderungen von Dachdecken und Wänden abgeschätzt werden. Die zu erwartenden Schwind- und Temperaturverformungen von KS-Mauerwerk und Stahlbeton sind in den Tafeln 3 und 4 dargestellt.

Der in DIN EN 1996/NA angegebene Rechenwert der Feuchtedehnung von Kalksandsteinen (Schwindmaß) $\varepsilon_{s\infty}$ = -0,2 mm/m bezieht sich auf Prüfergebnisse an wasservorgelagerten Steinen. Ein Schwindmaß von -0,1 mm/m ist daher in vielen Fällen baupraktisch erreichbar, da in der Regel auf Baustellen trockene bzw. evt. nur oberflächenfeuchte Steine verarbeitet werden. Risserzeugend wirken vor allem Dehnungsdifferenzen der einzelnen Bauteile und nicht die absolute Verformung eines Einzelbauteils. Daher ist die Kombination von Kalksandsteinwänden und Betondecken bei sorgfältiger Analyse der möglichen Verformungsdifferenzen im Regelfall eine Konstruktion mit verhältnismäßig geringer Rissneigung der einzelnen Bauteile.

Tafel 3 **Schwindverformungen durch Kalksandsteine und Stahlbeton für reale Gebäudelängen**

Schwinddehnung	**Kennwerte für Schwinden** ε_f	**Gebäudelängen** L		
		L = 10 m	L = 20 m	L = 50 m
Kalksandstein	**-0,2**/-0,1 mm/m	**-2,0**/-1,0 mm	**-4,0**/-2,0 mm	**-10,0**/-5,0 mm
Stahlbeton w/z-Wert	Je höher der Bewehrungsgehalt, desto geringer das Schwindmaß			
0,3	≈ -0,25 mm/m	-2,5 mm	-5,0 mm	-12,5 mm
0,5	≈ -0,50 mm/m	-5,0 mm	-10,0 mm	-25,0 mm
0,7	≈ -0,90 mm/m	-9,0 mm	-18,0 mm	-45,0 mm
Einzelne Verformungen (Längenänderungen) können sich auch überlagern.				

Tafel 4 **Temperaturverformungen durch Kalksandsteine und Stahlbeton für reale Gebäudelängen**

Temperaturdehnung $\Delta l_T = \alpha_T \cdot \Delta_T \cdot l$	**Kennwerte für Temperaturdehnung** α_T **(bei Temperaturunterschied von 20 K)**	**Gebäudelängen** L		
		L = 10 m	L = 20 m	L = 50 m
Kalksandstein	0,008 mm/m · K	±1,6 mm	±3,2 mm	±8,0 mm
Stahlbeton	0,010 mm/m · K	±2,0 mm	±4,0 mm	±10,0 mm
Einzelne Verformungen (Längenänderungen) können sich auch überlagern.				

8. Dehnungsfugen in Ausfachungswänden und Verblendschalen

Gering belastete und damit wenig überdrückte, nicht tragende innere Trennwände (z.B. Ausfachungswände in Skelettbauten) sowie Verblendschalen sind in ihrer Länge zu begrenzen. Für nicht tragende innere Trennwände gelten die Werte aus [11].

Es ist ausreichend, wenn die einzelnen Wandabschnitte je nach Wandart und Beanspruchung durch entsprechend ausgebildete Fugen voneinander getrennt werden. Zur Unterteilung eignen sich beispielsweise Stahlbetonstützen oder Stumpfstöße an Querwände.

Für Verblendschalen aus KS-Mauerwerk sollte der Abstand der Fugen nicht mehr als 6 m betragen. Die Dehnungsfugen sind nach DIN 18540-19 auszubilden.

Für Verblendschalen zeigt Bild 38 die Anordnung vertikaler Dehnungsfugen. Diese sollten in der Regel an den Gebäudeecken angeordnet werden. Ist dies beispielsweise aus ästhetischen Gründen unerwünscht (Eckverband als wesentliches Stilelement im Mauerwerksbau), so sind auch zwei Dehnungsfugen im Abstand von jeweils etwa maximal 2 m bzw. halbem Dehnungsfugenabstand von der Ecke sinnvoll. Bei Ausbildung der Dehnungsfugen ist auf deren ausreichende Breite (≥ 10 mm) zu achten.

Weiterhin ist auch zu prüfen, ob eine Verformung der Verblendschalen in vertikaler Richtung sinnvoll ist. Wenn erforderlich, sind entsprechende horizontale Dehnungsfugen anzuordnen, die bei mehrgeschossigen Bauten unterhalb der notwendigen Abfangkonstruktion für die Verblendschale vorzusehen sind (Bild 39).

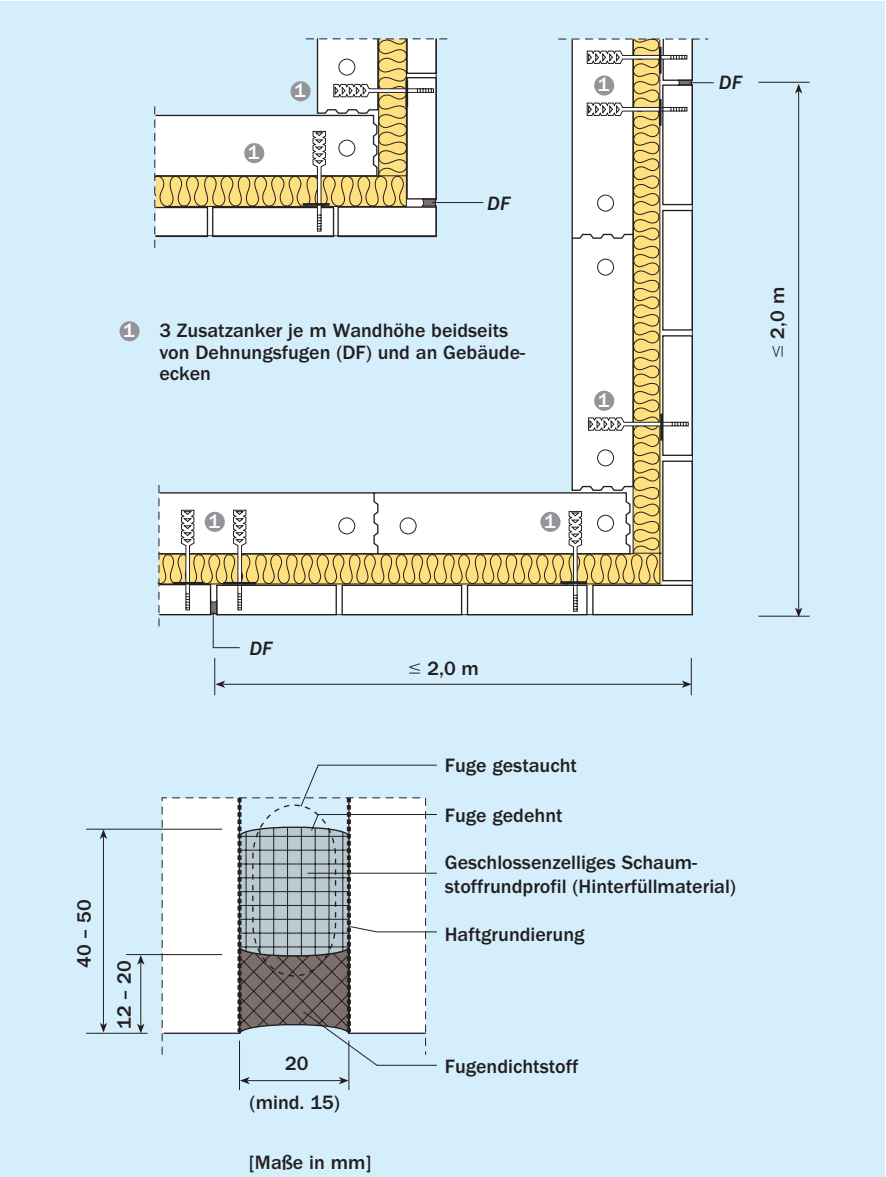


Bild 38 Verblendschalen mit vertikaler Dehnungsfuge (DF) an den Gebäudeecken

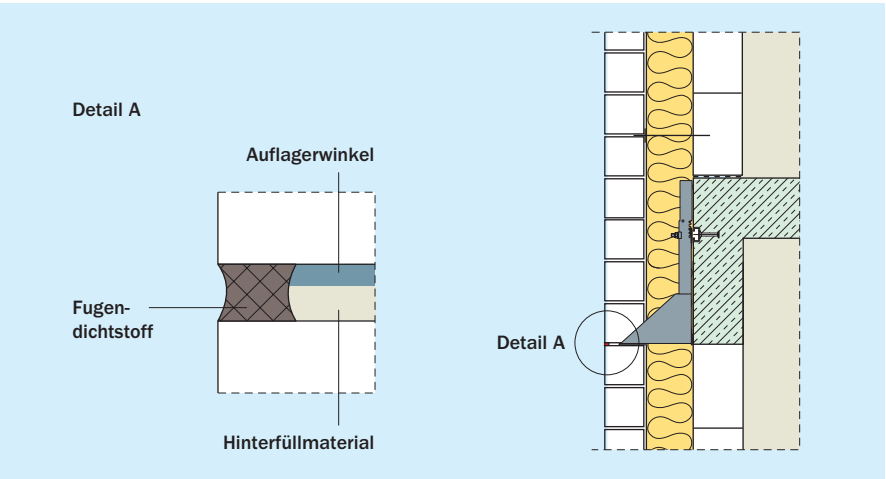


Bild 39 Verblendschalen mit horizontaler Dehnungsfuge

8.1 Rissbildung durch Längenänderung in vertikaler und horizontaler Richtung

8.1.1 Verformungsfall HV1: Zweischalige Außenwände mit Verblendschale

Bei zweischaligen Außenwänden treten in der Regel sehr unterschiedliche Verformungen der beiden Mauerwerksschalen auf.

Die Innenschale verformt sich im Wesentlichen durch Kriechen und Schwinden; nennenswerte temperaturbedingte Verformungen sind wegen der weitgehend konstanten Raumtemperatur nicht zu erwarten. Die Außenschale (Verblendscha-

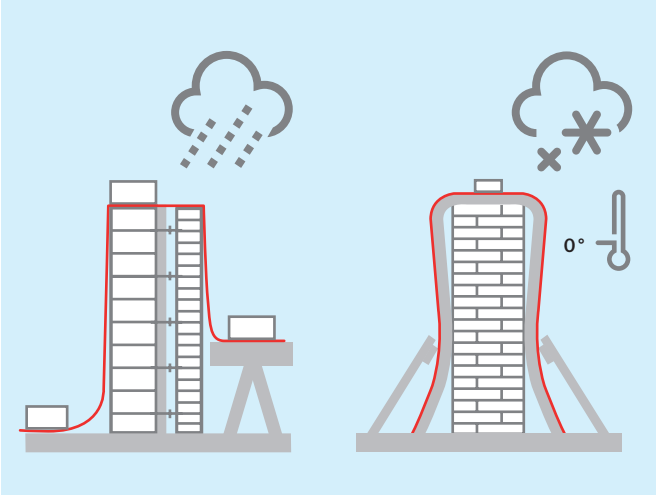


Bild 40 **Frisches Mauerwerk ist vor Regen und Frost zu schützen**

le) ist unmittelbar den klimatischen Einflüssen, d.h. Temperatur- und Feuchteänderungen, ausgesetzt. Die Verblendschale sollte sich deshalb weitgehend unbehindert von der Innenschale verformen können. Die notwendige Verankerung zwischen beiden Schalen ist in Richtung Wandhöhe und -länge so weich auszuführen, dass sie nicht zu wesentlichen Verformungsbehinderungen führt.

Die Verformungen der Verblendschale werden jedoch durch die notwendige Auflagerung und ggf. auch durch das seitliche Anbinden an Nachbarbauteile (weiterführende Verblendschalen oder z.B. Stützen) behindert. Durch diese Verformungsbehinderungen entstehen Zugspannungen in der Verblendschale, die ab einer bestimmten Wandlänge bzw. einem gewissen Verhältniswert Wandlänge/Wandhöhe im mittleren Bereich der Wandlänge nahezu horizontal verlaufen. Die Höhe dieser Zugspannungen hängt ab von der Größe der Formänderungen (Schwinden, Wärmedehnung), dem Zug-E-Modul des Mauerwerks parallel zu den Lagerfugen, dem Behinderungsgrad (im Auflagerbereich) sowie dem Spannungsabbau durch Relaxation.

Durch ein einfaches Berechnungsverfahren [8], das theoretisch und versuchsmäßig ausreichend begründet ist, lassen sich die rissfreie Wandlänge bzw. der Dehnungsfugenabstand von Verblendschalen mit guter Genauigkeit abschätzen. Die Berechnungsergebnisse stimmen mit den Praxiserfahrungen zufriedenstellend überein.

Bei längeren nicht oder nur wenig belasteten Mauerwerkswänden (nicht tragende Wände, Verblendschalen, Ausfachungen), die durch angrenzende Wände oder durch Stahlbetondecken an der Formänderung in horizontaler Richtung behindert sind, entstehen ebenfalls Zugspannungen, die durch entsprechende Rissbildung abgebaut werden. Insbesondere im Bereich von Brüstungen besteht ein erhöhtes Rissrisiko. In [8] werden ausführlich Rechenverfahren zu diesem Verformungsfall aufgezeigt und bewertet.

8.1.2 Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit

1. Herstellen der Verblendschalen bei günstiger Außentemperatur
Soweit möglich, sollen die Verblendschalen bei niedriger Außentemperatur hergestellt werden. Dadurch werden die jahreszeitlich bedingte Abkühlung unter die bei der Erstellung des Mauerwerks vorherrschende Temperatur und damit die zugspannungserzeugende Temperaturverformungen klein gehalten. Gleichzeitig verringert sich im Allgemeinen auch das Risiko einer zu schnellen und zu starken Austrocknung. Durch diese würde ein zu hohes Anfangsschwinden im äußeren Mörtel-Stein-Bereich hervorgerufen, was den Haftverbund zwischen Mörtel und Stein und damit auch die Zugbeanspruchbarkeit des Mauerwerks beeinträchtigt.

2. Schutz vor ungünstigen Witterungseinflüssen
Die Verblendschalen sollen zumindest bis zum Alter von einer Woche nach dem Herstellen vor Regen (Schlagregen) und zu schnellem und starkem Austrocknen ausreichend geschützt werden. Dies kann z.B. durch Abdecken mit Folien erfolgen, Bild 40. Frühzeitiges starkes Durchfeuchten der Mauerwerkswände vergrößert das spätere Schwinden bei Austrocknung.

3. Konstruktive Bewehrung
Anordnen von konstruktiver Bewehrung in den Lagerfugen besonders rissempfindlicher Bereiche bei Verblendschalen, z.B. Brüstungen (Bild 41).

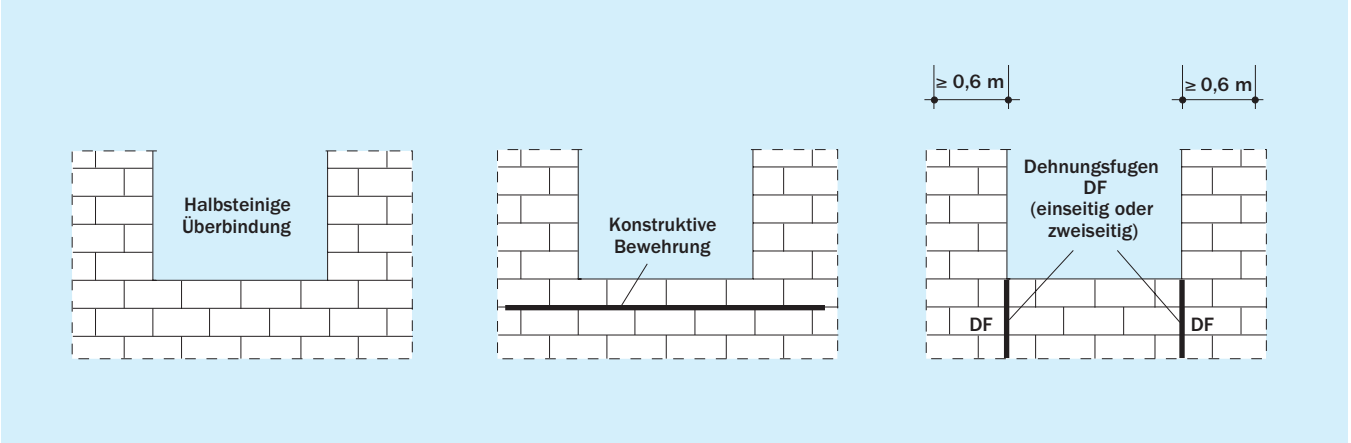


Bild 41 **Brüstungsbereiche von Verblendschalen**

Literatur

[1] Gänßmantel, J.: Klassifizierung, Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze und Fassaden, Dormettingen

[2] DIN EN 1996-1-1:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und bewehrtes Mauerwerk; in Verbindung mit: DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05

[3] Schubert, P.: Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Mauersteinen, Mauermörtel und Putzen. In: Mauerwerk-Kalender 35 (2010), S. 3–25, Verlag Ernst und Sohn, Berlin

[4] Schubert, P.: Schadensfreies Konstruieren mit Mauerwerk, Teil 1: Formänderungen. In: Mauerwerk-Kalender 27 (2002), S. 313–331, Verlag Ernst und Sohn, Berlin

[5] Pfefferkorn, W.; Klaas, H.: Rißschäden an Mauerwerk. In: Schadenfreies Bauen, Band 7, 3. überarbeitete Auflage, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 1996

[6] DIN 18530:1987-03: Massive Deckenkonstruktionen für Dächer; Planung und Ausführung

[7] König, G.; Fischer, A.: Vermeiden von Schäden im Mauerwerk- und Stahlbetonbau. Darmstadt: Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 1991 – Abschlussbericht

[8] Schubert, P.: Zur rissfreien Wandlänge von nicht tragenden Mauerwerkwänden. In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 73–488, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

[9] DIN EN 1992-1-1: 2004 – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

[10] Minnert, Jens: Verformung von Stahlbetonbauteilen. In: Konstruktiver Ingenieurbau 04/2017

[11] DGfM Merkblatt „Nicht tragende innere Trennwände aus Mauerwerk“, Berlin 2017

[12] Engel, J.; Lauer, C.: Charakteristische Kennwerte und Homogenbereiche – Bewertung von Böden im Erd- und Grundbau. In: Konstruktiver Ingenieurbau 01/2017

Bildnachweise

Bild S. 158, Bild S. 169 unten: Stefan Witte;
Bild 30: Frank Purtak; **Bild S. 174 unten:** Andreas Friese;
Bild S. 176 unten: Wohnungsgenossenschaft Kleefeld-Buchholz/
Daniel Junker/KS-ORIGINAL

Bild 11, Bild 13, Bild 19, Bild 20, Bild 24:
Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 9

BEMESSUNG

Prof. Dr.-Ing. Eric Brehm,
Hochschule Karlsruhe

Stand: 08/2025

1. Einführung und Stand der Normung

1.1 Geschichtliche Entwicklung

1.1.1 Kalksandstein-Bauweise

Mauerwerk verfügt über eine lange Tradition und war schon im Altertum eine anerkannte Bauweise. Aufgrund der hohen Druckfestigkeit wird Mauerwerk seit der Antike zum Abtrag vertikaler Lasten verwendet. Durch die Entwicklung von bogenartigen Konstruktionen und Gewölben wurde es schon im römischen Reich auch zur Überspannung von Öffnungen oder Räumen eingesetzt. Bis weit ins 20. Jahrhundert wurde Mauerwerk hauptsächlich aus klein- und mittelformatigen Steinen hergestellt, welche mit Normalmauermörtel vermauert wurden. Aufgrund der hohen Maßhaltigkeit von industriell hergestellten Kalksandsteinen sowie der Weiterentwicklung der Mauermörtel konnte im Jahr 1973 dann aber erstmals die Anwendung von großformatigen Kalksandsteinen in Verbindung mit Dünnbettmörtel bei einem 10-geschossigen Wohngebäude erfolgen.

Um den Arbeitsaufwand bei der Erstellung von Mauerwerk zu verringern, wird seit dem auslaufenden 20. Jahrhundert auf die früher übliche Stoßfugenvermörtelung im Regelfall verzichtet, da dies beim modernen Mauerwerk kaum Vorteile bringt. Zudem wird die aufwändig herzustellende Verzahnung einer Wand mit den Querwänden nicht mehr ausgeführt, weil Mauerwerkswände heute im Regelfall ohne seitliche Halterung berechnet werden. Stattdessen wird bei KS-Mauerwerk die Stumpfstoßtechnik angewendet. Durch die Verwendung von großformatigen Kalksandsteinen (KS XL), die mit Hilfe von Versetzgeräten vermauert werden, konnte die Bauzeit zudem weiter erheblich verringert werden. Dies trägt mit Blick auf den heutigen Fachkräftemangel und weiter steigende Lohnkosten zu deutlich wirtschaftlicheren Konstruktionen bei. Die daraus resultierende körperliche Entlastung des Maurers hat zudem erheblich zur Humanisierung der Mauerarbeiten beigetragen.

1.1.2 Normung

Während die Tragfähigkeit von Mauerwerksgebäuden in der Antike und im Mittelalter weitgehend empirisch auf Grundlage des Erfahrungsschatzes der Baumeister beurteilt wurde, stehen heute detaillierte Regelwerke zur Berechnung und Ausführung von Mauerwerk zur Verfügung. Bereits in der ersten Fassung von DIN 1053 im Jahr 1937 waren Tabellen zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Mauerwerk in Abhängigkeit üblicher Steindruckfestigkeiten und Mörtelgruppen enthalten, wobei die maximal zulässige Wandschlankheit auf 12 begrenzt war. Die zulässigen Schubspannungen wurden pauschal in Abhängigkeit der Mauerwerksdruckfestigkeit begrenzt.

Der erste Schritt in Richtung einer ingenieurmäßigen Betrachtung von Mauerwerk wurde 1965 mit der Einführung der SIA 113 in der Schweiz vollzogen. In Deutschland wurde auf Grundlage groß angelegter Forschungsarbeiten von Gremmel [1], Kirtschig [2] und Mann/Müller [3] mit DIN 1053-2 im Jahr 1984 erstmals eine Norm zur genaueren Bemessung von Mauerwerk veröffentlicht. Diese Norm enthielt ein Berechnungsmodell zur Bestimmung der Wandtragfähigkeit unter Berücksichtigung der Wandschlankheit sowie des nicht linearen Verhaltens von Mauerwerk. Darüber hinaus wurde auch ein Bemessungsmodell zur Ermittlung der Schubfestigkeit eingeführt.

Mit der Überarbeitung von DIN 1053-1 zur Berechnung und Ausführung von Rezeptmauerwerk stand ab dem Jahr 1990 dann auch ein vereinfachtes Berechnungsverfahren zur Verfügung, welches eine rationellere Bemessung von üblichen Mauerwerksgebäuden ermöglichte. Die zulässigen Spannungen wurden dabei durch Abminderungsfaktoren reduziert, die den Einfluss der Wandschlankheit sowie der exzentrischen Lasteinleitung durch die Auflagerverdrehung der Stahlbetondecken berücksichtigten.

Im Jahr 1996 wurden alle Regelungen für Rezeptmauerwerk und Mauerwerk nach Eignungsprüfung in DIN 1053- 1 zusammengefasst. Darüber hinaus enthielt die Norm auch die maßgeblichen Anforderungen an die Ausführung von Mauerwerk. Zudem war Mauerwerk mit Dünnbettmörtel nunmehr vollumfänglich geregelt. Die Mehrzahl der üblichen Gebäude aus Mauerwerk konnte weiterhin mit dem vereinfachten Berechnungsverfahrens bemessen werden. Nur wenn die entsprechenden Anwendungsbedingungen nicht eingehalten waren oder wenn dies im Einzelfall zur rationelleren Bemessung erforderlich war, konnten einzelne Bauteile auch mit Hilfe des genaueren Berechnungsverfahrens nachgewiesen werden. Hierbei durfte nunmehr auch die Ausnutzung von plastischen Tragfähigkeitsreserven bei

Bild 1 **Wasserturm Niederlehme.**

exzentrischer Druckbeanspruchung durch eine Erhöhung der zulässigen Randspannung berücksichtigt werden.

Mit der parallelen bauaufsichtlichen Einführung von DIN 1053-100 im Jahr 2006 wurden die Bemessungsregeln in DIN 1053-1 auch in das Teilsicherheitskonzept übertragen. Diese Norm konnte sich in der Praxis aber kaum durchsetzen, so dass DIN 1053-1 bis zur Einführung der europäischen Bemessungsnormen die maßgebliche Mauerwerksnorm blieb.

1.2 Eurocode 6

Bereits Mitte der 1980er Jahre wurde auf europäischer Ebene mit den Arbeiten an einem einheitlichen Regelwerk zur Berechnung von Bauwerken begonnen. Inzwischen gewährleistet der Eurocode für die verschiedenen Bauweisen und Baustoffe eine einheitliche Bemessungsnormung in Europa und ermöglicht eine länderübergreifende Planung. Mit der bauaufsichtlichen Einführung der Eurocodes erhielt auch das baustoffübergreifende Sicherheitskonzepts auf der Grundlage von Teilsicherheitsbeiwerten Einzug in die Bemessung. Das semiprobabilistische Teilsicherheitskonzept ermöglicht seitdem ein einheitliches Zuverlässigkeitsniveau der Baukonstruktionen. Alle Eurocodes sind nur in Verbindung mit den zugehörigen – ebenfalls bauaufsichtlich eingeführten – Nationalen Anhängen (NA) anwendbar. Darin werden die Nationalen Besonderheiten durch national festzulegende Parameter (NDP), wie z.B. die im jeweiligen Land geltenden Teilsicherheitsbeiwerte, und nicht widersprechende zusätzliche Regeln (NCI) geregelt. Die für die Bemessung von Mauerwerk wichtigen Eurocodes sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Mit der bauaufsichtlichen Einführung des Eurocode 6 „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ (DIN EN 1996) im Jahr 2014 wurden die alten nationalen Normen nach einer kurzen Übergangsfrist zurückgezogen. Erstmals war nun auch großformatiges Elementmauerwerk (KS XL) vollständig normativ geregelt, so dass allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen nicht mehr benötigt wurden. Der Eurocode 6 besteht aus insgesamt vier Teilen mit den zugehörigen Nationalen Anhängen, die in der jeweils aktuellen Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen {MVV TB) zitiert und damit bauaufsichtlich eingeführt sind. Die derzeit aktuellen Ausgaben sind:

- DIN EN 1996-1-1:2013-02 in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA: 2019-12 [4] Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- DIN EN 1996-1-2:2011-04 in Verbindung mit DIN EN 1996-1-2/NA: 2022-09 [5] Tragwerksbemessung für den Brandfall
- DIN EN 1996-2:2010-12 in Verbindung mit DIN EN 1996-2/NA:2012-01+A1:2021-06 [6] Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
- DIN EN 1996-3:2010-12 in Verbindung mit DIN EN 1996-3/NA:2019-12 [7] Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

Dem deutschen Sprachgebrauch folgend werden die allgemeinen Bemessungsregeln nach Teil 1-1 nachfolgend unter dem Begriff „Genaueres Berechnungsverfahren“ und die vereinfachten Berechnungsmethoden nach Teil 3 als „Vereinfachtes Berechnungsverfahren“ zusammengefasst. Wichtige Grundsätze für die Bemessung nach Eurocode 6 sind zudem:

- Die Nachweisführung erfolgt auf Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts (siehe Abschnitt 2.1).
- Im Gegensatz zu den früheren nationalen Vorgängernormen wird für den Nachweis auf Querschnittsebene ein starr-plastisches Materialverhalten („Spannungsblock“) zugrunde gelegt.
- Mauerwerk aus großformatigen Steinen (KS XL) kann uneingeschränkt nach dem vereinfachten oder dem genaueren Berechnungsverfahren bemessen werden.
- Wände mit nur teilweise aufgelagerter Decke können nach dem vereinfachten oder dem genaueren Berechnungsverfahren bemessen werden.

Tafel 1 Wichtige Normen zur Berechnung von Mauerwerk

Themengebiet	Norm	Inhalt
Einwirkungen	DIN EN 1990	Grundlagen der Tragwerksplanung
	DIN EN 1991-1-1	Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
	DIN EN 1991-1-2	Brandeinwirkungen
	DIN EN 1991-1-3	Schneelasten
	DIN EN 1991-1-4	Windlasten
	DIN EN 1991-1-5	Temperaturlasten
	DIN EN 1991-1-6	Bauzustände
	DIN EN 1991-1-7	Außergewöhnliche Lasten
	DIN EN 1997-1	Geotechnik
	DIN EN 1998-1	Bauten in Erdbebengebieten
Mauerwerk	DIN EN 1996-1-1	Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
	DIN EN 1996-1-2	Tragwerksbemessung für den Brandfall
	DIN EN 1996-2	Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
	DIN EN 1996-3	Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

- Bei Einhaltung der Anwendungsbedingungen des vereinfachten Berechnungsverfahrens ist ein Querkraftnachweis nicht erforderlich (siehe Abschnitte 5.1 und Abschnitt 5.5).
- Ein rechnerischer Nachweis der Gebäudeaussteifung kann entfallen, wenn das Gebäude offensichtlich ausgesteift ist. Ist nach Beurteilung durch den Tragwerksplaner dennoch ein Nachweis erforderlich, muss die Schnittgrößenermittlung bei horizontal beanspruchten Wandscheiben nicht zwingend nach dem Kragarmmodell erfolgen. In der Norm ist beispielhaft auch ein Modell unter Berücksichtigung der günstigen Wirkung einer Einspannung der Wände in die Geschossdecken angegeben.
- Der Eurocode 6 regelt grundsätzlich zwar auch die Bemessung von bewehrtem Mauerwerk, in Deutschland ist die Anwendung durch den anzusetzenden hohen Teilsicherheitsbeiwert jedoch de facto nicht möglich.

1.3 Begriffe

1.3.1 Steinarten

Kalksandsteine werden in verschiedenen Eigenschaften für unterschiedliche Anwendungsbereiche angeboten (Tafel 2). Die verschiedenen Steinarten lassen sich durch folgende Kriterien unterscheiden:

- Schichthöhe (Klein-, Mittel- und Großformate)
- Lochanteil gemessen an der Lagerfläche (Vollsteine/Lochsteine)
- Stoßfugenausbildung, z.B. R-Steine (mit Nut-Feder-System für Verarbeitung in der Regel ohne Stoßfugenvermörtelung)
- Steinhöhe „Normalstein“ oder „Planstein“
- Kantenausbildung (Fase)
- Frostwiderstand

Für die statische Bemessung (Tragfähigkeit) von Mauerwerk sind insbesondere die ersten beiden Sachverhalte von großer Bedeutung.

Tafel 2 Wichtige Steinarten und -bezeichnungen nach DIN 20000-402

	Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
a) Kalksandsteine: Lochanteil ≤ 15 % der Lagerfläche				
1	**KS-Vollsteine**	KS	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
2	**KS -R-Blocksteine**	KS -R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 1, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen
3	**KS-Plansteine KS -R-Plansteine**	KS P KS -R P	≤ 25	Wie Zeile 2, aufgrund höherer Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) zum Versetzen in Dünnbettmörtel geeignet
4	**KS-Fasensteine**	KS F	≤ 25	Wie Zeile 3, jedoch mit beidseitig umlaufender Fase an der Sichtseite von ca. 4 bis 7 mm
5	**KS XL-Planelemente**[1]	KS XL-RE	≥ 50 ≤ 62,5	Wie Zeile 3; Lieferung von Regelelementen der Länge 498 mm sowie Ergänzungselementen der Längen 373 mm und 248 mm
		KS XL-PE	≥ 50 ≤ 65	Wie Zeile 3; Lieferung von Regelelementen der Länge 998 mm, unkonfektioniert
				Wie Zeile 3; Lieferung von werkseitig vorkonfektionierten Wandbausätzen mit Regelelementen der Länge 998 mm
6	**KS XL-E-Planelemente**	KS XL-E	= 50	Wie Zeile 5, jedoch mit durchgehenden Installationskanälen (KS -E-Steine)
b) Kalksandsteine: Lochanteil > 15 % der Lagerfläche				
7	**KS-Lochsteine**	KS L	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
8	**KS -R-Hohlblocksteine**	KS L-R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 7, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen
9	**KS-Plansteine KS -R-Plansteine**	KS L P KS L-R P	≤ 25	Wie Zeile 8, aufgrund höherer Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) zum Versetzen in Dünnbettmörtel
c) Frostwiderstandsfähige Kalksandsteine[2]				
10	**KS-Vormauersteine**	KS Vm	≤ 25	Kalksandsteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 10, die frostwiderstandsfähig sind (mindestens Frostwiderstandklasse F1)
11	**KS-Verblender**[2]	KS Vb	≤ 25	Kalksandsteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 16 mit höheren Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) als Zeile 10 und erhöhter Frostwiderstandsfähigkeit (mindestens Frostwiderstandklasse F2)

[1] Im Markt sind unterschiedliche Marken bekannt.
[2] KS-Verblender werden regional auch als bossierte Steine oder mit bruchrauer Oberfläche angeboten.

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

1.3.2 Formate

Die Kalksandsteinindustrie bietet für jeden Anwendungsfall das richtige Steinformat an. Alle Steinformate entsprechen DIN 4172 „Maßordnung im Hochbau“ [10]. Sie werden in der Regel als Vielfaches vom Dünnformat (DF) angegeben.

INFO

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

1.3.3 Steindruckfestigkeitsklassen (SFK)

Die Steindruckfestigkeit (Tafel 3) wird in N/mm² angegeben. Kalksandsteine sind in den SFK 4 bis 60 genormt. Zu berücksichtigen sind die Anforderungen an die Steindruckfestigkeit der Kalksandsteine bei KS-Vormauersteinen ≥ 10 und bei KS-Verblendern ≥ 16.

INFO

In der Praxis werden im Wesentlichen die Steindruckfestigkeitsklassen (SFK) 12 und 20 verwendet.

Tafel 3 Übliche Druckfestigkeitsklassen von Kalksandstein

Druckfestigkeitsklasse[1]	10[2]	12	16[2]	20	28[2]
Mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm²]	12,5	15,0	20,0	25,0	35,0

[1] Entspricht auch dem kleinsten zulässigen Einzelwert bei einer Prüfung
[2] Nur auf Anfrage regional lieferbar

1.3.4 Steinrohdichteklassen (RDK)

Die Steinrohdichte (Tafel 4) wird in kg/dm³ angegeben. Das Steinvolumen wird einschließlich etwaiger Lochungen und Grifföffnungen ermittelt. Die Steinrohdichte wird auf den bis zur Massenkonstanz bei 105 °C getrockneten Stein bezogen. Die Einteilung erfolgt für Kalksandsteine nach DIN 20000-402 in den RDK 0,6 bis 2,2. Voll- und Blocksteine sind dabei den RDK ≥ 1,6 zuzuordnen, Loch- und Hohlblocksteine den RDK ≤ 1,6. Ob Steine der RDK 1,6 zu den Voll- oder Lochsteinen zu zählen sind, ist abhängig von der Querschnittsminderung durch die Lochung.

INFO

In der Praxis werden im Wesentlichen die Steinrohdichteklassen (RDK) 1,4 bis 2,2 verwendet.

Tafel 4 Übliche Rohdichteklassen von Kalksandstein

Rohdichteklasse	1,2[1]	1,4	1,6[1]	1,8	2,0	2,2
Klassengrenzen [kg/dm³]	1,01 bis 1,20	1,21 bis 1,40	1,41 bis 1,60	1,61 bis 1,80	1,81 bis 2,00	2,01 bis 2,20

[1] Nur auf Anfrage regional lieferbar

1.3.5 Lager- und Stoßfugen

Aufgrund der Steinabmessungen ergeben sich in Mauerwerkswänden zwangsläufig Fugen. Lagerfugen sind die horizontalen Mörtelfugen zwischen zwei Steinlagen, während die vertikalen Fugen zwischen den Einzelsteinen als Stoßfugen bezeichnet werden (Tafel 5). Die Fugendicke ist in Abhängigkeit der Steinabmessungen an das früher gebräuchliche Baurichtmaß angepasst, woraus sich folgende Sollmaße ergeben:

Schichtmaß

- = Lagerfuge + Steinmaß
- = n · 12,5 cm (mit n = ganzzahliger Wert)

Tafel 5 Stoßfugenausbildung von KS-Mauerwerkswänden

Stoßfugenausbildung – Anforderungen	Schemaskizze (Aufsicht auf Steinlage)
1 Ebene Stoßfugenausbildung ■ Steine knirsch verlegt	≤ 5 mm
■ Gesamte Stoßfuge vollfächig vermörtelt Stoßfugenbreite: 10 mm	10 mm
2 Stoßfugenausbildung mit Mörteltaschen ■ Steine knirsch verlegt, Mörteltasche mit Mörtel gefüllt	≤ 5 mm
■ Steinflanken vermörtelt	≤ 10 (20) mm
3 Stoßfugenausbildung mit Nut-Feder-System ■ Steine knirsch verlegt	≤ 5 mm
■ Steinrandbereiche vermörtelt	≤ 10 (20) mm
4 Stoßfugenausbildung eines geschnittenen Steins an Nut-Feder-System (knirsch gestoßen) ■ Empfehlung: Steinrandbereiche vermörteln	

Im statischen Sinn als vermörtelt gilt eine Stoßfuge, wenn mindestens die halbe Steinbreite über die gesamte Steinhöhe vermörtelt ist.

Die Sollmaße der *Stoßfugenbreite* betragen üblicherweise bei:

- Steinen mit Nut-Feder-System: 2 mm
  (in der Regel ohne Stoßfugenvermörtelung)
- glatten Steinen (ohne Nut-Feder-System): 10 mm
  (in der Regel mit Stoßfugenvermörtelung)

INFO

Stoßfugenbreiten > 5 mm sind nach DIN EN 1996-1-1/NA beidseitig an der Wandoberfläche mit Mörtel zu schließen.

Das Sollmaß der *Lagerfugendicke* beträgt üblicherweise bei Verwendung von:

- Dünnbettmörtel: 2 mm
- Normalmauermörtel: 12 mm

Stoß- und Lagerfugen in Mauerwerkswänden dienen u.a. zum Ausgleich der zulässigen herstellungsbedingten Toleranzen der Steine sowie zur gleichmäßigeren Verteilung der Belastung auf die Einzelsteine. KS-Plansteine können aufgrund der herstellbedingten, hohen Maßhaltigkeit mit Dünnbettmörtel verarbeitet werden. Aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen wird Kalksandstein-Mauerwerk überwiegend mit so genannten Ratio-Steinen (mit Nut-Feder-System) und unvermörtelten Stoßfugen ausgeführt.

INFO

Im statischen Sinne als vermörtelt gilt eine Stoßfuge nach DIN EN 1996-1-1/NA, wenn mindestens die halbe Steinbreite über die gesamte Steinhöhe vermörtelt ist.

Bei Vermauerung ohne Stoßfugenvermörtelung werden die Steine stumpf oder mit Verzahnung knirsch versetzt.

Neben der Art der Stoßfugenausbildung ist die Überbindung der Einzelsteine innerhalb der Wand für den Abtrag von Querlasten und Querkräften von großer Bedeutung. Reduzierte Überbindemaße ($l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$) sind für Wände aus großformatigen Kalksandsteinen (KS XL) mit Dünnbettmörtel nach Eurocode 6 möglich.

1.3.6 Mörtelart, Mörtelgruppe, Mörtelklasse

Mörtelarten für KS-Mauerwerk werden nach ihren jeweiligen Eigenschaften und/oder dem Verwendungszweck unterschieden in:

- Dünnbettmörtel (DM)
- Normalmauermörtel (NM)

Die Unterscheidung in Mörtelklassen (nach DIN 20000-412) erfolgt in erster Linie durch ihre Festigkeit.

Mörtelart und Mörtelgruppe werden für Wände entsprechend den jeweiligen Erfordernissen ausgewählt. Grundsätzlich können in einem Gebäude oder einem Geschoss verschiedene Mörtel verarbeitet werden. Aus wirtschaftlicher Sicht (einfache Disposition und keine Verwechslungsgefahr) ist die Beschränkung auf einen Mörtel sinnvoll.

INFO

KS-Mauerwerk wird fast ausschließlich mit Dünnbettmörtel hergestellt.

Dünnbettmörtel

Dünnbettmörtel darf nur als Werk-Trockenmörtel nach DIN EN 998-2 oder nach Zulassung hergestellt werden. Er ist aufgrund seiner Zusammensetzung für Planstein- und Planelement-Mauerwerk mit Fugendicken von 1 bis 3 mm geeignet. Die Sollhöhe der Plansteine und -elemente (123 mm, 248 mm, 498 mm, 623 mm, 648 mm) entspricht im Wesentlichen dem Baurichtmaß (Vielfaches von 12,5 cm) abzüglich 2 mm Lagerfugendicke.

In DIN 20000-412 mit den Ergänzungen nach MVV TB werden folgende Anforderungen an Dünnbettmörtel gestellt:

- Größtkorn der Zuschläge ≤ 1,0 mm
- Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) ≥ 0,20 N/mm²
- Trockenrohdichte ≥ 1.300 kg/m³
- Korrigierbarkeitszeit ≥ 7 Minuten
- Verarbeitungszeit ≥ 4 Stunden
- Druckfestigkeitsklasse M 10.

INFO

Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt, bei der Herstellung von KS-Planstein- und KS-Planelement-Mauerwerk, Kalksandstein Dünnbettmörtel mit Zertifikat zu verwenden. Die vom Dünnbettmörtel-Hersteller empfohlene Zahnschiene, üblicherweise auf dem Mörtelsack abgebildet, ist zu verwenden.

Tafel 6 Bezeichnungen von Normalmauermörtel nach DIN EN 1996 / DIN 20000-412 und zusätzliche Anforderungen nach DIN 20000-412

Bezeichnung nach DIN EN 1996 / DIN 20000-412	frühere Bezeichnung nach DIN 1053-1	zusätzliche Anforderungen nach DIN 20000-412			
		Fugendruckfestigkeit[1] nach Verfahren			Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit)[2]
Normalmauermörtel	Normalmauermörtel (NM)	I [N/mm²]	II [N/mm²]	III [N/mm²]	[N/mm²]
M 2,5	NM II	1,25	2,5	1,75	0,04
M 5	NM IIa	2,5	5,0	3,5	0,08
M 10	NM III	5,0	10,0	7,0	0,10
M 20	NM IIIa	10,0	20,0	14,0	0,12

[1] Prüfung der Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 mit KS-Referenzsteinen
[2] Prüfung nach DIN 1052-3, Verfahren B

Normalmauermörtel

Die Trockenrohdichte von *Normalmauermörtel* beträgt mindestens 1.300 kg/m³. In Abhängigkeit der Druck- und Haftscherfestigkeit werden Normalmauermörtel in Mörtelklassen nach DIN 20000-412 unterschieden (Tafel 6).

INFO

Normalmauermörtel wird aus Gründen der Wirtschaftlichkeit im Regelfall als Werkmörtel (Trocken- oder Frischmörtel) verarbeitet.

1.3.7 Elementmauerwerk

Elementmauerwerk bezeichnet Mauerwerk aus Planelementen (KS XL), welche großformatige Vollsteine mit einer Höhe ≥ 498 mm und einer Länge ≥ 498 mm sind, deren Querschnitt durch Lochung senkrecht zur Lagerfuge bis zu 15 % gemindert sein darf und die durch Einhaltung erhöhter Anforderungen an die Grenzmaße der Höhe sowie der Planparallelität und Ebenheit der Lagerflächen die Voraussetzungen zur Vermauerung mit Dünnbettmörtel erfüllen. Planelemente dürfen auch mit verringerten Überbindemaßen ($0{,}2 \leq l_{ol}/h_u < 0{,}4$) vermauert werden (siehe Abschnitt 8.3).

1.3.8 Tragendes und nicht tragendes Mauerwerk

Tragendes Mauerwerk wird gemäß DIN EN 1996-1-1/NA als Mauerwerk definiert, welches überwiegend auf Druck beansprucht ist und zum Abtrag von vertikalen Lasten, z.B. aus Decken, sowie von horizontalen Beanspruchungen, z.B. infolge Wind oder Erddruck, dient. Im Gegensatz dazu spricht man von *nicht tragendem Mauerwerk*, wenn entsprechende Wände nur durch ihr Eigengewicht und direkt auf sie wirkende Lasten beansprucht und nicht zur Aussteifung des Gebäudes oder anderer Wände herangezogen werden. Nicht tragende Wände, bei denen die Fuge zwischen Decke und Wandkopf vermörtelt wird, werden darüber hinaus als *nicht tragende Wände* mit Auflast bezeichnet, da die Decke sich aufgrund der Durchbiegung auf die Wände absetzen kann.

1.3.9 Aussteifende und auszusteifende Wände

Aussteifende Wände sind scheibenartige, tragende Wände, die zur Aussteifung des Gebäudes oder zur Knickaussteifung anderer Bauteile dienen. Für tragende Wände können die zur Berechnung benötigten Eingangsgrößen DIN EN 1996-1-1/NA entnommen werden.

Auszusteifende Wände sind Wände, die als drei- oder vierseitig gehaltene Wände mit einer verminderten Knicklänge nachgewiesen werden sollen. Ein derartiges Vorgehen ist jedoch nur zulässig, wenn die zur Aussteifung angesetzten Wände den Anforderungen gemäß DIN EN 1996-1-1/NA genügen.

1.3.10 Einwirkungen und Lasten

Als *Einwirkungen* werden alle Arten von auf ein Tragwerk einwirkenden Kraft- und Verformungsgrößen bezeichnet. Dies können sowohl Kräfte aus äußeren Lasten (direkte Einwirkungen) als auch induzierte Verformungen infolge Temperatur oder Stützenabsenkungen sein, die als indirekte Einwirkungen bezeichnet werden.

1.3.11 Tragfähigkeit und Festigkeit

Die *Tragfähigkeit* eines Bauteils ergibt sich aus den mechanischen und physikalischen Eigenschaften eines Baustoffes und den geometrischen bzw. statischen Randbedingungen des untersuchten Bauteils. Die *Festigkeit* (z.B. Druckfestigkeit) eines Baustoffes stellt dabei eine Materialeigenschaft dar, aus der die Tragfähigkeit eines Bauteils berechnet wird.

1.3.12 Semiprobabilistisches und globales Sicherheitskonzept

Durch die Einführung von Sicherheitsbeiwerten beim Nachweis der Standsicherheit von Konstruktionen werden statistische Streuungen der Einwirkungen und des Tragwiderstandes bei der Berechnung von Gebäuden berücksichtigt. Während in der Vergangenheit diese Unsicherheiten mit einem *globalen Sicherheitsbeiwert* auf der Einwirkungs- oder der Widerstandsseite abgedeckt wurden, wird in den Normen der neueren Generation mit auf der Einwirkungs- und Widerstandsseite verteilten Sicherheitsfaktoren gearbeitet. Dieses Vorgehen wird als *semi-*

probabilistisch bezeichnet, da für die verschiedenen Materialien und Einwirkungen Teilsicherheitsbeiwerte unterschiedlicher Größe in Abhängigkeit ihrer spezifischen Streuungen definiert sind.

1.3.13 Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Die wichtigste Anforderung an bauliche Anlagen ist, dass sie über eine ausreichende *Standsicherheit* gegenüber den verschiedenen Einwirkungsszenarien verfügen, die während der geplanten Nutzungsdauer auftreten können. Diese Anforderung wird mit Hilfe einer Bemessung der Bauteile unter Verwendung von deterministischen Sicherheitsfaktoren gewährleistet. Neben der Standsicherheit ist auch die *Gebrauchstauglichkeit* von Bauteilen und Bauwerken zu berücksichtigen. Dies betrifft bei mineralischen Baustoffen wie z.B. Mauerwerk vor allem die Vermeidung von übermäßiger Rissbildung oder klaffenden Fugen bei geringer Bauteilausnutzung (unter Gebrauchslasten).

1.3.14 Charakteristischer Wert und repräsentativer Wert

Der charakteristische Wert ist generell als Fraktilwert einer hypothetischen unbegrenzten Versuchsreihe definiert. Wenn die erforderlichen statistischen Grundlagen fehlen, werden charakteristische Werte auch als Nennwert definiert. Der charakteristische Wert einer Baustoffeigenschaft ist derjenige Wert, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit (bei Festigkeiten beträgt sie in der Regel 5 %) nicht unterschritten wird. Der charakteristische Wert einer Einwirkung ist entweder als Mittelwert (Eigenlast) oder als Fraktilwert (oberer oder unterer) der zugrunde gelegten Verteilungsfunktion definiert. Der repräsentative Wert einer Einwirkung ergibt sich durch Multiplikation des charakteristischen Werts mit einem Kombinationsbeiwert ψ. Genauere Angaben finden sich in DIN EN 1990/NA.

1.4 Tragverhalten von Bauteilen aus KS-Mauerwerk

Da Mauerwerk aufgrund seiner relativ geringen Zug- und Biegezugfestigkeit – insbesondere senkrecht zur Lagerfuge – Biegemomente nur unter gleichzeitiger Wirkung einer entsprechend großen Auflast aufnehmen kann, wird Mauerwerk fast ausschließlich als Wandbaustoff verwendet. Tragendes Mauerwerk kommt vorwiegend für den Abtrag von vertikalen Beanspruchungen wie z.B. Eigenlasten oder Nutzlasten zum Einsatz. Bei zentrischer bzw. nahezu zentrischer Beanspruchung können Wände aus Kalksandstein hohe Normalkräfte aufnehmen, so dass der Standsicherheitsnachweis in der Regel problemlos erbracht werden kann. Mit wachsender Schlankheit der Wände sind zusätzlich Einflüsse nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen. Mauerwerkspfeiler sollen möglichst aus ganzen Steinen hergestellt werden und nicht durch Schlitze oder Ähnliches geschwächt sein.

Neben dem Abtrag von Vertikallasten dient Mauerwerk auch zur Sicherstellung der Gebäudeaussteifung und somit zur Aufnahme von horizontalen Beanspruchungen – z.B. aus Wind, Erdbeben und Belastungen infolge einer ungewollten Gebäudeschiefstellung. Zu diesem Zweck müssen Mauerwerksgebäude über eine hinreichend große Anzahl von ungeschwächten Wandscheiben ausreichender Länge zur Aufnahme der resultierenden Horizontalbeanspruchung verfügen. Die Höhe der Scheibenbeanspruchung der aussteifenden Wände wird auf Basis der technischen Biegelehre für näherungsweise ungerissene Wände bestimmt, so dass sich eine Aufteilung der Kräfte entsprechend den vorhandenen Steifigkeiten ergibt. Darüber hinaus erlaubt DIN EN 1996-1-1/NA eine Umlagerung von maximal 15 % des Kraftanteils einer Wand auf die übrigen aussteifenden Wandscheiben. Schwierig ist häufig der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (Schub) von kurzen Wandabschnitten oder Wänden mit geringer Auflast und gleichzeitiger hoher horizontaler Scheibenbeanspruchung, wenn diese beim Nachweis berücksichtigt werden sollen. Wenn die ausreichende Gesamtsteifigkeit des Gebäudes nicht sofort erkennbar ist und die Anforderungen von DIN EN 1996-1-1/NA hinsichtlich der konstruktiven Stabilitätskriterien nach Abschnitt 4.1 nicht erfüllt werden, muss ein genauer Nachweis der Aussteifung nach Theorie II. Ordnung erfolgen.

Die auf das Gebäude senkrecht zur Wandebene wirkenden horizontalen Lasten werden von der Fassade auf die Decken- bzw. Dachscheiben übertragen und von dort in die aussteifenden Wände weitergeleitet. Aufgrund der meist geringen Auflast kann die Standsicherheit von Giebelwänden unter Windeinwirkung oft nur mit Hilfe der entsprechenden Tabellen zur Festlegung der maximal zulässigen Ausfachungsfläche nach DIN EN 1996-3/NA nachgewiesen werden.

In der Regel werden Mauerwerkswände als stabförmige Bauteile modelliert und auf Basis eines normalkraftbeanspruchten Ersatzstabs nachgewiesen. Wände aus Mauerwerk mit geringer Auflast bei gleichzeitig hoher Plattenbeanspruchung (z.B. Kellerwände unter Erddruck) können darüber hinaus mit Hilfe eines Bogenmodells nachgewiesen werden. Ein anderes Anwendungsgebiet des Bogenmodells sind Mauerwerkswände, bei denen der planmäßige Lastabtrag in waagerechter Richtung erfolgt. Die Anwendung des Bogenmodells ist jedoch nur möglich, wenn der resultierende Bogenschub von einem Bauteil mit hoher Steifigkeit aufgenommen werden kann.

2. Sicherheitskonzept und Einwirkungen

2.1 Grundlagen des semiprobabilistischen Teilsicherheitskonzepts ($E_d \leq R_d$)

Unter Sicherheit versteht man die allgemeine qualitative Anforderung an bauliche Anlagen. Durch technische Anforderungen z.B. an die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit, die mit ausreichender Zuverlässigkeit zu erzielen sind, wird dieser qualitativen Anforderung im Hinblick auf bestimmte technische Aspekte entsprochen. Dies kann z.B. dadurch erreicht werden, dass die einwirkenden Schnittgrößen aus äußeren Lasten an jeder Stelle eines Tragwerks einen bestimmten Sicherheitsabstand gegenüber dem aufnehmbaren Querschnittswiderstand aufweisen.

Das Tragverhalten von Baukonstruktionen wird durch die wirklichkeitsnahe Erfassung der Einwirkungen auf ein Tragwerk, einer wirklichkeitsnahen Modellierung des Tragwerks und einem Berechnungsverfahren, das mit der Beschreibung der Einwirkungen und der Modellierung des Tragwerks konsistent ist, beschrieben (Bild 2). Unabhängig vom verwendeten Modell zur Beschreibung des Tragverhaltens und vom verwendeten Baustoff muss nach DIN EN 1990 ein Tragwerk derart entworfen und ausgeführt sein, dass die während der Errichtung und Nutzung möglichen Einwirkungen mit definierter Zuverlässigkeit keines der nachstehenden Ereignisse zur Folge haben:

- Einsturz des gesamten Bauwerks oder eines Teils
- größere Verformungen in unzulässigem Umfang
- Beschädigung anderer Bauteile oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu großer Verformungen des Tragwerks
- Beschädigung durch ein Ereignis in einem zur ursprünglichen Ursache unverhältnismäßig großen Ausmaß

Ein Tragwerk muss so bemessen werden, dass seine Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit während der vorgesehenen Nutzungsdauer diesen vorgegebenen Bedingungen genügt.

Das Bemessungskonzept in DIN EN 1996-1-1/NA basiert im Wesentlichen auf so genannten Grenzzuständen, in denen das Tragwerk die gestellten Anforderungen nicht mehr erfüllt. Je nachdem, ob diese Anforderungen die Tragfähigkeit vor Erreichen des rechnerischen Versagenszustandes oder die Nutzungseigenschaften betreffen, wird unterschieden zwischen:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit (uls = ultimate limit state)
  - Verlust des globalen Gleichgewichts (kinematische Kette, Gleiten, Umkippen)
  - Bruch oder der bruchnahe Zustand von Tragwerksteilen (Querschnittsversagen, kritische Dehnungszustände, Erreichen der Traglast)
  - Stabilitätsversagen (Knicken)
  - Materialermüdung
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (sls = serviceability limit state)
  - Unzulässige Spannungen
  - Unzulässige Rissbildung
  - Übermäßige Formänderungen (z.B. Durchbiegungen)

Durch die Einführung von Sicherheitsbeiwerten beim Nachweis der Standsicherheit von Konstruktionen können die stets vorhandenen Streuungen von Einwirkungen und Tragwiderstand bei der Berechnung von Gebäuden berücksichtigt werden. Eine hinreichende Tragwerkszuverlässigkeit kann beispielsweise erreicht werden, indem die einwirkenden Schnittgrößen E aus äußeren Lasten an jeder Stelle eines Tragwerks einen bestimmten Sicherheitsabstand gegenüber dem aufnehmbaren Tragwiderstand R (z.B. Querschnittstragfähigkeit) aufweisen. Dabei gilt ein Gebäude als „sicher“, wenn der Bemessungswert der Einwirkung E_d den maximal aufnehmbaren Bemessungswert des Widerstandes R_d zu keinem Zeitpunkt während der geplanten Nutzungsdauer überschreitet:

$$E_d \leq R_d \qquad (2.1)$$

Da die Streuungen der Einwirkungen und des Widerstandes unterschiedliche Größenordnungen aufweisen, hat man sich im Zuge der Erarbeitung der europäischen Normen darauf verständigt, die anzusetzenden Sicherheitsbeiwerte auf beide Seiten von Gleichung (2.1) zu verteilen, um eine möglichst gleichmäßige Versagenswahrscheinlichkeit unter ver-

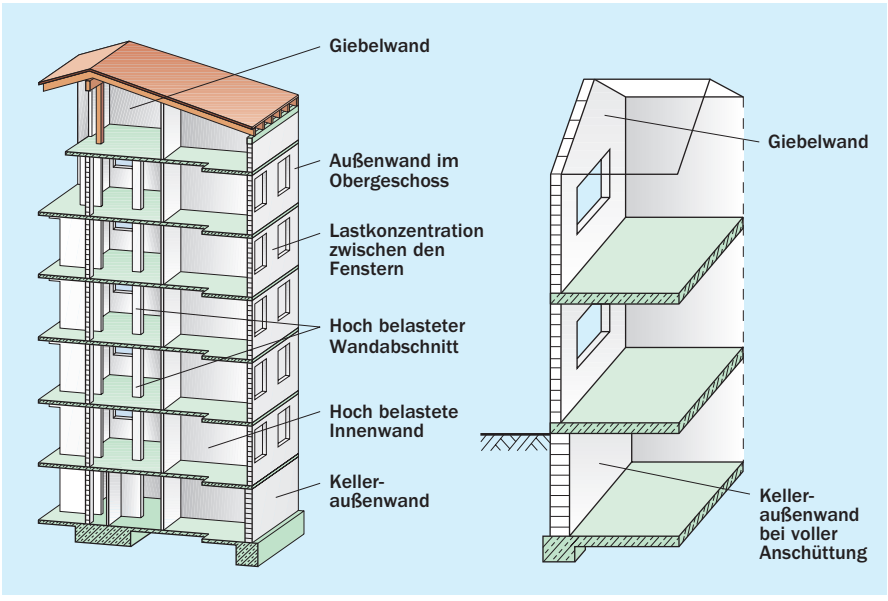


Bild 2 Wichtige Bauteile und wesentliche Nachweisstellen im Mauerwerksbau

schiedenen Beanspruchungssituationen zu erreichen. Dieses so genannte Teilsicherheitskonzept liegt auch den Bemessungsansätzen von DIN EN 1996-1-1/NA sowie DIN EN 1996-3/NA im Grenzzustand der Tragfähigkeit zugrunde. Die benötigten Größen für die Einwirkung E_d und den Widerstand R_d auf Bemessungswertniveau ergeben sich aus den charakteristischen Größen von E_k und R_k durch Berücksichtigung der entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte. Definitionsgemäß kennzeichnet der Index *d* generell, dass es sich um einen Bemessungswert handelt, während der Index *k* für eine charakteristische Größe steht. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit lässt sich Gleichung (2.2) folgendermaßen formulieren:

$$\gamma_F \cdot E_k \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \qquad (2.2)$$

Auf der Einwirkungsseite wird zwischen zeitlich veränderlichen Einwirkungen *Q*, wie z.B. Wind oder Nutzlasten, und ständigen Einwirkungen *G*, wie z.B. dem Konstruktionseigengewicht, unterschieden. Während das Eigengewicht eine vergleichsweise geringe Streuung aufweist, variieren veränderliche Einwirkungen sehr stark, weshalb sie mit einem deutlich höheren Teilsicherheitsbeiwert zu beaufschlagen sind. Für den Nachweis der Standsicherheit unter einer sehr selten auftretenden außergewöhnlichen Einwirkungskombination (z.B. Brand) oder unter Erdbebeneinwirkung dürfen die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungs- und der Widerstandsseite reduziert werden.

2.2 Charakteristische Werte der wesentlichen Einwirkungen im Mauerwerksbau

2.2.1 Konstruktionseigengewicht

Ständige Einwirkungen ergeben sich für Mauerwerkswände vor allem aus dem Konstruktionseigengewicht, welches mit Hilfe von DIN EN 1991-1-1 bestimmt werden kann. Das Gewicht von Stahlbetondecken resultiert dabei aus dem Gewicht des Betons und des Deckenaufbaus. Für übliche Deckenaufbauten kann der charakteristische Wert des Deckeneigengewichtes folgendermaßen bestimmt werden:

$$g_{k,Decke} = 25 \cdot h_{Decke} + 1{,}5 \text{ [kN/m}^2\text{]} \qquad (2.3)$$

mit h_{Decke} = Deckendicke [m]

Das Flächengewicht von Mauerwerkswänden aus Kalksandsteinen kann in Abhängigkeit von der Steinrohdichteklasse und der Wanddicke Tafel 7 und für das Putzgewicht Tafel 8 entnommen werden.

2.2.2 Nutzlasten

Nutzlasten auf Stahlbetondecken stellen im Mauerwerksbau die wichtigste Form von vertikal gerichteten veränderlichen Lasten dar. Die Größe der anzusetzenden Nutzlasten ist in DIN EN 1991-1-1 definiert. Wesentliche charakteristische Werte können Tafel 9 entnommen werden.

In gewöhnlichen Wohnungs- und Bürogebäuden können die veränderlichen Lasten nach DIN EN 1991-1/NA als gleichzeitig auf einer Decke wirkend (d.h. die gleiche Last auf allen Feldern oder keine Last, wenn dies maßgebend ist) angesehen werden.

Tafel 7 Nach DIN EN 1991-1-1/NA anzusetzende Wandflächengewichte von KS-Wänden mit Normalmauer- und Dünnbettmörtel[1)]

Steinrohdichteklasse (RDK)[1)]	Wichte γ_{MW} [kN/m³]	Charakteristisches Wandflächengewicht (ohne Putz) [kN/m²] für Wanddicke *t* [cm]								
		7	10	11,5	15	17,5	20	24	30	36,5
1,2	14	–	1,40	1,61	2,10	2,45	2,80	3,36	4,20	5,11
1,4	16	–	1,60	1,84	2,40	2,80	3,20	3,84	4,80	5,84
1,6	16	–	1,60	1,84	2,40	2,80	3,20	3,84	4,80	5,84
1,8	18	1,26	1,80	2,07	2,70	3,15	3,60	4,32	5,40	6,57
2,0	20	1,40	2,00	2,30	3,00	3,50	4,00	4,80	6,00	7,30
2,2	22	–	–	2,53	3,30	3,85	4,40	5,28	6,60	8,03
2,4	24	–	–	2,76	3,60	4,20	4,80	5,76	7,20	8,76
2,6	26	–	–	2,99	3,90	4,55	5,20	6,24	7,80	9,49

[1)] Bei Verwendung von Mauersteinen der RDK ≤ 1,4 in Dünnbettmörtel reduziert sich das rechnerische Wandflächengewicht um 1,0 kN/m³ · *t* [m].

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Tafel 8 Flächenlast von Putzen nach DIN EN 1991-1-1/NA

Putz	Flächenlast je cm Dicke [kN/m²]
Gipsputz	0,120
Kalk-, Kalkgips- und Gipssandputz	0,175
Kalkzementputz	0,200
Leichtputz nach DIN 18550-4	0,150
Zementputz	0,210

Tafel 9 Wesentliche charakteristische Werte für Nutzlasten gemäß DIN EN 1991-1-1/NA

Nutzung	Kategorie	q_k [kN/m²]
Wohnräume und Flure mit ausreichender Querverteilung (z.B. Stahlbetondecken)	A2	1,5
Wohnräume und Flure ohne ausreichende Querverteilung (z.B. Holzbalkendecken)	A3	2,0
Büroräume	B1	2,0
Treppen und Podeste innerhalb der Kategorien A und B1	T1	3,0
Balkone und Dachterrassen	Z	4,0
Trennwandzuschlag bei einem Wandgewicht ≤ 3,0 kN/m Wandlänge (einschließlich Putz)	–	0,8
Trennwandzuschlag bei einem Wandgewicht ≤ 5,0 kN/m Wandlänge (einschließlich Putz)	–	1,2

Die Lasten nicht tragender Trennwände auf Decken dürfen vereinfachend über einen flächig anzusetzenden Zuschlag auf die charakteristische Nutzlast berücksichtigt werden. Bei Nutzlasten > 5,0 kN/m² ist dieser Zuschlag nicht erforderlich. Die in Tafel 10 angegebenen Werte gelten dabei für leichte Trennwände mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 5,0 kN/m (Bild 4).

Schwerere Trennwände (> 5,0 kN/m) müssen gemäß DIN EN 1991-1-1 als Linienlasten in der statischen Berechnung der Decken berücksichtigt werden. Ersatzweise wurde ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung einer äquivalenten Gleichlast q, die in Form eines Trennwandzuschlages wirkt, entwickelt [4]. Die Berechnung dieses Zuschlags erfolgt dabei nach folgender Beziehung:

$$\Delta q_k = 2 \cdot n \cdot f \cdot h \cdot \frac{g}{l_f} \ [\mathrm{kN/m^2}] \qquad (2.4)$$

mit

n Einflussfaktor für die Anzahl und Stellung der Wände gemäß Bild 3
f Faktor für das statische System gemäß Tafel 10
h Wandhöhe
g Wandeigengewicht einschließlich Putz
l_f Stützweite 4,00 m $\leq l_f \leq$ 6,00 m

2.2.3 Einwirkungen aus Wind

Windbeanspruchungen senkrecht zur Wandebene können bei Einhaltung der Randbedingungen des vereinfachten Verfahrens (siehe Abschnitt 5.1) generell vernachlässigt werden, wenn die betroffenen Außenwände durch horizontale Halterungen hinreichend ausgesteift sind. Als solche gelten z.B. Stahlbetondecken oder statisch nachgewiesene Stahlbetonringbalken im Abstand der zulässigen Geschosshöhe. In den verwendeten Modellen zur Berechnung der maximal aufnehmbaren Normalkraft ist der Einfluss von Momenten infolge Wind bereits enthalten.

Wenn eine offensichtlich hinreichende Anzahl von Wandscheiben die Gebäudeaussteifung gewährleistet (DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 5.5.3 (NA.12)), ist hierfür ebenfalls kein rechnerischer Nachweis erforderlich.

2.3 Bemessungswert der Einwirkungen und zugehörige Einwirkungskombinationen

Der Bemessungswert einer Einwirkung ergibt sich aus der Multiplikation des charakteristischen Werts der Einwirkung mit dem anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwert in Abhängigkeit der Bemessungssituation. Mit Ausnahme des Nachweises von Aussteifungsscheiben unter horizontaler Beanspruchung gelten alle vertikalen Einwirkungen als ungünstig wirkend. Daher erlaubt die DIN EN 1996/NA für den Nachweis der maximal aufnehmbaren Normalkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit eine vereinfachte Berechnung des Bemessungswerts der einwirkenden Normalkraft N_{Ed}.

$$N_{Ed} = 1{,}35 \cdot \Sigma N_{Gk} + 1{,}5 \cdot \Sigma N_{Qk} \qquad (2.5)$$

In Hochbauten mit Stahlbetondecken und einer charakteristischen Nutzlast von $q_k \leq$ 3,0 kN/m², darf gemäß DIN EN 1996-1-1/NA, NCI zu 2.4.2 (NA.2) die im Grenzzustand der Tragfähigkeit einwirkende Normalkraft N_{Ed} noch weiter vereinfacht bestimmt werden:

$$N_{Ed} = 1{,}40 \cdot \left[\Sigma N_{Gk} + \Sigma N_{Qk}\right] \qquad (2.6)$$

Für den Nachweis von Wandscheiben unter Horizontallasten in Scheibenrichtung wird häufig die minimale Auflast bemessungsmaßgebend. Wenn der rechnerische Nachweis der Gebäudeaussteifung tatsächlich erforderlich ist, muss daher auch im vereinfachten Berechnungsverfahren die Möglichkeit einer günstigen Wirkung der Normalkräfte beachtet werden. In diesem Fall muss zusätzlich zu den bereits beschriebenen Einwir-

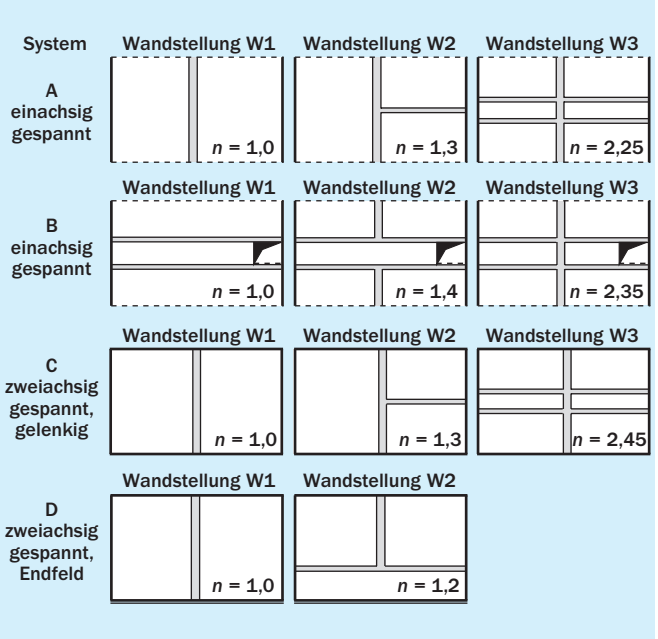


Bild 3 **Einflussfaktor *n* für Anzahl und Stellung der Trennwände**

Tafel 10 **Faktor *f* für das statische System**

Faktor f [–]	Lagerung	Einspannung
1,0	einachsig gespannte Platte	gelenkig gelagert
1,4	zweiachsig gespannte Platte $\left(\frac{l_x}{l_y} = 1{,}0\right)$	allseitig gelenkig
1,3	zweiachsig gespannte Platte $\left(\frac{l_x}{l_y} = 1{,}5\right)$	allseitig gelenkig
1,6	zweiachsig gespannte Platte $\left(\frac{l_x}{l_y} = 1{,}0\right)$	einseitig eingespannt
1,45	zweiachsig gespannte Platte $\left(\frac{l_x}{l_y} = 1{,}5\right)$	einseitig eingespannt
Zwischenwerte können interpoliert werden.		

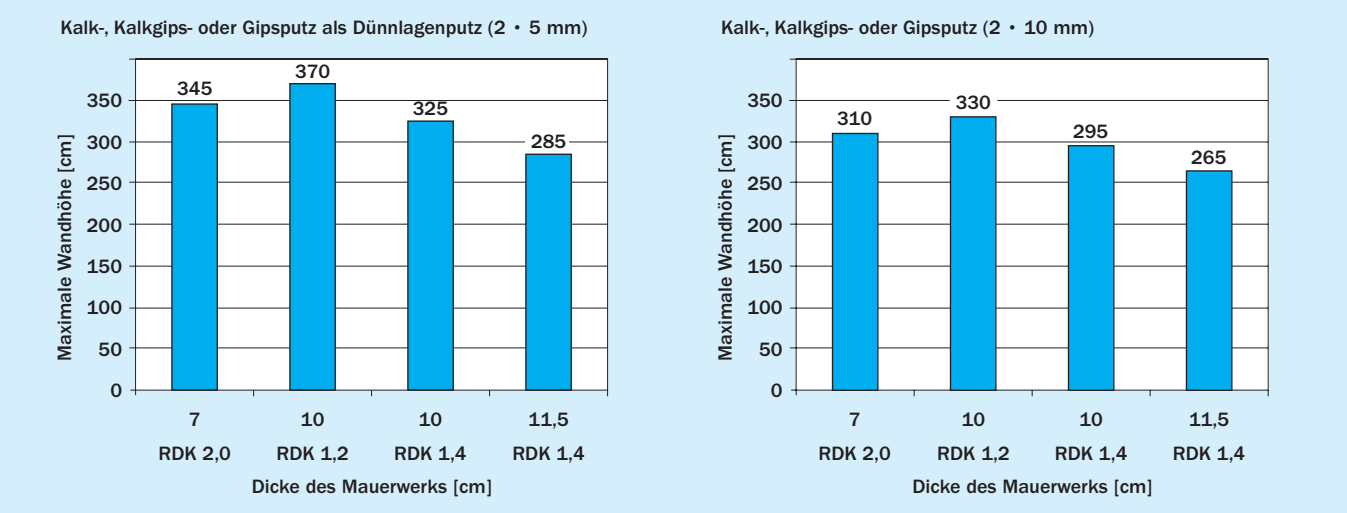


Bild 4 Grenzhöhen typischer nicht tragender KS-Wandkonstruktionen mit Dünnbettmörtel bei einem zulässigen Gesamtgewicht von max. 5 kN/m

kungskombinationen beim Nachweis der Gebäudeaussteifung folgende Lastkombination analysiert werden:

$$\min N_{Ed} = 1{,}0 \cdot \Sigma N_{Gk}$$
$$\text{in Verbindung mit } \max M_{Ed} = 1{,}0 \cdot M_{Gk} + 1{,}5 \cdot M_{Qk} \qquad (2.7)$$

Die anzusetzenden charakteristischen Einwirkungen, aus denen sich die benötigten Schnittgrößen ergeben, können den verschiedenen Teilen von DIN EN 1991 entnommen werden.

Für eine genauere Berechnung ist es möglich ausführlichere Einwirkungskombinationen nach DIN EN 1990 [9] anzusetzen (siehe hierzu auch [10]).

Tafel 11 zeigt zusammenfassend die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite.

2.4 Bemessungswert des Tragwiderstandes von Mauerwerkswänden

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d ergibt sich nach DIN EN 1996-1-1/NA unter Verwendung von charakteristischen Werten der Festigkeiten dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M für das Material. Allgemein bezeichnet R_d den Bemessungswert der aufnehmbaren Schnittgröße:

$$R_d = R\left[\zeta \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}; \frac{f_{vk}}{\gamma_M}\right] \qquad (2.8)$$

Die anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte zur Berechnung des Bemessungswerts des Tragwiderstandes sind in Tafel 12 in Abhängigkeit von der jeweiligen Bemessungssituation aufgeführt.

Der charakteristische Wert einer Baustofffestigkeit ergibt sich in Abhängigkeit vom zu führenden Nachweis. Der Bemessungswert der Druckfestigkeit f_d nach DIN EN 1996/NA bestimmt sich zu:

$$f_d = \zeta \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \qquad (2.9)$$

Der Beiwert ζ berücksichtigt festigkeitsmindernde Langzeiteinflüsse auf das Mauerwerk und wird im Allgemeinen zu 0,85 gesetzt. Für den Nachweis außergewöhnlicher Einwirkungen gilt $\zeta = 1{,}0$.

Der Bemessungswert der Schubfestigkeit f_{vd} wird nach DIN EN 1996-1-1/NA folgendermaßen ermittelt:

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \qquad (2.10)$$

Der charakteristische Wert der Schubfestigkeit f_{vk} hängt von der Beanspruchungsart (Platten- oder Scheibenbeanspruchung) ab und kann Abschnitt 3.6 entnommen werden.

Tafel 11 Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1990/NA

Einwirkung	Ungünstige Wirkung	Günstige Wirkung	Außergewöhnliche Bemessungssituation
Ständige Einwirkung (G) z.B. Eigengewicht, Ausbaulast, Erddruck	$\gamma_{G,sup} = 1{,}35$	$\gamma_{G,inf} = 1{,}00$	$\gamma_{GA} = 1{,}00$
Veränderliche Einwirkung (Q) z.B. Wind-, Schnee-, Nutzlasten	$\gamma_{Q,sup} = 1{,}50$	$\gamma_{Q,inf} = 0{,}00$	$\gamma_{QA} = 1{,}00$

Tafel 12 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Baustoffeigenschaften gemäß DIN EN 1996-1-1/NA

Material	γ_M	
	Bemessungssituation	
	Ständig und vorübergehend	Außergewöhnlich [1)]
Unbewehrtes Mauerwerk aus Steinen der Kategorie I und Mörtel nach Eignungsprüfung sowie Rezeptmörtel	1,5	1,3

[1)] Für die Bemessung im Brandfall siehe DIN EN 1996-1-2

3. Festigkeits- und Verformungseigenschaften

3.1 Allgemeines

Mauerwerk ist ein Verbundbaustoff bestehend aus Mauersteinen und Mörtel mit entsprechenden mechanischen Stoffeigenschaften. Die Eigenschaften eines Mauerwerksbauteils (z.B. einer Wand) ergeben sich aus den Stoffeigenschaften, der Geometrie des Bauteils und dem Zusammenwirken mit anderen Bauteilen. Des Weiteren werden zur Beurteilung der Mauerwerkstragfähigkeit die Verformungseigenschaften (z.B. Spannungs-Dehnungs-Linie, Elastizitätsmodul) benötigt.

Für die Bemessung von Mauerwerk ist die Kenntnis folgender mechanischer Stoffeigenschaften erforderlich, die nach genormten Prüfverfahren bestimmt werden:

- Steindruckfestigkeit
- Steinzugfestigkeit
- Mörteldruckfestigkeit
- Druckfestigkeit des Mauerwerks
- Haftscherfestigkeit des Mauerwerks
- Zugfestigkeit parallel und senkrecht zur Lagerfuge des Mauerwerks
- Verformungseigenschaften des Mauerwerks

Obwohl Mauerwerk auch eine gewisse Zugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge besitzt, wird diese in der Regel bei der Bemessung nicht in Rechnung gestellt. Beim Tragverhalten von Mauerwerk unter Druckbeanspruchung ist entscheidend, dass im Allgemeinen die größere Querverformung des Mörtels zu Querzugspannungen im Stein führt. Das Versagen des Mauerwerks wird daher auch von der Steinzugfestigkeit beeinflusst.

3.2 Charakteristische Druckfestigkeit

Die charakteristische Druckfestigkeit von Mauerwerk wird durch die Steinfestigkeit und bei Mauerwerk mit Normalmauermörtel auch durch die Mörtelfestigkeit bestimmt. In Abhängigkeit dieser Eingangsgrößen können charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeiten angegeben werden.

Wird Mauerwerk senkrecht zu den Lagerfugen durch Druckspannungen beansprucht, entstehen im Stein Querzugspannungen, welche bei Erreichen der Grenzlast zum Mauerwerksversagen führen. Diese Querzugspannungen resultieren aus dem unterschiedlichen Verformungsverhalten von Stein und Mörtel. Während sich der Mörtel aufgrund seines im Allgemeinen geringeren E-Moduls und der höheren Querdehnzahl unter Druckbeanspruchung stärker quer verformen will als der Stein, wird diese Verformung durch den Stein behindert. Aus dieser Tatsache resultiert eine dreidimensionale Druckbeanspruchung im Mörtel, während der Stein auf Druck und Zug beansprucht wird (Bild 5).

DIN EN 1996-3/NA gibt für das vereinfachte Berechnungsverfahren den charakteristischen 5%-Quantilwert der Mauerwerksdruckfestigkeit direkt für verschiedene Stein-Mörtel-Kombinationen in Tabellenform an. Diese Werte sind gegenüber DIN 1053-1 nun deutlich detaillierter nach Steinmaterial und Mörtelart aufgeschlüsselt. Erstmals werden auch Mauerwerksdruckfestigkeiten in Abhängigkeit der Steinart (Lochstein, Vollstein, Planelement etc.) angegeben.

Die tabellierten Werte können auch im genaueren Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA angewendet werden. Diese entsprechen der im genaueren Berechnungsverfahren angegebenen Ermittlung der charakteristischen Druckfestigkeit von Mauerwerk mit Hilfe der Gleichungen (3.1) und (3.2) in Abhängigkeit des Mindestwerts der mittleren Steindruckfestigkeit f_{st} und der Druckfestigkeit des Mörtels f_m. Mit Hilfe der in DIN EN 1996-1-1/NA angegebenen Parameter K, α und β ist dort eine Annäherung der rechnerischen Druckfestigkeit an die in den letzten Jahren im Rahmen von Materialprüfungen und Zulassungsverfahren gewonnenen Erkenntnisse möglich. Gleichzeitig gestattet DIN EN 1996-1-1/NA nunmehr eine Differenzierung der Mauerwerksdruckfestigkeit nach verschiedenen Steinsorten, Lochbildern sowie Steinabmessungen (klein-, mittel- und großformatige Steine, Plansteine oder Planelemente). Die Werte für K, α und β wurden für sämtliche gebräuchlichen Mauerwerksarten durch eine umfangreiche Auswertung der nationalen Datenbank bestimmt und sind in DIN EN 1996-1-1/NA enthalten.

Für Mauerwerk mit Normalmauermörtel gilt:

$$f_k = K \cdot f_{st}^{\alpha} \cdot f_m^{\beta} \qquad (3.1)$$

Für Mauerwerk mit Leichtmörtel bzw. Dünnbettmörtel ist die Mauerwerksdruckfestigkeit unabhängig von der Mörtelfestigkeit und ergibt sich daher zu:

$$f_k = K \cdot f_{st}^{\alpha} \qquad (3.2)$$

Die in DIN EN 1996-3/NA tabellierten Werte wurden so justiert, dass sich stets die identische Druckfestigkeit wie bei einer Er-

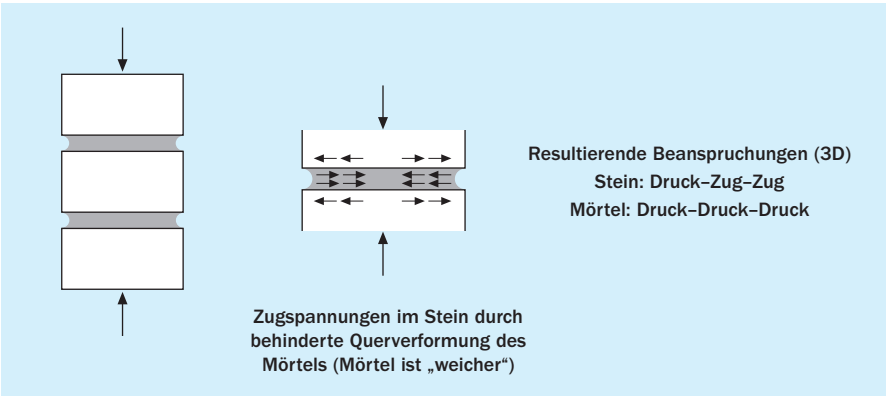


Bild 5 **Zweidimensionale Darstellung des Versagensmechanismus von Mauerwerk unter Druckbeanspruchung**

mittlung nach DIN EN 1996-1-1/NA mit den Beiwerten K, α und β ergibt. Die Anwendung der Gleichungen (3.1) und (3.2) ist somit in Deutschland ohne Vorteil; vielmehr kann die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit von Mauerwerk aus Kalksandsteinen sowohl im vereinfachten als auch im genaueren Berechnungsverfahren den Tafeln 13-15 entnommen werden.

Der Maximalwert der charakteristischen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen $f_{xk2,max}$ kann Tafel 16 entnommen werden. Die Bestimmung des Bemessungswerts der Biegezugfestigkeit erfolgt unter Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwerts γ_M nach Tafel 12. Der Ansatz eines Dauerstandsfaktors ist in diesem Fall nicht erforderlich.

3.3 Charakteristische Biegezugfestigkeit

Unter bestimmten Beanspruchungen z.B. bei Plattenbiegung erfährt Mauerwerk Biegezugbeanspruchungen senkrecht oder parallel zur Lagerfuge. Bei Plattenbiegung darf die charakteristische Biegezugfestigkeit f_{xk1} mit einer Bruchebene parallel zu den Lagerfugen in tragenden Wänden nicht in Rechnung gestellt werden. Es gilt jedoch eine Ausnahme: Wenn Wände aus Planelementen bestehen und lediglich durch zeitweise einwirkende Lasten rechtwinklig zur Oberfläche beansprucht werden (z.B. Wind auf Ausfachungsmauerwerk). In diesem Fall darf der Bemessung eine charakteristische Biegezugfestigkeit in Höhe von f_{xk1} = 0,2 N/mm² zugrunde gelegt werden. Bei Versagen der Wand darf es dann jedoch nicht zu einem größeren Einsturz oder zum Stabilitätsverlust des ganzen Tragwerks kommen.

Bei der Bestimmung des charakteristischen Werts der Biegezugfestigkeit parallel zur Lagerfuge f_{xk2} wird nach DIN EN 1996-1-1/NA nicht mehr zwischen vermörtelten und unvermörtelten Stoßfugen unterschieden. In die Bestimmung der Materialkenngröße gehen die Haftscherfestigkeit f_{vk0} (auch als Anfangsscherfestigkeit bezeichnet), der Reibungsbeiwert μ = 0,6, die Normalspannung σ_{Dd} senkrecht zur Lagerfuge für die bemessungsrelevanten Einwirkungskombinationen (im Regelfall der kleinste Wert) sowie das Verhältnis Überbindemaß/Steinhöhe l_{ol}/h_u ein.

Die charakteristische Biegezugfestigkeit f_{xk2} von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen ergibt sich nach Gleichung (3.3):

$$f_{xk2} = (\alpha \cdot f_{vk0} + 0{,}6 \cdot \sigma_{Dd}) \cdot \frac{l_{ol}}{h_u}$$

$$\leq f_{xk2,max} = \min \begin{cases} 0{,}5 \cdot f_{bt,cal} \\ 0{,}7 \text{ [N/mm}^2\text{]} \end{cases} \quad (3.3)$$

Der Beiwert α berücksichtigt die Art der Stoßfugenvermörtelung (α = 1,0 für vermörtelte Stoßfugen; α = 0,5 für unvermörtelte Stoßfugen).

Tafel 13 Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksand-Planelementen mit Dünnbettmörtel

Dünnbettmörtel DM Steindruckfestigkeitsklasse	Planelemente		Plansteine	
	KS XL	KS XL-E KS XL-N	KS P KS -R P	KS L-P KS L-R P
10 [1]	–	–	–	5,0
12	9,4	7,0	7,0	5,6
16 [1]	11,2	8,8	8,8	6,6
20	12,9	10,5	10,5	–
28 [1]	16,0	–	13,8	–

KS XL: KS-Planelement ohne Längsnut, ohne Lochung
KS XL-E: KS-Planelement ohne Längsnut, mit einem Lochanteil ≤ 15 %
KS XL-N: KS-Planelement mit Längsnut, ohne Lochung
KS P: KS-Planstein mit einem Lochanteil ≤ 15 %
KS L-P: KS-Planstein mit einem Lochanteil > 15 %
[1] Auf Anfrage regional lieferbar

Tafel 14 Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Loch- und -Hohlblocksteinen mit Normalmauermörtel

KS L/KS L-R Steindruckfestigkeitsklasse	Mörtelklasse			
	M 2,5	M 5	M 10	M 20
10 [1]	3,5	4,5	5,0	5,6
12	3,9	5,0	5,6	6,3
16 [1]	4,6	5,9	6,6	7,4

[1] Auf Anfrage regional lieferbar

Tafel 15 Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen und Kalksand-Blocksteinen mit Normalmauermörtel

KS/KS -R Steindruckfestigkeitsklasse	Mörtelklasse			
	M 2,5	M 5	M 10	M 20
12	5,4	6,0	6,7	7,5
16 [1]	6,4	7,1	8,0	8,9
20	7,2	8,1	9,1	10,1
28 [1]	8,8	9,9	11,0	12,4

[1] Auf Anfrage regional lieferbar

Tafel 16 Maximalwert der charakteristischen Biegezugfestigkeit $f_{xk2,max}$ von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen

Steindruckfestigkeitsklasse der Mauersteine und Planelemente		10 [1]	12	16 [1]	20	28 [1]
Umgerechnete mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm²]		12,5	15	20	25	35
Maximalwert der charakteristischen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen $f_{xk2,max}$ [N/mm²]	Hohlblocksteine	0,125	0,150	0,200	0,250	0,350
	Hochlochsteine und Steine mit Grifföffnungen oder Grifftaschen	0,163	0,195	0,260	0,325	0,455
	Vollsteine ohne Grifflöcher oder Grifftaschen	0,200	0,240	0,320	0,400	0,560

[1] Auf Anfrage regional lieferbar

3.4 Zentrische Zugfestigkeit parallel zur Lagerfuge

Unter bestimmten Beanspruchungen erfährt Mauerwerk Zugbeanspruchungen parallel zur Lagerfuge. Diese treten beispielsweise bei der Berechnung von Silos oder bei Zwangsbeanspruchungen infolge Verformungsbehinderung im Mauerwerk auf. Die Zugfestigkeit der Steine und der geregelte Verband des Mauerwerks ermöglichen die Aufnahme von Zugspannungen parallel zur Lagerfuge. Die Zugfestigkeit des Mörtels in der Stoßfuge wird dabei vernachlässigt. Für die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird die Zugfestigkeit von Mauerwerk parallel zur Lagerfuge nicht angesetzt. Bei Versagen auf Zug sind zwei Versagensmechanismen möglich (Bild 6).

Für die zentrische Zugfestigkeit darf auf der sicheren Seite liegend der Wert der charakteristischen Biegezugfestigkeit parallel zur Lagerfuge Abschnitt 3.3 angesetzt werden.

3.5 Haftscherfestigkeit und Reibungsbeiwert

Die Anfangsscherfestigkeit, oft Haftscherfestigkeit genannt, beschreibt die vorhandene Verbundwirkung zwischen Steinen und Mörtel, die zu einer Querkrafttragfähigkeit des Querschnitts auch ohne vorhandene vertikale Auflast führt. Die Haftscherfestigkeiten f_{vk0} nach Tafel 17 stellen wie früher die so genannten Rechenwerte der Haftscherfestigkeit bereits modifizierte Rechenwerte der Anfangsscherfestigkeit dar.

Der charakteristische Reibungsbeiwert zwischen Stein und Mörtel wird für alle Mauerwerksarten in den verschiedenen Nachweisen einheitlich mit $\mu = 0{,}6$ angesetzt.

3.6 Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit

Die Schubfestigkeit f_{vk} ist eine wichtige Einflussgröße zur Beurteilung der Querkrafttragfähigkeit von Mauerwerk, die vor allem für den Standsicherheitsnachweis von Aussteifungswänden und Kellerwänden von großer Bedeutung ist. Generell ist dabei zwischen Scheibenschub- und Plattenschubbeanspruchung zu unterscheiden.

Die charakteristische Schubfestigkeit f_{vk} ergibt sich als kleinster Wert für f_{vlt} aus nachfolgenden Beziehungen:

$$f_{vk} = \min \{ f_{vlt1};\ f_{vlt2} \} \qquad (3.4)$$

3.6.1 Scheibenschub

Die Schubfestigkeit von Mauerwerk unter Scheibenbeanspruchung ergibt sich aus der maximalen Tragfähigkeit der Steine oder der Lagerfuge, wobei unterschiedliche Versagensmechanismen (Reibungsversagen, Steinzugversagen sowie ggf. Schubdruckversagen und Fugenversagen durch Kippen der Einzelsteine) zu berücksichtigen sind.

Die Schubfestigkeit unter Scheibenbeanspruchung bestimmt sich bei Reibungs- oder Steinzugversagen nach dem von Mann/Müller [3] entwickelten Versagensmodell aus dem Gleichgewicht an einem aus der Wand herausgelösten (kleinen) Einzelstein (Bild 7). Dabei wird eine Übertragung von Schubspannungen über die Stoßfuge generell ausgeschlossen, da diese entweder unvermörtelt ausgeführt wird oder der Mörtel infolge Schwinden vom Stein abreißen kann. Aufgrund der fehlenden Spannungen

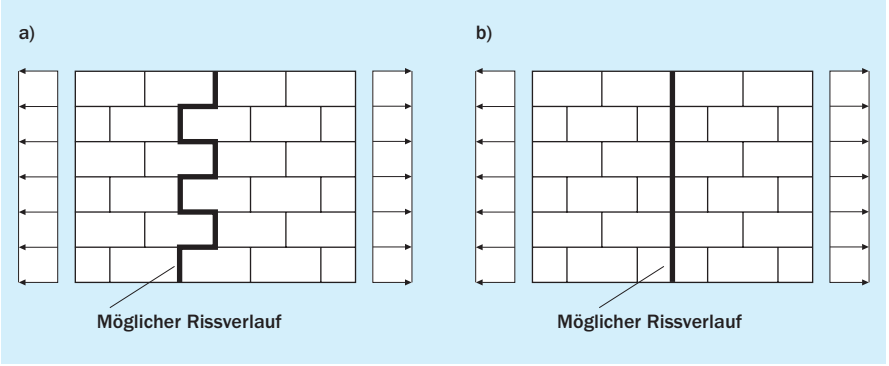


Bild 6 Zugbeanspruchung von Mauerwerk parallel zur Lagerfuge: a) Versagen infolge Überschreitung der Reibungskraft, b) Steinzugversagen

Tafel 17 Haftscherfestigkeit f_{vk0} von Mauerwerk ohne Auflast nach DIN EN 1996-1-1/NA

	f_{vk0} [N/mm²]			
Dünnbettmörtel (Lagerfugendicke 1 mm bis 3 mm)	Normalmauermörtel mit einer Festigkeit f_m [N/mm²]			
	M 2,5	M 5	M 10	M 20
	2,5	5,0	10,0	20,0
0,22	0,08	0,18	0,22	0,26

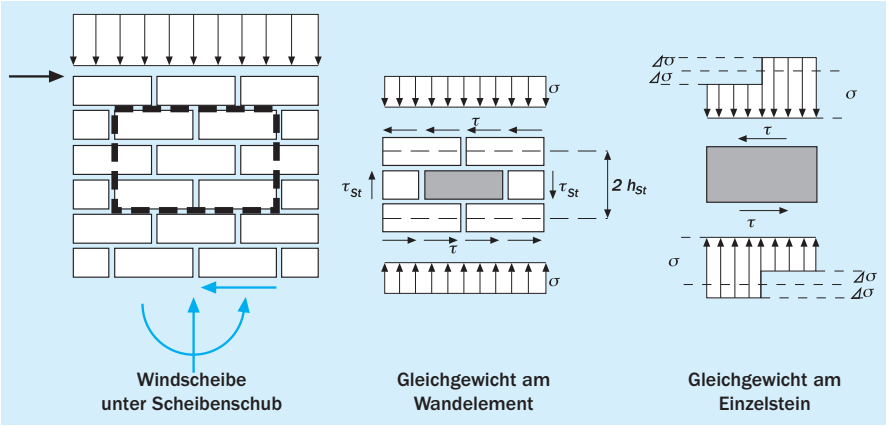


Bild 7 Zur Berechnung der Schubfestigkeit unter Scheibenbeanspruchung nach Mann/Müller [3]

an den Stoßfugen müssen zur Einhaltung des Momentengleichgewichtes am Einzelstein an der Steinober- und der Steinunterseite unterschiedlich gerichtete Normalspannungen wirken.

Für die Bestimmung der Schubfestigkeit von Mauerwerkswänden nach den Gleichungen (3.5) und (3.6) wird grundsätzlich von einer über die überdrückte Querschnittsfläche gemittelten vorhandenen Normalspannung σ_{Dd} ausgegangen. Zur Berücksichtigung der ungleichmäßigen Spannungsverteilung in den Lagerfugen wird in DIN EN 1996-1-1/NA bei Scheibenbeanspruchung ersatzweise ein abgeminderter Reibungsbeiwert von $\mu' = \mu/(1+\mu) = 0{,}4$ und eine abgeminderte Haftscherfestigkeit f_{vk0} angesetzt. Bei größeren Normalspannungen ist zusätzlich ein Versagen der Steine auf Zug oder auch auf Druck möglich (Gleichung (3.7)).

Reibungsversagen

Bei vermörtelten Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_{Dd} \qquad (3.5)$$

Bei unvermörtelten Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = 0{,}5 \cdot f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_{Dd} \qquad (3.6)$$

Steinzugversagen

Die charakteristische Schubfestigkeit von Mauerwerk bei Steinzugversagen (gilt für vermörtelte und unvermörtelte Stoßfugen) ergibt sich zu:

$$f_{vlt2} = 0{,}45 \cdot f_{bt,cal} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{bt,cal}}} \qquad (3.7)$$

mit

f_{vk0} Haftscherfestigkeit nach Tafel 17

$f_{bt,cal}$ Charakteristische Steinzugfestigkeit (Tafel 18)

$f_{bt,cal} = 0{,}020 \cdot f_{st}$
für Hohlblocksteine

$f_{bt,cal} = 0{,}026 \cdot f_{st}$
für Hochlochsteine und Steine mit Grifflöchern oder Grifftaschen

$f_{bt,cal} = 0{,}032 \cdot f_{st}$
für Vollsteine der Höhe ≥ 248 mm ohne Grifflöcher oder Grifftaschen

f_{st} Umgerechnete mittlere Steindruckfestigkeit (Tafel 3) in N/mm²

In Tafel 19 sind die Werte für $f_{bt,cal}$ für die verschiedenen Steinarten ausgewertet.

σ_{Dd} Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung an der Stelle der maximalen Schubspannung.

Für Rechteckquerschnitte $\sigma_{Dd} = \dfrac{N_{Ed}}{A}$

$A = t \cdot l_{c,lin}$
überdrückte Querschnittsfläche

$l_{c,lin} = \dfrac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \dfrac{e_w}{l}\right) \cdot l \le l$
überdrückte Wandlänge

$e_W = \dfrac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$; die Exentrizität in Wandlängstrichtung

M_{Ed} Bemessungswert des einwirkenden Momentes in Wandlängsrichtung

$N_{Ed} = 1{,}0 \cdot N_{Gk}$; im Regelfall ist die minimale Einwirkung maßgebend

Der kleinere der beiden Werte f_{vlt1} und f_{vlt2} ist für f_{vk} einzusetzen.

Bei Ansatz der Haftscherfestigkeit f_{vk0} ist bei rechnerisch gerissenen Querschnitten zusätzlich ein Randdehnungsnachweis zu führen.

3.6.2 Plattenschub

Bei Plattenschubbeanspruchung ist im Allgemeinen nicht mit einem Versagen der Steine infolge Überschreitung der Steinzug- oder Steindruckfestigkeit zu rechnen, weshalb diese Versagensarten für den Nachweis unter Plattenschubbeanspruchung unberücksichtigt bleiben können. Zur Ermittlung der Schubfestigkeit findet daher lediglich das Kriterium Reibungsversagen Berücksichtigung. Des Weiteren treten bei Plattenschub ungleichmäßige Normalspannungen in der Lagerfuge nicht auf, so dass mit dem tatsächlichen Reibungsbeiwert zwischen Stein und Mörtel von $\mu = 0{,}6$ gerechnet werden kann. Basierend auf dieser Grundlage ermittelt sich der Maximalwert der charakteristischen Schubfestigkeit bei Plattenbeanspruchung gemäß DIN EN 1996-1-1/NA folgendermaßen:

- Vermörtelte Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = f_{vk0} + 0{,}6 \cdot \sigma_{Dd} \qquad (3.8)$$

- Unvermörtelte Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = \frac{2}{3} \cdot f_{vk0} + 0{,}6 \cdot \sigma_{Dd} \qquad (3.9)$$

σ_{Dd} Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung an der Stelle der maximalen Schubspannung.

Für Rechteckquerschnitte gilt $\sigma_{Dd} = \dfrac{N_{Ed}}{A}$

$A = t_{c,lin} \cdot l$
überdrückte Querschnittsfläche

$t_{c,lin} = \dfrac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \dfrac{e}{t}\right) \cdot t \le t$

überdrückte Wanddicke

Bei Plattenschub ist eine Betrachtung des Steinzugversagens (f_{vlt2}) nicht erforderlich.

3.7 Verformungseigenschaften

Zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden aus Mauerwerk werden die zugehörigen Verformungseigenschaften benötigt. Aufgrund unterschiedlicher Last-, Feuchte-, und Temperatureigenschaften kann es bei bestimmten Wänden zu unerwünschten Rissen infolge Zwangbeanspruchung kommen, welche in der Regel für die Standsicherheit des Gebäudes als unkritisch angesehen werden können, jedoch die Gebrauchstauglichkeit und das optische Erscheinungsbild von Mauerwerk negativ beeinflussen können. Aufgrund der großen Vielfalt an möglichen Kombinationen und der entsprechenden Spannungs-Dehnungs-Beziehung wird bei der Bemessung nach Eurocode 6 vereinfachend von einem vollplastischen Materialverhalten für alle Stein- und Mörtelarten ausgegangen. Das Elastizitätsmodul als bestimmende Materialkenngröße wird dabei entsprechend dem Nachweis (Knicksicherheitsnachweis oder Gebrauchstauglichkeitsnachweis) abgeschätzt. Die zur Berechnung von KS-Wandkonstruktionen benötigten Eingangsgrößen gemäß DIN EN 1996-1-1/NA zur Berechnung von Verformungen infolge von Schwind- oder Temperaturbeanspruchung oder auch Lasteinwirkung sind in Tafel 19 zusammengefasst.

Tafel 18 Charakteristische Steinzugfestigkeit $f_{bt,cal}$ in Abhängigkeit von der Steinsorte und der Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 1996-1-1/NA

Druckfestigkeitsklasse der Mauersteine und Planelemente		10	12	16	20	28
Umgerechnete mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm²]		12,5	15,0	20,0	25,0	35,0
Rechnerische Steinzugfestigkeit $f_{bt,cal}$ [N/mm²]	Hohlblocksteine	0,25	0,30	0,40	0,50	0,70
	Hochlochsteine und Steine mit Grifföffnungen oder Grifftaschen	0,32	0,39	0,52	0,65	0,91
	Vollsteine ohne Grifflöcher oder Grifftaschen	0,40	0,48	0,64	0,80	1,12
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.						

Tafel 19 Verformungskennwerte von KS-Mauerwerk mit Normalmauermörtel und Dünnbettmörtel nach DIN EN 1996-1-1/NA

Endkriechzahl [1] φ_∞ [–]		Endwert der Feuchtedehnung [2] [mm/m]		Wärmeausdehnungskoeffizient α_t [10^{-6}/K]		E-Modul [N/mm²]	
Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich
1,5	1,0–2,0	-0,2	-0,3 – -0,1	8	7–9	950 · f_k	800–1250 · f_k

[1] Endkriechzahl $\varphi_\infty = \varepsilon_\infty / \varepsilon_{el}$, mit $\varepsilon_{c\infty}$ als Endkriechmaß und $\varepsilon_{el} = \sigma / E$ [2] Endwert der Feuchtedehnung ist bei Stauchung negativ und bei Dehnung positiv angegeben.

4. Aussteifung von Gebäuden und Schnittgrößenermittlung

4.1 Räumliche Steifigkeit

Nach DIN EN 1996-1-1/NA sowie auch DIN EN 1996-3/NA müssen alle horizontalen Einwirkungen sicher in den Baugrund weitergeleitet werden. Dabei kann auf einen rechnerischen Nachweis verzichtet werden, wenn die Geschossdecken als steife Scheiben ausgebildet sind bzw. statisch nachgewiesene, ausreichend steife Ringbalken vorliegen und wenn in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen Wänden vorhanden ist, die ohne größere Schwächungen und Versprünge bis auf die Fundamente geführt werden. Nur wenn bei einem Bauwerk nicht von vornherein erkennbar ist, dass Steifigkeit und Stabilität entsprechend gesichert sind, ist ein rechnerischer Nachweis der Gesamtaussteifung erforderlich.

Die räumliche Steifigkeit von Bauwerken und deren Stabilität ist hinsichtlich der Standsicherheit von besonderer Bedeutung. Dies gilt insbesondere für die Aufnahme und die Weiterleitung der horizontalen Einwirkungen auf das Bauwerk. Dabei muss nicht nur die Standsicherheit der einzelnen Wände, sondern auch die Stabilität des Gesamtbauwerks gewährleistet sein. Ist ein Bauwerk durch Fugen unterteilt, muss jeder Gebäudeabschnitt für sich ausgesteift sein.

Die wesentlichen horizontalen Einwirkungen auf Mauerwerksgebäude sind:

- Winddruck und Windsog
- Erddruck
- Seismizität/Erdbeben (je nach geographischer Lage)
- Imperfektionen

  Hierunter versteht man eine ungewollte Abweichung vom planmäßigen Zustand, z.B. durch Lotabweichungen von vertikalen Bauteilen, Vorkrümmungen von Stabachsen, Eigenspannungen und strukturellen Imperfektionen durch Toleranzen der Querschnittsabmessungen. Ihr Einfluss darf nach DIN EN 1996-1-1/NA (Abschnitt 5.3) näherungsweise durch den Ansatz geometrischer Ersatzimperfektionen in Form einer Schiefstellung aller lotrechten Bauteile erfasst werden. Gegenüber der Sollachse ist hierfür eine Schiefstellung um den Winkel in Abhängigkeit der Gebäudehöhe anzusetzen, aus der zusätzliche Horizontallasten auf die aussteifenden Bauteile resultieren (Bild 9).

Für die Aussteifung eines Gebäudes sind stets mindestens drei Wandscheiben, deren Wirkungslinien sich nicht in einem Punkt schneiden und die nicht alle parallel angeordnet sind, sowie eine schubsteife Deckenscheibe (oder ein statisch nachgewiesener Ringbalken) erforderlich. Lage und Richtung der Wandscheiben sollten zudem so gewählt werden, dass die Verdrehung des Gebäudes um seine vertikale Achse gering bleibt. Ferner sollten Wandscheiben derart angeordnet werden, dass Zwangbeanspruchungen der Geschossdecken vermieden werden. Bild 8 zeigt einige Beispiele für günstige und ungünstige Anordnungen von Wandscheiben. Vereinbarungsgemäß nehmen dabei Wandscheiben nur Lasten in Richtung ihrer starken Achse auf, da ihre Biegesteifigkeit bei der Bemessung um die schwache Achse vernachlässigt wird. Ferner wird angenommen, dass Stützen und in der Regel auch Pfeiler und kurze Wandabschnitte aufgrund ihrer geringen Biegesteifigkeit ebenfalls nicht zur Aussteifung beitragen.

Werden mehrere Wandscheiben schubfest miteinander verbunden (z.B. durch Aufmauerung im Verband), so entstehen L- oder U-förmige Aussteifungselemente, die sich durch höhere Steifigkeiten auszeichnen. Der Nachweis dieser Aussteifungselemente muss nach dem genaueren Berechnungsverfahren gemäß DIN EN 1996-1-1/NA erfolgen. Zusammengesetzte torsionssteife Querschnitte aus Wänden bezeichnet man als Aussteifungskerne.

Bei großer Nachgiebigkeit der aussteifenden Bauteile müssen deren Formänderungen bei der Schnittgrößenermittlung berücksichtigt werden. Für vertikale Tragglieder ist nach DIN EN 1996-1-1/NA (Abschnitt 5.4) ein Nachweis nach Theorie II. Ordnung (Knicksicherheitsnachweis) erforderlich, wenn der Schnittgrößenzuwachs infolge der Tragwerksverformungen größer ist als 10 % der Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung. Die Berücksichtigung der Einflüsse nach Theorie II. Ordnung darf entfallen, wenn die lotrechten aussteifenden Bauteile in der betrachteten Richtung die folgenden Bedingungen (Gleichung 4.1) erfüllen und die lotrecht aussteifenden Bauteile annähernd symmetrisch angeordnet sind oder keine maßgebende Torsionsbeanspruchung auftritt.

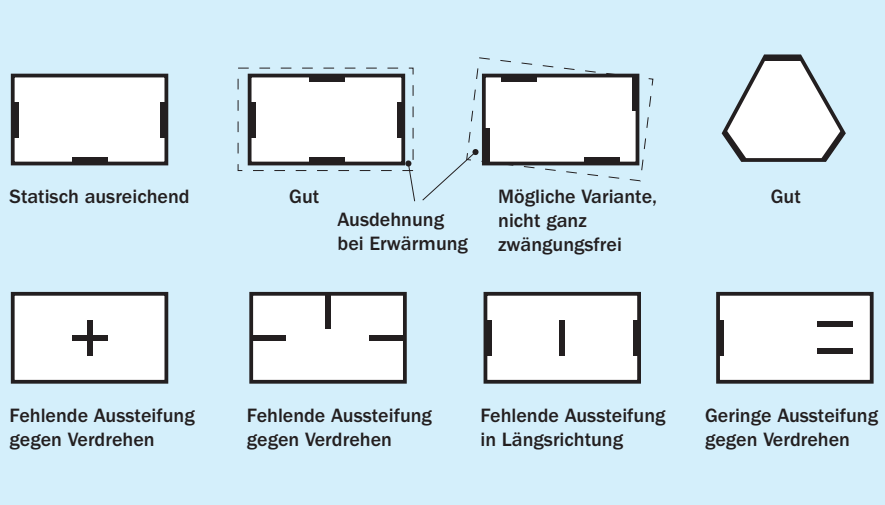


Bild 8 Günstige und ungünstige Anordnung von Wandscheiben im Grundriss (nach [14])

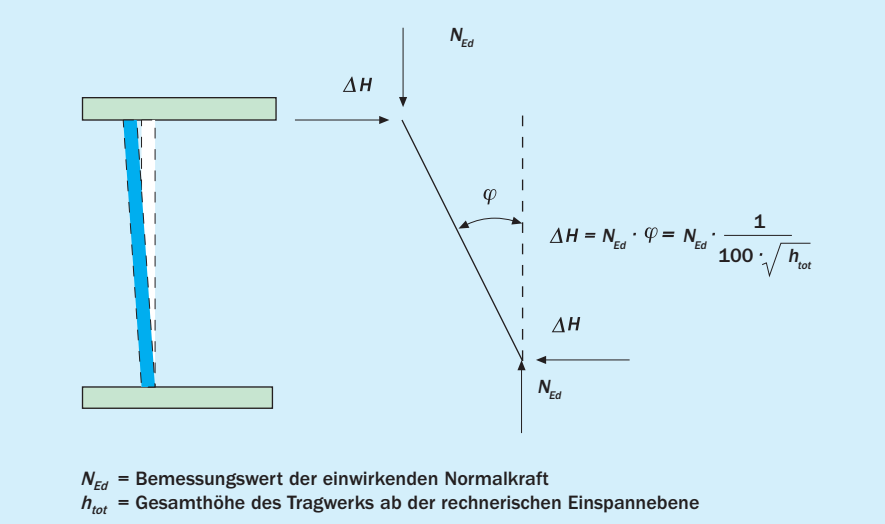


Bild 9 Lotabweichung für den Nachweis der Gebäudeaussteifung

$$h_{tot} \cdot \sqrt{\frac{N_{Ed}}{EI}} \begin{cases} \leq 0{,}2 + 0{,}1 \cdot n & \text{für } n < 4 \\ \leq 0{,}6 & \text{für } n \geq 4 \end{cases} \quad (4.1)$$

mit

h_{tot} Gesamthöhe des Tragwerks ab der rechnerischen Einspannebene

N_{Ed} Summe aller charakteristischen Vertikallasten ($g_k + q_k$) des Gebäudes in Höhe der rechnerischen Einspannebene ($\gamma_F = 1{,}0$)

EI Summe der Biegesteifigkeit aller lotrechten aussteifenden Bauteile im Zustand I, nach der Elastizitätstheorie, die in der betrachteten Richtung wirken

n Anzahl der Geschosse ab der rechnerischen Einspannebene

Bei der räumlichen Steifigkeit ist darauf zu achten, dass alle tragenden und aussteifenden Wände mit den Decken kraftschlüssig verbunden sind. Nach DIN EN 1996-1-1/NA müssen die Wandscheiben entweder durch Reibung (Stahlbetondecken) oder Zuganker (z.B. bei Holzbalkendecken) an die Deckenscheibe angeschlossen sein.

Im Allgemeinen ist die Verwendung von Trennlagen bei KS-Mauerwerk am Wandkopf unter den Decken nicht erforderlich. Lediglich bei Deckenauflagern in Eckbereichen (Aufschüsseln) und/oder unter der obersten Geschossdecke können diese notwendig werden.

Mauerwerksbauten üblicher Abmessungen besitzen im Allgemeinen eine Vielzahl von aussteifenden Wandscheiben. Bei einer kraftschlüssigen Verbin-

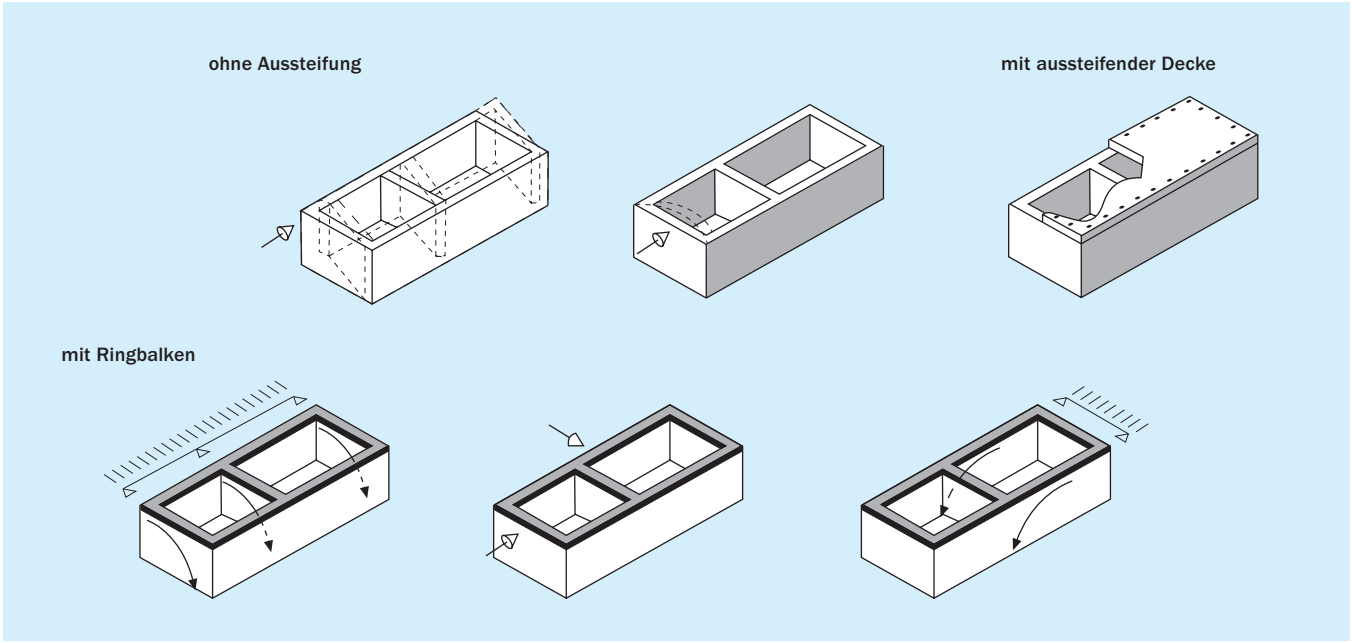


Bild 10 Formstabilität durch Anordnung von Ringbalken (nach [5])

dung der Wände mit einer schubsteifen Deckenscheibe bildet sich gegenüber einer horizontalen Einwirkung ein formstabiles System. Ist die Scheibenwirkung der Geschossdecke nicht gewährleistet (z.B. bei Holzbalkendecken oder nicht verbundenen Fertigteildecken), verschieben sich die Wandscheiben infolge der horizontalen Einwirkungen. Da dann die erforderliche räumliche Steifigkeit nicht gegeben ist, müssen Ringanker bzw. -balken vorgesehen werden, die sich beispielsweise mit ausbetonierten KS -U-Schalen herstellen lassen (Bild 10).

4.2 Aussteifung tragender Wände

Bei schlanken Mauerwerkswänden kann neben dem Überschreiten der Querschnittstragfähigkeit ein Spannungsversagen nach Theorie II. Ordnung (Knicken) für die Bemessung maßgebend sein. Die bezogene Wandschlankheit (Knicklänge h_{ef}/Wanddicke t) einer Mauerwerkswand ist ein Maß für ihre Knickgefahr und neben der Geschosshöhe auch davon abhängig, ob und wie die Wand an ihren Rändern durch Deckenscheiben und/oder Querwände gehalten ist. Je nach Anzahl der rechtwinklig zur Wandebene unverschieblich gehaltenen Ränder unterscheidet man zwischen zwei-, drei- und vierseitig gehaltenen sowie frei stehenden Wänden.

INFO

Kalksandsteinwände werden im Regelfall zweiseitig gehalten bemessen. Nur bei sehr ungünstigen Lastfällen ist ggf. der Ansatz weiterer (seitlicher) Halterungen erforderlich.

Überschreiten die Abstände der aussteifenden Querwände ein gewisses Maß, so geht ihre aussteifende Wirkung verloren. Daher ist eine Begrenzung dieser Abstände zur Sicherstellung ei-

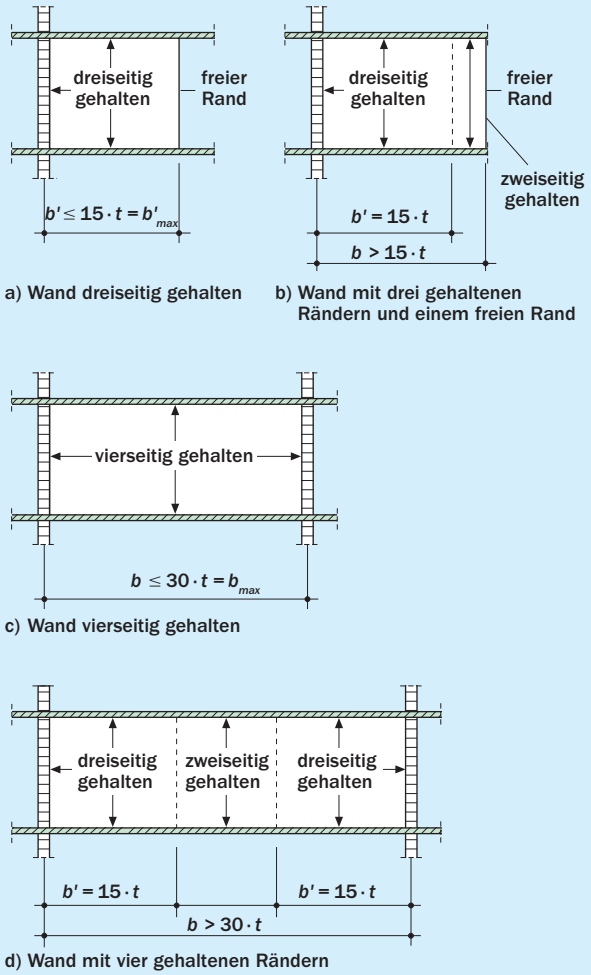


Bild 11 Einfluss der Wandbreite auf die Halterung

ner zweiachsigen Tragwirkung erforderlich (Bild 11):

- $b' \leq 15 \cdot t$ bei dreiseitig gehaltenen Wänden
- $b \leq 30 \cdot t$ bei vierseitig gehaltenen Wänden

Die aussteifenden Wände müssen darüber hinaus folgende Anforderungen erfüllen (Bild 12):

- Wandlänge $l_w \geq 1/5 \cdot h$ (h = lichte Geschosshöhe)
- Mindestdicke der aussteifenden Wände 1/3 der Dicke der auszusteifenden Wand, mindestens aber 11,5 cm
- Im Bereich von Tür- und Fensteröffnungen gelten für die Länge der aussteifenden Wände die Bedingungen nach Bild 12 c, d

Sollen Wände durch Querwände ausgesteift werden, so darf nach DIN EN 1996-1-1/NA eine unverschiebliche Halterung nur dann angenommen werden, wenn die Wände aus Baustoffen gleichen Verformungsverhaltens bestehen und gleichzeitig im Verband hochgeführt werden. Anstelle des Verbandes zwischen Längs- und Querwand kann die zug- und druckfeste Verbindung durch andere Maßnahmen gesichert sein. Unter diesen anderen Maßnahmen ist z.B. der Wandanschluss in Stumpfstoßtechnik zu verstehen.

Stumpf gestoßene Wände sind als zweiseitig gehalten zu bemessen. Falls in Ausnahmefällen die auszusteifende Wand drei- oder vierseitig gehalten bemessen werden soll, ist die in Bild 13 angegebene Regelausführung zu beachten.

INFO

Grundsätzlich können alle Wandanschlüsse stumpf gestoßen werden. Es wird jedoch empfohlen, die Außenecken von Kelleraußenwänden – auch unter Annahme zweiseitiger Halterung – aus konstruktiven Gründen immer miteinander zu verzahnen. Alle übrigen Wandanschlüsse (auch Außenecken von Wänden ohne Erddruck) können stumpf gestoßen werden.

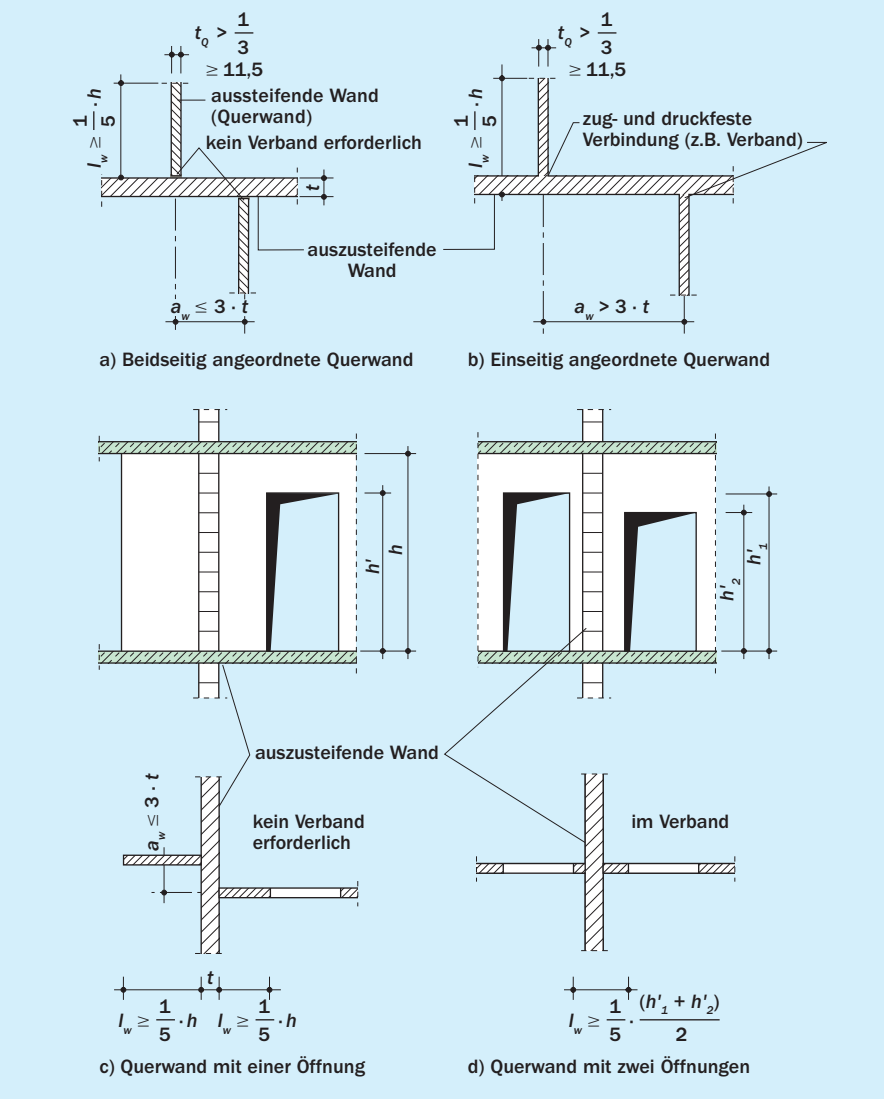
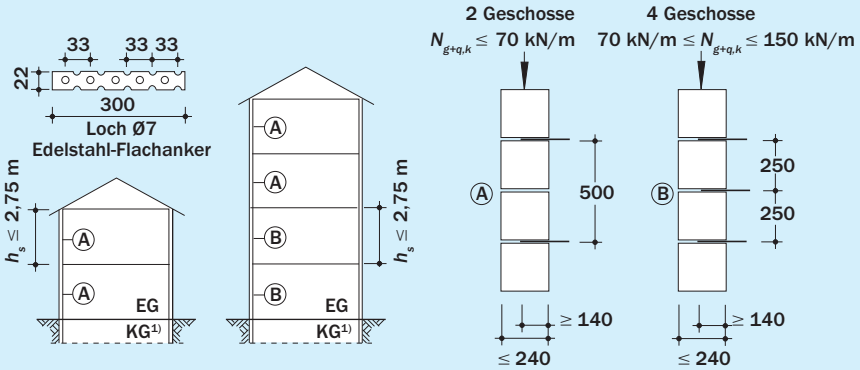


Bild 12 Bedingungen für aussteifende Wände

Es gilt: 1. Edelstahl-Flachanker 30 cm lang, Ankerdicke t = 0,75 mm.
2. Aus baupraktischen Gründen wird empfohlen, generell Edelstahl-Flachanker einzulegen. Die Anschlussfuge ist zu vermörteln.
3. Für den Bereich Ⓑ gilt: 1 Flachanker alle 25 cm entspricht 2 Ankern alle 50 cm.



¹⁾ Kelleraußenwandecken sind im Verband zu mauern.

Bild 13 KS-Stumpfstoßtechnik, Regelausführung bei Annahme einer drei- oder vierseitigen Halterung der tragenden Wand (Schichthöhe ≤ 25 cm)

5. Bemessung nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren in DIN EN 1996-3/NA:2012-01

5.1 Allgemeines und Anwendungsgrenzen

Grundlage jeder Tragwerksbemessung ist es, die Einwirkungen, die auf ein Bauwerk und seine Bauteile wirken, wirklichkeitsnah zu erfassen und deren sicheren Abtrag in den Baugrund nachzuweisen. Dabei ist je nach Beanspruchungsart der Wände zwischen Platten- und Scheibenbeanspruchung zu unterscheiden. Einwirkungen in Richtung der Wandebene erzeugen eine Scheibenbeanspruchung, wohingegen Einwirkungen quer zur Mittelfläche zu einer Plattenbeanspruchung führen (Bild 14).

Für die Bemessung von Mauerwerkswänden stehen im Eurocode 6 zwei Berechnungsverfahren zur Verfügung:

- das vereinfachte Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA [7]
- das genauere Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA [6]

Die Grundlagen beider Berechnungsverfahren sind identisch. Die gleichzeitige Verwendung in einem Gebäude ist zulässig.

Die Anwendung der genaueren Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA ist gegenüber den vereinfachten Berechnungsverfahren insbesondere in zwei Fällen zu empfehlen. Zum einen kann es angewendet werden, wenn die Randbedingungen zur Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahren nicht eingehalten sind, zum anderen können teilweise erheblich höhere rechnerische Tragfähigkeiten bei Biegebeanspruchung erzielt werden. Demgegenüber steht allerdings eine ggf. recht aufwändige Schnittgrößenermittlung, da sowohl die Berechnung der Knotenmomente als auch die rechnerische Berücksichtigung von Windlasten erforderlich ist.

Die vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA ermöglichen den statischen Nachweis eines Großteils aller im Mauerwerksbau auftretenden Problemstellungen auf der Basis von Bemessungsschnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit innerhalb kürzester Zeit und ohne großen Aufwand. Wesentlicher Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass die auf die Wand einwirkenden Biegebeanspruchungen aus Lastexzentrizität und Windeinwirkungen in stark vereinfachter Form bei der Bemessung Berücksichtigung finden, so dass auf die Ermittlung dieser Einwirkungen verzichtet werden kann. Im Gegensatz zur Vorgängernorm DIN 1053-1 darf dieses Verfahren nun auch bei nicht vollständig auf der Wand aufliegenden Deckenscheiben angewendet werden. In Sonderfällen kann ein detaillierterer Nachweis von Einzelbauteilen nach dem genaueren Verfahren erfolgen, obwohl die übrigen Bauteile mit den vereinfachten Berechnungsverfahren nachgewiesen werden.

Bei Einhaltung der Anwendungsgrenzen des vereinfachten Berechnungsverfahrens und der nachfolgend genannten Randbedingungen ist kein Nachweis ausreichender Querkrafttragfähigkeit erforderlich. DIN EN 1996-3/NA enthält daher auch keine Regelungen zum Querkraftnachweis.

Bei der Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren werden folgende Näherungen getroffen:

- Auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung des Gebäudes darf verzichtet werden, wenn die Geschossdecken als steife Scheiben ausgebildet sind bzw. statisch nachgewiesene, ausreichend steife Ringbalken vorliegen und wenn in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen aussteifenden Wänden vorhanden ist, die ohne größere Schwächungen und ohne Versprünge bis auf die Fundamente geführt werden. Bei Elementmauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß $l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$ ist bei einem Verzicht auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung des Gebäudes die ggf. geringere Schubtragfähigkeit bei hohen Auflasten zu berücksichtigen. Die Entscheidung für oder gegen einen Aussteifungsnachweis obliegt dem planenden Ingenieur. Ist bei einem Bauwerk nicht von vornherein erkennbar, dass dessen Aussteifung gesichert ist, so ist ein rechnerischer Nachweis der Biege- und Querkrafttragfähigkeit der zugehörigen Bauteile in Scheibenrichtung nach dem genaueren Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA zu führen. Gegebenenfalls ist hierbei auch ein Nachweis der kombinierten Beanspruchung zu führen. Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit darf aber trotzdem nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren geführt werden.
- Der Einfluss von Windlasten senkrecht zur Wandebene von tragenden Wänden kann vernachlässigt werden, wenn eine ausreichende horizontale Halterung am Wandkopf und -fuß gegeben ist.
- Bestimmte Beanspruchungen, z.B. Biegemomente aus Deckeneinspannungen, ungewollte Ausmitten beim Knicknachweis, Wind auf tragende Wände sind nicht gesondert nachzuweisen, sondern sind durch den Sicherheitsabstand, der dem Berechnungsverfahren zugrunde liegt, oder durch konstruktive Regeln und Grenzen abgedeckt. Voraussetzung: Es treten in halber Geschosshöhe der Wand nur Biegemomente aus der Deckeneinspannung oder -auflagerung und aus Windlasten auf.
- Greifen abweichend von den vorherigen Randbedingungen an tragenden Wänden größere horizontale Lasten an, so ist der Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA mit dem genaueren Berechnungsverfahren zu führen.
- Ein Versatz der Wandachsen infolge einer Änderung der Wanddicken gilt dann nicht als größere Ausmitte, wenn der Querschnitt der dickeren tragenden Wand den Querschnitt der dünneren tragenden Wand umschreibt.

Aufgrund der genannten Randbedingungen ist die Anwendung des vereinfachten Verfahrens nur unter bestimmten Voraussetzungen zulässig. Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind:

- Die Anwendungsgrenzen nach Tafel 20 sind eingehalten .
- Gebäudehöhe über Gelände $h_m \leq 20$ m; Diese Einschränkung ist erforderlich, um im Normalfall auf genauere Nachweise zur Gebäudeaussteifung verzichten zu können. Als

Tafel 20 Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens nach DIN EN 1996-3/NA

Bauteil	Wanddicke t [mm]	Maximal zulässige lichte Wandhöhe h [m]			
		Allgemein	Mauerwerk aus Kalksandsteinen mit Normalmauermörtel und Dünnbettmörtel[3]		
			Mauerwerksdruckfestigkeit f_k [N/mm²]		
			≥ 3,5	≥ 5,0	≥ 10,0
Tragende Außenwände und zweischalige Haustrennwände	≥ 115[1),2)]	2,75	2,75	2,75	2,75
	≥ 150	2,75[2)]	2,75[2)]	3,00[4)]	3,30[5)]
	≥ 175	2,75	3,00	3,30	3,60[5)]
	≥ 200	2,75	3,60	3,60	3,60[5)]
	≥ 240	12 · t	3,60	3,60	3,60[5)]
	≥ 300	12 · t	12 · t	12 · t	12 · t
Tragende Innenwände	≥ 115	2,75	3,60	3,60	3,60
	≥ 240	Keine Einschränkung			

[1)] Als einschalige Außenwand nur bei eingeschossigen Garagen und vergleichbaren Bauwerken, die nicht zum dauernden Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind. Als Tragschale zweischaliger Außenwände und bei zweischaligen Haustrennwänden bis maximal zwei Vollgeschosse zuzüglich ausgebautes Dachgeschoss; aussteifende Querwände im Abstand b ≤ 4,50 m bzw. Randabstand von einer Öffnung b' ≤ 2,0 m.
[2)] Charakteristische Nutzlast einschließlich Zuschlag für nicht tragende innere Trennwände q_k ≤ 3,0 kN/m².
[3)] Anwendungsvoraussetzungen:
– bei Außenwänden mit charakteristischer Windlast w_k ≤ 1,25 kN/m²;
– über die Wanddicke t vollaufliegende Stahlbetondecke und Betonfestigkeitsklassen C20/25;
– Mindestdeckendicke infolge Begrenzung der Deckenschlankheit nach DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, 7.4.2, und Deckendicke ≥ 180 mm;
– betrachtetes Geschoss entspricht in Grund- und Aufriss weitgehend den darüber- und darunterliegenden Geschossen;
– Interpolation zwischen Festigkeitsklassen nicht zulässig.
[4)] Gilt bei KS-Mauerwerk nur für f_k ≥ 5,5 N/mm².
[5)] Bei Außenwänden mit charakteristischer Windlast von 1,25 kN/m² < w_k ≤ 2,2 kN/m² sind lichte Wandhöhen bis h = 3,0 m zulässig.

Gebäudehöhe darf bei geneigten Dächern das Mittel von First- und Traufhöhe gelten.

- Stützweite der Decke $l_f \leq 6{,}0$ m, sofern die Biegemomente aus dem Deckendrehwinkel nicht durch konstruktive Maßnahmen, z.B. Zentrierleisten, begrenzt werden; Bei größeren Stützweiten treten infolge der Einspannung der Decken in die Wände erhöhte Kantenpressungen gegenüber einer zentrischen Belastung auf, die über die zulässigen Spannungen nicht mehr abgedeckt sind. Bei zweiachsig gespannten Decken ist für die Länge l_f die kürzere der beiden Stützweiten anzusetzen.

- Das Überbindemaß l_{ol} nach DIN EN 1996-1-1 muss mindestens $0{,}4 \cdot h_u$ und mindestens 45 mm betragen. Nur bei Elementmauerwerk darf das Überbindemaß l_{ol} auch $0{,}2 \cdot h_u$, mindestens aber 125 mm betragen.

- Die Deckenauflagertiefe *a* muss mindestens die halbe Wanddicke ($t/2$), jedoch mehr als 100 mm betragen. Bei einer Wanddicke $t \geq 365$ mm darf die Mindestdeckenauflagertiefe auf $0{,}45 \cdot t$ reduziert werden.

- Für den Nachweis von Kellerwänden gelten die Voraussetzungen nach Abschnitt 7.1.

- Freistehende Wände sind nach DIN EN 1996-1-1/NA nachzuweisen.

Der übliche Mauerwerksbau im Hochbau wird in aller Regel innerhalb des genannten Anwendungsbereichs des vereinfachten Berechnungsverfahrens liegen.

Es gelten darüber hinaus die Einschränkungen bezüglich der Gebäudehöhe, der Deckenstützweite und der Schlankheit (siehe Abschnitt 5.2).

5.2 Anwendungsgrenzen in Abhängigkeit der Windzone

Selbst die vereinfachte Normtabelle für KS-Mauerwerk nach Tafel 20 ist aufgrund der zahlreichen Fußnoten und insbesondere wegen der Unterscheidung nach der Windbeanspruchung verhältnismäßig unübersichtlich. Es ist daher im Hinblick auf die praktische Anwendung sinnvoll, diese Tabelle noch weiter zu vereinfachen und nur die tatsächlich benötigten Parameter in direkter Abhängigkeit der Windzonen darzustellen. Die maximal zulässigen lichten Wandhöhen für KS-Mauerwerk, für die ein vereinfachter Nachweis ausreichend ist, sind nachfolgend in Abhängigkeit der betreffenden Windzone und der Stein-Mörtel-Kombination übersichtlich zusammen gestellt (Tafel 21). Hierbei ist berücksichtigt, dass Festigkeitsklassen ≥ 20 nur von Vollsteinen erreicht werden.

Tafel 21 Anwendungsgrenzen in Abhängigkeit der Windzone

Voraussetzungen für die Anwendung von KS-Mauerwerk im vereinfachten Nachweisverfahren						
Bauteil	**Wanddicke [mm]**	**Maximal zulässige lichte Wandhöhe h [m]**				
		Binnenland Windzone 1, Windzone 2[1] Windzone 3 (Höhe ≤ 10 m)			**Binnenland Windzone 3 (Höhe > 10 m), Windzone 4 Küste und Inseln alle Windzonen**	
		KS ≥ 12 NM	**KS ≥ 12 DM**	**KS ≥ 20[2] DM**	**KS ≥ 12 NM/DM**	**KS ≥ 20[2] DM**
Außenwände und zweischalige Haustrennwände	**≥ 150**	2,75	3,00	3,30	2,75	3,00
	≥ 175	3,00	3,30	3,60		
	≥ 200	3,60				
	≥ 240	3,60			2,88	
	≥ 300	3,60				
	≥ 365	4,38				
Innenwände	**≥ 115**	3,60				
	≥ 240	Keine Einschränkung				

[1] In Windzone 2 bei Gebäudehöhen ≤ 10 m auch an der Küste und auf den Inseln der Ostsee
[2] Bei Kalksandplanelementen ohne Lochung (KS XL) auch Druckfestigkeitsklasse 16 zulässig

Randbedingungen:
– Voll aufliegende Stahlbetondecke ≥ C20/25
– Deckendicke ≥ 180 mm und Begrenzung der Deckenschlankheit nach DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, 7.4.2
– Geschossgrund- und -aufriss entsprechen weitgehend den darunter und darüber liegenden Geschossen

5.3 Knicklänge und Schlankheit

Für den Knicksicherheitsnachweis von Druckstäben ist es im Allgemeinen üblich, die Lagerungsbedingungen an den Stabenden über die Knicklänge h_{ef} zu erfassen und damit das Knickproblem auf den so genannten Eulerfall II des gelenkig gelagerten Ersatzstabes zurückzuführen. Dieses Prinzip lässt sich auch auf mehrseitig gehaltene Wände übertragen. Da im Mauerwerksbau das Ausknicken der Wände im Allgemeinen nur zwischen den Geschossdecken erfolgen kann, genügt es, dem Knicksicherheitsnachweis die lichte Geschosshöhe h zwischen den Decken zugrunde zu legen.

Bei zweiseitig gehaltenen Wänden beträgt die Knicklänge im Regelfall:

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h \qquad (5.1)$$

mit
h_{ef} Knicklänge
h Lichte Geschosshöhe
ρ_2 Abminderungsbeiwert nach Tafel 22

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t} \text{ Schlankheit} \qquad (5.2)$$

Bei flächig aufgelagerten massiven Plattendecken oder Rippendecken nach DIN EN 1992-1/NA mit lastverteilenden Balken und falls keine größeren horizontalen Lasten als die planmäßigen Windlasten rechtwinklig auf die Wände wirken, darf bei zweiseitig gehaltenen Wänden die Einspannung der Wand in den Decken durch eine Abminderung der Knicklänge berücksichtigt werden. Als flächig aufgelagerte Massivdecken in diesem Sinn gelten auch Stahlbetonbalken- und Rippendecken nach DIN EN 1992-1/NA mit Zwischenbauteilen, bei denen die Auflagerung durch Randbalken erfolgt (Bild 15).

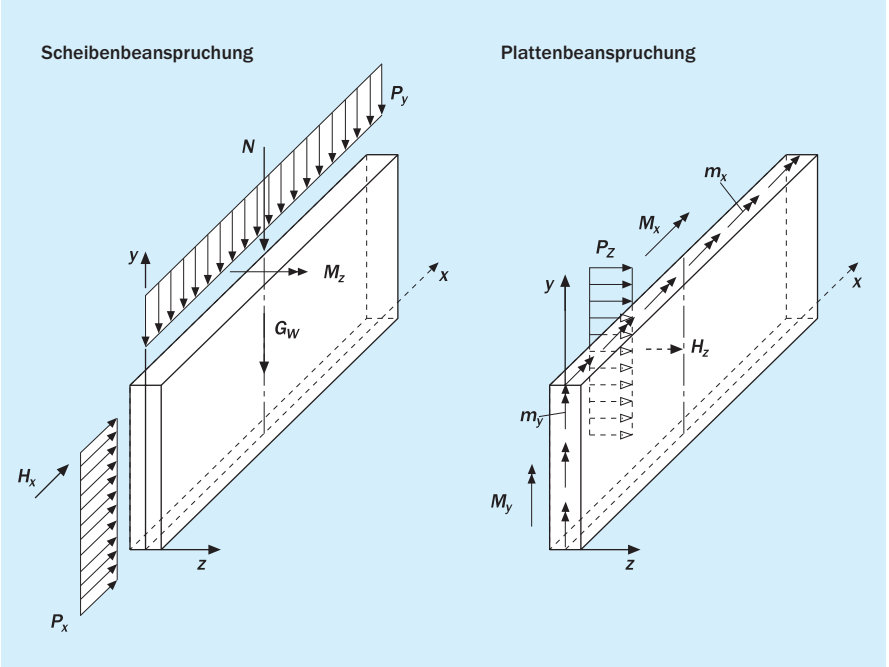


Bild 14 Beanspruchung von Mauerwerkswänden

Bei Wänden, die nur oben und unten (z.B. durch Ringbalken mit ausreichender Steifigkeit oder Holzbalkendecken) horizontal gehalten und durch die Decken oder das Dach nicht eingespannt sind, gilt $\rho_2 = 1{,}0$.

Die Berechnung der Knicklänge von drei- und vierseitig gehaltenen Wänden kann mit Hilfe der Gleichungen (5.3), (5.4) und (5.5) erfolgen. Überschreitet der Abstand der aussteifenden Wände den zulässigen Grenzwert (b bzw. b'), muss die Wand als rechnerisch zweiseitig gehalten angenommen werden (Bild 16). Für großformatige Kalksandsteine mit reduzierten Überbindemaßen ($l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$) sind die Knicklängen unter Berücksichtigung der Anpassungsfaktoren α_3, α_4 nach Tafel 23 zu berechnen. Für klein-, mittel- und großformatiges Mauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß $l_{ol}/h_u \geq 0{,}4$ dürfen die Anpassungsfaktoren $\alpha_3 = \alpha_4 = 1{,}0$ angesetzt werden.

Für dreiseitig gehaltene Wände gilt:

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\alpha_3 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot b'}\right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \geq 0{,}3 \cdot h \qquad (5.3)$$

Für vierseitig gehaltene Wände gilt:

Für $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} \leq 1$

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\alpha_4 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{b}\right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \qquad (5.4)$$

Für $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} > 1$

$$h_{ef} = \frac{b}{2 \cdot \alpha_4} \qquad (5.5)$$

mit

b, b' Abstand des freien Randes von der Mitte der aussteifenden Wand bzw. Mittenabstand der aussteifenden Wand nach Bild 16. Ist die Wand im Bereich des mittleren Drittels der Wandhöhe durch vertikale Schlitze der Aussparungen geschwächt, so ist für t die Restwanddicke einzusetzen oder ein freier Rand anzunehmen. Unabhängig von der Lage eines vertikalen Schlitzes oder einer Aussparung ist an ihrer Stelle ein freier Rand anzunehmen, wenn die Restwanddicke kleiner als die halbe Wanddicke oder kleiner als 115 mm ist.

α_3, α_4 Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung von verminderten Überbindemaßen

ρ_2 Abminderungsbeiwert nach Tafel 22

Tafel 22 Knicklängenbeiwert ρ_2 zur Ermittlung der Knicklänge h_{ef} für zweiseitig gehaltene Wände im vereinfachten Berechnungsverfahren

Wanddicke t [cm]	Knicklängenbeiwert ρ_2 [–]	Erforderliche Mindestauflagertiefe der Decke a [cm]
≤ 17,5	0,75	$a = t$
17,5 < t < 24	0,90	$a = t$
24 ≤ t ≤ 25	0,90	$a \geq 17{,}5$
> 25	1,00	–

Tafel 23 Anpassungsfaktoren α_3 und α_4 zur Abschätzung der Knicklänge von Wänden aus Elementmauerwerk mit einem Überbindemaß $0{,}2 \leq l_{ol}/h_u < 0{,}4$

Elementgeometrie h_u/l_u	0,5	0,625	1,0	2,0
Dreiseitige Halterung α_3	1,0	0,90	0,83	0,75
Vierseitige Halterung α_4	1,0	0,75	0,67	0,60

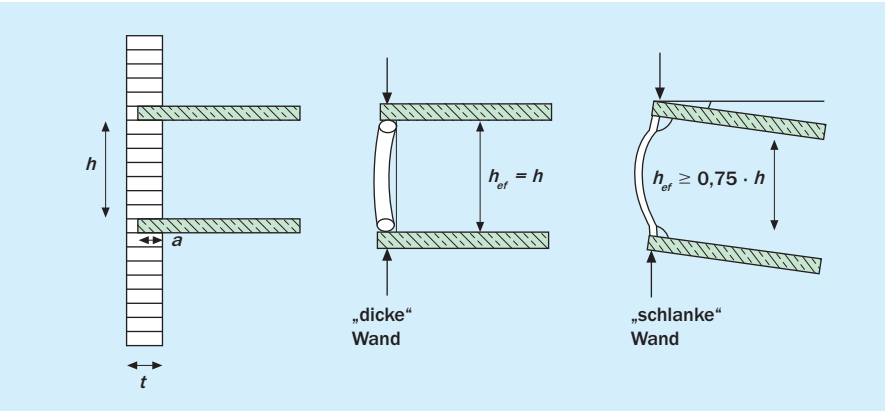


Bild 15 Einspannung von Geschossdecken und deren Auswirkung auf die Knicklänge

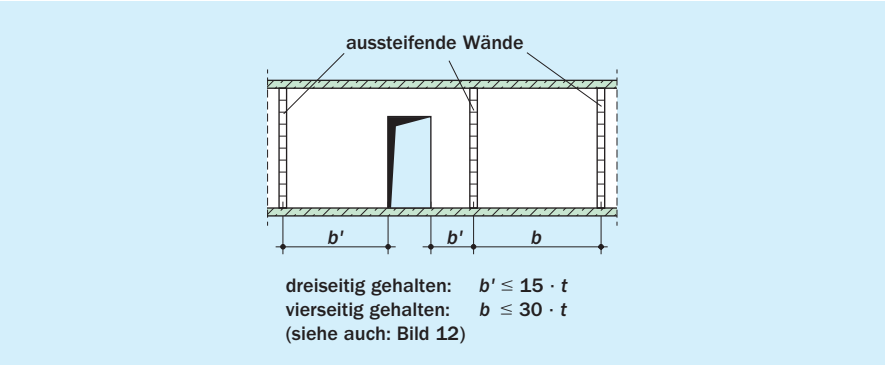


Bild 16 Abstände der aussteifenden Wände bei drei- und vierseitig gehaltenen Wänden

5.4 Nachweisformat und Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft

Die Tragfähigkeit von Wänden mit zentrischer und exzentrischer (vertikaler) Druckbeanspruchung gilt nach DIN EN 1996-3/NA als nachgewiesen, wenn die einwirkende Bemessungsnormalkraft N_{Ed} den Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft N_{Rd} nicht überschreitet:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \qquad (5.6)$$

Vereinfachend genügt es, die maximale innerhalb der Wand auftretende Normalkraft N_{Ed}, der kleinsten aufnehmbaren N_{Rd} gegenüberzustellen. Die Ausnutzung der Wand kann jedoch erhöht werden, wenn der Nachweis an der jeweiligen Bemessungsstelle (Wandkopf, Wandmitte, Wandfuß) mit der jeweiligen einwirkenden Normalkraft N_{Ed} sowie dem zugehörigen Traglastfaktor Φ geführt wird. Die Ermittlung der Bemessungsnormalkraft N_{Ed} erfolgt unter Berücksichtigung der Einwirkungen und des Sicherheitskonzepts. Im Allgemeinen genügt der Ansatz:

$$N_{Ed} = 1{,}35 \cdot \Sigma N_{Gk} + 1{,}5 \cdot \Sigma N_{Qk} \qquad (5.7)$$

Noch weiter vereinfachend darf in Hochbauten mit Decken aus Stahlbeton, die mit charakteristischen Nutzlasten von maximal 3,0 kN/m² belastet sind, angesetzt werden:

$$N_{Ed} = 1{,}4 \cdot (N_{Gk} + N_{Qk}) \qquad (5.8)$$

5.5 Ermittlung des Tragwiderstandes (Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft)

5.5.1 Allgemeines

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft N_{Rd} wird auf Grundlage eines rechteckigen Spannungsblocks ermittelt, dessen Schwerpunkt mit dem Angriffspunkt der Lastresultierenden übereinstimmt. Die Abminderung der Traglast infolge Knicken und/oder Lastexzentrizitäten erfolgt dabei über den Traglastfaktor Φ:

$$N_{Rd} = \Phi \cdot A \cdot f_d \qquad (5.9)$$

mit

f_d Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks nach Abschnitt 2.4.
Bei Wandquerschnitten ≤ 0,1 m², ist die Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerks f_d mit dem Faktor 0,8 zu verringern. Dies berücksichtigt den Einfluss von Fehlstellen bzw. Steinen geringerer Festigkeit, die für den Nachweis gemauerter Pfeiler (wegen des fehlenden Lastumlagerungspotenzials) eine größere Auswirkung haben als bei der Bemessung von Wandquerschnitten.

A Bruttoquerschnittsfläche eines Wandabschnittes

Φ Traglastfaktor nach Abschnitt 5.5.2 oder 5.5.3

Bei zentrisch belasteten Wänden und Pfeilern liegt im Regelfall keine planmäßige Exzentrizität infolge von Beanspruchungen um die starke Achse vor, wie dies z.B. bei Windscheiben und/oder Wänden der Fall ist, die als Auflager von Unterzügen dienen. Die vorhandenen Exzentrizitäten um die schwache Achse, z.B. durch Deckeneinspannungen und Verformungen nach Theorie II. Ordnung, werden – solange man die Anwendungsgrenzen des vereinfachten Berechnungsverfahrens einhält – durch den Traglastfaktor erfasst.

Der Eurocode 6 sieht im vereinfachten Berechnungsverfahren zwei Möglichkeiten vor, den Traglastfaktor zu bestimmen.

5.5.2 Traglastfaktor nach DIN EN 1996-3/NA, Anhang A (stark vereinfachte Ermittlung)

In DIN EN 1996-3/NA ist in Anhang A ein stark vereinfachtes Berechnungsverfahren für unbewehrte Mauerwerkswände bei Gebäuden mit höchstens drei Geschossen geregelt. Für den Traglastfaktor Φ (dort c_A genannt) gilt für Mauerwerk mit Druckfestigkeiten $f_k \geq 1{,}8$ N/mm² bei *voll aufliegender* Decke:

Φ = 0,50 für $\lambda \leq 18$

Φ = 0,40 für $\lambda \leq 18$ und $f_k < 1{,}8$ N/mm² und $l_f > 5{,}5$ m

= 0,33 für $18 < \lambda \leq 21$ und für Decken mit geringen Lasten, insbesondere Dachdecken

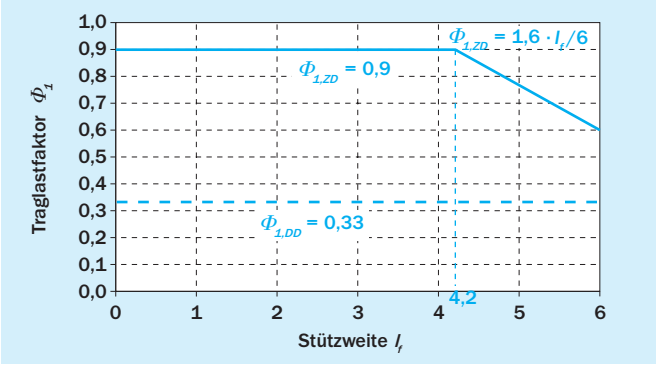


Bild 17 Traglastfaktor Φ_1 für Zwischendecken (ZD) und Dachdecken (DD) in Abhängigkeit von der Deckenstützweite l_f (gilt für $f_k \geq 1{,}8$ N/mm² und $a/t = 1{,}0$)

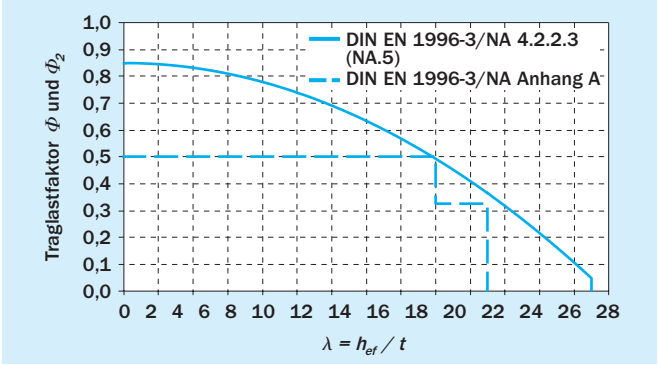


Bild 18 Traglastfaktor Φ_2 (nach Abschnitt 5.5.3) im Vergleich zu dem Traglastfaktor Φ (nach Abschnitt 5.5.2) bei vollaufliegender Decke

Zusätzlich zu den Bedingungen nach Abschnitt 5.1 gelten bei Anwendung des stark vereinfachten Verfahrens folgende weitere Anwendungsbedingungen:

- Die Wände sind rechtwinklig zur Wandebene *in horizontaler Richtung gehalten,* und zwar entweder durch die Decken und das Dach oder durch geeignete Konstruktionen, z.B. Ringbalken mit ausreichender Steifigkeit.
- Die kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss beträgt mindestens 1/3 der Gebäudehöhe.
- Die lichte Geschosshöhe ist nicht größer als 3,0 m. (Diese Bedingung ist im Regelfall durch die Allgemeinen Anwendungsgrenzen nach Tafel 20 ohnehin eingehalten. Nur bei Außenwänden mit $t \geq 24$ cm ist die Geschosshöhe zusätzlich zu überprüfen.)

5.5.3 Traglastfaktor nach DIN EN 1996-3/NA 4.2.2.3

Kann der Nachweis mit der stark vereinfachten Ermittlung des Traglastfaktors nicht erbracht werden, ist die weitgehend an DIN 1053-1 bzw. -100 angelehnte vereinfachte Ermittlung nach DIN EN 1996-3/NA, 4.2.2.3 anzuwenden. Der maßgebende Wert für den Traglastfaktor Φ bei annähernd gleicher Normalkraftbeanspruchung über die Wandhöhe ergibt sich für die Wandbemessung aus dem kleineren der beiden Traglastfaktoren Φ_1 und Φ_2. Eine gleichzeitige Berücksichtigung von Φ_1 und Φ_2 ist aufgrund der unterschiedlichen Nachweisstellen (Wandmitte, Wandkopf/-fuß) nicht erforderlich.

$$\Phi = \min\,(\Phi_1;\ \Phi_2) \tag{5.10}$$

a) Traglastfaktor Φ_1 zur Berücksichtigung des Einflusses der Deckenverdrehung

Bei der Bestimmung der aufnehmbaren Normalkraft wird im vereinfachten Berechnungsverfahren von einem annähernd zentrischen Lastangriff am Wandkopf ausgegangen. Der Traglastfaktor Φ_1 berücksichtigt eine exzentrische Lasteinleitung infolge einer Deckenverformung bei Endauflagern auf Außen- oder Innenwänden und wird in Abhängigkeit von der Deckenstützweite l_f und der charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit f_k berechnet. Bei teilweise aufliegenden Decken wird die Exzentrizität der Auflast ebenfalls über den Traglastfaktor erfasst.

Für $f_k \geq 1{,}8$ N/mm² gilt:

$$\Phi_1 = \frac{1{,}6 - l_f}{6} \cdot \frac{d}{t} \leq 0{,}9 \cdot \frac{\alpha}{t} \tag{5.11}$$

mit

l_f Stützweite der Decke, bei zweiachsig gespannten Decken ist l_f die kürzere der beiden Stützweiten. Bei zweiachsig gespannten Decken mit $0{,}5 \leq l_1 / l_2 \leq 2{,}0$ darf für l_t das 0,85-fache der kürzeren Stützweite eingesetzt werden

a/t Verhältnis von Deckenauflagertiefe zur Dicke der Wand; bei KS-Mauerwerk mit voll aufliegender Decke ist $a/t = 1{,}0$

Bei Decken über dem obersten Geschoss (Dachdecken) mit geringen Auflasten gilt $\Phi_1 = 0{,}333 \cdot a/t$.

Wird die Traglastminderung infolge Deckenverdrehung durch konstruktive Maßnahmen, z.B. Zentrierleisten mittig unter dem Deckenauflager, vermieden, so gilt unabhängig von der Deckenstützweite $\Phi_1 = 0{,}9 \cdot a/t$ bei teilweise aufliegender Deckenplatte und $\Phi_1 = 0{,}9$ bei voll aufliegender Deckenplatte.

Den Verlauf der Traglastminderung von Mauerwerkswänden in Abhängigkeit der Deckenstützweite für Decken in einem Zwischengeschoss zeigt Bild 17.

b) Traglastfaktor Φ_2 zur Berücksichtigung des Einflusses der Wandschlankheit

Der Traglastfaktor Φ_2 dient zur Berücksichtigung des Schlankheitseinflusses (Momente nach Theorie II. Ordnung) auf die Tragfähigkeit der Wand. Er wird ermittelt mit:

$$\Phi_2 = 0{,}85 \cdot \left(\frac{a}{t}\right) - 0{,}0011 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t}\right)^2 \tag{5.12}$$

Eine sehr wichtige Voraussetzung bei Anwendung des Traglastfaktors Φ_2 ist, dass in halber Geschosshöhe nur Biegemomente aus Knotenmomenten infolge Deckeneinspannung und aus Windlasten vorhanden sind. Greifen größere horizontale Lasten (z.B. infolge Fahrzeuganprall oder Menschengedränge) an oder werden vertikale Lasten am Wandkopf mit größerer planmäßiger Exzentrizität (um die schwache Achse) eingeleitet, ist der Knicksicherheitsnachweis mit dem genaueren Berechnungsverfahren zu führen.

Bild 18 zeigt den Verlauf der Traglastminderung von Mauerwerkswänden in Abhängigkeit der Schlankheit.

c) Tragfähigkeitstabellen für das vereinfachte Berechnungsverfahren

In Tafel 24 ist eine auf Grundlage des vereinfachten Berechnungsverfahrens ermittelte Tragfähigkeitstabelle angegeben. Mit Hilfe der Wanddicke t, der lichten Höhe h, der Deckenspannweite l_f sowie der Art der Deckenauflagerung kann dort ein Tafelwert abgelesen werden, mit welchen nach Gleichung (5.13) die zulässige aufnehmbare Normalkraft n_{Rd} in kN je lfd. m schnell und wirtschaftlich bestimmt werden kann.

$$n_{Rd}\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}}\right] = \text{Tabellenwert} \cdot f_k\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right] \tag{5.13}$$

mit

Tabellenwert Wert zur Berechnung der aufnehmbaren Normalkraft n_{Rd} je lfd. m nach Tafel 24

f_k Charakteristischer Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit nach Abschnitt 3.2 in N/mm²

Tafel 24 Tabellenwerte zur Berechnung der zulässigen Normalkraft n_{Rd} [kN/m] nach DIN EN 1996-3/NA – vereinfachtes Berechnungsverfahren

		Tragfähigkeitstafel zur Berechnung der aufnehmbaren Normalkraft pro Laufmeter n_{Rd} n_{Rd} [kN/m] = Tabellenwert · f_k [N/mm²]							
lichte Wandhöhe h in m	Wanddicke t in cm	Innenwand	Außenwand						
			Geschossdecke					Dachdecke	
			a/t = 1,0				a/t = 2/3	a/t = 1,0	a/t = 2/3
			Deckenspannweite l_f in m						
		≤ 6,00	4,50	5,00	5,50	6,00	≤ 6,00	≤ 6,00	≤ 6,00
2,50	11,5 [1) 2)]	36	36				–	21	–
	15,0 [2)]	57	57			51	22	28	22
	17,5	71	71		67	59	33	33	33
	20,0	80	80		77	68	44	37	37
	24,0	102	102		92	81	60	45	45
	30,0	131	131	130	116	102	83	56	56
	36,5	165	165	158	141	124	106	68	68
2,75	11,5 [1) 2)]	32	32				–	21	–
	15,0 [2)]	54	54			51	16	28	16
	17,5	69	69		67	59	29	33	29
	20,0	77	77		77	68	40	37	37
	24,0	99	99		92	81	57	45	45
	30,0	128	128		116	102	80	56	56
	36,5	162	162	158	141	124	104	68	68
3,00 [3)]	11,5 [1) 2)]	27	27 [8)]				–	21	–
	15,0 [2)]	51	51 [5)]				–	28	–
	17,5	66	66			59	–	33	–
	20,0	76	73			68	–	37	–
	24,0	96	96		92	81	–	45	–
	30,0	125	125		116	102	77	56	56
	36,5	160	160	158	141	124	101	68	68
3,25 [3)]	11,5 [1) 2)]	23	23 [9)]				–	21	–
	15,0 [2)]	47	47 [6)]				–	28	–
	17,5	63	63 [4)]			59 [4)]	–	33	–
	20,0	69	69			68	–	37	–
	24,0	93	93		92	81	–	45	–
	30,0	122	122		116	102	74	56	56
	36,5	157	157		141	124	99	68	68
3,50 [3)]	11,5 [1) 2)]	18	18 [10)]				–	18	–
	15,0 [2)]	43	43 [6)]				–	28	–
	17,5	59	59 [5)]				–	33	–
	20,0	65	65				–	37	–
	24,0	89	89			81	–	45	–
	30,0	119	119		116	102	70	56	56
	36,5	154	154		141	124	95	68	68

3,60 [3]	**11,5** [1] [2]	15	15 [10]			–	15	–
	15,0 [2]	41	41 [7]			–	28	–
	17,5	58	59 [5]			–	33	–
	20,0	63	65			–	37	–
	24,0	88	89		81	–	45	–
	30,0	117	117	116	102	69	56	56
	36,5	453	153	141	124	95	68	68
3,75	**24,0**	86	–			–	–	–
	30,0	115	–			–	–	–
	36,5	151	151	141	124	93	68	68

[1] Als einschalige Außenwand nur bei eingeschossigen Garagen und vergleichbaren Bauwerken, die nicht zum dauernden Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind. Als Tragschale zweischaliger Außenwände und bei zweischaligen Haustrennwänden bis maximal zwei Vollgeschosse zuzüglich ausgebautes Dachgeschoss; aussteifende Querwände im Abstand ≤ 4,50 m bzw. Randabstand von einer Öffnung ≤ 2,0 m.

[2] Bei Außenwänden: Nutzlast $q_k \leq 3{,}0$ kN/m² einschließlich Zuschlag für nicht tragende innere Trennwände.

[3] Geschosshöhen $h > 2{,}75$ m und Wanddicken $t < 24{,}0$ cm gemäß [2] u. [3] nur für KS-Mauerwerk im Regel- und obersten Geschoss mit charakteristischer Druckfestigkeit $f_k \geq 3{,}9$ N/mm² sowie
– Stahlbetondecken ≥ C20/25, Deckendicke h ≥ 16 cm (Begrenzung der Deckenstützweite entsprechend DIN EN 1992-1-1/NA 7.4.2 ist zu beachten),
– Fußbodenaufbau $\Delta g_k \leq 1{,}5$ kN/m²,
– kraftschlüssiger Verbindung der Wände an den Gebäudeecken und
– in Bereichen mit großem Menschengedränge (Kategorien C5, C6, T3 gemäß DIN EN 1991-1-1/NA) oder für absturzsichernde Innenwände ist ein Nachweis der Mindestauflast gemäß [3] zu führen oder die Wand ist als nicht tragende Wand zu bemessen.

[4] Nur bei $f_k \geq 5{,}6$ N/mm² (in Windzone 1, 2 und 3 Binnenland auch $f_k \geq 3{,}9$ N/mm²)

[5] Nur bei $f_k \geq 8{,}1$ N/mm² (in Windzone 1, 2 und 3 Binnenland auch $f_k \geq 3{,}9$ N/mm²)

[6] Nur bei $f_k \geq 8{,}1$ N/mm² (in Windzone 1, 2 und 3 Binnenland auch $f_k \geq 5{,}6$ N/mm²)

[7] Nur bei $f_k \geq 10{,}5$ N/mm² (in Windzone 1, 2 und 3 Binnenland auch $f_k \geq 5{,}6$ N/mm²)

[8] Nur bei $f_k \geq 10{,}5$ N/mm² (in Windzone 1, 2 und 3 Binnenland auch $f_k \geq 8{,}1$ N/mm²)

[9] Nur bei $f_k \geq 12{,}9$ N/mm² (in Windzone 1, 2 und 3 Binnenland auch $f_k \geq 8{,}1$ N/mm²)

[10] Nur bei $f_k \geq 16{,}0$ N/mm² (in Windzone 1, 2 und 3 Binnenland auch $f_k \geq 10{,}5$ N/mm²)

Voraussetzungen zur Anwendung:
– Einhaltung der Anwendungsgrenzen und Randbedingungen des vereinfachten Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3/NA Kapitel 4.2 (unter Ausnahme der lichten Wandhöhen gemäß [2] u. [3])
– Charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit $f_k \geq 1{,}8$ N/mm²

Hinweise:
– Keine Interpolation von Zwischenwerten zulässig
– Die Abminderung der Knicklänge durch flächenaufgelagerte Stahlbetondecken ist integriert (Annahme: zweiseitige Halterung)
– Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialseite $\gamma_M = 1{,}5$; Dauerstandsfaktor $\zeta = 0{,}85$
– Nach DIN EN 1996-3/NA Abs. 4.2 ist neben dem Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft bei windbeanspruchten Außenwänden mit geringer Auflast aus Decken und Dächern – z. B. bei parallel zur Wand gespannten Decken – stets eine Mindestauflast nachzuweisen. In den Windzonen 1 und 2 im Binnenland können die praxisüblichen lichten Geschosshöhen problemlos realisiert werden, d. h. der Nachweis der Mindestauflast kann in diesen Windzonen in aller Regel entfallen.
– Die Tafelwerte gelten nicht für erddruckbelastete Kellerwände.
– Alle Angaben erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, aber ohne Gewähr.

5.6 Nachweis der Mindestauflast

In DIN EN 1996-3 ist für windlastbeanspruchte Wände als zusätzliche Anwendungsbedingung ein Nachweis der Mindestwanddicke für tragendes Mauerwerk enthalten, der gemäß Nationalem Anhang in Deutschland nicht geführt werden muss. Stattdessen wird gemäß A2-Änderung zum Nationalen Anhang für Wände, die als Endauflager für Decken oder Dächer dienen und durch Wind beansprucht werden, ein ergänzender Nachweis in ähnlicher Form gefordert. Danach darf der Nachweis der Mindestauflast vereinfacht nach Gleichung (5.14) in Wandmittenhöhe erfolgen, sofern kein genauerer Nachweis erfolgt. Ist dieser Nachweis nicht erfüllt, können die betreffenden Wände bzw. Wandabschnitte auf der sicheren Seite liegend als nichttragende Außenwände bemessen und ausgeführt werden.

In üblichen Fällen wird der Nachweis wenn überhaupt nur bei parallel zu langen Wandabschnitten ohne Öffnungen spannenden Dachdecken mit entsprechend geringen Auflasten erforderlich, wobei dann üblicherweise eine Lasteinzugsbreite der Decke von 1 m angesetzt werden kann. Zudem bezieht sich der Nachweis auf zweiseitig oben und unten gehaltene Wände, so dass bei kraftschlüssig angeschlossenen Querwänden, insbesondere an den Gebäudeecken die Ableitung der Windlast ohnehin gegeben ist. Bei Pfeilern zwischen Fensteröffnungen ist der Nachweis durch die Lastkonzentration in der Regel ebenfalls immer erfüllt.

Soll der Nachweis zur Überprüfung trotzdem geführt werden, muss der charakteristische Wert der ständigen Einwirkungen N_{Gk} größer als die mit der rechten Gleichungsseite berech-

nete Mindestauflast sein. Beim Ansatz der ständigen Einwirkungen dürfen neben dem Eigengewicht der Stahlbeton-Dachdecke auch Attiken mit angesetzt werden. Der Nachweis ist zudem in Wandmittenhöhe zu führen, so dass das Eigengewicht der halben Wand – bei Kalksandstein-Mauerwerk in der Regel γ_{MW} = 14,0 kN/m³ – 20,0 kN/m³ – zuzüglich Putz ebenfalls angerechnet werden darf. Auch ständige Lasten des Dachaufbaus dürfen angesetzt werden.

Die nachfolgende vereinfachte Nachweisgleichung (5.14) wurde in Tafel 25 ausgewertet. Die minimal erforderliche Auflast n_{Gk} [kN/m] für verschiedene Wandhöhen und Wanddicken kann dort in Abhängigkeit der Windzone sowie der Gebäudehöhe H direkt abgelesen werden. Ausbaulast und Putz wurden hierbei zur Vereinfachung auf der sicheren Seite liegend nicht berücksichtigt.

$$
\begin{aligned}
N_{Ed,min} &= 1{,}0 \cdot N_{Gk} \\
&= 1{,}0 \cdot \left(N_{Gk,Decke} + \frac{h}{2} \cdot t \cdot l \cdot \gamma_{MW} \right) \\
&\geq \frac{3 \cdot w_k \cdot \gamma_Q \cdot h^2 \cdot l}{16 \cdot \left(a - \frac{h}{300} \right)}
\end{aligned}
\qquad (5.14)
$$

mit

N_{Gk}	Charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
$N_{Gk,Decke}$	Charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen am Wandkopf (z. B. aus der Dachdecke, Attika und ggf. Ausbaulasten)
h	Lichte Wandhöhe
γ_{MW}	Wichte des Mauerwerks
w_k	Charakteristische Windlast
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert für die veränderliche Einwirkung nach Tafel 11
l	Wandlänge
a	Deckenauflagertiefe (bei voll aufliegender Decke ist $a = t$ zu setzen)

Es kann gezeigt werden, dass der Nachweis bei Kalksandstein-Mauerwerk (Rohdichteklasse ≥ 1,4) in den Windzonen 1 und 2 im Binnenland und damit fast überall in Deutschland bei den üblichen Wanddicken $t \geq 17{,}5$ cm selbst im ungünstigsten Fall (Ansatz eines 1 m breiten Stahlbetondeckenstreifens ohne Berücksichtigung von Putz und Ausbaulasten) immer eingehalten ist. Auch bei Wanddicken von 15 cm mit einem spezifischen Wandgewicht von γ_{MW} = 20 kN/m³ (KS-Planelemente und Plansteine) ergibt sich bei einer Deckenauflast von 5,0 kN/m und

Tafel 25 Minimal erforderliche Auflast [kN/m] in Abhängigkeit der Windlast sowie der Wanddicke nach DIN EN 1996-3/NA

Bei einer Gebäudehöhe H in den Grenzen von		Windlast[1] w_d	Minimal erforderliche Auflast [kN/m] bei einer Wandhöhe von h [m]					
			2,50			2,75		
$H \leq 10$ m	10 m < $H \leq 18$ m	[kN/m²]	Wanddicke t [cm]			Wanddicke t [cm]		
			15,0	17,5	20,0	15,0	17,5	20,0
WZ 1 Binnenland	–	0,6	5,0	4,2	3,7	6,0	5,1	4,5
WZ 2 Binnenland	WZ 1 Binnenland	0,8	6,6	5,6	4,9	8,1	6,8	5,9
WZ 3 Binnenland; WZ 2 Küste und Inseln der Ostsee	WZ 2 Binnenland	1,0	8,3	7,0	6,1	10,1	8,6	7,4
WZ 4 Binnenland	WZ 3 Binnenland	1,1	9,1	7,7	6,7	11,1	9,4	8,2
–	WZ 2 Küste und Inseln der Ostsee	1,2	9,9	8,4	7,3	12,1	10,3	8,9
WZ 3 Küste und Inseln der Ostsee	–	1,3	10,8	9,1	7,9	13,1	11,1	9,7
–	WZ 4 Binnenland; WZ 3 Küste und Inseln der Ostsee	1,4	11,6	9,8	8,6	14,1	12,0	10,4
WZ 4 Küste Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	–	1,5	12,4	10,5	9,2	15,1	12,8	11,1
WZ 4 Inseln der Nordsee	WZ 4 Küste Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	1,7	14,1	12,0	10,4	17,1	14,5	12,6

[1] Die Bemessungswindlast w_d wurde mit einem Teilsicherheitsbeiwert für die Windlast von γ_Q = 1,5 sowie einem aerodynamischen Außendruckbeiwert von $c_{pe,10}$ = 0,8 ermittelt. Damit werden die Druckbereiche B, C, D und E abgedeckt. Der Bereich A mit erhöhtem aerodynamischem Außendruckbeiwert liegt in üblichen Fällen nur an den Wandecken im Bereich von haltenden Querwänden und ist für die Ermittlung der erforderlichen minimalen Auflast nicht bemessungsrelevant.

einer Wandhöhe von 2,75 m die vorhandene Normalkraft in Wandhöhenmitte zu 9,1 kN/m, so dass der Nachweis auch hier selbst im ungünstigsten Fall in den Windzonen 1 und 2 in aller Regel erfüllt ist. Nur in den Windzonen 3 und 4 sowie in den Küstenbereichen und auf den Inseln ist ggf. ein zweiachsiger Lastabtrag der Decken mit entsprechend größeren Auflasten erforderlich, wenn lange Außenwandbereiche ohne Fensteröffnungen vorhanden sind und eine seitliche Halterung der Außenwand durch Querwände nicht gegeben ist.

5.7 Nachweis bei Querkraftbeanspruchung

Bei üblichen Hochbauten, welche den Anwendungsbereich des vereinfachten Verfahrens nach DIN EN 1996-3/NA erfüllen, ist ein Nachweis der Querkrafttragfähigkeit nicht erforderlich. Dies gilt sowohl für Außenwände unter Plattenschub, da die Aufnahme von Windeinwirkungen bei Gebäudehöhen ≤ 20 m konstruktiv abgedeckt ist, als auch für Mauerwerkswände unter Scheibenschub, welche der Gebäudeaussteifung dienen. Voraussetzung für den Entfall des rechnerischen Aussteifungsnachweises ist, dass sich der das Tragwerk planende Ingenieur davon überzeugt, dass für die Gebäudeaussteifung eine offensichtlich ausreichende Anzahl genügend langer Wandscheiben vorhanden ist. Bei Kellerwänden deckt der Nachweis der Biegetragfähigkeit auch den Nachweis gegen Plattenschub ab.

5.8. Einzellasten und Teilflächenpressung

Werden Wände und Pfeiler vertikal auf Druck beansprucht und erfolgt dabei die Einleitung der Belastung punktuell und nicht über den gesamten Wandquerschnitt verteilt, so kann man bei der Bemessung den günstigen Effekt des mehrachsigen Spannungszustandes über eine Erhöhung der zulässigen Teilflächenpressung in Rechnung stellen. Die Erhöhung der Tragfähigkeit gilt nur bei Mauerwerk aus Vollsteinen und ist bei Mauerwerk mit reduziertem Überbindemaß ($l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$) nicht zulässig.

Bei der Verwendung von Mauerwerk aus Kalksandsteinen ist aufgrund der hohen Mauerwerksdruckfestigkeiten im Regelfall kein Nachweis der Teilflächenpressung erforderlich. Jedoch kann beim Einsatz von Zentrierleisten durch die konzentrierten Lasten eine Nachweisführung nach DIN EN 1996-1-1/NA erforderlich werden.

6. Bemessung von Aussteifungsscheiben nach dem genaueren Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05

Mit Hilfe des genaueren Berechnungsverfahrens ist gegenüber dem vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA auch nach Eurocode eine größere Ausnutzung der Tragfähigkeit von unbewehrtem Mauerwerk möglich, indem die Eigenschaften des Mauerwerks und das Tragverhalten der Konstruktion exakter erfasst werden. Das genauere Berechnungsverfahren darf für einzelne Bauteile ebenso angewendet werden, wie für einzelne Geschosse oder ganze Bauwerke. Es lassen sich größere Wandhöhen und schlankere Konstruktionen nachweisen. Es wird somit gegenüber dem vereinfachten Berechnungsverfahren den Forderungen nach Wirtschaftlichkeit durch mögliche Materialeinsparungen und Wohnflächenvergrößerungen besser gerecht. Im genaueren Berechnungsverfahren sind im Grenzzustand der Tragfähigkeit folgende Nachweise zu führen:

- Nachweis der Tragfähigkeit am Wand-Decken-Knoten unter Berücksichtigung eines realistischen Tragverhaltens im Einspannbereich des Wandkopfes oder Wandfußes
- Nachweis der Knicksicherheit in Wandmitte unter Berücksichtigung planmäßiger und unplanmäßiger Exzentrizitäten sowie Zusatzverformungen nach Theorie II. Ordnung
- Nachweis der Querkrafttragfähigkeit in Scheiben- und Plattenrichtung
- Nachweis der Teilflächenpressung

Bei Beanspruchung der Wand um die schwache Achse wird die Wandbemessung im Bereich von Wandkopf und Wandfuß als Regelbemessung bezeichnet. Für den Nachweis der Knicksicherheit in halber Geschosshöhe ist neben der planmäßigen und der ungewollten Ausmitte in halber Wandhöhe auch der Einfluss des Kriechens sowie der Verformungen nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen. Für den Knicksicherheitsnachweis ist eine genauere Ermittlung der anzusetzenden Knicklänge h_{ef} in Abhängigkeit der Steifigkeit von Wand und Decke möglich. Grundsätzlich können die auftretenden Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung aber auch an einem Rahmensystem mit wirklichkeitsnahen Steifigkeiten ermittelt werden. Die Berechnung der Lastausmitten am Wand-Decken-Knoten sollte mit Hilfe einer geeigneten Modellbildung nach den anerkannten Regeln der Technik erfolgen. Der Einfluss der Deckenverdrehung auf die Ausmitte der Lasteintragung in die Wände ist dabei zu berücksichtigen.

Bei Beanspruchung der Wand um die starke Achse (Aussteifungsscheiben) können die Schnittkräfte nach DIN EN 1996-1-1/NA mit Hilfe zweier verschiedener Modelle ermittelt werden:

- Ermittlung der Schnittgrößen anhand eines Kragarmmodells mit Einspannebene in Höhe der Kellerdecke
- Ermittlung der Schnittgrößen unter Berücksichtigung von Rückstellkräften und Einspannwirkungen der Wandscheiben in die anschließenden Decken

Bei überwiegend in Wandlängsrichtung biegebeanspruchten Querschnitten, insbesondere bei Windscheiben, errechnet sich nach dem Kragarmmodell die einwirkende Exzentrizität aus dem Quotienten des Bemessungswerts des einwirkenden Momentes M_{Ewd} um die starke Achse und dem maßgebenden Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft N_{Ed}. Im Regelfall ist für den Nachweis der Mindestwert der einwirkenden Normalkraft ($N_{Ed} = 1{,}0 \cdot N_{Gk}$) bemessungsrelevant. Diese Verfahrensweise unterscheidet sich nur dahingehend gegenüber den Regelungen in DIN 1053-1, dass der Nachweis und damit die Schnittgrößenermittlung jetzt auf Bemessungswertniveau erfolgt. Nach DIN 1053-1 wurde die Bemessung oftmals auf Gebrauchslastniveau durchgeführt, was zu nicht konservativen Ergebnissen führte. Über die anzusetzenden Lastkombinationen hinaus gibt es hinsichtlich der Schnittgrößenermittlung keine Unterschiede, so dass an dieser Stelle auf eine Beschreibung der dem Kragarmmodell zugrunde liegenden Annahmen verzichtet wird. Bei der Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit einer Mauerwerksscheibe nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K.2 (1) kann für die Ermittlung der einwirkenden Schnittkräfte eine günstig wirkende Einspannung der Wandscheibe in die anschließenden Decken – mit den daraus resultierenden rückdrehenden Momenten an den Enden der Scheibe – berücksichtigt und die Wand geschossweise betrachtet werden.

Für den Nachweis der Querkrafttragfähigkeit gilt, dass der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} kleiner oder gleich dem minimalen Bemessungswert des Querkrafttragwiderstandes V_{Rdlt} ist. Neben den Versagensarten Reibungs- und Steinzugversagen sind wegen der Erweiterung des Anwendungsbereichs auf verminderte Überbindemaße sowie Steine mit größerer Höhe als Länge zusätzlich noch die Versagensmodi Schubdruckversagen und Fugenversagen durch Klaffen der Lagerfugen zu berücksichtigen.

Im Falle der Anwendung des genaueren Berechnungsverfahrens nach DIN EN 1996-1-1/NA für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt die Gebrauchstauglichkeit als erfüllt, wenn bestimmte Bedingungen unter Berücksichtigung eines linearelastischen Materialverhaltens eingehalten sind. Diese sind weiterführender Literatur zu entnehmen.

7. Bemessung von Kellerwänden und weiteren Bauteilen

7.1 Kelleraußenwände

7.1.1 Beanspruchung und Tragverhalten von Kellerwänden

Kellerwände tragen die vertikalen Lasten aus den Geschossdecken und den aufgehenden Wänden über die Fundamente in den Baugrund ab. Durch die Erdanschüttung ergibt sich zusätzlich eine horizontale Beanspruchung der Kelleraußenwände. Eine ungünstige Einwirkungskombination mit hohen Horizontallasten und geringen Vertikallasten tritt z.B. bei Einfamilienhäusern (wenn im Wohnzimmer des Erdgeschosses zur Terrasse hin große Fensterflächen angeordnet sind) oder bei leichten Fertighäusern auf. Ungünstige Verhältnisse entstehen vor allem im Bauzustand, wenn nach dem Betonieren der Geschossdecke bereits mit der Bodenverfüllung des Arbeitsraums begonnen wird.

Aufgrund der vielfach geringen Auflast und der kleinen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk senkrecht zur Lagerfuge ist ein einachsiger Lastabtrag über Biegung mit Normalkraft bei Kellerwänden rechnerisch häufig nicht möglich. Das Tragverhalten von erddruckbelasteten Kellerwänden muss daher über eine Bogenwirkung modelliert werden. Zur Ausbildung eines in der Wand liegenden Druckbogens zwischen dem Fundament und der aufliegenden Geschossdecke muss dem Bogenschub eine hinreichende Auflast entgegenwirken. Gerade bei Kellerwänden mit geringen Auflasten und hoher Erdanschüttung kann diese Forderung maßgebend werden.

INFO

Das Verfüllen des Erdreiches an die Kelleraußenwand darf erst nach Fertigstellung der Kellerdecke und bei dem durch den Planer vorgegebenen Baufortschritt zur Gewährleistung der minimal erforderlichen Auflast auf die Kellerwand erfolgen. Beim Verfüllen sind Verdichtungsgeräte mit geringer Verdichtungsenergie zu verwenden. Es ist lagenweise zu verdichten oder es sind zusätzliche Abstützungen der Wand für den Bauzustand auszuführen.

Um die zur Sicherstellung der Bogentragwirkung erforderliche Auflast am Wandkopf zu reduzieren, kann z.B. die Dicke der Kellerwand erhöht und somit der Bogenstich vergrößert werden. Weitere konstruktive Maßnahmen zur Änderung des Lastabtragungssystems für Kelleraußenwände können Tafel 26 entnommen werden.

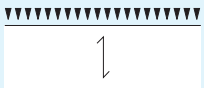
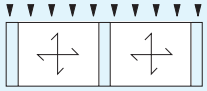
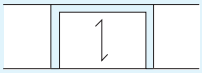
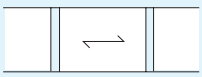
Erfolgt der Nachweis der Kellerwand vereinfacht nach DIN EN 1996-3/NA ist sicherzustellen, dass bei der Verfüllung und Verdichtung des Arbeitsraums nur nichtbindiger Boden nach DIN 1054 und nur Rüttelplatten oder Stampfer mit folgenden Eigenschaften nach DIN EN 1996-2/NA zum Einsatz kommen:

- Breite des Verdichtungsgerätes ≤ 50 cm
- Wirktiefe ≤ 35 cm
- Gewicht bis etwa 100 kg bzw. Zentrifugalkräfte bis max. 15 kN

Sind die vorgenannten Bedingungen nicht eingehalten, sind entsprechende Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit während des Einbaus der Verfüllmassen zu ergreifen oder es ist ein gesonderter Nachweis unter Berücksichtigung höherer Verdichtungslasten zur führen. Weiterhin darf die Verfüllung des Arbeitsraums erst dann erfolgen, wenn sichergestellt ist, dass die in den rechnerischen Nachweisen angesetzten Auflasten vorhanden sind.

Zum Schutz der Mauerwerkswände gegen aufsteigende Feuchtigkeit sind waagerechte Abdichtungen unter den Wänden (Querschnittsabdichtungen) erforderlich. Neben den bahnenförmigen Querschnittsabdichtungen mit z.B. Bitumendachbahn R 500 (nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202) können diese auch durch mineralische Dichtungsschlämmen (nach DIN 18195-2) oder durch Material mit mindestens gleichwertigem Reibungsverhalten hergestellt werden. Beide Abdichtungsarten müssen insbesondere bei Anordnung am Wandfuß die auftretenden Horizontalkräfte aus Erddruckbeanspruchung in der Wand sicher weiterleiten. Bei seitlich höher belasteten Wänden empfiehlt sich aufgrund des guten Haftscherverbundes die Anwendung von Dichtungsschlämmen.

Tafel 26 Lastabtragungssysteme bei Kellerwänden

Statisches System	Erforderliche Auflast am Wandkopf	Bemerkungen
1) 	Hoch	Einachsige, lotrechte Lastabtragung
2) 	Mittel	Zweiachsige Lastabtragung (nur bei $l_{o/} \geq 0{,}4 \cdot h_u$)
3) 	Keine	Lotrechte Lastabtragung über Gewölbewirkung in Zugglieder
4) 	Keine	Horizontale Lastabtragung über Gewölbewirkung; Gewölbeschub an Endstützen beachten; die um ca. 1/3 reduzierte Druckfestigkeit von Loch- und Hohlblocksteinen in Richtung der Steinlänge bzw. -breite ist zu beachten; Stoßfugenvermörtelung erforderlich.

7.1.2 Bemessung von Kelleraußenwänden

Nach DIN EN 1996-3/NA darf die Bemessung von Kelleraußenwänden unter Erddruck nach einem vereinfachten Verfahren erfolgen wenn nachstehende Randbedingungen eingehalten sind [15] (Bild 19):

- Wanddicke $t \geq 24$ cm
- Lichte Höhe der Kellerwand $h \leq 2{,}60$ m

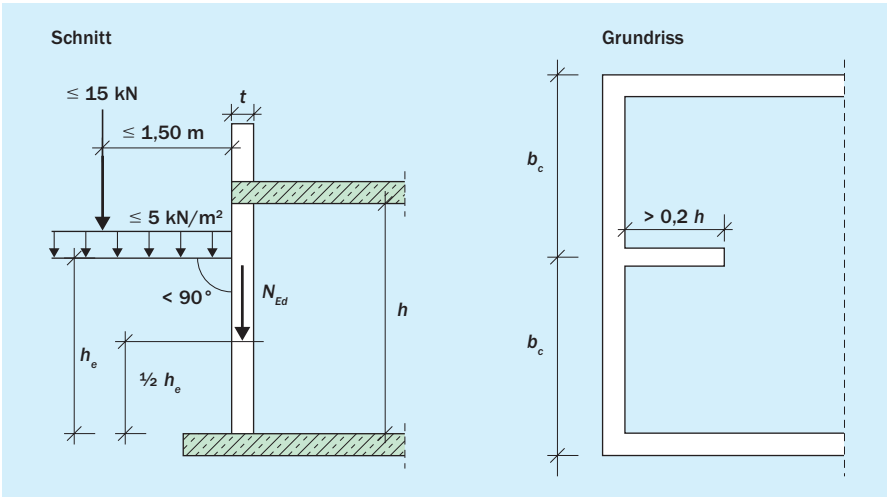


Bild 19 Nachweis von Kellerwänden nach DIN EN 1996-3/NA

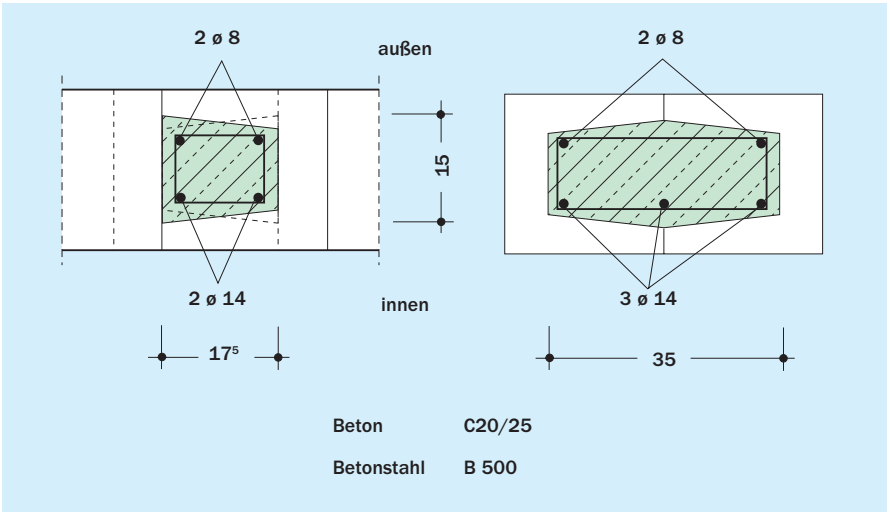


Bild 20 Aussteifende Stahlbetonstützen in 24 cm dicken Kelleraußenwänden unter Verwendung von KS -U-Schalen

- Die Kellerdecke wirkt als Scheibe und kann die aus dem Erddruck resultierenden Kräfte aufnehmen.
- Im Einflussbereich des Erddrucks auf die Kellerwand beträgt der charakteristische Wert q_k der Verkehrslast auf der Geländeoberfläche nicht mehr als 5 kN/m² und es ist keine Einzellast > 15 kN im Abstand von weniger als 1,5 m zur Wand vorhanden.
- Die Anschütthöhe h_e darf höchstens $1{,}15 \cdot h$ betragen.
- Die Geländeoberfläche steigt nicht an.
- Es darf kein hydrostatischer Druck auf die Wand wirken.
- Am Wandfuß ist entweder keine Gleitfläche, z.B. infolge einer Feuchtigkeitssperrschicht, vorhanden oder es sollten konstruktive Maßnahmen ergriffen werden, um die Querkraft aufnehmen zu können (Sperrschichten aus besandeten Bitumendachbahnen R 500 nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202 oder aus mineralischen Dichtungsschlämmen nach DIN 18195-2 haben einen ausreichenden Reibungsbeiwert und gelten nicht als Gleitflächen).
- Für die Verfüllung und Verdichtung des Arbeitsraums sind die Vorgaben aus DIN EN 1996-2/NA, Anhang E (3) einzuhalten (siehe Abschnitt 7.1.1).

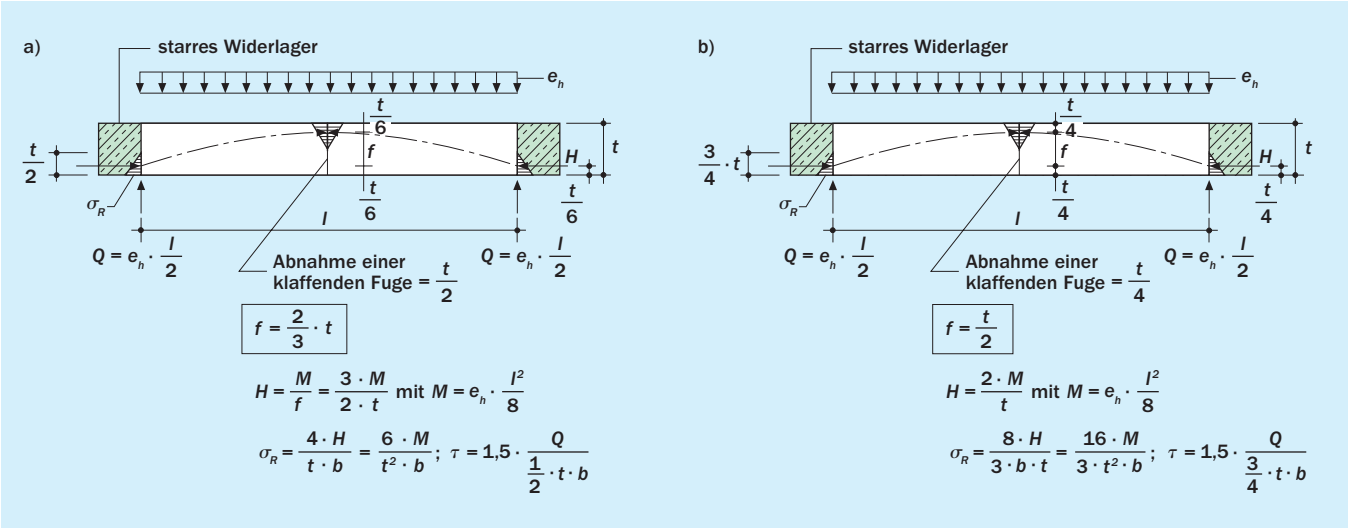


Bild 21 Bogen bei einem Stich von a) $f = 2/3 \cdot t$ und b) $f = 1/2 \cdot t$

Für den Nachweis hinreichender Tragfähigkeit unter Biegebeanspruchung wird von einem vertikalen Bogenmodell ausgegangen. Dementsprechend ergibt sich unter Berücksichtigung der Wirkung des aktiven Erddrucks ein Mindestwert für die einwirkende Normalkraft je Meter Wandlänge von:

$$N_{Ed,min} \geq \frac{\gamma_e \cdot h \cdot h_e^2 \cdot b_c}{\beta \cdot t} \qquad (7.1)$$

mit

t	Wanddicke
h_e	Höhe der Anschüttung
h	Lichte Höhe der Kellerwand
γ_e	Wichte der Anschüttung
b_c	Abstand zwischen aussteifenden Querwänden oder anderen aussteifenden Elementen
$N_{Ed,min}$	Bemessungswert der kleinsten vertikalen Belastung der Wand in halber Höhe der Anschüttung

Um die Tragfähigkeit der Kellerwand zu erhöhen, kann unter bestimmten Voraussetzungen eine zweiachsige Tragwirkung angenommen werden. Dies wird über den Faktor β berücksichtigt:

β	$= 20$	für $b_c \geq 2\ h$
	$= 60 - 20 \cdot b_c / h$	für $h < b_c < 2 \cdot h$
	$= 40$	für $b_c \leq h$

Bei Elementmauerwerk mit einem vermindertem Überbindemaß $0{,}2 \cdot h_u \leq l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$ ist generell $\beta = 20$ anzusetzen.

Zu beachten ist, dass der Nachweis ggf. auch im Bauzustand zu führen ist, bei dem die volle Auflast aus Eigenlast der Obergeschosse noch nicht wirkt.

Des Weiteren ist die Tragfähigkeit gegen maximale Normalkraftbeanspruchung in halber Wandhöhe $N_{Ed,max}$ bei einer Lastexzentrizität von $e = t / 3$ nachzuweisen:

$$N_{Ed,max} \leq \frac{t \cdot f_d \cdot b_c}{3} \qquad (7.2)$$

mit

f_d	nach Abschnitt 2.4

Der vereinfachten Berechnungsmethode wurde ein Erddruckbeiwert von ≤ 1/3 zugrunde gelegt. Nach DIN EN 1996-1-1/NA kann ein Nachweis von Kellerwänden mit einem beliebigen Erddruckbeiwert geführt werden.

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (Plattenschub) gilt mit den genannten Nachweisen ebenfalls als erbracht.

Die bereits angesprochene mögliche zweiachsige Tragwirkung durch Ansatz eines horizontalen Druckbogens kann über zusätzliche aussteifende Stahlbetonstützen unter Verwendung von KS -U-Schalen erreicht werden (Bilder 20 bis 22).

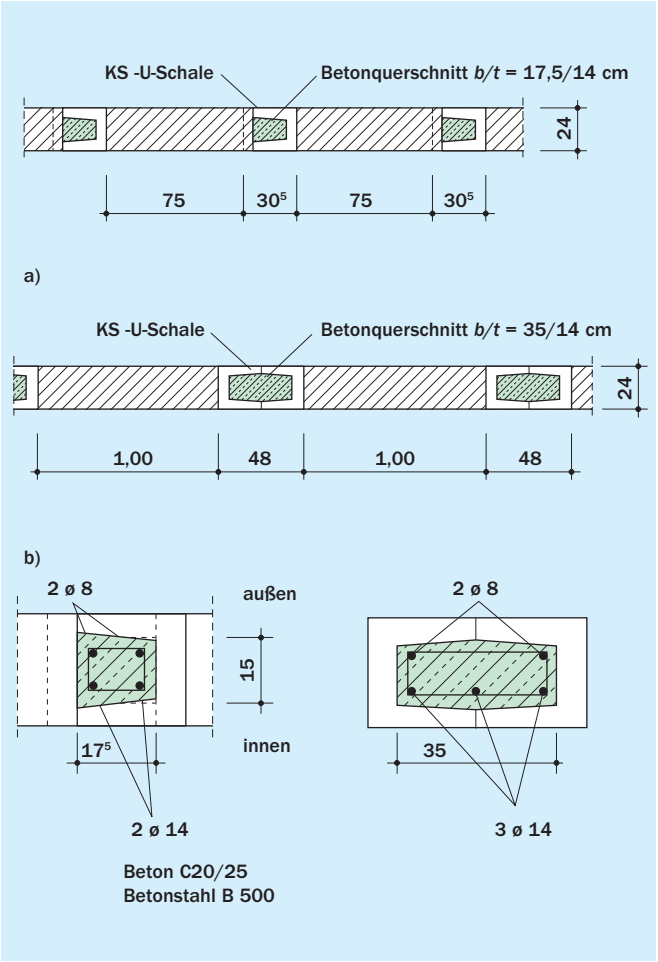


Bild 22 Aussteifende Stahlbetonstützen unter Verwendung von KS -U-Schalen

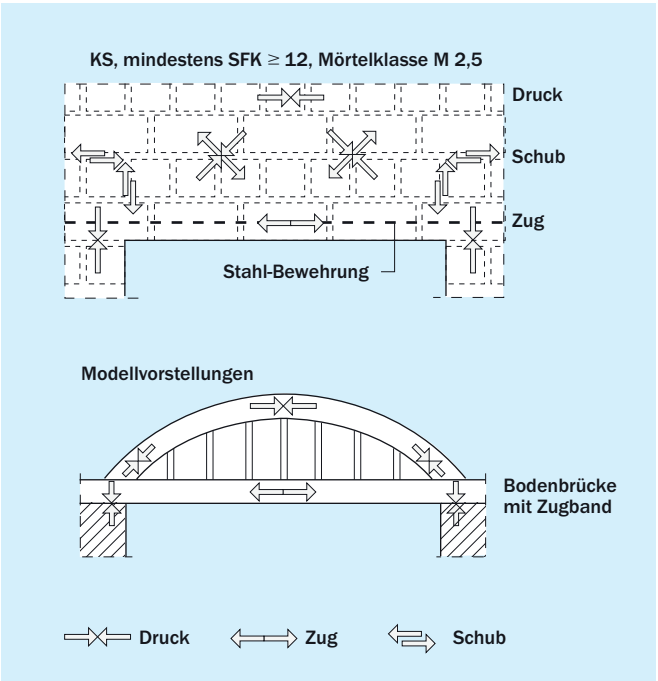


Bild 23 Tragwirkung eines Flachsturzes

7.2 Vorgefertigte Stürze

7.2.1 KS-Flachstürze nach Zulassung

Flachstürze dienen zur Überspannung von kleinen Öffnungen (z.B. Fenster etc.) in Wänden und bestehen aus einem vorge-

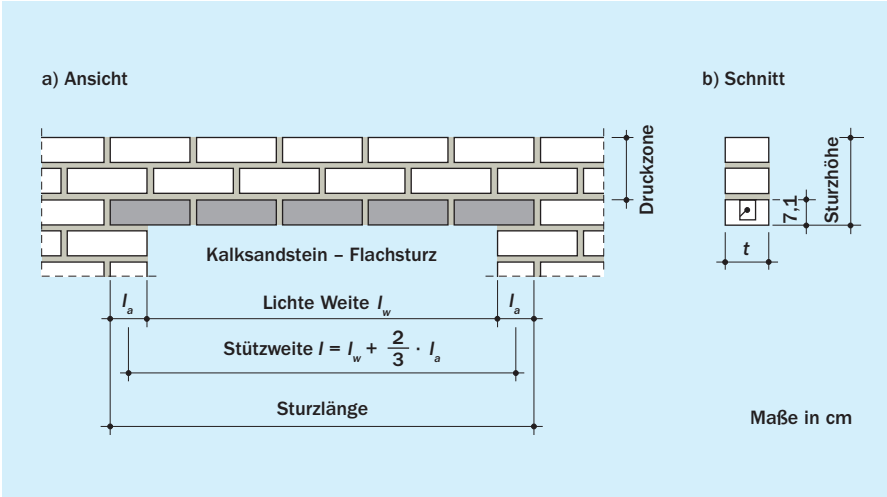


Bild 24 Bezeichnung bei Flachstürzen

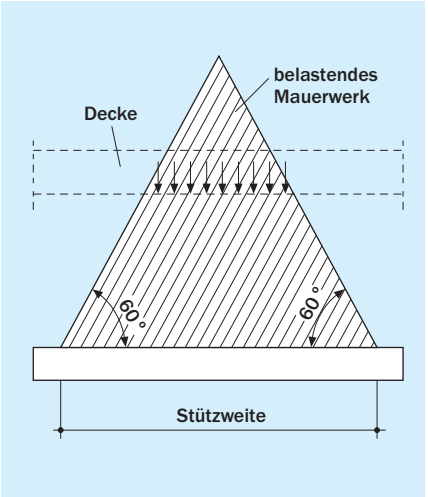


Bild 25 Ermittlung der Belastung von Flachstürzen für $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$

fertigten Zuggurt und einer örtlich hergestellten Druckzone aus Mauerwerk oder Beton. Oberhalb des Flachsturzes bildet sich ein Druckbogen aus (Bild 23). Der Bogenschub wird durch die im Flachsturz liegende Bewehrung (Zuggurt) aufgenommen.

Konstruktive Hinweise

Flachstürze dürfen nur als Einfeldträger mit einer Stützweite $l \leq 3$ m (Bild 24) und nur bei vorwiegend ruhender Belastung verwendet werden. Eine unmittelbare Belastung des Zuggurtes mit Einzellasten ist nicht zulässig. Die auf den Flachsturz maximal wirkende Belastung unter Berücksichtigung einer Gewölbewirkung im Mauerwerk zeigt (Bild 25). Falls oberhalb des Flachsturzes eine Stahlbetondecke aufliegt, so ist die Auflagerkraft der Decke im dargestellten Einzugsbereich zu berücksichtigen. Entsprechendes gilt für Einwirkungen aus Einzellasten.

Die Zuggurte von Flachstürzen ($h \leq 12{,}5$ cm) bestehen aus KS -U-Schalen mit Stahlbetonkern. Diese müssen mindestens 11,5 cm breit und 6 cm hoch sein. Es dürfen mehrere Flachstürze nebeneinander angeordnet werden, wenn die Druckzone in ihrer Breite sämtliche Zugglieder erfasst. Je Zugglied ist eine Bewehrung von mindestens 1 Stab Ø 8 mm erforderlich. Der maximale Stabdurchmesser ist auf 12 mm begrenzt. Für die Betondeckung der Bewehrung gelten die Regelungen in DIN EN 1992-1-1/NA bzw. die darüber hinaus gehenden Festlegungen in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung. Auf eine Schubbewehrung darf in Flachstürzen verzichtet werden.

Die Auflagertiefe von Flachstürzen auf dem Mauerwerk muss mindestens 11,5 cm betragen. Die Auflagerpressungen sind nachzuweisen. Die Oberseite von Flachstürzen ist rau auszubilden und vor dem Aufmauern sorgfältig von Schmutz zu reinigen. Die Druckzone aus Mauerwerk ist im Verband mit vermörtelten Stoß- und Lagerfugen, mit Steinen mindestens der Festigkeitsklasse 12 sowie mindestens mit Mörtelgruppe II herzustellen.

Nachweis mit Bemessungstafeln

Die Bemessung des Flachsturzes erfolgt mit Hilfe von Bemessungstafeln auf der Grundlage typengeprüfter statischer Berechnungen der Hersteller. Die Bemessung erfolgt durch einen Vergleich zwischen der vorhandenen Einwirkung und der in Abhängigkeit der Sturzgeometrie (Stützweite und Sturzhöhe) angegebenen zulässigen Gleichstreckenlast:

$$\text{vorh. } q_{Ed} \leq \text{zul. } q_{Ed} \tag{7.3}$$

Streng genommen ist die Anwendung der Bemessungstafeln für Flachstürze nur für eine Gleichstreckenlast zulässig. Sie kann jedoch auch für eine dreieckförmige Belastung bei Ausbildung eines Druckbogens gemäß Bild 25 herangezogen werden, wenn man vorh. q_{Ed} aus den einwirkenden Lasten zurückrechnet:

$$\text{vorh. } q_{Ed} = \frac{(G_{k,Decke} + G_{k,Wand}) \cdot \gamma_G + Q_{k,Decke} \cdot \gamma_Q}{l_{ef}} \tag{7.4}$$

Bemessung von vor Ort hergestellten Stürzen

Werden Stürze vor Ort aus KS -U-Schalen bewehrt und mit Ortbeton verfüllt hergestellt, z.B. bei Sichtmauerwerk mit Sturzhöhe 24 cm, so erfolgt die Bemessung nach DIN EN 1992-1-1/NA.

7.2.2 KS-Fertigteilstürze nach Zulassung

Als Alternative zu Flachstürzen kommen im Hintermauerbereich KS-Fertigteilstürze zur Anwendung, deren Nennlängen zwischen 1 m und 2 m liegen. Bei diesen Stürzen ist im Vergleich zu den Flachstürzen die Übermauerung aus KS XL (Druckzone mit vermörtelter Stoßfuge) Bestandteil des Sturzes.

Die KS-Fertigteilstürze werden i.d.R. im Herstellwerk so gefertigt, dass der gesamte Zwischenraum zwischen der Oberkante der Wandöffnung und der Decke bereits ausgefüllt ist. Eine Anpassung der Sturzhöhe an die örtlichen Gegebenheiten auf der Baustelle, beispielsweise durch eine weitere Übermauerung, ist nicht mehr erforderlich. Die Montage der Stürze erfolgt im Zuge des Versetzens der KS XL ebenfalls mit einem Versetzgerät, so dass es zu keiner Unterbrechung des Arbeitsablaufes kommt. Hierdurch kann auch im Wandöffnungsbereich die rationelle Herstellung von KS XL-Mauerwerk erreicht werden.

8. Bauliche Durchbildung

8.1 Vorbemerkungen

Die bauliche Durchbildung ist in DIN EN 1996-1-1/NA [4] geregelt, wohingegen in DIN EN 1996-2/NA [6] Angaben zur Ausführung gemacht werden. Teilweise überschneiden sich die Regelungen aber auch, so dass in jedem Fall beide Normteile zu beachten sind.

8.2 Schlitze und Aussparungen

Als Schlitze werden längliche Einschnitte in flächigen Bauteilen verstanden (Bild 26). Handelt es sich dabei um kleine gedrungene Einschnitte, spricht man von Aussparungen. Schlitze und Aussparungen können während der Herstellung des Bauteils oder nachträglich hergestellt werden.

Grundsätzlich ist bei Schlitzen und Aussparungen zu unterscheiden, ob ein maßgebender Einfluss auf das Tragverhalten des Bauteils vorliegt, der in der Bemessung der Tragkonstruktion gesondert zu berücksichtigen ist. Sie sollten grundsätzlich nicht durch Stürze oder andere tragende Bauteile einer Wand gehen. Die Abminderung für Druck-, Schub- und Biegetragfähigkeit infolge vertikaler Schlitze und Aussparungen darf vernachlässigt werden, wenn diese Schlitze und Aussparungen nicht tiefer als $t_{ch,v}$ sind. Dabei sollte als Schlitz- und Aussparungstiefe die Tiefe einschließlich der Löcher gelten, die bei der Herstellung der Schlitze und Aussparungen erreicht wird. Werden die Grenzen überschritten, sollte die Tragfähigkeit auf Druck, Schub und Biegung mit dem in Folge der Schlitze und Aussparungen reduzierten Mauerwerksquerschnitt rechnerisch geprüft werden.

Vertikale Schlitze und Aussparungen sind auch dann ohne Nachweis zulässig, wenn die Querschnittsschwächung, bezogen auf 1 m Wandlänge, weniger als 6 % beträgt und die Wand nicht drei- oder vierseitig gehalten nachgewiesen wird. Hierbei müssen eine Restwanddicke nach Tafel 27, Spalte 4 und ein Mindestabstand nach Spalte 6 eingehalten werden. Die Festlegungen gelten nur für tragende Wände. Schlitze und Aussparungen in Schornsteinwangen sind unzulässig. Längere horizontale Schlitze am Wandkopf sollten zur Vermeidung von Rissbildung und Abplatzungen nicht unmittelbar unter dem Deckenauflager angeordnet werden, dürfen aber nur 40 cm unterhalb Wandkopf und 40 cm oberhalb Wandfuß angeordnet werden. Alle übrigen Schlitze und Aussparungen sind bei der Bemessung des Mauerwerks zu berücksichtigen.

Horizontale und schräge Schlitze sind für eine gesamte Schlitztiefe von maximal dem Wert $t_{ch,h}$ ohne gesonderten Nachweis der Tragfähigkeit des reduzierten Mauerwerksquerschnitts auf Druck, Schub und Biegung zulässig, sofern eine Begrenzung der zusätzlichen Ausmitte in diesem Bereich vorgenommen wird. Klaffende Fugen infolge planmäßiger Ausmitte der einwirkenden charakteristischen Lasten (ohne Berücksichtigung der Kriechausmitte und der Stabauslenkung nach Theorie II. Ordnung) dürfen rechne-

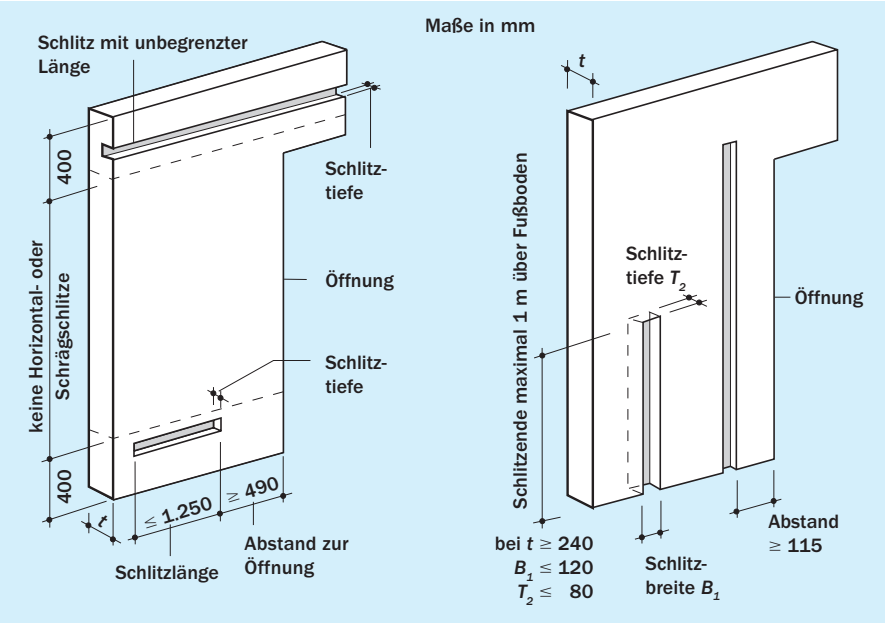


Bild 26 Nachträglich hergestellte horizontale und schräge Schlitze (links); nachträglich hergestellte vertikale Schlitze und Aussparungen (rechts)

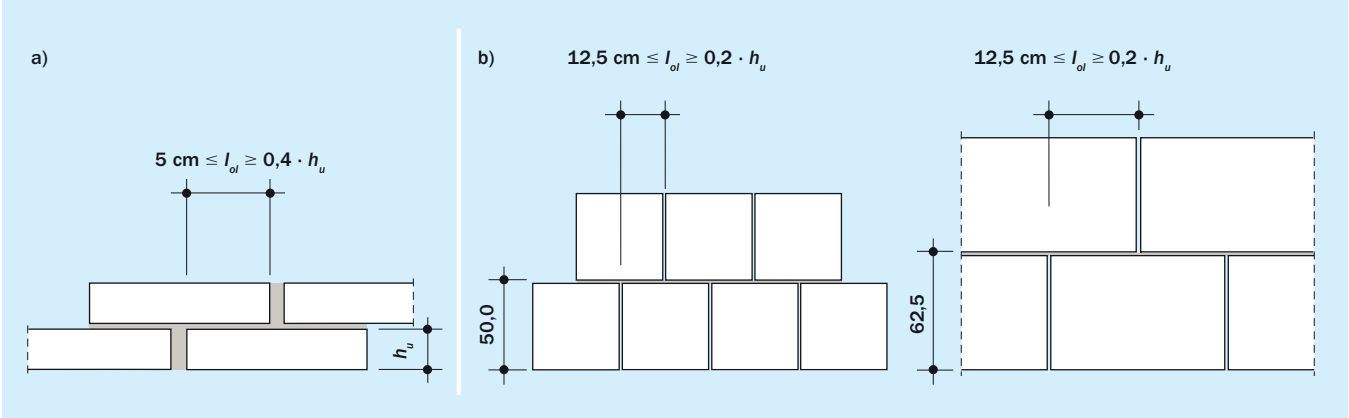


Bild 27 Mindestüberbindemaß l_{ol} nach DIN EN 1996-1-1/NA

Tafel 27 Zulässige Größe $t_{ch,v}$ vertikaler Schlitze und Aussparungen ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA

1	2	3	4	5	6	7
Wanddicke	Nachträglich hergestellte Schlitze und Aussparungen [1]		Mit der Errichtung des Mauerwerks hergestellte Schlitze und Aussparungen			
	Maximale Tiefe [2] $t_{ch,v}$	Maximale Breite (Einzelschlitz) [3]	Verbleibende Mindestwanddicke	Maximale Breite [3]	Mindestabstand der Schlitze und Aussparungen	
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	von Öffnungen	untereinander
115–149	10	100	–	–	≥ zweifache Schlitzbreite bzw. ≥ 240	≥ Schlitzbreite
150–174	20	100	–	–		
175–199	30	100	115	260		
200–239	30	125	115	300		
240–299	30	150	115	385		
300–364	30	200	175	385		
≥ 365	30	200	240	385		

[1] Abstand der Schlitze und Aussparungen von Öffnungen
[2] Schlitze, die bis maximal 1 m über den Fußboden reichen, dürfen bei Wanddicken ≥ 240 mm bis 80 mm Tiefe und 120 mm Breite ausgeführt werden.
[3] Die Gesamtbreite von Schlitzen nach Spalte 3 und Spalte 5 darf je 2 m Wandlänge die Maße in Spalte 5 nicht überschreiten. Bei geringeren Wandlängen als 2 m sind die Werte in Spalte 5 proportional zur Wandlänge zu verringern.

Tafel 28 Zulässige Größe $t_{ch,h}$ horizontaler und schräger Schlitze ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA

Wanddicke [mm]	Maximale Schlitztiefe $t_{ch,h}$ [1] [mm]	
	Unbeschränkte Länge [2]	Länge ≤ 1.250 mm [3]
115–149	–	–
150–174	–	0 [2]
175–239	0 [2]	25
240–299	15 [2]	25
300–364	20 [2]	30
≥ 365	20 [2]	30

[1] Horizontale und schräge Schlitze sind nur zulässig in einem Bereich ≤ 0,4 m ober- oder unterhalb der Rohdecke sowie jeweils an einer Wandseite. Sie sind nicht zulässig bei Langlochziegeln.
[2] Die Tiefe darf um 10 mm erhöht werden, wenn Werkzeuge verwendet werden, mit denen die Tiefe genau eingehalten werden kann. Bei Verwendung solcher Werkzeuge dürfen auch in Wänden ≥ 240 mm gegenüberliegende Schlitze mit jeweils 10 mm Tiefe ausgeführt werden.
[3] Mindestabstand in Längsrichtung von Öffnungen ≥ 490 mm, vom nächsten Horizontalschlitz zweifache Schlitzlänge

Tafel 29 Überbindemaß l_{ol} in Abhängigkeit von der Steinhöhe

Steinhöhe h_u [cm]	Regelfall l_{ol} = 0,4 · Steinhöhe [cm]	Mindestüberbindemaß $l_{ol} \geq$ [cm]
< 11,3	5	4,5
11,3/12,3	5	0,4 · Steinhöhe ≙ 5
23,8/24,8	10	0,4 · Steinhöhe ≙ 10
49,8	20	12,5
62,3	25	0,2 · Steinhöhe ≙ 12,5

risch höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes entstehen. Generell sind horizontale und schräge Schlitze in den Installationszonen nach DIN 18015-3 anzuordnen. Die Tafel 28 enthält entsprechende Grenzwerte für $t_{ch,h}$. Sofern die Schlitztiefen die in Tafel 29 angegebenen Werte überschreiten, sollte die Tragfähigkeit auf Druck, Schub und Biegung mit dem infolge der horizontalen und schrägen Schlitze reduzierten Mauerwerksquerschnitt rechnerisch überprüft werden.

8.3 Überbindemaß

Die Forderung nach der Einhaltung des Überbindemaßes (Tafel 28) wird durch die Ausführung des Mauerwerks im Verband gewährleistet, wenn die Stoß- und Längsfugen übereinander liegender Schichten mindestens mit dem Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$ bzw. $l_{ol} \geq 45$ mm (der größere Wert ist maßgebend) angeordnet werden (Bild 27). Das Überbindemaß l_{ol} darf bei Elementmauerwerk bis auf $0{,}2 \cdot h_u$ bzw. $l_{ol} \geq 125$ mm reduziert werden, wenn dies in den Ausführungsunterlagen (z.B. Versetzplan oder Positionsplan) ausgewiesen ist und die Auswirkungen in der statischen Berechnung berücksichtigt sind. Das in der statischen Berechnung und den Ausführungsunterlagen angegebene erforderliche Überbindemaß ist einzuhalten und durch die Bauleitung zu kontrollieren. Gerade in Be-

reichen von Fensterbrüstungen, Öffnungen und dem Eintrag von Einzellasten in das Mauerwerk ist auf die Einhaltung des Überbindemaßes zu achten. Insbesondere ist bei folgenden Punkten das Überbindemaß zu beachten:

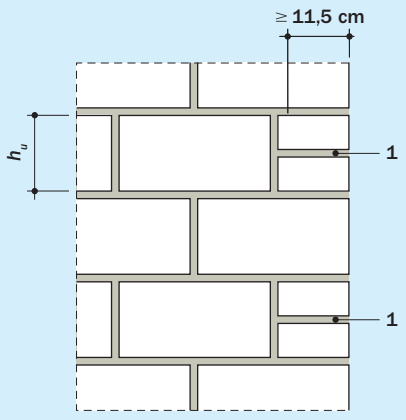
- Bei reduzierten Überbindemaßen ergeben sich bei hohen Auflasten ggf. Auswirkungen auf die Querkrafttragfähigkeit in Scheibenrichtung.
- Die Lastausbreitwinkel ergeben sich aus dem Tangens von Überbindemaß und Steinhöhe (Tafel 29).
- Bei drei- bzw. vierseitiger Halterung der Wand müssen bei der Ermittlung der Knicklänge die Anpassungsfaktoren α_3 und α_4 berücksichtigt werden.

8.4 Längen- und Höhenausgleich

Die Steine bzw. Elemente einer Schicht müssen die gleiche Höhe haben. An Wandenden und unter Einbauteilen (z.B. Stürze) ist eine zusätzliche Lagerfuge in jeder zweiten Schicht zum Längen- und Höhenausgleich (Bild 28) zulässig, sofern die Aufstandsfläche der Steine mindestens 115 mm lang ist und Steine und Mörtel mindestens die gleiche Festigkeit wie im übrigen Mauerwerk haben. In Schichten mit Längsfugen darf die Steinhöhe nicht größer als die Steinbreite sein. Abweichend davon muss die Aufstandsbreite von Steinen der Höhe ≥ 150 mm mindestens 115 mm betragen.

Bei der Verwendung von Passsteinen und -elementen zum Längenausgleich von Wänden ist zu beachten, dass auch in diesen Bereichen immer das jeweils maßgebende Überbindemaß eingehalten wird.

Um die höheren Mauerwerksdruckfestigkeiten bei KS XL-Mauerwerk ansetzen zu dürfen, sind bei Elementmauerwerk einige weitere konstruktive Ausführungsregeln hinsichtlich der Anordnung von Passelementen und Ausgleichsschichten zu beachten. Anderenfalls gelten die Festigkeiten von Planstein-Mauerwerk.



1 Zusätzliche Lagerfugen an den Wandenden und unter den Stürzen

Bild 28 Zusätzliche Lagerfugen an den Wandenden

Der Wandaufbau muss daher grundsätzlich aus großformatigen Elementen mit den Regelabmessungen erfolgen. Für den Längenausgleich dürfen Passelemente verwendet werden. Diese können vorgefertigt oder auch auf der Baustelle zugeschnitten werden.

Der erforderliche Höhenausgleich erfolgt bei Elementmauerwerk durch maximal je zwei Ausgleichsschichten aus Ausgleichselementen oder nicht gelochten Vollsteinen der gleichen oder einer höheren Festigkeitsklasse am Wandfuß und/oder Wandkopf. Die unterste und/oder oberste Ausgleichsschicht darf aus Kalksand-Wärmedämmsteinen als Kimmsteine bestehen. Die Breite der Ausgleichselemente muss entsprechend der geforderten Ausführung als Einsteinmauerwerk der Wanddicke entsprechen. Anderenfalls sind die Druckfestigkeiten für Verbandsmauerwerk anzusetzen. Die jeweils maßgebenden Überbindemaße sind auch bei den Ausgleichsschichten einzuhalten.

Es dürfen auch Kalksand-Wärmedämmsteine mit geringerer Festigkeit als die der Planelemente eingebaut werden. In diesem Fall wird beim Standsicherheitsnachweis die Festigkeit der Kimmsteine an der betreffenden Nachweisstelle – in der Regel am Wandfuß – maßgebend. Dort ist dann die vorhandene Mauerwerksdruckfestigkeit für Elementmauerwerk unter Berücksichtigung der Druckfestigkeitsklasse der Kimmsteine anzusetzen. Beim vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA ist die so ermittelte Mauerwerksdruckfestigkeit für den gesamten Nachweis anzusetzen.

8.5 Verbandsmauerwerk

Verbandsmauerwerk ist Mauerwerk mit zwei oder mehr Steinreihen nebeneinander in jeder oder in jeder zweiten Schicht. In der Vergangenheit wurden vornehmlich die Formate 2 DF und 3 DF dafür verwendet.

Die Kalksandsteinindustrie bietet für jede Wanddicke geeignete Steinformate für die Verarbeitung als *Einsteinmauerwerk* (Wanddicke = Steindicke) an. Mit der Ausweitung der Produktpalette hat die Bedeutung des Verbandsmauerwerks im Bereich des Neubaus nahezu keine Bedeutung mehr.

Lediglich im Bereich von kleinteiligem Sichtmauerwerk oder bei der Sanierungen im Altgebäudebestand kommt diese Art des Mauerns weiterhin zur Anwendung.

INFO

Bei Verbandsmauerwerk ist das Überbindemaß nicht nur in Wandlängsrichtung, sondern auch im Wandquerschnitt einzuhalten.

Mauerwerk aus KS XL ist nur als Einsteinmauerwerk (Wanddicke = Steindicke) zulässig. Bei Ausführung der Kimmschicht mit zwei Steinen nebeneinander kann die Mauerwerksdruckfestigkeit wie bei Verbandsmauerwerk angesetzt werden. Diese beträgt dann 80 % der Festigkeit des entsprechenden Planstein-Mauerwerks.

8.6 Deckenauflager

Wiederkehrende Verformungen von Stahlbetondecken durch unterschiedliche Temperaturen (Sommer/Winter), das einmalige Schwinden im Zuge der Austrocknung sowie Verdrehungen im Bereich von Endauflagern bei großen Deckenspannweiten führen zu Spannungen in der Konstruktion.

Werden diese Spannungen bei der Planung und Ausführung nicht ausreichend berücksichtigt, führt dies nicht selten zu Rissen an den Wänden. Risse an den Decken sind selten festzustellen (Tafel 30).

Bei großen Deckenspannweiten kommt es insbesondere im Bereich von Endauflagern bei Decken zu großen Verdrehungen der horizontalen Tragglieder. Daraus ergibt sich eine exzentrische Lasteinleitung in die Mauerwerkswand, die nicht nur zu einer Traglastminderung führt, sondern auch Rissbildungen und Abplatzungen verursachen kann.

Sind die Randbedingungen für die Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens nach DIN EN 1996-3/NA nicht eingehalten (z.B. Stützweite $l_f > 6$ m) oder führen die Lastexzentrizitäten zu großen Traglastminderungen (z.B. bei der obersten Geschossdecke), können entsprechend Bild 30 oder Bild 33 konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung des Deckenauflagers am Wandkopf genutzt werden, wobei entsprechende Einflüsse auf die Konstruktion zu beachten sind (z.B. Knicklänge, Übertragung horizontaler Lasten zur Gebäudeaussteifung etc.).

Die Lastzentrierung mit mittig angeordneten Verformungslagern nach Bild 32b ist nicht allein eine konstruktive Maßnahme zur Vermeidung von Rissbildungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Hierdurch ändern sich auch die statischen Randbedingungen. Diese Lager dürfen insbesondere auch nicht am Wandfuß angeordnet werden.

Bei größeren planmäßigen Ausmitten, z.B. Dachdecke mit wenig Auflast oder Decken mit großer Spannweite, sollten Stahlbetondecken zur Verringerung der exzentrischen Lasteinleitung entsprechend zentriert werden.

Werden Maßnahmen zur Zentrierung der Lasteinleitung von Decken vorgesehen, darf auch bei Stützweiten von mehr als 6 m das vereinfachte Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA angewendet werden.

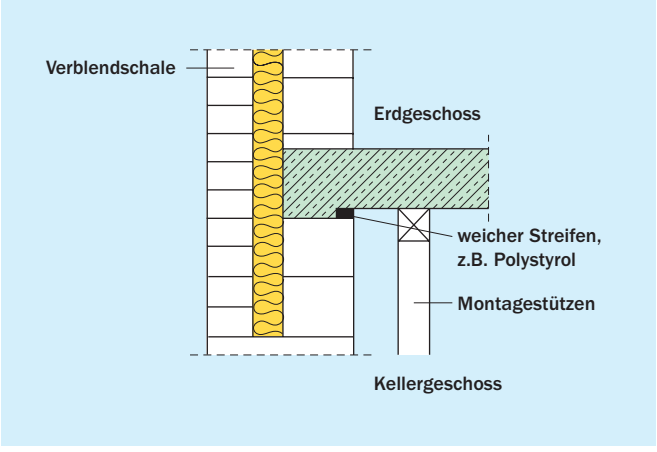


Bild 29 **Konstruktive Zentrierung**

Die Auflagertiefe der Decken muss generell mindestens $t/3 + 40$ mm der Wanddicke t und darf nicht weniger als 100 mm betragen.

Für die Ausbildung des Wandkopfes werden folgende Empfehlungen gegeben:

- Auftretende Verformungen aus Temperatureinwirkungen z.B. bei einer ungedämmten Decke können über ein Gleitlager mit einem darunter angeordneten Ringbalken aufgenommen werden (Bild 32a).
- Auftretende Verformungen aus Schwinden können bei einer gedämmten Decke durch eine besandete Bitumendachbahn R 500 (nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202) aufgenommen werden. Die Anordnung eines Ringbalkens ist nicht erforderlich.
- Auftretende Verformungen aus Deckendurchbiegung sind mit einem Dämmstreifen am Rand ohne die Anordnung eines Ringbalkens aufzunehmen (Bild 29).
- Falls Schwindverformungen und eine zu große Deckendurchbiegung gleichzeitig auftreten, können sinnvoll Verformungslager für eine mittige Zentrierung angeordnet werden. Ein Ringbalken ist nicht erforderlich, wenn die auftretenden Querkräfte vom Verformungslager aufgenommen werden können (Bild 32b).
- Den Auswirkungen durch das Aufschüsseln von Eckbereichen der Decke durch fehlende Auflasten (Dachdecken oder Garagendecken) kann durch die Anordnung je eines von der Ecke aus ungefähr 1,50 m langen Streifens einer besandeten Bitumendachbahn R 500 (nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202) begegnet werden.

8.7 Ringanker und Ringbalken

Bei Ringankern und Ringbalken handelt es sich um stabförmige Bauglieder, die der Aufnahme von Aussteifungskräften und Horizontallasten dienen. Sie werden z.B. mit ausbetonierten und bewehrten KS -U-Schalen hergestellt.

Ringanker werden bei Massivdecken im Regelfall innerhalb der Decken oder kurz darunter angeordnet und halten die tragenden Wände zusammen. Sie übernehmen die in der Deckenscheibe auftretenden Randzugkräfte und leiten die angreifenden Aussteifungskräfte auf die Wandscheiben weiter. Gleichzeitig erhöhen sie die Stabilität von auf Scheibenschub beanspruchten Wänden mit großen Öffnungen (Bild 30). Ringanker sind also im Wesentlichen Zugglieder (Bild 31).

Ringbalken sind stets anzuordnen, wenn Horizontallasten senkrecht zur Wandebene (z.B. aus Wind) einwirken und eine kontinuierliche Lagerung am Wandkopf (z.B. durch Deckenscheiben) nicht vorhanden ist. Gleichzeitig können Ringbalken auch die Funktion von Ringankern zur Ableitung von Aussteifungskräften übernehmen. Ringbalken sind überwiegend auf Biegung und weniger auf Zug beansprucht.

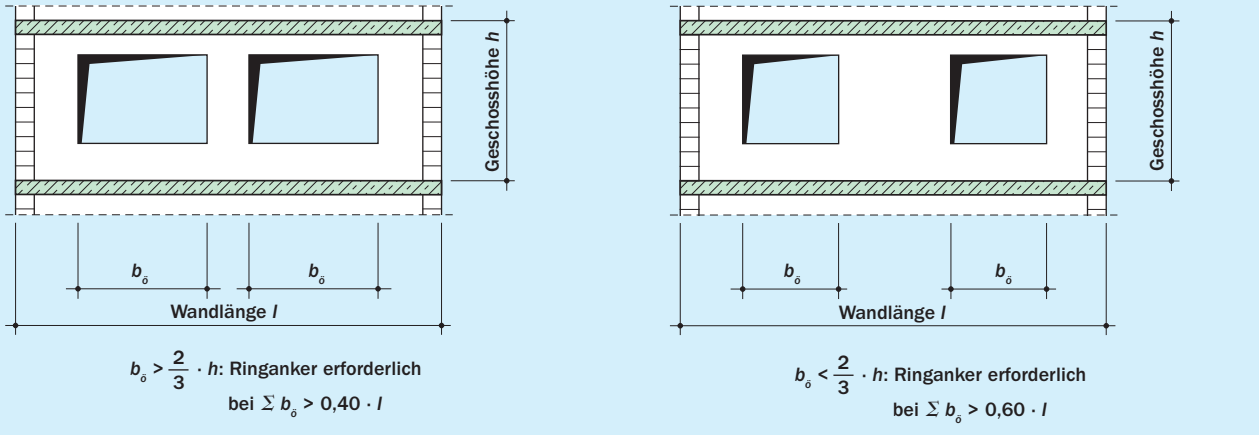


Bild 30 Kriterien für die Anordnung von Ringankern in tragenden und aussteifenden Wänden mit Öffnungen

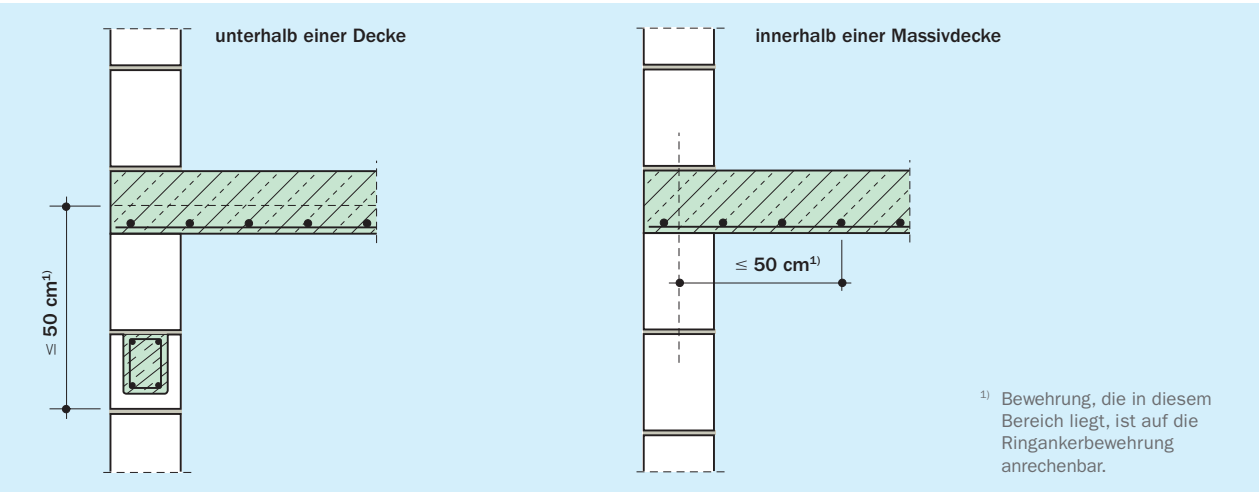


Bild 31 Ausbildung von Ringankern

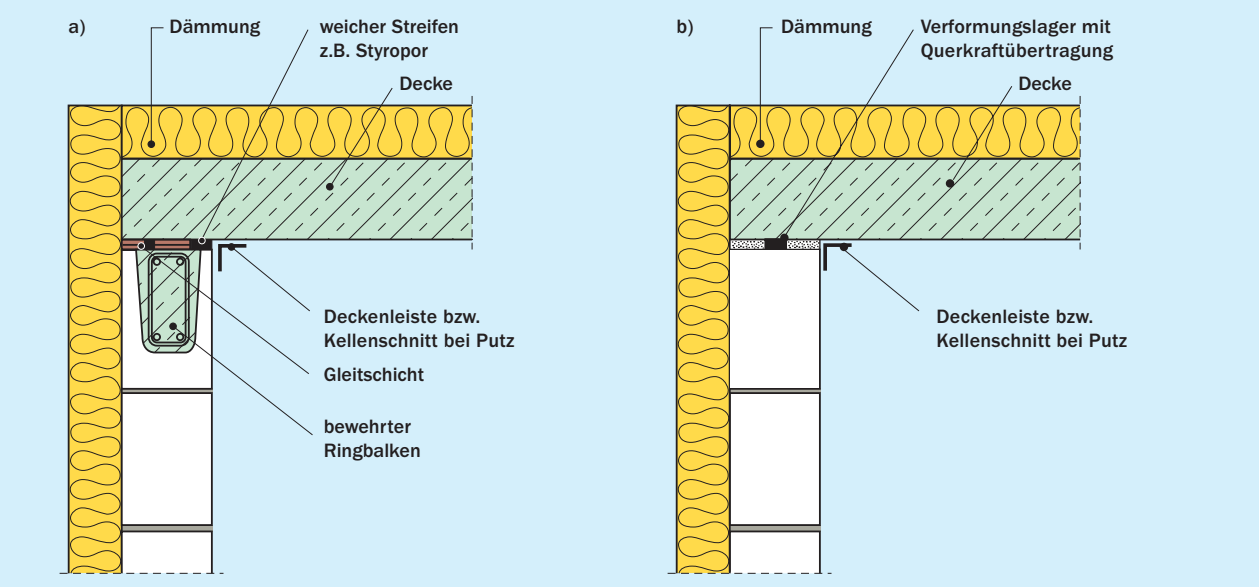


Bild 32 Konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung der Deckenauflagerkraft am Beispiel der Außenwand unter einer Dachdecke
a) Gleitlager mit eingelegtem Styropor-Randstreifen an der Wandinnenseite, b) Verformungslager mit Zentrierstreifen zwischen Wand und Decke

8.7.1 Ringanker

Nach DIN 1053-1 mussten alle Außenwände und diejenigen Innenwände, die der Abtragung der Aussteifungskräfte dienen, Ringanker erhalten, wenn nachstehende Randbedingungen vorliegen. Vergleichbare Regelungen sind im Eurocode nicht enthalten. Es empfiehlt sich jedoch, die bewährten Regeln bei der Planung zu berücksichtigen:

- Bauten mit mehr als zwei Vollgeschossen
- Bauten mit Längen > 18 m
- Wände mit großen Öffnungen
- Bauwerke mit ungünstigen Baugrundverhältnissen

Ringanker sind für eine aufzunehmende Zugkraft von mindestens N_{Ed} = 45 kN zu dimensionieren bzw. mit einer Mindestquerschnittsfläche von a_s = 150 mm^2 (oder 2 Ø 10) zu bewehren. In einer Stahlbetondecke vorhandene Bewehrung darf in gewissen Grenzen angerechnet werden. Die parallele Bewehrung muss sich in Decken oder Fensterstürzen in einer Entfernung von nicht mehr als 0,5 m von der Mittelachse der Wand bzw. Decke befinden (Bild 31). Ringanker können auch aus bewehrtem Mauerwerk oder mit so genannten Mauerwerksschalen hergestellt werden, wenn die entsprechenden Zugkräfte aufgenommen werden.

8.7.2 Ringbalken

Ringbalken dienen im Wesentlichen der Aufnahme von Horizontallasten und der horizontalen Halterung der Wände am Wandkopf, wenn eine entsprechende Lagerung statisch erforderlich ist (z.B. Ausfachungsflächen). Dies ist z.B. der Fall bei:

- Decken ohne Scheibenwirkung (Holzbalkendecken)
- Anordnung von Gleitschichten unter Deckenauflagern von Decken (Bild 32a)

Ringbalken sind für die auf sie entfallenden Windlastanteile sowie zur Berücksichtigung von Lotabweichungen auf eine Horizontallast von 1/100 der Vertikallast zu bemessen. Bei Ringbalken unter Gleitschichten sind die verbleibenden Reibungskräfte aus der Decke zusätzlich als Zugkräfte zu berücksichtigen. Ringbalken müssen derart biegesteif ausgeführt werden, dass im auszusteifenden Mauerwerk keine unzulässigen Durchbiegungen und Rissbildungen auftreten. Die Weiterleitung der Auflagerkräfte der Ringbalken in die aussteifenden Wände ist statisch nachzuweisen.

Ein Ringbalken ist jedoch nur erforderlich, wenn ein Gleitlager eingebaut wird, welches schubweich ist. Wird ein Zentrierlager nach Bild 32b eingebaut, dass die Verformungen aus der Decke aufnehmen kann und gleichzeitig die Übertragung der Querkräfte gewährleistet, ist ein Ringbalken entbehrlich.

Unterschiedliche Verformungen zwischen tragenden Wänden und der Dachdecke können nach DIN 18530:1987-03 [16] abgeschätzt werden. Ist danach mit Rissen zu rechnen, so ist die Dachdecke möglichst reibungsfrei auf den Wänden zu lagern. In diesem Fall ist ggf. auch ein Gleitlager mit Ringbalken unter der Dachdecke erforderlich.

8.8 Wandanschlüsse

Die Ausbildung der Verbindungen von Wänden und Decken oder von Wänden untereinander hängt von statischen und bauphysikalischen Gesichtspunkten ab. Zur Erzielung der räumlichen Steifigkeit müssen alle tragenden und aussteifenden Wände kraftschlüssig mit den Decken verbunden sein. Bei der Verwendung von Stahlbetondecken wird ein ausreichender Verbund über die Reibung in den Lagerfugen hergestellt. Weitere Konstruktionselemente zur Sicherstellung einer genügenden Standsicherheit können Ringanker und Ringbalken sein. Werden die Wände nicht durch einen Mauerwerksverband zug- und druckfest miteinander verbunden, können alternative Anschlusselemente, wie z.B. die Stumpfstoßtechnik, verwendet werden. Bei Ausfachungswänden oder nicht tragenden Wänden richten sich die Anschlüsse auch nach den Schall- und Brandschutzanforderungen.

INFO

Es wird empfohlen, die Außenecken von Kelleraußenwänden – auch unter Annahme zweiseitiger Halterung – aus konstruktiven Gründen immer miteinander zu verzahnen. Alle übrigen Wandanschlüsse können stumpf gestoßen werden, soweit in der Statik nichts anderes gefordert wird.

Die Kimmschicht am Wandfuß in Normalmauermörtel mindestens der Mörtelklasse M 10 dient primär zum Ausgleich von Unebenheiten der Rohdecke, zur Höhenanpassung der aufzumauernden Wandscheibe an das Baurichtmaß sowie zur Erstellung

Bild 33 Stumpfstoßtechnik: Mörtelbett mit Edelstahl-Flachanker

Bild 34 Stumpfstoßtechnik: Abgewinkelte Edelstahl-Flachanker (Bauphase) in Achse der anschließenden Wand

eines planebenen Niveaus in Wandlängs- und -querrichtung. Sie gewährleistet aber auch einen kraftschlüssigen Verbund zwischen Decke und Aufstandsfläche.

Bei Verwendung von KS XL im Dünnbettmörtelverfahren ist die Kimmschicht in Normalmauermörtel der Mörtelklasse M 10 auszuführen, um die entsprechende Druckfestigkeit für Elementmauerwerk ansetzen zu dürfen.

8.9 Stumpfstoßtechnik

Der KS-Stumpfstoß, ohne den Bauablauf störende Verzahnung der Wände, eröffnet für Planung und Ausführung Freiräume – auch bei Anwendung von mechanischen Versetzgeräten (Bilder 33 bis 38). Diese Bauweise hat sich seit Jahrzehnten bewährt. Aus baupraktischen Gründen wird daher auch bei statisch angesetzter zweiseitiger Halterung empfohlen, konstruktiv Edelstahl-Flachanker in die Lagerfugen einzulegen. Die Anschlussfugen sind aus schalltechnischen Gründen zu vermörteln.

8.9.1 Anwendungsbereich

Grundsätzlich können alle Wandanschlüsse stumpf gestoßen werden. Es wird jedoch empfohlen, die Außenecken von Kelleraußenwänden – auch unter Annahme zweiseitiger Halterung – aus konstruktiven Gründen immer miteinander zu verzahnen. Alle übrigen Wandanschlüsse (auch Außenecken von Wänden ohne Erddruck) können stumpf gestoßen werden.

8.9.2 Vorteile der Stumpfstoßtechnik:

- Stumpfstoß ist zwischen allen Wänden möglich (einfacher Bauablauf)
- mehr Bewegungsspielraum und Lagerfläche auf der Geschossdecke
- vereinfachter Einsatz von mechanischen Versetzhilfen und Gerüsten

Die liegende Verzahnung bedeutet in vielen Fällen eine Behinderung beim Aufmauern der Wände, bei der Bereitstellung der Materialien und beim Aufstellen der Gerüste. Stumpf gestoßene Wände vermeiden diese Nachteile.

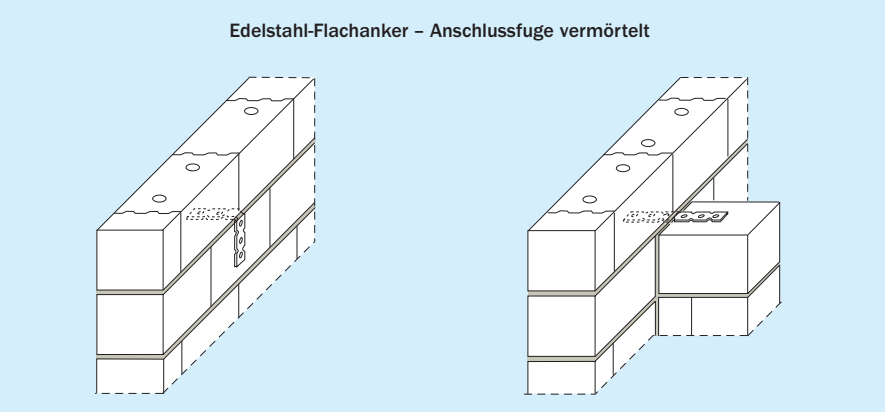


Bild 35 Anwendung von Edelstahl-Flachankern bei der KS-Stumpfstoßtechnik

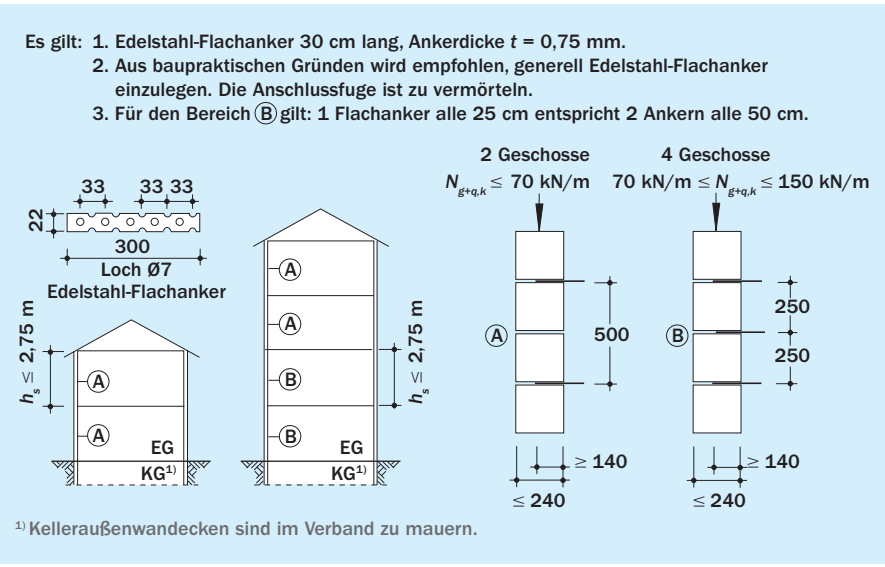


Bild 36 KS-Stumpfstoßtechnik, Regelausführung bei Annahme einer drei- oder vierseitigen Halterung der tragenden Wand (Schichthöhe ≤ 25 cm) [3]

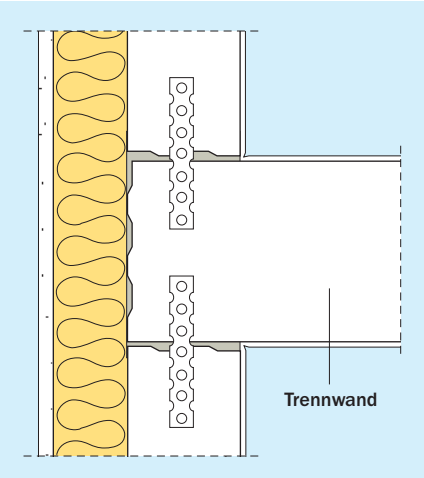


Bild 37 Stumpfstoßtechnik mit durchlaufender Trennwand (Empfehlung bei Schallschutzanforderung)

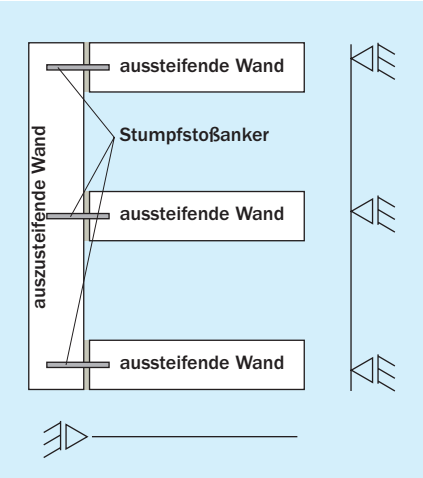
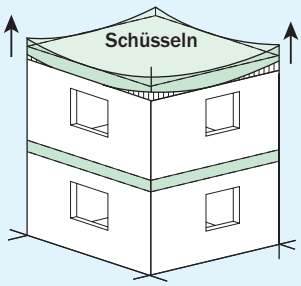
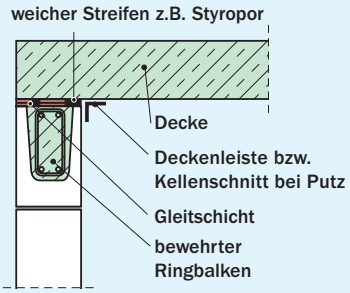
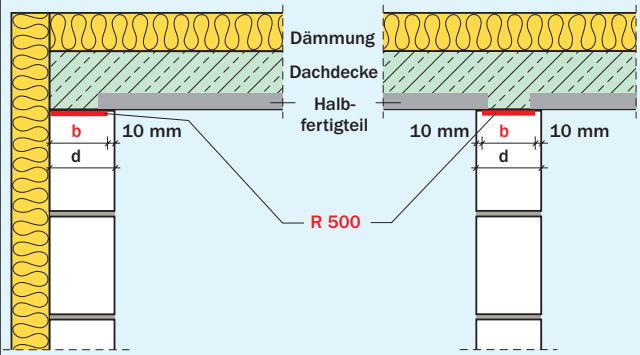
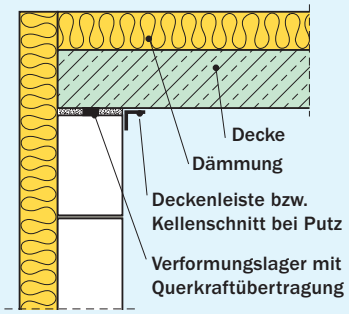
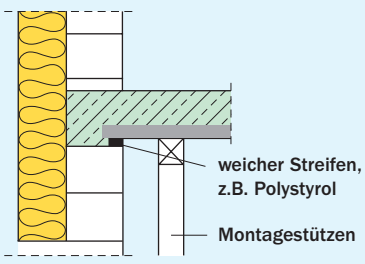


Bild 38 Prinzipielle Anordnung von aussteifender und auszusteifender Wand bei Anwendung des Stumpfstoßes

Tafel 30 Empfehlungen für Planung und Ausführung von Deckenauflagern

Deckenaufleger	Beschreibung	Maßnahme
Schüsseln 	Dachdecken können im Eckbereich schüsseln und die oberste Steinreihe mit anheben. Die Folge kann eventuell ein horizontaler Riss über Eck in der Lagerfuge unter der obersten Steinreihe sein.	**Einbau von Trennschichten** Verwendung einer besandeten Bitumendachbahn R 500 mit Rohfilzeinlage, nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202 Einbau über Eck, Länge ca. 1,50 m in beide Richtungen
Temperatur-schwankungen 	Ungedämmte Dachdecken dehnen und verkürzen sich in Folge von Temperaturschwankungen. Gering belastetes Mauerwerk kann diese eingeleiteten Verformungen häufig nicht rissefrei aufnehmen.	**Einbau von Gleitschichten bzw. Gleitlagern** Einbau der Gleitschichten bzw. -lager zwischen Dachdecke und Wand Zur oberen Halterung der Wand sind bewehrte Ringbalken erforderlich.
Schwinden 	Die Austrocknung von bindemittelgebundenen Baustoffen (z.B. Beton, Mauerwerk) führt zu Schwindverkürzungen.	**Einbau von Trennschichten** Verwendung einer besandeten Bitumendachbahn R 500 mit Rohfilzeinlage, nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202 Einbau wie folgt: Breite (b) kleiner als Wanddicke (d), und zwar bei – Außenwänden ca. 10 mm, – Innenwänden beidseitig je ca. 10 mm Die Anordnung eines Ringbalkens ist nicht erforderlich.
Schwinden und Zentrieren 	Schwindverformungen und zu große Deckendurchbiegungen können gleichzeitig auftreten. Durch diese Einwirkungen auf Außenwände sind Rissbildungen bzw. Kantenabplatzungen auf der Wandinnenseite möglich.	**Einbau von Verformungslagern** Verwendung von Verformungslagern mit Querkraftübertragung zur Zentrierung und gleichzeitiger Aufnahme von Längenverformungen (ca. ±10 mm) (z.B. von Calenberg Ingenieure oder Speba) Ein Ringbalken auf dem Mauerwerk ist nicht erforderlich.
Konstruktives Zentrieren  Zentrierungen sind immer am Wandkopf, nie am Wandfuß anzuordnen.	Größere Deckendurchbiegungen bzw. Auflagerverdrehungen führen zu Lastexzentrizitäten (Traglastminderungen). Bei Stützweiten > 6 m darf mit Zentrierung das vereinfachte Bemessungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA angewendet werden.	**Einlage von weichen Streifen** Verwendung von weichen Streifen z.B. aus Polystyrol oder Mineralwolle Einbau: Schalung bzw. Filigrandeckenplatten in der Höhe um die Dicke des Streifens (ca. 5 mm) durch Montagestützen anheben Zentrieren auch bei schlanken Decken ist zu empfehlen.

Literatur

[1] Gremmel, M.: Zur Ermittlung der Tragfähigkeit schlanker Mauerwerkswände an Bauteilen in wirklicher Größe, Dissertation Technische Universität Braunschweig, Braunschweig 1978

[2] Kirtschig, K.: Zur Tragfähigkeit von Mauerwerk bei mittiger Druckbeanspruchung, Mitteilungen aus dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Universität Hannover, Heft 31, Hannover 1975

[3] Mann, W.; Müller, H.: Bruchkriterien für querkraftbeanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Windscheiben, Die Bautechnik, Heft 12, Berlin 1973

[4] DIN EN 1996-1-1:2013-02: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA:2019-12

[5] DIN EN 1996-1-2:2011-04: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall; in Verbindung mit DIN EN 1996-1-2/NA:2022-09

[6] DIN EN 1996-2:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; in Verbindung mit DIN EN 1996-2/NA:2012-01 +A1:2021-06

[7] DIN EN 1996-3:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; in Verbindung mit DIN EN 1996-3/NA:2019-12

[8] DIN 4172:2006-08 Maßordnung im Hochbau

[9] DIN EN 1990:2010-12 Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung mit DIN EN 1990/NA:2010-12

[10] Graubner, C.-A.; Brehm, E.: Analyse der maßgebenden Einwirkungskombinationen zur rationellen Bemessung von unbewehrten Bauteilen im üblichen Hochbau. Forschungsbericht F06-7-2009, BBR, Berlin 2009

[11] Roeser, W.; Gusia, W.: Gutachten Deckenzuschläge für nicht tragende Wände aus Kalksandstein, Aachen 2005

[12] Steinle, A.; Hahn, V.: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1995

[13] Leicher, G. W.: Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Werner Verlag, Düsseldorf 2002

[14] Graubner, C.-A.; Förster, V.: Erweiterung des vereinfachten Nachweisverfahrens von DIN EN 1996-3/NA für hohe Wände aus Kalksandstein. Forschungsbericht F15-13-2014, Darmstadt 2014

[15] Graubner, C.-A.; Spengler, M.: Vereinfachter Nachweis von erddruckbelasteten Kellerwänden. Forschungsbericht DGfM Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau, Berlin 2006

[16] DIN 18530:1987-03: Massive Deckenkonstruktionen für Dächer. Planung und Ausführung

Bildnachweise

Bild S. 180: Ojo Images; **Bild S. 209:** Csaba Mester; **Bild S. 210:** © Henning Koepke/KS-ORIGINAL

Bild 1, Bild S. 185; Bild 34, Bild 35: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 10

BRANDSCHUTZ

Dipl.-Ing. Christiane Hahn,
ö.b.u.v. Sachverständige für Brandschutz, Braunschweig/Hamburg

Stand: 08/2025

1. Einleitung

1.1 Bedeutung des Brandschutzes

Der Brandschutz wird ausführlich in allen 16 Landesbauordnungen (LBO) geregelt. Die generelle Forderung der Musterbauordnung (MBO [1]) lautet:

„Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass

- *der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und*
- *bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie*
- *wirksame Löscharbeiten möglich sind."*

In einzelnen Abschnitten der LBO werden dann die brandschutztechnischen Anforderungen an die Bauteile und Baustoffe – heute Bauprodukte – geregelt. Im Rahmen dieses Beitrages werden alle Forderungen insbesondere an Wände aus KS-Mauerwerk erläutert.

Eine häufige Frage ist: „warum Brandschutz, der kostet doch nur…" Durch die Umsetzung der bauaufsichtlichen Brandschutzanforderungen sollen aber die oben genannten Forderungen erfüllt werden, die dazu dienen, Menschenleben zu retten, Nachbarn gegen Brand zu schützen und der Feuerwehr Löscharbeiten zu ermöglichen. Der Brand soll möglichst auf einen Brandabschnitt, eine Nutzungseinheit, begrenzt werden. Die Verhinderung eines Brandes ist kaum möglich. Das Schutzziel der bauaufsichtlichen Anforderungen ist der Personenschutz und nicht der Sachschutz. Sachschutz kann aber von der Sachversicherung bei Sonderbauten gefordert werden.

1.2 Sicherheitskonzept

In der Vergangenheit wurde von der Bauaufsicht ein Sicherheitskonzept nicht ausdrücklich definiert. Erst im Rahmen der europäischen Normung mit Einführung des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts in DIN EN 1991-1-2 [N10, N11] wurden hierzu Untersuchungen durchgeführt und ausführlich diskutiert.

Das bauordnungsrechtliche Schutzziel wurde mit folgender Wertigkeit definiert:

1. Menschenrettung
2. Nachbarschutz
3. Löschmöglichkeiten
4. Standsicherheit der Bauteile
5. Raumabschluss von Bauteilen
6. Anlagentechnik

Standsicherheit von tragenden Bauteilen im Brandfall bedeutet, dass ein Bauteil ab der dem Klassifizierungszeitpunkt folgenden Minute versagen darf, z.B. in der 91. Minute der Anforderung bei feuerbeständig. Anlagentechnik (z.B. Löschanlagen) wird in der Regel baurechtlich als zusätzlicher Schutz eingestuft bzw. bei Sonderbauten zur Reduzierung des Risikos einer Brandweiterleitung eingesetzt. Bei der Anlagentechnik wird aber auch als Restrisiko und frühzeitigem Löschen akzeptiert, dass eine Anlage nicht 100 %ig funktioniert. Eine 100 %ige Funktionssicherheit wäre nur durch die Ausführung von redundanten Anlagen möglich. Statistisch gesehen haben z.B. Sprinkleranlagen eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 3 bis 5 %.

Versicherungen setzen voraus, dass die baurechtlichen Brandschutzanforderungen erfüllt sind und fordern dann ggf. zusätzliche Maßnahmen, um Sachschäden bei einem Risiko zu minimieren und damit die Sachkosten im Brandfall zu senken. Dies gilt insbesondere für eine Nutzung mit hohen Risiken und hohen Sachwerten, z.B. im Industriebau.

1.3 Brandschäden

Statistisch gesehen brennt es in jeder Nutzungseinheit alle 50 Jahre. In Bild 1 sind die Hauptursachen für eine Brandentstehung dargestellt. In Großstädten, wie z.B. Hamburg oder Berlin muss mit 1 Brandtoten pro ca. 80.000 Einwohner und Jahr gerechnet werden. Insgesamt gab es im Jahr 2010 laut Aufstellungen der Versicherer 150 Brandtote. Diese relativ geringe Zahl ist u.a. in dem guten baulichen Brandschutz in Deutschland begründet.

Die Schadenssummen aus Brandschäden belaufen sich pro Jahr auf ca. 3 Milliarden Euro. Davon sind in der Regel 150 Großschäden ab 500.000 Euro pro Jahr. Der größte Einzelschaden belief sich bisher auf 300 Millionen Euro. In Tafel 1 sind beispielhaft Brandhäufigkeiten von Wohngebäuden in Hamburg dargestellt. Die Brandhäufigkeit hängt auch von der Nutzungsart eines Gebäudes ab.

Im Rahmen der Auswertungen der Brandentstehungshäufigkeit wurde bestätigt, dass insbesondere die Bauart der Wohnungstrennwände entscheidenden Einfluss auf die Feuerwiderstandsdauer hat. In Tafel 2 sind die Schlussfolgerungen zur Brandent-

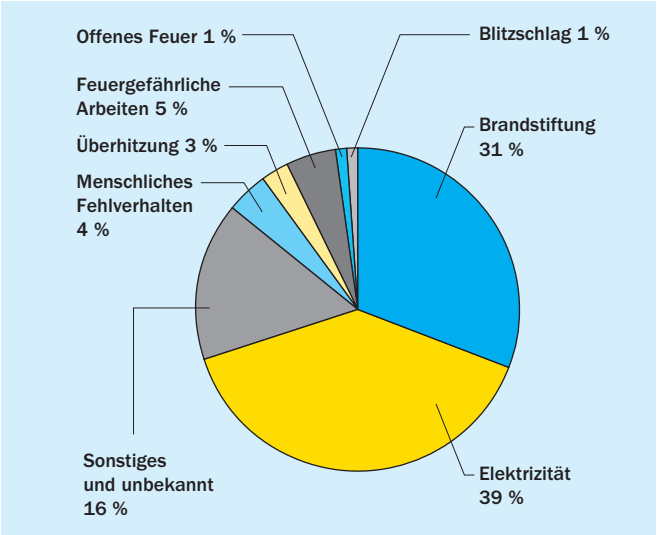


Bild 1 Schadensursachen [2]

Tafel 1 **Statistische Auswertung der Brandentstehungshäufigkeit in Wohngebäuden aus der Einsatzstatistik der Berufsfeuerwehr Hamburg in Anlehnung an [3]**

Brandhäufigkeiten am Beispiel von Wohngebäuden in Hamburg			
Anzahl der Wohnungen Gesamtwohnfläche Anzahl der Gebäude	783.116 62.649.280 196.967	**Anzahl der Brände**	
		In Wohnungen Außerhalb von Wohnungen	1.117 923
Statistische Häufigkeit von Bränden (Mittelwert)			
In Wohnungen je 1.000 Wohnungen und Jahr	1,43	In Wohnungen je 1.000 m²	0,0178
Außerhalb von Wohnungen je 1.000 Wohngebäuden	4,68	–	–

Tafel 2 **Schlussfolgerungen aus der statistischen Auswertung der Brandentstehungshäufigkeit in Wohngebäuden nach Tafel 1**

Bauart		Zulässige Brandabschnittsgröße [m²]
Wände	**Decken**	
Feuerbeständige Kalksandsteinwände (F 90-A)	Feuerbeständige Decken (F 90-A)	10.000
Feuerbeständige Kalksandsteinwände (F 90-A)	Holzbalkendecken	1.800
Holzwände	Holzbalkendecken	400[1)]

[1)] HBauO 2018: Brandabschnitt (BA) ≤ 800 m², Nutzungseinheit (NE) ≤ 200 m², Holzmassivbauweise F90-B

stehungshäufigkeit in Abhängigkeit von der Bauart und deren Auswirkung auf zulässige Brandabschnittsgrößen zusammengefasst. Der Feuerwiderstand und der Raumabschluss brennbarer Wohnungstrennwände haben damit entscheidenden Einfluss auf die Brandweiterleitung.

KS-Mauerwerk ist nichtbrennbar. Es begrenzt Brände und trägt selbst nicht zum Brand bei. Hölzerne Dachstühle brennen solange weiter bis alles Holz verbrannt ist. Ebenso verhalten sich Holzbalkendecken. Die Feuerwehr hat dann keine Möglichkeit, das Feuer rechtzeitig zu löschen. Daher gab es im Mittelalter und in der Neuzeit große Stadtbrände – London 1666, Hamburg 1842 – bis die Aufsichtsbehörden Mauerwerk als Brandmauern zur Behinderung der Brandweiterleitung vorschrieben. Erst mit der zunehmenden Verwendung von Mauerwerk wurden Großbrände in engen Bebauungen reduziert.

INFO

KS-Mauerwerk ist nichtbrennbar.

Man muss nur einem Brand zugesehen haben, um zu begreifen, welche Macht das Feuer hat und wie ausgeliefert man sein kann, auch wenn man selbst Hab und Gut nicht verloren hat. Die Versicherung kann zwar den materiellen Schaden weitgehend ausgleichen, sie kann aber nicht Erinnerungsstücke ersetzen und insbesondere keine Personenschäden ungeschehen machen. Bei Personenschäden ermittelt immer auch die Staatsanwaltschaft und prüft, ob gegen geltende Vorschriften verstoßen wurde und ob es dafür Verantwortliche gibt.

1.4 Haustechnik

Brandschutz funktioniert nur, wenn frühzeitig eine Koordination zwischen den Bauteilen und der Haustechnik – elektrische Leitungsanlagen, sanitäre Anlagen, Lüftungsleitungen, etc. – erfolgt und erforderliche Brandschutzmaßnahmen konsequent umgesetzt werden. Ebenso muss regelmäßig gemäß Wartungsanleitung gewartet werden. Dies gilt nicht nur während der Errichtung eines Gebäudes, sondern insbesondere auch während der Lebensdauer eines Gebäudes. Gebäude werden länger genutzt als die enthaltene Haustechnik. Sie muss erneuert und dem jeweiligen Standard angepasst werden. Mauerwerk und Haustechnik lassen sich planerisch einfach koordinieren und einfach in Brandschutzmaßnahmen umsetzen, im Gegensatz zur Haustechnik beim Trockenbau. Weitere Angaben sind im Abschnitt 4.9 enthalten.

1.5 KS-Mauerwerk

Bei Verwendung von KS-Mauerwerk ist der Brandschutz automatisch enthalten und damit sichergestellt. KS-Mauerwerk ist aufgrund seiner Herstellung und Zusammensetzung nichtbrennbar und hat hinsichtlich der Tragfähigkeit – Standsicherheit im Brandfall – und des Raumabschlusses ein sehr günstiges Brandverhalten. Versicherungen legen aus diesem Grund den Standardsatz bei der Verwendung von Mauerwerk zugrunde oder rabattieren in Verbindung mit dem jeweiligen Gebäude sogar. Ein Risikoaufschlag erfolgt nicht, weil das günstige Brandverhalten von Mauerwerk geschätzt wird. Bei Holzbauten oder im Trockenbau kann hingegen ein Risikozuschlag erfolgen, der im Einzelfall geprüft wird.

Mauerwerk ist in brandschutztechnischer Sicht nachhaltig und stellt passiven und wirksamen Brandschutz dar. Es ist keine regelmäßige Überprüfung oder Wartung wie beim aktiven Brandschutz, den Ausbauten (z.B. Brandschutztüren) oder der Haustechnik erforderlich.

2. Bauaufsichtliche Anforderungen

2.1 Grundlagen

Die folgenden Ausführungen können nur einen Überblick zu den brandschutztechnischen Grundlagen und Anforderungen geben. Weitere Details sind der Fachliteratur und den jeweiligen Landesbauordnungen sowie Vorschriften, Verordnungen, Richtlinien, insbesondere zu Sonderbauten, zu entnehmen. Die wesentlichen Brandschutzanforderungen werden anhand der neuen Musterbauordnung (MBO Fassung Mai 2016) und der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2017/1) einschließlich der mitgeltenden Muster-Richtlinien und -Verordnungen zum Brandschutz erläutert. Insbesondere die MVV TB enthält zusätzliche bauaufsichtliche Anforderungen an Bauwerke, welche die Schutzziele und damit auch das nationale Sicherheitsniveau betreffen. Diese wirken sich direkt auch auf Baustoffe und Bauteile aus.

2.2 Musterbauordnung (MBO)

Die Generalklausel des Brandschutzes und damit das baurechtliche Schutzziel wurden bereits im Abschnitt 1 erläutert. Sie ist in ähnlicher Fassung in allen Landesbauordnungen enthalten.

Um diese Grundsatzanforderung der MBO zu erfüllen, werden an Bauteile sowie Baustoffe (Bauprodukte) zahlreiche Einzelanforderungen gestellt.

Für **Bauteile** unterscheiden die bauaufsichtlichen Anforderungen u.a.

- feuerhemmend
- hochfeuerhemmend
- feuerbeständig
- Brandwand oder Bauart Brandwand

Für **Baustoffe** werden Zusatzanforderungen gestellt die z.B. mit

- nichtbrennbar
- im Wesentlichen nichtbrennbar
- mindestens schwerentflammbar
- mindestens normalentflammbar

umschrieben werden.

Weitere Angaben zu Baustoffen, sind in Abschnitt 2.5 enthalten.

Die Grundlagen bauaufsichtlicher Brandschutzanforderungen sind in den jeweils geltenden Landesbauordnungen und der zugehörigen Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen sowie in den mitgeltenden Verordnungen und Richtlinien enthalten. Obwohl die Landesbauordnungen auf der von den Ländern in der Fachkommission Bautechnik gemeinsam erarbeiteten Musterbauordnung (MBO) basieren, ist es bis heute nicht gelungen, einheitliche Bauordnungen über Brandschutzanforderungen in Deutschland zu schaffen. Alle Landesbauordnungen sollten im Wesentlichen die MBO zugrunde legen, haben aber aufgrund von regionalen Eigenheiten oder politischen Vorgaben immer wieder Änderungen vorgenommen.

Mit Geltung der aufgrund des EuGH Urteils vom Oktober 2014 grundlegend geänderten MBO im formalen Nachweis wurden auch die Bauregellisten und die Liste der Technischen Baubestimmungen durch die neue Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) ersetzt. Der jeweils aktuelle Stand der MBO und der MVV TB sowie weiterer Mustervorschriften ist unter www.is-argebau.de einsehbar. Aufgrund verwaltungstechnischer Verzögerungen wurden die Bauämter in der Übergangsphase von alter zu neuer MBO angewiesen, die bisherigen Verwendbarkeitsnachweise auch bei Ablauf der Gültigkeit weiter anzuerkennen. Dem Wunsch der Brandschutzexperten und der Praxis, die Brandschutzvorschriften in den Bauordnungen auf die „Generalklausel“ zu beschränken und zusätzlich nur dadurch zu ergänzen, dass Gebäude im Brandfall standsicher sein müssen, wurde bisher nicht entsprochen. Technische Regeln lassen sich leichter der Baupraxis anpassen als Bauordnungen oder Verwaltungsvorschriften.

2.3 Definition Gebäude

2.3.1 Grundlagen

Alle Landesbauordnungen, die dazugehörenden Durchführungsverordnungen bzw. die Verwaltungsvorschriften, unterscheiden

- Gebäude normaler Art und Nutzung (z.B. Wohngebäude und Gebäude vergleichbarer Nutzung einschließlich einfache Büro- und Verwaltungsgebäude),
- Gebäude besonderer Art oder Nutzung – Sonderbauten (z.B. Versammlungsstätten, Verkaufsstätten, Hotels, Gaststätten, Schulen, Krankenhäuser, Hochhäuser oder Industriebauten usw.).

2.3.2 Gebäude normaler Art und Nutzung

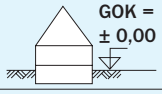
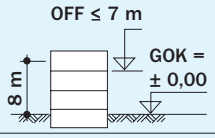
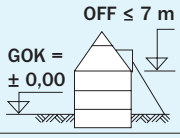
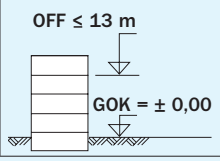
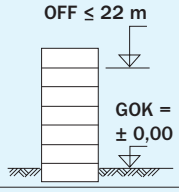
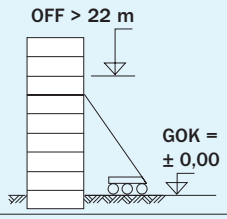
Im Bereich der Gebäude normaler Art und Nutzung wird nach Gebäudearten bzw. Gebäudeklassen unterschieden. Nach einheitlich geltendem Baurecht erfolgt die Einteilung der Gebäude nach Vollgeschossen. Die Brandschutzanforderungen werden in Abhängigkeit von der Anzahl der Geschosse festgelegt. Diese Einteilung ist in Abhängigkeit von der Anleiterbarkeit bei einem Feuerwehreinsatz definiert. Dazu werden die Begriffe Vollgeschoss und Höhe herangezogen. Teilweise werden an Hochhäuser (OFF ≥ 22 m) Brandschutzanforderungen getrennt über eine „Hochhausrichtlinie“ gestellt.

INFO

Maßgebend ist immer die jeweils gültige Landesbauordnung.

Bei den geltenden Bauordnungen auf der Grundlage der MBO sind die Gebäude normaler Art und Nutzung in 5 Gebäudeklassen unterteilt (Tafel 4). Im Höhenbereich zwischen 7 und 22 m erfolgte eine zusätzliche neue Unterteilung. Außerdem erfolgt auch eine Unterteilung in Abhängigkeit von der Anzahl und Größe der Nutzungseinheiten (NE). Hierbei wird als Grenze für die Grö-

Tafel 3 Erläuterung der Gebäudeklassen nach Musterbauordnung

Gebäudeklassen				
1 Gebäude, freistehend	**2** Gebäude	**3** Sonstige Gebäude	**4** Gebäude	**5** Sonstige Gebäude, einschließlich unterirdische Gebäude
OFF[1] ≤ 7 m	OFF ≤ 7 m	OFF ≤ 7 m	> 7 m OFF ≤ 13 m	OFF > 7 m[2]
2 NE[3] Σ 400 m²	2 NE[3] Σ 400 m²	–	je NE[3] < 400 m²	–
Feuerwehreinsatz mit Steckleitern Fensterbrüstung < 8 m			Feuerwehreinsatz mit Drehleiter alternativ: zweiter baulicher Rettungsweg	
				
				Hochhäuser[1] mind. 1 Aufenthaltsraum > 22 m über OFF 

[1] Oberkante Fertigfußboden
[2] Siehe Tafel 4
[3] Nutzungseinheit

Tafel 4 Gebäudeklassen nach Musterbauordnung MBO

Gebäudeklasse[1]	Beschreibung
1	Freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m mit nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt ≤ 400 m²
	Freistehende landwirtschaftlich genutzte Gebäude
2	Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m mit maximal zwei Nutzungseinheiten von insgesamt ≤ 400 m²
3	Sonstige Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m
4	Gebäude mit einer Höhe > 7 m bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils ≤ 400 m²
5[1]	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude

[1] In einigen Landesbauordnungen ist eine Höhenbegrenzung OFF < 22 m bzw. ≤ 22 m aufgenommen. Hochhäuser sind Sonderbauten.

Nach MBO ist mit „Höhe" gemeint: das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel.

Nach MBO ist mit den Flächenangaben gemeint: Die Grundflächen der Nutzungseinheiten sind die Brutto-Grundflächen; bei der Berechnung der Brutto-Grundflächen bleiben Flächen in Kellergeschossen außer Betracht.

ße eine Fläche von 400 m² gesetzt (Tafel 3). Die Fläche ist als Brutto-Grundfläche (BGF) definiert. Die Höhe ist das Maß der Fußbodenoberkante (OFF) des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel. Der Bezugspunkt der Geländeoberfläche ist in den Bundesländern unterschiedlich. Die Bruttogrundfläche BGF und Höhe *h* sind in Tafel 4 definiert.

2.3.3 Gebäude besonderer Art oder Nutzung (Sonderbauten)

In den Landesbauordnungen werden die baulichen Anlagen besonderer Art oder Nutzung nur im Grundsatz behandelt.

In der MBO werden Sonderbauten wie folgt definiert:

„Sonderbauten sind Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung, die einen der nachfolgenden Tatbestände erfüllen:

1. *Hochhäuser (Gebäude mit einer Fußbodenhöhe des obersten Aufenthaltsraums über Gelände von mehr als 22 m)*
2. *Bauliche Anlagen mit einer Höhe von mehr als 30 m*
3. *Gebäude mit mehr als 1.600 m² Grundfläche des Geschosses mit der größten Ausdehnung, ausgenommen Wohngebäude und Garagen*
4. *Verkaufsstätten, deren Verkaufsräume und Ladenstraßen eine Grundfläche von insgesamt mehr als 800 m² haben*
5. *Gebäude mit Räumen, die einer Büro- oder Verwaltungsnutzung dienen und einzeln eine Grundfläche von mehr als 400 m² haben*
6. *Gebäude mit Räumen, die einzeln für die Nutzung durch mehr als 100 Personen bestimmt sind*
7. *Versammlungsstätten*
   a) mit Versammlungsräumen, die insgesamt mehr als 200 Besucher fassen, wenn diese Versammlungsräume gemeinsame Rettungswege haben
   b) im Freien mit Szenenflächen sowie Freisportanlagen, jeweils mit Tribünen, die keine fliegenden Bauten sind und insgesamt mehr als 1.000 Besucher fassen

8. *Schank- und Speisegaststätten mit mehr als 40 Gastplätzen in Gebäuden oder mehr als 1.000 Gastplätzen im Freien, Beherbergungsstätten mit mehr als 12 Betten und Spielhallen mit mehr als 150 m² Grundfläche*

9. *Gebäude mit Nutzungseinheiten zum Zwecke der Pflege oder Betreuung von Personen mit Pflegebedürftigkeit oder Behinderung, deren Selbstrettungsfähigkeit eingeschränkt ist, wenn die Nutzungseinheiten*
   a) einzeln für mehr als 6 Personen
   oder
   b) für Personen mit Intensivpflegebedarf bestimmt sind,
   oder
   c) einen gemeinsamen Rettungsweg haben und für insgesamt mehr als 12 Personen bestimmt sind

10. *Krankenhäuser*

11. *Sonstige Einrichtungen zur Unterbringung von Personen sowie Wohnheime*

12. *Tageseinrichtungen für Kinder, Menschen mit Behinderung und alte Menschen, ausgenommen Tageseinrichtungen einschließlich Tagespflege für nicht mehr als zehn Kinder*

13. *Schulen, Hochschulen und ähnliche Einrichtungen*

14. *Justizvollzugsanstalten und bauliche Anlagen für den Maßregelvollzug*

15. *Camping- und Wochenendplätze*

16. *Freizeit- und Vergnügungsparks*

17. *Fliegende Bauten, z.B. Zelte, soweit sie einer Ausführungsgenehmigung bedürfen*

18. *Regallager mit einer Oberkante Lagerguthöhe von mehr als 7,50 m*

19. *Bauliche Anlagen, deren Nutzung durch Umgang oder Lagerung von Stoffen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr verbunden ist*

20. *Anlagen und Räume, die in den Nummern 1 bis 19 nicht aufgeführt und deren Art oder Nutzung mit vergleichbaren Gefahren verbunden sind“*

Für diverse Sonderbauten wurden und werden Muster-Sondervorschriften erarbeitet (Tafel 5). Die Richtlinien/Verordnungen berücksichtigen jeweils die besonderen Gegebenheiten.

Da die Mustervorschriften im Internet unter www.is-argebau.de veröffentlicht und damit allgemein verfügbar sind, stellen sie den Stand der Technik dar. Trotzdem führen einzelne Bundesländer auch diese Regeln wiederum einzeln ein und nehmen zusätzlich Änderungen bzw. Modifikationen vor. Maßgebend ist daher zunächst immer die eingeführte Regel des Bundeslandes; der Rest liegt im Ermessen der örtlichen Bauaufsichtsbehörde. Bei veralteten Regeln sollte es leicht sein, den Stand der Technik – Mustervorschrift – umzusetzen. Dies sollte man auch unbedingt dann tun, wenn die Mustervorschrift höhere Anforderungen stellt, weil damit der Stand der Technik abgedeckt wird und die Entwicklung gerade in diesem Bereich weiter fortschreitet. Beispielsweise haben Sonderbauten gegenüber früher einen wesentlich höheren Installationsgrad im Bereich der Lüftung und Elektrotechnik. Damit wurde das Brandrisiko vergrößert. Außerdem werden zunehmend verschiedene Nutzungen in einem Gebäude zusammengefasst, so dass auch hierdurch das Brandrisiko anders und komplexer zu beurteilen ist.

Als Beispiel sei die Muster-Industriebau-Richtlinie (Fassung Juli 2014) in Verbindung mit DIN 18230-1:2010-09 – Baulicher Brandschutz im Industriebau – erwähnt. Die Norm DIN 18230 ermöglicht die Brandschutzbemessung von Industriebauten für den konkreten Einzelfall. Mit Hilfe der Norm werden die tatsächlich anzusetzenden Brandlasten aufgrund der Nutzung für ein konkretes Industriegebäude in Abhängigkeit von den Abmessungen des Gebäudes und der Ventilation sowie der abwehrenden Brandschutzmaßnahmen bestimmt. Mit den Ergebnissen werden dann die Brandschutzanforderungen an Bauteile festgelegt. Es wird die „rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer (erf t_F)“ ermittelt, aus der sich die „Brandschutzklassen I bis V“ ergeben. Innerhalb eines umfassenden Brandschutzkonzepts werden insbesondere brandschutztechnische Anforderungen an Wände ermittelt, die das Industriegebäude in Brandabschnitte (BA) und auch in Brandbekämpfungsabschnitte (BBA) unterteilen. Das kann zu feuerhemmenden Wänden, zu feuerbeständigen oder auch zu Brandwänden führen. Im Bereich der Brandwände (im Prinzip: feuerbeständig bzw. F 90-A mit Stoßbeanspruchung) gibt es die Besonderheit, dass für Brandwände auch die Eigenschaften feuerhemmend (F 30) oder F 120, jedoch mit Stoßbeanspruchung, gefordert werden kann. Gemäß Landesbauordnungen und der nationalen DIN 4102-3 sind Brandwände feuerbeständig (F 90). Daraus

Tafel 5 **Muster-Richtlinien und -Verordnungen für Sonderbauten (Stand: September 2017)**

Hochhäuser MHHR	Versammlungsstätten (MVStättVO)[1)]	Beherbungsstätten (MBeVO)[1)]	Krankenhäuser[2)]	Verkaufsstätten (MVkVO)[3)]	Garagen (MGarVO)	Schulbau Richtlinie	Industriebau Richtlinie (MIndBau RL)
04.2008/ 05.2012	06.2005/ 07.2014	12.2000/ 05.2014	12.1976	09.1995/ 07.2014	05.2008/ 10.2008	04.2009	07.2014

[1)] Ersetzt GastVO (alt)
[2)] Zurückgezogen
[3)] Ersetzt Geschäftshäuser (alt)

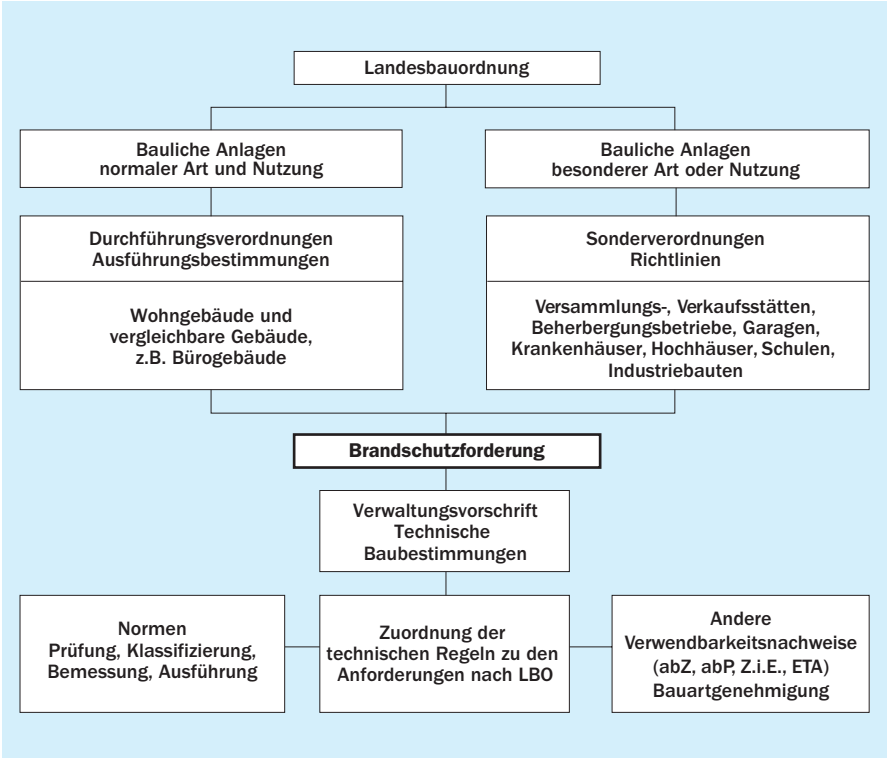


Bild 2 Überblick über die Zusammenhänge der bauaufsichtlichen Brandschutzvorschriften

folgt, dass Brandwände, geprüft nach DIN 4102-3, immer die Anforderung feuerhemmend (F 30) weit auf der sicheren Seite liegend erfüllen. Allerdings ist eine Reduzierung der Wanddicke trotzdem meist nicht möglich, weil überwiegend die Stoßbeanspruchung für die Bemessung maßgebend ist. Die Erfüllung der Anforderung „Brandwand mit der Feuerwiderstandsklasse F 120“ ist jedoch gesondert nachzuweisen, siehe auch Abschnitt 4.6.

In Anlehnung an DIN 18230 können auch für andere Gebäude als Industriebauten Brandlasten ermittelt werden und im Rahmen von Brandschutzkonzepten tatsächlich erforderliche Feuerwiderstandsdauern von Bauteilen ermittelt werden. Der Weg führt immer mehr zu einer ingenieurmäßigen Bemessung von Bauteilen im Brandfall, weil für die heutigen modernen Sonderbauten die Brandschutzanforderungen mit Einzelvorschriften nicht mehr zu regeln sind.

Als Beispiel eines komplexen Sonderbaues kann ein Einkaufszentrum mit Versammlungsstätte im Bereich von Gastronomischen Bereichen sowie mit Großgarage und Büro-/Verwaltungseinheiten genannt werden.

Bei einer Zusammenstellung der Richtlinien und Verordnungen für Sonderbauten der Bundesländer wird deutlich, dass es wichtig ist, die richtige bzw. maßgebende Brandschutzanforderung zu bestimmen und damit wirtschaftliches Bauen zu ermöglichen.

Die Zusammenhänge zwischen Bauordnung und Brandschutzforderung werden in Bild 2 verdeutlicht.

2.4 Bauprodukte – Wände

2.4.1 Bauaufsichtliche Anforderungen

Baustoffe werden nach den Anforderungen an ihr Brandverhalten unterschieden – nichtbrennbar, schwerentflammbar, normalentflammbar. Baustoffe, die leichtentflammbar sind, dürfen nicht verwendet werden. Dies gilt nicht, wenn sie in Verbindung mit anderen Baustoffen nicht leichtentflammbar sind.

Bauteile werden grundsätzlich nach den Anforderungen an ihre Feuerwiderstandsfähigkeit unterschieden – feuerbeständig, hochfeuerhemmend, feuerhemmend. Sie werden aber auch nach dem Brandverhalten ihrer Baustoffe unterschieden:

- Bauteile aus nichtbrennbaren Baustoffen
- Bauteile, deren tragende und aussteifende Teile aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen und die bei raumabschließenden Bauteilen zusätzlich eine in Bauteilebene durchgehende Schicht aus nichtbrennbaren Baustoffen haben
- Bauteile, deren tragenden und aussteifenden Teile aus brennbaren Baustoffen bestehen und die allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung) und Dämmstoffe aus nichtbrennbaren Baustoffen haben

2.4.2 Wände (allgemein)

In Tafel 6 sind wesentliche Brandschutzanforderungen nach MBO für Wände zusammengefasst – unterteilt nach Gebäudeklassen gemäß Tafel 4 soweit tabellarisch möglich. Ergänzende Erläuterungen und Ausnahmen sind in Fußnoten angegeben.

Gebäudeabschlusswände stellen für den Mauerwerksbereich ein wichtiges Anwendungsgebiet dar. Es ist zu beachten, dass der Begriff „Gebäudeabschlusswand“ nicht in allen Bundesländern ausdrücklich definiert wird. In einigen Fällen wird der Anwendungsbereich im Bereich der Brandwände oder Außenwände umschrieben.

2.4.3 Erläuterungen zu Außenwänden

Die Beurteilung von Außenwänden führt immer wieder zu Problemen in der Praxis. Sie werden daher in der MBO § 28 entsprechend definiert.

(1) **Außenwände (tragend und nicht tragend)** – und (nicht tragende) Außenwandteile tragender Außenwände wie Brüstungen und Schürzen – sind so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist.

Diese Anforderung gilt als erfüllt wenn alle Baustoffe in den genannten Bauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen und keine Hohlräume aufweisen.

(2) **Nicht tragende Außenwände und nicht tragende Teile tragender Außenwände** müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen; sie sind aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn sie als raumabschließende Bauteile feuerhemmend sind, d.h. W 30 nach DIN 4102-3.

Dies gilt nicht für:

- Türen und Fenster
- Fugendichtungen
- brennbare Dämmstoffe in nichtbrennbaren geschlossenen Profilen der Außenwandkonstruktionen
- die Gebäudeklassen 1 bis 3

(3.1) **Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen** müssen aus schwerentflammbaren Baustoffen bestehen, die nicht brennend abfallen oder abtropfen.

Dies gilt auch für:

- Balkonbekleidungen, die über die erforderliche Umwehrungshöhe hinaus hochgeführt werden
- mehr als zwei Geschosse überbrückende Solaranlagen an Außenwänden

Dies gilt nicht für die Gebäudeklassen 1 bis 3.

(3.2) **Dämmstoffe und Unterkonstruktionen in Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen** müssen aus schwerentflammbaren Baustoffen bestehen. Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn die Anforderungen nach Absatz (1) erfüllt sind.

Dies gilt nicht für die Gebäudeklassen 1 bis 3.

(4) Bei Außenwandkonstruktionen mit **geschossübergreifenden Hohl- oder Lufträumen sowie hinterlüfteten Außenwandbekleidungen** sind gegen die Brandausbreitung besondere Vorkehrungen zu treffen.

Dies gilt auch für:

- Doppelfassaden (nicht für Gebäudeklassen 1 und 2)
- den Hohlraum beim zweischaligen Mauerwerk mit belüftetem oder nicht belüftetem Hohlraum

Dies gilt nicht für die Gebäudeklassen 1 bis 3, sowie unabhängig von der Gebäudeklasse für zweischaliges Mauerwerk mit Schalenfuge ausgefüllt mit nichtbrennbarem Dämmstoff.

Tafel 6 Brandschutzanforderungen an Wände und Decken nach MBO (Stand: Mai 2016)

Gebäudeklasse		1	2	3	4	5
		OFF ≤ 7 m			OFF ≤ 13 m	
Anzahl Nutzungseinheiten		≤ 2 NE				
Brutto-Geschossfläche		Für alle NE: BGF ≤ 400 m²			Für jede NE: BGF ≤ 400 m²	
Gebäudeart		Freistehende Gebäude, freistehende land- oder forstwirtschaftliche Gebäude	–	Sonstige Gebäude	–	Sonstige Gebäude, inkl. unterirdischer Gebäude
Bauteile – Baustoffe						
Tragende und aussteifende Wände, Pfeiler	Keller	F 30-B	F 30-B	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
	Sonstige Geschosse, ausgenommen KG, DG, Balkone[14)]	–	F 30-B	F 30-B	F 60-BA	F 90-AB
	Dach	–	–	–	–	–
		–	F 30-B[1)]	F 30-B[1)]	F 60-BA[1)]	F 90-AB[1)]
Außenwände	Nicht tragende u. nicht tragende Teile tragender Außenwände[2)]	–	–	–	A	A
		–	–	–	W 30	W 30
Oberflächen und Außenwandbekleidungen inkl. Dämmstoffe, Unterkonstruktion		–	–	–	B1[3)4)]	B1[3)4)]
Brandwände[11)] als	Gebäudeabschluss	BW[7)]	BW	BW	BW	BW
	Unterteilung in Brandabschnitte von ≤ 40 m	F 60-BA	F 60-BA	F 60-BA	F 60-BA + M	BW
						F 90-A[10)]
	Unterteilung in Brandabschnitte mit BGF ≤ 10.000 m³	BW	–	–	–	–
		F 90-AB[11)]				
Notwendige Treppenräume[11)]	Außenwände	–	–	F 30-B[8)]	F 60-BA + M[8)]	Bauart BW[8)]
	Sonstige Geschosse	–	–	F 30-B	F 60-BA + M	Bauart BW
	Bekleidung, Einbauten, Dämmstoffe, Putze, Unterdecken	A	A	A	A	A
	Bodenbeläge ohne Gleitschutzprofile	B1	B1	B1	B1	B1
	Sicherheitstreppenraum	–	–	–	Bauart BW + A	Bauart BW + A
Notwendiger Flur[5)12)]	Außenwände	–	–	–	–	–
	Keller[6)]	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
	Sonstige Geschosse	–	–	F 30-B	F 30-B	F 30-B
	Bekleidung, Dämmstoffe, Unterdecken, Putze	A	A	A	A	A
	Bodenbeläge ohne Gleitschutzprofile	–	–	–	–	–

(Fortsetzung der Tafel und Fußnoten siehe folgende Seite)

Tafel 6 **Brandschutzanforderungen an Wände und Decken nach MBO (Stand: Mai 2016)** *Fortsetzung*

Gebäudeklasse		1	2	3	4	5
		OFF ≤ 7 m			OFF ≤ 13 m	
Anzahl Nutzungseinheiten		≤ 2 NE				
Brutto-Geschossfläche		Für alle NE: BGF ≤ 400 m²			Für jede NE: BGF ≤ 400 m²	
Gebäudeart		Freistehende Gebäude, freistehende land- oder forstwirtschaftliche Gebäude	–	Sonstige Gebäude	–	Sonstige Gebäude, inkl. unterirdischer Gebäude
Bauteile – Baustoffe						
Decken[13]	Keller	F 30-B	F 30-B	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
	Sonstige Geschosse, ausgenommen KG, DG, Balkone[14]	F 90-AB[7]	F 30-B	F 30-B	F 60-BA	F 90-AB
		F 90-A[10]	F 90-A[10]	F 90-A[10]	F 90-A[10]	F 90-A[10]
	Dach	–	–	–	–	–
		–	F 30-B[1]	F 30-B[1]	F 60-BA[1]	F 90-AB[1]
	unter/über Räumen mit erhöhter Explosions- und Brandgefahr	F 90-AB[5]	F 90-AB[5]	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
Trennwände[5] zwischen NE sowie NE und anders genutzten Räumen	Sonstige Geschosse, ausgenommen KG, DG, Balkone[6] [14]	–	–	F 30-B	F 60-BA	F 90-AB
	Dach	–	–	F 30-B	F 30-B	F 30-B
Trennwände[5] raumabschließend	zw. Keller und Aufenthaltsräumen[6]	–	–	F 30-B	F 30-B	F 30-B
	als Abschluss von Räumen mit Explosions- und erhöhter Brandgefahr	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
Fahrschachtwände, raumabschließend [15] außerhalb von notwendigen Treppenräumen und Wände von Triebwerksräumen		–	–	F 30-B	F 60-BA	F 90-A

Allgemeine Hinweise:
Gebäude einer Höhe ≥ 22 m sind Hochhäuser und den Sonderbauten zuzuordnen.
Bauaufsichtliche Benennungen siehe Tafel 8

NE: Nutzungseinheiten
WE: Wohneinheiten
M: Auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung
BW: Brandwand
BGF: Bruttogeschossfläche

Anforderungen:
[1] Wenn darüber Aufenthaltsräume möglich sind
[2] Ausgenommen: Fensterprofile, Fugendichtung, brennbare Dämmstoffe in nichtbrennbaren geschlossenen Profilen der Außenwandkonstruktionen
[3] Einschließlich Unterkonstruktionen und Dämmstoffen; mit geeigneten Maßnahmen auch in normalentflammbar möglich
[4] Für Außenwandkonstruktionen mit geschossübergreifenden Hohl- und Lufträumen und hinterlüftete Außenwandbekleidungen müssen gesonderte Maßnahmen getroffen werden.
[5] Ausgenommen sind Wohngebäude der Gebäudeklasse 1 und 2
[6] Maßgebend sind tragende und aussteifende Bauteile
[7] Nur zwischen landwirtschaftlich genutztem Teil und Wohnteil
[8] Ausgenommen sind nichtbrennbare Außenwände von Treppenräumen und die, die an diese Außenwände anschließende Gebäudeteile nicht gefährden.
[9] Wenn der umbaute Raum des landwirtschaftlich genutzten Gebäudes und Gebäudeteiles ≤ 2.000 m³ ist
[10] Wände geschossweise versetzt zulässig, wenn in Verbindung mit Decken in F 90-A und ohne Öffnungen und unterstützende Bauteile in F 90-A und Außenwände in der Breite des Versatzes ober- oder unterhalb F 90-AB und keine senkrechte Brandübertragung in andere Brandabschnitte möglich ist
[11] Ohne Öffnungen, ausgenommen in inneren Brandwänden mit Einschränkungen, M = Stoßbeanspruchung 3.000 Nm
[12] Nicht innerhalb von Wohnungen oder NE mit einer Grundfläche ≤ 200 m² bzw. innerhalb von Büro- oder Verwaltungsnutzung mit einer Grundfläche ≤ 400 m²
[13] Öffnungen sind zulässig in Wohngebäuden der Gebäudeklasse 1 und 2; innerhalb derselben NE ≤ 400 m² und ≤ 2 Geschosse; auf die Nutzung erforderliche Zahl sowie Größe beschränkt und Abschlüsse entsprechend der Feuerwiderstandsfähigkeit der Decke
[14] Ausgenommen offene Gänge als notwendige Flure und Balkone als Bestandteil des zweiten Rettungswegs
[15] Fahrschachtwände mit brennbaren Baustoffen benötigen eine schachtseitige Bekleidung aus A in ausreichender Dicke; Öffnungen sind so herzustellen, dass eine Brandausbreitung in andere Geschosse ausreichend lange verhindern wird.
[16] Gilt nur für Räume, die nicht an andere Räume oder Rettungswege angrenzen; nicht in Treppenräumen

2.5 Verwendbarkeitsnachweise

2.5.1 Grundlagen

In der MBO werden folgende Definitionen für Bauprodukte und Bauarten festgelegt.

INFO

Für die Verwendung von Bauprodukten und Bauarten in Deutschland gelten grundsätzlich die nationalen Regeln.

Die europäischen Prüf- und Klassifizierungsnormen dienen in erster Linie dazu, erforderliche Prüfungen in Europa zu vereinheitlichen und damit die Anzahl der Prüfungen zu reduzieren. Das nationale Sicherheitsniveau wird jedoch derzeit nicht harmonisiert. Die nationalen Brandschutzanforderungen an Bauwerke sind in der MVV TB festgelegt.

Weitere Erläuterungen hinsichtlich Brandschutz sind den folgenden Abschnitten zu entnehmen.

2.5.1.1 Definition Bauprodukte – Bauart

Bauprodukte sind

1. Baustoffe, Bauteile und Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen eingebaut zu werden,

und

2. aus Baustoffen und Bauteilen vorgefertigte Anlagen, die hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden wie Fertighäuser, Fertiggaragen und Silos.

Bauart ist das Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen oder Teilen von baulichen Anlagen.

Bauprodukte dürfen für die Errichtung, Änderung und Instandhaltung baulicher Anlagen nur verwendet werden, wenn sie für den Verwendungszweck

1. den Vorschriften der Bauproduktenverordnung (BauPVO) [4] entsprechen

oder

2. von den (nationalen) technischen Regeln (z.B. bauaufsichtlich eingeführte DIN-Normen) nicht oder nicht wesentlich abweichen.

2.5.1.2 Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen

Die Landesbauordnungen schreiben vor, dass die von den obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder durch öffentliche Bekanntmachung eingeführten technischen Regeln zu beachten sind. Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) macht im Einvernehmen mit der obersten Bauaufsichtsbehörde die Technischen Baubestimmungen als Verwaltungsvorschrift (MVV TB) bekannt.

Die MVV TB fasst nunmehr die früher in den Bauregellisten und in der Liste der Technischen Baubestimmungen enthaltenen technischen Regeln zusammen. Sie erläutert zudem alle in der MBO definierten Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und zur Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen und klärt damit die Aufgaben und Schutzziele.

Bauprodukte, die von den technischen Regeln in der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) wesentlich abweichen oder für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht gibt (nicht geregelte Bauprodukte), müssen

1. eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) MBO § 18 oder

2. ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) MBO § 19 oder

3. eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) MBO § 20

als Verwendbarkeitsnachweis haben. Davon ausgenommen sind Bauprodukte nach MVV TB Teil D.

Bauarten, die von Technischen Baubestimmungen wesentlich abweichen oder für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht gibt (nicht geregelte Bauarten), dürfen bei der Errichtung, Änderung und Instandhaltung baulicher Anlagen nur angewendet werden, wenn für sie gemäß MBO § 16a

1. eine allgemeine Bauartgenehmigung durch das Deutsche Institut für Bautechnik

oder

2. eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung durch die oberste Bauaufsichtsbehörde erteilt worden ist.

Weitere Angaben können der MBO und der MVV TB entnommen werden. Die MVV TB wird mindestens jährlich aktualisiert. Die jeweils aktuelle Fassung steht unter www.dibt.de zur Verfügung.

2.5.1.3 DIN EN 1996 (Eurocode 6) und DIN 4102-4

Bei Mauerwerk erfolgt gemäß MVV TB die Tragwerksbemessung für den Brandfall nach Teil 1-2 des Eurocode 6 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang:

- DIN EN 1996-1-2:2011-04 – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06 – Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerkbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

Für spezielle Ausbildungen (z.B. Anschlüsse, Fugen etc.) sind zusätzlich die Anwendungsregeln nach DIN 4102-4 ab 2016 zu beachten, sofern der Eurocode 6 dazu keine Angaben enthält.

2.5.2 Verwendbarkeitsnachweise im nationalen Verfahren

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)

Das DIBt erteilt eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für nicht geregelte Bauprodukte ohne CE-Kennzeichnung, wenn deren Verwendbarkeit im Sinne des § 16b Abs. 1 (MBO) nachgewiesen ist. Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung wird widerruflich und für eine bestimmte Frist erteilt, die in der Regel fünf Jahre beträgt. Die Zulassung kann mit Nebenbestimmungen erteilt werden, die bei der Ausführung zu beachten sind.

Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP)

Bauprodukte, die nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden, bedürfen anstelle einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nur eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses. Diese Bauprodukte werden in Teil C der MVV TB bekannt gemacht. Ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis wird von einer anerkannten Prüfstelle erteilt, wenn die Verwendbarkeit durch Prüfungen nachgewiesen ist.

Nachweis der Verwendbarkeit von Bauprodukten im Einzelfall (Z.i.E.)

Mit Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörde im Einzelfall dürfen Bauprodukte auch verwendet werden, wenn ihre Verwendbarkeit im Sinne der MBO nachgewiesen ist.

Wenn Gefahren (s. MBO) nicht zu erwarten sind, kann die oberste Bauaufsichtsbehörde im Einzelfall erklären, dass ihre Zustimmung nicht erforderlich ist. Hierfür gibt es das Verfahren der nicht wesentlichen Abweichung. Dieses wird Länderweise unterschiedlich gehandhabt.

Tafel 7 **Bauaufsichtliche Benennungen für Baustoffe und Klassifizierungen nach DIN EN 13501-1 bzw. DIN 4102-1**

Bauaufsichtliche Anforderung		Nationale Klasse nach DIN 4102-1	Europäische Klasse nach DIN EN 13501[1)2)]		Zusatzanforderungen	
			Bauprodukte, ausgenommen lineare Rohrdämmstoffe	Lineare Rohrdämmstoffe	Kein Rauch	Kein brennendes Abfallen/Abtropfen
Nichtbrennbare Baustoffe	Nicht-brennbar	A A 1 A 2	A1	$A1_L$	X	X
			A2 – s1,d0	$A2_L$ – s1, d0	X	X
Brennbare Baustoffe	Schwer-entflammbar	B	B – s1,d0 C – s1,d0	B_L – s1,d0 C_L – s1,d0	X	X
		B 1	A2 – s2,d0 A2 – s3,d0 B – s2,d0 B – s3,d0 C – s2,d0 C – s3,d0	$A2_L$ – s2,d0 $A2_L$ – s3,d0 B_L – s2,d0 B_L – s3,d0 C_L – s2,d0 C_L – s3,d0	–	X
		B 1	A2 – s1,d1 A2 – s1,d2 B – s1,d1 B – s1,d2 C – s1,d1 C – s1,d2	$A2_L$ – s1,d2 $A2_L$ – s1,d2 B_L – s1,d1 B_L – s1,d2 C_L – s1,d1 C_L – s1,d2	X	–
		B 1	A2 – s3,d2 B – s3,d2 C – s3,d2	$A2_L$ – s3,d2 B_L – s3,d2 C_L – s3,d2	–	–
	Normal-entflammbar	B 2	D – s1,d0 D – s2,d0 D – s3,d0 E	D_L – s1,d0 D_L – s2,d0 D_L – s3,d0 E_L	–	X
		B 2	D – s1,d1 D – s2,d1 D – s3,d1 D – s1,d2 D – s2,d2 D – s3,d2	D_L – s1,d1 D_L – s2,d1 D_L – s3,d1 D_L – s1,d2 D_L – s2,d2 D_L – s3,d2	–	–
		B 2	E – d2	E_L – d2	–	–
	Leicht-entflammbar	B 3	F	F_L	–	–

[1)] In den europäischen Prüf- und Klassifizierregeln ist das Glimmverhalten von Baustoffen nicht erfasst. Für Verwendungen, in denen das Glimmverhalten erforderlich ist, ist das Glimmverhalten nach nationalen Regeln nachzuweisen.

[2)] Mit Ausnahme der Klasse A1 (ohne Anwendung der Fußnote c zu Tabelle 1 der DIN EN 13501-1) und E kann das Brandverhalten von Oberflächen von Außenwänden und Außenwandbekleidungen (Bauarten) nach DIN EN 13501-1 nicht abschließend klassifiziert werden,

Übereinstimmungsnachweis

Bauprodukte bedürfen einer Bestätigung ihrer Übereinstimmung mit den technischen Regeln nach MBO § 85a Abs. 2, den abZ, den abP oder den Z.i.E.; als Übereinstimmung gilt auch eine Abweichung, die nicht wesentlich ist.

Die Bestätigung der Übereinstimmung erfolgt durch

1. Übereinstimmungserklärung des Herstellers (MBO § 22) oder
2. Übereinstimmungszertifikat (MBO § 23).

Die Verknüpfung der Klassifizierung von Bauarten und Bauprodukten erfolgt im Brandschutz über die Regelungen, die in der MVV TB enthalten sind.

Der Nachweis des Brandschutzes war für den Praktiker in der Vergangenheit schon relativ unübersichtlich. Durch die europäische Harmonisierung in Verbindung mit der Bauproduktenverordnung wurden die Landesbauordnungen mehrfach geändert. Die Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte wurden neu definiert und in der MVV TB niedergeschrieben.

Zum Nachweis des Brandschutzes muss für genormte Bauprodukte und genormte Bauarten im Mauerwerksbau

- der Nachweis nach DIN EN 1996-1-2/NA geführt werden.

Bei nicht genormten Bauprodukten muss entweder

- eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder
- ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) oder
- eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.),

bei Bauarten entweder

- eine allgemeine Bauartgenehmigung oder
- eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung

vorgelegt werden.

2.5.3 Verknüpfung bauaufsichtlicher Benennungen mit Klassifizierungen von Baustoffen, Bauteilen

In der MVV TB erfolgt auch die Verknüpfung der Brandschutzanforderungen der Bauordnungen mit den nationalen und europäischen Brandschutzklassifizierungen. Diese Klassifizierungen dürfen parallel verwendet werden. Sie sind aber nicht gleichwertig. Im Einzelfall ist daher bei Verwendung von europäischen Klassifizierungen zu prüfen, ob wirklich die Brandschutzanforderung gemäß deutschem Baurecht in allen Punkten erfüllt wird, s.a. Abschnitt 3.

Tafel 8 Bauaufsichtliche Benennung für Bauteile und Klassifizierung gemäß DIN 4102-2

Bauaufsichtliche Benennung	Kurzbezeichnung	Benennung nach DIN 4102
Feuerhemmend	F 30-B	Feuerwiderstandsklasse F 30
Feuerhemmend und in den tragenden Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 30-AB	Feuerwiderstandsklasse F 30 und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen
Hochfeuerhemmend	F 60-BA[1)]	Feuerwiderstandsklasse F 60 und in den tragenden Teilen aus brennbaren Baustoffen mit brandschutztechnisch wirksamer Bekleidung
Feuerbeständig	F 90-AB	Feuerwiderstandsklasse F 90 und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen
Feuerbeständig und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 90-A	Feuerwiderstandsklasse F 90 und aus nichtbrennbaren Baustoffen

[1)] Brandschutztechnisch wirksame Bekleidung bedeutet, nichtbrennbare Bekleidung K 60 nach DIN EN 13501-2. Am Holz dürfen nicht mehr als 300 °C auftreten, damit es nicht zu brennen anfängt.

Tafel 9 Bauaufsichtliche Benennung von Sonderbauteilen und Klassifizierung gemäß DIN 4102

Bauaufsichtliche Benennung	Bauteile	Benennung	Bauaufsichtlicher Nachweis
Feuerhemmend Feuerbeständig	nicht tragende Außenwände	W 30 W 90	abP[1)]
Feuerhemmend Feuerbeständig	Türen, Tore	T 30 T 90	abZ ETA, DIN EN
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Lüftungsleitungen	L 30, L 60, L 90, L 120	abP
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Klappen in Lüftungsleitungen	K 30, K 90	abZ, ETA
Feuerhemmend Feuerbeständig	Verglasungen – undurchlässig	F 30 F 90	abZ
Keine gesonderte Benennung	Verglasungen – durchlässig	G 30, G 60, G 90, G 120	abZ
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Rohrabschottungen – brennbar – nichtbrennbar	R 30, R 60, R 90, R 120	abZ/abP
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Kabelabschottungen	S 30, S 60, S 90, S 120	abZ
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Installationsschächte, -kanäle	I 30, I 60, I 90, I 120	abP, ETA
Funktionserhalt	Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen	E 30, E 60, E 90, E 120	abP, ETA

abP: allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis, erstellt durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle
abZ: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, erstellt durch das DIBt
ETA: European Technisch Approval
KS normativ geregelt (sonst abP)
[1)] KS-Wände mit F 30- oder F 90-Klassifizierung erfüllen auch die Anforderungen der entsprechenden W-Klassifizierung.

In Tafel 7 erfolgt die Gegenüberstellung der bauaufsichtlichen Benennung für Baustoffe mit DIN 4102-1 und nach DIN EN 13501-1.

In Tafel 8 erfolgt die bekannte Verknüpfung der bauaufsichtlichen Benennungen für Bauteile mit DIN 4102 und in Tafel 9 für Sonderbauteile. In Tafel 10 sind Erläuterungen der europäischen Klassifizierungskriterien für Bauteile und der zusätzlichen Angaben zur Klassifizierung zusammengefasst. In Tafel 11 erfolgt die Verknüpfung der bauaufsichtlichen Benennungen für Wände mit DIN 13501-2 und in Tafel 12 für Sonderbauteile.

Da in Deutschland weiterhin neben der europäischen Klasse die nationale Klasse verwendet werden darf, werden zunehmend die bauaufsichtlichen Begriffe verwendet.

Tafel 10 Erläuterungen der Klassifizierungskriterien und der zusätzlichen Angaben zur Klassifizierung des Feuerwiderstands nach DIN EN 13501-2, DIN EN 13501-3 und DIN EN 13501-4

Herstellung des Kurzzeichens	Kriterium	Anwendungsbereich
R (Résistance)	Tragfähigkeit	Zur Beschreibung der Feuerwiderstandsfähigkeit
E ((Etanchéité)	Raumabschluss	
I (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung) – Temperaturkriterium auf der feuerabgewandten Wandoberfläche	
W (Radiation)	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts	
M (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung)	
S_m ($Smoke_{max,\ leakage\ rate}$)	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate), erfüllt die Anforderungen sowohl bei Umgebungstemperatur als auch bei 200 °C	Rauchschutztüren (als Zusatzanforderung auch bei Feuerschutzabschlüssen), Lüftungsanlagen einschließlich Klappen
S (Smoke)	Rauchdichtheit (Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit)	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen, Brandschutzklappen
C (Closing)	Selbstschließende Eigenschaft (ggf. mit Anzahl der Lastspiele), einschließl. Dauerfunktion	Rauchschutztüren, Feuerschutzabschlüssen (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
C_{xx}	Dauerhaftigkeit der Betriebssicherheit (Anzahl der Öffnungs- und Schließzyklen)	Entrauchungsklappen
P	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung	Elektrische Kabelanlagen allgemein
G	Rußbeständigkeit	Schornsteine
K_1, K_2	Brandschutzvermögen	Wand- und Deckenbekleidungen (Brandschutzbekleidungen)
I_1, I_2	Unterschiedliche Wärmedämmungskriterien	Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
$i \rightarrow o$ $i \leftarrow o$ $i \leftrightarrow o$ (in – out)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Nicht tragende Außenwände, Installationsschächte/-kanäle, Lüftungsanlagen/-klappen
a ↔ b (above – below)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Unterdecken
v_e, h_o (vertical, horizontal)	Für vertikalen/horizontalen Einbau klassifiziert	Lüftungsleitungen, Brandschutzklappen, Entrauchungsleitungen
v_{ew}, h_{ow}	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände klassifiziert	Entrauchungsklappen
v_{ed}, h_{od}	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Leitungen klassifiziert	Entrauchungsklappen
v_{edw}, h_{odw}	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände und Leitungen klassifiziert	Entrauchungsklappen
U/U (uncapped/uncapped)	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
C/U (capped/uncapped)	Rohrende geschlossen innerhalb des Prüfofens/Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
U/C	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/Rohrende geschlossen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
MA	Manuelle Auslösung (auch automatische Auslösung mit manueller Übersteuerung)	Entrauchungsklappen
multi	Eignung, einen oder mehrere feuerwiderstandsfähige Bauteile zu durchdringen bzw. darin einzubauen	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen

Tafel 11 Bauaufsichtliche Benennung und Klassifizierung von Wänden nach DIN EN 13501-2

Bauaufsichtliche Benennung	Tragende Wände		Nicht tragende Innenwände	Nicht tragende Außenwände	Wände mit Stoßbeanspruchung tragend/nicht tragend
	nichtraumabschließend	raumabschließend			
Feuerhemmend	R 30	REI 30	EI 30	E 30 (i → o) und E 30-ef (i ← o)	REI-M 30[1)] EI-M 30[1)]
Hochfeuerhemmend	R 60	REI 60	EI 60	E 60 (i → o) und E 60-ef (i ← o)	REI-M 60[1)] EI-M 60[1)]
Feuerbeständig	R 90	REI 90	EI 90	E 90 (i → o) und E 90-ef (i ← o)	–
Brandwand	–	–	–	–	REI-M 90 EI-M 90
Feuerwiderstandsdauer 120 min.	R 120	REI 120	EI 120[1)]	–	REI-M 120[1)] EI-M 120[1)]

[1)] Nach Industriebaurichtlinie

2.6 Rauchdichte Bauteile

Trotz der Anforderung in der MBO über die „Ausbreitung von Feuer und Rauch“ ist festzustellen, dass es keine rauchgasdichten Bauteile gibt. In den Bauordnungen gibt es lediglich Anforderungen an dichte Türen oder rauchdichte Türen oder Rauchschutztüren. Die Definitionen sind in den einzelnen Bundesländern teilweise unterschiedlich. Unter dichten Türen werden in der Regel lediglich Türen mit Doppelfalz und dreiseitiger Dichtung verstanden. Unter rauchdichten Türen werden Rauchschutztüren nach DIN 18095 verstanden. Für Rauchschutztüren nach DIN 18095 wird nachgewiesen, dass bestimmte Grenzwerte einer Leckrate bis zu einer Temperaturbeanspruchung von 200 °C nicht überschritten werden. Die Klassifizierung lautete bisher „RS“, die neue ist jetzt „S_M-C“, siehe Tafel 12. Das Schutzziel ist, dass ein Mensch hinter einer derartigen Tür ohne Atemgerät mindestens 10 min. überleben kann. Also auch diese Türen sind nicht „dicht“ gegen Rauchgase. Normale Brandschutztüren T 30 oder T 90 erfüllen keine Anforderungen hinsichtlich einer Rauchdichtigkeit. Sie erfüllen nur dann diese Anforderungen, wenn sie zusätzlich nach DIN 18095 geprüft wurden. Europäisch werden in DIN EN 14600 die Anforderungen und Klassifizierungen geregelt. Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 1634-3.

Wände ebenso wie Decken sind nicht rauchdicht, weil die Leistungskriterien in DIN EN 13501 bzw. DIN 4102 keine direkten Beurteilungskriterien für diesen Gesichtspunkt enthalten. Die Forderungen der Landesbauordnungen, der Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch vorzubeugen, werden durch die Leistungskriterien der Normen erfüllt, d.h. mit einer Klassifizierung nach DIN EN 13501 oder DIN 4102 wird auch die Anforderung, dem Durchtritt von Rauch vorzubeugen, nachgewiesen. Dies gilt damit auch für unvermörtelte Stoßfugen gemäß DIN EN 1996-1-1/NA. Zudem kann aufgrund von Prüferfahrungen festgestellt werden, dass beidseitig mit mindestens 10 mm dickem Putz verputzte Mauerwerkswände hinsichtlich der Rauchgase bessere Werte zur Leckrate erzielen als Rauchschutztüren. Durch beim Brand auftretende Risse werden jedoch immer Rauchgase in einem gewissen Umfang durchtreten.

INFO

Für eine geforderte Rauchgasdichtigkeit, z.B. für Computerräume mit Datensicherung, müssen im Einzelfall gesonderte konstruktive Maßnahmen und Beurteilungen erfolgen.

2.7 Brandschutznachweise, Brandschutzkonzepte

Im Rahmen von Baugenehmigungsverfahren werden mittlerweile in den meisten Bundesländern Brandschutznachweise bzw. Brandschutzkonzepte gefordert. In fast allen Bundesländern werden Sonderbauten ohne Brandschutzkonzepte nicht mehr genehmigt. Dies ist dort bereits in den Bauordnungen bzw. Bauvorlagenverordnungen geregelt. In diesen Ländern ist auch geregelt, was ein Brandschutzkonzept enthalten soll.

Brandschutzkonzepte werden in vielen Beiträgen, u.a. in [5, 6], vorgestellt und ausführlich erläutert. Daher werden an dieser Stelle nur die wesentlichen Punkte zusammengefasst. Brandschutzkonzepte werden in der Regel für Sonderbauten und für Gebäude mit Abweichungen von den bauaufsichtlichen Vorschriften erarbeitet.

Ein **Brandschutzkonzept** berücksichtigt in Abstimmung mit dem Architekten, dem Bauherren, der Bauaufsicht, der Feuerwehr und ggf. dem Versicherer:

- die Nutzung (hohe Brandlasten, geringe Brandlasten, erforderliche Rettungswege in Abhängigkeit von den Personen)

und

- die Bauweise (z.B. brennbar oder nichtbrennbare Baustoffe bzw. Massivbau oder Leichtbau).

Wesentlich ist immer der Nachweis des Personenschutzes. Mit einem objektspezifischen Brandschutzkonzept wird für das jeweilige Einzelgebäude die objektiv wirtschaftlichste Brandschutzlösung ermöglicht. Für die Erarbeitung dieser wirtschaftlichen Lösungen sind jedoch langjährige und intensive Kenntnisse sowohl des baulichen als auch des abwehrenden Brandschutzes und selbstverständlich der Vorschriften erforderlich. Der **Brandschutznachweis** wird nach Definition der Bauaufsicht immer dann erstellt, wenn keine Abweichungen erforderlich sind und nur die Erfüllung der Brandschutzanforderungen nachgewiesen wird. Auch im vereinfachten Genehmigungsverfahren ist ein Papier zum Brandschutz als Dokumentation zu erstellen. **Im genehmigungsfreien Bereich**, insbesondere des Wohnungsbaus, bestätigt der Architekt (Entwurfsverfasser) durch seine Unterschrift, dass der Brandschutz den gesetzlichen Vorschriften entspricht. Er steht damit in der Verantwortung, sofern kein Brandschutzsachverständiger beauftragt wird.

Tafel 12 Bauaufsichtliche Benennung von Sonderbauteilen und Klassifizierung gemäß DIN EN 13501-2 – Auszug aus der Bauregelliste 2012/2

Sonderbauteil														
Bauaufsichtliche Anforderungen	Feuerschutzabschlüsse		Rauchschutztüren[1]	Kabelabschottungen	Rohrabschottungen	Lüftungsleitungen	Brandschutzklappen in Lüftungsleitungen	Entrauchungsleitung	Entrauchungsklappe	Installationsschächte und -kanäle	Elektrische Leitungsanlagen mit Funktionserhalt	Abgasanlagen	Brandschutzverglasungen[2]	Fahrschachttüren in feuerwiderstandsfähigen Fahrschachtwänden[6]
	ohne Rauchschutz	mit Rauchschutz												
Feuerhemmend	$EI_2$30-C..[1]	$EI_2$30-C..S_m[1]		EI 30	EI 30-U/U[3] EI 30-C/U[4]	EI 30 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 30 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 30 (v_e-h_0) S,*[7] multi	EI 30 (v_e[8]- h_0[9]), $i \leftrightarrow o$) S,*[7] C_{xx}[10] MA[11] multi	EI 30 ($v_e h_0 i$ $\leftrightarrow o$)	P 30	EI 30 ($i \leftrightarrow o$)-O oder EI 30 ($i \leftrightarrow o$) und G_{xx}[5]	E 30	E 30
Hochfeuerhemmend	$EI_2$60-C..[1]	$EI_2$60-C..S_m[1]		EI 60	EI 60-U/U[3] EI 60-C/U[4]	EI 60 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 60 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 60 (v_e-h_0) S,*[7] multi	EI 60 (v_e[8]- h_0[9]), $i \leftrightarrow o$) S,*[7] C_{xx}[10] MA[11] multi	EI 60 ($v_e h_0 i$ $\leftrightarrow o$)	P 60	EI 60 ($i \leftrightarrow o$)-O oder EI 60 ($i \leftrightarrow o$) und G_{xx}[5]	E 60	E 60
Feuerbeständig	$EI_2$90-C..[1]	$EI_2$90-C..S_m[1]		EI 90	EI 90-U/U[3] EI 90-C/U[4]	EI 90 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 90 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 90 (v_e-h_0) S,*[7] multi	EI 90 (v_e[8]- h_0[9]), $i \leftrightarrow o$) S,*[7] C_{xx}[10] MA[11] multi	EI 90 ($v_e h_0 i$ $\leftrightarrow o$)	P 90	EI 90 ($i \leftrightarrow o$)-O oder EI 90 ($i \leftrightarrow o$) und G_{xx}[5]	E 90	E 90
Feuerwiderstandsdauer 120 min.	–	–		EI 120	EI 120-U/U[3] EI 120-C/U[4]	–	–	–	–	–			–	–
Rauchdicht und selbstschließend			S_m-C..[1]					–	–					–

[1] Festlegungen zur Lastspielzahl für die Dauerfunktionsprüfungen werden noch getroffen.
[2] Brandschutzverglasungen nach dieser Tabelle sind nicht als feuerhemmend, hochfeuerhemmend oder feuerbeständig zu verwenden; Brandschutzverglasungen, bei denen eine Übertragung von Feuer und Wärme über eine bestimmte Dauer (Feuerwiderstandsdauer) verhindert wird, werden gesondert klassifiziert.
[3] Für die Abschottung von brennbaren Rohren oder Rohren mit einem Schmelzpunkt < 1.000 °C; für Trinkwasser-, Heiz- und Kälteleitungen mit Durchmessern ≤ 110 mm ist auch die Klasse EI…-U/C zulässig.
[4] Für die Abschottung mit nichtbrennbaren Rohren mit einem Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C
[5] Anwendung der Klasse in Verbindung mit G nur bei festen Brennstoffen; Rußbrandbeständigkeit G mit Angabe eines Abstandes in mm zu brennbaren Baustoffen (gemäß Prüfung)
[6] Fahrschachtabschlüsse nach dieser Tafel zum Einbau in feuerhemmende, hochfeuerhemmende oder feuerbeständige Fahrschachtwände erfüllen die Anforderungen an den Raumabschluss und sind nach DIN EN 81-58 zu klassifizieren; eine Übertragung von Wärme wird nicht behindert; die konstruktiven Randbedingungen nach Bauregelliste A Teil 1, Anlage 6.1 sind sinngemäß zu beachten.
[7] Je nach vorgesehener Verwendung: 500 Pa, 1.000 Pa oder 1.500 Pa
[8] Je nach vorgesehener Verwendung: v_{ew}, ve_{dw}, v_{ed}
[9] Je nach vorgesehener Verwendung: h_{ow}, ho_{dw}, h_{od}
[10] Je nach vorgesehener Verwendung: c_{300}, $c_{10.000}$
[11] Die Anwendung ist in Entrauchungsanlagen zulässig, die manuell ausgelöst oder entsprechend DIN EN 12101-8, Abschnitt 3.26 automatisch ausgelöst und manuell übersteuert werden.

3. Brandschutznormen

3.1 Grundlagen und Verwendbarkeitsnachweise

Gemäß MVV TB dürfen für die Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen sowohl nationale als auch europäische Brandprüfungen zugrunde gelegt werden. Entscheidend ist jedoch, dass in der Baupraxis Verwendbarkeitsnachweise für die geweilige Bauart vorliegen.

Verwendbarkeitsnachweise im Mauerwerksbau können die Angaben und Regelungen in den folgenden Dokumenten sein:

- DIN EN 1996-1-2/NA
- DIN 4102-4
- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)
- Allgemeines bauaufsichtliche Prüfzeugnis (abP)
- Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.)
- Allgemeine Bauartgenehmigung
- Vorhabenbezogene Bauartgenehmigung

Wenn die Baustoffe und Bauarten in den Normen nicht geregelt sind und auch in den dann erforderlichen Verwendbarkeitsnachweisen keine Regeln zum Brandschutz enthalten sind, dürfen diese Bauarten nur dort eingesetzt werden, wo keine Anforderungen an den Brandschutz gestellt werden, z.B. Gebäudeklasse 1. Es reicht nicht, nur Prüfberichte oder Datenblätter vorzulegen. Zudem sind nach Erstellung auch Erklärungen zur Übereinstimmung der Ausführung mit den Verwendbarkeitsnachweisen durch die ausführenden Firmen zur Dokumentation einzureichen. Damit ist dann eindeutig die Verantwortlichkeit und Haftung geregelt. Vorlagen derartiger Erklärungen können den einschlägigen Fachinformationen entnommen werden.

3.2 Nationale Prüfnormen

3.2.1 Grundlagen

Die für Mauerwerk nach Eurocode 6 nicht mehr gültige Gesamtnorm DIN 4102 enthält die Grundlagen für die Definition der bauaufsichtlichen Begriffe hinsichtlich Brandschutz sowie die sich daraus ergebenen Anforderungen. DIN 4102 setzt sich aus etwa 20 Teilen zusammen und ist im Wesentlichen eine Prüfnorm. Hiervon ausgenommen ist DIN 4102-4, die genormte und klassifizierte Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile zusammenfasst und mögliche Anwendungen sowie Ausführungsdetails in brandschutztechnischer Hinsicht darstellt. DIN 4102-4:2016 gilt hinsichtlich der Ausführungsdetails ergänzend zum Eurocode 6 auch für Mauerwerk.

3.2.2 Baustoffe

Nicht harmonisierte Baustoffe (Bauprodukte) werden national gemäß DIN 4102-1 in die Baustoffklassen A (nichtbrennbar) und Baustoffklasse B (brennbar) klassifiziert. Die einzelnen Klassen werden noch weiter unterteilt, siehe Tafel 7. Bauaufsichtlich wird die Baustoffklasse A nicht unterteilt. Brandschutztechnisch werden jedoch die Baustoffklassen A 1 und A 2 unterschieden. Die Baustoffklasse A 1 charakterisiert die klassischen Baustoffe, die nicht brennen, z.B. Kalksandsteine. In die Baustoffklasse A 2 werden diejenigen Baustoffe eingereiht, die den klassischen Baustoffen ähneln, aber einen gewissen Anteil brennbarer Bestandteile enthalten, z.B. EPS-Leichtbetone. Als Grenzwert zwischen den beiden Klassen wird die Entflammung zugrunde gelegt.

3.2.3 Bauteile

Als Bauteile (Bauprodukte) im Sinne der Norm gelten Wände, Decken, Stützen (Pfeiler), Unterzüge, Treppen, Unterdecken, usw.

Als Sonderbauteile (Bauprodukte) gelten Brandwände, nicht tragende Außenwände, Feuerschutzabschlüsse (Türen, Tore), Lüftungsleitungen, Brandschutzklappen, Kabelabschottungen, Installationskanäle, Installationsschächte (Schachtabmauerungen), Rohrabschottungen, Kabelanlagen, Verglasungen usw.

Bauteilen und Sonderbauteilen wird in DIN 4102-2 der Begriff der Feuerwiderstandsklasse zugeordnet. Feuerwiderstandsklassen werden in Abhängigkeit von der Zeit (30 min. bis 180 min.) definiert, in der Bauteile die Anforderungen an den Brandschutz – Tragfähigkeit, Raumabschluss, Temperaturkriterium – erfüllen. Bauteile werden Feuerwiderstandsklassen F 30 bis F 180 zugeordnet. Für Bauteile und Sonderbauteile gelten unterschiedliche Abkürzungen, siehe Tafel 9.

Für einige Sonderbauteile, wie z.B. Brandwände, gibt es keine Abkürzungen. Komplextrennwände werden lediglich in einer Fußnote von DIN 4102-3 erwähnt, weil derartige Anforderungen nur im Versicherungsbereich und nicht bauaufsichtlich erhoben werden.

3.3 Europäische Prüfnormen

3.3.1 Baustoffe

Für den Nachweis des Brandverhaltens harmonisierter Baustoffe (Bauprodukte) wie Kalksandsteine und damit der Baustoffklassen gelten die europäischen Prüfverfahren, weil die bisherigen Prüfverfahren in den einzelnen europäischen Ländern sehr unterschiedlich waren. Die Prüfungen erfolgen nach unterschiedlichen Normen, die Bezeichnungen der Baustoffklassen (Euroklassen) sind in Tafel 7 zusammengefasst.

Kalksandsteine und Mörtel (mit organischen Bestandteilen bis zu 1 M.-%) wurden gemäß Entscheidung der Europäischen Kommission in die höchste europäische Klasse A 1 nach DIN EN 13501-1 eingestuft.

3.3.2 Bauteile und Sonderbauteile

Auch für die Prüfung des Brandverhaltens von Bauteilen gelten in Europa andere Prüfverfahren. In Tafel 13 ist der derzeitige Stand der Normen zusammengefasst und den vergleichbaren nationalen Normen gegenübergestellt.

Europäische Prüfnormen enthalten in der Regel für die Prüfergebnisse nur einen direkten Anwendungsbereich, der sehr eingeschränkt ist. Eine Extrapolation der Prüfergebnisse sowie ein erweiterter Anwendungsbereich sind nur möglich, wenn eine so genannte EXAP-Norm erstellt wurde, d.h. Extrapolationsregeln

Tafel 13 Europäische Prüfnormen mit Gegenüberstellung der vergleichbaren Norm nach DIN 4102 (Stand: September 2013)

Feuerwiderstandsprüfung	Europäische Prüfnorm	Inhalt	Entsprechende deutsche Norm
Grundnorm	DIN EN 1363-1	Allgemeine Anforderungen	DIN 4102-2
	DIN EN 1363-2	Alternative und ergänzende Verfahren	DIN 4102-2 und DIN 4102-3
Klassifizierungen	DIN EN 13501-1	Klassifizierung Brandverhalten (Baustoffe)	DIN 4102-1
	DIN EN 13501-2	Klassifizierung Feuerwiderstand (Bauteile)	DIN 4102-2
	DIN EN 13501-3	Leitungen und Brandschutzklappen	DIN 4102-5
	DIN EN 13501-4	Anlagen zur Rauchfreihaltung	keine
	DIN EN 13501-5	Bedachungen	DIN 4102-7
	DIN EN 13501-6	Kabelanlagen	DIN 4102-12
Nicht tragende Bauteile	DIN EN 1364-1	Wände inklusive Verglasungen	DIN 4102-2
	DIN EN 1364-2	Decken und Dächer	
	DIN EN 1364-3	Vorhangfassaden – Gesamt	keine
	DIN EN 1364-4	Vorhangfassaden – Teilbereich	DIN 4102-3
Tragende Bauteile	DIN EN 1365-1	Wände inklusive Verglasungen	DIN 4102-2
	DIN EN 1365-2	Decken und Dächer	DIN 4102-2
	DIN EN 1365-3	Balken	
	DIN EN 1365-4	Stützen	
	DIN EN 1365-5	Balkone und Laubengänge	
	DIN EN 1365-6	Treppen	
Dächer	DIN CEN/TS 1187	Dächer von außen	DIN 4102-7
Installationen	DIN EN 1366-1	Leitungen	DIN 4102-11
	DIN EN 1366-2	Brandschutzklappen	DIN 4102-6
	DIN EN 1366-3	Abschottungen	DIN 4102-9
	DIN EN 1366-4	Abdichtungssysteme für Fugen	DIN 4102-2
	DIN EN 1366-4/A1		
	DIN EN 1366-5	Installationskanäle	DIN 4102-11
	DIN EN 1366-6	Doppel- und Hohlraumböden	DIN 4102-2 und Prüfgrundsätze
	DIN EN 1366-7	Feuerschutzabschlüsse bahngebundener Förderanlagen	DIN 4102-5
	DIN EN 1366-8	Entrauchungsleitungen	keine
	DIN EN 1366-9	Entrauchungsleitungen/Einzelabschnitt	keine
	DIN EN 1366-10	Entrauchungsklappen	keine
	DIN EN 1366-11	Funktionserhalt von Kabelanlagen	DIN 4102-12
Bekleidungen	DIN EN 13381-1	Horizontal angeordnete Brandschutzbekleidungen	DIN 4102-2
	DIN EN 13381-2	Vertikale Bekleidungen	
	DIN EN 13381-3	Beton	
	DIN EN 13381-4	Stahl	
	DIN EN 13381-5	Verbund	
	DIN EN 13381-6	Holz	
	DIN EN 13381-7	Holzbauteile	
Türen	DIN EN 1634-1	Feuerschutzabschlüsse	DIN 4102-5
	DIN EN 1634-2	Türbeschläge für Feuerschutzabschlüsse	keine
	DIN EN 1634-3	Rauchschutzabschlüsse	DIN 18095

für den erweiterten Anwendungsbereich vorhanden sind. Für tragende Mauerwerkswände muss daher DIN EN 15080-12 angewendet werden, wenn der Anwendungsbereich des Eurocode 6 nicht eingehalten ist und allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen mit vergleichbaren Regeln erforderlich sind.

3.3.3 Erläuterung der Prüf- und Klassifizierungsnormen

DIN EN 1363 beinhaltet die Grundlagen zur Durchführung von Brandprüfungen an Bauteilen, u.a. die Brandraumkurven. Diese entsprechen den bisher in Deutschland verwendeten Prüfkurven, siehe Bild 3. Lediglich die Bezeichnungen haben sich geändert, aus Brandbeanspruchung wurde Einwirkung und die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) heißt jetzt „ISO-Curve“.

Ein Feuer wird im Allgemeinen durch vier Brandphasen charakterisiert, der Zündphase, und dem Schwelbrand, d.h. der Brandentstehung sowie dem „flash over“ und der Erwärmungsphase, d.h. dem Vollbrand. Der Entstehungsbrand wird maßgeblich durch das Baustoffverhalten beeinflusst und entwickelt sich bis etwa 300 °C.

INFO

Kalksandsteine beteiligen sich nicht am Entstehungsbrand. Sie sind nichtbrennbar und entsprechen der europäischen Klasse A1.

Der Vollbrand ist maßgebend für das Bauteilverhalten. Wann bei einem Naturbrand ein „flash over“ – Durchzünden – zum Vollbrand entsteht, hängt wesentlich von der vorhandenen Brandlast und den Ventilationsverhältnissen, dem zur Verfügung stehenden Sauerstoff, ab. Bei einem Naturbrand kann der Schwelbrand Stunden dauern, wenn nicht genug Sauerstoff zur Verfügung steht. Wenn dann jemand z.B. die Feuerwehr, die Tür öffnet, kann das Feuer sofort durchzünden und zum Vollbrand führen. Ein Feuer kann aber auch nach der Entstehung bei guten Luftverhältnissen sofort zum Vollbrand übergehen. Dann können Temperaturen zwischen 1.000 °C und 1.200 °C entstehen, die dann wieder abfallen.

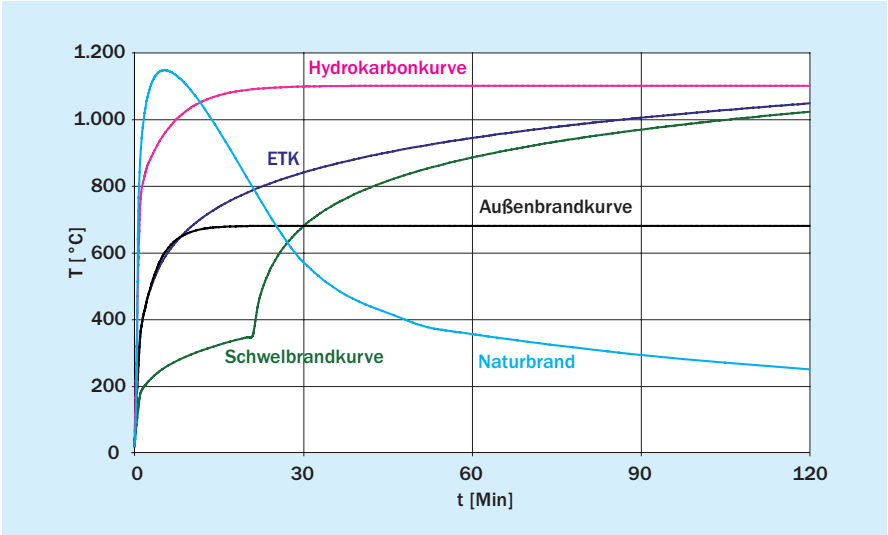


Bild 3 Temperaturprüfkurven – Brandeinwirkungen

Als Prüfkurve für die Brandprüfungen an Bauteilen mit üblicher Gebäudenutzung ist weltweit die ISO-Kurve festgelegt worden. Sie entspricht der ETK nach DIN 4102-2. Die Brandraumtemperatur geht bis 30 min. auf ca. 850 °C und dann weiter bis 90 min. auf etwa 1.050 °C. Für Ölbrände sowie Tunnelbrände wurde u.a. die Hydrocarbonkurve bis 1.100 °C festgelegt.

DIN EN 1364-1 regelt die speziellen Anforderungen zur Prüfdurchführung von nicht tragenden Wänden und DIN EN 1365-1 von tragenden Wänden. Im (deutschen) bauaufsichtlichen Verfahren darf entweder nach deutscher oder europäischer Prüfnorm geprüft werden. Wird nach nationaler (deutscher) Prüfnorm geprüft, darf das Prüfergebnis allerdings nur national weiter verwendet werden. Die europäischen Prüfnormen für Mauerwerkswände unterscheiden sich von DIN 4102 nur wenig. Die Unterschiede haben bei der Prüfung von Mauerwerkswänden keinen wesentlichen Einfluss auf die Prüfergebnisse und damit auch keinen maßgebenden Einfluss auf die Klassifizierung.

DIN EN 1363-2 enthält das Prüfverfahren zum Nachweis von Brandwänden.

DIN EN 15254-2:2009 für nicht tragende Wände und DIN EN 15080-12:2011 für tragende Wände wurden als so genannte EXAP-Regeln erarbeitet und veröffentlicht. Beide Normen enthalten Extrapolationsregeln für Prüfergebnisse von Wänden aus Mauerwerk.

DIN EN 13501 mit den Teilen 1 und 2 ist die europäische Klassifizierungsnorm. Diese ist Grundlage der brandschutztechnischen Klassifizierung von Mauerwerk nach Eurocode 6 und darf im bauaufsichtlichen Verfahren alternativ zu den Klassifizierungen von DIN 4102-2 angewendet werden.

3.4 Bauteil-Klassifizierungen nach DIN EN 13501-2 (Kurzbezeichnungen)

Die Kurzbezeichnungen für die Klassifizierungen von Bauteilen nach DIN EN 13501-2 haben sich gegenüber den nationalen Bezeichnungen geändert. Für jedes Prüfkriterium wird ein eigener Buchstabe verwendet. Die Bezeichnung setzt sich aus mehreren Buchstaben sowie der Prüfdauer zusammen. Die Bezeichnungen wurden aus dem Französischen und Englischen abgeleitet. Die Bedeutung der Abkürzungen ist in Tafel 10 zusammengefasst.

In Tafel 11 sind Beispiele für Wände nach den europäischen Bezeichnungen zusammengestellt. Es wird deutlich, dass zwischen den einzelnen Wandarten deutlicher unterschieden wird. Damit werden zwar umfangreichere Benennungen erforderlich, aber es gibt in der Praxis weniger Missverständnisse, weil jeder eindeutig zum Ausdruck bringen muss, welche Wandart gemeint ist. Das heißt aber auch, es muss in der Baupraxis sorgfältig geprüft werden, ob die richtige Wandart ausgeschrieben und ausgeführt wird.

3.5 Brandschutzbemessung nach DIN EN 1996-1-2/NA

Die Bemessungsnorm von Mauerwerk für den Brandfall ist der Eurocode 6 in Verbindung mit dem zugehörigen Nationalen Anhang (DIN EN 1996-1-2/NA). Der Nationale Anhang enthält auch die bekannten Bemessungstabellen zur Ermittlung der Mindestwanddicke in Abhängigkeit der Stein-Mörtel-Kombination und der Feuerwiderstandsdauer.

Für Kalksandstein-Mauerwerk wurden im Vorfeld der Erarbeitung des Nationalen Anhangs diverse neue Brandprüfungen nach europäischer Prüfnorm DIN EN 1365-1 mit erhöhten Belastungen und auch erhöhten Mauerwerksfestigkeiten durchgeführt. Da die tatsächliche Auflast maßgebend für das Brandverhalten von tragenden Mauerwerkwänden ist, waren diese Brandprüfungen erforderlich, um die Tabellenwerte für DIN EN 1996-1-2/NA mit den teilweise deutlich höheren zulässigen Auflasten festzulegen. Zudem darf bei KS-Mauerwerk mit bestimmten Stein-Mörtel-Kombinationen nunmehr auf die Ermittlung des Ausnutzungsfaktors verzichtet werden. Die erforderliche Mindestwanddicke kann direkt aus den Tabellen abgelesen werden.

Die Tragwerksbemessung von Mauerwerk im Brandfall ist wie bei allen Eurocodes auch im Mauerwerksbau theoretisch nach drei Verfahren möglich:

- Nachweis durch Tabellenwerte
- Rechnerischer Nachweis an Modellen für bestimmte Bauteile
- Rechnerischer Nachweis als globale Tragwerksanalyse

In Deutschland ist nach DIN EN 1996-1-2/NA aber ausschließlich das bekannte und bewährte Tabellenverfahren anzuwenden. Hierbei muss für tragende Wände und Pfeiler im Allgemeinen zunächst ein Ausnutzungsfaktor ermittelt werden, der in Abhängigkeit von der Schlankheit mit den Gleichungen (3.1 und 3.2) berechnet wird.

Für $10 \le \frac{h_{ef}}{t} \le 25$ gilt:

$$\alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{15}{25 - \frac{h_{ef}}{t}} \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{l \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \qquad (3.1)$$

für $\frac{h_{ef}}{t} < 10$ gilt entsprechend:

$$\alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{l \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \qquad (3.2)$$

Dabei ist:

$N_{Ed,fi}$ der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft im Brandfall: $N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0{,}7 \cdot N_{Ed}$ mit $\eta_{fi} = 0{,}7$ (DIN EN 1996-1-2)

N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft aus der Kaltbemessung

h_{ef} die Knicklänge der Wand

t die Wanddicke

l die Wandlänge

f_k die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit

k_0 ein Faktor zur Berücksichtigung von Wandquerschnitten $< 0{,}1\ m^2$ mit $k_0 = 1{,}25$; sonst gilt $k_0 = 1{,}0$

$e_{mk,fi}$ die planmäßige Ausmitte von $N_{Ed,fi}$ in halber Geschosshöhe (inkl. Kriechen); bei voll aufliegender Decke und Bemessung nach DIN EN 1996-3/NA gilt $e_{mk,fi} = 0$

ω der Anpassungsfaktor nach Tafel 14

Nur bei KS-Mauerwerk aus Voll- und Blocksteinen (auch als Plansteine) sowie Planelementen darf nach DIN EN 1996-1-2/NA auf die Ermittlung des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$ verzichtet werden. Die Norm gibt hier alternativ den Ausnutzungsfaktor α_{fi} an, der nicht größer als 0,7 sein darf. In diesem Fall gilt:

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \qquad (3.3)$$

Daraus berechnet sich mit $N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0{,}7 \cdot N_{Ed}$

$$\alpha_{fi} = 0{,}7 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \qquad (3.4)$$

Da bei der Kaltbemessung grundsätzlich $N_{Ed}/N_{Rd} \le 1{,}0$ nachgewiesen werden muss, ergibt sich generell $\alpha_{fi} \le 0{,}7$. Der Ausnutzungsfaktor α_{fi} kann somit nicht größer als 0,7 werden, was der vollen Ausnutzung bei der kalten Bemessung nach Eurocode 6 entspricht. Die für die jeweilige Feuerwiderstandsklasse erforderliche Mindestwanddicke kann daher für die genannten Stein-Mörtel-Kombinationen direkt aus den Tabellen abgelesen werden.

INFO

Tragende, raumabschließende Wände (REI) aus KS-Mauerwerk mit Voll- oder Blocksteinen (auch als Plansteine) sowie Planelementen können nach DIN EN 1996-1-2/NA unter voller Ausnutzung der Tragfähigkeit nach Eurocode 6 mit einer Feuerwiderstandsdauer von ≥ 90 min. ohne weiteren Aufwand bemessen werden.

Die Tabellen für die Brandschutzbemessung von KS-Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-2/NA sind in Abschnitt 5 zusammengestellt.

Tafel 14 Anpassungsfaktor ω

Steine	Mörtel	ω
KS-Lochsteine KS-Hohlblocksteine	NM	2,2
KS-Vollsteine KS-Blocksteine	NM II	3,3
	NM IIa	3,0
	NM III, IIIa	2,6
KS-Plansteine KS-Fasensteine KS-Planelemente	DM	2,2
KS-Plansteine (SFK ≥ 28) KS-Fasensteine (SFK ≥ 28) KS-Planelemente (SFK ≥ 28)	DM	2,6

4. Baulicher Brandschutz mit KS-Mauerwerk

4.1 Grundlagen

4.1.1 Definitionen nach dem Baurecht für Wandarten

Im Sinne des Baurechts und auch nach DIN EN 1996-1-2, werden die in einem Bauwerk vorhandenen Wände brandschutztechnisch in verschiedene Arten eingeteilt. Neben der Unterscheidung in tragend und nicht tragend erfolgt die Trennung in raumabschließend und nichtraumabschließend:

- Tragende, raumabschließende Wände sind überwiegend auf Druck beanspruchte Bauteile, die im Brandfall die Tragfähigkeit gewährleisten müssen und außerdem die Brandübertragung von einem Raum zum anderen verhindern, z.B. Treppenraumwände, Wohnungstrennwände, Wände zu Rettungswegen oder auch Brandabschnittstrennwände. Sie werden im Brandfall nur einseitig vom Brand beansprucht.

- Tragende, nichtraumabschließende Wände sind überwiegend auf Druck beanspruchte Bauteile, die im Brandfall ausschließlich die Tragfähigkeit gewährleisten müssen, z.B. tragende Innenwände innerhalb eines Brandabschnittes (einer Wohnung), Außenwandscheiben mit einer Breite ≤ 1,0 m oder Mauerwerkspfeiler sowie kurze Wände. Sie werden im Brandfall zwei-, drei- oder vierseitig vom Brand beansprucht.

- Nicht tragende Wände sind Bauteile, die auch im Brandfall überwiegend nur durch ihr Eigengewicht beansprucht werden und auch nicht der Knickaussteifung tragender Wände dienen; sie müssen aber auf ihre Fläche wirkende Windlasten auf die tragenden Bauteile abtragen. Nicht tragende Wände sind zur Klassifizierung in brandschutztechnischer Hinsicht grundsätzlich raumabschließend.

- Stürze über Wandöffnungen sind für eine dreiseitige Brandbeanspruchung zu bemessen.

- Brandwände und Komplextrennwände sind raumabschließende Bauteile, an die erhöhte Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes gestellt werden.

In Bild 4 werden die einzelnen Wandarten anhand von Gebäudegrundrissen verdeutlicht.

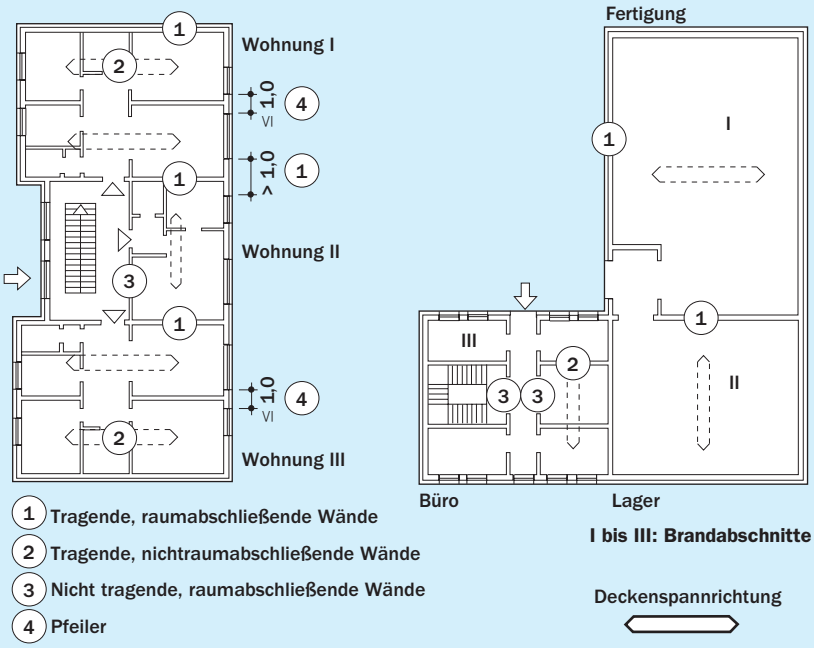


Bild 4 Wandarten im Wohnungsbau sowie Industriebau – Beispiele

4.1.2 Baustoffverhalten im Brandfall

Umfangreiche Brandprüfungen und Forschungen belegen, dass sich Kalksandstein in brandschutztechnischer Hinsicht vorteilhaft verhält. KS-Mauerwerk hat im Brandfall eine hohe Feuerwiderstandsfähigkeit. Brandfälle aus der Praxis bestätigen dieses sehr eindrucksvoll.

Das vorteilhafte Verhalten von KS-Mauerwerk im Brandfall ergibt sich aus dem Baustoff und dem Herstellungsverfahren der Kalksandsteine. Wände aus Kalksandsteinen haben einen vergleichsweise hohen Kristallwassergehalt. In den hydraulischen Reaktionsprodukten, die während des Härtungsprozesses von Kalksandsteinen in Dampf-Härtekesseln entstehen, wird Kristallwasser in den chemischen Bindungen eingebunden. Aufgrund der Porenstruktur von Kalksandstein wird außerdem freies, nicht gebundenes Wasser eingelagert.

In Kalksandsteinwänden stellt sich beim Austrocknen, abhängig von der Nutzung und den klimatischen Bedingungen, ein relativ geringer Restfeuchtegehalt ein. Im Brandfall werden bei Kalksandstein das freie und das gebundene Kristallwasser abgebaut, bevor die Baustoffstrukturen angegriffen werden. Im Temperaturbereich zwischen 300 °C bis 500 °C ergibt sich im Brandfall sogar eine Zunahme der Festigkeit. Ein wesentlicher Eingriff in die Kalksandstein-Struktur erfolgt im Laufe eines Brandes erst bei Temperaturen ab 600 °C.

INFO

Kalksandsteine verbrauchen im Brandfall freies und gebundenes Kristallwasser bevor die Baustoffstrukturen angegriffen werden. Zunächst ergibt sich im Brandfall sogar eine Zunahme der Festigkeit.

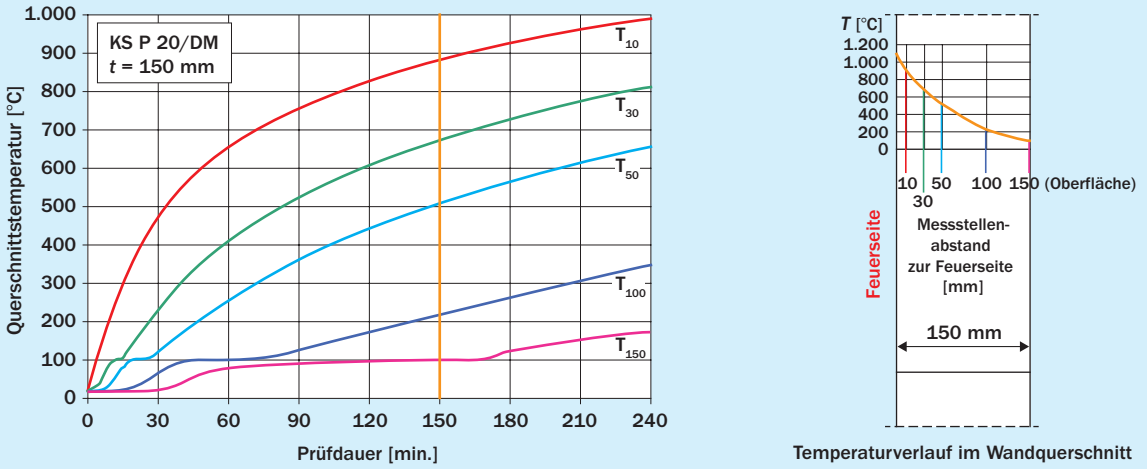


Bild 5 Temperaturverlauf im Wandquerschnitt einer Kalksandsteinwand im Brandversuch

4.1.3 Bauteilverhalten im Brandfall

Das Brandverhalten von Mauerwerk hängt von der Steinart, dem Mörtel, der Schlankheit und der Auflast ab. Bei Kalksandstein ist zwischen Voll- und Lochsteinen sowie Planelementen zu unterscheiden. Dünnbettmörtel hat einen positiven Einfluss auf das Brandverhalten von KS-Mauerwerk. Die Kalksandsteinindustrie hat frühzeitig das Ziel verfolgt, für schlanke Wände mit hohen Auflasten das Brandverhalten nachzuweisen. So wurden auch zusätzliche Brandprüfungen in einem europäischen Forschungsvorhaben der Kalksandsteinindustrie mit Auflasten nach dem Eurocode 6 durchgeführt [7]. Aufgrund des Baustoffverhaltens von Kalksandstein wurden Prüfergebnisse erzielt, die zeigen, dass auch die deutlich höheren Auflasten nach Eurocode 6 im Brandfall problemlos aufgenommen werden können.

Alle im Eurocode 6 geregelten Ausführungen, z.B. großformatiges Mauerwerk, Dünnbettmörtel, Wände ohne Stoßfugenvermörtelung, Verwendung von höheren Steinfestigkeiten und größeren zulässigen Spannungen, wurden für Kalksandstein-Konstruktionen auch in brandschutztechnischer Hinsicht nachgewiesen [8].

Das europäische Forschungsvorhaben ergab zudem vielfältige Erkenntnisse zum Brandverhalten von Kalksandsteinwänden. Bild 5 zeigt den Temperaturverlauf in einer 150 mm dicken Kalksandsteinwand im Brandversuch über die Prüfdauer von 240 min. Es wird deutlich, dass die Temperatur der Wand im Versuchsverlauf nahe an der Feuerseite relativ schnell zunimmt, während der Temperaturanstieg im Wandquerschnitt mit zunehmender Entfernung deutlich geringer ausfällt. Die Oberflächentemperatur (Messstelle T_{150}) auf der feuerabgewandten Seite verharrt auch nach 150 min. noch bei 100 °C, da das kristallgebundene Wasser in dieser Querschnittstiefe noch immer nicht vollständig verdampft ist. Das besonders vorteilhafte Brandverhalten von KS-Mauerwerk wird hierdurch eindrucksvoll bestätigt.

4.2 Tragende Wände

4.2.1 Tragende, raumabschließende Wände

Tragende, raumabschließende Wände können zur Trennung von Brandabschnitten sowie Nutzungseinheiten verwendet werden. Sie unterscheiden sich nur durch ihre Tragfunktion von nicht tragenden, raumabschließenden Wänden. Aufgrund dieser Tragfunktion sind größere Mindestwanddicken erforderlich. Da das Brandverhalten der Wände auch von der Auflast abhängt, sind in einigen Fällen auch Ausnutzungsfaktoren zu ermitteln. Bei geringeren Ausnutzungsfaktoren ergeben sich teilweise auch geringere Wanddicken. Hiermit wird in Abhängigkeit von den Anwendungsbereichen der Praxis wirtschaftlicheres Bauen ermöglicht.

Die meisten Brandprüfungen an Kalksandsteinwänden wurden an tragenden, raumabschließenden Wänden durchgeführt. Diese Kalksandsteinwände wurden mit verschiedenen Dicken, unterschiedlichen Festigkeiten und Rohdichten sowie den verschiedenen Mörtel- und Steinarten nachgewiesen. Die Ergebnisse sind in DIN EN 1996-1-2/NA Tabelle NA.B.2.2 eingeflossen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens der europäischen Kalksandsteinindustrie [7] wurden schlanke Kalksandsteinwände mit hohen Mauerwerksfestigkeiten und hohen Auslastungen im Hinblick auf die Feuerwiderstandsfähigkeit untersucht. Hierbei wurde auch der Einfluss der Kopfhalterung im Prüfaufbau untersucht. Die früheren Prüfungen wurden im Bereich der Lasteinleitung ausschließlich mit einer Zentrierleiste durchgeführt. Bei schlanken Wänden, $d \leq 150$ mm, wirkt diese Zentrierleiste aber wie ein Gelenk und die Wände sind damit nicht mehr praxisgerecht eingebaut, da in der Praxis die Geschossdecken flächig auflagern und damit den Wandkopf einspannen.

Die Ergebnisse wurden umfangreich ausgewertet und sind auch in DIN EN 1996-1-2/NA Tabelle NA.B.2.2 eingeflossen. Neben dem Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$ wurde **nur** für Kalksandstein-Mau-

erwerk zudem der Ausnutzungsfaktor α_{fi} für Voll- und Blocksteine sowie Planelemente eingeführt. Der Ausnutzungsfaktor α_{fi} deckt eine volle kalte Bemessung nach DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 ab, siehe auch Abschnitt 3.5.

INFO

KS-Mauerwerk aus Voll- und Blocksteinen (auch als Plansteine) sowie Planelementen deckt brandschutztechnisch alle Belastungsfälle nach DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 ab.

Raumabschließende Wände können in einigen Bundesländern auch als Gebäudeabschluss- bzw. Gebäudetrennwand anstelle einer Brandwand eingesetzt werden, siehe auch Abschnitte 4.5 und 4.6.

4.2.2 Tragende, nichtraumabschließende Wände

Tragende, nichtraumabschließende Wände sind tragende Innenwände innerhalb eines Brandabschnittes. Diese Wände werden häufig brandschutztechnisch nicht beachtet. Sie sind für die Tragfähigkeit eines Gebäudes im Brandfall jedoch entscheidend. Diese Wände werden im Brandfall zweiseitig vom Brand beansprucht. Sie weisen nach DIN EN 1996-1-2/NA eine definierte Breite (Länge) $b \geq 1{,}0$ m auf.

An derartige Wände werden keine Anforderungen hinsichtlich des Raumabschlusses gestellt, so dass auch an die Fugendichtung keine zusätzlichen Anforderungen gestellt werden.

Im Rahmen des europäischen Forschungsvorhabens wurden zusätzliche Pfeilerprüfungen mit vierseitiger Brandbeanspruchung durchgeführt, die dann auf Wände mit zweiseitiger Brandbeanspruchung extrapoliert wurden, um auch für diese Wände die volle Auflast nach Eurocode 6 im Brandfall regeln zu können.

4.2.3 Tragende Pfeiler bzw. tragende, nichtraumabschließende Wandabschnitte

Tragende Pfeiler in Außenwänden, z.B. Fensterpfeiler, werden im Brandfall mehrseitig (bis zu vierseitig) beansprucht. DIN EN 1996-1-2/NA definiert außerdem Außenwandabschnitte mit einer Breite (Länge) < 1,0 m als nichtraumabschließend. Es wird davon ausgegangen, dass im Brandfall das Feuer z.B. aus Fenstern schlägt und derartige Wandabschnitte daher mehrseitig brandbeansprucht werden.

Da es sich um tragende Bauteile handelt, muss die Standsicherheit auch im Brandfall gewährleistet werden. Aufgrund der mehrseitigen Brandbeanspruchung werden brandschutztechnisch die höchsten Anforderungen gestellt.

Es wurden zahlreiche Kalksandsteinpfeiler mit unterschiedlichen Lastniveaus vierseitig brandbeansprucht geprüft.

Die Ergebnisse sind in DIN EN 1996-1-2/ NA Tabelle NA.B.2.4 zusammengefasst.

4.3 Nicht tragende Trennwände

4.3.1 Nicht tragende, raumabschließende Wände

Nicht tragende, raumabschließende Kalksandsteinwände können

- zur Trennung von Brandabschnitten (BA)
- zur Bildung von Brandbekämpfungsabschnitten (BBA)
- zur Kapselung von Räumen mit erhöhter oder besonderer Brandgefahr
- zur Sicherung von Rettungswegen im Bereich von Flurwänden notwendiger Flure oder notwendiger Treppenräume

eingesetzt werden.

Da raumabschließende Wände zur Klassifizierung per Definition nur einseitig vom Brand beansprucht werden, müssen Durchführungen bzw. Öffnungen brandschutztechnisch verschlossen werden.

Die Angaben gelten für Kalksandsteinwände, die von Rohdecke bis Rohdecke spannen. Werden raumabschließende Wände z.B. an Unterdecken angeschlossen, so muss auch für diesen Anschluss und die Unterdecke ein brandschutztechnischer Verwendbarkeitsnachweis vorliegen.

DIN EN 1996-1-2/NA enthält wenig zu nicht tragenden Wänden, weil DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 sich vorwiegend mit tragendem Mauerwerk befassen. So ist lediglich die Tabelle NA.B.2.1 mit den Werten für die EI-Klassifizierungen 30 bis 180 min. enthalten. Die Werte gelten für Wandhöhen $h \leq 6$ m und für Schlankheiten $\lambda_c = h_{ef} / t_{ef} \leq 40$ nicht tragender Wände.

INFO

Raumabschließende Kalksandsteinwände, tragend oder nicht tragend, erfüllen die raumabschließende Wirkung auch mit unvermörtelten Stoßfugen.

Die unvermörtelten Stoßfugen dürfen gemäß DIN EN 1996-1-2 bei Steinen mit Nut-Feder-Ausbildung eine Breite bis zu 5 mm haben, ohne dass in brandschutztechnischer Hinsicht ein Putz erforderlich ist.

Bei Wänden aus Steinen mit glatten, unvermörtelten Stoßfugen darf auf einen Putz ebenfalls verzichtet werden, wenn die Stoßfugenbreite höchstens 2 mm beträgt. Nur Wände mit unvermörtelten, glatten Stoßfugen mit einer Breite von mehr als 2 mm und weniger als 5 mm müssen mindestens einseitig mit 1 mm dickem Putz versehen werden, um die Feuerwiderstandsdauer hinsichtlich des Raumabschlusses zu erfüllen.

In der Praxis werden nicht tragende Wände aus architektonischen, Montage- und Kostengründen gern mit Stahlstützen oder Stahlprofilen ausgesteift. DIN 4102-4 regelt ergänzend zu DIN EN 1996-1-2/NA weiterhin, dass die aussteifenden Bauteile in ihrer aussteifenden Wirkung mindestens der entsprechenden Feuerwiderstandsklasse angehören müssen. In Bild 6

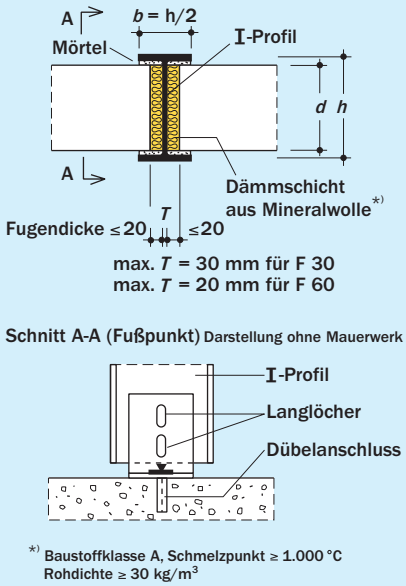


Bild 6 **Anschluss nicht tragender Kalksandsteinwand an nicht tragende Stahl-Aussteifungsstütze für die Feuerwiderstandsklassen feuerhemmend (F 30) und hochfeuerhemmend (F 60)**

wird hierfür eine Lösungsmöglichkeit, die nur in Verbindung mit Kalksandsteinwänden gilt, vorgestellt. Für die Feuerwiderstandsklasse F 90 (= feuerbeständig) sind im Bereich der Stahlbauteile in brandschutztechnischer Hinsicht Zusatzmaßnahmen erforderlich. Einerseits können die Stahlprofile thermisch getrennt werden oder andererseits ist eine Bekleidung der Stahlprofile mit Brandschutzplatten möglich.

INFO

Bei Steinen mit Nut-Feder-Ausbildung gelten alle Klassifizierungen – Tabellenwerte – auch für unvermörtelte Stoßfugen bis 5 mm Breite.

4.3.2 Schachtwände

Schachtwände zur Abtrennung von Leitungsschächten können mit KS-Mauerwerk ohne Probleme verschlossen werden. Sie sind in der Regel nicht tragende Wände, die nach Abschluss der Installationsarbeiten gesetzt werden. Wichtig ist hierbei zu klären, welche haustechnischen Anlagen – Kabel, Rohre, Lüftung – in dem Schacht verlaufen und ob die Brandschutzmaßnahmen horizontal mittels Abschottung oder vertikal mittels qualifizierten Schachtwänden erstellt werden. Durchführungen durch die Wände sind entweder mit Abschottungsmaßnahmen nach abZ oder gemäß Leitungsanlagen-Richtlinie (LAR) zu verschließen, siehe Abschnitt 4.3.3. Bei Lüftungsleitungen, die mit einer Brandschutzklappe aus dem Schacht geführt werden, sind die Schachtwände, insbesondere die erforderliche Dicke, in Abhängigkeit von der tatsächlichen Brandschutzklappe festzulegen. In Abhängigkeit vom Fabrikat und damit von der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) der Brandschutzklappe bzw. CE gekennzeichneten Klappe variieren die Anforderungen an die Wand hinsichtlich Dicke und Feuerwiderstandsklasse.

Alternativ werden Kabelanlagen separat vor den Wänden angeordnet und dann mit nachgewiesenen Schachtwänden abgeschottet. Sie können auch mit nicht tragenden Kalksandsteinwänden der entsprechenden Feuerwiderstandsklasse verschlossen werden, in die ggf. Feuerschutzabschlüsse – z.B. T 30- bzw. T 90-Türen oder -Klappen – eingebaut werden. Die Feuerwiderstandsklasse der Abschlüsse hängt von der Gebäudeklasse ab sowie von der Planung offen durchgehender Schächte durch alle Geschosse oder geschossweise horizontaler Abschottung.

Insbesondere in Rettungswegen – Fluren und Treppenräumen – ist auf die brandschutztechnisch richtige Ausführung zu achten, da in der Regel die Forderung besteht, dass nur nichtbrennbare Baustoffe bzw. Wandverkleidungen eingesetzt werden. In diesem Bereich wurden durch die neuen Muster-Richtlinien für Leitungsanlagen die brandschutztechnischen Anforderungen teilweise erhöht, d.h. der offene Einbau von elektrischen Kabeln ist, ausgenommen für direkte Beleuchtung, untersagt, siehe auch Abschnitt 4.9.

Im Bereich von Sonderbauten, z.B. Hotels, Verkaufsstätten etc., gibt es häufig Probleme, da Installationsschächte und deren Revisionsöffnungen, auch zu Sanitäreinrichtungen, überwiegend in Fluren angeordnet werden. Bei rechtzeitiger Planung lassen sich derartige Installationsschächte jedoch problemlos und fachgerecht ohne Mehraufwand errichten. Dies gilt besonders für den Mauerwerksbau.

4.3.3 Einbauten in Trennwänden

Abgesehen von den im Folgenden aufgeführten Ausnahmen beziehen sich die Feuerwiderstandsklassen klassifizierter Wände stets auf Wände ohne Einbauten.

Türen

Die erforderliche Feuerwiderstandsklasse für die Einbauten ist im Einzelfall zu überprüfen. Beispielsweise werden für raumabschließende feuerbeständige Wände in der Regel nur feuerhemmende Türen gefordert. Im Einzelfall werden auch keine Anforderungen gestellt, z.B. bei den früheren feuerbeständigen Flurwänden in Hamburg.

Im Industriebau wird dagegen immer die gleiche Anforderung der Trennwand auch an den Verschluss von Öffnungen gestellt. Dies gilt auch für Türen, d.h. feuerbeständige Wand mit feuerbeständiger Tür, hochfeuerhemmende Wand mit hochfeuerhemmender Tür und feuerhemmende Wand mit feuerhemmender Tür. Aber auch hier gibt es wiederum eine Ausnahme: Für hochfeuerbeständige (oder feuerbeständig mit 120 min. Feuerwiderstand) Wände und Wände mit 180 min. Feuerwiderstand werden nur feuerbeständige Türen gefordert, weil es bei der Erarbeitung der Richtlinie keine entsprechenden Türen gab. Brandschutztüren in Schachtwänden müssen die gleiche Brandschutzqualität wie die Wand aufweisen. Bei Schächten ohne horizontale Abschottung müssen die Türen vierseitig umlaufende Dichtungen aufweisen.

Elektroinstallationen

Zu den Einbauten zählen aber auch z.B. Schlitze, Nischen für Rohre, Schaltschränke und Elektro-Installationen. Schlitze und Aussparungen in tragenden Wänden, die nach EN 1996-1-1 ohne gesonderten rechnerischen Nachweis zulässig sind, reduzieren die in den Tabellen angegebenen Feuerwiderstandsdauern nicht.

INFO

Bei vertikalen Schlitzen und Aussparungen in nicht tragenden Wänden sollte die Rest-Wanddicke einschließlich eventueller brandschutztechnischer Bekleidungen, wie z.B. Putz, mindestens 2/3 der erforderlichen Mindestdicke der Wand und nicht weniger als 60 mm betragen.

Bei horizontalen und schrägen Schlitzen und Aussparungen in nicht tragenden Wänden sollte die Rest-Wanddicke einschließlich eventueller brandschutztechnischer Bekleidungen, wie z.B. Putz, mindestens 5/6 der erforderlichen Mindestdicke der Wand, und nicht weniger als 60 mm betragen. Horizontale und schräge Schlitze und Aussparungen sollten nicht im mittleren Drittel der Wandhöhe ausgeführt werden. Die Breite einzelner Schlitze und Aussparungen sollte nicht größer als die doppelte Mindestdicke der Wand, einschließlich eventueller brandschutztechnischer Bekleidungen, wie z.B. Putz, sein.

Bei anderen Einbauten ist der Brandschutz gesondert nachzuweisen. Der Restquerschnitt einer Wand muss dann auch im Bereich von Schlitzen die geforderte Mindestwanddicke für eine bestimmte Feuerwiderstandsklasse besitzen oder es sind Sondermaßnahmen durchzuführen. Beispielsweise ist es ausreichend, wenn einzelne Kabel in Schlitzen verlegt und verputzt werden oder wenn die Schlitze mit entsprechenden nichtbrennbaren Brandschutzplatten ausreichender Dicke verschlossen werden. Auch Schalterkästen können mit entsprechenden nichtbrennbaren Brandschutzplatten, z.B. Kalzium-Silikat- oder Gips-Feuerschutz- bzw. Gipsfaser-Platten, etc. verschlossen werden. Für diesen Bereich gibt es bereits zahlreiche Brandschutznachweise für so genannte „Revisionsöffnungen“ oder für Schaltschränke.

Steckdosen, Schalterdosen, Verteilerdosen

Steckdosen, Schalterdosen, Verteilerdosen dürfen in der Regel bei raumabschließenden Wänden nicht unmittelbar gegenüber liegend eingebaut werden. Bei Wänden aus Mauerwerk mit einer Gesamtdicke ≥ 140 mm gilt diese Einschränkung nicht. In 100 mm oder 115 mm dicken Kalksandsteinwänden dürfen nur einseitig Steckdosen eingebaut werden. Beim Bohren muss dabei sichergestellt werden, dass das Loch nur auf Dosentiefe und nicht durch die gesamte Wanddicke gebohrt wird und dass abschließend die Dosen eingeputzt werden. Beim Einbau von Elektrodosen in 115 mm dicke KS -E-Steine ist sicherzustellen, dass die Dosen mit einem Gipsbatzen eingesetzt werden. Sonst ist der Restquerschnitt aufgrund der vorhandenen Lochreihe mit nur 35 mm zu gering. Bei Dosenreihen kann es aber bei tragenden Wänden allein schon hinsichtlich der Standsicherheit Probleme geben, so dass hier im Einzelfall entschieden werden muss, ob der Einbau von mehreren Dosen neben- oder untereinander möglich ist, vergleiche DIN EN 1996-1-1/NA Tabellen NA.19 und NA.20. Bei Wanddicken < 60 mm sind nur Aufputzdosen erlaubt. Diese Einschränkung ist insbesondere bei Ausfachungs- und Schachtwänden zu beachten, da hier häufig schlankere Wände zur Ausführung kommen.

Kabelbündel, Rohrleitungen, Lüftungsleitungen

Für die Durchführung von Kabelbündeln, Rohrleitungen oder Lüftungsleitungen etc. durch raumabschließende Wände sind brandschutztechnische Maßnahmen – z.B. Abschottungen, Rohrmanschetten, Brandschutzklappen – erforderlich, deren Verwendbarkeit u.a. durch bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) nachgewiesen sein muss.

Verglasungen, Feuerschutzabschlüsse

Wenn in raumabschließenden Wänden mit bestimmter Feuerwiderstandsklasse Verglasungen oder Feuerschutzabschlüsse (Türen oder Tore) eingebaut werden sollen, so wird auch diese Einbaumaßnahme in der Regel durch bauaufsichtliche Zulassungen geregelt. Diese Bauteile dürfen jeweils nur in bestimmte Wände – Mindestdicke, Mindestfestigkeit – eingebaut werden. Außerdem sind bestimmte konstruktive Details zu beachten, z.B. die Verankerung einer feuerbeständigen Tür im Mauerwerk, die sich je nach Zulassung unterscheiden können. Für Verankerungen liegen mittlerweile die verschiedensten Nachweise vor. Dübelbefestigung und Maueranker sind ebenso in Zulassungen enthalten wie nachträglicher Einbau über Stahlrahmen oder Sonderlösungen. Für den Einbau von Feuerschutzabschlüssen in schlanke Wände, z.B. 11,5 cm dicke Kalksandsteinwände, liegen ebenfalls zahlreiche Nachweise vor.

INFO

Querschnittsabdichtungen

Sperrschichten, z.B. Bitumenbahnen R 500 oder mineralische Dichtungsschlämme, gegen aufsteigende Feuchtigkeit beeinflussen die Feuerwiderstandsklasse und Benennung nicht.

4.3.4 Anschlüsse von Kalksandsteinwänden an angrenzende Bauteile

Zahlreiche Ausführungsdetails sind DIN 4102-4 zu entnehmen, weil DIN EN 1996-1-2 in Anhang E nur die wenigen Standard-Wandanschlüsse an angrenzende Bauteile enthält. Weitere Ausführungsdetails in Verbindung mit Mauerwerkswänden werden regelmäßig im Mauerwerk-Kalender [5] veröffentlicht. Anschlüsse von KS-Mauerwerk an angrenzendes Mauerwerk können als Verbandsmauerwerk oder auch als Stumpfstoß ausgeführt werden. Ebenso können Anschlüsse tragender und nicht tragender Kalksandsteinwände gemäß Tafel 16 und 17 ausgeführt werden. Hierbei sind die Angaben zum Verschluss der Fugen zu beachten.

Dämmschichten in Anschlussfugen, die aus brandschutztechnischen Gründen angeordnet werden, müssen aus nichtbrennbarer Mineralwolle bestehen, Baustoffklasse A nach DIN 4102-1 oder den entsprechenden Klassen nach DIN EN 13501-1 angehören, einen Schmelzpunkt > 1.000 °C besitzen und eine Rohdichte ≥ 30 kg/m³ aufweisen. Wichtig ist, dass die Fugen wirklich stramm und dicht ausgefüllt werden. Häufig wird aber auf der Baustelle der Dämmstreifen nur lose aufgelegt, so dass er teilweise herausrutscht. Zur Lagesicherung empfiehlt es sich z.B., den Dämmstreifen mit Dünnbettmörtel anzukleben. Wei-

tere Anschlussmöglichkeiten wurden in [9] bearbeitet. Diese sind inzwischen ebenfalls normativ in DIN 4102-4 geregelt.

4.3.5 Stürze und Ringbalken

Stürze werden aus KS -U-Schalen, überwiegend jedoch als KS-Flachstürze oder als KS-Fertigteilstürze eingebaut. Der brandschutztechnische Nachweis für vorgefertigte Stürze wurde für die Feuerwiderstandsklassen F 30 bis F 90 und teilweise F 120 erbracht.

INFO

Die Feuerwiderstandsklasse F 90 ist bereits ab einer Sturzbreite von 115 mm möglich.

Die genauen Abmessungen und Nachweise – passend zu den in brandschutztechnischer Hinsicht erforderlichen Wanddicken – sind für KS-Fertigteil- und Flachstürze in Abhängigkeit der Zuggurthöhe, der Betondeckung und der Schalendicke den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen. Ausbetonierte KS -U-Schalen sind in DIN 4102-4:2016 geregelt. DIN EN 1996-1-2 enthält keine Angaben zu Stürzen. Die Feuerwiderstandsdauer von ausbetonierten KS -U-Schalen nach DIN 4102-4 und die üblichen Werte für Zuggurte von KS-Flachstürzen nach den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind in Abhängigkeit der Abmessungen, Schalendicken und Betondeckung in Tafel 15 dargestellt.

4.4 Außenwände

4.4.1 Grundlagen

Außenwände können tragende und nicht tragende Außenwände sein. Baurechtlich werden im Wesentlichen Anforderungen an Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 gestellt, die in einigen Bundesländern unterschiedlich sein können.

Bei Hochhäusern müssen nichtbrennbare Baustoffe verwendet werden. Ebenso werden auf Brandwänden, bei geringeren Grenzabständen oder bei aneinander gereihten Gebäuden im Bereich der Haustrennwände nichtbrennbare Baustoffe gefordert. Bei Sonderbauten – z.B. Krankenhäuser, Verkaufsstätten – werden ebenfalls nichtbrennbare Baustoffe in Fassadenbereichen gefordert. Wichtig ist es, die Anforderungen hinsichtlich von Oberflächen und von Außenwandbekleidungen zu beachten, siehe Abschnitt 4.4.4.

4.4.2 Nicht tragende Außenwände und nicht tragende Teile tragender Außenwände

Für nicht tragende Außenwände der Feuerwiderstandsklassen E 30 bis E 90 (i ↦ o) und bei abgeminderter Außenbrandkurve e_f (o ↦ i) können ohne jeden weiteren Nachweis die Angaben von nicht tragenden Kalksandsteinwänden der Feuerwiderstandsklassen EI 30 bis EI 90 nach DIN EN 1996-1-2/NA zugrunde gelegt werden. Die Planungssicherheit ist damit in jedem Fall gegeben, weil nach DIN EN 1363-2 geringere Temperaturen an der Außenseite gefordert werden, vergleiche Bild 3.

4.4.3 Tragende Außenwände

Für tragende Außenwände gelten die Angaben für tragende Kalksandsteinwände in Abhängigkeit der raumabschließenden Funktion (siehe Abschnitt 4.2.1).

Kalksandsteinwände der Feuerwiderstandsklasse REI nach DIN EN 1996-1-2/NA erfüllen immer die entsprechenden Anforderungen an tragende Außenwände.

4.4.4 Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen

Putz

Bei Außenwänden kann der eventuell brandschutztechnisch erforderliche Putz – ()-Werte in den Tafeln 22 bis 28 – durch eine Vormauerschale ersetzt werden. Bei Verwendung eines Wärmedämm-Verbundsystems (WDVS) darf der Aufbau mit

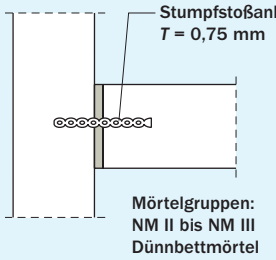
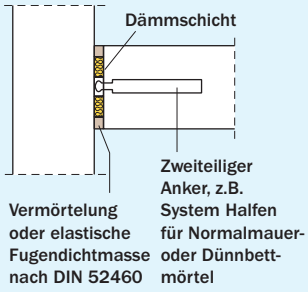
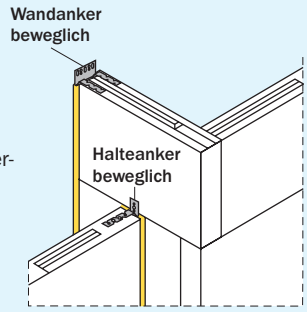
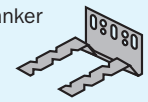
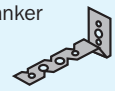
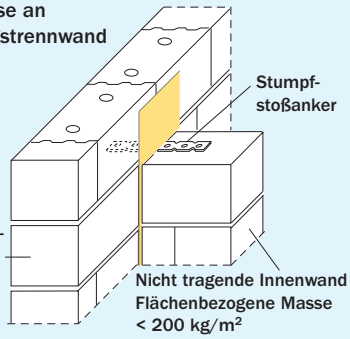
- einer Dämmschicht aus brennbaren Baustoffen – z.B. Baustoffklasse B nach DIN 4102-1 – nicht als Putz angesetzt werden und
- einer Dämmschicht aus nichtbrennbaren Baustoffen – z.B. Baustoffklasse A nach DIN 4102-1 (z.B. Mineralwolleplatten) – als Putz angesetzt werden.

Tafel 15 Feuerwiderstandsdauer von ausbetonierten KS -U-Schalen und KS-Flachstürzen

Sturzkonstruktion (Mauerwerk)	Mindest-Höhe h [mm]	Mindest-Schalendicke s_{min} [mm]	Mindest-Betondeckung c_{min} [mm]	Mindestbreite b [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse[3] F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A
Ausbetonierte KS -U-Schalen[1]	240	25	15	115	115	175	–
Zuggurte von KS-Flachstürzen[2]	113	25	20	115	115	115	175
	71	25	15	115	115	175 (115)	– (175)
	71	20	20	115	115	175 (115)	– (175)

[1] Nach DIN 4102-4
[2] Übliche Werte nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
[3] Die ()-Werte gelten für Stürze mit 3-seitigem Putz. Auf den Putz an der Sturzunterseite kann bei vermörtelten Stahl- oder Holzzargen verzichtet werden

Tafel 16 Seitliche Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz[1]
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Starr gehalten** durch Maueranker und vollflächig satt vermörtelte Anschlussfuge mit NM oder DM	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten oder nicht vollflächiger Vermörtelung ist ggf. eine Entkopplung und Undichtigkeit anzunehmen.	**Anschlussfuge voll vermörtelt mit NM oder DM** EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch in Ankerschiene eingelegte Maueranker	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch Wandanker  durch Halteanker 	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Halteankern und Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse an Wohnungstrennwand  	**Gelenkig gehalten** durch Mauerwerksanker und nachgiebiger Füllung mit Mineralfaserstreifen des Stumpfstoßanschlusses	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

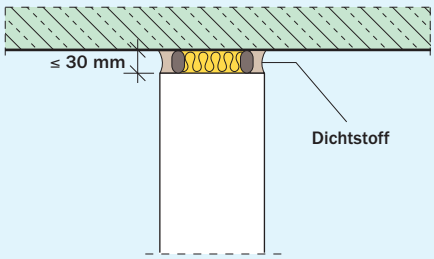
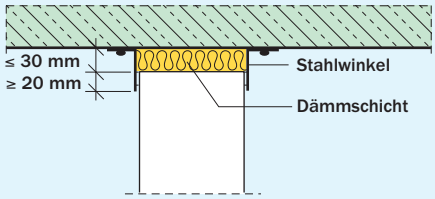
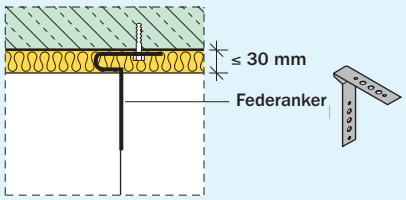
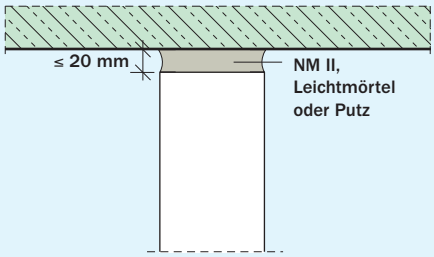
[1] Die Klassifizierung des Wandanschlusses entspricht der Klassifizierung der Wand, wenn die angegebenen Bedingungen eingehalten werden. Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2] Der Putz ist bei entkoppelten Anschlüssen mit einem Kellenschnitt zu trennen und nachträglich z.B. mit Acryl zu schließen.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Tafel 17 Obere Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz[1)]
	**Oberer Rand nicht gehalten** die Wand ist 3-seitig zu halten die Stoßfugen sind grundsätzlich zu vermörteln	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Dichtstoff, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60 Die Fugen müssen dicht ausgestopft werden. Für EI 30 mind. 50 mm; für EI 60 mind. 60 mm und für EI 90 und „Brandwände“ mind. 100 mm Breite der jeweiligen Wanddicke.
	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und nicht dicht** Als trennendes Bauteil nur geeignet mit zusätzlichem Fugendichtstoff in der Anschlussfuge	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Stahlwinkel, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
 Die Stoßfugen mit Federanker sind zu vermörteln.	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
	**Oberer Rand gehalten** mit Auflast infolge Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecke[2)] die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand Anschlussfuge vollständig durch NM II, Leichtmörtel oder Putz ausgefüllt	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Wänden mit Schallschutzanforderungen sollte diese Ausführungsvariante gewählt werden.	EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

[1)] Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2)] Bei Wandlängen > 5 m sollte dieser Anschluss mit dem Tragwerksplaner abgestimmt werden.

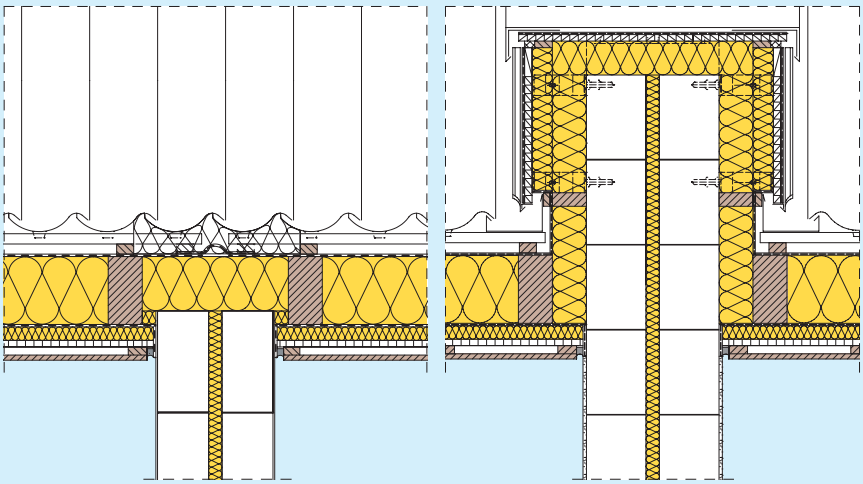
Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Wärmedämm-Verbundsysteme

Wenn bei Außenwänden Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) verwendet werden, ist die jeweilige LBO zu beachten. In Abhängigkeit von den Gebäudeklassen bzw. Vollgeschossen dürfen entweder schwerentflammbare Dämmschichten – z.B. Baustoffklasse B 1 nach DIN 4102-1 – oder müssen nichtbrennbare Dämmschichten – z.B. Baustoffklasse A nach DIN 4102-1 – eingesetzt werden (Ausnahmeregelung bis zu zwei Vollgeschosse: normalentflammbar). In der Regel müssen bei Gebäuden außer Hochhäusern und einigen Sonderbauten die Dämmschichten oder Außenwandbekleidungen aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen, vergleiche auch Abschnitt 2.5.3.

Zu den Wärmedämm-Verbundsystemen gehören grundsätzlich allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ), in denen in Abhängigkeit von der Dämmart und der Dämmschichtdicke u.a. für den Sturzbereich spezielle brandschutztechnische Ausführungen oder zusätzlich Brandriegel gefordert werden können.



a) Zweischalige Gebäudetrennwand mit nichtbrennbarer Dämmschicht auf den Sparren (über dem Wandkopf bis unter die Dachpfannen)

b) Zweischalige Gebäudetrennwand über Dach geführt

Bild 7 Gebäudeabschlusswand aus KS-Mauerwerk im Dachbereich

4.4.5 Zweischalige Außenwände

Aufgrund der höheren Wärmeschutzanforderungen nach der EnEV werden zunehmend zweischalige Kalksandsteinwände mit Dämmschichtdicken > 100 mm ausgeführt. In der Regel ist der Schalenzwischenraum heute ganz mit Dämmstoff (ggf. mit Fingerspalt) ausgefüllt. In Zusammenarbeit mit der Bauaufsicht wurden hierzu Regeln für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 erarbeitet, wenn insbesondere brennbare Dämmungen verwendet werden. Die im Einzelfall einzuhaltenden Regelungen sind DIN 4102-4 bzw. den geltenden bauaufsichtlichen Regelungen (MVV TB, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen) zu entnehmen.

4.5 Gebäudetrennwände – Gebäudeabschlusswände

4.5.1 Grundlagen

Die Begriffe Gebäudeabschluss- und Gebäudetrennwand sind in den Landesbauordnungen erläutert. Gebäudetrennwände sind in ausgedehnten Gebäuden alle 40 m zu errichten, um Brandabschnitte (BA) zu bilden. Gebäudeabschlusswände sind bei Gebäuden, die weniger als 2,5 m von der Grundstücksgrenze entfernt errichtet werden, und bei aneinander gereihten Gebäuden auf demselben Grundstück herzustellen.

Gebäudetrennwände sind in der Regel als Brandwände mit feuerbeständigen Türen auszubilden. In Ausnahmefällen dürfen in einigen Bundesländern feuerbeständige Wände der Feuerwiderstandsklasse REI 90 oder EI 90 nach DIN EN 1996-1-2/NA oder sogar nur hochfeuerhemmende Wände eingesetzt werden.

Gebäudeabschlusswände müssen nach den bauaufsichtlichen Bestimmungen je nach Lage der Gebäude, Anzahl der Geschosse und Nutzung einer bestimmten Feuerwiderstandsklasse entsprechen. Häufig sind Brandwände oder feuerbeständige Wände bzw. hochfeuerhemmende Wände zu errichten. Es gibt die Möglichkeit, anstelle von feuerbeständigen Wänden sogar die Kombination feuerbeständig + feuerhemmend (F 90-AB + F 30-B) einzusetzen.

Kalksandsteinwände lassen sich in den hier beschriebenen Anwendungsfällen vorteilhaft und wirtschaftlich einsetzen. Der brandschutztechnisch erforderliche Putz – ()-Wert der Tafeln 22 bis 28 – ist bei zweischaligen Trennwänden jeweils nur auf den Außenseiten der Schalen, nicht zwischen den Schalen, erforderlich. In Bild 7 sind zwei Beispiele zur möglichen Ausführung der Wandarten dargestellt.

4.5.2 Reihenhäuser

Aus Schallschutzgründen werden bei Reihenhäusern zweischalige Haustrennwände hoher Rohdichte mit durchgehender Trennfuge gebaut.

Aus brandschutztechnischer Sicht werden bei derartigen Wänden je nach Lage im Gebäude und nach Landesbauordnung unterschiedliche Anforderungen gestellt. Es können Gebäudetrennwände zur Bildung von 40 m langen Brandabschnitten oder Gebäudeabschlusswände gefordert werden.

Zweischalige Haustrennwände/Gebäudeabschlusswände aus Mauerwerk mit oder ohne Dämmschicht/Luftschicht sind Wände, die nicht miteinander verbunden sind und daher keine Anker besitzen. Bei tragenden Wänden bildet jede Schale für sich jeweils das Endauflager einer Decke/eines Daches, siehe auch Bild 7.

Für Wohngebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen und bis zu zwei Vollgeschossen in offener Bauweise bzw. für Wohngebäude geringer Höhe sind anstelle von Brandwänden oder feuerbeständigen Wänden – je nach Landesbauordnung – auch Gebäudeabschlusswände zulässig, die von innen nach außen feuerhemmend und von außen nach innen feuerbeständig sein müssen.

Bei versetzter Gebäudeanordnung werden in den nicht überlappenden Bereichen der Gebäude an der Grundstücksgrenze Brandwände oder feuerbeständige Wände jeweils mit feuerbeständiger Aussteifung gefordert. Auf der Grundlage der alten Richtlinien für die Verwendung brennbarer Baustoffe im Hochbau mussten bei derartigen Gebäuden

- nicht bekleidete Bauteiloberflächen
- Außenwandbekleidung
- großflächige Unterkonstruktionen
- Dämmschichten unter Bekleidungen

in bestimmten Bereichen der unmittelbar aneinander grenzenden Gebäude aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, siehe Bild 8.

Die Regeln der Richtlinie wurden in die Landesbauordnungen überführt. Es ist jeweils im Einzelfall zu klären, welche Anforderung tatsächlich maßgebend ist. Aufgrund der Landesbauordnungen muss darauf hingewiesen werden, dass der Entwurfsverfasser mit seiner Unterschrift auch für den gesetzlich erforderlichen Brandschutz verantwortlich ist bzw. die Verantwortung übernommen hat.

Für Reihenhaustrennwände können sowohl tragende als auch nicht tragende Kalksandsteinwände eingebaut werden. In der Regel werden diese zweischalig ausgeführt. Die Feuerwiderstandsklasse muss in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse der Anforderung der jeweiligen Landesbauordnung entsprechen. Die Regeln zur nichtbrennbaren Dämmung im Bereich der Gebäudetrennwände sind Länderweise unterschiedlich geregelt, und zwar von nur 10 cm bis zu 1 m Breite.

4.5.3 Grenzbebauung

Bei einer Grenzbebauung sind die Anforderungen an die Ausführungsdetails von Brandwänden im Dachbereich üblicherweise bekannt und bautechnisch relativ einfach lösbar. Bei Reihenhäusern mit übergreifenden Dächern, versetzten Höhen, durchlaufenden Ortgängen oder giebelständig angeordneten Reihenhäusern müssen die Ausführungsdetails rechtzeitig geplant werden. Auf diese Details wurde früher häufig nicht geachtet. Dies hat bei Bränden dazu geführt, dass das Feuer auf die unmittelbar angrenzenden Gebäude übergegriffen hat.

Das Ziel muss sein, dass das Feuer von einem Gebäude nicht zum angrenzenden, nächsten überspringt oder weitergeleitet wird. Problematisch ist auch, wenn Dächer belüftet werden und die Lüftungsschlitze sich aufgrund von Dachüberständen bereits auf dem anderen Grundstück befinden, weil die Außenwand auf der Grenze steht. Der gemäß Bauordnung festgeschriebene Nachbarschutz muss brandschutztechnisch sichergestellt werden.

INFO

Alle Anforderungen einer Grenzbebauung können mit Kalksandsteinwänden erfüllt werden. Je nach Gebäudeklasse müssen hochfeuerhemmende, feuerbeständige Kalksandsteinwände oder Kalksandstein-Brandwände ausgeführt werden.

In Bild 9 sind Beispiele für Anschlüsse von Brandwänden an Dächer dargestellt. Weitere Beispiele sind der Literatur, z.B. [10], [11], zu entnehmen.

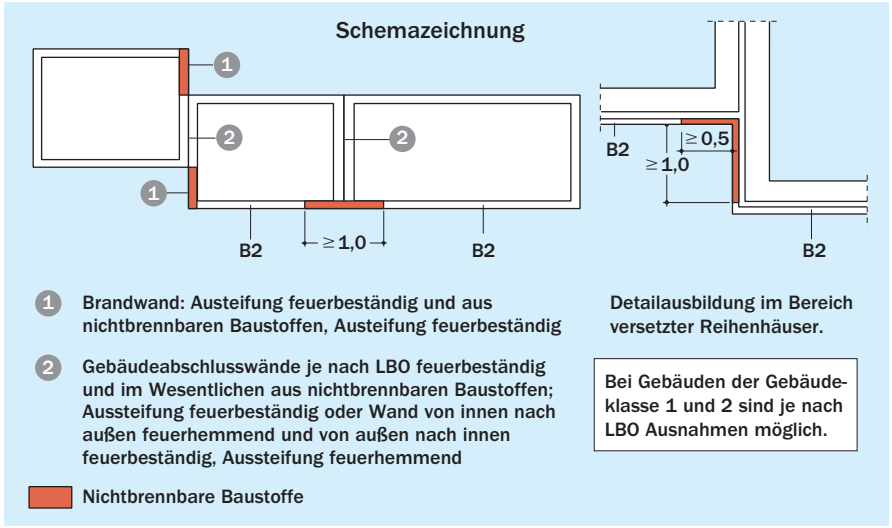


Bild 8 Beispiele für Regeln im Bereich der Gebäudetrennwände

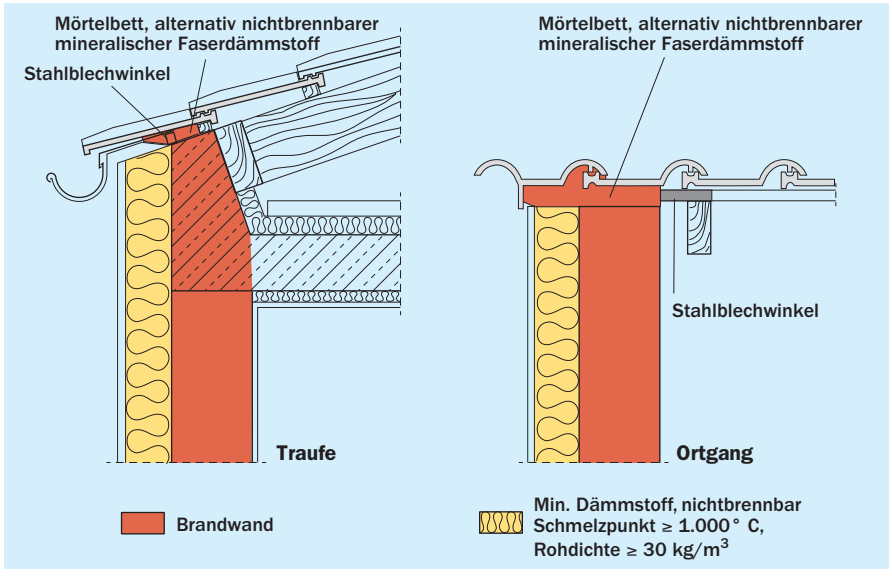


Bild 9 Dachanschlüsse – Traufe, Ortgang – bei Gebäudeabschlusswänden bei Grenzbebauung (Beispiele)

4.6 Brandwände

4.6.1 Grundlagen

Brandwände werden nach DIN EN 1364-1 oder DIN EN 1365-1 in Verbindung mit DIN EN 1363-2 geprüft und sind damit nachgewiesen. Weitere Nachweise, z.B. rechnerische Nachweise hinsichtlich der Stoßbeanspruchung, sind nicht erforderlich und auch nicht zulässig.

Brandwände müssen nach nationalem Baurecht folgende erhöhte Anforderungen erfüllen:

- Sie müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.
- Sie müssen mindestens die Anforderungen feuerbeständig – Feuerwiderstandsdauer 90 Minuten – erfüllen.

Bild 10 **Durch Brand verformte Stahlkonstruktion vor unversehrter Kalksandsteinwand**

Bild 11 **Durch einen Brand verkohlte Holzkonstruktion vor einer unversehrten Kalksandsteinwand; wegen ungetrennten Dachanschlüssen wurde das Feuer weitergeleitet**

Tafel 18 **Bauaufsichtliche Anforderungen an Brandwände**

Bauteile	Bauaufsichtliche Anforderungen	Anforderungen nach	
		DIN 4102	DIN EN 13501-2
Brandwände	feuerbeständig + nichtbrennbar + Stoßbeanspruchung 3 · 3.000 Nm	Brandwand	REI-M 90 nbb[1)] EI-M 90 nbb[1)]
Tragende und aussteifende Bauteile	feuerbeständig	F 90-AB	REI 90 im Wesentlichen nbb
Anzahl von Öffnungen	unbegrenzt		
Verschluss von Öffnungen	feuerbeständige Feuerschutzabschlüsse – Türen, Tore, Förderbahnabschlüsse, etc. (selbstschließend) feuerbeständige Brandschutzverglasungen feuerbeständige Kabelabschottungen feuerbeständige Rohrabschottungen feuerbeständige Brandschutzklappen	T 90 F 90 S 90 R 90 L 90	$EI_2$90-C.. EI 90 EI 90 EI 90-U/U EI 90($v_e h_o$i ↔ o)-S
Anordnung von Brandwänden	an der Nachbargrenze zwischen aneinander gereihten Gebäuden innerhalb ausgedehnter Gebäude in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und Dacheindeckung[2)]: ≤ 3 Vollgeschosse bis unter die Dachhaut > 3 Vollgeschosse mindestens 30 cm über Dach weiche Bedachung mindestens 50 cm über Dach Bauteile dürfen soweit eingreifen, wenn der Restquerschnitt der Wände feuerbeständig dicht und standsicher bleibt.	–	–

[1)] nbb = nichtbrennbar
[2)] Siehe auch Landesbauordnung

- Brandwände müssen unter einer dreimaligen Stoßbeanspruchung – Pendelstöße mit 3.000 Nm Stoßarbeit (200 kg Bleischrotsack) – standsicher und raumabschließend bleiben.
- Brandwände müssen die vorstehend genannten Anforderungen auch ohne Bekleidung erfüllen.

Ganz wichtig ist hierbei, dass die Stoßbeanspruchung ein reines Prüfkriterium ist, siehe auch Bild 12. Diese Stoßbeanspruchung muss nicht durch einen zusätzlichen statischen Nachweis belegt werden. Die Wand ist durch Prüfung und Klassifizierung „Brandwand“ nachgewiesen und erfüllt damit das Stoßkriterium. Dies gilt auch für dreiseitig gehaltene nicht tragende Wände mit freiem oberen Rand. Nur die statisch-konstruktiv zur Halterung der Ränder erforderlichen angrenzenden Bauteile müssen die Anforderung „feuerbeständig“ (Feuerwiderstandsdauer 90 Minuten) erfüllen.

4.6.2 Anforderungen an Brandwände nach den Landesbauordnungen

Für Brandwände ist nicht nur entscheidend, dass sie den Prüfanforderungen entsprechen, sondern auch, dass sie in der Praxis richtig angeordnet und ausgeführt werden. Brandwände werden u.a. auf Grundstückgrenzen, zur Trennung bestimmter Gebäude, z.B. „sonstige Gebäude“ oder zur Bildung von Brandabschnitten in bestimmten Abständen, erforderlich.

In Bild 13 wird anhand eines Gebäudegrundrisses (Beispiel) dargestellt, wo Brandwände gefordert werden.

Da Brandwände brandschutztechnisch eine sehr wesentliche Funktion haben, werden zusätzliche erhöhte Anforderungen im Bereich der Brandwände gestellt, z.B. an den Verschluss von Öffnungen. In Tafel 18 sind die wesentlichen brandschutztechnischen Anforderungen im Bereich von Brandwänden zusammengefasst.

Die Normen unterscheiden nicht zwischen tragenden und nicht tragenden Brandwänden. Bild 15 zeigt eine Kalksandstein-Brandwand nach einem Brand. Abgesehen von Einbaumängeln im Bereich des Dachanschlusses sowie bei Durchführungen hat die Kalksandsteinwand einwandfrei ihre Anforderung beim tatsächlichen Brand erfüllt und dies so-

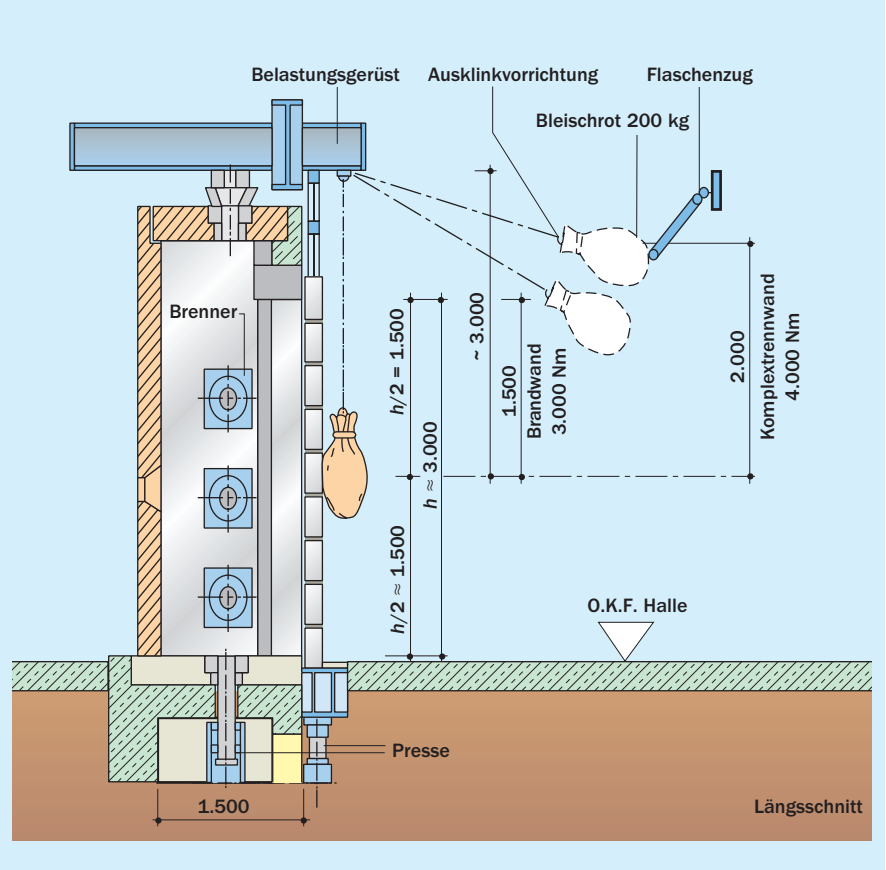


Bild 12 Prüfanordnung für Brandwände und Komplextrennwände nach den Prüfnormen

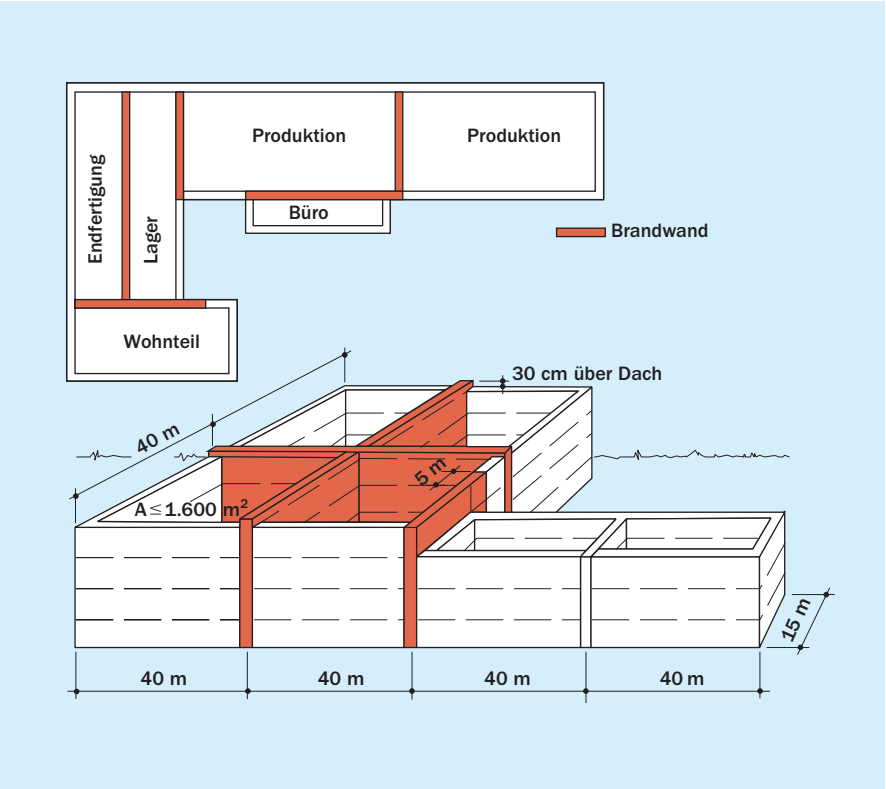


Bild 13 Anordnung von Brandwänden innerhalb von Gebäuden (Beispiel)

gar bei einer außerplanmäßigen, nicht gewollten zweiseitigen Brandbeanspruchung sowie mit Sicherheit bei einer längeren Brandbeanspruchung als 90 min.

Auch beim Einbau von KS-Wärmedämmsteinen am Wandfuß und Wandkopf geht die Klassifizierung von KS-Brandwänden nicht verloren. Dies wurde in [12] nachgewiesen und in den früher für diese Steine erforderlichen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen entsprechend bestätigt. Heute erfüllen auch KS-Wärmedämmsteine alle Anforderungen nach DIN EN 771-2 bzw. DIN 20000-402 und dürfen daher wie alle anderen Kalksandsteine ohnehin im gesamten Anwendungsbereich von DIN EN 1996 verwendet werden.

4.6.3 Anschlüsse von Brandwänden

Alle in DIN 4102-4 Abschnitt 9.8 aufgeführten Anschlüsse dürfen auch bei tragenden und nicht tragenden Brandwänden ausgeführt werden. Entsprechend DIN 4102-4 ist es ausreichend, wenn die Anschlussfugen vollfugig mit Mörtel nach DIN EN 1996-1-1 bzw. DIN EN 1996-3 oder Beton nach DIN EN 1992-1-1 verfüllt werden.

Für Anschlüsse von Kalksandstein-Brandwänden an angrenzende Massivbauteile können auch die in Tafel 16 und 17 dargestellten und aus DIN 4102-4 übernommenen Anschlüsse verwendet werden. Brandwände aus Mauerwerk müssen sowohl im nationalen als auch europäischen Prüfverfahren beim 3. Stoß immer frei stehen, so dass auch Anschlüsse nur für den Raumabschluss ausreichend sind, wenn aus statisch-konstruktiver Sicht keine weiteren Anforderungen gestellt werden, vergleiche auch Bild 16.

In den Bildern 7, 9, 16 bis 18 und den Tafeln 16 sowie 17 sind die empfohlenen Ausführungsdetails im Dachbereich sowie zu Bauteilabschlüssen gezeigt. Diese sind zu beachten, da gerade hier häufig Fehler gemacht werden. Weitere Anschlüsse können DIN 4102-4 entnommen werden. In Bild 15 sind die Auswirkungen falscher Ausführung von Anschlüssen im Bereich von Kalksandsteinwänden deutlich erkennbar. In Bild 19 sind Beispiele von Bauteilanschlüssen dargestellt, die zu beachten sind.

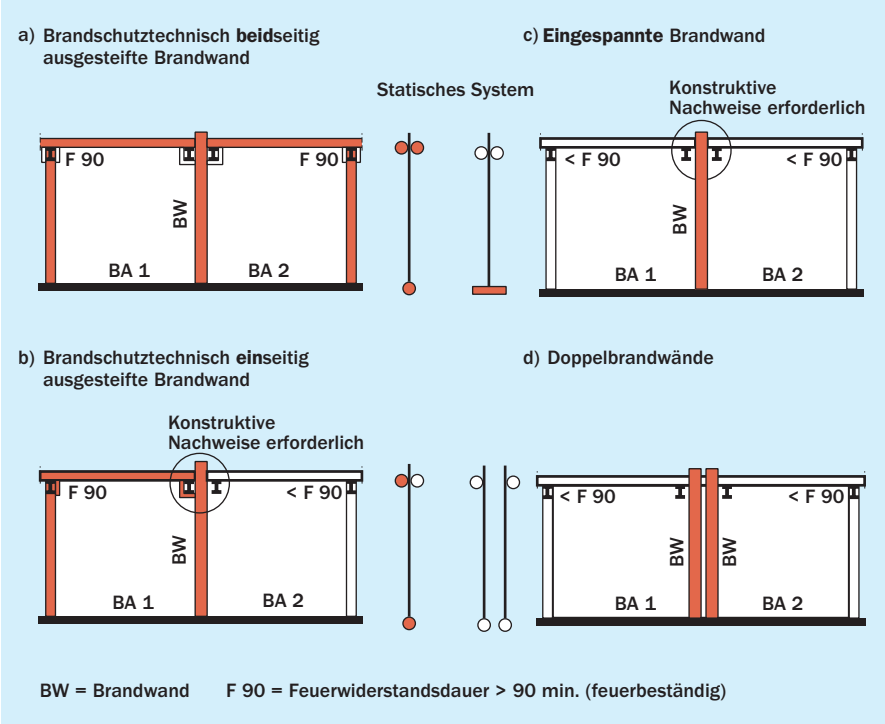


Bild 14 Aussteifungsmöglichkeiten von Brandwänden (Beispiele)

Bild 15 Eine Brandwand aus KS-Mauerwerk hat die Brandausbreitung auf weitere Gebäudeteile verhindert

4.6.4 Öffnungen in Brandwänden

Nach den Landesbauordnungen sind Öffnungen in Brandwänden unzulässig. Dies gilt insbesondere für Außenwände auf Grundstücksgrenzen.

Wenn die Nutzung des Gebäudes oder notwendige Rettungsmaßnahmen es erfordern, können Öffnungen in inneren Brandwänden erlaubt oder verlangt werden. Die Öffnungen müssen mit selbstschließenden, feuerbeständigen Abschlüssen, z.B. Türen T 90, Lüftungsleitungen L 90, Klappen in Lüftungsleitungen K 90 oder Abschottungen von Kabeldurchführungen S 90 und von Rohrdurchführungen R 90 nach DIN 4102 oder den entsprechenden zahlreichen europäischen Prüfnormen verschlossen werden. Die Wände und Decken anschließender Räume müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen hergestellt werden.

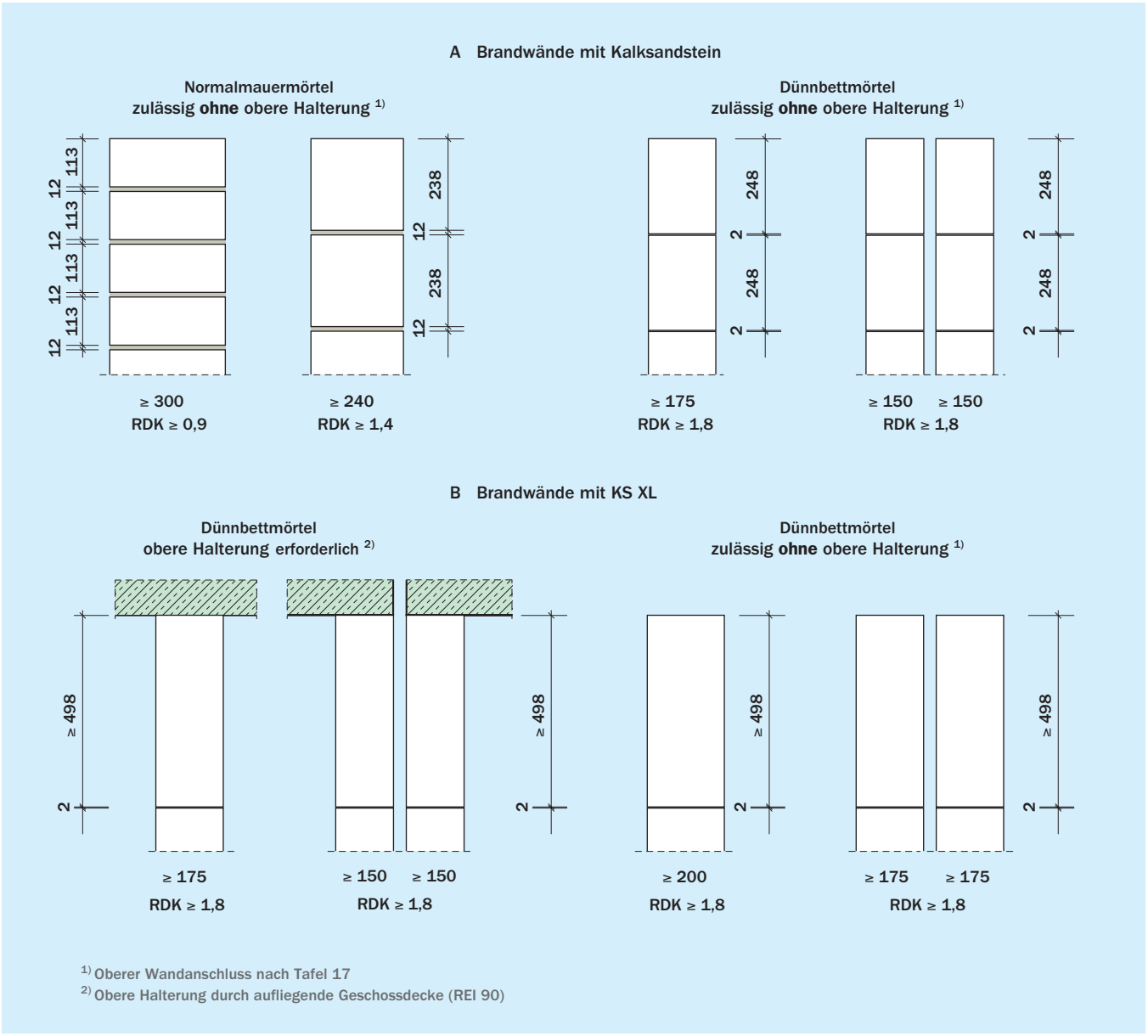


Bild 16 Halterungen von Brandwänden aus KS-Mauerwerk

Dehnungsfugen in Brandwänden sind so zu verschließen, dass Bewegungen der einzelnen Bauteile möglich sind. Die raumabschließende Funktion der Brandwand muss jedoch voll erhalten bleiben. Die Fugen sind, ausgenommen die äußere Versiegelung, in voller Fugentiefe mit nichtbrennbarem Material bzw. mit nach DIN 4102-2 oder DIN EN 1366-4 nachgewiesenen Fugenabdichtungen zu verschließen. Brennbare bituminöse Weichfaserplatten dürfen in Brandwänden nicht verwendet werden.

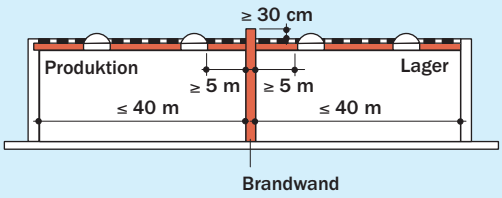
Die Errichtung einer Brandwand an brandschutztechnisch sinnvoller Stelle stellt heute kein größeres Problem dar, da für fast alle gewünschten betriebstechnischen Öffnungen und Durchlässe zahlreiche feuerbeständige Abschlüsse zur Auswahl stehen.

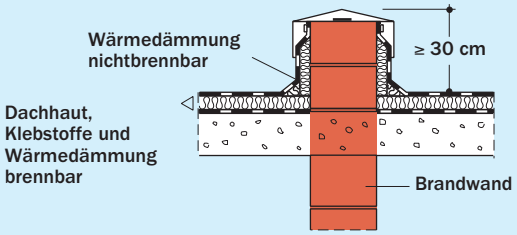
Mindestabmessungen von Brandwänden nach DIN EN 1996-1-2/NA sind in Tafel 29 zusammengefasst.

4.6.5 Aussteifung von Brandwänden

Eine sehr wesentliche Anforderung an Brandwände ist die Aussteifung. Nach DIN EN 1996-1-2 muss die Aussteifung von Brandwänden – z.B. aussteifende Querwände, Decken, Riegel, Stützen oder Rahmen – mindestens die gleiche Feuerwiderstandsdauer wie die Wand (90 Minuten) haben. Unabhängig davon, in welchem Brandabschnitt der Brand auftritt, muss gemäß LBO die Aussteifung der Brandwände über einen Zeitraum vom mindestens 90 min. gewährleistet werden. Diese Forderung führt zu Schwierigkeiten in der Ausführung, insbesondere bei Industriebauten oder Dachgeschossen im Wohnungsbau sowie auch bei nachträglichen baulichen Erweiterungen, weil an die angrenzenden Bauteile geringere oder auch gar keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt werden bzw. wurden.

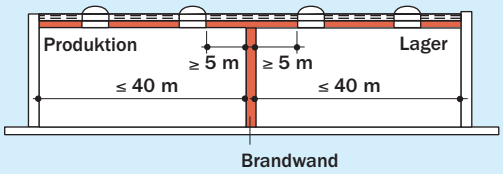
Gebäude mit feuerbeständigen Dachkonstruktionen und unbekiester Bedachung

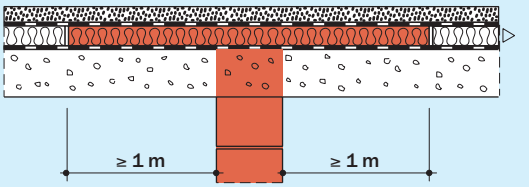




Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.

Gebäude mit feuerbeständigen Dachkonstruktionen und bekiester Bedachung

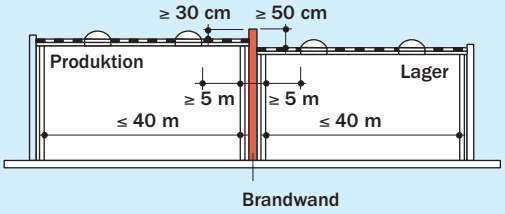


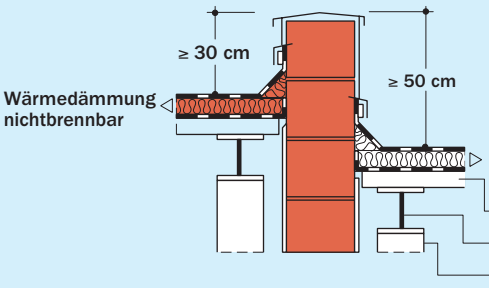


Dachhaut, Klebstoffe und Wärmedämmung brennbar

Wärmedämmung auf einer Breite von mind. 1 m beidseits der Brandwand nichtbrennbar

Gebäude mit unbekiesten Trapezblechdächern

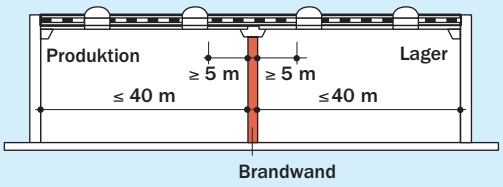


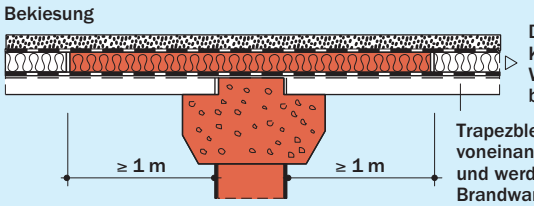


Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.

Wärmedämmung brennbar

Gebäude mit bekiesten Trapezblechdächern



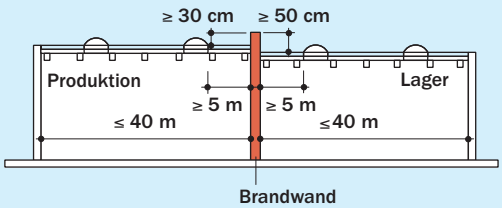


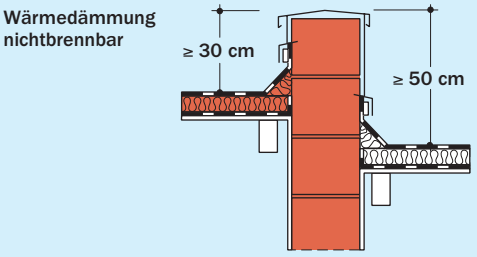
Dachhaut, Klebstoffe und Wärmedämmung brennbar

Trapezbleche liegen voneinander getrennt und werden von der Brandwand unterbrochen.

Wärmedämmung auf einer Breite von mind. 1 m beidseits der Brandwand nichtbrennbar

Gebäude mit Papp- oder gleichwertigen Bahnendächern





Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.

Wärmedämmung brennbar

Gebäude mit weicher Bedachung

Als weich gilt jede brennbare Bedachung, für die nicht der Nachweis erbracht ist, dass sie gegen Flugfeuer und strahlende Wärme widerstandsfähig ist.

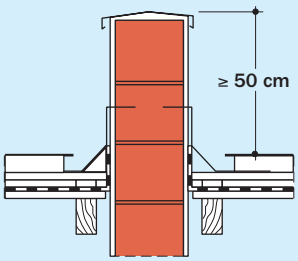
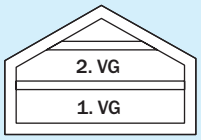
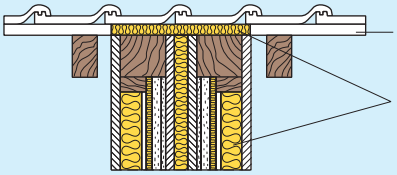


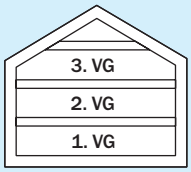
Bild 17 Brandwände im Dachbereich – Industriebau; Auszug aus: Bayerische Versicherungskammer München, Brandwände und Öffnungen in Brandwänden, Anforderungen und Ausführung

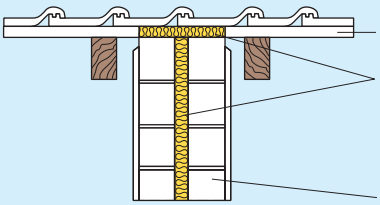
Wohngebäude ≤ 2 VG ≤ 2 Whg.
mit höchstens zwei Wohnungen und bis zu zwei Vollgeschossen in offener Bauweise.
Wände ohne Öffnungen, die vom Gebäudeinneren die Anforderung der Feuerwiderstandsklasse F 30-B und vom Gebäudeäußeren die der Feuerwiderstandsklasse F 90-B erfüllen.



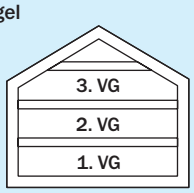


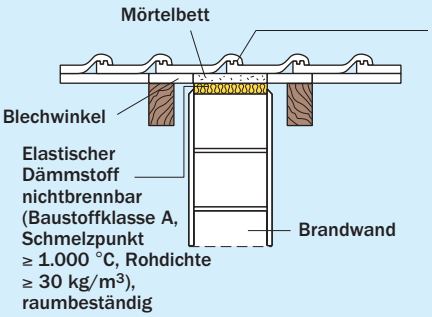
Wohngebäude ≤ 3 VG
mit bis zu drei Vollgeschossen.



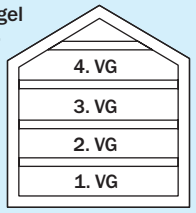


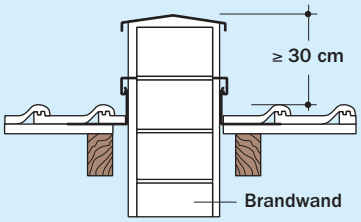
Gebäude (keine Wohngebäude) ≤ 3 VG
mit bis zu drei Vollgeschossen, ausgenommen Gebäude mit erhöhter Brandgefahr.
Als erhöht brandgefährlich gelten in der Regel Industriegebäude (abhängig von der Art der Produktion oder Lagerung).





Gebäude > 3 VG
mit mehr als drei Vollgeschossen
Gebäude mit erhöhter Brandgefahr.
Als erhöht brandgefährlich gelten in der Regel Industriegebäude (abhängig von der Art der Produktion oder Lagerung).





Gebäude ...
mit Dachaufbauten
(z.B. Dachgauben)
oder Öffnungen
(z.B. Dachfenster
in der Dachhaut)
(s. LBO)

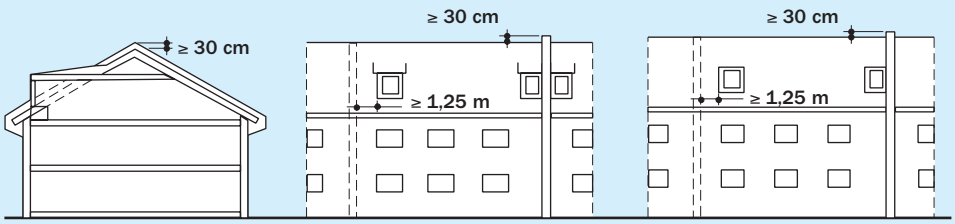
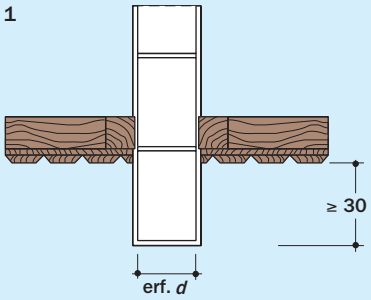


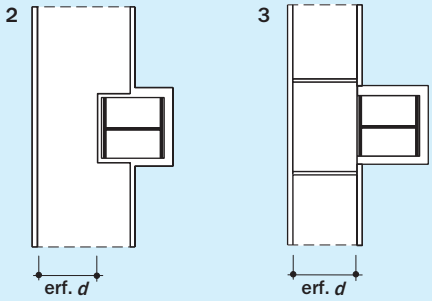
Bild 18 Brandwände im Dachbereich – Wohnungsbau (Länderunterschiede möglich), Auszug aus: Bayerische Versicherungskammer München, Brandwände und Öffnungen in Brandwänden, Anforderungen und Ausführung

Brandwände zwischen Holzaußenwänden



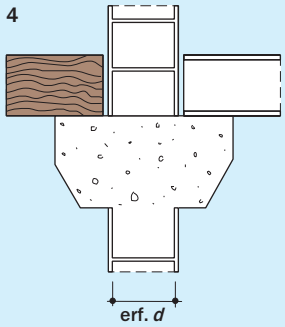
Bauteile aus brennbaren Baustoffen dürfen nicht in Brandwände eingreifen oder Brandwände überbrücken. Brandwände müssen bei Gebäuden mit Außenwänden aus brennbaren Baustoffen 30 cm vor der Außenwand geführt werden.

Stahlstützen an und in Brandwänden



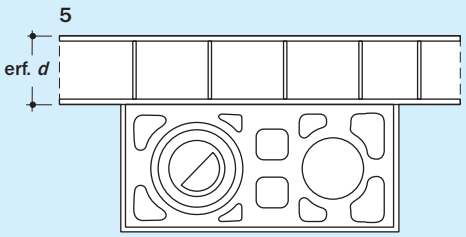
Stahlstützen, die unmittelbar vor oder in einer Brandwand stehen, sind feuerbeständig zu ummanteln, damit sie im Brandfall ihre aussteifende Funktion gewährleisten.

Trennung von Längspfetten



Längspfetten aus Holz oder Stahl dürfen nicht in Brandwände eingreifen.

Schornsteine an Brandwänden



Beim Anschluss von Schornsteinen an Brandwände darf aus Gründen der Standsicherheit die Mindestwanddicke der Brandwände nicht verringert werden. Das Gleiche gilt auch für Nischen, Einbauten etc.

erf. *d* gemäß Tafel 29

Bild 19 Bauteilanschlüsse an Brandwände

Tafel 19 Versicherungstechnische Anforderungen an Komplextrennwände

Bauteile	Anforderungen
Komplextrennwände	F 180-A + Stoßbeanspruchung 3 · 4.000 Nm
Tragende und aussteifende Bauteile	F 180-A
Anzahl von Öffnungen	max. vier pro Geschoss, Gesamtfläche ≤ 22 m², Beschränkung auf unbedingt notwendiges Maß
Verschluss von Öffnungen	feuerbeständige Feuerschutzabschlüsse – Türen, Tore, Förderbahnabschlüsse etc. (selbstschließend) feuerbeständige Brandschutzverglasungen nur in zwingenden Ausnahmefällen
Anordnung von Komplextrennwänden	unversetzt durch alle Geschosse mind. 50 cm über Dach des höheren Gebäudes Bauteile dürfen weder in Komplextrennwände eingreifen, noch diese überbrücken.

In Bild 14 werden Lösungsmöglichkeiten am Beispiel von Industriebauten vorgestellt, die Brandwände ausreichend aussteifen:

a) Brandschutztechnisch beidseitig ausgesteifte Brandwände sind der bekannte Regelfall. Es werden ohne besonderen Nachweis oben und unten gelenkig gelagerte Brandwände in ein Bauwerk integriert und die aussteifende Tragkonstruktion auf beiden Seiten der Wände wird feuerbeständig – Feuerwiderstandsdauer 90 Minuten – ausgelegt.

b) Brandschutztechnisch einseitig ausgesteifte Brandwände können ausgeführt werden, wenn ein konstruktiver Nachweis vorgelegt wird, der gewährleistet, dass im Brandfall bei einem Versagen der Tragkonstruktion mit einer Feuerwiderstandsdauer < 90 min. die Standsicherheit der Brandwand durch einstürzende Bauteile nicht gefährdet wird.

c) Bei im Fußpunkt eingespannten Brandwänden ist sicherzustellen, dass die Anschlüsse der Tragkonstruktionen mit Feuerwiderstandsdauern < 90 min. so ausgebildet werden, dass einstürzende Bauteile keine Zwangskräfte auf die Brandwand ausüben, die zum vorzeitigen Einsturz führen können.

d) Bei Doppelbrandwänden (zwei komplette Brandwände nebeneinander gesetzt) können beidseitig Tragkonstruktionen ohne brandschutztechnische Anforderungen anschließen, da bei dem Einsturz eines Brandabschnittes mit der dazugehörigen Brandwand die zweite Brandwand ohne weiteren Nachweis stehen bleibt und durch die Bauteile des nicht brandbeanspruchten Brandabschnittes ausgesteift wird.

Anders sind zweischalige Brandwände REI-M bzw. EI-M zu betrachten. Sie dürfen nicht mit den Doppelbrandwänden verwechselt werden. Die zweischaligen Brandwände müssen grundsätzlich beidseitig brandschutztechnisch ausgesteift werden, weil nur beide Schalen zusammen die Anforderung Brandwand erfüllen.

Bei Brandwänden in Dachgeschossen im Wohnungsbau wird es als ausreichend betrachtet, dass bei gemeinsamer Brandwand die dem Feuer abgelegene Seite

als ausreichende Aussteifung angesetzt wird, weil der Holzdachstuhl im Brandbereich verbrennt. Damit wirken im Brandfall keine zusätzlichen Zwangskräfte auf die Brandwand. Die nur einseitig durch den Holzdachstuhl im nicht Brandbereich gehaltene Giebelwand bleibt stehen, d.h. die Standsicherheit und der Raumabschluss wird gewährleistet. Nachgewiesen ist dies durch den 3. Stoß der Stoßbeanspruchung auf die freistehende Wand in der Brandprüfung. Außerdem wurde für 6 m hohes, nicht tragendes KS-Mauerwerk sogar mit mehr als vier Stößen auf die freistehende Wand die Standsicherheit und der Raumabschluss nachgewiesen. In der Praxis wurde diese Funktionstüchtigkeit auch bei den großen Stadtbränden sowie im 2. Weltkrieg in den Städten nachgewiesen.

Zur Aussteifung von Brandwänden können feuerbeständige Kalksandsteinwände eingesetzt werden. Alternativ kann die Aussteifung durch feuerbeständige Stahlbetonstützen oder feuerbeständige, bekleidete Stahlstützen erfolgen.

4.7 Komplextrennwände

4.7.1 Grundlagen

Komplextrennwände sind Wände, die versicherungstechnisch definiert sind. Die Bestimmungen der Sachversicherer sind in Tafel 19 zusammengefasst. Besonders ist zu beachten, dass die Feuerwiderstandsdauer von 180 min. auch für die aussteifenden Bauteile gefordert wird und damit das gesamte Gebäude eine Feuerwiderstandsdauer von 180 min. aufweisen muss. Komplextrennwände müssen zudem unversetzt durch alle Geschosse gehen. Bauteile dürfen in diese Wände weder eingreifen noch diese überbrücken.

Die vorstehenden Anforderungen werden häufig nicht beachtet. Dann ist die Wand selbst von ihrer Ausführung her zwar eine Komplextrennwand, aber das Gesamtsystem funktioniert nicht. Damit ist dann auch der Versicherungsschutz verloren bzw. besteht erst gar nicht.

Da Komplextrennwände im Baurecht nicht aufgeführt sind, werden sowohl in DIN 4102-4 als auch in DIN EN 1996-1-2/NA keine Angaben zu derartigen Bauteilen gemacht. Auch europäisch existiert eine solche Anforderung nicht. Lediglich das Prüfverfahren ist in einer Fußnote der deutschen Norm DIN 4102-3 beschrieben. Daher gibt der Verband der Sachversicherer (VdS) Broschüren heraus [10], aus denen von den Versicherern anerkannte Nachweise entnommen werden können.

4.7.2 Komplextrennwände aus KS-Mauerwerk

Nach den Angaben der Sachversicherer [10] werden derzeit 36,5 cm (einschalig) bzw. 2 x 24 cm (zweischalig) dicke Kalksandsteinwände mit Normalmauermörtel II, IIa oder III auch ohne Vermörtelung der Stoßfugen als Komplextrennwände eingestuft. Außerdem wurden 24 cm dicke, nicht tragende Kalksandsteinwände, Rohdichte ≥ 1,6, mit Dünnbettmörtel in den Lagerfugen, bis zu einer Wandhöhe von 6 m als Komplextrennwände geprüft und eingestuft. Weitere Nachweise sind [13] zu entnehmen.

4.7.3 Öffnungen in Komplextrennwänden

Öffnungen in Komplextrennwänden sind auf das für die Nutzung des Gebäudes unbedingt notwendige Maß zu beschränken.

Pro Geschoss dürfen nicht mehr als vier Öffnungen (einschließlich Schlupftüren) mit insgesamt 22 m² Fläche vorhanden sein. Feuerbeständige Brandschutzverglasungen sollen nur dann eingebaut werden, wenn dies aus zwingenden Gründen für einen Betriebsablauf erforderlich ist, da die Stoßfestigkeit 200mal geringer als bei Komplextrennwänden ist.

Ansonsten wurde von den Versicherungen akzeptiert, dass nur feuerbeständige Türen oder Tore eingebaut werden, weil es bisher keine Zulassungen für Feuerschutzabschlüsse mit 180 min. Feuerwiderstand gibt. Da also bisher keine Anforderung bestand, wurde von den Türherstellern auch nicht geprüft. Bei höheren Brandlasten werden jetzt jedoch vereinzelt hochfeuerbeständige Türen oder Tore bzw. solche mit einer Feuerwiderstandsdauer von 120 min. gefordert. Dies wird im Einzelfall in Abstimmung mit der Versicherung festgelegt.

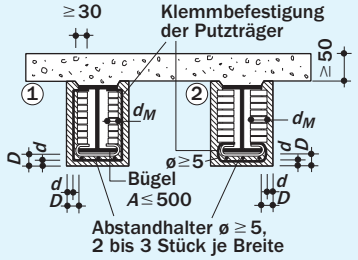
4.8 Sonstige Anwendungen mit Kalksandstein

4.8.1 Bekleidungen aus KS-Mauerwerk für Stahlbauteile

DIN 4102-4 enthält Angaben zu Bekleidungen für Stahlbauten u.a. aus Mauerwerk.

Die Angaben in Tafel 20 gelten für statisch bestimmt oder unbestimmt gelagerte, auf Biegung beanspruchte, bekleidete Stahlträger nach DIN EN 1993-1-1 mit maximal dreiseitiger Brandbe-

Tafel 20 **Mindestdicke d_M in mm in der Ausmauerung von Stahlträger mit Putzbekleidung der Untergurte[1] nach DIN 4102-4**

Platten oder Hohldielen nach DIN 4102-4 Abschnitt 5.4 bis 5.6	Mindestdicke d_M[2)3)] der Ausmauerung für die Feuerwiderstandsklasse-Benennung				
Mauerwerk nach DIN EN 1996-2 aus Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
	50	50	50	70	115
					

[1] Die Mindestputzdicken *d* und *D* für den Bereich der Untergurte sind den Angaben nach DIN 4102-4, Tabelle 90 zu entnehmen.
[2] Bei hohen Trägern können aus Gründen der Standsicherheit ggf. größere Dicken notwendig werden.
[3] Lochungen von Steinen dürfen nicht senkrecht zum Trägersteg verlaufen.

Tafel 21 Mindestbekleidungsdicke *d* in mm von Stahlstützen mit U/A ≤ 300 m^{-1} mit einer Bekleidung aus KS-Mauerwerk nach DIN 4102-4

Bekleidung aus	Feuerwiderstandsklasse-Benennung				
	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
Mauerwerk nach DIN EN 1996-2 unter Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402	50 (50)	50 (50)	70 (50)	70 (70)	115 (70)

Die ()-Werte gelten für Stützen aus Hohlprofilen, die vollständig ausbetoniert sind, sowie für Stützen mit offenen Profilen, bei denen die Flächen zwischen den Flanschen vollständig ausbetoniert, vermörtelt oder ausgemauert sind.

anspruchung. Eine dreiseitige Brandbeanspruchung liegt vor, wenn die Oberseite der Träger durch Stahlbetonplatten oder Hohldielen mit jeweils der mindestens geforderten Feuerwiderstandsklasse vollständig abgedeckt ist.

Die Angaben in Tafel 21 gelten für bekleidete Stahlstützen nach DIN EN 1993-1-1 mit weniger als vierseitiger Brandbeanspruchung. Bekleidungen aus KS-Mauerwerk müssen im Verband errichtet werden und die angegebenen Mindestdicken besitzen. Lochungen von Steinen dürfen nicht senkrecht zur Stützenlängsachse verlaufen. Die Bekleidung darf unmittelbar am Stahl anliegen. Die Bekleidungen sind durch eingelegte Stahlbügel mit einem Durchmesser ≥ 5 mm mindestens in Abständen von 250 mm in der Bekleidungsmitte zu bewehren. Diese Bewehrung ist nicht erforderlich, wenn die Stützen in ganzer Höhe in Wände nach DIN EN 1996-1-2/NA eingebaut werden und die an den Stützen vorbeigeführten Wandteile mit der in Tafel 21 angegebenen Mindestdicke durch Verband mit den angrenzenden Wandteilen verbunden sind.

4.8.2 Kalksandstein-Ausfachungswände

Für Ausfachungswände gelten die Anforderungen an nicht tragenden Wände.

4.9 Haustechnische Aspekte

Im Wohnungsbau sind haustechnische Aspekte relativ einfach zu lösen – solange es sich um Massivbauten wie mit Kalksandstein – handelt. Hier sind lediglich Rohrleitungen für Sanitär und Heizung und Elektroleitungen für Beleuchtung und Steckdosen zu führen. Bei den Rohrleitungen handelt es sich bisher in der Regel um nichtbrennbare Rohre, ausgenommen Abwasserleitungen, die teilweise aus Kunststoffen errichtet werden. Bei den Elektroleitungen handelt es sich um vergleichsweise wenige Leitungen. Anders sieht es schon bei den vergleichbaren Gebäuden, den Bürogebäuden aus. Hier wird heute sehr viel Haustechnik, insbesondere Lüftungstechnik sowie Elektrokabel und Datenleitungen, verlegt. Damit wächst das Brandrisiko einerseits durch die Brandlast und andererseits durch die Brandweiterleitung, wenn keine fachgerechte Bildung von Brandabschnitten mit Abschottungen erfolgt. Bei einer Massivbauweise, wie mit Kalksandsteinen, ist es relativ einfach, fachgerechte Anschlüsse und Abschottungen zu bauen.

Bei Sonderbauten spielt sich der Brandschutz mittlerweile im Wesentlichen im Ausbau ab, weil der Massivbau leider reduziert wird und der Trockenbau sowie die Haustechnik immer umfangreicher werden. Diesem Umstand haben auch die Bauaufsichten der Länder Rechnung getragen, weitere Vorschriften in der ARGEBau entwickelt und als Muster-Richtlinien veröffentlicht:

- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen (Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie MLAR). Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz
- Muster-Richtlinie über die brandschutztechnischen Anforderungen an Lüftungsanlagen (MLüAR)
- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Hohlraumestriche und Doppelböden (HohlrER).
- Richtlinie über automatische Schiebetüren in Rettungswegen (AutSchR)
- Richtlinie über elektrische Verriegelungssysteme von Türen in Rettungswegen(EltVTR)

Diese Richtlinien wurden als Muster-Richtlinien in den Mitteilungsblättern des DIBt veröffentlicht, werden jetzt im Internet unter www.is-argebau.de in der jeweils aktuellen Fassung zur Verfügung gestellt und sind damit Stand der Technik. Von den meisten Bundesländern wurden diese Vorschriften durch Einführungserlass eingeführt – teilweise lediglich durch den Hinweis, dass die Muster-Richtlinie anzuwenden ist – oder sie werden in einigen Punkten oder Details geändert und dann als eigene Richtlinie eingeführt.

Als Grundsatzregel gilt, dass alle Durchführungen, die durch eine Trennwand – eine raumabschließende Wand mit Brandschutzanforderungen – geführt werden, entsprechend der Wandqualität abgeschottet werden müssen. Dies gilt für brennbare und nichtbrennbare Rohre, Kabelanlagen – Elektrokabel, Datenleitungen, Kabel mit verbessertem Brandverhalten, etc. – sowie Lüftungsleitungen. Aber wie immer hat jede Regel eine Ausnahme, so dürfen z.B. in Hamburg nichtbrennbare Lüftungsleitungen durch feuerbeständige oder feuerhemmende Flurtrennwände ohne Brandschutzklappen geführt werden, wenn an die Türen des jeweiligen Raums keine Anforderungen gestellt werden und von der Lüftung keine Auslässe im Flur sind.

Außerdem gilt seit 2000 grundsätzlich, dass in Rettungswegen (notwendigen Fluren) keine Brandlasten ohne Brandschutzmaßnahmen verlegt werden dürfen. Hiervon ausgenommen sind die Kabel, die für die unmittelbare Beleuchtung des Flures erforderlich sind. Weitere Ausnahmen sind möglich. Bei sonstigen Brandlasten sind daher grundsätzlich feuerhemmende Unterdecken – z.B. F 30 allein nach DIN 4102-2 bzw. EI 30(a ↔ b)

nach DIN EN 13501-2 – oder feuerhemmende Kabelkanäle – I 30 nach DIN 4102-11 bzw. EI 30($v_e h_o i \leftrightarrow o$) – einzubauen.

Neben den bereits beschriebenen Brandschutzmaßnahmen gibt es außerdem Kabelkanäle oder -schächte zum Funktionserhalt von Kabelanlagen. Diese Kabel dienen zum Betreiben von Sicherheitsanlagen im Brandfall, z.B. Sicherheitsbeleuchtung, Druckerhöhungspumpe von Steigleitungen der Löschwasserversorgung oder Sprinkleranlagen, zum Betrieb von Entrauchungsanlagen etc. Schächte können mit KS-Mauerwerk erstellt werden. Hier muss nur sichergestellt werden, dass auf der Rückseite nicht mehr als 80 °C Temperaturerhöhung auftritt. Dies wird z.B. für 90 min. mit einer 150 mm dicken Kalksandsteinwand sichergestellt.

Bei Rohrleitungen ist ganz wesentlich, dass zwischen brennbaren und nichtbrennbaren Rohren unterschieden wird. Brennbare Rohre müssen ab Durchmesser DN 50 mit Rohrmanschetten gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen (abZ) abgeschottet werden. Derartige Rohrmanschetten quetschen im Brandfall das weich werdende Kunststoffrohr zusammen und der Restquerschnitt wird zugeschäumt. Bei nichtbrennbaren Rohren müssen ab Durchmesser DN 100 Rohrummantelungen eingebaut werden, um die Temperaturweiterleitung zu verringern und damit die Brandweiterleitung auf angrenzende Brand- oder Brandbekämpfungsabschnitte über 30 min., 60 min. oder 90 min. zu verhindern. Derartige Rohrummantelungen bestehen in der Regel aus nichtbrennbarer Steinwolle mit einem Schmelzpunkt > 1.000 °C. Die erforderliche Dämmdicke hängt von dem jeweiligen Rohrmaterial, dem Durchmesser sowie der Wandungsdicke ab. Die Werte sind dem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis (abP) zu entnehmen.

Ganz wichtig ist im Bereich der Haustechnik, dass rechtzeitig eine Gewerke übergreifende Planung in brandschutztechnischer Hinsicht erfolgt, weil die erforderlichen Brandschutzmaßnahmen sehr komplex und umfangreich geworden sind – insbesondere, wenn im Ausbau überwiegend Trockenbau zum Einsatz kommt. Hier kann es erforderlich sein, für jede Abschottungsmaßnahme separate andere Anschlüsse herzurichten. Bei der Verwendung von KS-Mauerwerkswänden muss lediglich die Größe der Aussparung ausreichend sein, denn Massivwände haben keine Hohlräume, die Zusatzmaßnahmen erfordern. Alternativ werden die Leitungen gemäß der LAR eingebaut und der Restquerschnitt in einer Kalksandsteinwand nur vermörtelt, siehe auch Bild 20. Außerdem ist der Brandschutz von massiven Kalksandsteinwänden höher als erforderlich. Noch wichtiger als die Gewerke übergreifende Planung ist die brandschutztechnische Baubegleitung während der Ausführung, um brandschutztechnische Mängel schon bei Erstellung des Gebäudes zu verhindern. Eine nachträgliche Beseitigung von Brandschutzmängeln oder das Nachrüsten von Brandschutzmaßnahmen ist wesentlich kostenintensiver als die Berücksichtigung der notwendigen Maßnahmen bei Planung und Ausführung.

4.10 Versicherungstechnische Aspekte

Die gesetzlichen, bauaufsichtlichen Forderungen zum Brandschutz haben als wesentliches Ziel ausschließlich den Personenschutz. Ein Sachwertschutz ist nur in der Hinsicht enthalten, dass der Nachbar vor einem Brandübergriff geschützt werden soll und dass ein Brand auf eine bestimmte Fläche 40 m · 40 m = 1.600 m² (Abstand von Brandwänden) begrenzt werden soll. Hiermit sollen der Feuerwehr Rettungs- und Löscharbeiten ermöglicht werden.

Den Versicherungen geht es dagegen vordringlich um den Sachschutz, zur Begrenzung des Schadenvolumens.

INFO

Die Versicherungen setzen voraus, dass zunächst alle gesetzlichen Anforderungen erfüllt sind. Bei Schadenfällen wird diese Voraussetzung auch überprüft und bei Mängeln kann der Versicherungsnehmer, der gesetzlich für die Einhaltung der erforderlichen Brandschutzmaßnahmen verantwortlich ist, mit in die Verantwortung genommen werden. Das kann zu reduzierten Zahlungen der Versicherungen führen.

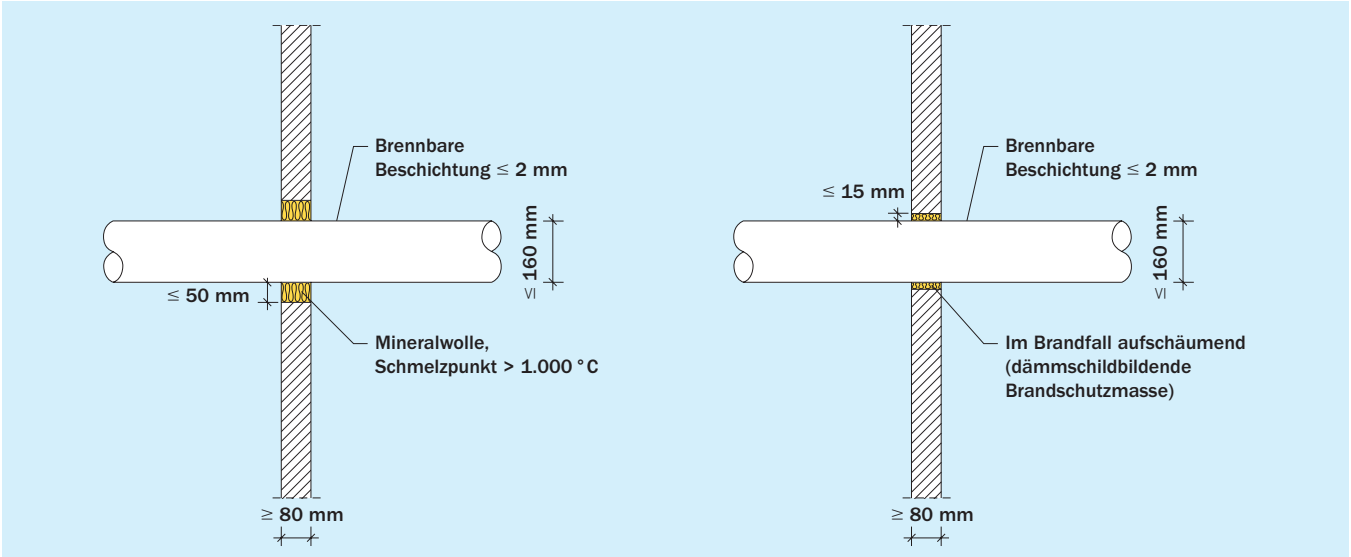


Bild 20 Regeldetails zur Durchführung von nichtbrennbaren Rohren auf der Grundlage M-LAR

Zum Abschluss der Sachversicherung und ggf. auch der Betriebsunterbrechung wird das jeweilige Brandrisiko abgeschätzt, welches die Prämie beeinflusst. Das Brandrisiko setzt sich zusammen aus der Nutzung sowie dem Gebäude selbst. Die Nutzung ist kaum zu beeinflussen, weil dem Mieter einer Wohnung nicht vorgeschrieben werden kann, welche Einrichtung – Möbel, Gardinen etc. – er verwenden darf. In einem Industriebetrieb ergibt sich die Nutzung ohnehin aus dem jeweiligen Gewerbe. Hier haben die Versicherungen lediglich Einfluss darauf, wie groß Abschnitte mit besonders gefährlichen Stoffen hinsichtlich Brandentstehung, Brandlasten, Brandweiterleitung oder auch explosiven Stoffen sein können.

Beim Bauwerk ist zu beachten, dass die im Gebäude vorhandenen Baustoffe – brennbar/nichtbrennbar – hinsichtlich des Brandverhaltens einen wesentlichen Einfluss auf das Brandrisiko haben. Das im Gebäude vorhandene Brandrisiko ist primär abhängig von den Brandlasten und die Brandlasten bestimmen maßgeblich den Brandverlauf hinsichtlich

- Brandentstehung bzw. Brandentwicklung,
- Brandausbreitung,
- Entstehung eines „flashovers“ (schlagartige Entzündung aller brennbaren Materialien), d.h. Vollbrand.

Internationale Untersuchungen bestätigen, dass das Brandgeschehen umso kritischer ist, je größer der Anteil der brennbaren und brandschutztechnisch ungeschützten Bauteile im Gebäude ist. In Bild 21 ist die Zusammensetzung der Brandlastanteile in einem Gebäude dargestellt.

Im Wohnungsbau stellt die bauweisenspezifische Brandlast einen wesentlichen Anteil dar. In einem mehrgeschossigen Wohnungsbau mit einer durchschnittlichen Wohnnutzfläche von etwa 800 m^2 kann sich die Brandlast bei unterschiedlichen Konstruktionsarten bis zum Faktor 4 unterscheiden. So sind in einem Massivbau die zwei- bis vierfach geringeren Mengen an brennbaren Stoffen gegenüber einem Holzbau möglich [14] und [15].

Durch die Bauweise wird nicht nur die Höhe der Brandlasten und damit das Brandrisiko wesentlich beeinflusst, sondern auch die Sanierungskosten. Ein Massivbau hat in der Regel geringere Sanierungskosten, weil nach einem Brandfall wesentliche Teile weiter bzw. wieder verwendet werden können. Außerdem wird der Brand allein durch die Massivbauweise begrenzt.

Ein weiterer Gesichtspunkt ist, dass die Eintrittshäufigkeit eines Brandes neben der mobilen Brandlast ebenfalls von der Bauweise abhängt. Insgesamt betrachtet ist somit der Werterhalt einer Massivbauweise günstig. Die Versicherungen haben früher bei der Massivbauweise wesentliche Rabatte in den Prämiensätzen gewährt. Nach Öffnung des Versicherungsmarktes fielen diese Anreize durch Rabattierung aber weg, weil eine Massivbauweise ohnehin als Standard vorausgesetzt wurde. Mittlerweile setzt jedoch wieder ein Umdenken ein, weil gemäß dem aktuellen Bauordnungsrecht bauliche Erleichterungen im Brandschutz ermöglicht werden. Damit wird das Brandrisiko wieder größer und die Schadensminimierung wird in den Verantwortungsbereich der Versicherungen verschoben. Die Bauordnungen geben nur noch Mindeststandards vor, so dass der bewährte deutsche Sicherheitsstandard eindeutig reduziert wird. Die Massivbauweise und damit auch die Kalksandstein-Bauweise gewährt weiterhin den bisherigen, gewohnt sicheren Standard, so dass damit zukünftig auch wieder Rabatte möglich werden könnten.

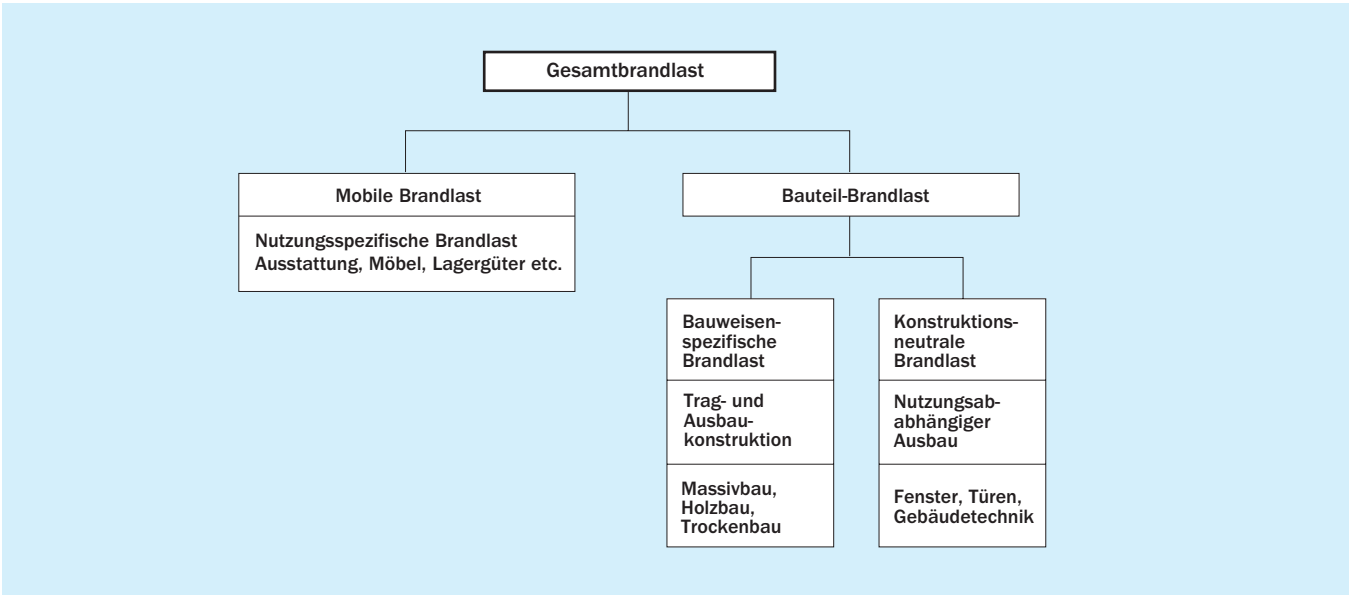


Bild 21 Zusammensetzung der Brandlastanteile in einem Gebäude

5. Zusammenfassung des tabellarischen Brandschutznachweises von KS-Konstruktionen

5.1 Grundlagen

Im Folgenden sind die tabellarischen Brandschutznachweise nach DIN EN 1996-1-2/NA zusammengefasst. Die Tabellenwerte gelten für Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402. Bei Verwendung von KS-Fasensteinen gelten die Werte für die Aufstandsbreite (Wanddicke abzüglich Fase).

Bei Ansatz einer verputzten Wandfläche – ()-Werte in den Tabellen – ist ein geeigneter Putz mit einer Mindestdicke von 10 mm auf beiden Seiten einer einschaligen Wand bzw. auf der Außenseite einer zweischaligen Wand aufzutragen. Es können z.B. Gipsputzmörtel B 1 bis B 6 nach DIN EN 13279-1, Kalk- und Kalk-Zementputze aus Werktrockenmörtel nach DIN EN 998-1 oder Wärmedämmputzmörtel nach DIN EN 998-1 verwendet werden.

5.2 Nicht tragende Wände

Die für die jeweilige Feuerwiderstandsklasse erforderlichen Mindestwanddicken nach Tafel 22 gelten gemäß DIN EN 1996-1-2/NA für Wandhöhen $h \leq 6$ m und Schlankheiten $l_c = h_{ef}/t \leq 40$.

5.3 Tragende Wände ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors

Da der Ausnutzungsfaktor α_{fi} nicht größer als 0,7 werden kann (siehe Abschnitt 3.5), darf die für die jeweilige Feuerwiderstandsklasse erforderliche Mindestwanddicke für die genannten Stein-Mörtel-Kombinationen direkt aus den Tafeln 23 bis 25 abgelesen werden.

Tafel 22 Nicht tragende, raumabschließende Wände (EI)

Steine Mörtel	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
	EI 30	EI 60	EI 90	EI 120	EI 180
KS-Lochsteine[1)] KS-Hohlblocksteine[1)] KS-Vollsteine[1)] KS-Blocksteine[1)] NM, DM	115 (115)			115 (115)	175 (140)[3)]
KS-Fasensteine[2)] KS-Planelemente DM	100 (100)				175 (115)
KS-Bauplatten DM	70 (50)	70 (70)	100 (70)		

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Auch als Plansteine
[2)] Abzüglich Fase
[3)] Bei Planstein-Mauerwerk mit Putz beträgt die Mindestwanddicke 115 mm

Tafel 23 Tragende, raumabschließende Wände (REI) ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors

Steine Mörtel	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse					
	REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180	REI 240
KS-Vollsteine[1)] KS-Blocksteine[1)] KS-Planelemente	150 (115)		150 (150)	175 (150)	240 (175)	–
NM, DM	Bei flächig aufgelagerten Massivdecken (Auflagertiefe = Wanddicke)					
	115 (115)		150[2)] (115)	150 (115)	150 (115)	175 (150)

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Auch als Plan- und Fasensteine (abzüglich Fase)
[2)] Bei $\alpha_{fi} \leq 0{,}6$ beträgt die Mindestwanddicke 115 mm

Tafel 24 Tragende, nichtraumabschließende Wände $L \geq 1{,}0$ m (R) ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors

Steine Mörtel	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
	R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
KS-Plansteine KS-Fasensteine[1)] KS-Planelemente DM	150	175	200	240	300

[1)] Abzüglich Fase

Tafel 25 Tragende, nichtraumabschließende Pfeiler und Wände $L < 1{,}0$ m (R) ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors

Steine Mörtel	Wanddicke [mm]	Mindestwandlänge [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
KS-Planelemente DM	115	–[1)]	–[1)]	–[1)]	–[1)]	–[1)]
	150	(897)	(897)	–[1)]	–[1)]	–[1)]
	175	615	730	(897)	–[1)]	–[1)]
	240	365	490	(615)	(730)	(897)

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Mindestwandlänge > 1,0 m (Bemessung von Außenwänden als raumabschließende Wand nach Tafel 23, sonst als nichtraumabschließende Wand $L \geq 1{,}0$ m nach Tafel 24)

5.4 Tragende Wände mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$

Wenn die Mindestwanddicke ohne Nachweis nicht eingehalten werden kann oder die Ermittlung für die vorhandene Stein-Mörtel-Kombination mit den Tafeln 23 bis 25 nicht möglich ist, muss der Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$ nach Abschnitt 3.5 ermittelt und die Mindestwanddicke mit den Tafeln 26 bis 28 bestimmt werden.

Tafel 26 Tragende, raumabschließende Wände (REI) mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$

Steine Mörtel	Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
		REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180
KS-Lochsteine[1)] KS-Hohlblocksteine[1)] NM, DM	≤ 0,15	115 (115)			115 (115)	175 (140)
	≤ 0,42				140 (115)	200 (140)
	≤ 0,70				200 (140)	240 (175)
KS-Vollsteine[1)] KS-Blocksteine[1)] KS-Planelemente NM, DM	≤ 0,15	115 (115)			115 (115)	150 (140)
	≤ 0,42				140 (115)	175 (140)
	≤ 0,70				150 (140)	200 (175)

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Auch als Plan- und Fasensteine (abzüglich Fase)

Tafel 27 Tragende, nichtraumabschließende Wände $L \geq 1{,}0$ m (R) mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$

Steine Mörtel	Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
KS-Lochsteine KS-Hohlblocksteine KS-Vollsteine KS-Blocksteine NM	≤ 0,15	115 (115)		115 (115)	140 (115)	150 (140)
	≤ 0,42			140 (115)	150 (115)	150 (140)
	≤ 0,70				150 (150)	175 (150)
KS-Plansteine KS-Fasensteine[1)] KS-Planelemente DM	≤ 0,15	115 (115)			140 (115)	150 (140)
	≤ 0,42				150 (115)	150 (140)
	≤ 0,70				150 (150)	175 (150)

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Abzüglich Fase

Tafel 28 Tragende, nichtraumabschließende Pfeiler und Wände $L < 1{,}0$ m (R) mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$

Steine Mörtel	Ausnutzung $\alpha_{6,fi}$	Wanddicke [mm]	Mindestwandlänge [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
			R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
alle KS-Steine NM, DM	≤ 0,42	115	365	490	(615)	(990)	–[3)]
		150	300			365	898
		175	240			240	365
		240	175			175	300
	≤ 0,70	115	(365)	(490)	(730)	–[3)]	–[3)]
		150	300			490	–[3)]
		175	240		300[1),2)]	300[2)]	490
		240	175		240	240	365

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Bei $h_{ef}/t_{ef} \leq 10$ beträgt die Mindestwandlänge 240 mm
[2)] Bei $h_{ef}/t_{ef} \leq 15$ und DM beträgt die Mindestwandlänge 240 mm
[3)] Mindestwandlänge > 1,0 m (Bemessung von Außenwänden als raumabschließende Wand nach Tafel 26, sonst als nichtraumabschließende Wand $L \geq 1{,}0$ m nach Tafel 27)

5.5 Brandwände

Die Mindestwanddicke von Brandwänden nach DIN EN 1996-1-2/NA kann für KS-Mauerwerk in Abhängigkeit der Steinrohdichte mit Tafel 29 ermittelt werden. Hierbei ist zwischen ein- und zweischaligen Brandwänden zu unterscheiden.

5.6 Komplextrennwände

Komplextrennwände sind nicht in DIN EN 1996-1-2 geregelt. Die Mindestwanddicken und weitere einzuhaltende Randbedingungen ergeben sich aus dem jeweils aktuellen Merkblatt der Sachversicherer. Ergänzend wurden für 240 mm dicke Komplextrennwände aus KS-Mauerwerk weitergehende Untersuchungen durchgeführt und mit entsprechenden Gutachten hinterlegt.

Tafel 29 Tragende und nicht tragende, raumabschließende Brandwände (REI-M, EI-M)

Steine Mörtel	Stein- rohdichteklasse	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklassen REI-M 30, REI-M 60, REI-M 90, EI-M 30, EI-M 60, EI-M 90	
		1-schalige Ausführung	2-schalige Ausführung
KS-Lochsteine[1)] KS-Hohlblocksteine[1)] KS-Vollsteine[1)] KS-Blocksteine[1)] NM, DM	≥ 0,9	300	2 x 200 (2 x 175)
	≥ 1,4	240	2 x 175
KS-Plansteine DM	≥ 1,8	175	2 x 150
KS-Planelemente DM	≥ 1,8	200	2 x 175
		mit aufliegender Geschossdecke (mindestens REI 90) als obere Halterung	
		175	2 x 150
Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz [1)] Auch als Plan- und Fasensteine (abzüglich Fase)/Planelemente			

Tafel 30 Komplextrennwände (F 180 + Stoßbelastung 4.000 Nm)

Steine Mörtel	Weitere Anforderungen	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse F 180 + Stoßbelastung 4.000 Nm	
		1-schalige Ausführung	2-schalige Ausführung
alle KS-Steine ≥ NM II	keine	365	2 x 240
KS-Vollsteine KS-Blocksteine NM III	SFK ≥ 12 RDK ≥ 1,8	240	–
KS-Plansteine KS-Planelemente DM	SFK ≥ 12 RDK ≥ 1,6	240	–

Normen

[N1] DIN 4102-2:1977-09 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

[N2] DIN 4102-3:1977-09 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandwände und nicht tragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

[N3] DIN 4102-4:2016-05 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile

[N4] DIN EN 1363-1:2012-10: Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1363-1:2012

[N5] DIN EN 1363-2:1999-10: Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 2: Alternative und ergänzende Verfahren; Deutsche Fassung EN 1363-2:1999

[N6] DIN EN 1364-1:2015-09 - Feuerwiderstandsprüfungen für nicht tragende Bauteile – Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1364-1:2015

[N7] DIN EN 1365-1:2013-08: Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1365-1:2012 + AC:2013

[N8] DIN EN 1366-4:2010-08: Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 4: Abdichtungssysteme für Bauteilfugen; Deutsche Fassung EN 1366-4:2006 + A1:2010

[N9] DIN EN 1634-3:2005-01: Prüfungen zum Feuerwiderstand und zur Rauchdichte für Feuer- und Rauchschutzabschlüsse, Fenster und Beschläge – Teil 3: Prüfungen zur Rauchdichte für Rauchschutzabschlüsse; Deutsche Fassung EN 1634-3:2004

[N10] DIN EN 1991-1-2:2013-08: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002

[N11] DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke– Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen– Brandeinwirkungen auf Tragwerke

[N12] DIN EN 1996-1-1:2013-02: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005 + A1:2012

[N13] DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05: Nationaler Anhang– National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Änderung A1 2013-07

[N14] DIN EN 1996-3:2012-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; Deutsche Fassung EN 1996-3:2006 + AC:2009

[N15] DIN EN 1996-3/NA:2012-01: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

[N16] DIN EN 1996-1-2:2011-04: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

[N17] DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

[N18] DIN EN 13501-1:2010-01: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten; Deutsche Fassung EN 13501-1:2007 + A1:2009

[N19] DIN EN 13501-2:2010-02: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung EN 13501-2:2007 + A1:2009

[N20] DIN EN 14600:2006-03: Tore, Türen und zu öffnende Fenster mit Feuer- und/oder Rauchschutzeigenschaften – Anforderungen und Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 14600:2005

[N21] DIN EN 15080-12:2011-04: Erweiterter Anwendungsbereich der Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 12: Tragende Mauerwerkswände; Deutsche Fassung EN 15080- 12:2011

[N22] DIN EN 15254-2:2009-10:Erweiterter Anwendungsbereich der Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen – Nicht tragende Wände – Teil 2: Mauersteine und Gips-Wandbauplatten; Deutsche Fassung EN 15254-2:2009

[N23] DIN 18550-1:2018-01 – Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1:2016-09 für Außenputze

[N24] DIN 18550-2:2018-01 – Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze

[N25] DIN EN 771-2:2015-11 – Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine; Deutsche Fassung EN 771-2:2011+A1:2015

[N26] DIN 20000-402:2017-01 – Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2:2015-11

Literatur

[1] Musterbauordnung – MBO (Fassung November 2002, zuletzt geändert 13.05.2016)

[2] Voigtländer, R.: Brandursachenermittlungen und andere technische Fragen in der Sachversicherung, Schadenprisma 4/2003

[3] Hosser, D., Schneider, U.: Statistische Ermittlung der Brandhäufigkeit in mehrgeschossigen Wohngebäuden, Forschungsbericht T 1292, IRB Verlag 1984

[4] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates

[5] Hahn, Chr.: Mauerwerk-Kalender ab 1995

[6] Hahn, Chr.: Brandschutzplanung – Lästiges Übel oder Beitrag zum kostengünstigen Bauen? – In: BBauBl 44 (1995) 10

[7] HAHN Consult: Forschungsbericht Nr. 28049.1 – Hn/Br/Ma Brandschutz mit Kalksandstein-Mauerwerk Nachweis für KS-Wände und KS-Pfeiler bei Bemessung nach DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 ohne Berücksichtigung eines nationalen Anhangs ECSPA European Calcium Silicate Producers Association, September 2012

[8] HAHN Consult: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 25004 – Hn/Br – Validierung des Eurocodes EC 6-1-2 – Bemessung von Mauerwerk im Brandfall – zum Nachweis des deutschen Sicherheitsniveaus unter Berücksichtigung bauaufsichtlicher Erfordernisse April 2013, DIBt, Berlin

[9] HAHN Consult: Gutachtliche Stellungnahme Nr. 28092 a-Hn zum Brandverhalten von Anschlüssen nicht tragender Brandwände und nicht tragender F30-F90-Wände aus Kalksandsteinmauerwerk an Massivdecken (30.10.08)

[10] VdS 2234:2012-07: Brandwände und Komplextrennwände – Merkblatt für die Anordnung und Ausführung. Hrsg. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GdV)

[11] Brandschutzatlas. FeuerTRUTZ GmbH, Köln

[12] HAHN Consult: Gutachtliche Stellungnahme Nr. 20006 zum Brandverhalten von Kalksand-Wandkonstruktionen unter Verwendung von KS-ISO-Kimmsteinen (21.12.01)

[13] HAHN Consult: Gutachtliche Stellungnahme Nr. 11078 – Hn/Ma zum Nachweis der Eignung von Mauerwerkswänden aus Kalksand-Vollsteinen als Komplextrennwände (15.03.2013)

[14] The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2nd Edition, ISBN 0-87765-354-2

[15] Wilmot, R.T.D.: United Nations Fire Statistics Study. World Fire Statistics Centre Bulletin, Geneva Association, Genf Sept. 1999

Bildnachweise

Bild S. 231: Heidelberger Kalksandstein GmbH

Bild S. 224, Bild 10, Bild 11, Bild 15:
Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 11

SCHALLSCHUTZ

Prof. Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Martin Schneider

Stand: 08/2025

1. Einleitung

„Eines Tages werden wir den Lärm bekämpfen müssen wie die Pest“. Was derart vor etwa hundert Jahren von Robert Koch (1843–1910) prophezeit wurde, ist heute bittere Realität geworden. Über 70 % der Bevölkerung fühlen sich durch Lärm gestört. Wissenschaftlich ist belegt, dass Lärm nicht nur belästigt, sondern auch gesundheitlich belastet und zu chronischen Erkrankungen führen kann. Zumindest für die eigenen vier Wände wird erwartet, dass der lärmgeplagte Mensch noch die erwünschte Ruhe findet.

Im Bauwesen wurde schon früh erkannt, dass die Menschen in ihren Wohnungen durch richtig ausgewählte Bauteile vor Schalleinwirkungen geschützt werden können. Bereits ab 1938 wurden in DIN 4110 [1] für den baulichen Schallschutz Mess- und Bewertungsverfahren und Anforderungen als DIN-Norm herausgegeben. 1944 erschien erstmals die DIN 4109. Bei dieser Norm wurde von Anfang an zwar von „Schallschutz“ gesprochen, tatsächlich war bei den Nachweisen und Anforderungen aber immer die Schalldämmung R'_w der trennenden Bauteile gemeint. Ebenso war es noch bis zur DIN 4109:1989 [2] Tradition, im Massivbau die Schallübertragung über Nebenwege nicht gesondert zu betrachten.

Erst mit der Verabschiedung der europäischen Berechnungsverfahren für den baulichen Schallschutz in DIN EN 12354-1 [3] ab dem Jahr 2000 und der darin enthaltenen konsequenten Trennung der einzelnen Schallübertragungswege wurde bezüglich der Flankenübertragung Klarheit geschaffen. Die daran anschließende Forschung für den Massivbau in Deutschland, begonnen von der Kalksandsteinindustrie [4], führte zu messtechnisch abgesicherten Erkenntnissen, die mit DIN 4109-2 [5] und DIN 4109-32 [6] in die DIN 4109:2016-07 einflossen. Damit wurden mit diesem neuen Regelwerk für die bauakustische Planung und die schalltechnischen Nachweise die Voraussetzungen geschaffen, dass nicht mehr nur die trennenden Bauteile im Vordergrund stehen, sondern nun auch die Schallübertragung über Flankenbauteile und Stoßstellen ausdrücklich zu betrachten und schalltechnisch zu dimensionieren ist.

INFO

Für den baulichen Schallschutz sind flankierende Außen- und Innenbauteile und die Ausbildung der dazugehörigen Stoßstellen genauso wichtig wie Wohnungstrennwände und Wohnungstrenndecken.

Die Entwicklung der Regelwerke für den baulichen Schallschutz findet in einer Zeit sich ständig ändernder Randbedingungen statt. Die Erwartungen an den Schallschutz steigen. Der Kostendruck nimmt zu. Anforderungen an den Wärmeschutz steigen und tangieren die Belange des Schallschutzes. Diskussionen über den rechtlich geschuldeten Schallschutz führen zu weiterer Verunsicherung.

Schallschutz kann nicht unabhängig von all diesen Fragestellungen behandelt werden. Doch beinhalten Herausforderungen immer auch Chancen. Der vorliegende Beitrag zeigt, dass es Wege aus der „Lärmfalle“ gibt. Hintergründe und schalltechnische Problembereiche werden beleuchtet und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt. Die Palette der verfügbaren Mittel reicht vom schalltechnischen Gesamtkonzept bis zu Lösungen im Detail.

INFO

Schallschutz ist baubar – allerdings nur, wenn er von Anfang an in die Gesamtplanung integriert ist.

2. Schalltechnische Grundlagen

2.1 Grundbegriffe

Unter Schall werden mechanische Schwingungen verstanden, die sich in gasförmigen, festen oder flüssigen Medien ausbreiten. Hörbarer Schall liegt im Frequenzbereich zwischen etwa 16 Hz und 20 kHz, wobei die Frequenz die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde [1/s] angibt und mit Hertz [Hz] bezeichnet wird. Die Bauakustik berücksichtigt den Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 5 kHz. Bei der Schallausbreitung in der Luft spricht man von **Luftschall**. Das ist die am häufigsten betrachtete Form, da sie direkt vom Gehör wahrgenommen werden kann und für die Wahrnehmung von Geräuschen und für Lärmbelästigungen verantwortlich ist. In der Bauakustik spielt der **Körperschall** eine wichtige Rolle, da die Schallübertragung zwischen zwei Räumen maßgeblich über den Baukörper (trennende und flankierende Bauteile) erfolgt. Die Schwingungen der Bauteile führen zur Abstrahlung von Luftschall, so dass auch Körperschall zu einem Hörereignis führt. Für die Ausbreitung des Körperschalls sind die Bauteileigenschaften und Bauteilverbindungen ausschlaggebend. So gilt im Massivbau, dass schwere Bauteile schwerer zu Schwingungen angeregt werden können und deshalb schalltechnisch günstiger sind als leichte Bauteile. **Fluidschall** tritt in der Bauakustik innerhalb flüssigkeitsgefüllter Rohrleitungen auf und ist z.B. bei der Übertragung von Geräuschen der Sanitärinstallation oder von Heizungsanlagen zu berücksichtigen.

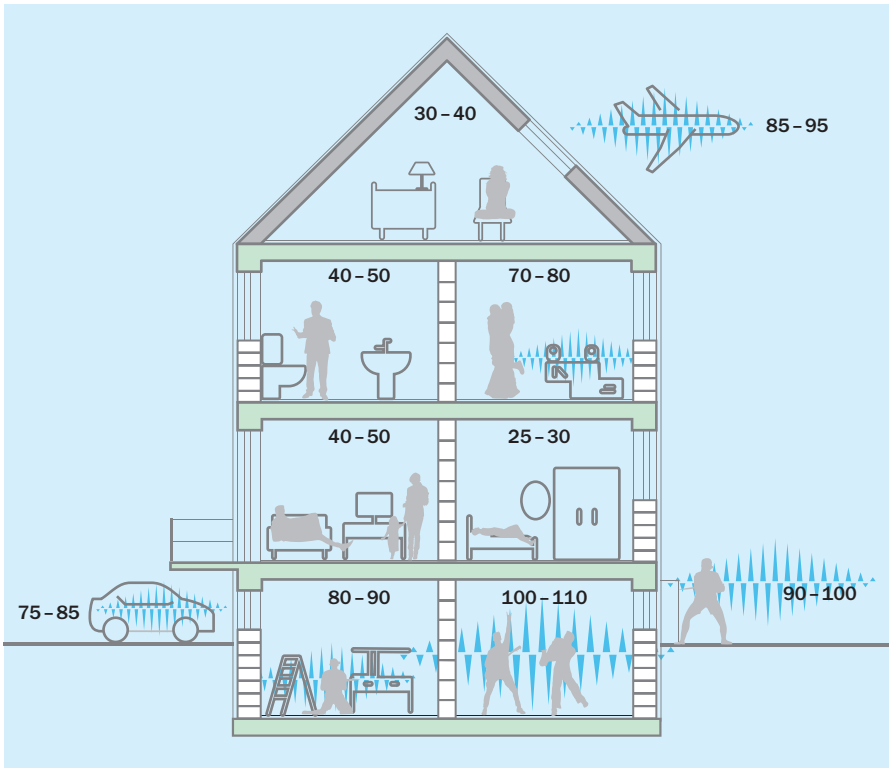


Bild 1 Schalleinwirkungen im Gebäude; A-bewertete Schallpegel [dB]

Bild 2 A-bewertete Schallpegel verschiedener Verursacher und Umgebungssituationen

Der **bauliche Schallschutz** berücksichtigt alle Schalleinwirkungen, die im Gebäude zu Störungen führen können. Nach Bild 1 umfasst er innerhalb des Gebäudes die Übertragung von Luftschall (z.B. Sprache, Radio- und Fernsehgeräte) und Trittschall sowie die Geräusche gebäudetechnischer Anlagen und von Betrieben im selben Gebäude. Von außerhalb ist vor allem die Lärmeinwirkung durch Verkehr (Straßen-, Schienen- und Flugverkehr) sowie Industrie und Gewerbe zu beachten.

Die physikalische Stärke von Geräuschen wird durch den **Schallpegel** L angegeben, der mit der Einheit Dezibel [dB] bezeichnet wird. Werden die Pegel so erfasst, wie es (näherungsweise) vom menschlichen Gehör geschieht, so handelt es sich um **A-bewertete Pegel** L_A, die ebenfalls in dB angegeben werden. Schallpegel für typische Geräusche innerhalb des menschlichen Hörbereichs, der von der Hörgrenze bis zur Schmerzgrenze reicht, werden in Bild 2 dargestellt. Schallpegel werden zur Festlegung von Anforderungen an den Schallschutz herangezogen, wenn die Schalleinwirkung in einem schutzbedürftigen Raum eine bestimmte Grenze nicht überschreiten darf. Schallpegel dienen auch zur Ermittlung der bauakustischen Kenngrößen für die Luft- und Trittschalldämmung.

2.2 Schalldämmung und Schallschutz

Die Schalldämmung beschreibt, wie stark Schall, der auf ein Bauteil auftrifft, von diesem auf der lärmabgewandten Seite abgestrahlt werden kann. Die kennzeichnende Größe dafür ist das Schalldämm-Maß *R*, das gemäß Bild 3 messtechnisch wie folgt bestimmt wird:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg(S/A) \qquad (2.1)$$

mit

L_1 Schallpegel im lauten Raum (Senderaum)
L_2 Schallpegel im leisen Raum (Empfangsraum)
S Fläche des trennenden Bauteils
A Äquivalente Absorptionsfläche, mit der die im Empfangsraum vorhandene Absorption beschrieben wird

Der Messaufbau im Labor muss in Übereinstimmung mit der Mess-Norm DIN EN ISO 10140 [7] so gewählt werden, dass die Schallübertragung nur über das trennende Bauteil erfolgen kann. Damit ist sichergestellt, dass ausschließlich die schalltechnische Leistungsfähigkeit des Bauteils charakterisiert wird, ohne dass zusätzliche Übertragungswege das Ergebnis beeinflussen.

Gegenüber der beschriebenen Laborsituation muss bei realen Gebäuden beachtet werden, dass die Schallübertragung zwischen zwei Räumen (Bild 4) nicht mehr nur über das trennende Bauteil selbst (Direktübertragung), sondern auch über die flankierenden Bauteile stattfindet (flankierende Übertragung, auch Schalllängsleitung genannt). Im Gegensatz zur Laborprüfung wird hier das so genannte **Bau-Schalldämm-Maß** ***R'*** ermittelt. Es berücksichtigt alle an der Schallübertragung beteiligten Wege und charakterisiert damit die resultierende Schalldämmung im Gebäude. Die Messung erfolgt nach DIN EN ISO 16283-1 [8].

Aus der genannten Übertragungssituation ergeben sich folgende Konsequenzen für die Planung:

- Schall wird nicht nur über das trennende Bauteil übertragen.
- Die Gesamt-Schalldämmung setzt sich aus den Anteilen aller Übertragungswege zusammen.
- Die flankierende Übertragung begrenzt häufig die erreichbare Schalldämmung.
- Die Anforderungen der DIN 4109-1:2016 und deren Nachfolgeausgabe von 2018 richten sich nicht an das trennende Bauteil allein, sondern an die Gesamtübertragung aller beteiligten Bauteile.

Die Messungen werden frequenzabhängig durchgeführt. In der Planungspraxis und für die schalltechnische Beurteilung von Bauteilen werden zur Vereinfachung in der Regel jedoch sogenannte **Einzahlwerte** verwendet. Die Ermittlung der Einzahlwerte beruht auf dem Bezugskurvenverfahren, das für die Luftschalldämmung in DIN EN ISO 717-1 [9] beschrieben wird. Die gemessenen Terz- oder Oktavwerte der Kenngröße werden mit

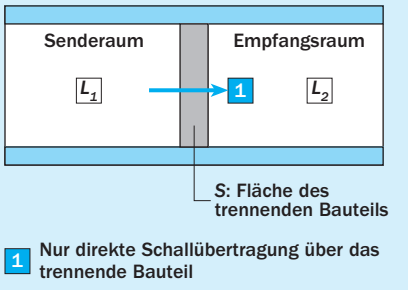


Bild 3 Messung des Schalldämm-Maßes im Labor

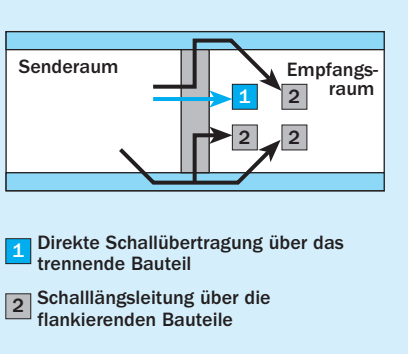


Bild 4 Schallschutz im Gebäude – direkte und flankierende Schallübertragung

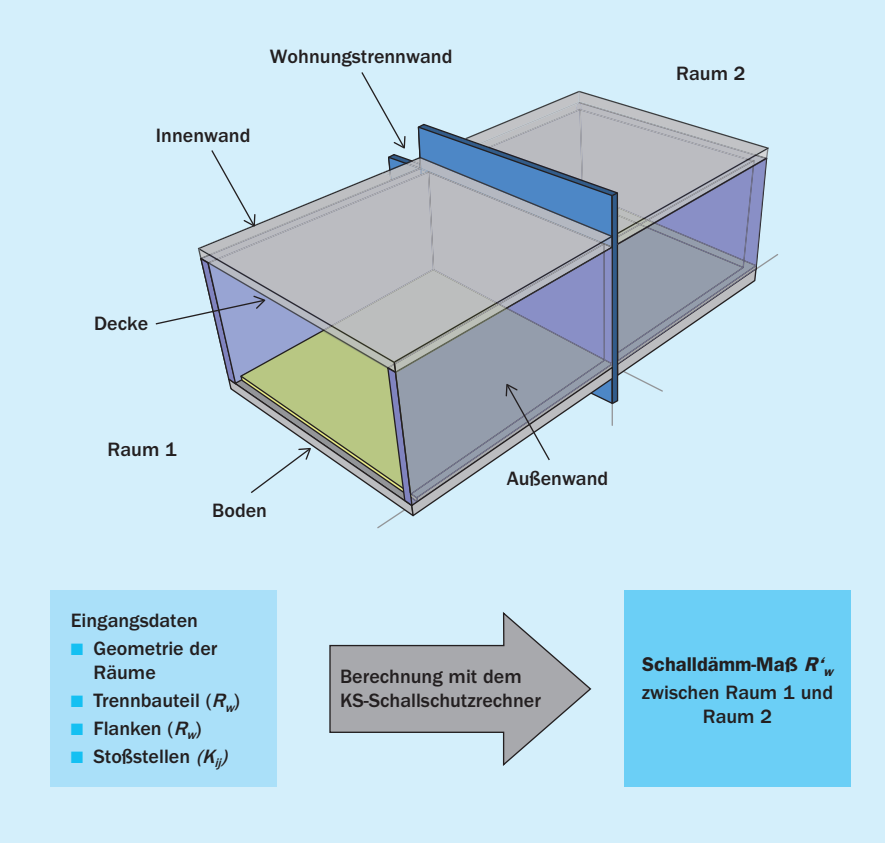


Bild 5 Von der Bauteileigenschaft R_w zur Gebäudeeigenschaft R'_w

der Bezugskurve verglichen. Diese repräsentiert aus der historischen Entwicklung heraus ursprünglich die Schalldämmung einer 25 cm dicken Vollsteinwand. Bei Messungen in Terzbändern werden für den Vergleich die Werte von 100 bis 3.150 Hz herangezogen. Die aus dem Vergleich ermittelte Einzahlangabe trägt zur Unterscheidung von den frequenzabhängigen Größen stets den Index *w*. So ergibt sich aus dem frequenzabhängigen Schalldämm-Maß R das **bewertete Schalldämm-Maß R_w** und aus R' das **bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w**.

INFO

Mit R_w und R'_w wird eine eindeutige Trennung zwischen Bauteil- und Gebäudeeigenschaften vorgenommen.

R_w (bewertetes Schalldämm-Maß) berücksichtigt nur die direkte Übertragung über ein trennendes Bauteil und ist als *Bauteileigenschaft* somit ein Maß für dessen schalltechnische Leistungsfähigkeit. Dies ist die maßgebliche Kenngröße für die Berechnung.

R'_w (bewertetes Bau-Schalldämm-Maß) berücksichtigt alle in Frage kommenden Übertragungswege zwischen zwei Räumen und beschreibt somit die resultierende Schalldämmung als *Gebäudeeigenschaft*. Es ist die maßgebende Kenngröße für die schalltechnische Auslegung des Baukörpers.

Die grundlegenden Zusammenhänge sind in den Bildern 5 und 12 dargestellt.

In Tafel 1 werden zur Erläuterung dieses Sachverhaltes die Schalldämm-Maße von KS-Wohnungstrennwänden mit den resultierenden Schalldämm-Maßen in einer bauüblichen Situation verglichen.

Während beim Schalldämm-Maß R und R' die Schallübertragung auf die Fläche des trennenden Bauteils bezogen wird (siehe Gleichung (2.1)), berücksichtigt die **Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT}** nur die auf die Nachhallzeit bezogene Pegeldifferenz zwischen zwei Räumen.

Dafür gilt:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg(T/T_0) \text{ [dB]} \quad (2.2)$$

mit

L_1 Schallpegel im lauten Raum (Senderaum)
L_2 Schallpegel im leisen Raum (Empfangsraum)
T Nachhallzeit
T_0 Bezugs-Nachhallzeit (für Wohn- und Arbeitsräume gilt $T_0 = 0{,}5$ s)

Auch hier kann nach DIN EN ISO 717-1 [9] der Einzahlwert, der **bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$** heißt, ermittelt werden. $D_{nT,w}$ kann als Maß für den Schallschutz zwischen Räumen betrachtet werden, da hier die erreichte Pegeldifferenz zwischen zwei Räumen – und nicht ein trennendes Bauteil – in Bezug genommen wird. R'_w und $D_{nT,w}$ können folgendermaßen ineinander umgerechnet werden:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \lg(0{,}32\ V/S) \text{ [dB]} \quad (2.3)$$

mit

V Volumen des Empfangsraums
S Fläche des trennenden Bauteils

Für quaderförmige, nicht gegeneinander versetzte Räume kann dafür auch vereinfachend geschrieben werden:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \lg(0{,}32 \cdot l) = R'_w - 10 \lg(3{,}1/l) \text{ [dB]} \quad (2.4)$$

mit

l Raumtiefe des Empfangsraums

Für unterschiedlich große Volumina der Empfangsräume kann sich bei gleicher Schalldämmung der Bauteile eine sehr unterschiedliche Schallpegeldifferenz ergeben, so dass auch der realisierte Schallschutz unterschiedlich wahrgenommen wird (Bild 6).

INFO

Für den subjektiv wahrnehmbaren Schallschutz ist nicht die Schalldämmung R'_w einer Bauteilkombination, sondern die Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ zwischen zwei Räumen maßgebend.

In realen Grundriss-Situationen kann die gemeinsame Trennfläche zwischen zwei Räumen kleiner als 10 m² werden, insbesondere bei versetzten Räumen. Bei diagonaler Schallübertragung existiert keine gemeinsame Trennfläche. Mit Bezug auf DIN 4109-1 muss in solchen Fällen die **bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$** ermittelt werden.

Tafel 1 **Vergleich des Direktschalldämm-Maßes (bewertetes Schalldämm-Maß R_w) verschiedener Wohnungstrennwände und der resultierenden Schalldämmung derselben Wände in einer bauüblichen Situation (bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R'_w)**

Wohnungstrennwand			R_w [1]	R'_w [2]
Wanddicke d [cm]	RDK	Flächenbezogene Masse m' [kg/m²]	[dB]	[dB]
20	2,0	400	58,2	53,4
24	1,8	428	59,1	54,2
24	2,0	476	60,5	55,2
24	2,2	524	61,8	56,2
30	2,0	590	63,4	57,4

Bausituation: horizontale Übertragung; Wohnungstrennwand: nach Tabelle; Decken: 20 cm Stahlbeton mit schwimmendem Estrich $f_0 < 80$ Hz; Außenwand mit 17,5 cm Kalksandstein (RDK 1,8); Innenwand mit 11,5 cm Kalksandstein (RDK 1,8); inkl. Putz

[1] R_w-Werte nach Massekurve für Kalksandstein
[2] Berechnungen nach DIN 4109-2 mit dem KS-Schallschutzrechner. Zum Vergleich von R_w und R'_w wurde der normativ geforderte Sicherheitsabschlag von 2 dB (früher: Vorhaltemaß) auf das Berechnungsergebnis vorgenommen.

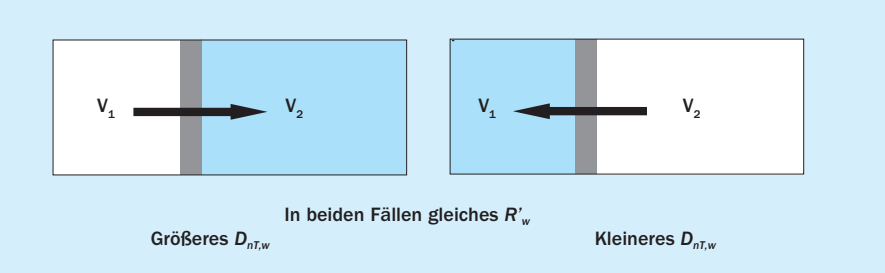


Bild 6 **Abhängigkeit der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ vom Volumen des Empfangsraums**

Messtechnisch wird die Norm-Schallpegeldifferenz D_n in den einzelnen Frequenzbändern folgendermaßen ermittelt:

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \lg(A_0/A) \text{ [dB]} \quad (2.5)$$

mit
L_1 Schallpegel im lauten Raum (Senderaum)
L_2 Schallpegel im leisen Raum (Empfangsraum)
A Äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraums
A_0 Äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche mit $A_0 = 10$ m²

Nach DIN EN ISO 717-1 ergibt sich daraus als Einzahlwert die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$.

R'_w und $D_{n,w}$ können folgendermaßen ineinander umgerechnet werden:

$$D_{n,w} = R'_w - 10 \lg(S/10 \text{ m}^2) \text{ [dB]} \quad (2.6)$$

mit
S Fläche des trennenden Bauteils

Tafel 2 **Spektrum-Anpassungswerte zur Berücksichtigung verschiedener Lärmquellen**

Spektrum-Anpassungswerte nach DIN EN ISO 717-1	
C Mittlere und höhere Frequenzen betont	
Zu-treffend für	Wohnaktivitäten (Reden, Musik…)
	Schienenverkehr mit mittlerer und hoher Geschwindigkeit
	Autobahnverkehr > 80 km/h
	Düsenflugzeuge in kleinem Abstand
	Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequenten Lärm abstrahlen
C_{tr} Tiefere Frequenzen betont	
Zu-treffend für	städtischen Straßenverkehr
	Schienenverkehr mit geringer Geschwindigkeit z.B. Straßenbahnverkehr
	Propellerflugzeug
	Düsenflugzeug in großem Abstand
	Discomusik
	Betriebe, die überwiegend tief- und mittelfrequenten Lärm abstrahlen

2.3 Spektrum-Anpassungswerte

Zusätzlich zu den genannten Einzahlwerten wurden in DIN EN ISO 717-1 [9] so genannte **Spektrum-Anpassungswerte *C* und C_{tr}** definiert, die es erlauben, die Schalldämmung oder den Schallschutz hinsichtlich unterschiedlicher Geräuscharten zu bewerten. Den Spektrumanpassungswerten liegen Pegeldifferenzen bestimmter A-bewerteter Geräusche zugrunde. Sie werden zum betreffenden Einzahlwert addiert, so dass sich für die Schalldämmung oder den Schallschutz ein neuer Zahlenwert ergibt, beispielsweise $R_w + C_{tr}$ oder $D_{nT,w} + C$. Anwendungsfälle für die Anpassungswerte werden in Tafel 2 dargestellt. Spektrumanpassungswerte können für verschiedene Frequenzbereiche definiert werden.

Der **Anpassungswert *C*** kann z.B. für übliche Wohngeräusche oder für Verkehrsgeräusche bei hohen Geschwindigkeiten herangezogen werden, C_{tr} dagegen steht für eher tieffrequent orientierte Geräusche wie, z.B. innerstädtischen Straßenverkehr.

In den Schallschutzanforderungen der DIN 4109-1 werden Spektrum-Anpassungswerte zurzeit nicht berücksichtigt. Es ist allerdings geplant, die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} zukünftig bezüglich der Anforderungen beim Außenlärm anzuwenden. Sie können aber auch bei der schalltechnischen Planung im Gebäude angewendet werden, um eine situationsbezogene Auslegung des Schallschutzes zu gewährleisten. Eine ausführliche Behandlung der Spektrum-Anpassungswerte und ihrer Anwendung findet sich in [10].

Außer für die Luftschalldämmung gibt es auch Kenngrößen für die Trittschalldämmung und solche, die für die Beschreibung der schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen und Gebäuden verwendet und im Rahmen der schalltechnischen Nachweise benötigt werden. Eine Zusammenstellung dieser Größen findet sich in den Tafeln 3 bis 5.

2.4 Schalltechnisches Verhalten massiver Bauteile

2.4.1 Einschalige massive Bauteile

Das schalltechnische Verhalten einschaliger Bauteile kann durch das so genannte Massegesetz einfach beschrieben werden. Dieses besagt, dass die Schalldämmung mit der flächenbezogenen Masse m', die in kg/m² angegeben wird, zunimmt. In seiner physikalischen Form besagt das Massegesetz außerdem, dass die Schalldämmung mit wachsender Frequenz steigt. Die erreichbare Schalldämmung ist also umso besser, je schwerer das (einschalige) Bauteil und je höher die Frequenz des zu dämmenden Geräuschs ist. Für die frequenzabhängigen Dämmeigenschaften ist noch die so genannte Koinzidenz (auch Spuranpassung genannt) von Bedeutung. Diese beschreibt das Phänomen, dass die Wellenlängen des Luftschalls und des Körperschalls auf dem Bauteil übereinstimmen und deshalb eine besonders gute Anregung des Bauteils durch Luftschall und eine besonders gute Abstrahlung von Luftschall durch dieses Bauteil erfolgt. Daraus ergibt sich im betroffenen Frequenzbereich insgesamt eine gegenüber dem Massegesetz stark verminderte Schalldämmung. Die Frequenz, bei der das Maximum

Tafel 3 **Kennzeichnende Größen zur Beschreibung der schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen (Luftschall-, Trittschall- und Flankendämmung)**

Kenngröße		Bauteil	Messnorm
R_w	Bewertetes Schalldämm-Maß	Bauteile (Wände, Decken)	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 2, 4, 5 [7]
		Fenster, Fassadenelemente, Türen, Verglasungen	
$D_{n,e,w}$	Bewertete Element-Norm-Schallpegel-differenz	Elemente, z.B. Rollladen-kästen, Lüftungskanäle, Lüftungselemente	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 2, 4, 5 [7]
ΔR_w	Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes	Vorsatzschalen, Wärmedämm-Verbundsysteme, schwimmende Estriche	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 2, 4, 5 [7]
$D_{n,f,w}$	Bewertete Norm-Flankenschallpegel-differenz	Mehrschalige, leichte Flankenbauteile	DIN EN ISO 10848 Teile 1 – 4 [11]
$L_{n,w}$	Bewerteter Norm-Tritt-schallpegel	Decken, Treppen, Podeste	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 3, 4, 5 [7]
ΔL_w	Bewertete Trittschall-minderung	Deckenauflagen, z.B. schwim-mende Estriche, Bodenbeläge	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 3, 4, 5 [7]
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß	Bauteilverbindungen	DIN EN ISO 10848 Teile 1 – 4 [11]

Tafel 4 **Kennzeichnende Größen zur Beschreibung der schalltechnischen Gebäudeeigenschaften (Luft- und Trittschalldämmung)**

Kenngröße		Übertragung über	Messnorm
R'_w	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß	Trennbauteile (Wände, Decken)	DIN EN ISO 16283-1 [8]
$R'_{45°,w}$	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß	Fassaden, Fassadenbauteile, Fenster	DIN EN ISO 16283-3
$L'_{n,w}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau	Decken, Treppen, Podeste	DIN EN ISO 16283-2 [12]

Tafel 5 **Kennzeichnende Größen zur Beschreibung des Schallschutzes im Gebäude**

Kenngröße		Schutz gegen:	Messnorm
$D_{nT,w}$	Bewertete Standard-Schallpegeldifferenz	Luftschallübertragung innerhalb des Gebäudes	DIN EN ISO 16283-1 [8]
		Luftschallübertragung von außen (Außenlärm)	DIN EN ISO 16283-3
$L'_{nT,w}$	Bewerteter Standard-Trittschallpegel	Trittschallübertragung	DIN EN ISO 16283-2 [12]
$D_{n,w}$	Bewertete Norm-Schallpegeldifferenz	Luftschallübertragung innerhalb des Gebäudes bei Trennflächen < 10 m²	DIN EN ISO 16283-1 [8] in Zusammenhang mit DIN 4109-4 [32]

des Dämmungseinbruchs liegt, wird Koinzidenzgrenzfrequenz genannt. Sie hängt von der flächenbezogenen Masse und der Biegesteifigkeit des Bauteils ab. Wenn die Grenzfrequenz unterhalb von etwa 200 Hz liegt, spricht man von biegesteifen Bauteilen, falls sie oberhalb von etwa 1.600 Hz liegt, von biegeweichen Bauteilen. Wände aus Kalksandstein zählen zu den biegesteifen Bauteilen.

INFO

Für die schalltechnische Dimensionierung mit Einzahlwerten kann das bewertete Schalldämm-Maß R_w einschaliger Bauteile in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse angegeben werden. Diese ist somit die maßgebliche Größe für die akustischen Eigenschaften massiver Bauteile.

In einer so genannten **Massekurve** kann dieser Zusammenhang für Mauerwerk aus Kalksandstein dargestellt werden. Zu berücksichtigen ist dabei die gesamte flächenbezogene Masse der Wand, die sich aus der Rohdichteklasse, der Art der Vermauerung und den aufgebrachten Putzschichten ergibt.

2.4.2 Zweischalige massive Bauteile

Mit zweischaligen Bauteilen kann gegenüber einschaligen Bauteilen gleicher flächenbezogener Masse eine deutlich höhere Schalldämmung erreicht werden. Zweischalige Konstruktionen eignen sich deshalb besonders für solche Bereiche, in denen hohe Schalldämm-Maße erreicht werden sollen. Bei **Haustrennwänden** sind zweischalige Konstruktionen mit biegesteifen Schalen und **durchgehenden Trennfugen** die übliche Ausführung, da sie bei fehlerfreier Ausführung sehr hohe Schalldämm-Maße ermöglichen.

Bei **zweischaligen Außenwänden** sind die Schalen wegen der nach DIN EN 1996/NA einzubauenden Luftschichtanker zwar nicht vollständig getrennt, dennoch erreichen solche Wände eine deutlich höhere Schalldämmung als einschalige Außenwände.

Zweischalige Wände ohne durchgehende Trennfuge (z.B. bei durchlaufenden Decken) sind zu vermeiden. Insbesondere bei dünneren biegesteifen Einzelschalen (z.B. 11,5 cm) wird der resultierende Schallschutz nicht höher, sondern eher niedriger als bei einer gleich schweren einschaligen Wand.

3. Schallschutz zwischen Wunsch und Wirklichkeit

3.1 Die Erwartungen der Bewohner

Lärm belästigt und belastet. Je nach Art, Intensität und Einwirkungsdauer des Lärms ergeben sich unterschiedliche Lärmwirkungen, die von der zeitweiligen Belästigung bis hin zur dauerhaften gesundheitlichen Beeinträchtigung führen können (Bild 7).

In einer zunehmend von Lärm erfüllten Umwelt steigt das Bedürfnis, zumindest in den eigenen vier Wänden noch seine Ruhe finden zu können. Werden Bauherren danach befragt, welche Anforderungen eine Wohnung erfüllen soll, dann wird regelmäßig ein guter Schallschutz ganz an vorderer Stelle genannt. Dieses elementare Anliegen findet regelmäßig seinen Niederschlag in Untersuchungsergebnissen, wenn Bewohner zum erwünschten Schallschutz ihrer Wohnungen befragt werden. So zeigt eine Trendbefragung aus dem Jahr 2008 [13], dass über 70 % der Bevölkerung sich in ihrer Wohnung durch Lärm gestört fühlen (Bild 8) und für 61 % Lärmbelästigungen sogar ein Umzugsgrund sind (Bild 9).

Mehrere Untersuchungen unter Bewohnern verschiedener europäischer Länder ergaben, dass erst ein deutlich höherer Schallschutz, als er in den Mindestanforderungen festgelegt ist, als zufriedenstellend oder gut empfunden wird.

3.2 Der eigene Wohnbereich

Wenn von baulichem Schallschutz die Rede ist, wird zuerst an den Schallschutz gedacht, wie er in den (verbindlichen) Anforderungen der DIN 4109-1 formuliert wird. Gemeint sind dort Geräusche, die außerhalb des eigenen Wohnbereichs entstehen (z.B. Luft- und Trittschall der Nachbarn) und gegen die der eigene Bereich geschützt werden soll. Unbestritten besteht aber auch ein großes Bedürfnis nach einem angemessenen Schallschutz im eigenen Wohnbereich. Dieser ist zwar normativ nicht geregelt, jedoch werden in anderen Regelwerken (z.B. DEGA-Memorandum BR 0104 [42]) Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohnbereich ausgesprochen. Daher sollte er in einem vollständigen Schallschutzkonzept Berücksichtigung finden und als Planungsziel eindeutig festgelegt werden.

3.3 Objektive Kriterien für den Schallschutz

3.3.1 Grundlagen und Zusammenhänge

Im Gegensatz zur DIN 4109 mit ihrem quasi historisch überlieferten Schallschutzniveau können durchaus nachvollziehbare Kriterien für die Festlegung von Anforderungen benannt werden. Objektiv quantifizierbar ist der Schutz der Vertraulichkeit. Wenn das gesprochene Wort im Nachbarbereich verstanden wird (oder man selbst ungewollt die Worte der Nachbarn versteht), ist die Vertraulichkeit nicht mehr gegeben. Die Sprachverständlichkeit ist somit ein wichtiges Kriterium zur Festlegung und Beurteilung eines ausreichenden Schallschutzes. In der VDI-Richtlinie 4100 erfolgt deshalb die Bestimmung des notwendigen Schallschutzes zwischen Räumen aufgrund von Sprachverständlichkeitskriterien.

Tafel 6 zeigt beispielhaft die Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von der vorhandenen Schalldämmung. Weitere objektive Kriterien, die in der VDI-Richtlinie 4100 genannt werden, sind die Hörbarkeit von Geräuschen und deren Störwirkung.

Der Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit und den maßgeblichen Einflussgrößen (Schallpegel der Sprache, Fläche des Trennbauteils, Volumen und Halligkeit des Empfangsraums, Grundgeräuschpegel im Empfangsraum) kann nach [15] analytisch hergeleitet und dargestellt werden. Von besonderer Bedeutung ist dabei der Einfluss des Grundgeräuschs.

INFO

Je geringer das aus der Umgebung vorhandene Grundgeräusch ist (z.B. bei ruhigen Wohnlagen), desto leichter kann Sprache verstanden werden und desto höher muss die notwendige Schalldämmung sein.

Derselbe Schallschutz kann also in unterschiedlich lauter Umgebung zu unterschiedlichen Vorgaben an die benötigte Schalldämmung führen. Als Beispiel zeigt Tafel 7, wie sich der Grundgeräuschpegel auf die Sprachverständlichkeit auswirkt. Während bei einer recht guten Schalldämmung von 57 dB und einem A-bewerteten Grundgeräuschpegel von 30 dB Sprache

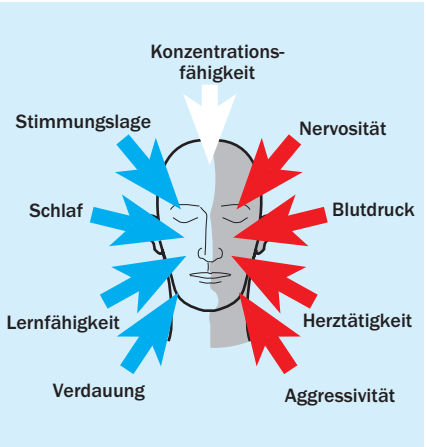


Bild 7 Auswirkungen und Störungen bei zu viel Lärm

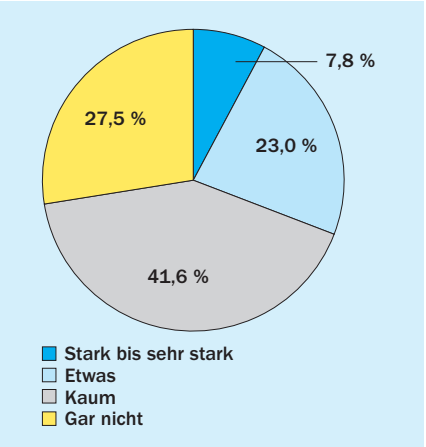


Bild 8 Wie sehr fühlen Sie sich in Ihrer Wohnung/Ihrem Haus durch Lärm belästigt? [13]

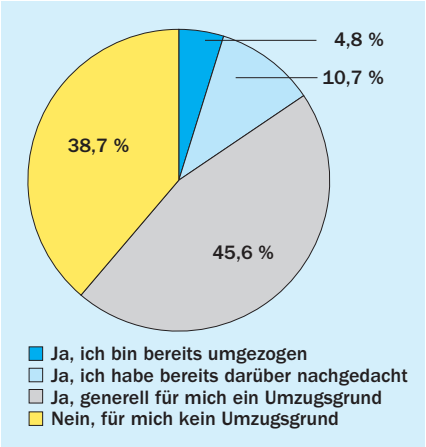


Bild 9 Würden Sie aufgrund von Lärmbelästigung einen Umzug in Erwägung ziehen? [13]

Tafel 6 Wahrnehmung von Sprache aus der Nachbarwohnung bei unterschiedlicher Schalldämmung zwischen den Wohnungen, abendlicher A-bewerteter Grundgeräuschpegel 20 dB, üblich große Aufenthaltsräume (nach [20])

Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß zwischen den Wohnungen		Sprache mit angehobener Sprechweise		
		im Allgemeinen verstehbar	im Allgemeinen nicht verstehbar	nicht verstehbar
R'_w [dB]	horizontal	53	56	59
	vertikal	54	57	60

Tafel 7 Bewertetes Schalldämm-Maß R'_w und das Durchhören von Sprache, (nach [16])

Sprachverständlichkeit	Erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß R'_w [dB]	
	A-bewerteter Grundgeräuschpegel 20 dB	A-bewerteter Grundgeräuschpegel 30 dB
Nicht zu hören	67	57
Zu hören, jedoch nicht zu verstehen	57	47
Teilweise zu verstehen	52	42
Gut zu verstehen	42	32

nicht mehr zu hören ist, führt dieselbe Schalldämmung bei einem Grundgeräuschpegel von nur noch 20 dB dazu, dass die Sprache nun zu hören aber nicht zu verstehen ist. 20 dB entsprechen einem üblichen Grundgeräuschpegel in Wohnungen zur ruhigen Abendzeit.

Typische A-bewertete Grundgeräuschpegel liegen nach [17] bei folgenden Werten:

- Nachtgrundpegel in Mehrfamilienhäusern mit hohem Schallschutz in ruhiger Wohnlage: 15 bis 20 dB
- Tagesgrundpegel in Mehrfamilienhäusern mit hohem Schallschutz in ruhiger Wohnlage: 20 bis 25 dB
- Nachtgrundpegel in Wohnungen mit erhöhter Außenlärmbelastung: 25 bis 30 dB
- Nachtgrundpegel in Wohnungen mit hoher Außenlärmbelastung: 30 bis 40 dB

3.3.2 Wirksame Unterschiede im Schallschutz

Wenn gegenüber dem Mindestschallschutz ein so genannter erhöhter Schallschutz festgelegt werden soll, z.B. die Schallschutzstufen I bis III in der VDI-Richtlinie 4100 oder Schallschutzklassen im Rahmen der DEGA-Richtlinie 103-1 [18], muss der Unterschied zwischen Stufen oder Klassen zu einer wirksamen Erhöhung des Schallschutzes führen.

INFO

Grundsätzlich gilt: Der Wechsel zwischen zwei Stufen muss von den Bewohnern auch tatsächlich als ein wahrnehmbarer Unterschied in der schalltechnischen Qualität empfunden werden. Bei der Luftschalldämmung sollte der Unterschied zum Mindestschallschutz mindestens 3 dB betragen.

So wird es auch vom BGH formuliert, wenn in [19] gesagt wird: *„Ein die Mindestanforderungen überschreitender Schallschutz muss deutlich wahrnehmbar einen höheren Schutz verwirklichen.“* Offensichtlich handelt es sich hier um eine eher komplexe Fragestellung mit psychoakustischem Hintergrund. Neben der absoluten Höhe des Ausgangsniveaus hängt die Wahrnehmbarkeit eines verbesserten Schallschutzes auch von der Höhe des jeweils vorliegenden Grundgeräuschpegels ab.

In Zusammenhang mit [17] kommen entsprechende Untersuchungen in [14] zu dem Ergebnis, dass beim Luftschallschutz eine Abstufung nicht unterhalb von 3 dB und bei einer sehr hohen angestrebten Schallschutzqualität deutlich über 3 dB liegen sollte.

Diesem Ansatz folgt z.B. die VDI-Richtlinie 4100 von 2007 [20], deren Schallschutzstufen für den erhöhten Schallschutz sich beim Luftschallschutz um 3 bzw. 6 dB von den Mindestanforderungen der DIN 4109 unterscheiden. Auch die VDI-Richtlinie von 2012 [21] verfolgt bei den ersten beiden Stufen des erhöhten Schallschutzes diese Abstufung, allerdings auf der Basis von Standard-Schallpegeldifferenzen $D_{nT,w}$. In der dritten Stufe des erhöhten Schallschutzes wird dann ein Unterschied von 5 dB vorgesehen.

Für die DEGA-Richtlinie 103-1 wird in einem ersten Schritt ebenfalls eine Erhöhung von 3 dB gegenüber den Mindestanforderungen der DIN 4109 vorgegeben. Für die nachfolgenden Stufen wurde eine 5-dB-Abstufung gewählt.

INFO

Je höher die angestrebte Schallschutzqualität ist, desto größer sollten die Stufen gewählt werden.

Die deutliche Abstufung der in den genannten Regelwerken betrachteten Qualitätsstufen findet sich auch in der Baupraxis wieder. In einer Untersuchung von insgesamt über 1.000 Datensätzen [22], die durch Messungen im Geschosswohnungsbau ermittelt wurden, wird festgestellt, dass sich eine Einteilung der Wohnqualität in *Standard, Gehoben und Luxus* auch erkennbar in der Schallschutzqualität der Wohnungen niederschlägt. Die Untersuchung kommt zum Ergebnis, *„dass sich üblicherweise Wohnungen hinsichtlich ihrer offensichtlichen qualitativen Ausstattung auch in Bezug auf den Schallschutz unterscheiden. Eine Standardwohnung ohne zusätzliche Ansprüche an den Komfort entspricht schalltechnisch im Wesentlichen den Mindestanforderungen der DIN 4109. Gegenüber dem Standard hat eine Wohnung mit gehobener Ausstattung im Mittel einen deutlich wahrnehmbar höheren Luftschallschutz von ca. 3 dB (ca. 5 dB beim Trittschallschutz). Luxuswohnungen zeigen bei der durchgeführten Auswertung nochmals die gleiche Verbesserung gegenüber der gehobenen Ausstattung. Die ermittelten Unterschiede im Schallschutz in den drei Ausstattungskategorien Standard, Gehoben und Luxus entsprechen näherungsweise auch den in VDI 4100 und im DEGA Schallschutzausweis verwen-*

deten Abstufungen zwischen den Schallschutzstufen.“ Die Autoren kommen zusammenfassend zum Ergebnis, dass gegenüber dem Mindestschallschutz der DIN 4109-1 für Wohnungstrennwände ($R'_w \geq 53$ dB) für Komfortwohnungen ein $R'_w \geq 56$ dB und für Luxuswohnungen ein $R'_w \geq 59$ dB erreicht wird.

3.4 Anforderungen und Empfehlungen

Hinsichtlich der im baulichen Schallschutz gestellten Anforderungen entstehen immer wieder Unsicherheiten, wenn es um den geforderten Schallschutz und die Abgrenzung zwischen „normalem“ und erhöhtem Schallschutz geht. Im Einzelnen werden die Anforderungen und Empfehlungen vorhandener Regelwerke in Abschnitt 4 erläutert.

Grundsätzlich sind zu beachten:

- DIN 4109 Schallschutz im Hochbau:
  In jahrzehntelanger Tradition finden sich die Anforderungen an den baulichen Schallschutz in der DIN 4109.

Die aktuellen Anforderungen (Mindestanforderungen) enthält DIN 4109-1:2016 und 2018 [26, 35]. DIN 4109-5:2020-08 [72] nennt Werte für einen erhöhten Schallschutz.

- VDI 4100 Schallschutz von Wohnungen:
  Ziel der VDI-Richtlinie 4100 ist die schalltechnische Klassifizierung von Wohnungen für die Planung und Bewertung des Schallschutzes. Die Fassung der VDI 4100 aus dem Jahre 2007 [20] wurde vollständig überarbeitet und 2012 als Neufassung [21] herausgegeben. Während die 2007er Fassung in der SSt I noch mit DIN 4109:1989-11 übereinstimmte, wurde in der 2012er Fassung auch die SSt I nur noch für den erhöhten Schallschutz ausgelegt. Beide Fassungen sind bezüglich der Schallschutzstufen damit nicht direkt vergleichbar (Tafel 8).

- Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA):
  Über die Normen und Regelwerke hinaus gibt es einige Schriften, die Stellung zum baulichen Schallschutz beziehen: Memorandum der DEGA BR 0101 [37], in welchem zum Verhältnis von DIN 4109 und den anerkannten Regeln der Technik Stellung genommen wird, und DEGA-Richtlinie 103-1 [18].

Tafel 8 **Anforderungen und Empfehlungen zum baulichen Schallschutz [dB]**

			DIN 4109-1:2018	DIN 4109-5:2020	Empfehlung Kalksandsteinindustrie[1]	VDI 4100:2007			VDI 4100:2012		
						SSt I	SSt II	SSt III	SSt I	SSt II	SSt III
Randbedingungen		Anwendungsgebiet	Mindestanforderungen	Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz (Vorschläge für vertragliche Vereinbarungen)							
		Schutzbedürftige Räume	Aufenthaltsräume						Räume mit Grundflächen ≥ 8 m²		
		Anforderungskenngrößen	R'_w / $L'_{n,w}$ / $L_{AF,max,n}$						$D_{nT,w}$ / $L'_{nT,w}$ / $L_{AF,max,nT}$		
Anforderungen/Empfehlungen	Mehrfamilienhaus	Luftschallübertragung horizontal	53	56	**56**	53	56	59	56	59	64
		Luftschallübertragung vertikal	54	57	**57**	54	57	60			
		Trittschallübertragung Decken	50	45	**45**	53	46	39	51	44	37
		Trittschallübertragung Treppen	53	45	**45**	58	53	46			
		Luftschallübertragung Tür: Treppenhaus – Flur	27[2]	37[2]	**37[2]**	–	–	–	–	–	–
		Luftschallübertragung Tür: Treppenhaus – Aufenthaltsraum	37[2]	42[2]	**–[3]**	–	–	–	–	–	–
		Gebäudetechnische Anlagen	30	27	**27**	30	30	25	30	27	24
		Luftschallübertragung horizontal im eigenen Wohnbereich (Wände ohne Türen)	–	–	**47**	–	–	–	48[4]	52[4]	–
	Reihen-/Doppelhaus	Luftschallübertragung (unterstes Geschoss)	59	62	**67**	57	63	68	65	69	73
		Luftschallübertragung (alle anderen Geschosse)	62	67[5]							
		Trittschallübertragung Decken	41	36	**36**	48	41	34	46	39	32
		Trittschallübertragung Bodenplatte	46	41	**41**						
		Trittschallübertragung Treppen	46	41	**41**	53	46	39			
		Gebäudetechnische Anlagen	30	27	**25**	30	25	20	30	25	22
		Luftschallübertragung horizontal im eigenen Wohnbereich (Wände ohne Türen)	–	–	**47**	–	–	–	48[4]	52[4]	–

[1] Für den Schutz gegen Außenlärm werden die Anforderungen von DIN 4109 empfohlen.
[2] Schalldämm-Maß R_w
[3] Bei erhöhten Anforderungen an den Schallschutz wird diese Art der Grundrissgestaltung nicht empfohlen.
[4] SSt EB1 bzw. SSt EB2, die Empfehlungen in VDI 4100:2012 zum verbesserten Schallschutz innerhalb des eigenen Wohnbereichs sind ggf. unabhängig von den weiteren Empfehlungen der Richtlinie separat zu vereinbaren.
[5] Bei einer Unterkellerung mit Weißer Wanne und durchlaufenden flankierenden Kelleraußenwänden gilt R'_w = 64 dB.

Tafel 9 Festlegungen zum baulichen Schallschutz, Geltungsbereich der Regelwerke

	Fremder Wohn- und Arbeitsbereich		Eigener Wohn- und Arbeitsbereich	
	öffentlich-rechtlich	privatrechtlich	öffentlich-rechtlich	privatrechtlich
Mindestanforderungen	DIN 4109-1	–	–	–
Erhöhter Schallschutz	–	■ DIN 4109-5 ■ VDI 4100:2007 VDI 4100:2012 ■ DEGA-Richtlinie 103-1	–	■ VDI 4100:2007 ■ DEGA-Richtlinie 103-1 ■ DEGA-Memorandum BR 0104 ■ VDI 4100:2012

Im September 2024 ist eine überarbeitete Ausgabe der Empfehlung (DEGA-Empfehlung 103 aus 2018) als neue Richtlinie erschienen. Neu hierbei ist vor allem, dass eine Beurteilung des Schallschutzes sowohl mit bauteilbezogenen Kenngrößen (R'_w, $L'_{n,w}$, ...) als auch mit raumbezogenen Kenngrößen ($D_{nT,w}$, $L'_{nT,w}$, ...) erfolgen kann.

Die aktuelle Situation belegt, dass die Festlegung von Schallschutzanforderungen kontrovers und mit unterschiedlicher Intention gesehen wird. Einen Überblick über den Geltungsbereich einzelner Regelwerke enthält Tafel 9.

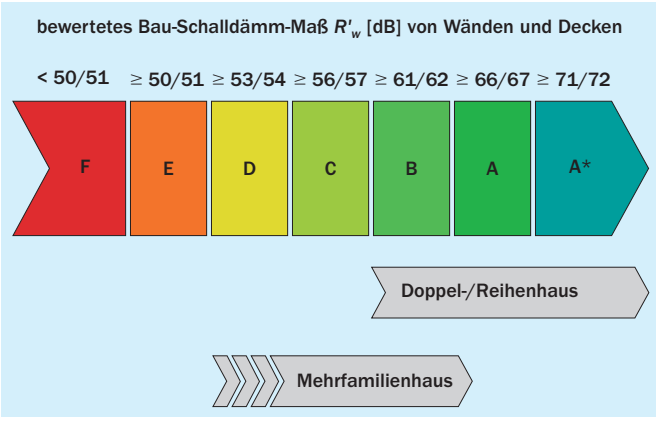


Bild 10 Bewertungsskala für Luftschall von Wänden/Decken der DEGA-Richtlinie 103-1 [18]

3.5 Zahlenmäßige Festlegungen des Schallschutzes

Die zahlenmäßigen Festlegungen der DIN 4109-1 und der VDI-Richtlinie 4100 betreffen die Luft- und Trittschalldämmung, die Geräusche haustechnischer Anlagen und Betriebe sowie die Außengeräusche. In DIN 4109-1 werden je nach Nutzungszweck (Wohngebäude, Beherbergungsstätten, Krankenhäuser, Schulen) unterschiedliche Festlegungen getroffen.

Die VDI 4100 beschäftigt sich nur mit Wohngebäuden. Für Wohngebäude vergleicht die tabellarische Zusammenstellung (Tafel 8) die Werte des Mindestschallschutzes nach DIN 4109-1 mit dem erhöhten Schallschutz nach DIN 4109-5, VDI 4100:2007 und VDI 4100:2012.

Zum Vergleich zeigen Tafel 10 und Bild 10 die Abstufung der Kennwerte für die sieben Schallschutzklassen der DEGA-Richtlinie 103-1. Schallschutzklasse D entspricht beim Luft- und Trittschall im Wesentlichen den Anforderungen der DIN 4109:1989 für Mehrfamilienhäuser.

3.6 Schallschutz und Rechtsprechung

3.6.1 Grundsätzliches

Ca. 20 % aller Baustreitigkeiten vor Gericht werden im Bereich des Schallschutzes ausgetragen. Die Gründe hierfür sind:

- Die Vereinbarungen über den geschuldeten Schallschutz sind unklar.
- Die Anforderungen an den Schallschutz nach DIN 4109 stimmen mit der Erwartungshaltung der Bewohner nicht überein.

Tafel 10 Anforderungen Luft- und Trittschall der DEGA-Richtlinie 103-1 für die einzelnen Schallschutzklassen [18]

		Schallschutzklasse						
		F	E	D	C	B	A	A*
		„bauteilbezogene“ Kenngrößen						
Luftschall	**Wände/Decken R'_w [dB]**	< 50/51	≥ 50/51	≥ 53/54	≥ 56/57	≥ 61/62	≥ 66/67	≥ 71/72
Trittschall	**Decken $L'_{n,w}$ [dB]**	> 60	≤ 60	≤ 53	≤ 46	≤ 39		
Trittschall	**Decken $L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ [dB]**						≤ 37	≤ 30
		„raumbezogene“ Kenngrößen						
Luftschall	**$D_{nT,w}$ [dB]**	< 51	≥ 51	≥ 54	≥ 57	≥ 62	≥ 67	≥ 72
Trittschall	**Decken $D_{nT,w}$ [dB]**	> 60	≤ 60	≤ 53	≤ 46	≤ 39		
Trittschall	**Decken $D_{nT,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ [dB]**						≤ 37	≤ 30

- Fehler werden in Planung und Ausführung gemacht, z.B. ungünstige Anordnung von schutzbedürftigen und nichtschutzbedürftigen Räumen, falsche Dimensionierung der flankierenden Bauteile, Körperschallbrücken bei zweischaligen Haustrennwänden und schwimmenden Estrichen.

Gerichtsurteile, juristische Kommentare und Sachverständigenaussagen zeigen, dass eine einheitliche Darstellung der Rechtslage nicht erwartet werden kann. Die nachfolgenden Ausführungen können und wollen deshalb keine juristisch abgerundete Darstellung sein, sondern lediglich die Problematik anhand solcher rechtlichen Aspekte aufzeigen, die im Bereich des baulichen Schallschutzes immer wieder für Diskussionen sorgen.

3.6.2 Öffentlich rechtliche Anforderungen (DIN 4109)

Die DIN 4109 definiert ihre Zielsetzungen in der Einleitung zu DIN 4109-1 mit Bezug auf die europäische Bauprodukten-Verordnung (2011) [38] wie folgt:

„Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass der von den Bewohnern oder von in der Nähe befindlichen Personen wahrgenommene Schall auf einem Pegel gehalten wird, der nicht gesundheitsgefährdend ist und bei dem zufriedenstellende Nachtruhe-, Freizeit- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.“

Zur Konkretisierung werden folgende Schallschutzziele genannt:

- Gesundheitsschutz
- Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise
- Schutz vor unzumutbaren Belästigungen

Im Unterschied zur Vorgängernorm von 1989 benennt DIN 4109-1:2016 explizit schon im Titel („Schallschutz im Hochbau – Mindestanforderungen“), dass es in dieser Norm um Mindestanforderungen geht.

INFO

Aus bauaufsichtlicher Sicht ist die Situation eindeutig: Geschuldet werden die (Mindest-) Anforderungen der DIN 4109. Also: kein erhöhter Schallschutz und kein Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich.

Privatrechtlich wird hingegen die Ordnungsgemäßheit der Leistung geschuldet.

3.6.3 Privatrechtliche Anforderungen

Allgemein anerkannte Regeln der Technik (a.a.R.d.T.)

Hinweise zu den privatrechtlichen Anforderungen gibt die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen [39] in:

- § 4 Nr. 2 (1): *„Der Auftragnehmer hat die Leistung unter eigener Verantwortung nach dem Vertrag auszuführen. Dabei hat er die anerkannten Regeln der Technik und die gesetzlichen und behördlichen Bestimmungen zu beachten.“*
- § 13 Nr. 1: *„Der Auftragnehmer hat dem Auftraggeber seine Leistung zum Zeitpunkt der Abnahme frei von Sachmängeln zu verschaffen. Die Leistung ist zur Zeit der Abnahme frei von Sachmängeln, wenn sie die vereinbarte Beschaffenheit hat und den anerkannten Regeln der Technik entspricht. Ist die Beschaffenheit nicht vereinbart, so ist die Leistung zur Zeit der Abnahme frei von Sachmängeln,*
  - *wenn sie sich für die nach dem Vertrag vorausgesetzte, sonst*
  - *für die gewöhnliche Verwendung eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken der gleichen Art üblich ist und die der Auftraggeber nach der Art der Leistung erwarten kann.“*

In erster Linie wird sich die Ordnungsgemäßheit der Leistung an den vertraglichen Regelungen orientieren. Erfahrungsgemäß fehlen diese im Bereich des baulichen Schallschutzes oft oder sind unbestimmt. Es gilt dann: Geschuldet wird eine Planung und Ausführung nach den a.a.R.d.T. Diese können schriftlich fixiert sein, müssen es aber nicht. Auch müssen sie nicht zwangsläufig mit geltenden DIN-Normen oder anderweitigen Regelwerken übereinstimmen. Im Zweifelsfall hat, mit Hilfe von Sachverständigen, das Gericht den geschuldeten Schallschutz nach den a.a.R.d.T. festzusetzen.

INFO

Gewährleistungsfälle treten immer wieder auf, wenn für Wohnobjekte mit gehobenem Komfort („Komfortwohnungen“, „gehobene Ansprüche“, „qualitativ hochwertige Ausstattung“ etc.) lediglich der Mindest-Schallschutz nach DIN 4109 eingehalten wird. Hier geht es um die Frage, ob stattdessen ein erhöhter Schallschutz zu erbringen sei und wie hoch dieser ggf. anzusetzen wäre.

Schallschutz für Komfortwohnungen

Die Einhaltung der (Mindest-) Anforderungen nach DIN 4109 schließt nicht grundsätzlich ein, dass in jedem Fall auch den Ansprüchen der a.a.R.d.T. Rechnung getragen wurde.

So wird im Urteil des OLG München vom 19.05.2009 [40] bestätigt, dass es (im vorliegenden Fall einer Doppelhaushälfte) nicht genügt, wenn für ein als attraktiv und komfortabel deklariertes Objekt lediglich die Mindestanforderungen der DIN 4109 von 1989 eingehalten werden. In DIN 4109-1:2016 wurden deshalb die Anforderungswerte für Reihen- und Doppelhäuser in Anlehnung an die im DEGA-Memorandum [37] genannten Anforderungswerte angepasst.

Schallschutz durch vereinbarte Bauweisen

Erhöhter Schallschutz kann auch durch die Vereinbarung bestimmter Bauweisen bzw. Baukonstruktionen vereinbart sein.

Der Bundesgerichtshof (BGH) führt in einem Urteil vom 14.06.2007 [19] zum vertraglich geschuldeten Schallschutz beim Bau einer Doppelhaushälfte hierzu aus:

„Können durch die vereinbarte Bauweise bei einwandfreier, den anerkannten Regeln der Technik hinsichtlich der Bauausführung entsprechender Ausführung höhere Schallschutzwerte erreicht werden, als sie sich aus den Anforderungen der DIN 4109 erge-

ben, sind diese Werte unabhängig davon geschuldet, welche Bedeutung den Schalldämm-Maßen der DIN 4109 sonst zukommt."

In der Praxis haben sich für einige Bereiche der Bautechnik standardmäßige Grundkonstruktionen durchgesetzt. Der Einsatz dieser Konstruktionen kann als üblich erwartet werden und kann bewirken, dass höhere Schalldämmwerte erreicht werden, als in der DIN 4109 gefordert sind. Dies betrifft vor allem den Einsatz zweischaliger Haustrennwände (siehe z.B. [37] oder [40]). Da der Einsatz derartiger Konstruktionen mittlerweile als allgemein anerkannte Regel der Technik betrachtet wird, gelten auch die mit ihnen zu erreichenden schalltechnischen Kennwerte als allgemein anerkannte Regel der Technik.

Wenn also z.B. eine zweischalige Haustrennwand (Kalksandstein, 2 · 20 cm, RDK 2,0) als Konstruktion vereinbart wurde, ist diese in der Lage, mängelfrei (bei vollständiger Trennung der Schalen) ein Bau-Schalldämm-Maß $R'_w = 72$ dB zu erbringen. Falls sie lediglich $R'_w = 67$ dB erreicht, erfüllt sie zwar den erhöhten Schallschutz nach DIN 4109-5, ist aber dennoch nicht mängelfrei.

Zusätzlichen Diskussionsstoff liefert das schon genannte BGH-Urteil vom 14.06.2007, wenn es feststellt, die DIN 4109:1989 definiere lediglich Mindestanforderungen des Schallschutzes und entspreche nicht den anerkannten Regeln der Technik. Kann der Erwerber einer Wohnung nach dem Vertrag eine Ausführung erwarten, die einem üblichen Qualitäts- und Komfortstandard entspricht, dann ist nicht auf die Schalldämm-Maße der DIN 4109 abzustellen, da diese eben nicht den heute üblichen Qualitäts- und Komfortstandard wiedergeben, sondern lediglich Mindestanforderungen zur Vermeidung unzumutbarer Belästigungen.

Weiterhin heißt es vom BGH zum Mindestschallschutz der DIN 4109:1989 (mit Bezug auf den Mehrgeschoss-Wohnungsbau) in einem Urteil aus dem Jahr 2009 [41], dass *„…diese Werte in der Regel keine anerkannten Regeln der Technik für die Herstellung des Schallschutzes in Wohnungen sind, die üblichen Qualitäts- und Komfortansprüchen genügen."*

Eigener Wohn- und Arbeitsbereich
Mit Bezug auf die a.a.R.d.T. ist auch klar, dass der von den bauaufsichtlichen Vorgaben nicht tangierte eigene Wohn- und Arbeitsbereich schalltechnisch kein rechtsfreier Raum ist, in welchem nichts geschuldet wird. Privatrechtlich kann der Bauherr in jedem Fall eine mängelfreie Leistung verlangen, deren

Ausführung den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht. Dies erfordert, dass mindestens die üblichen Maßnahmen für den Schallschutz ausgeführt werden. Zur Festlegung des Schallschutzes werden Hinweise gegeben in VDI 4100 und der DEGA-Richtlinie 103-1 (siehe Tafel 20). Dazu kommt seit Februar 2015 das DEGA-Memorandum BR 0104 „Schallschutz im eigenen Wohnbereich" [42].

3.7 Die Umsetzung von Schallschutz-Anforderungen

3.7.1 Erreichbarer Schallschutz

Grundsätzlich ist bei der Festlegung des vereinbarten Schallschutzes die Frage zu beantworten, welcher Schallschutz mit der gewählten Bauweise erreicht werden kann.

INFO
Mit den Planungsinstrumenten der DIN 4109 (Berechnungsverfahren in DIN 4109-2 und Bauteilkatalog in DIN 4109-31 bis -36) und deren Umsetzung in Berechnungsprogrammen (KS-Schallschutzrechner www.ks-schallschutzrechner.de) kann der Schallschutz wesentlich genauer und detaillierter geplant werden, so dass sich ein verlässliches Bild vom erreichbaren Schallschutz ergibt.

Leicht können mit dem aktuellen Berechnungsverfahren auch Planungsvarianten durchgespielt werden, aus denen sich die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen erkennen lässt.

3.7.2 Grenzen des bauüblichen Schallschutzes

Bei der konventionellen Massivbauweise (einschalige, massive Bauteile) ist die resultierende Luftschalldämmung zwischen Wohnungen auf ca. 57 bis 58 dB begrenzt. Gründe sind die Schalllängsleitung über flankierende Bauteile und bauüblich ausgebildete Stoßstellen, die ohne zusätzliche aufwendige Maßnahmen keine höheren Werte erlauben.

Höherer Schallschutz ($R'_w \geq 60$ dB) muss konstruktiv umgesetzt werden: mehrschalige Konstruktionen, getrennte Bauteile wie z.B. zweischalige Wohnungstrennwände mit getrennten Flanken (Wände und Decken) und körperschalldämmende Bauteilverbindungen sind ohne Fachplaner in der Regel nicht zu bewältigen. Für diese Bauarten sind nicht nur höhere Kosten, sondern auch ein erhöhter Aufwand bei der Bauausführung und -überwachung einzuplanen.

INFO
Grundsätzlich gilt, dass bei höheren Anforderungen die schalltechnisch richtige Planung der Wohnungsgrundrisse von Beginn an bei der Entwurfsplanung berücksichtigt werden muss. Je höher die Anforderungen, desto sorgfältiger müssen die Flankenwege geplant werden.

3.8 Kosten des Schallschutzes

Immer wieder wird behauptet, dass der bauliche Schallschutz ein „Kostentreiber" sei. Tatsächlich ist Schallschutz nur dann

teuer, wenn er falsch oder gar nicht geplant wurde, wenn er erst nachträglich realisiert wird oder gar erst durch „Reparaturmaßnahmen“ zustande kommt. Das kann aber nicht der Maßstab für eine sachgerechte Beurteilung sein.

Keine, geringe oder vertretbare Mehrkosten entstehen, wenn der Schallschutz bereits integraler Bestandteil der Planung ist, z.B. bei der Grundrissgestaltung und der Anordnung der Aufzugsanlage! Erhöhter Schallschutz und kostengünstiges Bauen können miteinander verbunden werden.

Bei erfahrenen Beratenden Ingenieuren wird dieser Ansatz in die Praxis umgesetzt.

Verwiesen sei auf entsprechende Studien, die sich bei differenzierter Betrachtung dieser Frage angenommen haben, z.B. [43], [44]. Im Wesentlichen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass im Massivbau ein Schallschutzniveau nach Schallschutzstufe II der VDI 4100:2007 und entsprechend den Werten der DIN 4109-5 mit geringen Mehrkosten gegenüber den Mindestanforderungen der DIN 4109 realisiert werden kann.

In der ganzen Kostendiskussion hat sich allerdings noch nicht ausreichend herumgesprochen, dass zu einer guten Wohnung auch ein guter Schallschutz gehört. Hellhörige Wohnungen lassen sich schon jetzt schlecht vermieten oder verkaufen. Guter Schallschutz muss deshalb als eine wertsteigernde und zukunftssichere Investition betrachtet werden.

Diese Ansicht hat sich aber noch nicht generell durchgesetzt. So wird zwar bei vielen Kostenbetrachtungen ein möglicher Wohnflächenverlust mit „spitzem Griffel“ erfasst und in die Schallschutzkosten mit eingerechnet, auf der Habenseite fehlt aber oft die Wertsteigerung, die durch höheren Schallschutz entsteht. Bewusstseinsbildung tut hier Not.

INFO

Die Schallschutzqualität muss zu einem zentralen Wertgegenstand des Wohneigentums werden.

80 % aller Mieter sind bereit, in einen besseren Schallschutz mehr zu investieren, wenn sie überprüfbare Qualitätsstandards vorfinden. Vor diesem Hintergrund ist aufmerksam zu beobachten, wie sich Akzeptanz und Verbreitung der DEGA-Richtlinie 103 entwickeln.

4. Anforderungen an den baulichen Schallschutz

4.1 Regelwerke

Grundsätzlich muss bei Regelwerken unterschieden werden, ob sie Anforderungen an den Schallschutz oder Nachweisverfahren enthalten. Beispielsweise ist die harmonisierte europäische Schallschutznorm **EN 12354-1** ein Regelwerk, das keine Anforderungen an den Schallschutz enthält, sondern nur Nachweisverfahren festlegt. Dies ist auch richtig so, weil Anforderungen national gestellt werden. Weiterhin gibt es Regelwerke, wie z.B. die **VDI-Richtlinie 4100**, die zwar Anforderungen enthalten, aber keine Nachweise selbst regeln, sondern dazu auf andere Regelwerke verweisen. Die **DIN 4109** ist das klassische Beispiel für ein Regelwerk, welches sowohl Anforderungen als auch Nachweisverfahren regelt und damit den Schallschutz komplett behandelt.

Den Geltungsbereich der jeweiligen Regelwerke enthält Tafel 9. Vergleichende Zahlenwerte der Anforderungen enthält die Tafel 8. Die Anforderungen aus der DEGA-Richtlinie 103-1 enthält Tafel 10.

4.1.1 Festlegung von Anforderungen in DIN 4109-1

Die DIN 4109 ist nicht das einzige Regelwerk für den baulichen Schallschutz, aber sie ist das einzige Regelwerk, das die bauaufsichtlichen Anforderungen und Nachweise festlegt. Hinzu kommt, dass sie über den bauaufsichtlichen Bereich hinaus noch das maßgebende Instrument für die bauakustische Planung darstellt.

Anwendungsbereich und Zweck

In der DIN 4109-1 werden Anforderungen festgelegt, die zur Wahrung des Gesundheitsschutzes notwendig sind. Sie gelten für den Schallschutz in Gebäuden, die ganz oder teilweise dem Aufenthalt von Menschen dienen und für den Schallschutz von schutzbedürftigen Räumen in Kommunal- und anderen Zweckbauten. Die Anforderungen dieser Norm an zu schützende Räume berücksichtigen die Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise und den Schutz vor unzumutbaren Belästigungen.

Die Anforderungen innerhalb eines Gebäudes gelten nur dem Schutz vor Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich in einen schutzbedürftigen Raum (Tafel 11). Der eigene Wohn- oder Arbeitsbereich ist nicht Gegenstand der Anforderungen. Eine Ausnahme sind in DIN 4109-1 die Anforderungen an maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel in schutzbedürftigen Räumen in der eigenen Wohnung, erzeugt von raumlufttechnischen Anlagen im eigenen Wohnbereich. Ergänzend zu dieser Regelung werden in einem informativen Anhang Empfehlungen für maximal zulässige Schalldruckpegel im eigenen Wohnbereich gestellt, die von heiztechnischen Anlagen im eigenen Bereich erzeugt werden. Neben den Anforderungen innerhalb eines Gebäudes gibt es außerdem noch Anforderungen gegenüber Außenlärm.

Vorgesehenes Schallschutzniveau

In DIN 4109-1 heißt es: *„Es kann nicht erwartet werden, dass Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr bzw. als nicht belästigend wahrgenommen werden, auch wenn die in dieser Norm festgelegten Anforderungen erfüllt werden. Daraus ergibt sich insbesondere die Notwendigkeit, gegenseitig Rücksicht zu nehmen.“*

Mit dieser Formulierung und der Absicht, den Gesundheitsschutz sicherzustellen, Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise zu wah-

ren und unzumutbare Belästigungen zu vermeiden, ist offensichtlich, dass der Schallschutzanspruch der DIN 4109 ein Niveau definiert, das nicht grundsätzlich ungestörtes Wohnen gewährleistet.

INFO

Durch ihre bauaufsichtliche Einführung regelt die DIN 4109 rechtsverbindlich u.a. den Schutz gegen Schallübertragung aus fremden Wohn- und Arbeitsräumen.

Anforderungen

Durch die bauaufsichtliche Einführung der Schallschutzanforderungen der DIN 4109 sind diese öffentlich-rechtlich geschuldete Eigenschaften. Sie sind als Mindestanforderungen zu verstehen, die nicht unterschritten werden dürfen. DIN 4109-1:2018 trägt dem dadurch Rechnung, dass sie im Titel nun explizit „Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen“ heißt.

Außerhalb des bauaufsichtlichen Bereichs enthält DIN 4109-5 [71] Werte für einen erhöhten Schallschutz.

Beim Schallschutz innerhalb eines Gebäudes mit Wohnungen und Arbeitsräumen geht es in DIN 4109-1 ausdrücklich nur um den Schutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. Der eigene Wohn- und Arbeitsbereich ist nicht Gegenstand der Anforderungen. Als einzige Ausnahme von diesem Prinzip sind in DIN 4109-1 zum ersten Mal Anforderungen an die maximalen Schallpegel raumlufttechnischer Anlagen im eigenen Wohnbereich festgelegt worden. Darüber hinaus regelt die DIN 4109-1 die schalltechnischen Anforderungen an Beherbergungsstätten (Hotels), Schulen sowie Krankenanstalten und Sanatorien.

Für die in den letzten Jahren zunehmend errichteten „Seniorenheime“ bleibt es in der DIN 4109-1 offen, welche Anforderungen gestellt werden. In [45] wird dazu folgendermaßen Stellung genommen:

„Die in DIN 4109:1989-11, Tab. 3 gestellten Anforderungen decken bereits eine Vielzahl von Situationen ab, können jedoch niemals vollständig sein und alle denkbaren, unterschiedlichen Situationen erfassen. Durch Vergleich der unbekannten Situation mit der bekannten Situation lässt sich die passende Anforderung ermitteln.

Die Bewohner von Seniorenwohnungen wohnen langfristig (also nicht nur Tage oder Wochen) in ihren Wohnungen im Seniorenwohnheim und wollen dort ebenso vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung geschützt sein und erwarten die gleiche Vertraulichkeit, wie die Bewohner in einem Mehrfamilienhaus. Dies gilt auch und besonders für Pflegezimmer, deren pflegebedürftige Bewohner besonders benachteiligt sind, da sie dem Lärm nicht ausweichen und in ein anderes Zimmer wechseln können. Insofern sind hier auch die gleichen Anforderungen wie an Wohnungstrennwände zu stellen. Dagegen sind Krankenräume nur für einen befristeten Aufenthalt (für Kurzzeit oder Tagespflege) vorgesehen, wofür ein geringerer Schallschutz vertretbar ist.“

Tafel 11 Raumbezeichnungen nach DIN 4109-1

schutzbedürftige Räume Beispiele	nicht schutzbedürftige Räume Beispiele
Aufenthaltsräume ■ Wohnräume ■ Wohndielen ■ Wohnküchen ■ … ■ Schlafräume ■ Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten ■ … ■ Bettenräume in Krankenhäusern und Santorien ■ Unterrichtsräume in ■ Schulen ■ Hochschulen ■ … ■ Arbeitsräume ■ Büroräume ■ Praxisräume ■ Sitzungsräume ■ …	■ Küchen ■ Bäder ■ Toilettenräume ■ Flure ■ Haustechnikräume ■ Abstellräume ■ Räume, die infolge der Nutzung dauerhaft Schallpegel $L_{AF,95}$ > 40 dB aufweisen ■ …

4.1.2 DIN 4109-5: 2020

Die in Abschnitt 3.6 genannten Urteile bezüglich der privatrechtlichen Anforderungen an den Schallschutzes im Wohnungsbau und die damit verbundene Unsicherheit bezüglich des geschuldeten Schallschutzes führten besonders in Kreisen der Immobilienwirtschaft zu der Forderung, einen „erhöhten“ Schallschutz in der DIN 4109-Reihe zu normen.

Vorarbeiten wurden hierzu in der DIN SPEC 91314 [75] (Schallschutz im Hochbau – Anforderungen für einen erhöhten Schallschutz im Wohnungsbau) geleistet.

INFO

Die DIN SPEC ist ein Normungsdokument, das von einer Arbeitsgruppe in relativ kurzer Zeit erarbeitet werden kann. Die Erarbeitung einer DIN SPEC erfolgt in Workshops und nicht zwingend unter Einbeziehung aller interessierten Kreise, wobei bestehende Normen nicht tangiert werden dürfen.

Das Zusammenführen von DIN 4109 Beiblatt 2:1989-11 [20] und DIN SPEC 91314 [75] in DIN 4109-5:2020-08 (Schallschutz im Hochbau – Teil 5: Erhöhte Anforderungen) [72] führte zu einer Klarstellung bezüglich der Anforderungen im Wohnungsbau. Die Änderung des Namens der Norm von „erhöhter Schallschutz“ hin zu „erhöhte Anforderungen“ soll deutlich machen, dass hier gegenüber den Mindestanforderungen zwar höhere Werte gefordert werden, ein über den in diesem Dokument genannten Werten liegender erhöhter Schallschutz jedoch weiter vereinbart bzw. geschuldet werden kann.

Im Bereich des Luftschallschutzes liegen in DIN 4109-5 die geforderten bewerteten Bau-Schalldämm-Maße meist um 3 dB über den Mindestanforderungen. Im Bereich des Trittschallschutzes liegen die zulässigen bewerteten Norm-Trittschallpegel meist um 7 dB unter den zulässigen Werten in DIN 4109-1. Auch bei den gebäudetechnischen Anlagen sind 3 dB schärfere Anforderungen genannt, während beim Außenlärm die Anforderungswerte gegenüber den Mindestanforderungen unverändert bleiben.

INFO

Höhere Schalldämmwerte der Außenbauteile führen bei relativ hohen und konstanten Außenlärmpegeln zu einem geringeren Grundgeräuschpegel in der Wohnung. Hierdurch wird aber auch die Verdeckung gegenüber Geräuschen aus angrenzenden Wohnungen reduziert und diese Geräusche können stärker wahrgenommen werden.

Das Anforderungsniveau von DIN 4109-5 wird von den Planern in aller Regel bei mehrgeschossigen Wohngebäuden angewendet, die einen üblichen Komfort bieten. Bei Gebäuden mit Kalksandsteinwänden sind die „erhöhten Anforderungen“ der DIN 4109-5 gegenüber dem Mindestschallschutz nach 4109-1 bei entsprechender Planung meist ohne besondere Mehrkosten sicherzustellen.

4.1.3 Das Normenpaket der DIN 4109

4.1.3.1 Aktuelle Normungssituation

Im Juli 2016 wurde die Neufassung der DIN 4109 als Weißdruck veröffentlicht. Aufgrund von Widersprüchen zwischen der neuen Schallschutznorm und der zeitgleich überarbeiteten Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) wurden bereits im Januar 2017 zu DIN 4109-1 und DIN 4109-2 die Änderungsblätter E DIN 4109-1 [33] und E DIN 4109-2 [34] veröffentlicht. Nach Abschluss der Einspruchsphase zu diesen beiden Entwürfen wurden die Änderungen im Rahmen einer konsolidierten Neufassung der beiden betroffenen Normen als DIN 4109-1:2018-01 [35] und DIN 4109-2:2018-01 [36] neu herausgegeben. Zu DIN 4109-2 folgte noch ein Normenentwurf E DIN 4109-2/A1:2020-05 [71], der noch nicht im Weißdurck erschienen ist. Ebenfalls 2020 wurde dann DIN 4109-5:2020-08 [72] veröffentlicht, die erhöhte Anforderungen für den baulichen Schallschutz nennt und den erhöhten Schallschutz aus DIN 4109 Beiblatt 2 1989 [24] ersetzt. Ergänzungen zum Bauteilkatalog von 2016 erschienen als DIN 4109-34/A1:2019-12 [73] und DIN 4109-35/A21:2019-12 [74].

Bei den Anforderungswerten selbst gibt es gegenüber DIN 4109:1989 keine wesentlichen Änderungen. Lediglich beim Trittschall wurde eine geringe Absenkung der Normtrittschallpegel und bei der Luftschalldämmung in Doppel- und Reihenhäusern eine moderate Erhöhung der Werte vorgesehen. Einige Anforderungswerte werden in Tafel 8 dargestellt.

Dass die DIN 4109 neben den Mindestanforderungen in Teil 1 auch Werte für erhöhte Anforderungen in Teil 5 nennt, ist für das Bauen mit Kalksandstein von untergeordneter Bedeutung, da die verfügbaren bautechnischen Lösungen die Einhaltung unterschiedlichster Schallschutzniveaus erlauben.

Aktuell (2025) ist eine komplette Überarbeitung der DIN 4109-Reihe geplant. Hierzu wurden bereits interne Normungsdokumente erstellt, so dass bis Ende 2025 mit Normentwürfen gerechnet werden kann. Im Wesentlichen sollen bei den Anforderungen in DIN 4109-1 die Anforderungsgrößen an den Außenlärm durch eine Berücksichtigung der Spektrumanpassungswerte C und C_{tr} und an die gebäudetechnischen Anlagen durch den Wechsel von $L_{AF,max,n}$ auf $L_{AF,max,nT}$ geändert werden. Bei den Berechnungsverfahren in DIN 4109-2 soll mit einer detaillierteren Berechnung der flankierenden Übertragung beim Trittschall zum einen eine höhere Genauigkeit erreicht werden, zum anderen die Berechnung der Schallübertragung in horizontal oder diagonal angrenzende Aufenthaltsräume verbessert werden. Der Bauteilkatalog (DIN 4109 Teile 31 bis 36) wird ebenfalls überarbeitet, wobei sich hier für den Massivbau keine wesentlichen Änderungen ergeben werden. Allerdings sollen Daten zu neuartigen Konstruktionen des Leichtbaus (Massivholz-, Stahlblech-Bauteile, etc.) aufgenommen werden. Weiter werden fehlende Spektrum-Anpassungswerte von Außenbauteilen ergänzt.

4.1.3.2 Struktur der DIN 4109

Die DIN 4109-1 legt Anforderungen fest und definiert, wie die Erfüllung der Anforderungen nachzuweisen ist. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, gliedert sich die DIN 4109 in folgende fünf Teile (Bild 11):

- DIN 4109-1: Mindestanforderungen [35]
- DIN 4109-2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen [36], [71]
- DIN 4109-31 bis DIN 4109-36:
  Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) [6] und [27–31], [73], [74]
- DIN 4109-4: Bauakustische Prüfungen [32]
- DIN 4109-5: Erhöhte Anforderungen [72]

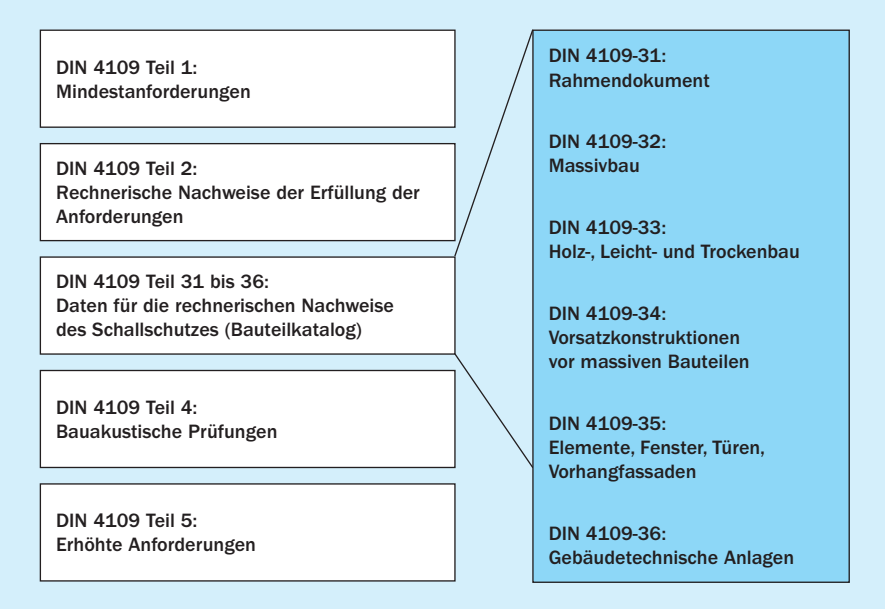


Bild 11 Gliederung der DIN 4109

Jeder Teil dieser Norm behandelt eigenständig und ausschließlich einen bestimmten Aspekt der Schallschutznormung. Nachfolgend werden die Grundzüge der einzelnen Teile vorgestellt.

INFO

Die DIN 4109 liefert mit den Teilen 2 und 31 bis 36 auf Grundlage der europäischen Berechnungsverfahren der DIN EN 12354 [3, 46–50] einen systematischen und vollständigen Ansatz für die bauakustische Planung.

4.1.3.3 Bauaufsichtliche Einführung der DIN 4109

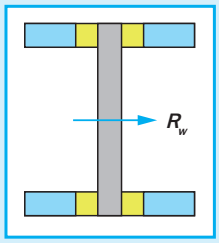
Die Grundlage für die bauaufsichtliche Einführung technischer Regelwerke bildet die Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), die den Bundesländern als Vorlage für die durch die jeweilige Landesbauordnung eingeführte Verwaltungsvorschrift technische Baubestimmungen (VV TB) dient. In der MVV TB vom 31.08.2017 wurden unter Abschnitt A5 die Regeln zur Grundanforderung Schallschutz erstmals unter Bezug auf die neue DIN 4109 formuliert. Inzwischen ist die MVV TB in allen Bundesländern eingeführt. Die bauaufsichtliche Einführung der Anforderungen bezieht sich nur auf die Mindestanforderungen aus DIN 4109-1, und zwar in der Ausgabe von 2018-01. In Anlage A 5.2/2 heißt es zu den Nachweisen: „Der schalltechnische Nachweis ist nach DIN 4109-2:2018-01 in Verbindung mit DIN 4109-31:2016-07, DIN 4109-32:2016-07, DIN 4109-33:2016-07, DIN 4109-34:2016-07, DIN 4109-34/A1:2019-12, DIN 4109-35:2016-07, DIN 4109-35/A1:2019-12 und DIN 4109-36:2016-07 zu führen. Für Bauteile im Massivbau kann der Nachweis auch nach Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989-11 geführt werden. Wenn Mauerwerk aus Lochsteinen zur Anwendung kommt, gilt dies nur für Mauerwerk, welches den Bedingungen in DIN 4109-32:2016-07, Abschnitt 4.1.4.2.1, entspricht. Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989-11 darf jedoch nicht für den Nachweis von massiven Treppen herangezogen werden.“

Durch diese Festlegung wird DIN 4109:1989 Beiblatt 1 auch weiterhin für die schalltechnischen Nachweise im Massivbau (Luftschall und Trittschall jeweils in Mehrfamilienhäusern und zwischen Reihen- und Doppelhäusern, Außenlärm, gebäudetechnische Anlagen etc.) als alternatives Nachweisverfahren zu DIN 4109-2 zugelassen. Somit stehen für die rechnerischen Nachweise im Massivbau gemäß MVV TB auf breiter Front zwei Möglichkeiten zur Auswahl.

DIN 4109:1989 Beiblatt 1 wurde im Wesentlichen in der Zeit zwischen 1975 und 1985 erarbeitet und war für die Planung damals üblicher Bauweisen (Grundrisssituationen, Baustoffe, Bauelemente etc.) ausgelegt. Sie entspricht in vielen Bereichen nicht mehr dem aktuell anerkannten Stand der Technik und ist für heutige Bauweisen nur eingeschränkt anwendbar. Es ist seit vielen Jahren bekannt, dass die Nachweisverfahren im zurückgezogenen Beiblatt 1 in verschiedenen Situationen zu deutlichen Fehleinschätzungen in der schalltechnischen Dimensionierung von Bauteilen führen (z.B. bei einschaligen Trennbauteilen mit leichten flankierenden Bauteilen oder beim Trittschall von Treppenläufen). Daraus resultieren erhebliche Haftungsrisiken für den Planer, da in privatrechtlicher Hinsicht immer die vereinbarte Beschaffenheit geschuldet ist und diese im Bereich des Schallschutzes im Zweifelsfall mit einer Messung überprüft wird.

Im Gegensatz zu den alten Nachweisverfahren in Beiblatt 1 ermöglichen die aktuellen Nachweisverfahren in DIN 4109-2 zusammen mit dem Bauteilkatalog in DIN 4109-31 bis DIN 4109-36 eine zielgerichtete und wirtschaftliche Dimensionierung aller an der Schallübertragung beteiligten Bauteile. Es besteht Einigkeit darüber, dass diese Verfahren den aktuell anerkannten Stand der Technik darstellen. Aus diesem Grund werden die Nachweisverfahren aus DIN 4109:1989 nachfolgend nicht weiter behandelt. Von deren Anwendung im Rahmen schalltechnischer Nachweise wird dringend abgeraten.

DIN 4109-2:
Bewertetes Schalldämm-Maß R_w
R_w beschreibt die Leistungsfähigkeit eines Bauteils ohne Flankeneinflüsse.



DIN 4109-2:
Bewertetes
Bau-Schalldämm-Maß R'_w
R'_w beschreibt die Leistungsfähigkeit eines Bauteils mit Flankeneinflüssen. Das sind die Flanken-Eigenschaften, die Flanken-Übertragung und die Einwirkungen der Stoßstellen.

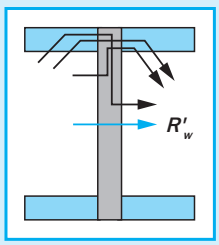


Bild 12 Bewertetes Schalldämm-Maß R_w und bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R'_w

4.1.3.4 Anforderungskonzept der DIN 4109

Ein vollständiges Anforderungskonzept kann sich nicht mit der Nennung der Anforderungswerte begnügen. Es muss auch sagen, wie die Erfüllung der Anforderungen nachgewiesen werden muss und mit welchen Instrumenten das zu geschehen hat. So gesehen bildet die DIN 4109 mit ihren fünf Teilen eine zusammenhängende Einheit, die den gesamten Bereich der Anforderungen und der Nachweise abdeckt.

In DIN 4109-1 werden die Anforderungen beim Luftschall durch das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w und beim Trittschall durch den bewerteten Norm-Trittschallpegel im Bau $L'_{n,w}$ formuliert. Auch wenn der Blick bei diesen Größen primär auf die trennenden Bauteile gerichtet ist, werden immer alle an der Schallübertragung beteiligten Wege berücksichtigt. Im Gegensatz dazu sind die Größen R_w und $L_{n,w}$ reine Bauteileigenschaften, da sie ausschließlich die Schallübertragung über das betreffende trennende Bauteil beschreiben (Bild 12).

INFO

Auch wenn in DIN 4109-1 die Anforderungen wie in der Vorgängernorm primär an die trennenden Bauteile formuliert werden, so ändert sich doch im Nachweisverfahren nach DIN 4109-2 die Bedeutung der flankierenden Bauteile und der Stoßstellen erheblich. Dadurch kann auch die schalltechnische Bemessung der Trennbauteile erheblich beeinflusst werden.

4.1.3.5 Anforderungen in DIN 4109-1

Die Anforderungen der DIN 4109-1 decken denselben Umfang wie bislang ab:

- Schutz von Aufenthaltsräumen gegenüber Schallübertragung zwischen unterschiedlichen fremden Nutzungseinheiten (Luft- und Trittschallschutz)
- Schutz gegen Geräusche von Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung (einschließlich der Wasserinstallation)
- Schutz gegen Geräusche aus Gewerbe- und Industriebetrieben im selben oder in baulich damit verbundenen Gebäuden
- Schutz gegen Außenlärm (Verkehrslärm, Lärm aus Gewerbe- und Industriebetrieben)

In Zusammenhang mit ihrer bauaufsichtlichen Einführung sind diese Anforderungen, wie es jetzt auch im Titel der Norm zum Ausdruck gebracht wird, als Mindestanforderungen zu verstehen, die nicht unterschritten werden dürfen.

Einen Auszug der Anforderungen enthält Tafel 8.

4.1.3.6 Sicherheitsbeiwert

Die Eigenschaften der verwendeten Baustoffe und die Qualität der Bauausführung sind Schwankungen unterlegen. Dies und die Tatsache, dass eine Berechnung den messtechnisch in der jeweiligen Bausituation erreichten Schallschutz nur bedingt abbilden kann, wird in DIN 4109-2 mit dem Sicherheitsbeiwert u_{prog} berücksichtigt. Der Sicherheitsbeiwert berücksichtigt die Unsicherheiten infolge dieser Schwankungen und reduziert das prognostizierte Schalldämm-Maß. Dadurch liegt der schalltechnische Nachweis „auf der sicheren Seite“. Der um den Sicherheitsbeiwert reduzierte Rechenwert muss größer sein, als der mindestens erforderliche Wert der Anforderungskenngröße:

$$R'_w - u_{prog} \geq R'_{w,erf}$$

Der Sicherheitsbeiwert beträgt für die Luftschalldämmung pauschal 2 dB und für die Trittschalldämmung 3 dB. Wird ein Nachweis zu bauaufsichtlich relevanten Anforderungen oder zum erhöhten Schallschutz nach DIN 4109-5 geführt, so sind diese Sicherheitsbeiwerte verbindlich.

Wird hingegen ein Nachweis über ein privatrechtlich auf anderer Grundlage vereinbartes Niveau geführt, liegt die Festlegung der Prognose-Unsicherheit in der Verantwortung des Planers [4]. Langjährige durch schalltechnische Messungen abgesicherte Erfahrungen innerhalb der Kalksandsteinindustrie zeigen, dass der Sicherheitsbeiwert auf ein Maß von 1 dB reduziert werden kann, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Es handelt sich um Geschosswohnungsbau mit einschaligen Trennwänden sowie Innen- und Außenwänden aus KS-Mauerwerk und Geschossdecken aus Stahlbeton mit schwimmendem Estrich.
- Die Ausführungsempfehlungen des Abschnitts 4 werden eingehalten.
- Alle Bauteilanschlüsse werden starr ausgebildet (vgl. Abschnitt 4), da einfache Anschlussdetails ein deutlich geringeres Risiko der fehlerhaften Bauausführung aufweisen, als komplizierte und aufwendige Sonderkonstruktionen wie z.B. planmäßige Entkopplungen.
- Die Wohnungstrennwand wird durch die Außenwand „durchgeführt“ (Bild 22). Dadurch ist ein in der Baupraxis nicht sicher zu verhindernder Abriss der vermörtelten Fugen zwischen Trennwand und Flanken nicht nachteilig für den Schallschutz, sondern führt sogar zu einer Verbesserung der Flankendämmung.
- Der Planer verfügt über ausreichend Erfahrung im Bereich der schallschutztechnischen Planung und Realisierung von Objekten in Kalksandstein-Bauweise.

4.1.4 VDI-Richtlinie Schallschutz von Wohnungen

4.1.4.1 Allgemeines

Ziel der VDI-Richtlinie 4100 ist die schalltechnische Klassifizierung von Wohnungen für die Planung und Bewertung des Schallschutzes. Sie ist im Rahmen zivilrechtlicher Vereinbarungen anwendbar. Als Adressaten nennt diese Richtlinie Planer, akustische Berater, Bauherren, Vermieter, Mieter, Käufer und Verkäufer von Wohnungen.

Grundlage der festgelegten Schallschutzwerte sind objektivierbare Kriterien wie z.B. das Durchhören von Sprache. Subjektive Vorstellungen können anhand einfacher Entscheidungskriterien präzisiert und in ein entsprechendes Anforderungsniveau umgesetzt werden.

4.1.4.2 VDI-Richtlinie 4100:2007

Unterschieden werden drei Schallschutzstufen (SSt I, II und III). SSt I stimmt mit den Mindestanforderungen der (alten) DIN 4109:1989 überein. Die SSt II nennt Werte, *„bei deren Einhaltung die Bewohner […] im Allgemeinen Ruhe finden […]. Bei Einhaltung der Kennwerte der SSt III können die Bewohner ein hohes Maß an Ruhe finden.“* Die Schallschutzstufen der VDI 4100 schließen auch den eigenen Wohn- und Arbeitsbereich ein.

Die zahlenmäßigen Anforderungen der einzelnen Schallschutzstufen sind in Tafel 8 aufgeführt.

4.1.4.3 VDI-Richtlinie 4100:2012

Nach einer grundlegenden Überarbeitung hat die VDI 4100:2012 das Anforderungskonzept auf so genannte nachhallzeitbezogene Kenngrößen umgestellt (siehe dazu Abschnitte 3.2 und 7.2.2 der Richtlinie) und die Schallschutzstufen (SSt) neu definiert. Es gibt weiterhin drei Schallschutzstufen, die aber in ihren verbalen Schallschutzzuweisungen nicht mehr mit denjenigen der alten Richtlinie übereinstimmen. Während die alte SSt I mit den Mindestanforderungen der alten DIN 4109:1989 übereinstimmte, beschreibt die neue SSt I bereits einen gegenüber der DIN 4109:1989 erhöhten Schallschutz. Somit behandelt die neue VDI-Richtlinie nur noch den erhöhten Schallschutz.

Unterschieden werden drei Schallschutzstufen (SSt I, II und III), die alle einen gegenüber der DIN 4109 erhöhten Schallschutz beschreiben. Während die DIN 4109 und die VDI 4100:2007

ihre Anforderungen auf schutzbedürftige Aufenthaltsräume wie Wohn- und Schlafräume begrenzen, sind bei der VDI 4100:2012 alle Räume einer Wohnung mit mindestens 8 m^2 Grundfläche einbezogen, also z.B. auch größere Badezimmer.

In SSt I sollen *„Belästigungen in benachbarten Wohnräumen auf ein erträgliches Maß abgesenkt werden. Sie (die SSt I) sollte man bei einer (neu erstellten) Wohnung erwarten können, bei welcher die Ausführung und Ausstattung gegenüber einer einfachsten Ausführung und Ausstattung angehoben ist."*

Weiterhin heißt es: *„Die Schallschutzstufe SSt II ist beispielsweise bei einer Wohnung zu erwarten, die auch in ihrer sonstigen Ausführung und Ausstattung durchschnittlichen Komfortansprüchen genügt."*

Die dritte Stufe wird so beschrieben: *„Die Schallschutzstufe SSt III ist beispielsweise bei einer Wohnung zu erwarten, die auch in ihrer sonstigen Ausführung und Ausstattung sowie Lage besonderen Komfortansprüchen genügt."*

Dass erst der neuen SSt II, die mit ihren Anforderungswerten mit der alten Stufe III vergleichbar ist, *„durchschnittliche Komfortansprüche"* zugesprochen werden und die neue SSt I (vergleichbar mit der alten SSt II) lediglich als *„angehoben gegenüber einer einfachsten Ausführung und Ausstattung"* beschrieben wird, ist kritisch zu bewerten.

Die Schallschutzstufen der VDI 4100:2012 schließen gegenüber der Vorgängerversion den eigenen Wohn- und Arbeitsbereich nicht mehr obligatorisch ein. Für diesen Zweck werden nun die Schallschutzstufen SSt EB I und SSt EB II definiert.

INFO

Die Schallschutzstufen von VDI 4100:2012 sind nicht vergleichbar mit den Schallschutzstufen von VDI 4100:2007. Sie geben ausschließlich Empfehlungen für den erhöhten Schallschutz.

4.1.5 DIN 8989: Schallschutz in Gebäuden – Aufzüge

Die DIN 8989 [51] beschäftigt sich mit den von Aufzugsanlagen ausgehenden Geräuschen in Gebäuden. Behandelt werden sowohl aufzugstechnische als auch bauseitige Aspekte. Da bei der bauakustisch notwendigen Auslegung nach wie vor große Unsicherheiten herrschen, beschränkt sich diese Richtlinie bei den Maßnahmen zum baulichen Schallschutz auf allgemeine Planungsgrundsätze und Vorgaben für die flächenbezogenen Massen von Bauteilen. Weitere Angaben zum Schallschutz bei Aufzugsanlagen finden sich in Abschnitt 6.1.4.

4.1.6 Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA)

Über die Normen und Regelwerke hinaus gibt es einige Schriften, die Stellung zum baulichen Schallschutz beziehen:

- Memorandum der DEGA BR 0101 [37], in dem zum Verhältnis von DIN 4109 und den anerkannten Regeln der Technik Stellung genommen wird
- DEGA-Richtlinie 103-1: Schallschutz im Wohnungsbau, Teil1: Schallschutzklassen und erhöhter Schallschutz [18]
- Memorandum der DEGA BR 0104 [42]: Schallschutz im eigenen Wohnbereich

Die DEGA-Empfehlung 103 wurde 2009 erstmalig veröffentlicht und 2018 sowie 2024 überarbeitet. Sie beschreibt ein Konzept zur Klassifizierung von Wohneinheiten mittels Schallschutzklassen. Die sieben Schallschutzklassen (Tafel 10) werden als Ergänzung der Schallschutzanforderungen der Norm DIN 4109 definiert. Im Wesentlichen werden folgende Ziele verfolgt:

- Schaffung eines mehrstufigen Systems zur differenzierten Planung und Kennzeichnung des baulichen Schallschutzes zwischen Raumsituationen unabhängig von der Art des Gebäudes
- Entwicklung eines Punktesystems auf dieser Basis zur einfachen Kennzeichnung des Schallschutzes von ganzen Wohneinheiten oder Gebäuden

Die Anforderungen der einzelnen Schallschutzklassen für Luft- und Trittschallschutz enthält Tafel 10. Die aktuelle Situation belegt, dass die Festlegung von Schallschutzanforderungen kontrovers und mit unterschiedlicher Intention gesehen wird.

Die DEGA-Empfehlung 103 ist als DEGA-Richtlinie 103-1 in einer überarbeiteten Version im September 2024 erschienen. Eine Zusammenführung der Richtlinie mit der VDI 4100 wird angestrebt, um zukünftig eine Klassierung des Schallschutzes von Wohngebäuden deutschlandweit in einem Dokument zu regeln.

Da die Frage nach der Auslegung des Schallschutzes im eigenen Wohnbereich zunehmend an Bedeutung gewinnt, hat die DEGA 2015 im Memorandum BR 0104 drei Qualitätsstufen und die zugehörigen Kennwerte für den eigenen Wohnbereich empfohlen, die für verschiedene Raumsituationen angegeben werden. Außerdem enthält dieses Memorandum Planungshinweise für den Schallschutz im eigenen Wohnbereich. Die empfohlenen Werte werden auszugsweise in Tafel 20 genannt.

4.2 Hinweise zur Festlegung des Schallschutzniveaus

Wie das Schallschutzniveau im konkreten Fall festgelegt werden soll, kann nicht allgemeingültig ohne Berücksichtigung der aktuellen Umstände definiert werden. Einige Hinweise können jedoch gegeben werden:

Die gesetzlich festgelegten Anforderungen der DIN 4109-1 sind Mindestanforderungen, die zufriedenstellende akustische Bedingungen nicht zwangsläufig sicherstellen.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Rechtsprechung ist eine schwindende Akzeptanz gegenüber den (Mindest-) Anforderungen der DIN 4109-1 festzustellen, insbesondere bei den Werten für die Luftschalldämmung, nicht aber bei den Anforderungen zum Schutz gegen Außenlärm. Das bedeutet aber nicht, dass nun grundsätzlich nicht mehr nach diesen Anforderungen gebaut werden kann. Allerdings ist im Einzelfall zu klären, ob das damit vorgegebene Schallschutzniveau in allen Belangen unstrittig ist. Der auf einem solchen Niveau vorgese-

hene Schallschutz sollte in eine widerspruchsfreie Vertragsgestaltung eingebunden sein. Im Zweifelsfall sollte ein höherer Schallschutz vorgesehen werden.

Bezüglich des Schallschutzes ist die Beratungspflicht des Planers/Architekten ernst zu nehmen. Bauherrenwünsche, gesetzliche Vorgaben und Wirtschaftlichkeit sind zu erörtern und in die Planung bei der Festlegung des Schallschutzes einzubinden. Über die Festlegungen sind klare und widerspruchsfreie vertragliche Vereinbarungen zu treffen.

Insbesondere, wenn nur die Mindestanforderungen der DIN 4109-1 realisiert werden sollen, sind für das Abweichen von einem üblichen Standard strenge Maßstäbe anzulegen. Vom BGH heißt es dazu [41]: *„Kann der Erwerber nach den Umständen erwarten, dass die Wohnung in Bezug auf den Schallschutz üblichen Qualitäts- und Komfortstandards entspricht, dann muss der Unternehmer, der hiervon vertraglich abweichen will, deutlich hierauf hinweisen und den Erwerber über die Folgen einer solchen Bauweise für die Wohnqualität aufklären.“*

Der heutzutage durchschnittlich erreichte Schallschutz im Wohnungsbau liegt über den Werten der DIN 4109-1. Um dieser Tatsache und dem Schutzbedürfnis der Bewohner Rechnung zu tragen, sollte ein Schallschutz über dem Standard der DIN 4109-1 vorgesehen werden.

Erhöhter Schallschutz muss dann realisiert werden, wenn vom Nutzungszweck erkennbar ist, dass es sich um höherwertige Wohnungen, wie z.B. Eigentums- und Komfortwohnungen handelt.

In der Baupraxis kann das höhere Qualitätsniveau einer Wohnung unmittelbar mit einem höheren Schallschutz in Verbindung gebracht werden (siehe [22] und Abschnitt 3.3.2).

Die Festlegung der Zahlenwerte für einen erhöhten Schallschutz kann letztlich nicht allgemeingültig, sondern nur objektbezogen getroffen werden, da der geschuldete Schallschutz aus rechtlicher Sicht stets im Einzelfall zu ermitteln ist. Orientierung können die Vorschläge geben, wie sie z.B. in DIN 4109-5, der VDI 4100 oder der DEGA-Richtlinie 103-1 veröffentlicht wurden. Auf internationaler Normungsebene wurde als ISO-Dokument ISO/TS 19488 ein Klassifizierungsschema für den Schallschutz von Wohnungen erarbeitet, das für die Einstufung der Schallschutzqualität herangezogen werden kann [52]. Ein Schallschutz auf dem Niveau des zurückgezogenen Beiblatts 2 zu DIN 4109:1989 sollte für einen erhöhten Schallschutz nicht in Betracht gezogen werden, da er sich nach aktueller Einschätzung nicht ausreichend vom Mindestschallschutz unterscheidet. Ein erkennbarer Qualitätsunterschied gegenüber den Anforderungen der DIN 4109-1 liegt dann vor, wenn der Luftschallschutz um mindestens 3 dB ($R'_w \geq 56$ dB horizontal, $R'_w \geq 57$ dB vertikal) verbessert wird. Dies wird in der Empfehlung der Kalksandsteinindustrie vorgeschlagen (Tafel 8).

Die Höhe des geschuldeten Schallschutzes kann sich auch aus der gewählten Konstruktion ergeben, so dass im Sinne einer mängelfreien Leistung der Schallschutz geschuldet wird, der von der gewählten Konstruktion in fehlerfreiem Zustand erwartet werden kann. Im Urteil des BGH vom 14. Juni 2007 [19] heißt es dazu: *„Ist eine Bauweise nicht vereinbart worden, so kann der Bauunternehmer sich zudem nicht auf Mindestanforderungen nach DIN 4109-1 zurückziehen, wenn die von ihm gewählte Bauweise bei einwandfreier Ausführung höhere Schalldämm-Maße ergibt.“*

Für die Luftschalldämmung bei Reihen- und Doppelhäusern sollte die Abstufung gegenüber dem Mindestschallschutz der DIN 4109-1 mindestens 5 dB betragen, da sich gezeigt hat, dass die erkennbaren Qualitätsstufen bei höherer Schalldämmung größer anzusetzen sind [14]. Ausgehend von DIN 4109-1 mit R'_w = 62 dB für Haustrennwände zu Aufenthaltsräumen, unter denen mindestens ein Geschoss (erdberührt oder nicht) des Gebäudes vorhanden ist, kommt man dadurch als Empfehlung auf $R'_w \geq 67$ dB (entsprechend den Anforderungen in DIN 4109-5). Gut dimensionierte, ausreichend schwere, zweischalige Haustrennwände sind in der Lage, dieses Niveau zu erreichen oder zu überschreiten. Einschränkungen sind bei nicht unterkellerten Gebäuden im Erdgeschoss zu beachten. Zu berücksichtigen ist aus rechtlicher Sicht, dass diejenige Schalldämmung geschuldet wird, die die vereinbarte Konstruktion mängelfrei erbringen kann. Das können im Einzelfall mehr als die empfohlenen 67 dB sein.

INFO

Zusammengefasste Empfehlungen:

- **DIN 4109-1 reicht meist nicht aus. Durchschnittlich erreichte Schallschutzwerte im Wohnungsbau liegen heutzutage über den Werten der DIN 4109-1.**
- **Erkennbare Qualitätsunterschiede ergeben sich beim Luftschallschutz, wenn gegenüber DIN 4109-1 mindestens um 3 dB höhere Werte erreicht werden.**
- **Beratungspflicht des Planers/Architekten ist ernst zu nehmen. Bauherrenwünsche sind zu erörtern.**
- **Erhöhter Schallschutz kommt insbesondere bei Eigentums- und Komfortwohnungen zum Tragen. Bei zweischaligen Reihenhaustrennwänden ist ein R'_w von 67 dB zu empfehlen.**
- **Eine mängelfreie Ausführung ist geschuldet. Das kann im Einzelfall, wenn das Bauteil mehr kann als der vereinbarte Schallschutzwert, zu höheren Anforderungen führen.**
- **Vorzusehender Schallschutz ist in widerspruchsfreie Vertragsgestaltung einzubinden.**
- **Das Planungsziel für den Schallschutz muss für alle Beteiligten, vom Fachingenieur bis zum Makler, eindeutig definiert werden.**

4.3 Planungsgrundlagen des Schallschutzes mit den Kenngrößen R'_w und $D_{nT,w}$

Anforderungsgröße der DIN 4109-1 ist beim Luftschall das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w. In einem informativen Anhang der DIN 4109-1 wird ergänzend auf die so genannten nachhallzeitbezogenen Größen zur Beschreibung des Schallschutzes hingewiesen (beim Luftschall ist das $D_{nT,w}$). In DIN 4109-2 werden ebenfalls in einem informativen Anhang Angaben zur „Er-

mittlung von Kenngrößen zur Planung des Schallschutzes“ gegeben. Damit sind ebenfalls die nachhallzeitbezogenen Größen gemeint. Die VDI 4100:2012 hat diese nachhallzeitbezogenen Größen zur Grundlage ihrer Schallschutzstufen für den erhöhten Schallschutz gemacht. Auch im ISO-Dokument ISO/TS 19488 zur Klassifizierung des Schallschutzes von Wohnungen [52] werden diese nachhallzeitbezogenen Größen zugrunde gelegt. Es soll deshalb auf beide Beschreibungsmethoden im Rahmen der bauakustischen Planung eingegangen werden.

Planung mit R'_w

R'_w ist für die Luftschallübertragung die primäre Berechnungsgröße im Berechnungsmodell der DIN 4109-2. Sie ergibt sich direkt als Endergebnis der Prognoseberechnung und steht nach Berücksichtigung eines Sicherheitsabschlags (Vorhaltemaß) unmittelbar zum Vergleich mit den Anforderungen zur Verfügung. Aufgrund unterschiedlicher Größe des Trennbauteils und unterschiedlicher Geometrie und Bauteilkonstruktion der flankierenden Bauteile ergeben sich innerhalb eines nachzuweisenden Gebäudes für nominell gleiche Bauteile (Wohnungstrennwand, oder -decke) unterschiedliche bewertete Bau-Schalldämm-Maße. Mit etwas Erfahrung muss jedoch nicht ein Nachweis für jede Raumsitiuation erfolgen, sondern es werden vom Planer die schalltechnisch ungünstigsten Raumsituationen (z.B. bei Wohnungstrenndecken die kleinen Eckräume) nachgewiesen.

Planung mit $D_{nT,w}$

Die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ als Kenngröße für die Beschreibung des Schallschutzes zwischen zwei Räumen kann im Anschluss an die Berechnung von R'_w aus dieser Größe errechnet werden. Sie muss nicht in einer separaten Prognoserechnung ermittelt werden (siehe Abschnitt 2.2, Gleichung (2.4))

Für unterschiedlich große Volumina der Empfangsräume und unterschiedliche Flächen des Trennbauteils kann sich bei gleicher Schalldämmung der Bauteile eine sehr unterschiedliche Schallpegeldifferenz ergeben, so dass auch der realisierte Schallschutz unterschiedlich wahrgenommen wird (Bild 6).

Im Planungsprozess geht der Planer den Weg vom Schallschutz zur Gebäudekonstruktion und zur bauakustischen Dimensionierung der einzelnen Bauteile. Er hat die Aufgabe, aus dem erforderlichen $D_{nT,w}$ die erforderlichen schalltechnischen Eigenschaften der Bauteile abzuleiten, um die Erfüllung der Anforderungen sicherzustellen. Er muss deshalb die Schallschutzgröße so „übersetzen“, dass sie ihm die erforderliche Schalldämmung liefert, die von den Bauteilen zu erbringen ist. Das notwendige bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w, welches der Bauteildimensionierung zugrunde gelegt wird, ergibt sich durch

$$R'_w = \text{erf. } D_{nT,w} + 10 \lg\left(\frac{3{,}1 \cdot S}{V}\right) \text{ [dB]} \qquad (4.1)$$

mit
S den beiden Räumen gemeinsame Trennfläche
V Raumvolumen

Wegen der Trennflächen- und Volumenabhängigkeit muss dieser Vorgang raumspezifisch erfolgen. Bei gleichem erf. $D_{nT,w}$ ergibt sich für kleine Räume ein größeres notwendiges R'_w als bei großen Räumen.

Die Einhaltung des benötigten R'_w muss planerisch sichergestellt werden durch die Festlegung geeigneter Decken- und Wandkonstruktionen. Dabei muss die (Direkt-) Dämmung des Trennbauteils und die Flankendämmung der flankierenden Bauteile berücksichtigt werden. Dies geschieht mit Hilfe des in Abschnitt 5.2.3 beschriebenen Berechnungsverfahrens, das im KS-Schallschutzrechner implementiert ist. Analog wird bei der Realisierung des Trittschallschutzes verfahren.

Bei der planerischen Umsetzung des neuen Schallschutzkonzepts sind einige Punkte zu beachten:

- Der vorhandene Schallschutz ($D_{nT,w}$) hängt von der Übertragungsrichtung ab. Die Schalldämmung (R'_w) nicht.
- Bei gleicher Schalldämmung der übertragenden Bauteile ergibt sich je nach Trennfläche und Volumen des zu betrachtenden Empfangsraums ein unterschiedliches $D_{nT,w}$. Unterschiedliche $D_{nT,w}$ ergeben sich trotz gleicher Konstruktionen auch dann, wenn sich bei versetzten Räumen die gemeinsame Trennfläche ändert. Tafel 12 zeigt als Beispiel, dass sich für das $D_{nT,w}$ je nach Raumvolumen und Grundrisssituation unterschiedliche Werte zwischen 52 und 58 dB ergeben, obwohl das vorhandene bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w in allen betrachteten Fällen 53 dB beträgt (Umrechnung mit Gleichung 2.3).
- Im Sinne des Schallschutzes muss der Nachweis für die jeweils ungünstigste Situation erbracht werden: bei Schallübertragung zwischen unterschiedlich großen Räumen vom größeren in den kleineren Raum, bei unterschiedlich lauten Räumen vom lauteren in den leiseren Raum.

Tafel 12 Vergleich von R'_w und $D_{nT,w}$ bei horizontaler Übertragung für verschiedene Raumsituationen

Raumbeschreibung (Raumhöhe 2,5 m)	Kleiner Empfangsraum, Raumtiefe 2,5 m		Großer Empfangsraum, Raumtiefe 5 m	
	Trennwandlänge 4 m	Versetzter Grundriss	Trennwandlänge 4 m	Versetzter Grundriss
Trennfläche S	10 m²	5 m²	10 m²	5 m²
Grundfläche	10 m²	10 m²	20 m²	20 m²
Raumvolumen V	25 m³	25 m³	50 m³	50 m³
R'_w	**53 dB**	**53 dB**	**53 dB**	**53 dB**
$D_{nT,w}$	**52 dB**	**55 dB**	**55 dB**	**58 dB**

- Die Übertragungsrichtung spielt bei der vertikalen Schallübertragung keine große Rolle, da die Räume innerhalb eines Wohngebäudes üblicherweise gleich hoch sind. Bei üblichen Raumhöhen von etwa 2,5 m muss das zu planende R'_w um etwa 1 dB größer als das erforderliche $D_{nT,w}$ sein.
- Diese Aussage gilt allerdings nur bei gleichen übereinanderliegenden Grundrissen. Bei versetzten Räumen

können sich je nach Größe der verbleibenden (gemeinsamen) Trennbauteilfläche erhebliche Unterschiede ergeben.

- Bei der horizontalen Übertragung kann als Abschätzung für kleinere Empfangsräume (Raumtiefe etwa 3 m) $D_{n\tilde{T},w} \approx R'_w$ angesetzt werden. Bei größeren Empfangsräumen (Raumtiefe etwa 6 m) kann $D_{n\tilde{T},w} \approx R'_w + 3$ dB abgeschätzt werden.

5. Bemessung des Schallschutzes und der Schalldämmung

5.1 Die Schallschutznorm DIN EN 12354 als Grundlage der Berechnungsverfahren in DIN 4109-2

5.1.1 Einführung

Auch wenn gelegentlich zu hören ist, dass insbesondere für die Berechnungsverfahren auf europäischer Ebene kein Normungsbedarf bestünde, ist hierfür durch die EU-Vereinbarungen ein eindeutiger Normungsauftrag erteilt worden. Dies ist im Sinne eines gemeinsamen Marktes folgerichtig, da Handelshemmnisse nicht nur beim Warenaustausch, sondern auch im Dienstleistungsbereich abgebaut werden sollen. Konsequenterweise sollen deshalb nicht nur die Produkteigenschaften einheitlich gekennzeichnet werden, sondern auch die Berechnungsverfahren über die Grenzen hinweg gemeinsamen Grundsätzen folgen. Für die Prognose des Schallschutzes in Gebäuden wurde das bei CEN zuständige Technische Komitee CEN/TC 126 beauftragt, in sechs Teilen Rechenverfahren für die Prognose des Schallschutzes zu erarbeiten.

- DIN EN ISO 12354-1: Luftschalldämmung zwischen Räumen [3]
- DIN EN ISO 12354-2: Trittschalldämmung zwischen Räumen [46]
- DIN EN ISO 12354-3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm [47]
- DIN EN ISO 12354-4: Schallübertragung von Räumen ins Freie [48]
- DIN EN 12354-5: Installationsgeräusche [49]
- DIN EN 12354-6: Schallabsorption in Räumen [50]

5.1.2 Nationale Umsetzung in der DIN 4109

Bei der Umsetzung im Rahmen der DIN 4109-2 und im Bauteilkatalog DIN 4109-31 bis DIN 4109-36 spielten die ersten beiden Teile der DIN EN ISO 12354 die wichtigste Rolle.

Luftschalldämmung

Insbesondere zum Teil 1 (Luftschalldämmung) wurden für den Massivbaubereich umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die sich mit der Anwendung des Berechnungsverfahrens und der Erarbeitung von Daten für den Bauteilkatalog in DIN 4109-32 beschäftigen. Grundsätzlich wird beim Schallschutznachweis nach DIN 4109-2 auf das so genannte „Vereinfachte Modell“ der DIN EN 12354-1 zurückgegriffen: Die gesamte Berechnung wird nicht frequenzabhängig (wie im „Detaillierten Modell“), sondern mit Einzahlwerten durchgeführt. Bei den genannten Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass für den Massivbau im vereinfachten Modell eine Prognosegenauigkeit wie im Detaillierten Modell erreicht wird.

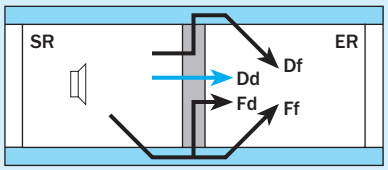
Trittschalldämmung

Auch bei der Umsetzung von Teil 2 (Trittschalldämmung) wird auf das Vereinfachte Modell zurückgegriffen. Dieses basiert auf dem äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,eq,0,w}$ und der bewerteten Trittschallminderung ΔL_w und berücksichtigt aber zusätzlich für die flankierende Trittschallübertragung einen Korrekturwert K, der in Abhängigkeit von der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile ermittelt wird:

$$L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + K \text{ [dB]} \qquad (5.1)$$

In der anstehenden Aktualisierung von DIN 4109-2 wird als Standard-Nachweisverfahren das in DIN EN ISO 12354-2:2017-11 neu aufgenommene Vereinfachte Verfahren für die Trittschalldämmung eingeführt, das auf Einzahlwerten basiert. Die Grundidee entspricht dem Verfahren für die Luftschalldämmung. Neben der direkten Trittschallübertragung über die Decke kann nun auch explizit die flankierende Trittschallübertragung über angrenzende Bauteile berücksichtigt werden. Dabei kommen wie bei der Luftschallübertragung auch hier die Stoßstellendämm-Maße ins Spiel. Neben trittschallmindernden Deckenauflagen können in diesem Verfahren nun auch Unterdecken an der Trenndecke und Vorsatzschalen an den flankierenden Wänden berücksichtigt werden. Ebenso ist neben der vertikalen Übertragung auch die direkte Berechnung der horizontalen und diagonalen Trittschallübertragung möglich. Damit werden die Möglichkeiten des Trittschallnachweises deutlich erweitert.

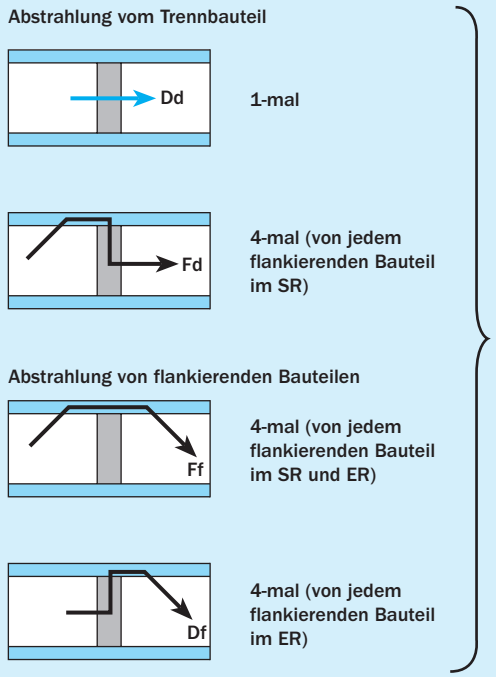
Die für das DIN 4109-Konzept benötigten Inhalte der DIN EN ISO 12354 wurden – konform mit europäischen Normungsgepflogenheiten – für die nationale Anwendung aufbereitet und in die einzelnen Teile der DIN 4109 [6, 27–31, 36] eingearbeitet. Die in DIN 4109-2 enthaltenen Rechenverfahren und die im Bauteilkatalog DIN 4109, Teile 31 bis 36, enthaltenen Bauteildaten entsprechen sinngemäß einem „Nationalen Anwendungsdokument (NA)“, wie es von den Eurocodes bekannt ist.



SR: Senderaum, ER: Empfangsraum

Bezeichnung der Übertragungswege:
D und d: direkte Übertragung über das Trennbauteil
F und f: flankierende Übertragung über die Flankenbauteile

Bild 13 Zu berücksichtigende Schallübertragungswege beim Vereinfachten Modell



SR: Senderaum, ER: Empfangsraum

Bild 14 Direkte und flankierende Übertragungswege zwischen zwei Räumen

$$R'_w = -10 \lg \left[10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^{n} 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{f=1}^{n} 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_{F=1}^{n} 10^{-R_{Fd,w}/10} \right] \text{ [dB]} \qquad (5.2)$$

R'_w	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß
$R_{Dd,w}$	Bewertetes Schalldämm-Maß des Trennbauteils auf dem Übertragungsweg Dd
$R_{Ff,w}$, $R_{Df,w}$ und $R_{Fd,w}$	Bewertete Flankenschalldämm-Maße

Bild 15 Berechnung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_w nach DIN 4109-2

Im Folgenden werden nur noch die in DIN 4109 enthaltenen Angaben behandelt.

5.2 DIN 4109

5.2.1 Normenkonzept der DIN 4109 für die Berechnung des Schallschutzes

Im Einzelnen liegen mit der DIN 4109 seit der Ausgabe von 2016 für die rechnerischen Nachweise folgende Normteile vor (Bild 11):

- DIN 4109-2 Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen [36]
- DIN 4109-31; Schallschutz im Hochbau – Teil 31: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Rahmendokument [27]
- DIN 4109-32; Schallschutz im Hochbau – Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau [6]
- DIN 4109-33; Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau [28]
- DIN 4109-34; Schallschutz im Hochbau – Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen [29], [73]
- DIN 4109-35; Schallschutz im Hochbau – Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden [30], [74]
- DIN 4109-36; Schallschutz im Hochbau – Teil 36: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Gebäudetechnische Anlagen [31]

Die Teile 2 und 31 bis 36 der DIN 4109 liefern somit einen systematischen und vollständigen Ansatz, der weit über die Möglichkeiten der alten DIN 4109:1989 hinausgeht und nicht nur in der Fachöffentlichkeit seit langem anerkannt ist. Sie stellen für die Bemessung (Prognose) des Schallschutzes grundsätzlich den allgemein anerkannten Stand der Technik dar.

5.2.2 Rechenverfahren für die Luftschalldämmung

Die Rechenverfahren in DIN 4109-2 folgen im Wesentlichen den physikalisch nachvollziehbaren Gegebenheiten [3]. Das Grundprinzip ist einfach: Berücksichtigt werden alle Schallübertragungswege, deren einzelne Beiträge zur gesamten Schallübertragung aufsummiert werden. Jeder Weg kann unabhängig von den anderen Wegen behandelt und berechnet werden. Bild 13 und 14 zeigen die zu berücksichtigenden Wege für die Schallübertragung über das Trennbauteil und die flankierenden Bauteile.

Besondere Beachtung wird der flankierenden Übertragung beigemessen. Bild 14

zeigt, dass bei der üblichen Übertragungssituation (ein Trennbauteil, vier flankierende Bauteile) insgesamt dreizehn verschiedene Übertragungswege zu berücksichtigen sind. Davon entfallen zwölf Wege auf die flankierende Übertragung.

Für jeden dieser Übertragungswege kann ein eigenes Schalldämm-Maß ermittelt werden. Die resultierende Schalldämmung R'_w unter Berücksichtigung aller flankierenden Wege ergibt sich dann durch „energetische“ Addition der einzelnen Schalldämm-Maße (Bild 15).

Es ist klar, dass diese Berechnung unter praktischen Bedingungen nicht von Hand, sondern mit Hilfe geeigneter Berechnungsprogramme durchgeführt wird (siehe Abschnitt 5.3). Schon an dieser Stelle zeigt sich, welcher Vorteil sich durch den vorliegenden Berechnungsansatz ergibt: Der Anteil jedes Übertragungsweges an der Gesamt-Schalldämmung kann einzeln betrachtet werden und bezüglich seines Einflusses auf das Endresultat beurteilt werden. Für jeden einzelnen Übertragungsweg können nun außerdem bei Bedarf dessen konstruktive Eigenschaften variiert und die Auswirkungen der Änderungen auf den zu planenden Schallschutz beurteilt werden.

Den physikalischen Gegebenheiten folgend werden nicht nur die Eigenschaften der einzelnen Bauteile, sondern auch die akustischen Eigenschaften von Bauteilverbindungen (Stoßstellen) einbezogen. Die dafür benötigte Größe ist das so genannte Stoßstellendämm-Maß K_{ij}, durch welches die Schallübertragung über die Bauteilverbindung hinweg charakterisiert wird.

5.2.3 Schalldämmung einschaliger Wände nach DIN 4109-2 und DIN 4109-32

5.2.3.1 Von DIN EN 12354-1 zu DIN 4109:2016

Schon bald nachdem sich der Überarbeitungsbedarf der DIN 4109:1989 und die Umsetzung der europäischen Normen des baulichen Schallschutzes mit all ihren Konsequenzen abzeichneten, wurde seitens der Kalksandsteinindustrie ein umfangreiches Programm in die Wege geleitet mit dem Ziel, für das Bauen mit Kalksandsteinen die Weichen für die neuen Vorgehensweisen zu stellen. Insbesondere ging es dabei um die folgenden Aufgaben:

- Verifizierung des Rechenverfahrens nach DIN EN 12354-1 für das Bauen mit Kalksandsteinen
- Bereitstellung abgesicherter Eingangsdaten (Direktschalldämm-Maße und Stoßstellendämm-Maße) für die Berechnung
- Erarbeitung von Planungshilfen im Rahmen des neuen Schallschutzkonzepts von DIN 4109

Entsprechende umfangreiche Untersuchungen wurden an der Hochschule für Technik Stuttgart durchgeführt. Endergebnis dieser Untersuchungen [4] sind abgesicherte Bauteil-Kennwerte für KS-Mauerwerk, die als realistische und verlässliche Beschreibung der Bauteileigenschaften betrachtet werden können und ein Berechnungsverfahren, das für die Anwendung unter den vorliegenden Massivbaubedingungen mit Kalksandsteinen zur bestmöglichen Prognose führt. Der schalltechnische Nachweis für das Bauen mit KS-Mauerwerk kann komplett durch die Angaben im neuen Bauteilkatalog, insbesondere der DIN 4109-32, abgedeckt werden, ohne dass auf Angaben aus Prüfzeugnissen zurückgegriffen werden muss. Für die Durchführung der Berechnungen wurde ein Berechnungsprogramm entwickelt [53] (siehe Abschnitt 5.3).

5.2.3.2 Direktschalldämmung

Allgemeines

Die Direktschalldämmung eines Bauteils ist die maßgebliche Eigenschaft zur Beschreibung seiner schalltechnischen Leistungsfähigkeit (Bild 12). Sie kann entweder direkt aus dem Bauteilkatalog der DIN 4109 (Teile 31 bis 36) oder aus Prüfzeugnissen entnommen werden. Bei Bauteildaten, die nicht aus dem Bauteilkatalog stammen und für bauaufsichtliche Nachweise verwendet werden sollen, ist ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) erforderlich. Zu berücksichtigen ist, dass die in den informativen Anhängen der europäischen Berechnungsnormen genannten Daten nicht als verbindliche Angaben zu betrachten sind. Sie haben vielmehr beispielhaften, unverbindlichen Charakter, so dass je nach Anwendungsbereich vom Nutzer selbst definierte oder auf nationaler Ebene vereinbarte Bauteildaten verwendet werden können. Die in DIN 4109-32 enthaltenen Daten für die Schalldämmung massiver Bauteile wurden im Rahmen umfangreicher Forschungsvorhaben (z.B. [4]) ermittelt. Sie sind im Rahmen der Schallschutznachweise der DIN 4109 verbindlich.

Im Massivbau spielt die Direktschalldämmung einschaliger Bauteile eine besondere Rolle, da sie nicht nur zur Beschreibung der direkten Schallübertragung über ein trennendes Bauteil, sondern auch zur Ermittlung der flankierenden Übertragung (siehe hierzu Abschnitt 5.2.3.4) benötigt wird. Außerdem ist sie Ausgangspunkt für die Ermittlung weiterer relevanter Eigenschaften wie der Schalldämmung von Bauteilen mit Vorsatzkonstruktionen oder entkoppelter Bauteile. Auf solche Aspekte wird nachfolgend eingegangen.

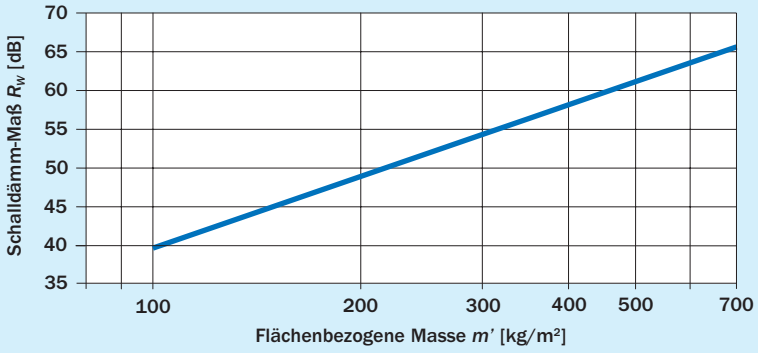


Bild 16 Massekurve für Kalksandstein

Vorsatzkonstruktionen

Häufig werden vor einschaligen Bauteilen Vorsatzkonstruktionen wie z.B. Vorsatzschalen vor einschaligen Wänden, abgehängte Unterdecken unter oder schwimmende Estriche auf massiven Decken angebracht. Solche Vorsatzkonstruktionen verändern die Schalldämmung der einschaligen massiven Grundbauteile. Die Änderungen können je nach akustischer Auslegung in Form von Verbesserungen oder auch Verschlechterungen der Schalldämmung des einschaligen Grundbauteils berücksichtigt werden.

Die Wirkung einer Vorsatzschale wird durch die so genannte Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w beschrieben. Die messtechnische Ermittlung dieser Größe erfolgt nach DIN EN ISO 10140-1/Anhang G [7]. Damit kann die Schalldämmung der Gesamtkonstruktion gemäß DIN 4109-2 aus dem Schalldämm-Maß der massiven Wand und der Verbesserung ΔR_w additiv zusammengesetzt werden.

Für Vorsatzschalen, die sich auf die Direktschalldämmung eines Trennbauteils auswirken, gilt:

$$R_{w,Dd} = R_w + \Delta R_w \text{ [dB]} \qquad (5.3)$$

mit

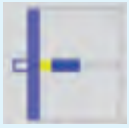
$R_{w,Dd}$ Bewertetes Schalldämm-Maß des Trennbauteils mit Vorsatzkonstruktion
R_w Bewertetes Schalldämm-Maß der Grundkonstruktion
ΔR_w Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes durch die Vorsatzkonstruktion

Die Vorsatzkonstruktionen können sowohl bei trennenden Bauteilen für die Direktschalldämmung als auch bei flankierenden Bauteilen für die Flankendämmung berücksichtigt werden. Wie Vorsatzschalen zur Verbesserung der Flankendämmung eingesetzt werden können, zeigt Gleichung (5.5). Weitere Ausführungen zur Behandlung von Vorsatzkonstruktionen finden sich in Abschnitt 7.4 (WDVS) und Abschnitt 6.1.3.1 (Vorsatzschalen).

Von Laborbedingungen zu Gebäudebedingungen (In-situ-Korrektur)

Mit der so genannten In-situ-Korrektur (in situ =„am Ort“) wird dem physikalischen Phänomen Rechnung getragen, dass die Direktschalldämmung eines massiven trennenden Bauteils nicht nur von den Bauteileigenschaften selbst abhängt, sondern auch von der Einbausituation des Bauteils. Je nach Art der Ankopplung an benachbarte Bauteile, die von starrer Anbindung bis zu völliger Entkopplung (z.B. durch Trennfugen oder elastische Zwischenschichten) reichen kann, wird vom trennenden Bauteil in unterschiedlichem Maße Schallenergie auf die benachbarten Bauteile weitergeleitet. Durch diese Weiterleitung wird die Luftschallabstrahlung des Bauteils verändert, so dass sich auch seine Direktschalldämmung ändert. Sie wird also von der Einbausituation beeinflusst. Dieser Effekt kann bei völliger Entkopplung eines Bauteils von der umgebenden Gebäudestruktur zu einer Verminderung der Direktschalldämmung bis zu etwa 6 dB führen. Diese Abhängigkeit von der Einbausituation wird durch die so genannte In-situ-Korrektur bei der Berechnung der realen Schalldämmung berücksichtigt.

Tafel 13 Stoßstellenarten und Auswirkungen auf die flankierende Übertragung

Stoßstelle	T-Stoß	Kreuzstoß (X-Stoß)	Winkelstoß	Hinweise
Beispiel	Trennwand an Außenwand	Innere Trennwand	Versetzte Grundrisse	
1. Schalltechnisch starrer Anschluss				Stumpfstoß[1)] und verzahnter Stoß sind in der Berechnung akustisch gleichwertig.
2. Flankierendes Bauteil durchgehend, Trennbauteil einseitig abgekoppelt				Erhöhte Übertragung über das flankierende Bauteil und Trennbauteil
3. Trennbauteil durchgehend, flankierendes Bauteil einseitig abgekoppelt				Erheblich verringerte Übertragung über das flankierende Bauteil
4. Trennbauteil durchgehend, flankierendes Bauteil beidseitig abgekoppelt				Keine Übertragung über das flankierende Bauteil und erhöhte Übertragung über das Trennbauteil

[1)] Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten ist immer ein akustisch wirksamer Trennriss (= Entkopplung) entsprechend den Beispielen 2 bis 4 anzunehmen.

Tafel 14 **Bewertete Schalldämm-Maße R_w (ohne Flankenwege) von Kalksandsteinwänden[1] der RDK 2,0[2] entsprechend Massekurve (Bild 16)**

Wanddicke t [cm]	Flächenbezogene Masse m' [kg/m²]	Bewertetes Schalldämm-Maß R_w [dB]
7	153	45,3
10	210	49,6
11,5	238,5	51,3
15	305	54,6
17,5	352,5	56,5
20	400	58,2
24	476	60,5
30	590	63,4

[1] jeweils zzgl. beidseitig 10 mm Putz
[2] Bei anderen RDK oder Putzdicken ergeben sich abweichende flächenbezogene Massen. Bei RDK 2,2 ergeben sich etwa 1,3 dB höhere Schalldämm-Maße als bei RDK 2,0.

Im üblichen Massivbau können die Verhältnisse durch eine typische Einbausituation beschrieben werden, die in DIN 4109-32 bereits in den Schalldämm-Maßen der massiven einschaligen Bauteile enthalten ist. Für solche Bauteile muss für übliche Einbausituationen also keine In-situ-Korrektur mehr durchgeführt werden, da sie in den Massekurven bereits berücksichtigt ist. Das gilt auch für die KS-Massekurve, wie sie in Abschnitt 5.2.3.3 und Bild 16 beschrieben wird.

Entkoppelte Bauteile

Eine Ausnahme von diesem vereinfachten Vorgehen bilden diejenigen Einbausituationen, bei denen massive einschalige Bauteile an mehr als einer Kante von den umgebenden Bauteilen entkoppelt sind. Eine Entkopplung liegt z.B. bei Trennfugen vor oder wenn (leichte) massive Bauteile durch Entkopplungsstreifen von den umliegenden Bauteilen entkoppelt werden. Unterschiedliche Fälle von Stoßstellenausbildungen mit Trennfugen/Entkopplungen werden in Tafel 13 dargestellt. Als akustisch entkoppelt ist eine Bauteilkante nur dann zu betrachten, wenn das trennende Bauteil im Bereich der entkoppelten flankierenden Bauteile endet. Durchlaufende Trennbauteile dürfen wie starr angebundene Bauteile behandelt werden. Wenn mindestens zwei solcher entkoppelter Kanten vorliegen, ist das Schalldämm-Maß des trennenden Bauteils nach unten zu korrigieren. Die dafür im Rahmen der DIN 4109-32 vorgesehene Korrektur kann je nach flächenbezogener Masse der entkoppelten Bauteile und der Anzahl der entkoppelten Kanten bis zu 6 dB betragen. Im KS-Schallschutzrechner (Abschnitt 5.3) wird diese Korrektur bereits berücksichtigt.

Eine verminderte Energieweiterleitung tritt auch an Stoßstellen mit Bauteilen in Leicht- oder Holzbauweise auf, so dass die dortigen Bauteilränder ebenfalls wie entkoppelte Kanten zu behandeln sind. Das kann z.B. im Dachgeschoss zu einer Verminderung der Schalldämmung massiver Trennbauteile führen.

5.2.3.3 Massekurve für KS-Mauerwerk

Für den Massivbau spielt der Zusammenhang zwischen der flächenbezogenen Masse von einschaligen biegesteifen Decken und Wänden und der Schalldämmung eine zentrale Rolle. Dieser Zusammenhang kann mathematisch durch eine „Massekurve“ beschrieben werden. Da im Gegensatz zur alten DIN 4109 für die Berechnungen nach DIN EN ISO 12354 auch in DIN 4109-2 für die Schalldämmung der Bauteile nur noch R_w-Werte zu verwenden sind, wurde eine neue Massekurve auf der Basis von R_w-Werten benötigt. Aufgrund umfangreicher Prüfstandsmessungen wurde eine Datenbasis gewonnen (Tafel 14), aus der eine neue, abgesicherte Massekurve für KS-Mauerwerk generiert werden konnte. Die Massekurve in Bild 16 wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$R_w = 30{,}9 \lg\left(\frac{m'_{ges}}{m'_0}\right) - 22{,}2 \text{ [dB]} \qquad (5.4)$$

mit der Bezugsgröße $m'_0 = 1$ kg/m²

INFO

Die R_w-Werte dieser Massekurve können nicht mit den R'_w-Werten der bisherigen Massetabelle aus Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 verglichen werden, da es sich um zwei grundsätzlich unterschiedliche Größen handelt.

Der in Gleichung (5.4) dargestellte Zusammenhang berücksichtigt bereits eine typische Einbausituation, wie sie im üblichen Massivbau anzusetzen ist (siehe Abschnitt 5.2.3.2, In-situ-Korrektur).

5.2.3.4 Flankenschalldämmung

Durch das Rechenverfahren der DIN 4109-2 rückt die flankierende Schallübertragung in den Mittelpunkt des Interesses. Dies wird allein schon dadurch deutlich, dass von den dreizehn im Regelfall zu berücksichtigenden Übertragungswegen zwölf die flankierende Übertragung betreffen.

Insgesamt lässt sich für jeden der zwölf Flankenwege das bewertete Flankenschalldämm-Maß $R_{ij,w}$ für die Übertragung von einem Bauteil (i) auf ein Bauteil (j) wie folgt beschreiben:

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \text{ [dB]} \qquad (5.5)$$

mit

$R_{i,w}$ bzw. $R_{j,w}$	Bewertetes Schalldämm-Maß des flankierenden Bauteils auf der Sende- bzw. Empfangsseite
$\Delta R_{ij,w}$	Verbesserung der Schalldämmung durch Vorsatzschalen auf den Bauteilen des Flankenweges auf der Sende- und/oder Empfangsseite
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß
S_s	Trennwandfläche
l_f	Gemeinsame Kantenlänge von Trenn- und Flankenbauteil
$l_0 = 1\ m$	Bezugslänge

Man erkennt, dass auch bei der Flankendämmung die Direktschalldämmung der beteiligten Bauteile eine wichtige Rolle spielt. Dazu kommt die flankierende Schallübertragung

über die Knotenpunkte von Bauteilen hinweg („Stoßstellen“), die durch das so genannte Stoßstellendämm-Maß K_{ij} charakterisiert wird. K_{ij} wird damit zu einer zentralen Größe für die Berechnung der Schallübertragung im Gebäude.

Die zusätzliche Berücksichtigung der Stoßstelleneigenschaften sorgt für eine exaktere Prognose der bauakustischen Eigenschaften eines Gebäudes und liefert der bauakustischen Planung neue Ansätze zur Optimierung des baulichen Schallschutzes.

Die Gleichung (5.5) ist insofern wesentlich, als sie über die reine Berechnung hinaus verdeutlicht, was getan werden muss, um zu einer möglichst hohen Flankenschalldämmung (und damit zu einer geringen flankierenden Übertragung) zu kommen:

- Die (Direkt-)Schalldämmung der flankierenden Wände (R_i und R_j) sollte möglichst hoch sein, da sie unmittelbar in die Flankendämmung eingeht.
- Das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} sollte ebenfalls möglichst hoch sein.
- Vorsatzkonstruktionen (z.B. Vorsatzschalen oder schwimmende Estriche) entlang des Flankenweges erhöhen die Flankendämmung um $\Delta R_{ij,w}$ (siehe hierzu auch Gleichung (5.3)).

Gleichung (5.5) zeigt aber auch, dass eine kleine Fläche S_s des trennenden Bauteils die Flankendämmung mindert und damit den Anteil der flankierenden Übertragung an der Gesamtdämmung erhöht. Das kann sich bei der Planung der Schalldämmung in Übertragungssituationen mit kleinen Trennflächen als problematisch herausstellen.

DIN 4109-1 schreibt deshalb in den Fällen, bei denen die gemeinsame Trennfläche < 10 m² ist oder es keine gemeinsame Trennfläche (z.B. diagonale Übertragungssituationen) gibt, vor, dass die Anforderung an die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$ (siehe Abschnitt 2.2) gestellt wird. Es gelten dafür die Anforderungswerte für R'_w. Bei den rechnerischen Nachweisen in DIN 4109-2 und den messtechnischen Nachweisen in Gebäuden nach DIN 4109-4 wird diese Regelung entsprechend umgesetzt.

INFO

Im Falle gemeinsamer Trennflächen < 10 m² wird die Anforderung in DIN 4109-1:2016-07 an $D_{n,w}$ gestellt, was dem Ansatz einer Mindesttrennbaufläche von 10 m² entspricht.

5.2.4 Schalldämmung zweischaliger Haustrennwände nach DIN 4109-2 und DIN 4109-32

5.2.4.1 Akustisches Verhalten zweischaliger Haustrennwände

Akustisch kann die zweischalige Haustrennwand im einfachsten Fall wie ein Feder-Masse-System betrachtet werden, bei dem die Massen m'_1 und m'_2 durch die beiden Wandschalen und die Feder s' durch die Steifigkeit des Schalenzwischenraums (Dämmschicht) gebildet wird (Bild 17).

Die Resonanzfrequenz f_0 [Hz] dieses Schwingungssystems kann berechnet werden durch

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ [Hz]} \qquad (5.6)$$

mit

m'_1 und m'_2 Flächenbezogene Massen der Wandschalen in kg/m²

s' Dynamische Steifigkeit der Dämmschicht im Schalenzwischenraum in MN/m³

Der prinzipielle Verlauf der Schalldämmung der zweischaligen Konstruktion mit drei charakteristischen Frequenzbereichen wird in Bild 18 dargestellt und mit der Schalldämmung einer gleichschweren einschaligen Wand verglichen.

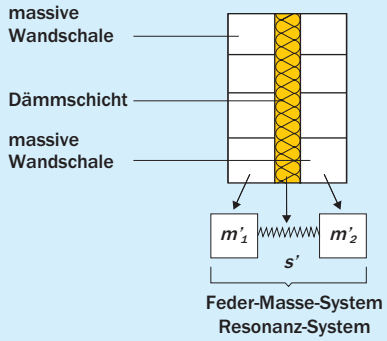
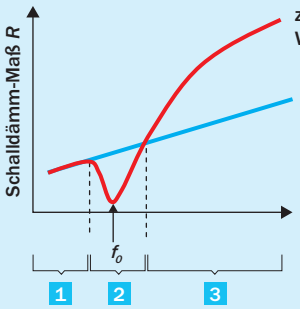


Bild 17 Zweischalige Wand als Feder-Masse-System



1 Der Bereich unterhalb der Resonanzfrequenz, bei dem sich die zweischalige Konstruktion so verhält wie die gleichschwere einschalige. Die Zweischaligkeit bringt hier also keine Vorteile.

2 Der Frequenzbereich um die Resonanzfrequenz f_0 herum: Hier tritt sogar eine deutliche Verschlechterung gegenüber der Schalldämmung der gleichschweren einschaligen Wand auf.

3 Der Frequenzbereich oberhalb der Resonanzfrequenz: Hier wird mit zunehmender Frequenz die Schalldämmung immer besser und erreicht Werte weit über denen der gleich schweren einschaligen Wand.

Bild 18 Schalldämmung einer zweischaligen und einer gleichschweren einschaligen Wand

Für die Dimensionierung der zweischaligen Wand heißt das demnach: die Resonanzfrequenz f_0 ist so tief wie möglich zu legen, damit der Einbruch der Schalldämmung im interessierenden bauakustischen Frequenzbereich keinen Schaden anrichtet und damit gleichzeitig ein möglichst großer Teil des Frequenzbereichs von der Verbesserung durch die Zweischaligkeit profitiert. Eine übliche Dimensionierung sieht vor, dass $f_0 \leq 80$ Hz gelegt wird.

INFO

Eine hohe flächenbezogene Masse der beiden Wandschalen und eine weiche Zwischenschicht führen zu einer tiefen Lage der Resonanzfrequenz f_0 und somit zu einem hohen Schalldämm-Maß einer zweischaligen Haustrennwand.

Durch die zweischalige Ausführung von Haustrennwänden kann gegenüber gleichschweren einschaligen Wänden eine wesentlich höhere Schalldämmung erreicht werden. Wichtig ist dabei die schalltechnisch richtige Ausführung der massiven zweischaligen Konstruktion. DIN 4109-32 enthält dafür detaillierte Vorgaben, die schon in Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 enthalten waren und mit denen eine fehlerfreie Ausführung und die Einhaltung der Anforderungen gewährleistet werden soll.

Neben den bisher genannten Einflussgrößen, die sich aus den grundsätzlichen physikalischen Betrachtungen für die zweischalige Konstruktion ergeben, spielen für das praktische Verhalten die konstruktiven Vorgaben des Gebäudes eine wesentliche Rolle. Bild 19 zeigt, dass die Schallübertragung über die Wand allein nur in denjenigen Stockwerken wirklich zum Tragen kommt, in denen keine zusätzliche flankierende Übertragung erfolgt. Im Dachgeschoss muss in diesem Zusammenhang die Übertragung über das Dach und im Fundamentbereich die Übertragung über eine gemeinsame Bodenplatte oder ein gemeinsames Fundament zusätzlich berücksichtigt werden (siehe hierzu die Ausführungen zur Berechnung der Schalldämmung in Abschnitt 5.2.4.3). Oft spielen diese Flankenwege sogar die Hauptrolle und vermindern die Schalldämmung der zweischaligen Konstruktion in den betroffenen Stockwerken erheblich.

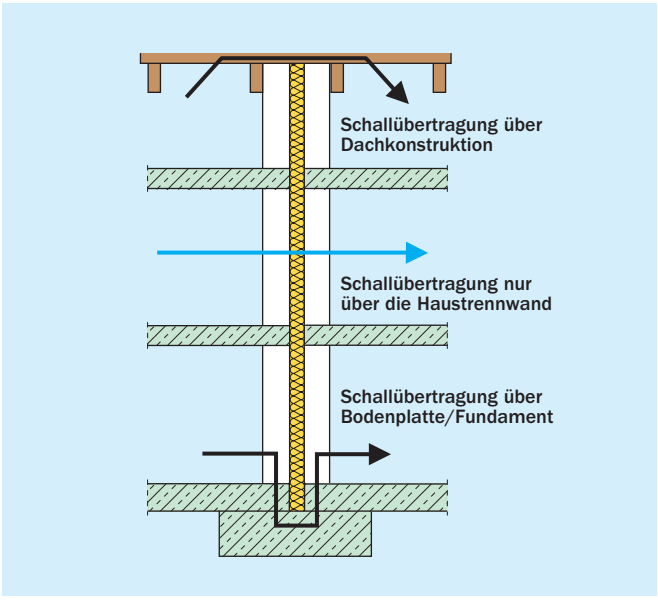


Bild 19 Schallübertragungswege zwischen Doppel- und Reihenhäusern mit zweischaliger Haustrennwand

5.2.4.2 Geringere Schalldämmung bei unvollständiger Trennung

Im untersten Geschoss wird eine vollständige Trennung der Schalen aus baupraktischen Gründen oft nicht ausgeführt. Durchgehende Bodenplatten, Fundamente oder Außenwände bewirken eine Kopplung der Schalen und vermindern dadurch die bei vollständiger Trennung erreichbare Schalldämmung. Der ungünstigste Fall für die Schalldämmung einer durch Schalen- und Fugenausbildung festgelegten Haustrennwandkonstruktion ergibt sich, wenn der Keller als so genannte „Weiße Wanne“ ausgeführt wird, d.h. Bodenplatte und Kelleraußenwände nicht getrennt sind. In diesem Fall ist sogar die Schalldämmung im Erdgeschoss vermindert.

INFO

In den oberen Geschossen hat die Fundamentausbildung nur einen geringen Einfluss auf das Schalldämm-Maß. Für die Schallübertragung im untersten Geschoss ist die Ausbildung des Fundaments jedoch von entscheidender Bedeutung.

Im Wesentlichen sind die in Tafel 15 dargestellten Fälle zu unterscheiden:

Fall 1 Durchlaufende Bodenplatte
Fall 2 Getrennte Bodenplatten, gemeinsames Fundament
Fall 3 Getrennte Bodenplatten, getrennte Fundamente
Fall 4 Vollständige Trennung

Unvollständige Trennung liegt dabei für die Fälle 1 bis 3 vor.

5.2.4.3 Prognose des Schalldämm-Maßes zweischaliger Haustrennwände in DIN 4109-2

Zur vereinfachten Prognose von bewerteten Schalldämm-Maßen zweischaliger massiver Haustrennwände wird in DIN 4109-2 statt eines pauschalen Zuschlags von 12 dB (wie zuvor in Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989) ein abgestufter Zuschlag (Zweischaligkeitszuschlag $R_{w,Tr}$) vergeben, der in 3-dB-Stufen die unterschiedlichen Kopplungsbedingungen im Fundamentbereich bei unvollständiger Trennung und unterschiedliche Raumsituationen berücksichtigt. Die berücksichtigten Situationen werden zusammen mit den dafür geltenden Zweischaligkeitszuschlägen in Tafel 15 dargestellt.

Für vollständige Trennung der Schalen (Fall 4) entspricht das Verfahren mit einem Zuschlag von 12 dB dem früheren Vorgehen in Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989. Für nicht vollständige Trennung der Schalen im untersten Geschoss ergeben sich je nach vorliegender Situation Zuschläge von 3, 6 oder 9 dB. Der Ansatz zu diesem Verfahren stützt sich auf einen Vorschlag in [54] und Untersuchungen in [55].

Dieser Dimensionierung liegt ein Schalenabstand von mindestens 30 mm zugrunde. Falls der Schalenabstand mindestens 50 mm beträgt und der Fugenhohlraum mit Mineralwolle-Dämm-

platten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10 ausgefüllt wird, können die Zuschlagswerte $\Delta R_{w,Tr}$ in denjenigen Situationen um 2 dB erhöht werden, in denen die Schallübertragung über Fundament und Bodenplatte keine signifikante Rolle spielt.

In DIN 4109-32 wird darauf hingewiesen, dass bei Fugenhohlräumen größer 30 mm eine Dämmstoffdicke von 30 mm ausreichend ist. Ein ungedämmter Fugenhohlraum ist nicht zulässig.

Eine zusätzliche Erweiterung des vorherigen Nachweisverfahrens berücksichtigt den Einfluss flankierender Decken und Wände. Das prognostizierte Schalldämm-Maß ergibt sich damit nach folgender Formel:

$$R'_{w,2} = R'_{w,1} + \Delta R_{w,Tr} - K \text{ [dB]} \quad (5.7)$$

mit

$R'_{w,2}$ Bewertetes Schalldämm-Maß der zweischaligen Haustrennwand

$R'_{w,1}$ Schalldämm-Maß einer gleichschweren einschaligen Wand

$\Delta R_{w,Tr}$ Zweischaligkeitszuschlag in Abhängigkeit von der Kopplung im Fundamentbereich, s. Tafel 15

K Korrekturwert zur Berücksichtigung der Übertragung über flankierende Decken und Wände

$R'_{w,1}$ kann aus der flächenbezogenen Masse m' der gleichschweren einschaligen Wand ermittelt werden:

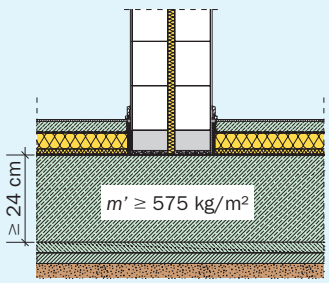
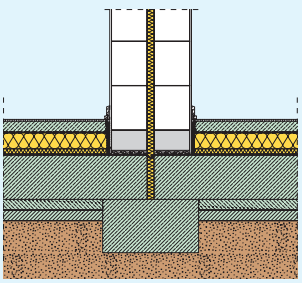
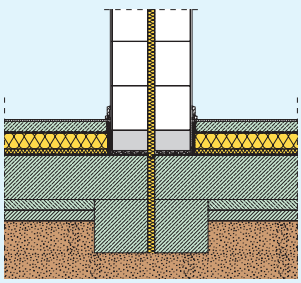
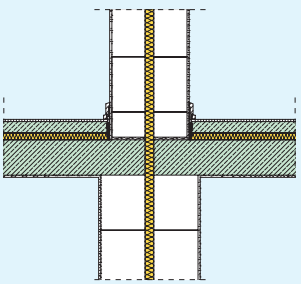
$$R'_{w,1} = 28 \lg(m') - 18 \text{ dB} \quad (5.8)$$

Da der Korrekturwert K die Schallübertragung flankierender Wände und Decken nur in den Fällen berücksichtigt, in denen die Übertragung im Fundamentbereich vernachlässigt werden kann, muss er nur dort angesetzt werden, wo auch der volle Zweischaligkeitszuschlag von 12 dB gilt. Das ist der Fall bei den Räumen, die nicht mit der Bodenplatte in Verbindung stehen, sich also mindestens eine Etage über dem Fundamentbereich befinden.

Der Korrekturwert wird aus der mittleren flächenbezogenen Masse der auf die Haustrennwand stoßenden massiven flankierenden Bauteile und der flächenbezogenen Masse einer Schale der Haustrennwand berechnet. Er kann bis zu 4 dB betragen und ist umso höher, je leichter die massiven Flankenbauteile gegenüber der Haustrennwand werden. Zu leichte massive Flankenbauteile sind also zu vermeiden. Im KS-Schallschutzrechner wird diese Korrektur berücksichtigt. Bei üblichen KS-Konstruktionen kommt die Korrektur der Flankenübertragung nicht zum Tragen.

Mit dem Korrekturwert wird nur der Einfluss massiver flankierender Bauteile erfasst. Eine mögliche Flankenübertragung über leichte Dachkonstruktionen kann damit nicht berücksichtigt werden. Die mit Gleichung (5.7) berechneten Werte werden in der obersten Etage nur erreicht, wenn die flankierende Übertragung über das Dach keine Rolle spielt. Dafür ist eine ausreichende akustische Trennung der Dachkonstruktion im Bereich der Haustrennwand erforderlich (siehe hierzu Abschnitt 6.2.5 und Bild 19). Die Dachkonstruktion sollte so ausgelegt werden, dass für ihre Normflankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,w} > R'_{w,} + 5$ dB gilt. Entsprechende Angaben für flankierende Dachkonstruktionen sind in DIN 4109-33 zu finden.

Tafel 15 **Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$ für zweischalige Haustrennwände in Abhängigkeit von der Fundamentausbildung und der Raumsituation (flankierende Bauteile mit mittlerer flächenbezogener Masse $m'_{t,m}$ = 300 kg/m²)**

Fall 1: gemeinsame Bodenplatte	Fall 2: getrennte Bodenplatten, gemeinsames Fundament	Fall 3: getrennte Bodenplatten, getrennte Fundamente	Fall 4: durchgehende Trennfuge bis zum Fundament
Räume direkt über der Bodenplatte	Räume direkt über den Bodenplatten	Räume direkt über den Bodenplatten	Räume mindestens 1 Etage über dem Fundament
$\Delta R_{w,Tr}$ = + 6 dB	$\Delta R_{w,Tr}$ = + 6 dB	$\Delta R_{w,Tr}$ = + 9 dB [1)]	$\Delta R_{w,Tr}$ = + 12 dB [1)]
$\Delta R_{w,Tr}$ = + 3 dB Bei durchgehenden Außenwänden (m' ≥ 575 kg/m²) im Keller	Es konnten deutlich höhere Werte gemessen werden [55], jedoch wurde wegen der noch geringen Datenmenge eine Erhöhung des Zuschlags um 3 dB noch nicht vorgenommen.		$\Delta R_{w,Tr}$ = + 9 dB [1)] Bei durchgehenden Außenwänden (m' ≥ 575 kg/m²) im Keller
			

[1)] Bei einem Schalenabstand ≥ 50 mm und Ausfüllung des Schalenzwischenraums mit Mineralwolle-Dämmplatten (Typ WTH gemäß 4108-10) darf der Zuschlagswert $\Delta R_{w,Tr}$ um 2 dB erhöht werden.

5.3 KS-Schallschutzrechner

Angesichts des Umfangs der Berechnungsverfahren für Schallschutznachweise nach DIN 4109-2 ist es naheliegend, dafür ein geeignetes Berechnungsprogramm einzusetzen. Auf der Grundlage der Vorgaben der DIN 4109-2 wurde deshalb für Kalksandstein eine eigene Software – der KS-Schallschutzrechner [53] – entwickelt.

Der KS-Schallschutzrechner ermöglicht neben der Berechnung der Luftschalldämmung in Mehrfamilienhäusern (in horizontaler, vertikaler und diagonaler Richtung) die Berechnung des Trittschallschutzes. Darüber hinaus kann die Luftschalldämmung zweischaliger Haustrennwände sowie der Schallschutz gegenüber Außenlärm berechnet werden. Alle Berechnungen erfolgen mit Einzahlwerten, so wie es im Rahmen der DIN 4109-2 vorgesehen ist. Die Eingangsdaten stammen aus dem Bauteilkatalog der DIN 4109 (Teile 31 bis 36). Der Anwendungsschwerpunkt liegt im Massivbaubereich. Mit Hilfe des KS-Schallschutzrechners können aber auch mehrschalige Leichtbauteile, als Trennbauteil oder als Flanke, in die Berechnung einbezogen werden.

Damit sind Schallschutznachweise nach DIN 4109 für die wesentlichen dort definierten Anforderungskenngrößen sowie die relevanten Gebäudetypen möglich.

INFO

Durch die einfache Handhabung, die exakte Ermittlung der Flankendämmung sowie schnelle Variantenvergleiche mit dem KS-Schallschutzrechner (www.ks-schallschutzrechner.de) kann ein schneller, sicherer Nachweis mit einer effektiven Schwachstellenanalyse betrieben werden.

Der KS-Schallschutzrechner beinhaltet ein umfangreiches Programmhandbuch (Manual) in dem alle Grundlagen der Rechenmodule sowie deren Handhabung und Bedienung ausführlich erläutert sind.

Beim Nachweis des Luftschallschutzes einschaliger Bauteile ist es von besonderer Bedeutung, neben der Schallübertragung in horizontaler Richtung (Wände) immer auch die vertikale Übertragungsrichtung (Geschossdecken) zu berücksichtigen, da diese oft bemessungsrelevant im Hinblick auf die Auslegung der flankierenden Bauteile ist.

Ein Dimensionierungsbeispiel mit dem KS-Schallschutzrechner für den Fall der horizontalen Schallübertragung zeigt Tafel 16. Variiert werden dabei die Eigenschaften des Trennbauteils

Tafel 16 Dimensionierung mit dem KS-Schallschutzrechner, Variationsrechnung horizontale Übertragung

Horizontale Übertragung über Wohnungstrennwand 2,5 m · 5 m = 12,5 m², Werte mit Sicherheitsbeiwert von 2 dB									
Wohnungstrennwand[1]		Boden[2] Decke	Außenwand[1]			Innenwand[1]			R'_w
d [cm]	RDK	d [cm]	d [cm]	RDK	Kopplung	d [cm]	RDK	Kopplung	[dB]
24	1,8	18	17,5	1,8	starr	11,5	1,8	starr	**54,0**
24	2,0								**55,1**
24	2,2								**56,1**
30	2,0								**57,3**
24	2,0	24	20	2,0	starr	20	2,0	starr	**56,0**
30	2,0								**58,3**
24	2,0		17,5	1,8	entk.[3]	11,5	1,8		**56,1**
24	2,2								**57,1**
30	2,0					24,0			**59,0**

[1] Inkl. 10 mm Putz
[2] Boden mit 45 mm schwimmendem Estrich
[3] Wohnungstrennwand läuft bis Außenkante durch und die Außenwand ist planmäßig entkoppelt.

Tafel 17 Dimensionierung mit dem KS-Schallschutzrechner Online, Variationsrechnung vertikale Übertragung in einem Eckraum (4 x 5 m = 20,0 m²)

Vertikale Übertragung in einem Eckraum 4 m · 5 m = 20 m², Werte mit Sicherheitsbeiwert von 2 dB							
Geschossdecke[1]	Außenwand[2]		Innenwand[2]		Wohnungstrennwand[2]		R'_w
d [cm]	d [cm]	RDK	d [cm]	RDK	d [cm]	RDK	[dB]
18	17,5	1,8	11,5	1,8	24,0	1,8	56,8
18	17,5	2,0	11,5	2,0	24,0	2,0	57,3
24	17,5	2,0	11,5	2,0	24,0	2,0	59,4
24	20,0	2,0	20,0	2,0	24,0	2,0	60,2

[1] Boden mit 45 mm schwimmendem Estrich [2] Inkl. 10 mm Putz

und der flankierenden Bauteile. Außerdem wird die Bauteilverbindung an der Außenwand alternativ starr oder akustisch entkoppelt betrachtet. Das resultierende Bau-Schalldämm-Maß R'_w unterscheidet sich bei den einzelnen Varianten um bis zu 5 dB. Bei den angegebenen R'_w-Werten wurde zur Berücksichtigung der Unsicherheiten vom Berechnungsergebnis ein Abschlag von 2 dB vorgenommen. Dies entspricht dem für die DIN 4109 neu eingeführten Konzept zur Berücksichtigung von Unsicherheiten im Prognoseverfahren (siehe Abschnitt 4.1.3.6) und dem dort vorgesehenen pauschalen Sicherheitsbeiwert. Ein zu Tafel 16 analoges Dimensionierungsbeispiel für die Luftschalldämmung in vertikaler Richtung zeigt Tafel 17.

Anhand solcher Berechnungsvarianten lässt sich schnell erkennen, was mit einer bestimmten Auslegung erreicht werden kann und wie eine sinnvolle Schallschutzplanung aussehen muss, um ein gefordertes Schallschutzniveau zu erreichen. Durch die Erweiterung des KS-Schallschutzrechners um eine Funktion zum Variantenvergleich kann die Variante identifiziert werden, die im jeweiligen Fall das Optimum darstellt.

Zusätzlich kann der Trittschallschutz bereits detailliert entsprechend den Vorgaben in DIN EN ISO 12354-2 und der geplanten Überarbeitung in DIN 4109-2 (siehe Abschnitt 4.1.3.1) für die einzelnen flankierenden Übertragungswege berechnet werden. Mit dem KS-Schallschutzrechner kann der bauordnungsrechtlich geforderte Nachweis nach DIN 4109 erstellt werden. Aber auch eine detaillierte Planung eines darüber hinaus gehenden erhöhten Schallschutzes ist einfach und intuitiv möglich. Der Vergleich verschiedener Wanddicken, Rohdichteklassen oder Anschlusssituationen ermöglicht eine zielgenaue Prognose und gezielte und wirtschaftliche Optimierung des Schallschutzes.

INFO

Mit dem KS-Schallschutzrechner können folgende Berechnungen durchführen werden:

- **Schalldämmung R'_w einschaliger massiver Wände und Decken zwischen zwei Räumen, horizontal, vertikal und diagonal,**
- **Schallschutz $D_{nT,w}$ zwischen zwei Räumen horizontal, vertikal und diagonal,**
- **Bauteile auch mit Vorsatzschalen oder schwimmenden Estrichen und abgehängten Decken,**
- **frei wählbare Stoßstellenausbildungen bzw. Kopplungen zu Flankenbauteilen,**
- **Schalldämmung bzw. Schallschutz zweischaliger Haustrennwände,**
- **Trittschalldämmung $L'_{n,w}$ bzw. Trittschallschutz $L_{nT,w}$ für Decken,**
- **Schallschutz gegen Außenlärm,**
- **Schallschutz bei Aufzugsanlagen.**

Er ermöglicht die

- **Eingabe mehrschaliger Bauteile (Leichtbau), Berücksichtigung von Vorsatzschalen**
- **Berücksichtigung von Spektrum-Anpassungswerten C oder wahlweise C_{tr}.**

6. Hinweise zur Planung und Ausführung

Ein guter Schallschutz muss planerisch und konstruktiv richtig ausgeführt werden.

Die Hinweise dieses Abschnitts erläutern, welche schalltechnischen Fragestellungen bei Wänden in unterschiedlichen Funktionen (Wohnungstrennwand, Installationswand, Schachtwand von Aufzügen, Außenwand, Haustrennwand) zu lösen sind, wie die flankierende Übertragung beherrscht wird, wie lästige Installationsgeräusche vermieden werden und wie der Schallschutz im eigenen Wohnbereich gestaltet werden kann.

6.1 Einschalige Wände

6.1.1 Einschalige Wohnungstrennwände

Beim Schallschutz zwischen Nachbarräumen steht die Wohnungstrennwand im Mittelpunkt des Interesses. Durch die Vorgehensweise der Berechnungsverfahren in DIN 4109-2 wird nun klar erkennbar, an welcher Stelle deren Bauteileigenschaften und an welcher Stelle die Gebäudeeigenschaften für den resultierenden Schallschutz im Gebäude verantwortlich sind. Eine saubere Trennung der beiden Bereiche gemäß den Ausführungen in Abschnitt 2.2 sorgt für Klarheit bei der schalltechnischen Planung.

6.1.1.1 Schalltechnisches Gesamtkonzept

Schallschutz ist eine Gebäudeeigenschaft. Die Bauteileigenschaften der Trennwand liefern für das resultierende Ergebnis einen wesentlichen, aber nicht den einzigen Beitrag. Beispielhaft zeigt Tafel 16, wie die Direktschalldämmung R_w verschiedener Wohnungstrennwände durch den Einfluss der flankierenden Übertragung gemindert wird und sich im Endergebnis eine niedrigere resultierende Schalldämmung R'_w im Gebäude ergibt. Das erreichte Ergebnis hängt maßgeblich von der Gestaltung der Flankenbauteile ab.

INFO

Die Wohnungstrennwand muss in ein schalltechnisches Gesamtkonzept eingebunden werden und kann nicht isoliert betrachtet werden.

Der Einfluss der Flankenübertragung kann mit Hilfe der erläuterten Rechenverfahren detailliert beschrieben werden. Die Einbindung der Trennwand in das bauakustische Gesamtkonzept lässt sich leicht erkennen, wenn unterschiedliche Varianten für Trennwand und Flankenbauteile durchgespielt werden. Hier ist die Dimensionierung mit dem KS-Schallschutzrechner hilfreich. Ein Beispiel dafür zeigt Tafel 16.

Weitere Beispiele für realisierbaren Schallschutz mit KS-Wänden zeigt Bild 20. In Abhängigkeit von der Wanddicke und der Rohdichteklasse wird für verschiedene Kalksandstein-Konstruktionen der Einsatzbereich anhand des berechneten Schallschutzes aufgezeigt. Für die Beispielrechnung (Bild 20) wurden folgende Bedingungen gewählt:

- Trennwand variabel
- zwei nebeneinander liegende, nicht versetzte Räume
- Innenwand KS 11,5 cm RDK 2,0
- Außenwand KS 17,5 cm RDK 2,0
- Boden und Decke Normalbeton 24 cm
- Flankenanschlüsse alle starr

Bei der angenommen Raumtiefe (senkrecht zur Trennwand) von 3 m ergeben sich in diesem Fall für R'_w und $D_{nT,w}$ dieselben Zahlenwerte.

6.1.1.2 Hinweise zur flankierenden Schallübertragung

Die Anforderungen an die Schalldämmung der Flankenwege müssen umso höher sein, je höher das gewählte Schallschutzniveau ist. Die beste Direktschalldämmung einer Wohnungstrennwand nützt nichts, wenn die flankierenden Bauteile die Gesamtdämmung bestimmen.

INFO

Erhöhter Schallschutz erfordert eine konsequente Berücksichtigung der Flankendämmung.

Zwei Einflussgrößen müssen nach Gleichung (5.5) schalltechnisch berücksichtigt werden: die Direktschalldämmung der beteiligten Bauteile und die Stoßstellendämmung.

Die grundsätzliche Forderung lässt sich aus den dargestellten Verhältnissen ableiten:

- Die flankierenden Bauteile sollen eine hohe Direktschalldämmung aufweisen. Im Massivbau wird eine hohe Direktschalldämmung durch eine große flächenbezogene Masse erreicht. Vorteilhaft sind dabei hohe Rohdichten, um die Wanddicken trotz großer flächenbezogener Massen so klein wie möglich zu halten. Diese Aussage gilt gleichermaßen für Innenwände wie für Außenwände.
- Das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} soll möglichst groß werden. Am Knotenpunkt mit einem Flankenbauteil kann das Stoßstellendämm-Maß auf dem Weg Ff erhöht werden, wenn das Flankenbauteil leichter wird. Gleichzeitig sinkt die Direktschalldämmung dieser Bauteile. Beide Effekte kompensieren sich jedoch nicht. Der Einfluss der Direktschalldämmung überwiegt.

6.1.1.3 Stoßstellendämm-Maß und Direktschalldämmung von Flankenbauteilen

Das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} ist unter baupraktischen Bedingungen keine unabhängige Größe, sondern wird durch die Wahl der an der Stoßstelle beteiligten Bauteile festgelegt. Vorausgesetzt wird dabei, dass es sich um eine kraftschlüssige (schalltechnisch biegesteife) Verbindung zwischen den Bauteilen handelt. Das Stoßstellendämm-Maß hängt dann vom Verhältnis der flächenbezogenen Massen der beteiligten Bauteile ab.

Für das Beispiel Wohnungstrennwand gilt: Der Weg über die flankierende Innen- oder Außenwand in Bild 13 (Weg Ff) erreicht ein umso höheres Stoßstellendämm-Maß K_{ij}, je leichter das flankierende Bauteil im Verhältnis zur Wohnungstrennwand wird. Es wäre aber konstruktiv die falsche Lösung, aus diesem Grund nun die Flankenbauteile möglichst leicht machen zu wollen.

Die Summe aus den Direktschalldämm-Maßen der beteiligten Bauteile und dem Stoßstellendämm-Maß bestimmt die resultierende Flankendämmung. Es ist bei Variationsberechnungen mit dem KS-Schallschutzrechner sofort erkennbar, dass mit leichteren Flankenbauteilen zwar das Stoßstellendämm-Maß erhöht werden kann, dass aber gleichzeitig (Massegesetz!) die Direktschalldämmung dieser Bauteile sinkt. Berechnungen und die praktische Erfahrung zeigen, dass sich diese beiden gegenläufigen Effekte nicht kompensieren.

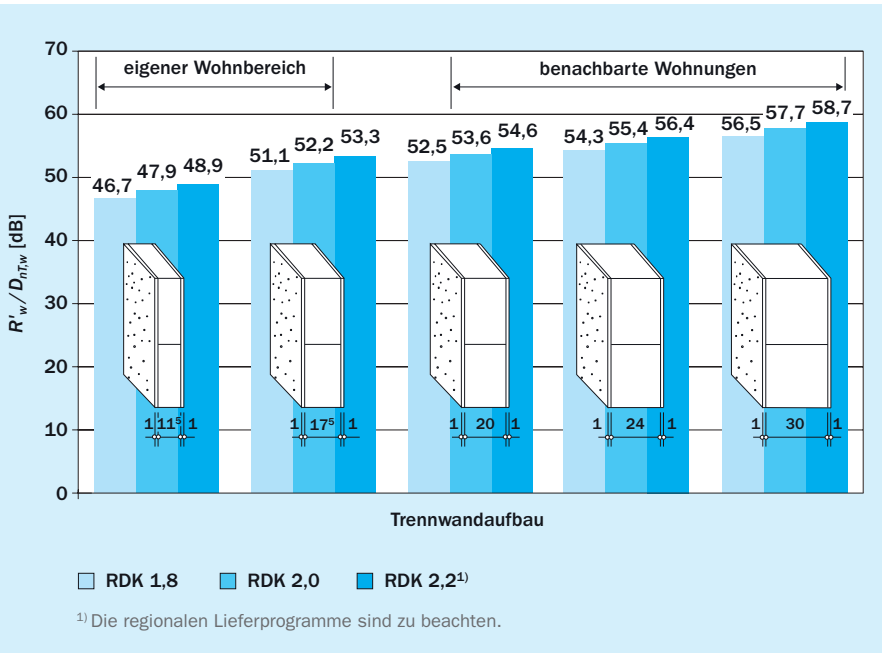


Bild 20 Beispiele für Schalldämm-Maße in Abhängigkeit von Wanddicke und Wandrohdichte

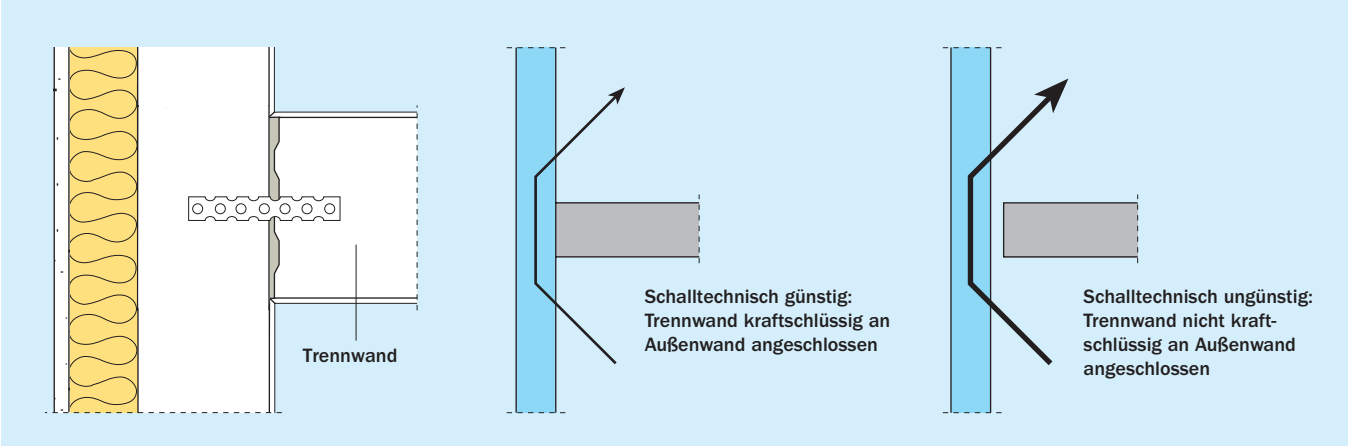


Bild 21 T-Stoß: flankierende Außenwand durchgehend, Trennwand stumpf angeschlossen

Vielmehr wirkt sich in der Gesamtbilanz die erhöhte Direktschalldämmung bei schwereren Flankenbauteilen stärker aus als die verringerte Stoßstellendämmung. Das Planungsziel ist deshalb wie folgt zu formulieren:

- Die flankierenden Bauteile (Außenwände, Innenwände und Decken) ausreichend schwer machen. Wie schwer, muss anhand des gewählten Schallschutzniveaus festgelegt werden.
- Bei horizontaler Übertragung über die Wohnungstrennwand hinweg zusätzlich dafür sorgen, dass die Stoßstelle in der vorgegebenen Bauteilkombination (schwere Wohnungstrennwand, flankierende Außen- oder Innenwand) die maximal mögliche Stoßstellendämmung auch tatsächlich erreicht. Dies setzt eine schalltechnisch biegesteife Verbindung zwischen den Bauteilen voraus.
- Bei vertikaler Übertragung über die Wohnungstrenndecke hinweg kann das Prinzip der erhöhten Stoßstellendämmung gezielt eingesetzt werden: Wenn die Festlegungen für die flankierenden Außen- und Innenwände getroffen worden sind, kann die flankierende Übertragung über diese Bauteile dadurch zusätzlich vermindert werden, dass die Trenndecke möglichst schwer ausgeführt wird. Eine größere flächenbezogene Masse sorgt hier für eine höhere Stoßstellendämmung (Bild 13: Weg Ff). Als günstig erweisen sich aus schalltechnischer Sicht Stahlbetondecken von mindestens 20 cm Dicke.

Falls die zweite Voraussetzung nicht erfüllt ist (z.B. durchlaufende flankierende Wand und Trennwand mit Trennfuge angeschlossen) ist die „Festhaltefunktion“ der Trennwand nicht mehr gegeben. Die Übertragung über das Flankenbauteil erhöht sich dramatisch. Dies ist ein wichtiger Hinweis für die Ausführung (z.B. bei der Ausführung des Stumpfstoßes).

Die exakte Festlegung der konstruktiven Eigenschaften, insbesondere der flächenbezogenen Massen, richtet sich nach dem gewählten Schallschutzniveau. Hier zeigt sich der Vorteil des KS-Schallschutzrechners, mit welchem leicht verschiedene konstruktive Varianten durchgespielt werden können.

6.1.1.4 Ausführung der Stoßstellen mit Stumpfstoß

Die vorhergehenden Ausführungen haben gezeigt, dass die Stoßstellendämmung für die resultierende Schalldämmung eine bedeutende Rolle spielt. Im Sinne eines schalltechnischen Gesamtkonzepts muss konsequenterweise dafür gesorgt werden, dass die Stoßstelle auch konstruktiv so behandelt wird,

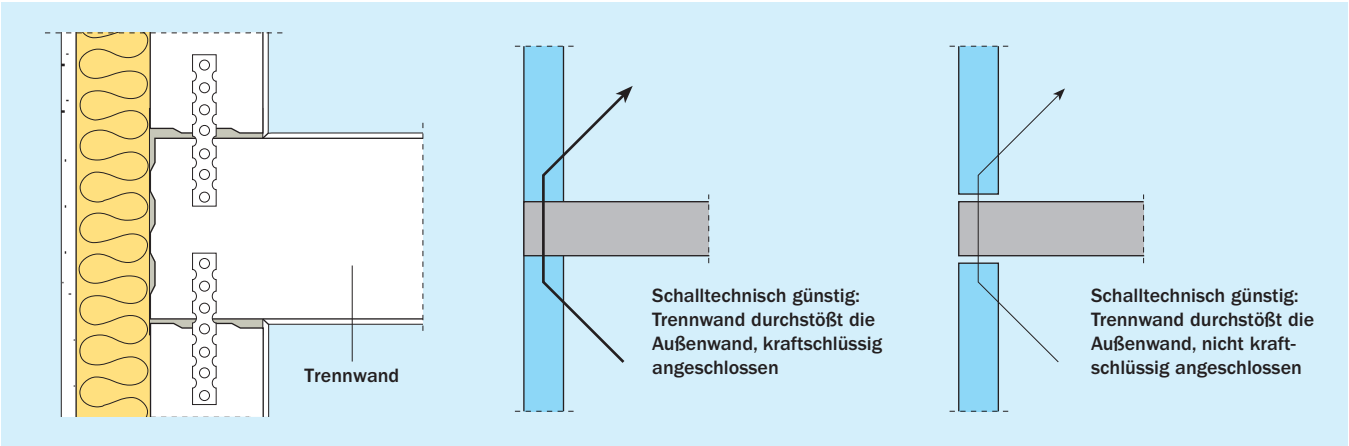


Bild 22 T-Stoß: Trennwände durchgehend, flankierende Wände stumpf angeschlossen

dass ihre bauakustisch gewünschten Eigenschaften optimiert und gewährleistet werden.

Wenn Stoßstellen massiver Bauteile mit dem Rechenverfahren nach DIN 4109-2 berechnet werden, wird aus physikalischer Sicht von einer Bauteilverbindung ausgegangen, wie sie typischer Weise durch einen verzahnten Knotenpunkt dargestellt wird. Die aufeinander stoßenden Bauteile werden lediglich durch ihre flächenbezogenen Massen charakterisiert. In der heutigen Praxis des Mauerwerkbaus wird dagegen weitgehend der Stumpfstoß angewendet (Bild 21).

Schalltechnisch sind beide Varianten gleichwertig, wenn die beim Stumpfstoß vorliegende Bauteilverbindung als starr angenommen werden kann. Die Stoßstellendämmung entspricht dann derjenigen des verzahnten Stoßes. Dies konnte durch Messreihen an KS-Wänden mit unterschiedlich gestalteten Knotenpunktausbildungen bestätigt werden [57].

INFO

Damit die geforderte schalltechnisch biegesteife Verbindung beim Stumpfstoß zustande kommt, ist es erforderlich, dass die Stumpfstoßfuge zwischen beiden Wänden vollflächig sorgfältig vermörtelt ist. Wenn dies nicht gewährleistet werden kann, ist bereits in der Schallschutzplanung ein nicht biegesteif verbundener Stoß anzunehmen. Bei reiner Kalksandsteinbauweise bedeutet dies eine Verminderung der Schalldämmung um ca. 1 bis 2 dB. Bei leichten Außenwänden kann diese Verminderung erheblich größer sein.

Wenn im Gegensatz zur biegesteifen Verbindung gelegentlich versucht wird, den Knotenpunkt als Stumpfstoß mit Trennfuge (und Dämmmaterial in der Fuge) auszuführen, dann handelt es sich um eine schalltechnisch riskante Lösung. Selbst wenn durch vollständige Abdichtung der Fuge eine ausreichende Direktschalldämmung über das trennende Bauteil erreicht wird, ist das Problem in Form der flankierenden Übertragung vorprogrammiert. Die durchlaufende flankierende Wand wird nicht mehr im Knotenpunkt von der Trennwand festgehalten. Die flankierende Übertragung über diese Wand steigt dramatisch an. Dies wird üblicherweise als ein schalltechnischer Schadensfall bezeichnet.

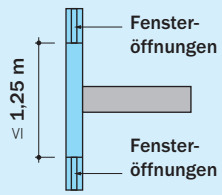
Unter diesem Aspekt ist erkennbar, dass die schalltechnische Funktionsfähigkeit des Stumpfstoßes davon abhängt, dass die schalltechnisch biegesteife Anbindung sorgfältig und dauerhaft hergestellt wurde. Unter baupraktischen Bedingungen wird es aber nicht mit völliger Sicherheit zu vermeiden sein, dass es zum Abreißen zwischen beiden Bauteilen kommt. Wie verschiedene Messungen in Prüfständen und Gebäuden gezeigt haben, muss dann damit gerechnet werden, dass der biegesteife Anschluss nicht mehr ausreichend funktioniert und die Schallübertragung über das flankierende Bauteil zunimmt. Offensichtlich ist es dazu nicht erforderlich, dass die Fuge vollständig getrennt wird.

Aus akustischer Sicht stellt sich die Frage, wie die derzeitige Stumpfstoßkonstruktion noch betriebssicherer und einfacher ausgeführt werden kann. Die Stumpfstoßtechnik, auf die im heutigen Baubetrieb nicht mehr verzichtet werden kann, muss dauerhaft und in allen Situationen anwendungssicher sein. Die vorgesehene Lösung folgt dem in Bild 22 dargestellten Prinzip.

Die Wohnungstrennwand durchstößt die Außenwand vollständig. Für den Wärmeschutz entstehen dabei keine nachteiligen Auswirkungen, da die Außenwand als Kalksandsteinwand stets mit einer außenseitigen Wärmedämmung versehen ist.

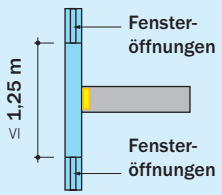
Variante 1: Stumpfstoß, wenn Außenwandlänge ≤ 1,25 m

Variante 1a: Stumpfstoß, akustisch kraftschlüssig



Akustische Trennung ist anzusetzen bei mangelhafter handwerklicher Ausführung und Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten.

Variante 1b: Stumpfstoß, akustisch entkoppelt

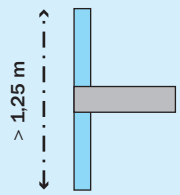


Diese Ausführung ist nicht zu empfehlen. Eine Verschlechterung der Schalldämmung ist möglich.

Bis zu einer Pfeilerlänge der Außenwand von ≤ 1,25 m ist die auf den Nachbarraum übertragene Schallenergie bei nahezu raumhohen Fensteröffnungen gering. Daher können aus baupraktischen Gründen dort Stumpfstöße ausgeführt werden.

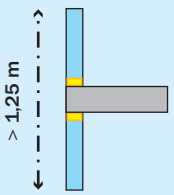
Variante 2: „Durchführen", wenn Außenwandlänge > 1,25 m

Variante 2a: „Durchführen", akustisch kraftschlüssig



Die bauübliche handwerkliche Ausführung neigt zu einem akustischen Abriss
→ Schalltechnische Verbesserung!

Variante 2b: „Durchführen", akustisch entkoppelt



Die planmäßige schalltechnische Entkopplung ist bei hohen Anforderungen (R'_w > 57 dB) zu empfehlen.

Bild 23 Ausführungsvarianten der Stoßstelle zwischen Außenwand und Wohnungstrennwand unter Berücksichtigung der Baupraxis

Schalltechnisch dagegen entsteht eine gegen Ausführungsfehler und mechanische Belastungen unempfindliche Konstruktion. Wie die Untersuchungen in [57] zeigen, ist auch dieser Stoß schalltechnisch gleichwertig zur biegesteifen Variante aus Bild 21 zu betrachten. Rechnerisch kann er im Rahmen des Berechnungsverfahrens deshalb wie der herkömmliche T-Stoß angesetzt werden. Wenn es bei dieser Stumpfstoßlösung auch zum Abreißen zwischen Außen- und Wohnungstrennwand kommen sollte, verbessert sich die Flankendämmung über die Außenwand sogar, da die Schallübertragung über die abgerissene Verbindung behindert oder sogar verhindert wird.

INFO

Die konstruktive Variante, bei der anstelle des Stumpfstoßes die Wohnungstrennwand die flankierende Wand durchstößt, stellt eine dauerhafte, verlässliche Lösung dar und sorgt damit für Planungs- und Ausführungssicherheit.

Für die Praxis ist zusätzlich wichtig, dass der Stoß für kleine Pfeilerlängen beidseitig der Wohnungstrennwand bis zu einer Gesamtbreite von ≤ 1,25 m auch mit durchlaufender Außenwand ausgeführt werden darf, wie in Bild 23 dargestellt.

6.1.1.5 Flankenübertragung über die Außenwand

Immer wieder zeigt sich in der Baupraxis, dass die Außenwand als kritisches Flankenbauteil in Erscheinung tritt, denn der Schallschutz innerhalb des Gebäudes wird durch die Außenwand maßgeblich beeinflusst. Im Regelfall ist es bei der Außenwand somit nicht der Schutz gegen Außenlärm, der besondere Aufmerksamkeit erfordert, sondern der Luftschallschutz im Gebäudeinneren.

Wie die Außenwand in das schalltechnische Gebäudekonzept eingebunden ist, zeigt Bild 24.

In schalltechnischer Hinsicht interessieren bei Außenwänden somit zwei Eigenschaften:

- Die direkte Schalldämmung: Sie muss beim **Schutz gegen Außenlärm** beachtet werden. Da der Schall in diesem Fall auf seinem Weg von außen nach innen den kompletten Wandaufbau durchläuft, spielen dabei die Eigenschaften der außenliegenden Schichten, z.B. WDVS eine Rolle (siehe dazu Abschnitt 7.4).

- Die Flankendämmung: Sie muss beim Schutz gegen **Schallübertragung innerhalb des Gebäudes** beachtet werden. Dabei müssen die Eigenschaften des WDVS nicht berücksichtigt werden. Darauf wird in den folgenden Erläuterungen eingegangen.

Aus dem in Bild 24 beschriebenen Zusammenhang ist sofort zu erkennen, dass beim Schallschutz im Gebäudeinneren die Außenwände auch in ihrer Funktion als flankierende Bauteile bei der schalltechnischen Planung zu berücksichtigen sind. Dies gilt sowohl in der horizontalen Richtung zwischen nebeneinander liegenden als auch in vertikaler Richtung zwischen übereinander liegenden Wohnungen (Bild 25).

Falls eine Wärmedämmung auf der Wand angebracht ist, ergibt sich je nach Lage der Dämmschicht für die flankierende Übertragung eine unterschiedliche Situation. Die flankierende Übertragung findet bei innen liegender Dämmschicht über die innen liegende Schale statt. Da diese oftmals mit viel zu steifen Dämmschichten ausgebildet wird, sind aufgrund ungünstiger Resonanzschwingungen starke Verschlechterungen der Flankendämmung gegenüber der Wand ohne Dämmsystem möglich.

Im Gegensatz zu innen liegenden Dämmschichten hat die außen liegende Wärmedämmung (z.B. als WDVS oder bei zweischaligem Außenmauerwerk) keine schädlichen Auswirkungen auf die Flankendämmung (Bild 26). Die Eigenschaften der Massivwand können für die Flankendämmung voll ausgeschöpft werden. Vorteilhaft sind dabei grundsätzlich Wände mit hoher flächenbezogener Masse. Während bei der Direktschalldämmung die kleinere Masse des Resonanzsystems (d.h. die Putzschicht) entscheidend ist, kann nun für die Flankendämmung die schwerere Masse der Massivwand genutzt werden.

Die konstruktive Trennung von Wärmeschutz (z.B. WDVS) und Schallschutz (durch die Massivwand) erweist sich schalltechnisch als sinnvoll.

Die massive Wand muss keine wärmedämmende Funktion übernehmen und kann deshalb schwer sein. Für die Flankendämmung kann die gesamte Masse der massiven Wand genutzt werden. Ausreichend schwere Wände mit WDVS oder Verblendschale sind damit in der Lage, auch erhöhten Anforderungen an die Luftschalldämmung und damit auch an die flankierende Übertragung gerecht zu werden.

Der Zielkonflikt zwischen Schall- und Wärmeschutz ist durch die funktionale Trennung beider Bereiche aufgehoben. Während beim Außenlärm eine differenzierte Betrachtung der Verhältnisse erforderlich ist, um richtige Festlegungen für das WDVS zu treffen (siehe Abschnitt 7.4), ist dies bei der flankierenden Schallübertragung nicht erforderlich.

Werden Trennwände als leichte mehrschalige Bauteile (z.B. Metallständerwände mit Gipskartonplatten beplankt) ausgeführt, ist die Stoßstellendämmung auf dem Übertragungsweg über die massive Außenwand sehr gering bzw. entspricht einem Mindestwert $K_{ij,min}$, so dass das Flanken-Schalldämm-Maß in etwa dem Direktschalldämm-Maß der massiven Außenwand entspricht. Der Mindestschallschutz zwischen den Räumen ist dann nur mit sehr schweren Außenwänden, ein erhöhter Schallschutz nur mit zusätzlichen Maßnahmen (z.B. Vorsatzschalen vor der Außenwand) zu erreichen.

6.1.2 Ausführungsfragen bei einschaligen Wänden mit Schallschutzanforderungen

Bei der Ausführung einschaliger Wände sind wesentliche Aspekte zu berücksichtigen. Das aus der flächenbezogenen Masse zu erwartende Schalldämm-Maß (siehe Massekurve) einer Mauerwerkswand kann nur dann erreicht werden, wenn nicht Installationen, Fugen, Schlitze oder Undichtigkeiten die Schalldämmung verringern.

6.1.2.1 Putzschichten und unvermörtelte Stoßfugen

Immer wieder wird vermutet, dass die Schalldämmung bei offenen Fugen auch deshalb leidet, weil die flächenbezogene Masse der Wand reduziert wird. Falls offene Fugen im Mauerwerk

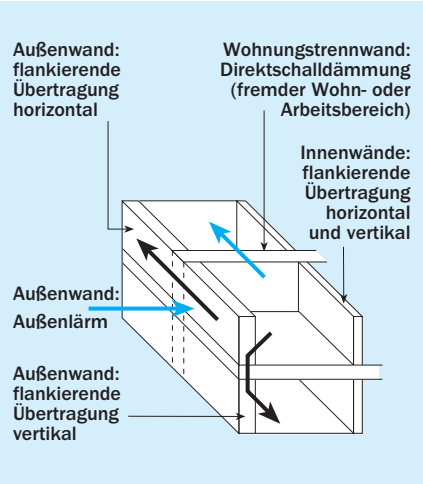


Bild 24 Einbindung der Außenwand in das schalltechnische Gebäudekonzept

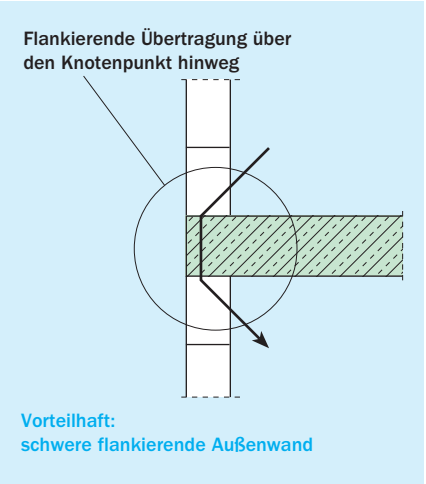


Bild 25 Flankierende Übertragung (vertikal) über die Außenwand

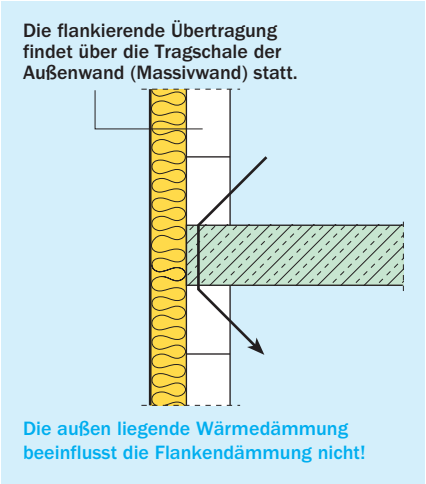


Bild 26 Flankierende Übertragung (vertikal) über die Außenwand mit außenseitiger Wärmedämmung (WDVS)

vorhanden sind, verringert sich die flächenbezogene Masse in etwa proportional zum Anteil der Fugenfläche an der Gesamtfläche. Selbst wenn offene Fugenflächen im ungünstigsten Fall einen Flächenanteil von 1 % haben sollten, fällt die Verminderung der flächenbezogenen Masse schalltechnisch nicht ins Gewicht, so dass dadurch keine Minderung der Schalldämmung zu berücksichtigen ist.

Kritisch ist bei offenen Fugen vielmehr der direkte Schalldurchgang, der die Schalldämmung erheblich mindern kann. Der in Gleichung (5.4) angegebene Zusammenhang zwischen flächenbezogener Masse m' und bewertetem Schalldämm-Maß R_w der Wand setzt einen Aufbau voraus, der keine sichtbar bleibenden offenen Fugen aufweist.

Die Wand muss im schalltechnischen Sinne abgedichtet werden, z.B. mit Putz. Zu beachten ist dabei die Vorgabe der Mauerwerksnorm DIN EN 1996/NA, die vorschreibt, dass bei Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung bei nicht knirsch verlegten Steinen mit Fugenbreiten > 5 mm die Fugen an der Außenseite beim Mauern mit Mörtel verschlossen werden müssen.

Untersuchungen belegen, dass für eine ausreichende schalltechnische Abdichtung von Wänden mit unvermörtelten Stoßfugen bereits dünne Putze auf beiden Seiten ausreichend sind. In [56] wird anhand von Laboruntersuchungen für eine KS-Wand (17,5 cm KS-Vollsteine, unvermörtelte Stoßfugen mit Nut-Feder-System) gezeigt, dass mit beidseitigem Dünnlagenputz (mittlere Dicke ca. 5 mm) die schalltechnische Dichtigkeit hergestellt werden kann. Bei dickeren Putzschichten steigt die Schalldämmung dann nur noch entsprechend dem Massezuwachs an, ohne dass schalltechnisch die Dichtigkeit weiter erhöht würde.

INFO

Schon ein einseitig aufgetragener Putz mit z.B. 10 mm Dicke erfüllt die schalltechnischen Anforderungen. Der Putz ist bis auf OK Rohdecke zu führen, damit im Fußbodenbereich keine Undichtigkeiten verbleiben.

Bei sichtbar belassenem Mauerwerk müssen die Stoßfugen sorgfältig vermörtelt sein, auch wenn die Stirnseiten der Steine mit Nut- und Feder-System ausgestattet sind. Falls diese Vermörtelung nicht erfolgt, muss die Wand durch einen vollflächig haftenden Putz bzw. durch eine entsprechende Beschichtung gegen unmittelbaren Schalldurchgang abgedichtet werden.

Wird bei einer schalltechnisch undichten Rohbauwand ein Wand-Trockenputz durch Einbau von Gipskartonplatten mit einzelnen Gipsbatzen oder -streifen an der Wand befestigt, ist mit einer Verringerung der Schalldämmung gegenüber nass verputzten Wänden zu rechnen. Bei Verwendung von Trockenputzen muss die Wand schalltechnisch dicht sein bzw. vor dem Aufbringen des Trockenputzes z.B. durch Zuspachteln der Fugen abgedichtet werden. Trotz dieser Maßnahmen ist bei Trockenputz mit Gipsbatzen oder Ähnlichem mit Verschlechterungen zu rechnen. Vollflächig angesetzter Trockenputz auf schalltechnisch abgedichteten Wänden ist dagegen problemlos.

6.1.2.2 Trennwände mit Installationen und Einbauten

Schlitze und Einbauten wie z.B. Elektroinstallationen verringern die Wanddicke und damit die flächenbezogene Masse der Wand im Bereich der Einbaufläche, so dass die dort verbleibende Restwand eine verringerte Schalldämmung aufweist. Formal kann eine solche Wand mit Einbauten wie ein zusammengesetztes Bauteil mit Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung betrachtet werden, für das die resultierende Schalldämmung berechnet werden kann (siehe Gleichung 7.3).

Steckdosen

Messungen in einem Prüfstand zeigen, dass selbst mehrere Steckdosen aufgrund ihrer kleinen Teilfläche und der ausreichend hohen Restdämmung der hinter dem Dosenbereich verbleibenden Wand bei Wohnungstrennwänden (m' > 410 kg/m²) die resultierende Schalldämmung nicht verringern.

INFO

Auch bei beidseitiger Installation von Steckdosen muss nicht mit einer Minderung der Schalldämmung gerechnet werden, sofern die Öffnungen für die Steckdosen von beiden Seiten separat ohne durchgehende Bohrung hergestellt werden [58]. Bei Kalksandsteinen mit durchlaufenden Kanälen (KS -E-Steine) sind die Elektrodosen mit Gipsbatzen einzusetzen.

Zählerschränke

Zählerschränke, die z.B. im Geschosswohnungsbau in Treppenraumwände eingebaut werden, führen bei dichter Ausführung der Zählerschranktür nach Untersuchungen von Karl Gösele zu einer Verringerung der Schalldämmung von etwa 1 bis 2 dB. Zur Einhaltung der Anforderung an die Luftschalldämmung kann es erforderlich sein, die Zählerschränke ohne Verringerung des Wandquerschnitts einzubauen oder an anderer Stelle zu planen.

Wasser- und Abwasserleitungen

Falls Wände für die Unterputzverlegung von Rohrleitungen geschlitzt werden, sind die einschlägigen Regeln der Mauerwerksnormen zu berücksichtigen. Dem Schlitzen von Wänden sind damit deutlich engere Grenzen gesetzt, als es in der Praxis immer wieder zu beobachten ist. Lassen sich Schlitze für die Wasserinstallation nicht vermeiden, so müssen die erforderlichen Schlitze bereits bei der Planung berücksichtigt und als gemauerte Schlitze ausgeführt werden. Die Restwand darf nicht beschädigt oder undicht sein. Ihre flächenbezogene Masse zum schutzbedürftigen Raum hin soll mindestens 220 kg/m^2 betragen. In DIN 4109-36 heißt es: *„Die Verlegung von Leitungen innerhalb massiver Wände oder Decken ist auch bei Verwendung schalldämmender Ummantelungen wenn möglich zu vermeiden."*

Aus akustischer Sicht gelten die zuvor schon erläuterten Bedingungen bei zusammengesetzten Bauteilen. Im Unterschied zu Steckdosen oder anderen kleinen Einbauten ist hier aber die Teilfläche mit verringerter Schalldämmung größer und die verbleibende Wanddicke kleiner, so dass die resultierende Schalldämmung verringert wird. Wird z.B. in einer 9 m^2 großen Wand (d = 240 mm, m' > 410 kg/m^2, R'_w = 53 dB bei einer mittleren flächenbezogenen Masse der Flankenbauteile von etwa 300 kg/m^2) ein Schlitz von 100 mm Breite und 100 mm Tiefe über die gesamte Höhe der Wand angebracht, so sinkt die resultierende Schalldämmung um 0,5 dB. Würde der Schlitz dagegen mit 150 mm Tiefe und 150 mm Breite ausgeführt, so würde die resultierende Schalldämmung der Wand um ca. 2 dB vermindert werden. Damit wäre die Einhaltung der Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 an eine Wohnungstrennwand (erf. $R'_w \geq$ 53 dB) nicht mehr gegeben. Bei der Verlegung von Abwasserleitungen in Wandschlitzen sollte die flächenbezogene Masse der Restwand zum schutzbedürftigen Raum hin mindestens 220 kg/m^2 betragen. Bei einer Wohnungstrennwand von 240 mm Dicke (Steinrohdichte 1,8) entspräche dies einer Restwanddicke von ca. 130 mm bzw. einer maximal möglichen Schlitztiefe von ca. 110 mm.

Körperschallisolierung bei Rohrleitungen

Bei der Unterputzverlegung von Rohrleitungen besteht das schalltechnische Hauptproblem neben einer möglichen Minderung der Schalldämmung vor allem in der verstärkten Übertragung von Leitungsgeräuschen. Ohne vollständige und sorgfältig ausgeführte Körperschallisolierung in Form von geeigneten Rohrummantelungen besteht nämlich die Gefahr, dass die auf den Rohrwandungen vorhandenen Schwingungen über Körperschallbrücken auf die Wand übertragen werden. Eine verstärkte Weiterleitung der Installationsgeräusche und in der Regel eine Überschreitung der für Wasserinstallationen zulässigen Schallpegel sind die Folge.

INFO

Unterputzverlegung von Rohrleitungen benötigt eine sorgfältig ausgeführte Körperschallisolierung in Form von geeigneten, lückenlos angebrachten Rohrummantelungen. Körperschallbrücken bewirken eine verstärkte Weiterleitung der Installationsgeräusche und in der Regel eine Überschreitung der für Wasserinstallationen zulässigen Schallpegel.

Vorwandinstallation

Grundsätzlich kann die Körperschallentkopplung der Sanitärinstallation von der Installationswand als die wirksamste Maßnahme zur Minderung der Installationsgeräusche betrachtet werden. Darum gehören nicht nur Rohrleitungen, sondern alle Komponenten der Sanitärinstallationen vor die Wand. Die Vorwandinstallation stellt deshalb die einzige schalltechnisch sinnvolle und zeitgemäße Installationsweise dar. Die Verlegung von Leitungen in Wandschlitzen dagegen ist hochgradig durch Körperschallbrücken gefährdet.

INFO

Nur mit geeigneten körperschallentkoppelnden Produkten (Nachweis durch Prüfzeugnisse!) und bei absolut fehlerfreier (d.h. körperschallbrückenfreier) Verlegung der Leitungen ist eine Unterputzmontage verantwortbar.

In diesem Zusammenhang weist die DIN 4109-1 als Voraussetzung zur Erfüllung des zulässigen Schalldruckpegels darauf hin, dass die verantwortliche Bauleitung benannt und zu einer Teilabnahme vor Verschließen bzw. Verkleiden der Installation herangezogen werden muss. Weitere Details sind in einem ZVSHK-Merkblatt [59] beschrieben. Dieses Merkblatt enthält in einem umfangreichen Anhang schalltechnische Planungs- und Ausführungshinweise für verschiedene Bereiche der Sanitärinstallation sowie darüber hinaus auch für Heizungsanlagen und raumlufttechnische Anlagen. Es stellt damit eine wirkungsvolle Hilfestellung zur Bewältigung der vielfachen schalltechnischen Aufgaben im Installationsbereich dar.

6.1.2.3 Einsatz des KS-Wärmedämmsteins

Wärmebrücken an kritischen Stellen, wie z.B. an Fußpunkten von Wänden können vermindert werden, wenn als unterste Lage der Wand KS-Wärmedämmsteine verwendet werden. Diese weisen eine geringere Wärmeleitfähigkeit und eine geringere Rohdichte als das restliche KS-Mauerwerk auf. Aus schalltechnischer Sicht stellt sich die Frage, ob dadurch die Schalldämmung der gesamten Wand vermindert wird. Eine rechnerische Überprüfung und Untersuchungen im Prüfstand [60] an zwei bis

auf die unterste Steinlage identischen Wandaufbauten ergaben, dass sich zwischen den Varianten „mit KS-Wärmedämmstein“ und „ohne KS-Wärmedämmstein“ kein Unterschied im bewerteten Schalldämm-Maß ergibt. Der messtechnische Nachweis erfolgte an einer 11 m² großen, 24 cm dicken Wand aus KS-Steinen KS -R P 1,8 – 8 DF, jeweils mit und ohne unterste Lage aus KS-Wärmedämmsteinen der Rohdichteklasse 1,2. Rechnerisch zeigt sich, dass die KS-Wärmedämmsteine auch bei 24 cm dicken Wänden der RDK 2,0 zu keiner merkbaren Verminderung der Schalldämmung führen. Sofern sich der Wärmedämmstein komplett in der Ebene des schwimmenden Estrichs befindet, kann auch bei höheren RDK eine Auswirkung auf die Schalldämmung vermieden werden.

6.1.3 Einschalige Wände mit besonderen Eigenschaften und Anforderungen

Neben der einschaligen Wohnungstrennwand sind in der Baupraxis noch andere Wände von Bedeutung, die sich durch besondere Eigenschaften bzw. Anforderungen auszeichnen.

6.1.3.1 Trennwände mit biegeweichen Vorsatzschalen

Biegeweiche Vorsatzschalen werden vor massiven einschaligen Wänden angebracht, um deren Schalldämmung zu verbessern. Die Schalldämmung der Gesamtkonstruktion kann nach Gleichung (5.3) berechnet werden. Das Grundprinzip besteht darin, dass zusammen mit der zweiten Schale ein zweischaliges Bauteil gebildet wird, das oberhalb seiner Resonanzfrequenz eine starke Erhöhung der ursprünglichen Schalldämmung besitzt. Dieses Prinzip wird in Bild 38 verdeutlicht, das auch für die akustischen Verhältnisse einer Vorsatzschale herangezogen werden kann. Beispiele für solche Vorsatzschalen zeigt Tafel 18.

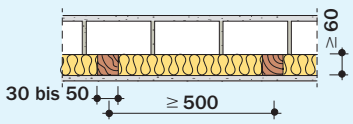
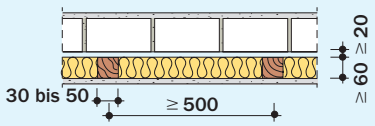
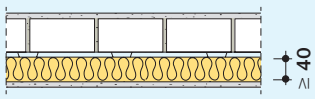
Bild 38 verdeutlicht, dass die Lage der Resonanzfrequenz entscheidend für die Wirkung der Vorsatzschale ist. Aus bauakustischer Sicht sollte diese so tief wie möglich liegen (Empfehlung: $f_0 \leq 50$ Hz), damit die Verbesserung der Schalldämmung in einem möglichst großen Frequenzbereich zur Geltung kommt und die Verminderung der Schalldämmung durch den Resonanzeinbruch bei f_0 nicht störend in Erscheinung tritt. Werden allerdings Vorsatzschalen mit bauakustisch falsch dimensionierter Resonanzfrequenz verwendet, dann führt das statt zu Verbesserung zu einer Verschlechterung der Schalldämmung. Die Werte für ΔR_w werden in diesem Fall negativ. Das ist z.B. der Fall, wenn aus Gründen der Wärmedämmung an einschalige, massive Wände Dämmplatten hoher dynamischer Steifigkeit – z.B. Holzwolle-Leichtbauplatten oder nicht elastifizierte Hartschaumplatten – vollflächig oder punktweise angesetzt werden, die durch Putz oder Fliesen abgedeckt werden. Die Resonanzfrequenz beträgt dann $f_0 \geq 200$ Hz. Stattdessen sollten weich federnde Dämmschichten, d.h. Dämmschichten mit geringer dynamischer Steifigkeit, verwendet werden. Werte für die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w durch Vorsatzkonstruktionen enthält Tafel 19. Sie stammen aus der DIN 4109-34. Tafel 19 zeigt, dass die erreichte Verbesserung ΔR_w nicht nur von der Vorsatzschale selbst, sondern auch von der verwendeten massiven Wand abhängt. Die dort genannten Werte gelten für Vorsatzkonstruktionen vor Decken und Wänden, also insbesondere Vorsatzschalen und schwimmende Estriche. Verbesserungen der Schalldämmung sind nur erreichbar, wenn die Resonanzfrequenz nicht höher als 160 Hz liegt. Die Verbesserung kann dann nach Gleichung (6.1) ermittelt werden.

$$\Delta R_w = (74{,}4 - 20 \lg f_0 - \frac{R_w}{2}) \geq 0 \text{ [dB]} \qquad (6.1)$$

Werden biegeweiche Vorsatzschalen an Sende- und Empfangsseite eines Übertragungsweges an trennenden oder flankierenden Bauteilen angebracht, so ist bei der Berechnung der resultierenden Gesamt-Schalldämmung entlang dieses Pfades die Vorsatzschale mit dem kleineren ΔR_w-Wert nur mit ihrem halben Wert anzusetzen.

Biegeweiche Vorsatzschalen können mit dem KS-Schallschutzrechner berücksichtigt werden.

Tafel 18 Beispiele für Vorsatzschalen vor massiven Wänden

	Wandausbildung	Beschreibung
1		Vorsatzschale aus Gipskartonplatten nach DIN 18180, Dicke 12,5 oder 15 mm Ausführung nach DIN 18181 oder aus Spanplatten nach DIN 68763, Dicke 10 bis 16 mm; mit Hohlraumfüllung[1]; Unterkonstruktion an massiver Wand befestigt[2]
2		Ausführung wie Zeile 1, jedoch Holzstiele (Ständer) mit Abstand ≥ 20 mm vor massiver Wand freistehend
3		Vorsatzschale aus Gipskartonplatten nach DIN 18180, Dicke 12,5 oder 15 mm und Fassadendämmplatten[3], Ausführung nach DIN 18181, an massiver Wand streifenförmig angesetzt

[1] Faserdämmstoffe nach DIN 4108-10 i.V.m. DIN EN 13162, Typ WAB Nenndicke 40 bis 60 mm, längsbezogener Strömungswiderstand $\Xi \geq 5$ kN · s/m⁴
[2] Bei den Beispielen nach Zeilen 1 und 2 können auch Ständer aus Blech-C-Profilen nach DIN 18183-1 verwendet werden.
[3] Faserdämmstoffe nach DIN 4108-10 i.V.m. DIN EN 13162, Typ WAP, Nenndicke ≥ 40 mm, $s' \leq 5$ MN/m³

Tafel 19 **Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w durch Vorsatzschalen (auch schwimmende Estriche) in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz**

Resonanzfrequenz f_0 der Vorsatzschale [Hz]	ΔR_w [dB]
≤ 80	nach Gleichung (6.1)
100	
125	
160	
200	- 1
250	- 3
315	- 5
400	- 7
500	- 9
630 bis 1.600	- 10
> 1.600 ≤ 5.000	- 5

- Für Resonanzfrequenzen unter 200 Hz beträgt der Mindestwert von ΔR_w 0 dB.
- Für Resonanzfrequenzen, die zwischen den tabellierten Frequenzwerten liegen, können die Werte für ΔR_w durch Interpolation ermittelt werden.
- R_w bezeichnet das bewertete Schalldämm-Maß der Bezugswand/Bezugsdecke.

6.1.3.2 Trennwände im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich

Zwar werden an den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich keine bauaufsichtlichen Anforderungen gestellt, aber dennoch ist Schallschutz dafür ein Thema. Deshalb werden von verschiedenen Seiten Empfehlungen gemacht, die für Wände ohne Türen in Tafel 20 wiedergegeben sind.

Falls für Wände im eigenen Wohnbereich (EW) Schalllschutzanforderungen geplant werden, sollten die betreffenden Wände mit einer ausreichend hohen flächenbezogenen Masse geplant werden. Hinweise zur Auslegung solcher Wände in KS-Bauweise finden sich in Bild 20. Es gelten sinngemäß die Ausführungen für Wohnungstrennwände.

Wenn solche Wände als nicht tragende innere Trennwände ausgeführt werden sollen, sind die oberen Deckenanschlüsse und die seitlichen Wandanschlüsse besonders zu beachten. Beispiele für solche Anschlüsse enthalten die Tafeln 21 und 22. Falls sich Türen in den Wänden befinden, können die in Tafel 20 genannten Empfehlungen nicht eingehalten werden.

Wenn Schallschutzanforderungen an die Direktschalldämmung dieser Trennwände gestellt werden, ist bei der Ausführung entkoppelter Anschlüsse zu beachten, dass die Direktschalldämmung nach DIN 4109-2 durch Korrekturwerte abzumindern ist, die je nach flächenbezogener Masse der entkoppelten Bauteile und der Anzahl der entkoppelten Kanten bis zu 6 dB betragen können. Im KS-Schallschutzrechner (Abschnitt 5.3) wird diese Korrektur bereits berücksichtigt. Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt für Wände ohne Türen ein Bau-Schalldämm-Maß von 47 dB. Dies entspricht nach dem DEGA-Memorandum BR 0104 [42] und der DEGA-Richtlinie 103-1 der Schallschutzklasse EW3 innerhalb des eigenen Wohnbereichs. Diese wird wie folgt beschrieben: *„Guter Schallschutz für den eigenen Bereich mit hoher Zufriedenheit. Geräusche aus dem eigenen Bereich sind nur noch teilweise hörbar."*

Als flankierende Bauteile können nicht entkoppelte, leichte, massive Wände erheblich zur Schallübertragung beitragen und damit die resultierende Schalldämmung beträchtlich vermindern. Dieser schädliche Einfluss kann durch entkoppelte Wand- und Deckenanschlüsse verhindert werden (siehe Abschnitt 6.1.1.4)

INFO

Trennwände mit hohen Anforderungen an die Schalldämmung sollten schwer sein. Entkoppelte Anschlüsse verringern die Direktschalldämmung. Trennwände als Flankenbauteil sollten aus akustischen Gründen dann entkoppelt werden, wenn sie eine geringere flächenbezogene Masse als 200 kg/m² aufweisen. Bei 11,5 cm dicken Wänden RDK 1,8 ist keine Entkopplung aus Gründen der Schalllängsleitung erforderlich.

6.1.3.3 Installationswände

Ergänzend zu den Hinweisen zur Verlegung von Leitungen und Installationen an Wänden in Abschnitt 6.1.2.2 sind für Installationswände weitere Hinweise zu beachten.

Schalltechnische Anforderungen an Wände mit Wasserinstallationen sind in der DIN 4109 nicht direkt formuliert. In DIN 4109-36 [31] wird für den schalltechnischen Nachweis jedoch eine so genannte einschalige Massivbau-Musterinstallationswand definiert, die unter Berücksichtigung von Putzschichten eine flächenbezogene Masse von mindestens 220 kg/m² haben muss. Mit dieser Musterinstallationswand kann unter Einhaltung der in DIN 4109-36 beschriebenen Konstruktionsmerkmale und Randbedingungen der Nachweis zur Erfüllung der Anforderungen aus DIN 4109-1, Tabelle 9 geführt werden. Gemäß diesen Anforderungen dürfen die Geräusche der Wasserinstallation in schutzbedürftigen Räumen einen maximal zulässigen Schalldruckpegel $L_{AF,max,n}$ von 30 dB(A) nicht überschreiten. Abweichend von der für Installationsgeräuschmessungen in Gebäuden heranzuziehenden DIN EN ISO 10052 [61] wird bei messtechnischer Überprüfung am Bau auf die Messung in der lautesten Raumecke verzichtet (siehe auch DIN 4109-4).

Die Einhaltung dieser Anforderung hängt von der vorhandenen Gesamtsituation ab. Hierzu gehören:

- die schalltechnischen Eigenschaften der verwendeten Installationen

Tafel 20 **Vorschläge für den Luftschallschutz im eigenen Wohnbereich (Wände ohne Türen)**

DEGA-Richtlinie 103-1 und DEGA-Memorandum BR 0104 R'_w [dB]		
EW1	EW2	EW3
≥ 40	≥ 43	≥ 47

- die Montagebedingungen der Installationen (Ankoppelung an den Baukörper)
- die schalltechnischen Eigenschaften der Installationswände
- die Körperschallübertragung über flankierende Bauteile
- die Grundrisssituation

Die Installationswand kann deshalb nicht isoliert betrachtet werden, wenn es um die Einhaltung der Anforderungen geht. Aus schalltechnischer Sicht liegt das Ziel darin, dass die Installationswand von den Komponenten der Wasserinstallation (Armaturen, Rohrleitungen der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung, Sanitärobjekte wie Dusch- oder Badewannen, Waschtische, Spülkästen etc.) möglichst wenig angeregt wird und dass möglichst wenig Schallenergie von der Installationswand abgestrahlt und auf benachbarte Bauteile weitergeleitet wird. Die Forderung nach geringer Luftschallabstrahlung betrifft im Wesentlichen die Schallübertragung in die direkt hinter der Installationswand liegenden Räume. Bei einer vernünftigen Grundrissplanung sind diese nach Bild 27 in der Regel allerdings Räume des eigenen Wohnbereichs, so dass dafür die Anforderungen der DIN 4109-1 nicht gelten.

Der in Bild 27 diagonal unter der Installationswand liegende Raum ist dann im Sinne der DIN 4109 der nächste schutzbedürftige Raum im fremden Wohnbereich. Für solche Räume dominiert in der Regel die Körperschallübertragung. Installationsgeräusche in fremden schutzbedürftigen Räumen sind deshalb in erster Linie ein Körperschallproblem. Erfahrungsgemäß kann unter Massivbaubedingungen davon ausgegangen werden, dass die Installationsgeräusche im diagonal unter der Installationswand liegenden Raum etwa 5 dB(A) leiser als im direkt dahinter liegenden Raum sind.

Eine möglichst geringe Anregung der Installationswand kann dadurch erzielt werden, dass die Installationskomponenten von der Wand körperschallentkoppelt werden. Eine wirkungsvolle Körperschallentkopplung kann am ehesten bei der Vorwandinstallation erreicht werden. Die Einmauerung der Installationskomponenten ist dabei wegen unkontrollierter Körperschallbrücken aus schalltechnischer Sicht abzulehnen. Schalltechnisch sinnvoll dagegen ist die in Trockenbauweise ausgeführte Vorwandinstallation. Zur Körperschallentkopplung der Installationskomponenten selbst stehen mit elastischen Rohrschellen und körperschallisolierenden Rohrummantelungen, mit so genannten Schallschutzsets für Bade- und Duschwannen sowie Waschtischen und mit schalltechnisch entkoppelten Sanitärbausteinen inzwischen zahlreiche geeignete Produkte zur Verfügung. Sie sollten insbesondere dann zum Einsatz kommen, wenn erhöhte Anforderungen an den Schallschutz gestellt werden.

Eine möglichst geringe Anregung der Installationswand wird auch dadurch erreicht, dass sie eine möglichst hohe flächenbezogene Masse besitzt und damit der Anregung einen großen Widerstand entgegensetzt.

Nach DIN 4109-36 muss die für die schalltechnischen Nachweise für Installationsgeräusche herangezogene massive Musterinstallationswand eine flächenbezogene Masse von mindestens 220 kg/m² aufweisen.

Die genannte Forderung wird beispielsweise erfüllt von einer 11,5 cm dicken Wand mit RDK 1,8 und beidseitiger Putzschicht. Die Direktschalldämmung einer solchen Wand beträgt R_w = 50 dB.

Untersuchungen in Installationsprüfständen belegen, dass Mauerwerkswände in Verbindung mit schalltechnisch günstigen Installationen auch mit einer geringeren flächenbezogenen Masse als 220 kg/m² in der Lage sind, die Anforderungen der DIN 4109-1 zu erfüllen. Dies sollte allerdings stets durch aussagekräftige Prüfungen nachgewiesen werden.

INFO

Während die flächenbezogene Masse der Installationswand auf die Übertragung des von Sanitärinstallationen verursachten Körperschalls in den hinter der Installationswand liegenden Raum einen signifikanten Einfluss hat, gilt dies für die Übertragung in den diagonal nach unten gelegenen Raum nicht mehr in demselben Maße. Bei kleiner werdender flächenbezogener Masse wächst nämlich die Stoßstellendämmung zwischen Installationswand und Boden an und wirkt damit in gewisser Weise der stärkeren Anregbarkeit der Wand entgegen. Die in DIN 4109-36 für massive Installationswände vorausgesetzte flächenbezogene Masse von mindestens 220 kg/m² ist für diese Übertragungssituation deshalb nicht zwingend geboten, aber zu empfehlen.

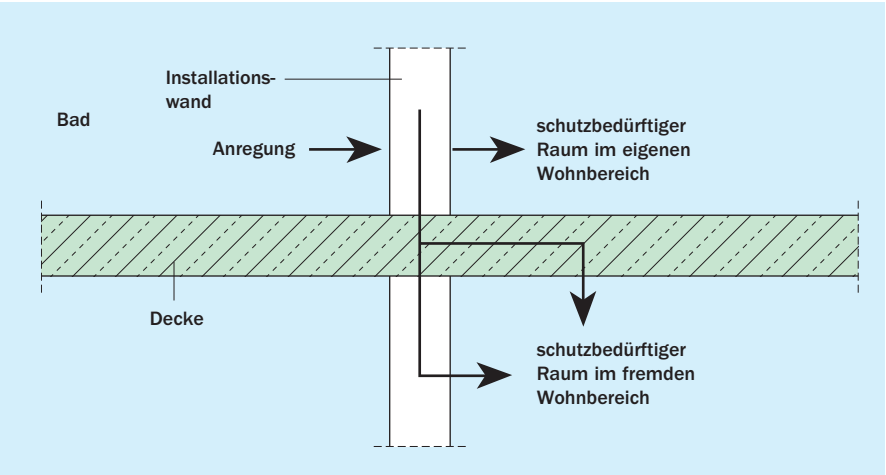
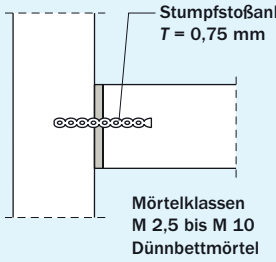
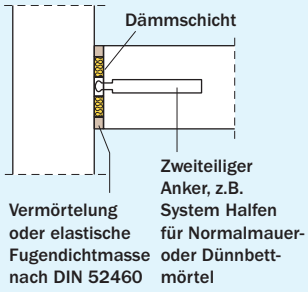
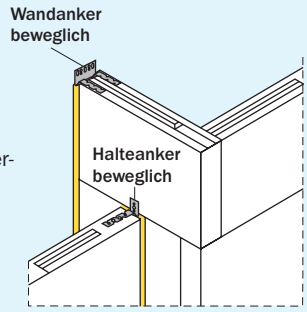
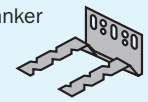
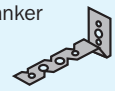
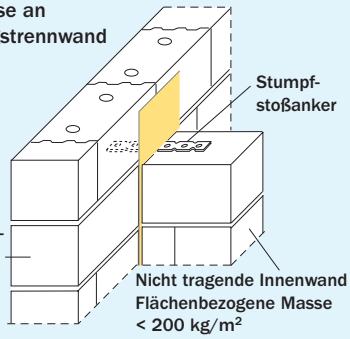


Bild 27 Übertragung von Installationsgeräuschen in benachbarte Räume

Tafel 21 Seitliche Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Schall- und Brandschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz[1]
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Starr gehalten** durch Maueranker und vollflächig satt vermörtelte Anschlussfuge mit NM oder DM	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten oder nicht vollflächiger Vermörtelung ist ggf. eine Entkopplung und Undichtigkeit anzunehmen.	**Anschlussfuge voll vermörtelt mit NM oder DM** EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch in Ankerschiene eingelegte Maueranker	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch Wandanker  durch Halteanker 	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Halteankern und Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse an Wohnungstrennwand  	**Gelenkig gehalten** durch Mauerwerksanker und nachgiebiger Füllung mit Mineralfaserstreifen des Stumpfstoßanschlusses	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

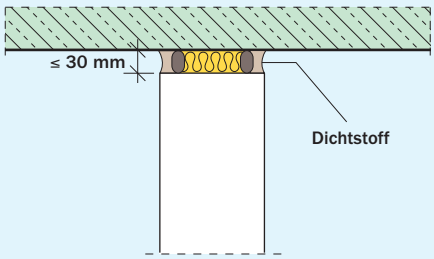
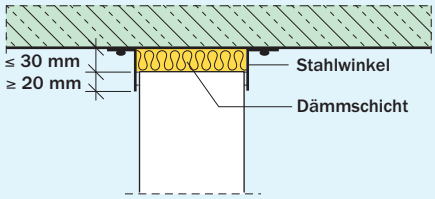
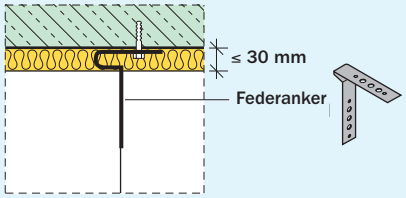
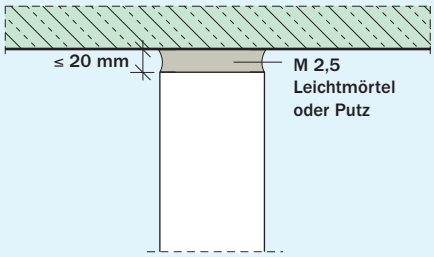
[1] Die Klassifizierung des Wandanschlusses entspricht der Klassifizierung der Wand, wenn die angegebenen Bedingungen eingehalten werden. Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2] Der Putz ist bei entkoppelten Anschlüssen mit einem Kellenschnitt zu trennen und nachträglich z.B. mit Acryl zu schließen.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Tafel 22 **Obere Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Schall- und Brandschutz**

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz[1)]
	**Oberer Rand nicht gehalten** die Wand ist 3-seitig zu halten die Stoßfugen sind grundsätzlich zu vermörteln	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Dichtstoff, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60 Die Fugen müssen dicht ausgestopft werden. Für EI 30 mind. 50 mm; für EI 60 mind. 60 mm und für EI 90 und „Brandwände“ mind. 100 mm Breite der jeweiligen Wanddicke.
	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und nicht dicht** Als trennendes Bauteil nur geeignet mit zusätzlichem Fugendichtstoff in der Anschlussfuge	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Stahlwinkel, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
 Die Stoßfugen mit Federanker sind zu vermörteln.	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
	**Oberer Rand gehalten** mit Auflast infolge Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecke[2)] die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand Anschlussfuge vollständig durch M 2,5, Leichtmörtel oder Putz ausgefüllt	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Wänden mit Schallschutzanforderungen sollte diese Ausführungsvariante gewählt werden.	EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

[1)] Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2)] Bei Wandlängen > 5 m sollte dieser Anschluss mit dem Tragwerksplaner abgestimmt werden.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

6.1.4 Schallschutz bei Aufzugsanlagen

Geräusche von Aufzugsanlagen können als Luftschall abgestrahlt oder als Körperschall in das Gebäude eingeleitet werden. In schutzbedürftigen Räumen sind deshalb störende Einwirkungen möglich, die den Anforderungen der DIN 4109-1 unterliegen und deren Nichteinhaltung immer wieder zu Beanstandungen und Streitfällen führt.

6.1.4.1 Luftschall

Luftschallabstrahlung von Schaltgeräten vor dem Schacht oder Geräusche von Türbewegungen sind so zu begrenzen, dass sie in benachbarten schutzbedürftigen Räumen keine unzulässigen Störungen hervorrufen. Notwendige Schallschutzmaßnahmen zwischen Aufzugsvorraum und schutzbedürftigem Raum (z.B. die Schalldämmung von Wohnungseingangstüren) können aus den A-bewerteten Schalldruckpegeln von Schalt- und Türgeräuschen abgeleitet werden. Nach DIN 8989 [51] darf der maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel im gesamten Schacht 75 dB(A) bei Aufzügen ohne Triebwerksraum nicht überschreiten. Das ist bei den üblichen schweren Schachtwänden (siehe Abschnitt 6.1.4.8) in der Regel unproblematisch, da deren Luftschalldämmung ausreichend hoch ist.

6.1.4.2 Körperschall

Der in schutzbedürftigen Räumen von Aufzügen verursachte Schalldruckpegel wird in der Regel durch Körperschalleinleitung in das Gebäude verursacht. Maßnahmen gegen Körperschallerzeugung und Körperschallübertragung stehen bei der Lärmminderung deshalb im Vordergrund. Die Körperschalleinleitung erfolgt an den Schnittstellen des Aufzugs mit dem Gebäude.

Während eines Betriebszyklus können unterschiedliche Aufzugskomponenten an der Körperschallerzeugung beteiligt sein. In VDI 4100:2007 heißt es dazu: *„Treten störende Geräusche durch den Betrieb sonstiger haustechnischer Anlagen auf, ist im Regelfall eine mangelhafte Körperschalldämmung zwischen der Anlage und dem Bauwerk die Ursache. Daher ist bei der Planung und Ausführung derartiger Anlagen immer die körperschallgedämmte Aufstellung, Aufhängung oder Befestigung aller körperschallführenden Anlagenteile eine Grundvoraussetzung für ausreichenden Schallschutz neben der Auswahl geräuscharmer Anlagen und Anlagenbauteile.“*

6.1.4.3 Geräuschübertragung

Aus Kostengründen und zur Minimierung des Raumbedarfs werden heute Aufzugsanlagen in Wohngebäuden in der Regel ohne Triebwerksraum ausgeführt. Die Aufzugstechnik muss dann vollständig innerhalb des vorhandenen Aufzugschachtes angeordnet werden. Für die Körperschallübertragung ins Gebäude sind die Schachtwände deshalb die maßgebliche Schnittstelle. Neben der konstruktiven Auslegung der Schachtwände (einschalige oder zweischalige Konstruktion, flächenbezogene Masse) ist ihre Anordnung in Bezug auf schutzbedürftige Räume von entscheidender Bedeutung. Zu berücksichtigen ist darüber hinaus noch die Schallübertragung über die an den Schachtwänden angekoppelten flankierenden Bauteile, insbesondere die Geschossdecken.

Bereits bei der Gebäudeplanung können durch eine schalltechnisch günstige Anordnung des Aufzugsschachts die Voraussetzungen für einen guten Schallschutz geschaffen werden. Schutzbedürftige Räume sollten nicht unmittelbar neben Aufzugsschächten oder Triebwerksräumen angeordnet werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn der Schacht ins Treppenhaus integriert ist (siehe Bild 28, Bausituation A) oder wenn sich Pufferräume ohne Schallschutzanforderungen zwischen schutzbedürftigen Räumen und dem Aufzugsschacht befinden (siehe Bild 28, Bausituation C). Ungünstiger ist es, wenn Schachtwände unmittelbar an schutzbedürftige Räume angrenzen (siehe Bild 28, Bausituation B).

6.1.4.4 Lärmminderungsmaßnahmen

Die Geräuschproblematik bei Aufzugsanlagen ist derjenigen bei Installationsgeräuschen (siehe Abschnitt 6.1.3.3) vergleichbar, bei denen erst das Zusammenspiel geeigneter sanitärtechnischer und baukonstruktiver Festlegungen zu einem stimmigen Konzept zur Einhaltung der vorhandenen Anforderungen führt. So genügt es auch hier nicht, Maßnahmen an der Aufzugsanlage oder am Gebäude separat zu planen und auszuführen. Vielmehr müssen die Maßnahmen im Zusammenhang betrachtet werden. Der Schallschutz bei Aufzugsanlagen sollte von Anfang an bei der Planung berücksichtigt werden, da nachträgliche Maßnahmen nahezu unmöglich sind oder mit hohem Aufwand und damit hohen Kosten verbunden sind.

Grundsätzlich sind bei der Planung und Ausführung der erforderlichen Maßnahmen zur Lärmminderung folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Planung der Grundrisse: schalltechnisch günstige Lage des Aufzugschachtes gegenüber schutzbedürftigen Räumen
- Schallschutzmaßnahmen an der Anlagentechnik: geräuscharme Komponenten der Anlage und Entkopplung der körperschallerzeugenden Komponenten gegenüber dem Gebäude
- Bauakustische Maßnahmen: Auslegung der Schachtwände und der daran angekoppelten flankierenden Bauteile

Ein wesentliches Potenzial der möglichen Geräuschminderung kann durch anlagentechnische Maßnahmen in Form von geräuschgünstigen Komponenten und Entkopplungsmaßnahmen sowie einer sorgfältigen Montage ausgeschöpft werden. Untersuchungen in [62] zeigen anhand von gemessenen Schalldruckpegeln von 23 Aufzugsanlagen unterschiedlicher Hersteller in vergleichbarer Baukonstruktion eine Bandbreite von 12 dB. Diese große Streuung wird *„weitestgehend auf die eingesetzten Aufzugsprodukte und deren Ausführungsqualität“* zurückgeführt.

6.1.4.5 Anforderungen

Um in schutzbedürftigen Räumen eines Gebäudes einen guten Schutz vor Geräuschen aus Aufzugsanlagen zu erreichen, werden in verschiedenen Regelwerken Anforderungen an zulässige Schalldruckpegel in Zusammenhang mit der Anordnung von Fahrstuhlschächten und der Ausbildung der Bauteile gestellt.

In DIN 4109-1 werden als Mindestanforderungen maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel in fremden schutzbedürftigen Räumen, erzeugt von gebäudetechnischen Anlagen, festgelegt. Gemeint ist damit ein $L_{AF,max,n}$, der auch die

Geräuschspitzen berücksichtigt, wie sie bei Aufzugsanlagen beispielsweise beim Anfahren, Bremsen oder beim Öffnen und Schließen der Aufzugstüren entstehen können. Nach DIN 4109-1 gilt: $L_{AF,max,n} \leq 30$ dB bei Wohn- und Schlafräumen und $L_{AF,max,n} \leq 35$ dB bei Unterrichts- und Arbeitsräumen.

Für einen erhöhten Schallschutz bei gebäudetechnischen Anlagen wird im DEGA-Schallschutzausweis für Schallschutzklasse C $L_{AF,max,n} \leq 27$ dB, für Schallschutzklasse B $L_{AF,max,n} \leq 24$ dB und für Schallschutzklassen A und A* $L_{AF,max,n} \leq 20$ dB gefordert.

Weitere Empfehlungen zu maximalen A-bewerteten Schalldruckpegeln gebäudetechnischer Anlagen für erhöhte Komfortstandards enthalten DIN 4109-5, VDI 4100:2007 und VDI 4100:2012 (Tafel 8).

6.1.4.6 DIN 8989

Die DIN 8989 [51] beschäftigt sich mit den von Aufzugsanlagen ausgehenden Geräuschen in Gebäuden. Sie gilt für Aufzugsanlagen mit und ohne Triebwerksraum. In Wohngebäuden wird überwiegend auf den Triebwerksraum verzichtet. Behandelt werden sowohl aufzugstechnische als auch bauseitige Aspekte des Schallschutzes:

- Einzuhaltende Schallemmissionskennwerte für durch den Aufzug eingeleitete Beschleunigungspegel (Körperschall) und für A-bewertete Schalldruckpegel im Schacht und vor Schachttüren
- Einzuhaltende flächenbezogene Massen von Wänden und Decken zur Erreichung der Schallschutzziele
- Hinweise zur Verbesserung des Schallschutzes an Aufzugskomponenten
- Festlegungen zur Durchführung von Luftschall- und Körperschallmessungen

Auf das Verhältnis von DIN 8989 und DIN 4109 wird in 6.1.4.9 eingegangen.

6.1.4.7 Nachweise

Rechnerische Nachweise

Es existieren in DIN 4109 derzeit noch keine genormten rechnerischen Prognoseverfahren, mit denen die Einhaltung der Geräusche von Aufzugsanlagen sichergestellt werden kann. Es können ersatzweise, wie in [62] vorgeschlagen, die Prognoseverfahren für die Luft- und Trittschallübertragung aus EN 12354 bzw. DIN 4109-2 sinngemäß herangezogen und mit messtechnisch ermittelten Daten bestimmter Aufzugsanlagen kombiniert werden, so dass von bekannten Bausituationen auf Verhältnisse in einer anderen Bausituation umgerechnet werden kann. Zukünftig sollen in DIN 4109-2 die Rechenverfahren nach DIN EN ISO 12354-5 implementiert werden.

Messtechnische Nachweise

Die Messung der Anlagengeräusche im fertigen, eingebauten Zustand erfolgt (im Sinne einer Güteprüfung) mit den nach DIN 4109-4 vorgesehenen Messverfahren der DIN EN ISO 10052 [61]. Die Messungen sind bei einem charakteristischen Arbeitszyklus (auf und ab) durchzuführen. Nach DIN 4109-4 ist der lauteste Betriebszustand zur Beurteilung heranzuziehen.

6.1.4.8 Bauliche Maßnahmen

Im Wohnungsbau werden in der Regel Aufzugsanlagen ohne Triebwerksraum ausgeführt. Die wesentliche bauakustische Festlegung betrifft in diesem Fall die flächenbezogene Masse der Schachtwand und bei Bedarf die Treppenraumwand, unmittelbar verbundene Decken und unmittelbar verbundene flankierende Wände. Für unterschiedliche bauliche Gegebenheiten nennt die DIN 8989 die erforderlichen flächenbezogenen Massen der trennenden bzw. flankierenden Bauteile, die eingehalten werden müssen, um den maximal zulässigen A-bewerteten Schalldruckpegel $L_{AFmax,n} = 30$ dB einhalten zu können. Mit Bezug auf diese Vorgaben der DIN 8989 zeigt Bild 28 in Verbindung mit Tafel 24 Lösungsvarianten mit KS-Mauerwerk.

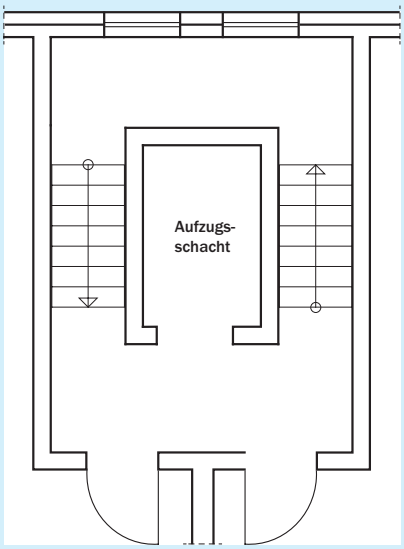
INFO

Wie die Beispiele zeigen, können auch Schachtwände für Aufzugsanlagen kostengünstig aus Kalksandstein ausgeführt und damit die Zielwerte der DIN 8989 erreicht werden. Ein Baustoffwechsel innerhalb eines Kalksandstein-Gebäudes ist somit nicht erforderlich. Dadurch kann ein reibungsloser Bauablauf gewährleistet werden.

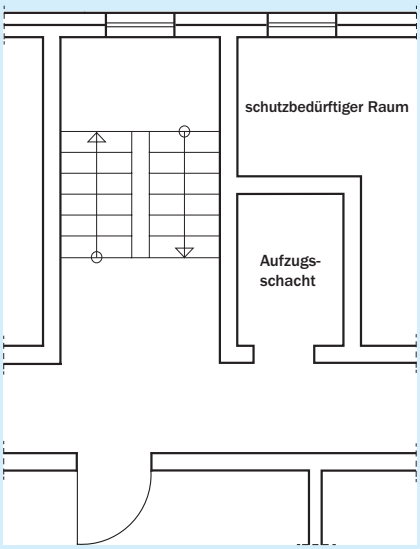
Es kann eine ein- oder zweischalige Schachtkonstruktion vorgesehen werden. Einschalige Konstruktionen sind in der Regel aus Gründen der Bauwerksstabilität vorzuziehen. Zweischalige Konstruktionen sind frei von Schallbrücken auszuführen. Eine komplett schallbrückenfreie Ausführung ist jedoch schwer sicherzustellen und bedarf erhöhter Sorgfalt.

6.1.4.9 DIN 8989 und DIN 4109

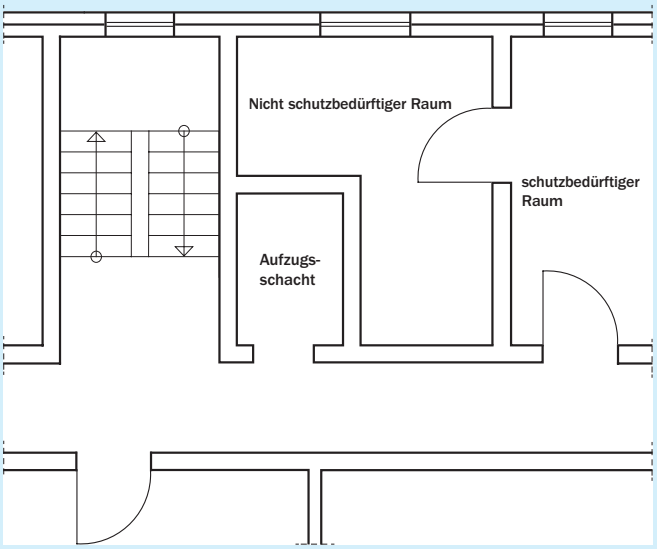
Die im August 2019 erschienene DIN 8989 legt unter anderem Anforderungen an die schalltechnischen Eigenschaften von Aufzügen und Gebäuden fest. Sie folgt dabei einem anderen Vorgehen als DIN 4109 (Schallschutz im Hochbau), was immer wieder zu Fragen führt, wie diese Festlegungen umzusetzen sind. DIN 4109-1 stellt für gebäudetechnische Anlagen die Anforderungen an den maximal zulässigen Schalldruckpegel in einem schutzbedürftigen Raum. Es gibt deshalb keine eigenen Anforderungen an die schalltechnischen Eigenschaften einer Anlage oder an die bauakustische Auslegung des Gebäudes. Gefordert wird nur die Einhaltung des maximal zulässigen Pegels. Wie das erreicht wird, überlässt die DIN 4109 den verantwortlichen Planern. Mit dieser Regelung berücksichtigt DIN 4109, dass das von einer gebäudetechnischen Anlage in einen schutzbedürftigen Raum übertragene Geräusch weder allein von den Eigenschaften der Anlage noch allein von den Gebäudeeigenschaften abhängt. Vielmehr kommt es stets auf das Zusammenwirken anlagentechnischer und gebäudespezifischer Eigenschaften und deren sinnvolle Abstimmung aufeinander an. DIN 4109 überlässt es deshalb den Planern, mit welchen Maßnahmen die Einhaltung der Anforderungen gewährleistet wird. Aus diesem Grund werden für Anlagen keine bestimmten Emissionswerte und für das Gebäude (bezogen auf gebäudetechnische Anlagen) keine besonderen Festlegungen, z.B. an die flächenbezogenen Massen der an der Übertragung beteiligten Bauteile getroffen.



a) Bausituation A nach DIN 8989 – Aufzugsschacht ins Treppenhaus integriert



b) Bausituation B nach DIN 8989 – Aufzugsschacht grenzt an schutzbedürftigen Raum



c) Bausituation C nach DIN 8989 – zwischen Aufzugsschacht und schutzbedürftigen Räumen befinden sich nicht schutzbedürftige Räume

Bild 28 Bausituationen von Aufzugsschächten

DIN 8989 weicht von dem in DIN 4109 gewählten Weg ab, indem sie entgegen dem Ansatz der DIN 4109 in Abschnitt 6 explizite Anforderungen an den Aufzug und in Abschnitt 7 explizite Anforderungen an das Gebäude stellt. Tabelle 3 nennt dazu für den Körperschall die einzuhaltenden Kennwerte bezüglich des Beschleunigungspegels und Tabelle 4 für die flächenbezogenen Massen der relevanten Bauteile die mindestens einzuhaltenden Kennwerte. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, „dass zur Erreichung der vereinbarten Schallschutzziele die Kennwerte in Tabelle 4 in Verbindung mit den Kennwerten nach Tabelle 3 angewendet werden müssen“. Die genannten Werte für Anlage und Gebäude werden also als verbindlich dargestellt und müssen im Sinne dieser Norm eingehalten werden. Dieses Vorgehen ist nicht kompatibel mit dem Ansatz der DIN 4109. Im Gegensatz zu DIN 4109, die es (weitgehend) offen lässt, welche Maßnahmen an Anlage und Gebäude ergriffen werden, um zum vorgegebenen Ziel zu gelangen, wird hier also eine verbindliche Vorgabe an die Eigenschaften der Anlage und des Gebäudes getroffen.

Es wird dabei allerdings übersehen, dass eine solche strikte Festlegung lediglich den Charakter einer Musterlösung haben kann, die grundsätzlich andere Lösungsmöglichkeiten nicht ausschließt – und auch nicht ausschließen darf. Im Sinne des Planungsprozesses bedeutet der Ansatz der DIN 8989 trotz anderer verfügbarer Lösungen eine Beschränkung auf eine mögliche Variante, die als verbindlich dargestellt wird. Dieser Sichtweise ist aus technischer und planerischer Sicht zu widersprechen. Es wird außer Acht gelassen, dass ein beträchtlicher Spielraum bei der Gestaltung der schalltechnischen Eigenschaften der Aufzüge, aber (bei vorgegebener Grundrissgestaltung) nur ein beschränkter Spielraum bei der Gebäudekonstruktion besteht. Akzeptiert werden kann ein solcher Ansatz lediglich dann, wenn er im Sinne einer Musterlösung als eine mögliche Variante betrachtet wird, die aber keinen Ausschließlichkeitscharakter beanspruchen darf und andere Lösungen zulässt. Als kritisch sind die teilweise hohen Anforderungen an die flächenbezogenen Massen der Bauteile zu betrachten, die außer Betracht lassen, dass mit oft deutlich geringerem Aufwand eine schalltechnische Verbesserung der Aufzugstechnik und der Montagebedingungen möglich ist.

Die in DIN 8989 nach Grundrissanordnung der schutzbedürftigen Räume getroffene Unterscheidung mit höheren flächenbezogenen Massen bei kritischeren Immissionsverhältnissen ist vom Grundsatz her richtig. Jedoch darf der Einfluss der flächenbezogenen Massen nicht überschätzt werden. Schon zum vorhergehenden Regelwerk VDI 2566 hieß es dazu in [62]: „Deren Anforderungen an die Baukonstruktion stehen jedoch bei Fachleuten in der Kritik, da sie in der baupraktischen Anwendung in Teilen überdimensioniert erscheinen.“ Zu Recht wird an derselben Stelle aber auch darauf hingewiesen, dass „eine fundierte Vorgehensweise für eine belegbare systematische Überprüfung und Bewertung der baulichen Ausführung des Aufzugsschachtes“ bislang fehlt. Anhand von rechnerischen Untersuchungen wird weiterhin gefolgert: „Der Einfluss der flankierenden Bauteile auf den resultierenden Schalldruckpegel im Raum wird bislang überschätzt. Die Schachtwanddicke hat vergleichsweise geringen Einfluss auf die resultierenden Schalldruckpegel.“

Tafel 23 Einzuhaltende flächenbezogene Massen von Schachtwänden und Dimensionierung der Schachtwandkonstruktion

			Bausituation A nach Bild 28		Bausituation B nach Bild 28		Bausituation C nach Bild 28	
Raumvolumen V [m³]	Schachtwand		Flächenbezogene Masse von Wänden [kg/m²]	Wandaufbau nach Tafel 24	Flächenbezogene Masse von Wänden [kg/m²]	Wandaufbau nach Tafel 24	Flächenbezogene Masse von Wänden [kg/m²]	Wandaufbau nach Tafel 24
bis 31,25	einschalig		490	3 oder 4	580	5	490	3 oder 4
	zweischalig	innere Schale:			380	7	380	7
		äußere Schale:			250		250	
> 31,25 bis 62,5	einschalig		580	5	670	6	580	5
	zweischalig	innere Schale:			380	7	380	7
		äußere Schale:			250		250	
> 62,5 bis 125	einschalig		670	6	740	[1]	670	6
	zweischalig	innere Schale:			490	8	490	8
		äußere Schale:			250		250	

[1] Eine flächenbezogene Masse von 740 kg/m² kann mit üblichen einschaligen Mauerwerkskonstruktionen aus Kalksandstein nicht realisiert werden. In diesem Fall sollte mit dem verantwortlichen Aufzugsplaner eine entsprechende Vereinbarung bzgl. der schalltechnischen Qualität der Aufzugstechnik getroffen werden.

Die mit Hinblick auf die Mindestanforderungen der DIN 4109-1 bei steigendem Raumvolumen erforderlichen größeren flächenbezogenen Massen sind in DIN 8989 vor allem den per Definition festgelegten besonderen Eigenschaften des Norm-Schalldruckpegels $L_{AF,max,n}$ als Kenngröße für die Anforderungen der DIN 4109 geschuldet, haben aber mit dem wirklich wahrnehmbaren Schallschutz nichts zu tun. Diese Festlegung der DIN 4109 erweist sich als nachteilig für die Auslegung der erforderlichen schalltechnischen Maßnahmen, sowohl bei der Aufzugtechnik als auch beim Gebäude. Bei größeren Räumen führt diese Kenngröße zu Auslegungen, die hinsichtlich eines wahrnehmbaren Schallschutzes nicht erforderlich sind. In der aktuellen Überarbeitung von DIN 4109 ist vorgesehen, als Anforderungsgröße $L_{AF,max,n}$ durch den Standard-Schalldruckpegel $L_{AF,max,nT}$ zu ersetzen. Dieser ist zur Formulierung von Anforderungen an gebäudetechnische Anlagen die geeignetere Größe, da er besser mit der tatsächlichen Wahrnehmung in schutzbedürftigen Räumen korreliert und einen praktikableren messtechnischen Nachweis ermöglicht.

6.2 Zweischalige Haustrennwände

6.2.1 Hinweise zur erforderlichen Schalldämmung bei Doppel- und Reihenhäusern

Die Erwartungen der Bauherren an den Schallschutz von Doppel- und Reihenhäusern sind deutlich höher als bei Wohnungen in Geschosshäusern.

Im DEGA-Memorandum BR 0101 [37] wird die zweischalige Haustrennwand als die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechende Konstruktion bezeichnet, die bei unterkellerten Häusern als Schalldämm-Maß mindestens 62 dB und bei nicht unterkellerten Häusern mindestens 60 dB erbringen muss.

Die DIN 4109-1 hat sich dieser Ansicht weitgehend angenähert, indem sie für Haustrennwände zu Aufenthaltsräumen, die im untersten Geschoss (erdberührt oder nicht) eines Gebäudes gelegen sind, als erforderliche Schalldämmung $R'_w \geq 59$ dB und für Haustrennwände zu Aufenthaltsräumen, unter denen mindestens ein Geschoss (erdberührt oder nicht) des Gebäudes vorhanden ist, $R'_w \geq 62$ dB festgelegt hat. Selbst diese Erhöhung

Tafel 24 Schachtwandkonstruktionen zur Erfüllung der Anforderungen nach DIN 8989:2019-08

Wandaufbau		Bauteilbeschreibung		Flächenbezogene
		Rohdichteklasse RDK [–]	Wanddicke d [cm]	Masse m' [kg/m²]
		Einschalige Wandkonstruktionen (unverputzt)		
1		≥ 1,8	≥ 24	> 380
2		≥ 2,0	≥ 20	> 380
3		≥ 1,8	≥ 30	> 490
4		≥ 2,2	≥ 24	> 490
5		≥ 2,0	≥ 30	> 580[1]
6		≥ 2,0	≥ 36,5	> 670
		Zweischalige Wandkonstruktionen[2]		
7	innere Schale:	≥ 2,0	≥ 20	> 380
	äußere Schale:	≥ 2,0	≥ 15	> 250
8	innere Schale:	≥ 2,2	≥ 24	> 490
	äußere Schale:	≥ 2,0	≥ 15	> 250

[1] Mit einseitig 10 mm Putz
[2] Zweischalig mit Schalenabstand 30 mm, im Fugenhohlraum Ausfüllung mit Mineralwolle-Dämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10

der Anforderungen schafft den genannten Konflikt nicht wirklich aus der Welt. Gemessen an den Erwartungen der Bewohner sollte ein erkennbar über diesen Mindestanforderungen liegender Schallschutz vorgesehen werden.

Die VDI 4100:2012 mit ihren drei Schallschutzstufen für den erhöhten Schallschutz trägt diesem Anspruch zwar Rechnung, ist aber bei SST III zurzeit noch nicht ausreichend mit Messungen von Konstruktionen belegt. Eine Zusammenstellung der Anforderungswerte für die Luftschalldämmung in DIN 4109 und VDI 4100 findet sich in Tafel 8.

Als Planungsziel sollte bei unterkellerten Doppel- und Reihenhäusern ein erhöhter Schallschutz mit $R'_w = 67$ dB angestrebt werden. Hierbei sind jedoch konstruktive Randbedingungen zu beachten, die hier noch näher betrachtet werden.

Ausführungen zur akustischen Bemessung der zweischaligen Haustrennwand finden sich in Abschnitt 5.2.4.

6.2.2 Gestaltung der Trennfuge

Nach DIN 4109-2 wird für die Berechnung des Schalldämm-Maßes der zweischaligen Haustrennwand vorausgesetzt, dass die Trennfuge von der Oberkante des Fundaments bis zur Dachhaut lückenlos durchgeführt wird (Bilder 32 bis 34).

Für die Fugengestaltung sind die in DIN 4109-32 formulierten Grundsätze zu berücksichtigen, die in dieser Form schon in Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 vorausgesetzt wurden.

Das Füllen des Schalenzwischenraums mit Mineralwolle-Dämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10 ist aus zwei Gründen wichtig:

- Mörtelbrücken werden vermieden.
- Mit Mineralwolledämmplatten ausgefüllte zweischalige Haustrennwände weisen in der Praxis eine höhere Schalldämmung auf als vergleichbare Wände ohne Füllung.

Die Füllung des Schalenzwischenraums mit steifen Dämmstoffen (z.B. nicht elastifizierte Polystyrol-Hartschaumplatten) führt zu einer starren Koppelung der Haustrennwände, so dass der Schallschutz deutlich verschlechtert wird. Für solche Materialien kann der Nachweis nicht geführt werden.

INFO

Um eine möglichst gute Schalldämmung zu erzielen und die Sicherheit der Ausführung zu verbessern, wird empfohlen, die Trennfuge mindestens 4 cm dick auszuführen und in den Hohlraum vollflächig Mineralwolle-Dämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10, Dicke 40/35 mm, einzubringen.

Die Erhöhung des Schalenabstandes wirkt sich günstig auf den Schallschutz aus. Dies gilt nicht bei üblichen Schalenabständen im untersten Geschoss, wenn die Fußpunkte der Schalen (z.B. durch gemeinsame Bodenplatten und/oder Fundamente) gekoppelt sind (siehe hierzu auch Abschnitt 5.2.4.3). Hier wirkt sich die Erhöhung der flächenbezogenen Masse der Schalen deutlicher aus als eine Erhöhung des Schalenabstandes.

6.2.3 Unterkellerte und nicht unterkellerte Doppel- und Reihenhäuser

Für die Einhaltung der Anforderungen ist es entscheidend, ob von unterkellerten Gebäuden ausgegangen wird, bei denen im Kellergeschoss keine schutzbedürftigen Räume mit Anforderungen an den Schallschutz liegen, oder ob sich schutzbedürftige Räume direkt über Fundament und Bodenplatte befinden. In den meisten Fällen wird das Fundament als gemeinsames Fundament ausgebildet (Bild 34), möglicherweise noch mit durchgehender Bodenplatte. Damit ergibt sich eine starke Körperschallbrücke zwischen den beiden Schalen.

Bild 29 zeigt, dass für den über die Wandschalen und das gemeinsame Fundament gehenden Übertragungsweg für die Räume im Erdgeschoss zusätzlich zur Stoßstellendämmung am Fundament noch zweimal die Stoßstellendämmung zwischen Wandschale und Boden zu berücksichtigen ist. Die Schallübertragung auf diesem Weg wird dadurch gegenüber dem direkten Übertragungsweg unmittelbar über den Hohlraum so klein, dass sie in der Gesamtbilanz nicht berücksichtigt werden muss. Für die im Untergeschoss liegenden Räume dagegen entfallen diese zusätzlichen Stoßstellen, so dass die starke Körperschallbrücke in Form des gemeinsamen Fundaments voll zum Tragen kommt. Dies ist dann unbedenklich, wenn im Fundamentbereich keine schutzbedürftigen Räume an die Haustrennwand angrenzen (was im UG meistens erfüllt ist). Eine ähnlich schädliche Wirkung als Körperschallbrücke ergibt sich übrigens, wenn die zweischalige Haustrennwand im Kellergeschoss nur einschalig ausgeführt wird. Die dadurch verursachte starke Kopplung beider Wandschalen macht sich im Erdgeschoss durch eine drastische Minderung der Schalldämmung bemerkbar.

Eine vergleichbare Situation findet man bei solchen Doppel- und Reihenhäusern, die auf die Unterkellerung verzichten. Dies ist mittlerweile zu einer häufigen Ausführungsvariante geworden. Das gemeinsame (bzw. unvollständig getrennte) Fundament liegt nun im Erdgeschoss-Bereich. Damit wird das Schallbrückenproblem in den Bereich der schutzbedürftigen Räume verlagert (Bild 30). Eine Abschätzung der hier vorliegenden Körperschallübertragung zeigt, dass diese nun gegenüber der Direktübertragung dominiert.

Prinzipiell kommen für den Fundamentbereich die in Tafel 15 dargestellten konstruktiven Lösungen in Frage. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Körperschallübertragung, was in DIN 4109-2 in den unterschiedlichen Werten für den Zweischaligkeitszuschlag berücksichtigt wird.

Um der verstärkten Übertragung im Fundamentbereich entgegen zu wirken, können bei nicht unterkellerten Gebäuden einige Maßnahmen ergriffen werden, die sich positiv auf die erreichbare Schalldämmung auswirken:

- Haustrennwand mit hoher flächenbezogener Masse der Wandschalen (Kalksandstein, z.B. mit $d = 24$ cm und RDK $\geq 1{,}8$)
- Flankierende Wände (Innen- und Außenwände) ebenfalls mit möglichst hoher flächenbezogener Masse (Kalk-sandstein mit $d = 17{,}5$ cm und RDK $\geq 1{,}8$)

- Nicht tragende Innenwände, die auf der Bodenplatte stehen, ebenfalls schwer (z.B. 11,5 cm und RDK ≥ 1,8)
- Auf einen schwimmenden Estrich auf der Bodenplatte kann aus schalltechnischen Gründen auf keinen Fall verzichtet werden.
- Durch eine geeignete Grundrissanordnung kann dafür gesorgt werden, dass schutzbedürftige Räume nicht unmittelbar an die Haustrennwand angrenzen.

Für eine getrennte Bodenplatte wurde in Tafel 15 sicherheitshalber nur derselbe Zweischaligkeitszuschlag vorgesehen wie für eine gemeinsame Bodenplatte. Trotz dieser vorsichtigen Bemessung können in praktischen Fällen deutlich bessere Werte erreicht werden, so dass die Trennung der Bodenplatte eine schalltechnisch günstige Option darstellt.

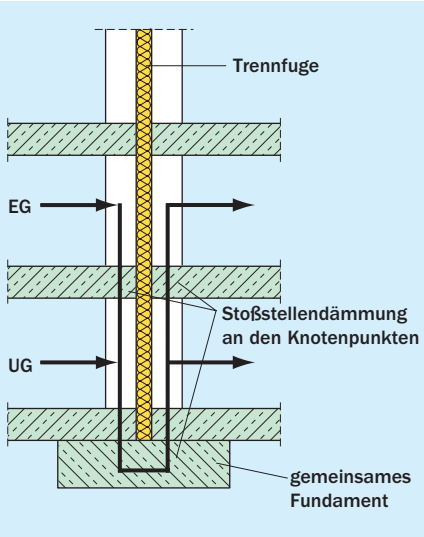


Bild 29 Flankierende Übertragung über den Fundamentbereich

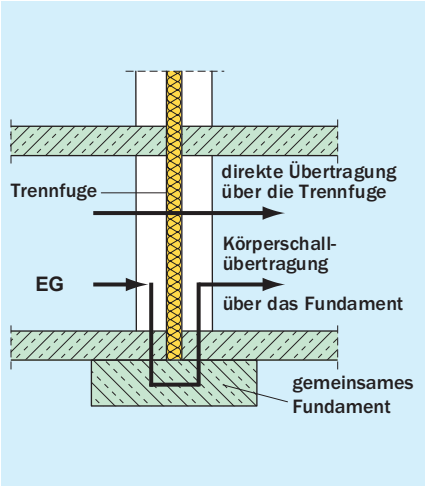
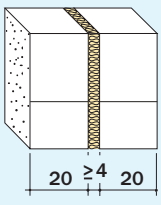
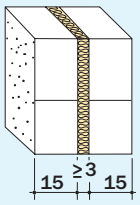


Bild 30 Direkte und flankierende Übertragung über eine zweischalige Haustrennwand für schutzbedürftigen Raum über der Bodenplatte

6.2.4 Ausführungsbeispiele zweischaliger Haustrennwände

Wie ein erhöhter Schallschutz von R'_w = 67 dB realisiert werden kann, zeigt Tafel 25. Bei der ersten Ausführung mit zweimal 20 cm Kalksandstein, RDK 2,0 und beidseitigem Dünnlagenputz wird vorausgesetzt, dass sich schutzbedürftige Räume direkt über der Bodenplatte befinden, für die die Anforderungen ebenfalls erfüllt sein sollen (z.B. Erdgeschoss eines nicht unterkellerten Gebäudes). Die Bodenplatte ist in diesem Fall getrennt auszuführen, die Trennfuge (Füllung Mineralwolle-Dämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10) geht bis zum Fundament durch (Fall 2 in Tafel 15),

Tafel 25 Ausführungsbeispiele zweischaliger Haustrennwände für einen erhöhten Schallschutz R'_w = 67 dB

Haustrennwand zwischen Doppel-/Reihenhäusern Voraussetzungen:	Lösung mit Kalksandstein		
	Wandaufbau [3] [cm]	Steinrohdichteklasse (RDK)	R'_w [dB]
■ Ohne Untergeschoss oder mit hochwertig genutztem Untergeschoss (*mit* Anforderungen an den Schallschutz im Untergeschoss) ■ Getrennte Bodenplatte ■ Trennfuge ≥ 4 cm und mit Mineralfaserplatten Typ WTH gefüllt ■ Trennfuge durchgehend bis auf das Fundament		≥ 2,0	67 [1]
■ Mit Untergeschoss (*ohne* Anforderungen an den Schallschutz im Untergeschoss) ■ Trennfuge ≥ 3 cm ■ Trennfuge durchgehend bis auf das Fundament		≥ 1,8	67 [2]

Schwimmende Estriche werden bei allen Vorschlägen vorausgesetzt, Trennfugen sollten generell mit 4 cm Dicke und einer geeigneten Mineralfaserplatte ausgeführt werden.
Flankierende Bauteile mit $m'_{L,M}$ ~ 300 kg/m²
Die Beispielkonstruktionen sind – soweit nicht anders beschrieben – mit beidseitig Dünnlagenputz (mittlere Dicke je Seite: 5 mm) oder mit Stoßfugenvermörtelung auszuführen.
[1] Ausführung nach [63], siehe Bild 31
[2] Zuschlag zur Zweischaligkeit angesetzt mit 12 dB, siehe Tafel 15.

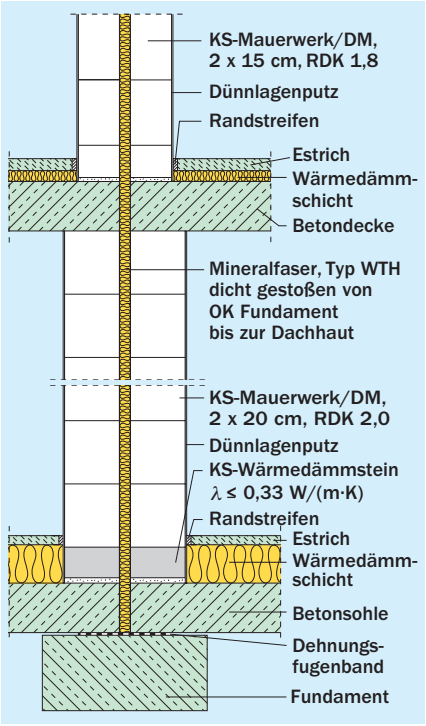


Bild 31 Beispiel nach [63] für ein nicht unterkellertes Gebäude mit getrennter Bodenplatte und Schallschutzanforderungen 67 dB auch im untersten Geschoss

und für die Trennfuge wird eine Breite von mindestens 4 cm vorgesehen. Die Ausführungsdetails dieser Lösung [63] sind in Bild 31 dargestellt. Das zweite Beispiel in Tafel 25 mit zweimal 15 cm dicken Wandschalen, RDK 1,8 und einer Fugenbreite von mindestens 3 cm kann angewendet werden, wenn sich direkt über der Bodenplatte keine schutzbedürftigen Räume mit Anforderungen befinden (unterkellertes Gebäude). Hier kann nach Tafel 15 der Zuschlag für Zweischaligkeit mit 12 dB angesetzt werden. Diese Lösung entspricht auch der im ersten Beispiel für das Obergeschoss gewählten Ausführung, da hier ein Einfluss von Fundament und Bodenplatte nicht mehr besteht (Zweischaligkeitszuschlag deshalb 12 dB). Die im Erdgeschoss erforderliche Trennfugenbreite von 4 cm wurde im OG beibehalten.

Für unterschiedliche zweischalige Haustrennwände können nach Tafel 26 die bewerteten Schalldämm-Maße R'_w in Abhängigkeit vom Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$ ermittelt werden. Diese Werte gelten für KS-Mauerwerk in Normalmauer- und Dünnbettmörtel mit einem Schalenabstand von mindestens 3 cm. Eine Erhöhung des Schalenabstandes wirkt sich günstig auf das Schalldämm-Maß aus. Die jeweils anzusetzenden Werte für $\Delta R_{w,Tr}$ können Tafel 15 entnommen werden. Nach Abschnitt 5.2.4.3 und Gleichung (5.7) wäre in Tafel 25 noch der Korrekturwert K zur Berücksichtigung der flankierenden Übertragung über massive flankierende Bauteile zu berücksichtigen, da er im Nachweisverfahren vorgesehen ist. Dieser wird hier (und genauso in der vorhergehenden Tafel 25) zur Vereinfachung mit K = 0 dB angesetzt. Dies entspricht den Verhältnissen in üblicher KS-Bauweise, wenn die einzelnen Schalen der Haustrennwand eine flächenbezogene Masse bis etwa 300 kg/m² haben. Bei mehr als 300 kg/m² wäre bei üblicher KS-Bauweise der Korrekturwert mit 1 dB anzusetzen. Im konkreten Planungsfall sollte mit den genannten Methoden, wie sie auch im KS-Schallschutzrechner implementiert sind, die Anwendung des Korrekturwerts überprüft werden.

Eine Zusammenstellung von Beispiellösungen für bewertete Schalldämm-Maße R'_w zweischaliger KS-Haustrennwände in Abhängigkeit vom Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$ findet sich in Tafel 26.

6.2.5 Flankierende Übertragung im Fundament- und Dachbereich

Fundamentbereich

Zu Recht haben Planung und Ausführung der Trennfuge eine herausragende Bedeutung für den Schallschutz zweischaliger Haustrennwände. Dabei wird allerdings oft vergessen, dass trotz Trennfuge auch die flankierende Schallübertragung bei Doppel- und Reihenhäusern eine Rolle spielen kann. Bild 32 und 34 weisen auf die flankierende Übertragung im Dach- und Fundamentbereich hin. Aber auch der Einfluss von Außen- und Innenwänden auf die Gesamtschalldämmung kann nicht völlig vernachlässigt werden. Zwar gibt es bei richtiger Trennfugengestaltung (außer bei der „Weißen Wanne“) keine durchlaufenden Wände, jedoch sind die an die Wandschalen angekoppelten Außen- und Innenwände in der Lage, der zweischaligen Konstruktion zusätzliche Schallenergie zuzuführen bzw. auf der anderen Seite zusätzliche Schallenergie abzustrahlen. Untersuchungen in ausgeführten Doppel- und Reihenhäusern zeigen, dass zu leichte massive Flankenwände durchaus zu einer Erhöhung der Schallübertragung führen. Die dafür nach DIN 4109-2 anzusetzende Korrektur wird in Abschnitt 5.2.4.3 behandelt.

Dachbereich

Oft wird festgestellt, dass die Schalldämmung zwischen Doppel- und Reihenhäusern im Dachgeschoss deutlich schlechter ausfällt als in den darunter liegenden Stockwerken. Ursache ist hier die flankierende Übertragung über die Dachkonstruktion. Insbesondere wenn der Dachgeschossausbau in Eigenleistung erfolgt, sorgen Fehler beim Dachaufbau und den Anschlussdetails im Trennwandbereich zu einer verstärkten Schalllängsleitung. Minderungen der Schalldämmung im Dachgeschoss von mehr als 10 dB sind bei falsch geplanter bzw. ausgeführter Dachkonstruktion keine Seltenheit.

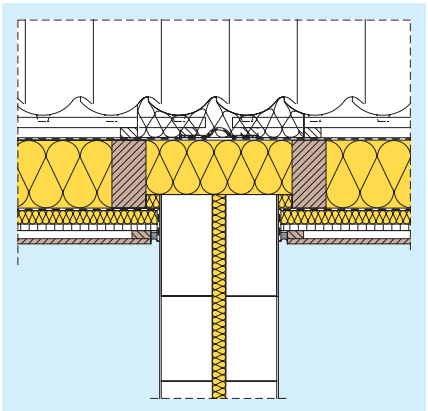


Bild 32 Dachanschluss bei einer zweischaligen Haustrennwand ohne durchlaufende Dachlatten (Brandschutz der LBO beachten)

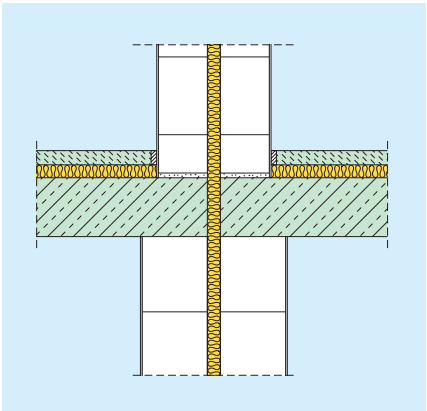


Bild 33 Zwischendeckenanschluss einer zweischaligen Haustrennwand

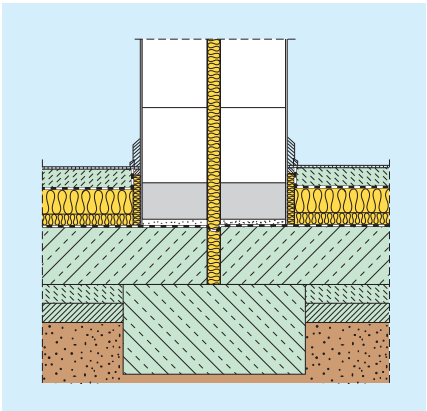


Bild 34 Fundamentanschluss einer zweischaligen Haustrennwand

Wichtig ist eine schalltechnisch dichte innenseitige Verkleidung der Dachkonstruktion, z.B. durch Gipskartonplatten, nicht aber durch Nut- und Federschalung, die keine ausreichende schalltechnische Dichtigkeit herstellt. Die Fugen zu den Trennwandschalen sind akustisch dicht auszuführen. Eine ausreichend starke Unterbrechung der Längsleitung wird nur dann erreicht, wenn die Trennwand die Dachkonstruktion mindestens 10 cm tief durchdringt. Starken Einfluss auf die flankierende Übertragung hat die Hohlraumdämpfung in Dachaufbau. Vorteilhaft ist eine Dämmung aus Mineralwolle zwischen den Sparren (je mehr, desto besser). Ungünstig sind Dämmungen aus Hartschaumplatten, da diese zur Hohlraumbedämpfung nichts beitragen.

Ungünstig sind, falls keine besonderen Vorkehrungen gegenüber einer erhöhten Schalllängsleitung getroffen werden, aufsparrengedämmte Dachkonstruktionen mit einer Wärmedämmung aus Hartschaumplatten. Hier ist zumindest eine Unterbrechung der Hartschaumplatten im Trennwandbereich erforderlich. Weitere Hinweise zur schalltechnisch richtigen Gestaltung im Dachbereich mit entsprechenden Ausführungsdetails finden sich z.B. in [64].

6.2.6 Fehlervermeidung bei Ausführung der Haustrennwand

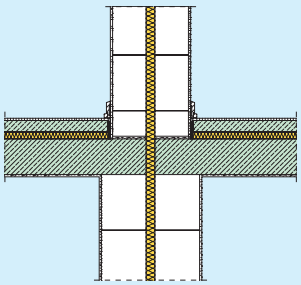
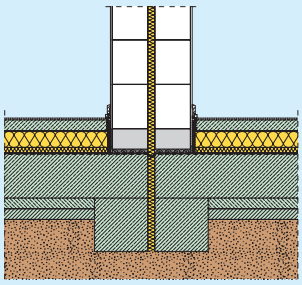
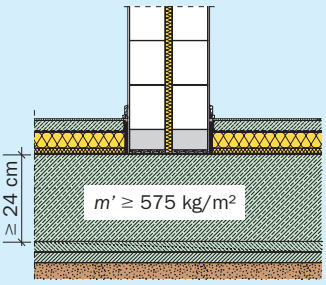
Die schalltechnische Funktionsfähigkeit der Trennfuge erlaubt keinerlei Körperschallbrücken. Hier werden in der Baupraxis die meisten Fehler gemacht. Die Fuge muss von Oberkante Fundament bis zum Dach durchgehend und frei von Körperschallbrücken durchgeführt werden. Auf die Problematik im Fundament- und Dachbereich wurde bereits zuvor eingegangen.

Besondere Sorgfalt erfordert das Betonieren der Stahlbetondecken, damit dort keine Körperschallbrücken entstehen. Rohrleitungen dürfen nicht durchgeführt werden.

Zu vermeiden ist auch eine Überbrückung der Trennfuge durch Putzschichten auf den Außenwänden. Wärmedämm-Verbundsysteme müssen ebenfalls im Bereich der Trennfuge unterbrochen werden. Geeignete Fugenabdichtungen (Fugenprofile, Dichtbänder) an der Gebäudeaußenseite sind vorzusehen.

Dämmplatten im Fugenhohlraum vermeiden bei vollflächiger Verlegung Körperschallbrücken durch Mörtelreste, Bauschutt und dergleichen. Sie dürfen allerdings nicht zu steif sein, da-

Tafel 26 **Beispiellösungen für bewertete Schalldämm-Maße R'_w zweischaliger KS-Haustrennwände in Abhängigkeit vom Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$; Werte für $\Delta R_{w,Tr}$ sind nach Tafel 15 auf ganze dB abgerundet.**

Wandaufbau (Beispiele) Mauerwerk nach DIN EN 1996 mit Normal- oder Dünnbettmörtel, beidseitig verputzt (2 x 10 mm Putz ≙ je Seite 10 kg/m²), Trennfuge ≥ 3 cm	**RDK**	**Flächenbezogene Masse [kg/m²]**	**R'_w [dB]**		
			Inkl. $\Delta R_{w,Tr}$ = + 12 dB[2)3)] 	Inkl. $\Delta R_{w,Tr}$ = + 9 dB[3)] z.B. Erdgeschoss mit getrennten Fundamenten 	Inkl. $\Delta R_{w,Tr}$ = + 6 dB z.B. Erdgeschoss mit gemeinsamer Bodenplatte 
2 x 11,5 cm	**1,8**	≥ 410	65	62	59
2 x 11,5 cm	**2,0**	≥ 450	66	63	60
2 x 15 cm[1)]	**1,8**	≥ 520	68	65	62
2 x 15 cm[1)]	**2,0**	≥ 580	69	66	63
2 x 17,5 cm[1)]	**1,8**	≥ 605	69	66	63
2 x 17,5 cm[1)]	**2,0**	≥ 675	71	68	65
2 x 20 cm[1)]	**1,8**	≥ 690	71	68	65
2 x 20 cm[1)]	**2,0**	≥ 770	72	69	66
2 x 24 cm	**1,8**	≥ 825	73	70	67[4)]

Flankierende Bauteile mit $m'_{L,M}$ ~ 300 kg/m²
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.
[1)] Bereits mit beidseitig Dünnlagenputz (2 x 5 mm)
[2)] Bei durchgehenden Keller-Außenwänden (m' ≥ 575 kg/m²) gilt: a) im Kellergeschoss: $\Delta R_{w,Tr}$ = +3 dB b) im Erdgeschoss: $\Delta R_{w,Tr}$ = +9 dB c) in den Obergeschossen: $\Delta R_{w,Tr}$ = +12 dB
[3)] Bei einem Schalenabstand ≥ 50 mm und Ausfüllung des Schalenzwischenraums mit Mineralwolle-Dämmplatten (Typ WTH gemäß 4108-10) darf der Zuschlagswert $R_{w,Tr}$ um 2 dB erhöht werden.
[4)] Alternativ nach [63]: 2 x 20 cm mit RDK 2,0 und beidseitigem Dünnlagenputz (2 x 5 mm) sowie Trennfuge ≥ 4 cm, gefüllt mit Mineralfaserplatten, Typ WTH, Bodenplatte getrennt auf gemeinsamem Fundament.

mit es nicht zu einer schädlichen Kopplung der beiden Wandschalen kommt. Nach DIN 4109-32 sind Mineralwolle-Dämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10, vorzusehen. Früher häufig verwendete bituminierte Weichfaserdämmplatten sind zu steif. Dasselbe gilt auch für nicht elastifizierte Hartschaumplatten.

Größere Fugenbreiten als die in DIN 4109-32 mindestens vorgeschriebenen 30 mm sind nicht nur vom schalltechnischen Verhalten her, sondern auch zur Vermeidung von Körperschallbrücken vorteilhaft. Selbst bei Fugen mit mehr als 30 mm Breite darf zur Vermeidung von Körperschallbrücken nicht auf das Einlegen geeigneter Dämmplatten verzichtet werden.

INFO

- **Trennfuge muss vom Fundament bis zum Dach durchlaufen, ohne Körperschallbrücken**
- **Trennfuge mind. 30 mm, besser 40 mm dick mit Mineralwolle-Dämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10, ausführen**
- **im Fundamentbereich (unterstes Geschoss) ggf. schwerere KS-Wände als in den oberen Geschossen anordnen**
- **Randabschalungen für Stahlbetondecken verwenden, keine Rohrleitungen durch Haustrennwände führen**
- **im Dachbereich auf ausreichende (schalltechnische) Dichtigkeit achten**
- **die Trennwand muss mindestens 10 cm tief in die Dachkonstruktion einbinden**
- **durchlaufende Installationskanäle bei Reihenhäusern vermeiden**

Bild 35 **Dicht gestoßene Mineralfaserplatten Typ WTH vermeiden Schallbrücken**

7. Außenlärm

7.1 Anforderungen

Zum Schutz gegen Außenlärm werden in DIN 4109-1 Anforderungen an die Außenbauteile von Aufenthaltsräumen gestellt. Dazu soll deren Schalldämmung so hoch sein, dass der eindringende Lärm einen zumutbaren Schallpegel nicht überschreitet. Falls Außenbauteile aus mehreren Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung bestehen (z.B. Wände, Fenster, Türen, Rollladenkästen, Lüftungseinrichtungen), gelten die Anforderungen an das aus den einzelnen Schalldämm-Maßen der Teilflächen berechnete gesamte bewertete Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$. Es wird die Gesamtlärmbelastung zugrunde gelegt, die je nach Situation die Anteile der Geräuscheinwirkung von Straßen-, Schienen- und Wasserverkehr sowie von Gewerbe- und Industrieanlagen erfasst. Die Anforderungen gelten nicht für den Schutz gegen Fluglärm, soweit die Schallschutzmaßnahmen durch das „Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm“ [65] geregelt sind.

Die bisherige Aufteilung in Lärmpegelbereiche mit einer groben „5 dB-Stufung“ in DIN 4109:1989 und DIN 4109-1:2016-07 zur Festlegung der Anforderung an Außenbauteile wurde in einem Änderungsblatt zu DIN 4109 [33] bzw. [35] aufgehoben und in eine „dB-genaue“ Ermittlung der Anforderung überführt:

$$erf.R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart} \qquad (7.1)$$

Dabei werden die folgenden drei Raumarten, die sich nach Nutzungsart und Anforderungshöhe unterscheiden, zugrunde gelegt:

- $K_{Raumart}$ = 25 dB: Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien
- $K_{Raumart}$ = 30 dB: Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume u.Ä.
- $K_{Raumart}$ = 35 dB: Büroräume u.Ä.

Für den Fall dass – z.B. in Bebauungsplänen – ausschließlich die bisherigen Lärmpegelbereiche angegeben sind, wird in der Änderung zu DIN 4109 [33] bzw. [35] eine Tabelle mit der Zuordnung maßgeblicher Außenlärmpegel zu den entsprechenden Lärmpegelbereichen angegeben (Tafel 27). Die Ermittlung der Anforderung an die Luftschalldämmung zwischen Außen und Räumen in Gebäuden erfolgt auch in diesem Fall nach Gleichung 7.1, wobei für Bettenräume mindestens erf. $R'_{w,ges}$ = 35 dB und für alle weiteren schutzbedürftigen Räume mindestens erf. $R'_{w,ges}$ = 30 dB eingehalten werden müssen.

Ist erf. $R'_{w,ges} \geq 50$ dB, sind die Anforderungen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen. Damit ergeben sich für die Obergrenzen der maßgeblichen Außenlärmpegel der bisherigen Lärmpegelbereiche die in Tafel 27 dargestellten Anforderungen.

Für unterschiedliche maßgebliche Außenlärmpegel an unterschiedlich orientierten Außenflächen eines Raums werden sowohl bei der Berechnung von $R'_{w,ges}$ als auch der zu betrachtenden Fassadenfläche S_s alle schallbeanspruchten Außenbauteile des betrachteten Raums berücksichtigt. Um die an den jeweiligen Fassadenflächen anliegenden unterschiedlichen Lärmpegel zu berücksichtigen, wird für jeden Lärmpegelbereich, der vom maximal vorliegenden Lärmpegelbereich abweicht, ein Korrekturwert berechnet und auf alle Schalldämm-Maße der diesem Lärmpegelbereich zugeordneten Fassadenteile addiert.

Die Anforderungen in DIN 4109-1 enthalten bereits indirekt einen Korrekturwert von 5 dB zur Spektrum-Anpassung, welcher im Fall von Verkehrslärm (hohe Anteile tieffrequenten Lärms) und üblichen Außenbauteilen häufig in etwa zutreffend ist [66]. Im Rahmen einer Änderung zu DIN 4109-2:2016-07 [34] bzw. [36] wird für Schienenverkehrslärm eine pauschale Minderung des Beurteilungspegels von 5 dB festgelegt. Die Grundlage für diese Minderung ist die übliche Frequenzzusammensetzung von Schienenverkehrsgeräuschen in Verbindung mit dem Frequenzspektrum der Schalldämm-Maße von Außenbauteilen. Der oben erwähnte Korrekturwert von 5 dB wird durch die Minderung für Schienenverkehrslärm sozusagen wieder auf 0 zurück gesetzt. Die beschriebene Anwendung eines pauschalen Korrekturwerts lässt eine differenzierte Bemessung des Schallschutzes gegenüber Außenlärm, unter Berücksichtigung der spezifischen Schallspektren und spezifischen frequenzabhängigen Schalldämmung der an der Schallübertragung beteiligten Bauteile, nicht zu. Dies kann z.B. mit Hilfe von bauteilspezifischen Spektrum-Anpassungswerten erfolgen. Dazu findet sich in DIN 4109-2 die folgende informative Anmerkung:

„Für Planungszwecke außerhalb des Anwendungsbereichs von DIN 4109 können zur Berechnung der resultierenden Schalldämmung der Außenbauteile bei Bedarf zusätzlich auch die Spektrum-Anpassungswerte C oder C_{tr} verwendet werden, wenn die spektralen Eigenschaften des Außengeräuschs berücksichtigt werden sollen." In der VDI 4100: 2012 wird folgendermaßen auf diesen Sachverhalt hingewiesen:

„Es wird empfohlen, bei der Planung und Berechnung der erforderlichen Schalldämmung die Spektrum-Anpassungswerte (C und C_{tr}) nach DIN EN ISO 717-1 der für die Verwendung vorgesehenen Bauteile zu beachten, wenn es sich bei Außenlärm um auffällige Spektren handelt, z.B. Verkehrslärm mit tieffrequenten Schallanteilen."

Auf die Handhabung der Spektrum-Anpassungswerte bei Außenwänden mit WDVS wird in Abschnitt 7.4.3 eingegangen.

In der geplanten Überarbeitung der DIN 4109-1 werden die Anforderungen an Außenbauteile in Abhängigkeit vom Außenlärmspektrum, der Höhe des maßgeblichen Außenlärmpegels und der Raumnutzung gestellt. Das Außenlärmspektrum wird durch die beiden Spektrumanpassungswerte C und C_{tr} berücksichtigt. Durch die Verwendung der Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} bei der Anforderung an das Schalldämm-Maß der Außenbauteile ergibt sich trotz unterschiedlicher Anregespektren ein vergleichbar hoher Innengeräuschpegel. Für Außenlärm durch Straßenverkehr außerhalb geschlossener Ortschaften, Autobahnen, Bundes-, Landes- oder Kreisstraßen und Schienenverkehr (ohne

Tafel 27 Zuordnung zwischen Lärmpegelbereich und maßgeblichem Außenlärmpegel L_a sowie zugehörige Anforderungen gemäß [33] bzw. [35]

Zeile	Lärmpegelbereich	„Maßgeblicher Außenlärmpegel" L_a	Raumarten		
			Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	Büroräume[1] und Ähnliches
		[dB]	erf. $R'_{w,ges}$ des Außenbauteils [dB]		
1	I	55	35	30	30
2	II	60	35	30	30
3	III	65	40	35	30
4	IV	70	45	40	35
5	V	75	50	45	40
6	VI	80	[2]	50	45
7	VII	80	[2]	[2]	50

[1] An Außenbauteile von Räumen, bei denen der eindringende Außenlärm aufgrund der in den Räumen ausgeübten Tätigkeiten nur einen untergeordneten Beitrag zum Innenraumpegel leistet, werden keine Anforderungen gestellt.
[2] Die Anforderungen sind hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.

Tafel 28 Korrekturwerte K_{AL} für das erforderliche gesamte Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ nach Tafel 27 in Abhängigkeit vom Verhältnis S_S/S_G

S_S/S_G	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
Korrektur K_{AL} [dB]	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

S_S: Gesamtfläche des Außenbauteils eines Aufenthaltsraums in m²
S_G: Grundfläche eines Aufenthaltsraums in m²

Straßenbahnverkehr nach § 4 PbefG) werden Anforderungen an die Summe aus $R'_w + C$ gestellt. Für Außenlärm durch Straßenverkehr auf Straßen innerhalb geschlossener Ortschaften sowie Straßen mit offenporigem Asphalt, Straßenbahnverkehr, Flugverkehr, Wasserverkehr, Gewerbe und bei Lärmschutzwänden wird die Anforderung an die Summe aus $R'_w + C_{tr}$ gestellt. Unterschieden wird beim maßgeblichen Außenlärmpegel der Tagzeitraum $L_{a,T}$ und der Nachtzeitraum $L_{a,N}$. Wie bereits in den Vorgängerversionen ergeben sich auch aufgrund der Raumnutzung (Wohnräume, Büroräume, …) unterschiedliche Anforderungen.

Für Anforderungen bezüglich des Spektrum-Anpassungswertes C_x gilt, wobei C_x für C bzw. C_{tr} je nach Außenlärmspektrum steht:

- für Bettenräume in Krankenhäusern gilt: erf. $(R'_w + C_x) = L_{a,T} - 30$ dB
- für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches gilt: erf. $(R'_w + C_x) = L_{a,T} - 35$ dB
- für Aufenthaltsräume mit Schlafnutzung gilt: erf. $(R'_w + C_x) = L_{a,N} - 25$ dB
- für Büroräume und Ähnliches gilt: erf. $(R'_w + C_x) = L_{a,T} - 40$ dB
- für Bettenräume in Krankenhäusern sind mindestens erforderlich: erf. $(R'_w + C_x) = 30$ dB
- für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume, Büroräume und Ähnliches sind mindestens erforderlich: erf. $(R'_w + C) = 25$ dB

7.2 Nachweise

Für die Planung und den Nachweis des Schutzes gegen Außenlärm muss zuerst der maßgebliche Außenlärmpegel bekannt sein. Er wird in der Regel berechnet. Nur in Ausnahmefällen wird er durch Schallpegelmessungen vor Ort bestimmt. Er kann in Bebauungsplänen festgelegt sein, aus amtlichen Lärmkarten oder Lärmminderungsplänen entnommen oder beispielsweise für Verkehrslärm aus der Verkehrsbelastung von Straßen ermittelt werden. Je nach Art der Geräuschquellen sind bei der Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels unterschiedliche Regelungen zu berücksichtigen, die in DIN 4109-2 (Rechenverfahren) und DIN 4109-4 (messtechnische Nachweise) benannt werden.

Das gemäß Gleichung 7.1 ermittelte erforderliche gesamte Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ ist anschließend noch nach Gleichung (7.2) mit dem Korrekturwert K_{AL} hinsichtlich der Fassadenfläche und der Grundfläche des Empfangsraums zu korrigieren.

$$K_{AL} = 10 \lg \left(\frac{S_s}{0{,}8 \cdot S_G} \right) \text{ [dB]} \qquad (7.2)$$

mit

S_s Vom Raum aus gesehene gesamte Fassadenfläche
S_G Grundfläche des Raums

Vereinfacht können die Werte für K_{AL}, gerundet auf ganze Zahlen, auch der Tafel 28 entnommen werden.

Erst dieser korrigierte Wert stellt die tatsächliche Anforderung an die Schalldämmung der Außenbauteile dar. Unter Berücksichtigung des pauschalen Sicherheitsbeiwerts von 2 dB gilt damit für den Nachweis

$$R'_{w,ges} - 2 \text{ dB} \geq \text{erf. } R'_{w,ges} + K_{AL} \qquad (7.3)$$

Auch beim Außenlärm wird in den Fällen, bei denen die gemeinsame Trennfläche kleiner als 10 m² ist, nach DIN 4109-1 die Anforderung an die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$ gestellt.

INFO

Die Anforderung gilt immer an das gesamte Außenbauteil. Wenn dieses aus verschiedenen Teilflächen mit unterschiedlicher Schalldämmung – und ggf. auch unterschiedlicher Orientierung – besteht, z.B. aus einer Wand mit Fenstern und Einbauten wie Rollladenkästen und Lüftungseinrichtungen, dann sind die einzelnen Teilflächen mit ihrer jeweiligen Schalldämmung einzubeziehen.

Im Zuge der Planung wird deshalb zuerst die resultierende Schalldämmung der gesamten Außenbauteilfläche errechnet. Dazu werden für die Gesamtfläche S_s der gesamten Bauteilfläche die Teilflächen S_i der einzelnen Elemente mit ihren jeweiligen bewerteten Schalldämm-Maßen $R_{i,w}$ berücksichtigt, so dass sich die resultierende Gesamtdämmung $R_{w,ges}$ des Außenbauteils wie folgt ergibt:

$$R_{w,ges} = -10 \lg \left(\frac{1}{S_s} \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot 10^{\frac{-R_{i,w}}{10}} \right) \text{[dB]} \qquad (7.4)$$

Zu beachten ist bei dieser Rechnung, dass mit den Schalldämm-Maßen $R_{i,w}$ immer die Direktschalldämmung der einzelnen Elemente gemeint ist. Auch die resultierende Gesamtdämmung $R_{w,ges}$ beschreibt damit zuerst einmal nur die Direktschalldämmung der gesamten Außenbauteilfläche. Zur Erfüllung der Anforderungen muss aber ein Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ betrachtet werden. Das bedeutet, dass für die Gesamtübertragung des Außenlärms in den Empfangsraum außer der direkten Schallübertragung auch die Übertragung über flankierende Bauteile berücksichtigt werden muss. Die Flankenübertragung kann prinzipiell nach den Methoden der DIN 4109-2 (siehe Abschnitt 5.2.3.4, Gleichung (5.5)) berechnet werden und wird zu der nach Gleichung (7.3) berechneten Direktübertragung addiert. Der Anteil der flankierenden Übertragung ist im Einzelfall zu prüfen. Er ist in vielen Fällen unbedeutend und braucht deshalb meistens nicht berechnet zu werden.

Wenn jedoch biegesteife Fassadenbauteile (z.B. aus Mauerwerk) mit anderen biegesteifen Teilen des Empfangsraums (z.B. Decken oder Trennwänden) verbunden sind, kann die Flankenübertragung zur gesamten Schallübertragung beitragen. Rechnerisch muss sie dann berücksichtigt werden, wenn zur Erfüllung der Anforderungen das Schalldämm-Maß $R_{i,w}$ des massiven Außenbauteils mehr als 50 dB und das gesamte bewertete Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ mehr als 40 dB betragen soll.

Aus dem notwendigen Schalldämm-Maß der gesamten Fassade kann nicht unmittelbar auf die benötigte Schalldämmung der einzelnen Bauteile geschlossen werden. Eine schlechtere

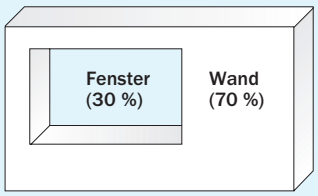
Schalldämmung des einen Bauteils kann (in gewissen Grenzen) durch eine bessere Schalldämmung eines anderen Bauteils ausgeglichen werden. So ist es die planerische Aufgabe, die Zusammenstellung der einzelnen Bauteile so vorzunehmen, dass sich hinsichtlich der Flächenanteile und Schalldämm-Maße der einzelnen Bauteile die geforderte resultierende Schalldämmung des gesamten Bauteils ergibt. Ein Beispiel für die mögliche Dimensionierung einzelner Bauteile bei vorgegebener Anforderung an die Gesamtdämmung findet sich in Tafel 31.

Ein einfaches Beispiel für den Nachweis zeigt Bild 36. Im vorliegenden Fall wird die resultierende Schalldämmung von den Fenstern bestimmt. Die schalltechnische Leistungsfähigkeit der Wand kommt nicht zum Tragen.

Für Fenster- und Türelemente kann die resultierende Schalldämmung in eingebautem Zustand von den Einbaufugen beeinflusst werden. DIN 4109-2 enthält Regelungen, wie bei schalltechnisch kritischen Einbausituationen die Fugen bei der Berechnung zu berücksichtigen sind. Kritische Einbausituationen liegen vor, wenn Fenster- oder Türelemente im Bereich einer Dämmebene eingebaut werden.

Auch in DIN 4109-2 werden sich im Rahmen der Überarbeitung der DIN 4109-Reihe aufgrund veränderter Anforderungsgrößen in DIN 4109-1 Änderungen ergeben. Im Wesentlichen bleibt der Nachweis gleich, allerdings mit den entsprechenden Größe $R'_w + C$ bzw. $R'_w + C_{tr}$.

Beispiel: Wohnraum



- maßgeblicher Außenlärmpegel L_a = 65 dB,
  erf. $R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart}$ = 65 dB - 30 dB = 35 dB
- Außenwand Kalksandstein 17,5 cm, RDK 2,0 mit WDVS:
  $R_{w\,(Wand)}$ = 56 dB nach Massekurve Kalksandstein (Gl. (5.4))
  WDVS mit Verbesserung der Schalldämmung ΔR_w = 2 dB
  $R_{w\,(Wand + WDVS)}$ = (56 + 2) dB = 58 dB
- Fenster:
  $R_{w\,(Fenster)}$ = 35 dB
  Fensterflächenanteil 30 %
- Resultierende Schalldämmung der Außenwand mit Fenstern nach Gl. (7.4):

$$R_{w,ges} = -10 \lg \left(0{,}7 \cdot 10^{\frac{-58}{10}} + 0{,}3 \cdot 10^{\frac{-35}{10}}\right) = 40 \text{ dB}$$

- Ermittlung des Bau-Schalldämm-Maßes $R'_{w,ges}$
  Annahme: wegen ausreichend schwerer Flankenbauteile keine Berücksichtigung der flankierenden Übertragung erforderlich
  $R'_{w,ges}$ = 40 dB
- Berücksichtigung der Flächenkorrektur nach Gl. (7.2)
  Wohnraum mit
  Außenwandfläche S_S = 10 m²
  Grundfläche S_G = 25 m²
  Korrektur $K_{AL} = -10 \lg \left(\frac{S_S}{0{,}8 \cdot S_G}\right)$ = -3 dB
- Für den Schallschutznachweis muss mit pauschalem Sicherheitsabschlag von 2 dB nach Gl. (7.3) gelten:
- $R'_{w,ges}$ - 2 dB ≥ erf. $R'_{w,ges} + K_{AL}$ bzw. $R'_{w,ges}$ - 2 dB - K_{AL} ≥ erf. $R'_{w,ges}$
- 40 dB - 2 dB + 3 dB = 41 dB ≥ 35 dB -> Nachweis erfüllt

Bild 36 **Beispiel für den Schallschutznachweis für eine KS-Außenwand mit WDVS und einem Fensteranteil von 30 %**

7.3 Zweischalige massive Außenwände

Derzeit ist die nach DIN 4109-2 vorgesehene Berechnung der Schalldämmung zweischaliger Außenwände nach DIN EN 1996/NA nicht möglich, da für die Luftschallverbesserung $\Delta R_{Dd,w}$ von massiven biegesteifen Verblendschalen aus Mauerwerk oder Vorsatzschichten aus Beton mit Luftschicht oder Dämmschicht noch keine abgesicherten Angaben vorliegen. Ersatzweise wird deshalb für zweischalige Außenwände mit Luftschicht für die Ermittlung der Schalldämmung der gesamten Konstruktion in Abschnitt 4.4.4. der DIN 4109-32 folgendes Verfahren vorgeschlagen:

„Bei zweischaligen Konstruktionen mit Luftschicht oder mit Kerndämmung aus mineralischen Faserdämmstoffen darf das bewertete Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ aus der Summe der flächenbezogenen Massen der beiden Schalen […] ermittelt werden. Das so ermittelte bewertete Schalldämm-Maß R_w darf um 5 dB erhöht werden. Wenn die flächenbezogene Masse der auf die Innenschale der Außenwand anschließenden Trennwände größer als 50 % der flächenbezogenen Masse der inneren Schale der Außenwand beträgt, darf das Schalldämm-Maß R_w um 8 dB erhöht werden."

Bei Sandwich-Elementen aus Beton oder bei Mauerwerk mit einer Kerndämmung, die unter Verwendung von Hartschaumstoffen hergestellt werden, wird in DIN 4109-32 übergangsweise vorgesehen, dass das bewertete Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ aus den flächenbezogenen Massen beider Schalen abzüglich 2 dB ermittelt wird.

In der geplanten Überarbeitung der DIN 4109-Reihe erfolgt die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes von zweischaligen massiven Außenwänden in DIN 4109-32 über die bewertete Luftschallverbesserung durch das Verblendmauerwerk. Dabei wird das Verblendmauerwerk als Vorsatzschale betrachtet. Das bewertete Schalldämm-Maß der Gesamtkonstruktion setzt sich dabei aus dem bewerteten Schalldämm-Maß der massiven Hintermauerung und der bewerteten Luftschallverbesse-

rung der Verblendschale zusammen. Die bewertete Luftschallverbesserung der Verblendschale wird aus dem Verhältnis der Gesamtmasse des Bauteils zur Masse der Hintermauerung sowie mittels einer Korrektur bezüglich der Kopplung der beiden Bauteile bestimmt.

7.4 Einschalige Außenwände mit WDVS

7.4.1 Außenwand zwischen Schall- und Wärmeschutz

Erhöhte Anforderungen an den Wärmeschutz können bei Mauerwerk durch konstruktive Maßnahmen realisiert werden. Als grundsätzliche Möglichkeiten kommen dabei in Frage:

- Verringerung der Steinrohdichte
- Vergrößerung der Wanddicke
- Mehrschichtige Aufbauten
- Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS)

Die aus wärmetechnischen Gründen erforderlichen Maßnahmen haben erfahrungsgemäß immer auch Auswirkungen auf den Schallschutz. Wesentlich ist dabei, dass sich wärmetechnische und schalltechnische Belange oftmals konträr verhalten, so dass wärmetechnische Verbesserungen zu teilweise signifikanten schalltechnischen Verschlechterungen führen können. Ursache solcher Verschlechterungen sind akustische Resonanzen der Wand- oder Steinstruktur, die bei den oben genannten wärmetechnischen Maßnahmen verstärkt in Erscheinung treten und die Direktschalldämmung mindern. Es besteht somit zwischen schall- und wärmetechnischen Anforderungen ein Zielkonflikt. Die genannten Resonanzerscheinungen mindern oft auch die Flankendämmung.

INFO

Vor allem treten immer wieder Probleme mit der Flankendämmung bei solchen Außenwänden auf, die aus wärmetechnischen Gründen leicht (und damit bezüglich der Flankendämmung zu leicht) gemacht wurden.

7.4.2 Schalltechnisches Verhalten einer massiven, einschaligen Wand mit WDVS

Für einschalige homogene Wände kann das bewertete Schalldämm-Maß in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse bestimmt werden. Für Außenwände aus Kalksandstein gilt dafür die Massekurve in Gleichung (5.4). Um die Wärmedämmung von Kalksandstein-Außenwänden zu realisieren, werden häufig auf der Außenseite WDVS angebracht, wodurch sich das schalltechnische Verhalten der einschaligen Wand verändert.

Akustisch verhält sich eine Massivwand mit WDVS wie ein Feder-Masse-System. Mit diesem einfachen Modell können bereits wesentliche akustische Eigenschaften einer Wand mit WDVS erklärt werden. Als Massen wirken die Massen der Wand und der Putzschicht. Als Feder fungiert die Dämmschicht (Bild 37).

Charakterisiert wird das Schwingungsverhalten durch die Resonanz des Feder-Masse-Systems bei der Resonanzfrequenz f_0. Das grundsätzliche schalldämmende Verhalten eines solchen zweischaligen Wandaufbaus zeigt Bild 38.

Unterhalb der Resonanzfrequenz verhält sich die Konstruktion wie eine gleichschwere einschalige Konstruktion. Die Schalldämmung steigt mit der Frequenz an, wie es für eine einschalige Wand zu erwarten ist. Im Frequenzbereich um f_0 wird aufgrund der großen Schwingungsamplituden die Schalldämmung drastisch vermindert. Oberhalb von f_0 hingegen kann die Schalldämmung gegenüber der gleichschweren einschaligen Konstruktion deutlich verbessert werden. Entscheidend ist also die Lage der Resonanzfrequenz. Da die (flächenbezogene) Masse der Wand sehr viel größer ist als diejenige der Putzschicht, kann sie bei der Berechnung der Resonanzfrequenz vernachlässigt werden. Für f_0 gilt dann:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ [Hz]} \qquad (7.5)$$

mit

s' Dynamische Steifigkeit der Dämmschicht in MN/m³

m' Flächenbezogene Masse der Putzschicht in kg/m²

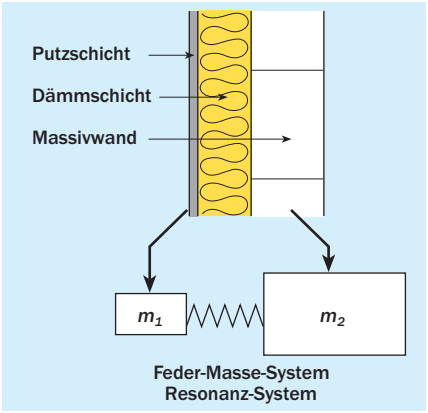


Bild 37 Wärmedämm-Verbundsystem als Feder-Masse-System

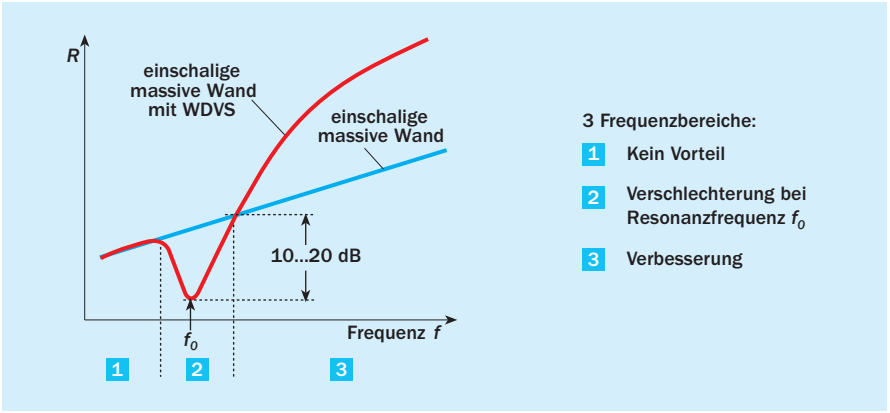


Bild 38 Schalldämmung R der einschaligen, massiven Wand ohne und mit WDVS

Üblicherweise wird eine möglichst tiefe Resonanzfrequenz angestrebt, da sie sich günstig auf das bewertete Schalldämm-Maß R_w auswirkt. Resonanzen im bauakustischen Frequenzbereich, vor allem bei mittleren Frequenzen, vermindern dagegen das bewertete Schalldämm-Maß der Konstruktion. Unter der Vorgabe eines möglichst hohen Schalldämm-Maßes heißt das für die konstruktiv zu bemessenden Einflussgrößen *s'* und *m'*:

- Dickere und damit schwerere Putzschichten sind günstiger.
- Die Steifigkeit des Dämmmaterials sollte möglichst gering sein.

Dass unter Schallschutzaspekten die Auslegung des WDVS allerdings nicht grundsätzlich nach diesen Gesichtspunkten erfolgen muss, zeigt sich bei näherer Betrachtung der Frequenzeigenschaften des Außenlärms.

7.4.3 Außenlärm: tieffrequent oder hochfrequent?

In zahlreichen Fällen tritt durch das WDVS eine Verschlechterung des Schalldämm-Maßes auf, bei entsprechender Dimensionierung sind vielfach allerdings auch Verbesserungen möglich (siehe hierzu Abschnitt 7.4.4). Nach üblichem Verständnis erscheint es sinnvoll, ein möglichst hohes bewertetes Schalldämm-Maß anzustreben. Für die praktische Anwendung stellt sich die Situation jedoch etwas komplizierter dar. Ob das gewählte WDVS den Schallschutz gegen Außenlärm tatsächlich verbessern kann, hängt auch von der konkreten Lärmsituation ab. Innerstädtischer Verkehrslärm z.B. hat seine dominierenden Geräuschanteile eher bei tiefen Frequenzen (Bild 39).

Eine tief liegende Resonanzfrequenz – die ansonsten gewünscht wird – kann dann zur Erhöhung des über die gedämmte Außenwand übertragenen Schalls führen. Die Geräuschsituation im Gebäude wird entgegen den Erwartungen möglicherweise schlechter. Hier kann ein – eigentlich als ungünstiger bewertetes – WDVS mit härteren Dämmschichten im Endergebnis zu einem günstigeren Gesamtresultat führen.

Umgekehrt sind die Verhältnisse jedoch, wenn der vor der Außenwand anstehende Lärm durch mittlere und höhere Frequenzen geprägt wird (z.B. Schienenverkehrslärm, Straßenverkehr bei hohen Geschwindigkeiten). Hier sind dann tatsächlich die WDVS mit weichen Dämmschichten auch im Endresultat günstiger (Bild 40).

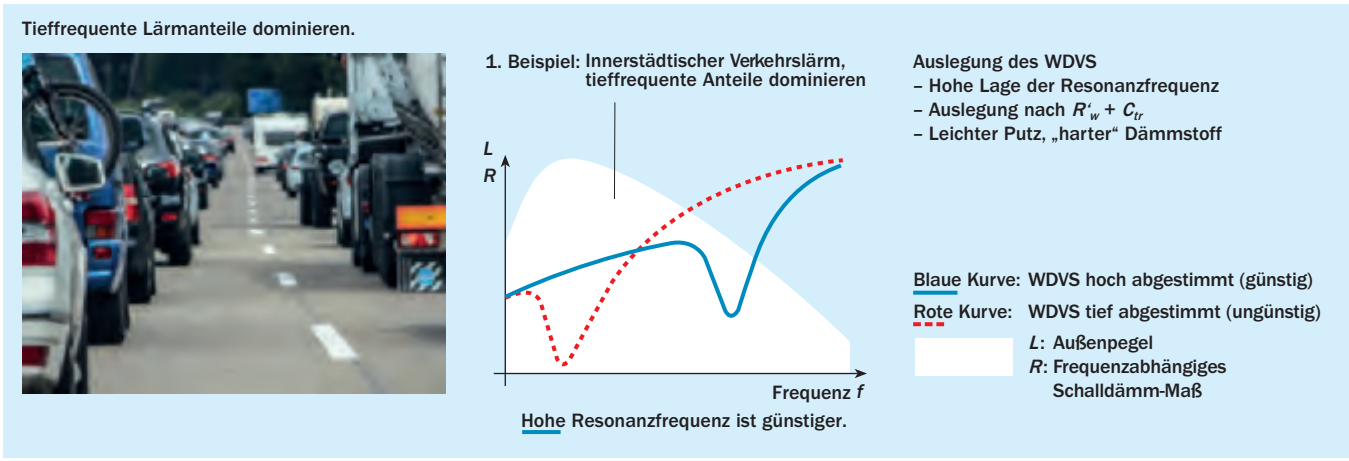


Bild 39 Reale Minderung von tieffrequentem Außenlärm

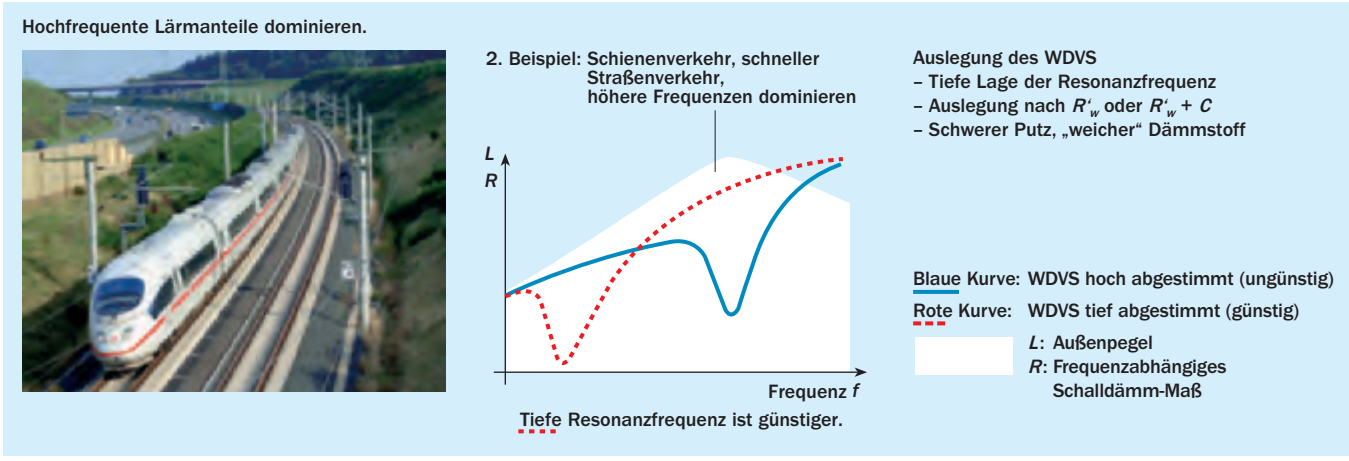


Bild 40 Reale Minderung von hochfrequentem Außenlärm

Als Fazit ergibt sich für die reale Minderung von Außenlärm:

- Das tatsächliche Geräuschspektrum spielt bei der Wirkung von WDVS eine Rolle.
- Eine am Schallschutz orientierte Planung sollte die aktuelle Geräuschsituation berücksichtigen.

Tafel 29 **Spektrum-Anpassungswerte für eine einschalige, massive Wand ohne und mit WDVS, Beispiel**

KS-Wand, d = 17,5 cm, RDK 1,8, geputzt, Fensterflächenanteil f = 30 %, ohne WDVS:	
Einzahlangaben	$R_w\ (C, C_{tr})$ = 51 (-1, -2) dB
Tieffrequente Wirkung	$R_w + C_{tr}$ = 51 - 2 = **49 dB**
KS-Wand, d = 17,5 cm, RDK 1,8, geputzt, Fensterflächenanteil f = 30 %, mit WDVS:	
Einzahlangaben	$R_w\ (C, C_{tr})$ = 53 (-2, -7) dB
Tieffrequente Wirkung	$R_w + C_{tr}$ = 53 - 7 = **46 dB**

Offensichtlich ist das bewertete Schalldämm-Maß als alleiniges Kriterium zur Auslegung des Schallschutzes nicht ausreichend. Um die frequenzabhängigen Eigenschaften in der aktuellen Geräuschsituation besser berücksichtigen zu können, haben die europäischen Regelwerke dafür die so genannten Spektrum-Anpassungswerte vorgesehen, die nach DIN EN ISO 717-1 als ergänzende Zahlenwerte zum bewerteten Schalldämm-Maß angegeben werden (Tafel 2) und in der geplanten Überarbeitung der DIN 4109-1 Eingang finden.

Die Spektrum-Anpassungswerte – je nach Bedarf C oder C_{tr} – können zum Wert des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w addiert werden, um mit einem neuen Einzahlwert die schalldämmende Wirkung einer Konstruktion gegenüber einer bestimmten Geräuschart zu charakterisieren. Als Beispiel zeigt Tafel 29 die Auswirkungen eines tief abgestimmten WDVS auf die Schalldämmung einer einschaligen, massiven Wand.

Im bewerteten Schalldämm-Maß R_w verbessert sich die Schalldämmung durch das WDVS von 51 dB um 2 dB auf 53 dB. Hinsichtlich der Dämmung von städtischem Verkehrslärm dagegen tritt eine Verschlechterung durch das WDVS von 49 dB um 3 dB auf 46 dB ein. Das Beispiel verdeutlicht, dass die adäquate Berücksichtigung der Außenlärmspektren je nach Problemstellung zu unterschiedlicher Beurteilung der schalltechnischen Eignung eines WDVS und zu unterschiedlichen konstruktiven Auslegungen führen kann.

INFO

Eine Ausrichtung nur am bewerteten Schalldämm-Maß R_w entspricht zwar der derzeitigen Praxis, die auch dem Nachweis der DIN 4109 für den Außenlärm entspricht, gewährleistet aber nicht in jedem Fall den sinnvollsten Schallschutz gegen Außenlärm.

Vielmehr ist in vielen Fällen von eher tieffrequent geprägten Geräuschspektren auszugehen, so dass die gehandhabte Praxis hier de facto zu Verschlechterungen führt. Eine auf schalltechnische Optimierung hin orientierte Planungsstrategie sollte die genannten Kriterien mit einbeziehen.

7.4.4 Schalltechnische Eigenschaften von Wärmedämm-Verbundsystemen

Ein WDVS auf einer massiven einschaligen Außenwand kann akustisch als Vorsatzschale betrachtet werden, die das Schalldämm-Maß R_w der Trägerwand verändert, was durch die so genannte Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w beschrieben wird (siehe hierzu Abschnitt 6.1.3.1). Zur Ermittlung von ΔR_w existiert ein durch die Zulassungen des DIBt [67] geregeltes Berechnungsverfahren, das in [68] ausführlich erläutert wird. Als Einflussgrößen werden neben der Resonanzfrequenz (siehe Gleichung (7.5)) die Trägerwand, die Verdübelung, die Klebefläche und (bei Dämmstoffen aus Mineralfaser) der Strömungswiderstand des WDVS berücksichtigt.

Ob durch WDVS eine Verschlechterung oder Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes der Trägerwand zustande kommt, hängt von den Eigenschaften des gewählten Aufbaus ab. Lange Zeit galten WDVS aufgrund steifer Wärmedämmschichten (Hartschäume) als schalltechnisch kritisch. Verschlechterungen des Schalldämm-Maßes bis maximal 10 dB sind im Vergleich zur unverkleideten Massivwand möglich. Bereits seit längerer Zeit sind Dämmschichten mit deutlich geringerer Steifigkeit verfügbar (Mineralfaserplatten, elastifizierte Hartschäume), die eine tiefere Resonanzfrequenz erlauben. Damit sind dann auch Verbesserungen des Schalldämm-Maßes möglich, die je nach Dämmmaterial, Putzschicht und Trägerwand deutlich über 10 dB liegen können. In den Zulassungsregeln des DIBt [67] wird das berechnete ΔR_w auf den Bereich von -6 bis +16 dB begrenzt.

INFO

Die Aussage, dass WDVS das bewertete Schalldämm-Maß verschlechtern, ist mit heutigen Systemen nicht mehr generell aufrecht zu erhalten.

Die Wahl des Dämmsystems entscheidet also, ob das Schalldämm-Maß verbessert oder verschlechtert wird.

Anhand von ΔR_w kann die Auswirkung eines WDVS auf die (Direkt)-Dämmung einer Wand wie folgt bestimmt werden:

$$R_{w,\ mit\ WDVS} = R_{w,\ ohne\ WDVS} + \Delta R_w\ [\text{dB}] \qquad (7.6)$$

Die Werte von ΔR_w können der jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassung der Dämmstoff-Hersteller entnommen werden. Beispiele für Korrekturwerte finden sich in Tafel 30.

7.4.5 Einfluss der Fenster bei Außenwänden mit WDVS

Wenn Außenbauteile aus mehreren Teilflächen mit unterschiedlicher Schalldämmung bestehen, müssen zur Ermittlung der gesamten Schalldämmung nach Gleichung (7.3) die einzelnen Teilflächen mit ihren jeweiligen Schalldämm-Maßen be-

Tafel 30 **Korrekturwerte des bewerteten Schalldämm-Maßes von Kalksandstein-Außenwänden mit WDVS entsprechend den jeweiligen Systemzulassungen – Richtwerte[1)] [69]**

		Dünnputz ≤ 10 kg/m²	Dickputz > 10 kg/m²
Geklebtes Polystyrol-WDVS		-2 dB	-1 dB
Geklebtes WDVS mit elastifiziertem PS		0 dB	+1 dB
Geklebtes und verdübeltes Polystyrol-WDVS		-1 dB	-2 dB
Mineralfaser-Lamellensystem		-5 dB	-5 dB
Geklebtes und verdübeltes Mineralfaserdämmplatten-WDVS	***d* = 50 mm**	-4 dB	-4 dB
	***d* = 100 mm**	-2 dB	-2 dB
PS-System mit Schienenbefestigung		+2 dB	+2 dB

[1)] Die konkret anzusetzenden Korrekturfaktoren sind der bauaufsichtlichen Zulassung des gewählten WDVS zu entnehmen.

rücksichtigt werden. Den häufigen Fall, dass die Gesamtfläche aus Wandfläche und Fensterflächen besteht, zeigt Bild 41.

Da Fenster üblicherweise eine deutlich niedrigere Schalldämmung als die massive Außenwand haben, verringert sich die resultierende Schalldämmung der gesamten Fläche gegenüber der Schalldämmung der Wand ohne Fenster. So führt z.B. ein relativ gutes Fenster mit $R_w = 35$ dB und einem Fensterflächenanteil von 30 % bei einer einschaligen Außenwand mit $R_w = 50$ dB rechnerisch bereits zu einer Verminderung um 10,5 dB, so dass $R_{w,ges}$ auf 39,5 dB sinkt. Die geringere Schalldämmung solcher Bauteile muss im Bedarfsfall durch eine entsprechend höhere Schalldämmung der Wand ausgeglichen werden, damit insgesamt das geforderte resultierende Schalldämm-Maß der Außenbauteile erreicht wird.

Wird die Außenwand mit einem WDVS versehen, dann ist auch in diesem Fall das resultierende Schalldämm-Maß zu bestimmen. Anhand zweier Beispiele (Tafel 31) sollen die Auswirkungen des WDVS auf die resultierende Schalldämmung aufgezeigt werden, wobei zum Vergleich schalltechnisch unterschiedliche WDVS und Fenster berücksichtigt werden. In der mathematischen Darstellung von Tafel 31 ist die durch die Fenster verursachte Verminderung der Gesamtdämmung durch den negativen zweiten Summanden erkennbar.

Im ersten Fall werden gute Fenster mit $R_w = 40$ dB angesetzt. Wird nun die Wand mit einem WDVS versehen, durch welches ihr Schalldämm-Maß auf $R_w = 54$ dB erhöht wird, so ändert sich $R_{w,ges}$ gegenüber dem Ausgangszustand nur geringfügig auf 45 dB. Wird stattdessen ein WDVS verwendet, durch welches sich das Schalldämm-Maß der Wand auf 46 dB vermindert, so verringert sich $R_{w,ges}$ lediglich auf 43 dB. Änderungen der Schalldämmung der Außenwand durch ein aufgebrachtes WDVS wirken sich demnach im resultierenden Schalldämm-Maß kaum aus.

Zur gleichen Aussage, allerdings noch deutlicher, führt der zweite Fall, bei welchem ein immer noch gutes Fenster mit $R_w = 35$ dB angesetzt wird. Änderungen der resultierenden Schalldämmung mit oder ohne WDVS liegen hier rechnerisch bei 0,5 dB.

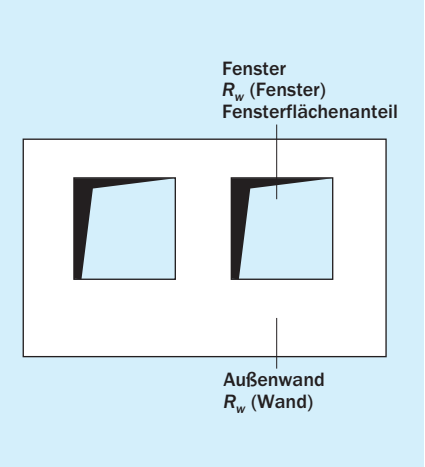


Bild 41 **Wand mit Fenstern: Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung**

Tafel 31 **Einfluss unterschiedlicher Fenster und WDVS auf die Schalldämmung der Außenwand; Wand: KS 17,5 cm, RDK 1,8 mit Innenputz, Fensterflächenanteil 30 %**

Beispiel 1: R_w (Fenster) = 40 dB	**Beispiel 2: R_w (Fenster) = 35 dB**
a) Wand ohne WDVS	a) Wand ohne WDVS
$R_{w,ges}$ = 50 dB - 6 dB = 44 dB	$R_{w,ges}$ = 50 dB - 10,5 dB = 39,5 dB
b) Wand mit WDVS (Verbesserung + 4 dB)	b) Wand mit WDVS (Verbesserung + 4 dB)
$R_{w,ges}$ = 54 dB - 9 dB = 45 dB	$R_{w,ges}$ = 54 dB - 14 dB = 40 dB
c) Wand mit WDVS (Verschlechterung - 4 dB)	c) Wand mit WDVS (Verschlechterung - 4 dB)
$R_{w,ges}$ = 46 dB - 3 dB = 43 dB	$R_{w,ges}$ = 46 dB - 7 dB = 39 dB

Als Fazit kann festgehalten werden:

- Schwachstelle ist (bei genügend schwerer Massivwand) in der Regel das Fenster.
- Änderungen der Schalldämmung der Außenwand durch WDVS wirken sich in diesem Fall nur gering aus.

Grundsätzlich kann mit der in Abschnitt 7.2 genannten Berechnungsmethode für jede beliebige Kombination aus Wand- und Fensterflächen bei unterschiedlicher Qualität der Schalldämmung von Wand und Fenstern die resultierende Gesamtdämmung ermittelt werden. Für die praktische Anwendung ist es notwendig, für bestimmte Kombinationen einer bestimmten Fensterdämmung und einer bestimmten Wanddämmung den maximal zulässigen Fensterflächenanteil zu kennen, damit die Anforderungen eines bestimmten Lärmpegelbereichs erfüllt werden können.

8. Schallabsorption

8.1 Begriffe

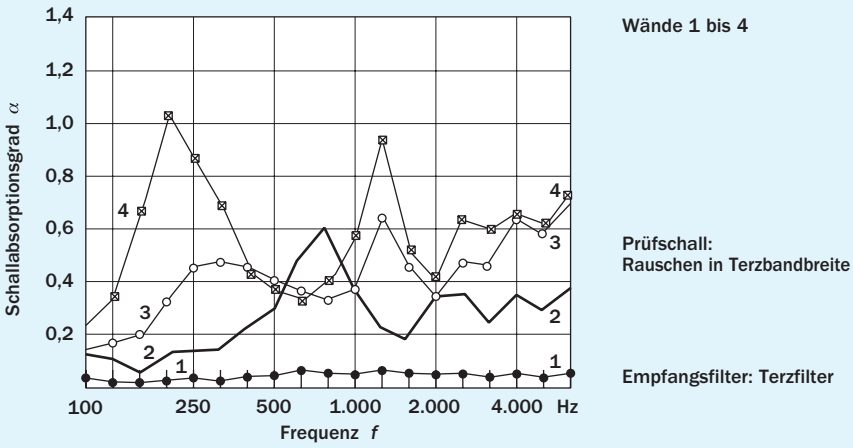
Wenn in der Bauakustik von Schalldämmung die Rede ist, dann bezeichnet man damit den Vorgang, dass der Schall durch Hindernisse an der Ausbreitung gehindert wird. Die Schallenergie selbst bleibt erhalten. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei der Schallabsorption um die Umwandlung von Schallenergie in Wärme. Den Schallwellen wird durch absorbierende Materialien (z.B. poröse Absorber, in die die Schallwellen eindringen können) Energie entzogen, so dass ihre Intensität vermindert wird.

Die Fähigkeit eines bestimmten Materials oder einer bestimmten Konstruktion, Schall zu absorbieren, wird durch den so genannten Schallabsorptionsgrad α charakterisiert. Er ergibt sich aus dem Verhältnis der nicht reflektierten zur auffallenden Schallenergie. Bei vollständiger Absorption (d.h. es wird keine Schallenergie reflektiert) hat er den Wert 1. Bei vollständiger Reflexion (d.h. es wird nichts absorbiert) gilt $\alpha = 0$. Der Schallabsorptionsgrad ist frequenzabhängig und wird nach DIN EN ISO 354 [70] im Hallraum bestimmt.

Wenn man das vorhandene Schallabsorptionsvermögen einer absorbierenden Fläche oder eines absorbierenden Gegenstandes quantitativ charakterisieren möchte, dann geschieht das durch die so genannte äquivalente Absorptionsfläche *A*. Diese ist eine fiktive, vollständig absorbierende Fläche ($\alpha = 1$), die so groß gewählt wird, dass sie insgesamt genauso viel Schallenergie absorbiert wie die betreffende Fläche oder der betreffende Gegenstand.

Tafel 32 Ausführungsvarianten schallabsorbierender Vorsatzschalen

Wand	Konstruktionsbeschreibung	Mittlerer Schallabsorptionsgrad α
1	24 cm KS 12 – 1,8 – 2 DF	0,04
2	24 cm KS 12 – 1,8 – 2 DF 1 cm Mörtelfuge 11,5 cm KS L 12 – 1,4 – 2 DF Löcher sichtbar (nicht durchgestoßen) 36,5 cm	0,24
3	24 cm KS 12 – 1,8 – 2 DF 6 cm Luftschicht 11,5 cm KS L 12 – 1,4 – 2 DF Löcher sichtbar und durchgestoßen 41,5 cm	0,39
4	24 cm KS 12 – 1,8 – 2 DF 4 cm Mineralwolleplatten 11,5 cm KS L 12 – 1,4 – 2 DF Löcher sichtbar und durchgestoßen 39,5 cm	0,52



Mit der Nachhallzeit T wird die Zeit beschrieben, die die Schallenergie in einem Raum benötigt, um nach dem Abschalten der Schallquelle auf 1/1.000.000 des Anfangswerts abzuklingen. T ist die wichtigste raumakustische Kenngröße. Mit der äquivalenten Absorptionsfläche A und dem Raumvolumen V hängt sie über die Sabine'sche Gleichung zusammen:

$$T = 0{,}16 \cdot \frac{V}{A} \text{ [s]} \qquad (8.1)$$

Dabei wird T in s, V in m³ und A in m² angegeben. Die Gleichung zeigt, dass die Nachhallzeit umso kleiner wird, je mehr Absorption sich im Raum befindet.

8.2 Einsatz von Schallabsorbern

Übliche Baustoffe, Bauteile oder Konstruktionen absorbieren nie vollständig und besitzen frequenzabhängige Absorptionsgrade. Für praktische Anwendungen sind Art und Fläche bzw. Anzahl der Absorber so zu wählen, dass im gewünschten Frequenzbereich die benötigte äquivalente Absorptionsfläche zur Verfügung steht. Dies kann erfolgen, um die Nachhallzeit im Raum gemäß Gleichung (8.1) zu regulieren. Es geht dabei um die raumakustische Qualität in Räumen, die eine optimale Nachhallzeit für Sprachdarbietungen oder Musikaufführungen benötigen. Zusätzliche Absorption ist aber auch dann erwünscht, wenn in lauten Räumen (z.B. Werkhallen) der Raumpegel gesenkt werden soll, um anwesende Personen vor Lärm zu schützen. Die Pegelminderung ΔL, die durch absorbierende Maßnahmen erreicht werden kann, ergibt sich aus der Absorptionsfläche ohne und mit durchgeführter Maßnahme:

$$\Delta L = 10 \lg \left(\frac{A_{mit}}{A_{ohne}} \right) = 10 \lg \left(\frac{T_{ohne}}{T_{mit}} \right) \text{ [dB]} \qquad (8.2)$$

INFO

Eine Verdoppelung der Absorptionsfläche führt im Raum zu einer Pegelminderung von 3 dB.

8.3 Schallabsorption mit KS-Wänden

Übliches Mauerwerk aus Kalksandstein besitzt aufgrund der schallharten Oberfläche nur geringe Absorptionsgrade im Bereich von $\alpha = 0{,}01$ bis 0,06. Für schallabsorbierende Zwecke ist es deshalb nicht interessant. Zusammen mit einer vorgemauerten Schale aus KS-Lochsteinen mit durchgehender Querlochung und 6 cm Luftspalt ohne und mit Mineralwolleinlage lassen sich jedoch hohe Schallabsorptionsgrade mit recht verschiedenartigen Frequenzverläufen verwirklichen. Messwerte des frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrades werden für einige schallabsorbierende Konstruktionen aus Kalksandstein-Mauerwerk in Tafel 32 dargestellt.

Literatur

[1] DIN 4110: Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen; 2. Ausgabe, Berlin 1938

[2] DIN 4109:1989-11: Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise

[3] DIN EN ISO 12354-1:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen

[4] Schneider, M.; Späh, M.; Blessing, S.; Fischer, H.-M.: Ermittlung und Verifizierung schalltechnischer Grundlagendaten für Wandkonstruktionen aus Kalksandstein-Mauerwerk auf der Grundlage neuer europäischer Normen des baulichen Schallschutzes; Abschlussbericht Nr. 1370 zum gleichnamigen AIF-Forschungsvorhaben der Hochschule für Technik Stuttgart, Februar 2002

[5] DIN 4109-2:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen

[6] DIN 4109-32:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Teil 32: Massivbau

[7] DIN EN ISO 10140: Akustik–Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 1 bis Teil 5

[8] DIN EN ISO 16283-1:2014-06: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 16283-1:2014); Deutsche Fassung EN ISO 16283-1:2014

[9] DIN EN ISO 717-1:2021-05: Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 717-1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 717-1:2020

[10] Weber, L.; Koch, S.: Anwendung von Spektrum-Anpassungswerten, Teil 1: Luftschalldämmung. In: Bauphysik 21 (1999), H. 4, S. 167–170

[11] DIN EN ISO 10848: Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen – Teil 1 bis Teil 4

[12] DIN EN ISO 16283-2: 2020-11: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 2: Trittschalldämmung (ISO 16283-2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 16283-2:2020

[13] Trendbefragung für Immobilienscout 24, Infofact 03/2008

[14] Alphei, H.; Hils, T.: Welche Abstufung der Schalldämm-Maße sind bei Anforderungen an die Luftschalldämmung sinnvoll? In: wksb, H. 59, 2007

[15] Kötz, W.-D.; Moll, W.: Wie hoch sollte die Luftschalldämmung zwischen Wohnungen sein? In: Bauphysik (1988), H. 3, S. 72–76
[16] Gösele, K.; Schüle, W.; Künzel, H.: Schall, Wärme, Feuchte, Bauverlag Gütersloh 2000
[17] Moll, W.: Analytische Herleitung von Anforderungen an den Luftschallschutz zwischen Räumen. In: Bauphysik 31 (2009), H. 4, S. 235–243
[18] DEGA-Richtlinie 103-1:2024-09 Schallschutz im Wohnungsbau - Teil 1: Schallschutzklassen und erhöhter Schallschutz, Deutsche Gesellschaft für Akustik, Berlin
[19] BGH-Entscheidung vom 14.06.2007, Az. VII ZR 45/06 zur DIN 4109/Schallschutz
[20] VDI-Richtlinie 4100:2007-08: Schallschutz von Wohnungen, Kriterien für Planung und Beurteilung
[21] VDI 4100:2012-10: Schallschutz im Hochbau – Wohnun--gen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz
[22] Summ, J.; Schimmer, A.; Schneider, M.: Stand des Luft- und Trittschallschutzes im Geschosswohnungsbau in Deutschland, In: Bauphysik 37 (2015), Heft 6, S. 323–333
[23] DIN 4109 Beiblatt 1:1989-11: Schallschutz im Hochbau – Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren
[24] DIN 4109 Beiblatt 2:1989-11: Schallschutz im Hochbau – Hinweise für Planung und Ausführung – Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz – Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich
[25] DIN 4109 Beiblatt 3:1996-06: Schallschutz im Hochbau – Berechnung von $R'_{w,R}$ für den Nachweis der Eignung nach DIN 4109 aus Werten des im Labor ermittelten Schalldämm- Maßes R_w
[26] DIN 4109-1:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen
[27] DIN 4109-31:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 31: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Rahmendokument
[28] DIN 4109-33:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau
[29] DIN 4109-34:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen
[30] DIN 4109-35:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden
[31] DIN 4109-36:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 36: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Gebäudetechnische Anlagen
[32] DIN 4109-4:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 4: Bauakustische Prüfungen
[33] E DIN 4109-1/A1:2017-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen; Änderung A1
[34] E DIN 4109-2/A1:2017-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen; Änderung A1
[35] DIN 4109-1:2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen
[36] DIN 4109-2:2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
[37] DEGA Memorandum: Die DIN 4109 und die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik, Deutsche Gesellschaft für Akustik, DEGA BR 0101, Berlin, März 2011
[38] VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates
[39] Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB), Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, Ausgabe 2019
[40] Urteil OLG München vom 19.05.2009, Az.9 U 4198/08, nicht rechtskräftig
[41] BGH-Urteil vom 04.06.2009, Az. VII ZR 54/07
[42] DEGA-Memorandum BR 0104: Schallschutz im eigenen Wohnbereich, Deutsche Gesellschaft für Akustik, Berlin, Februar 2015
[43] Gösele, K.; Kandel, L.; Linhardt, A.: Schallschutzkosten im Wohnungsbau, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1991
[44] Kötz, W.-D.: Kosten des Schallschutzes im Wohnungsbau – Beispiele für kostengünstige Lösungen. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), Januar 2001, S. 20–22
[45] Kutzer D.: Schallschutz von Seniorenheimen – Schreiben vom 16.9.2009 und 30.9.2009 an den Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.
[46] [46] DIN EN ISO12354-2:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigen- schaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen
[47] DIN EN ISO 12354-3:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigen- schaften – Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm
[48] DIN EN ISO 12354-4:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigen- schaften – Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie
[49] DIN EN 12354-5:2023-08 Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 5: Installationsgeräusche; Deutsche Fassung EN 12354-5:2023
[50] DIN EN 12354-6:2004-04: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen
[51] DIN 8989:2019-08: Schallschutz in Gebäuden – Aufzüge
[52] ISO/TS 19488: Acoustics – Acoustic classification scheme for dwellings, 2021
[53] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Schallschutzrechner (www.kalksandstein.de)
[54] Maack, J.: Schallschutz zwischen Reihenhäusern mit unvollständiger Trennung, Abschlussbericht mit Anhang Prüfbericht zum BBR-Forschungsvorhaben BBR Z 6-5.4-02.19, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2005
[55] Fischer, H.-M.; Scheck, J.; Schneider, M.: Vorläufiges Verfahren zur Schalldämm-Maß-Prognose von zweischaligen Haustrennwänden aus Kalksandstein unter Berücksichtigung einer unvollständigen Trennung, Bericht Nr. 132-012 02P, Hochschule für Technik, Stuttgart 2007
[56] Fischer, H.-M.: Stellungnahme zur Schalldämmung einschaliger Wände aus Kalksandstein ohne Stoßfugenvermörtelung, Stuttgart 2001

[57] Bestimmung der Stoßstellendämmung an T-Stößen aus Kalksandsteinmauerwerk bei unterschiedlicher Knotenpunktausbildung. Berichte Nr. FEB/FS 07/00 und Nr. FEB/FS 07/00-1 der Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaft für Bauphysik e.V. an der Fachhochschule Stuttgart/Hochschule für Technik
[58] Fischer, H.-M.: Stellungnahme zur Luftschalldämmung einer einschaligen Wand aus Kalksandstein ohne und mit Installationen, Stuttgart 2001
[59] ZVSHK-Merkblatt und Fachinformation „Schallschutz“. Zentralverband Sanitär Heizung Klima, Sankt Augustin 2003
[60] Fischer, H.-M.: Beurteilung des Einflusses von KS-ISO-Kimmsteinen auf die Schalldämmung von KS-Mauerwerk, Stuttgart 2000
[61] DIN EN ISO 10052:2021-11: Akustik – Messung der Luftschalldämmung und Trittschalldämmung und des Schalls von haustechnischen Anlagen in Gebäuden – Kurzverfahren (ISO 10052:2021); Deutsche Fassung EN ISO 10052:2021
[62] Meier, A.: Baulicher Schallschutz für Aufzugsanlagen, Fortschritte der Akustik – DAGA 2016 Aachen, S. 512–514
[63] Fischer, H.-M.: Stellungnahme zum zu erwartenden Schalldämm-Maß einer zweischaligen Haustrennwand aus Kalksandstein, Stuttgart 2007
[64] Focke, K.: Schallschutz bei zweischaligen Haustrennwänden von Doppel- und Reihenhäusern – Schalltechnische Anforderungen, Bauweisen und Nachweisverfahren. Mitteilungsblatt Nr. 255 der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. 2017
[65] Fluglärmgesetz, Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm, vom 31. Oktober 2007, BGBl Jahrgang 2007 Teil I Nr. 56, S. 2550–2556
[66] Meier, A.: Schallschutz gegen Außenlärm in DIN 4109 – Anforderungen und Hintergründe, Bauphysik 39, Heft 4, 2017
[67] Beschlussbuch des DIBt, SVA B2 Schalldämmung und Schalldämmstoffe, Beschluss-Nr. 3.22
[68] WDV-Systeme zum Thema Schallschutz, Technische Systeminfo 7 des Fachverbands Wärmedämm-Verbundsysteme e.V., Januar 2013
[69] Vogdt, F. U.: Außenwände. In: Kalksandstein. Planungshandbuch. Planung. Konstruktion. Ausführung. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., 6. Auflage, Hannover 2013
[70] DIN EN ISO 354:2003-12: Akustik – Messung der Schallabsorption in Hallräumen (ISO 354: 2003); Deutsche Fassung EN ISO 354:2003
[71] E DIN 4109-2/A1:2020-05: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen;Änderung A1
[72] DIN 4109-5:2020-08: Schallschutz im Hochbau – Teil 5: Erhöhte Anforderungen
[73] DIN 4109-34/A1:2019-12: Schallschutz im Hochbau –Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) –Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen; Änderung A1
[74] DIN 4109-35/A1:2019-12: Schallschutz im Hochbau – Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) –Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden; Änderung A1
[75] DIN SPEC 91314:2017 01: Schallschutz im Hochbau – Anforderungen für einen erhöten Schallschutz im Wohnungsbau

Bildnachweise

Bild S. 270: janvier/AdobeStock;
Bild S. 271 oben und unten: lezek glasner/AdobeStock;
Bild 39: pixabay; **Bild S. 282:** © Erich Spahn/KS-ORIGINAL

Bild S. 320: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 12

WINTERLICHER WÄRMESCHUTZ

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach,
MHS Ingenieurbüro München

Stand: 08/2025

1. Überblick

Einleitung

Der bauliche Wärmeschutz spielt eine zentrale Rolle für die Energieeffizienz von Gebäuden. Ein gut geplanter Wärmeschutz ermöglicht nicht nur einen sparsamen Energieverbrauch und niedrige Energiekosten, sondern trägt auch zu einem hohen Wohlfühlfaktor bei. Darüber hinaus ist ein effektiver Wärmeschutz die Grundvoraussetzung für energieeffizientes Heizen im Winter. Zusammen mit einem wirksamen Sonnenschutz und wärmespeichernden Bauteilen sorgt er für angenehme Raumtemperaturen im Sommer. Bei einer klugen Planung lassen sich Energieeffizienz, Behaglichkeit und Wohnkomfort für die Bewohner gleichzeitig steigern, wodurch Gebäude langfristig energie- und kostensparend genutzt werden können.

Bedeutung des Wärmeschutzes für den Energieverbrauch

In Deutschland entfallen knapp 30 % des Gesamtenergieverbrauchs auf private Haushalte, das sind 632 TWh/a, wobei 66,8 % davon für Raumwärme und weitere 15,8 % für die Warmwasserbereitung genutzt werden (Bild 1). Trotz intensiver Bemühungen, den Gebäudebestand von fossilen Energieträgern auf regenerative Energieträger umzustellen, stammen nach wie vor rund 80 % der für Raumwärme und Warmwasserbereitung genutzten Energie aus fossilen Quellen. Die Dekarbonisierung des Gebäudesektors durch den Ersatz fossiler Heizsysteme und die Steigerung der energetischen Qualität der Gebäude sind von entscheidender Bedeutung, um die Treibhausgasemissionen in diesem Sektor zu reduzieren und die Klimaschutzziele zu erreichen.

Wärmeschutz als Klimaschutz

Wärmeschutz ist gleichzeitig Klimaschutz. Je weniger Energie verbraucht wird, desto geringer sind die Emissionen von CO_2, Ruß und Feinstaub. Ein guter baulicher Wärmeschutz trägt somit maßgeblich zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Emissionen bei.

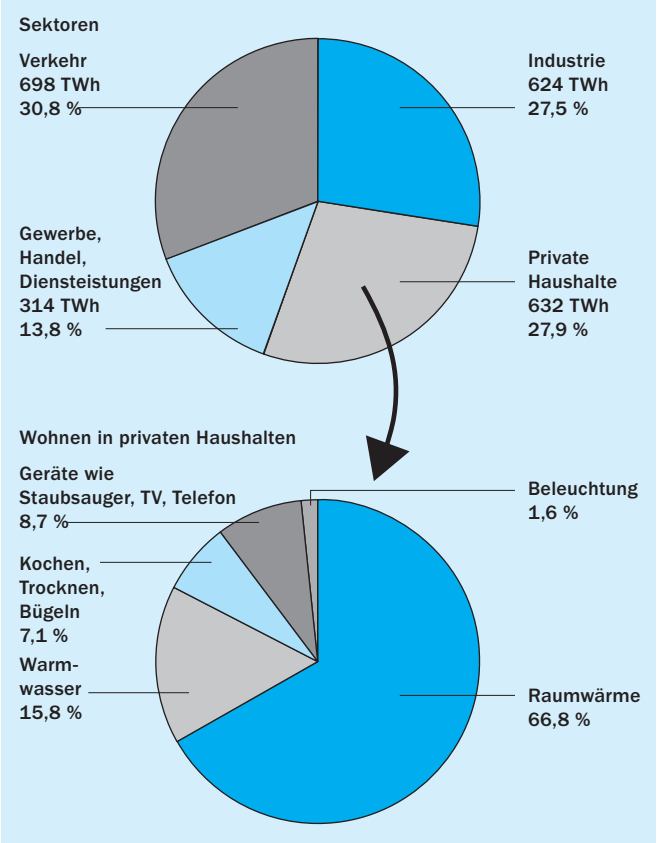


Bild 1 Endenergiebedarf in Deutschland nach Sektoren [1] und für Wohnen in privaten Haushalten im Jahr 2023 [2].

2. Normenwerk zum baulichen Wärmeschutz

Die Gewährleistung eines angemessenen Niveaus des baulichen Wärmeschutzes und der Energieeinsparung in Gebäuden wird durch eine Reihe von Gesetzen und Normen geregelt. Hervorzuheben sind insbesondere das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und die Normenreihen DIN 4108 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden“ und DIN/TS 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“. Das GEG definiert die grundlegenden öffentlich-rechtlichen Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und die Energieeinsparung in Gebäuden; es stellt somit den gesetzlichen Rahmen für diesen Bereich dar. Die Normenreihe DIN 4108 konkretisiert die Mindestanforderungen und enthält darüber hinaus weitere Vorgaben u.a. für den baulichen Wärmeschutz und die Energieeinsparung. Die Normenreihe DIN/TS 18599 beschreibt, wie der Energiebedarf von Gebäuden für die Zwecke des Energieausweises berechnet wird.

Obwohl Normen primär privatwirtschaftliche und haftungsrechtliche Bedeutung haben, werden einige Normen, wie die DIN 4108-2 und DIN 4108-3, durch Verweise im GEG oder in bauaufsichtlichen Regelungen öffentlich-rechtlich verbindlich. Es ist aber empfehlenswert, über die Anforderungen der DIN 4108 und des GEG hinauszugehen, um zukunftsfähige Gebäude zu realisieren. Ziel sollte es sein, Gebäude zu planen, die nicht nur den aktuellen Mindestanforderungen genügen, sondern auch in Zukunft den steigenden Anforderungen an Wärmeschutz, Wohnkomfort und Energieeffizienz gerecht werden (Bild 2). Solche Gebäude zeichnen sich durch einen geringen Energieverbrauch aus, der möglichst ohne schädliche Umweltkonsequenzen gedeckt werden kann, und bleiben langfristig werthaltig.

Energieeffizienzanforderungen im Gebäudeenergiegesetz

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) stellt ganzheitliche Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden, indem es die Kombination aus Gebäudehülle, Anlagentechnik und Energieträger berücksichtigt. Im Gegensatz zu früheren Regelungen, die sich auf bauteilbezogene Anforderungen wie den Dämmwert konzentrierten, adressiert das GEG nun das Gebäude als Gesamtsystem. Bauteilspezifische Anforderungen werden lediglich noch für die Sanierung einzelner Bauteile in Bestandsimmobilien gestellt.

Baulicher Mindestwärmeschutz nach DIN 4108

Die Normenreihe DIN 4108, insbesondere Teil 2, legt hingegen Mindestanforderungen an den Wärmeschutz der Gebäudehülle fest, sowohl in der Bauteilfläche als auch im Bereich von Wärmebrücken. Diese Mindestanforderungen dienen primär hygienischen Zwecken, wie der Vermeidung von Oberflächenkondensat, Tauwasser und Schimmelpilzbildung, und somit dem thermischen und gesundheitlichen Schutz der Nutzer. DIN 4108-2 ist bauaufsichtlich eingeführt und als Teil der Technischen Baubestimmungen in der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVVTB) verbindlich vorgeschrieben.

Praxisrelevanz des baulichen Mindestwärmeschutzes

In der Praxis werden die Mindestanforderungen des baulichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 in der Bauteilfläche meist deutlich übertroffen, da Bauteile, die lediglich den Mindestanforderungen entsprechen, weit hinter den heutigen Ansprüchen an Energieeinsparung, Komfort und erwarteter Bauqualität zurückbleiben würden. Die Einhaltung der DIN 4108-2 stellt somit eine Mindestanforderung dar, die in der Praxis aufgrund höherer Energieeffizienzstandards und Qualitätsansprüche regelmäßig überschritten wird.

Ganzheitliche Berechnung des Energiebedarfs

Die Normenreihe DIN/TS 18599 beschreibt die Berechnung des Gesamtenergiebedarfs des Gebäudes, im Zusammenspiel aus Gebäudehülle, Anlagentechnik und Nutzung. Sie wird durch das GEG als Grundlage für die energetische Bewertung im Energieausweis festgelegt.

Darüber hinaus werden viele grundlegende bauphysikalische Berechnungsverfahren für die Gebäudehülle in internationalen Normen beschrieben, auf die die deutschen Normen verweisen. Die wichtigsten Normen, physikalischen Größen, Formelzeichen und Einheiten im Bereich der baulichen Wärmedämmung und des klimabedingten Feuchteschutzes sind im Anhang zusammengefasst (Tafeln A1 und A2).

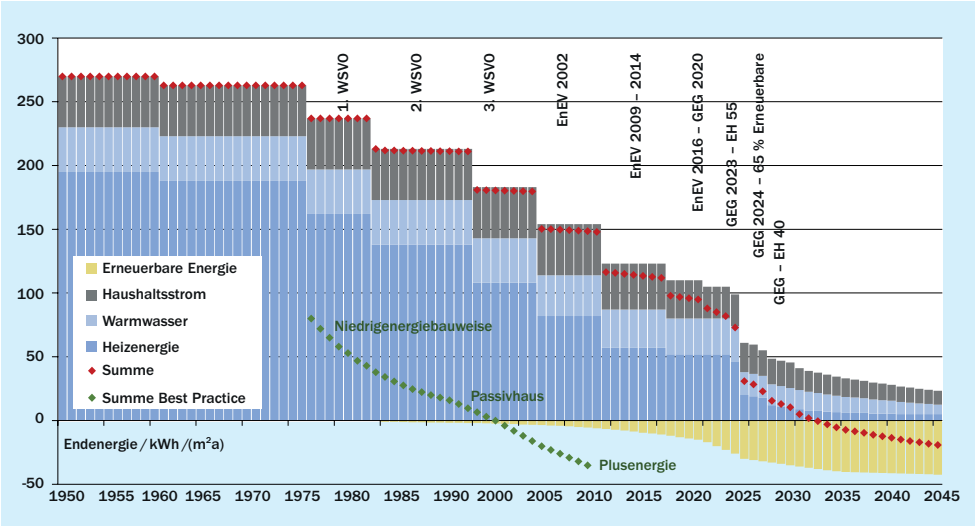


Bild 2 Entwicklung des Endenergiebedarfs von Neubauten, Vergleich von gesetzlichen Mindestanforderungen und Best-Practice-Standard

2.1 Normenreihe DIN 4108

Die Normenreihe DIN 4108 besteht aus den Teilen:

Bild 3 Gliederung der DIN 4108

Sie ist unter dem Namen DIN 4108 erstmalig 1952 erschienen, damals noch mit recht überschaubarem Umfang und ohne Unterteile. Sie wurde seitdem mehrfach überarbeitet, erweitert und der Übersichtlichkeit halber in mehrere Teile aufgeteilt. Ihre aktuellen Festlegungen gelten für Neubauten und für den Ersatz oder Einbau von Bauteilen in bestehende Gebäuden; für unveränderte Bauteile bestehender Gebäude ist die Fassung zum Zeitpunkt der Errichtung maßgeblich. Wesentliche Inhalte der einzelnen Normenteile sind (Bild 3):

- DIN 4108-2 legt die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz von Bauteilen und im Bereich von Wärmebrücken fest. Zusätzlich enthält sie Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, ein vereinfachtes Nachweisverfahren sowie Bedingungen für eine thermische Gebäudesimulation als Nachweis. Die Norm ist bauaufsichtlich eingeführt, mit Ausnahme der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, welche mittelbar durch den Verweis aus dem GEG Bedeutung erlangen.
- DIN 4108-3 behandelt den klimabedingten Feuchteschutz, das sogenannte Glaser-Verfahren (Blockklima-Verfahren) sowie zugehörige Anforderungen und Rechenverfahren. Ferner enthält sie eine umfangreiche Liste an Bauteilen, die in dieser Hinsicht keines weiteren Nachweises bedürfen (nachweisfreie Bauteile).
- DIN 4108-4 tabelliert wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte, die für die Berechnungen zu verwenden sind. Sie legt die Umrechnung von Nennwerten der Wärmeleitfähigkeit nach europäischen Produktnormen, nationalen oder europäischen Produktzulassungen oder Bauartgenehmigungen in Bemessungswerte fest. International vereinheitlichte Materialkennwerte finden sich in DIN EN ISO 10456.
- DIN 4108-7 gibt Anforderungen und Ausführungshinweise zur Luftdichtheit der Gebäudehülle.
- DIN/TS 4108-8 erläutert Aspekte und Zusammenhänge zur Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden und stellt ein Berechnungsverfahren für den Nachweis ausreichender Fensterlüftung zum Feuchteschutz dar.
- DIN 4108-10 definiert die Anwendungstypen von Dämmstoffen und listet die erforderlichen Eigenschaftswerte auf.
- DIN 4108-11 stellt Anforderungen an bauliche Klebebänder und Klebemassen zur Herstellung luftdichter Ebenen.
- DIN 4108 Beiblatt 2 [7] gibt Empfehlungen zur Wärmebrückenreduzierung bei Bauteilanschlüssen und legt Anforderungen für den verminderten Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} fest.

2.2 Normenreihe DIN/TS 18599

Die Normenreihe DIN V 18599 beziehungsweise DIN/TS 18599 definiert die rechnerische Vorgehensweise zur energetischen Bewertung von Gebäuden, unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen der Gebäudehülle, der Anlagentechnik und der Nutzung des Gebäudes. Bis 2018 als Vornorm (V) veröffentlicht, wird sie seitdem, neu überarbeitet, als Technische Spezifikation (TS) herausgegeben. Der Umfang dieser Normenreihe (Tafel 1) erstreckt sich von den Grundlagen und grundsätzlichen Bilanzierungsgleichungen in Teil 1 über die energetische Bewertung der Gebäudehülle in Teil 2 bis hin zur Bewertung der Heizungs-, Warmwasser-, Lüftungs-, Klimatechnik, Beleuchtung und Gebäudeautomation in den Teilen 3 bis 9 sowie 11. Teil 10 legt die anzusetzenden Nutzungsprofile für Gebäude und Anlagentechnik fest. Die früheren Teile 12 und 13 enthielten Tabellenverfahren für Wohn- und Nichtwohngebäude auf dem Normenstand von 2018, und wurden mit der Aktualisierung 2025 zurückgezogen.

Im Normenwerk wurde die frühere Fokussierung auf den Wärmeverlust im Winter auch sprachlich durch einen allgemeineren Bezug auf Wärmetransport oder Wärmetransfer ersetzt, um eine nahtlose Anwendbarkeit der Normen und Verfahren auch für den sommerlichen Wärmeeintrag zu gewährleisten. Formulierungen, Formelzeichen und Gleichungen gelten somit sowohl für den Winter als auch für den Sommer. Dabei werden im Normenwerk Wärmeeinträge in den Raum, die im Winter erwünscht, im Sommer jedoch unerwünscht sind, konse-

Tafel 1 Normenreihe DIN/TS 18599

Teil 1	**Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger:** Grundlagen für die ganzheitliche Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs von Gebäuden; Begriffe und Methoden; Zusammenspiel der Normteile
Teil 2	**Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen:** Raumbilanz und Berechnung des Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen der Gebäudehülle.
Teil 3	**Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung:** Nutzenergiebedarf für Lüftung und Klimatisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden, inklusive Endenergiebedarf für die Luftförderung.
Teil 4	**Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung:** Ermittlung des monatlichen und jährlichen Endenergiebedarfs für Beleuchtungszwecke in Nichtwohngebäuden, inkl. Berücksichtigung der Tageslichtnutzung und des Einflusses von Präsenzmeldesystemen.
Teil 5	**Endenergiebedarf von Heizsystemen:** Bestimmung des Nutz- und Endenergiebedarfs von Heizsystemen in Wohn- und Nichtwohngebäuden, einschließlich Wärmeübergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung.
Teil 6	**Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau:** Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarfs für Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsysteme in Wohngebäuden.
Teil 7	**Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau:** Berechnung des energetischen Verhaltens von RLT- und Klimakälteanlagen in Nichtwohngebäuden.
Teil 8	**Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungsanlagen:** Bestimmung des Nutz- und Endenergiebedarfs für die Trinkwarmwassererwärmung in Wohn- und Nichtwohngebäuden.
Teil 9	**End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen:** Bewertung der Stromerzeugung im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude; Berechnung des End- und Primärenergiebedarfs insbesondere von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).
Teil 10	**Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten:** Zusammenstellung der maßgeblichen Nutzungsrandbedingungen ca. 40 Nutzungsprofile von Wohn- und Nichtwohngebäuden, einschließlich der Klimadaten für das Referenzklima Deutschland. Die Nutzungsrandbedingungen umfassen unter anderem Raum-Solltemperaturen, interne Wärmegewinne, Nutzungszeiten, Trinkwarmwasserbedarf und Luftwechsel. Die Nutzungsrandbedingungen sind für den GEG-Nachweis heranzuziehen und bieten darüber hinaus Informationen für die Anwendung im Rahmen der Energieberatung.
Teil 11	**Gebäudeautomation:** Anforderungen an die Gebäudeautomation für deren Bewertung; inklusive Überwachung, Steuerung und Regelung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen und anderen Komponenten der Gebäudeautomation für Wohn- und Nichtwohngebäude.
Teil 12	**Tabellenverfahren für Wohngebäude:** Tabellenverfahren für die energetische Bewertung von Wohngebäuden, basierend auf dem ausführlichen Verfahren der Norm (Stand 2018). Wird nicht mehr auf die Ausgabe 2025 aktualisiert; entfällt mit der Veröffentlichung von DIN/TS 18599:2025.
Teil 13	**Tabellenverfahren für Nichtwohngebäude:** Tabellenverfahren für die energetische Bewertung von Nichtwohngebäuden, basierend auf dem ausführlichem Verfahren der Norm (Stand 2018). Wird nicht mehr auf die Ausgabe 2025 aktualisiert; entfällt mit der Veröffentlichung von DIN/TS 18599:2025.
Beiblatt 1	Bedarfs-/Verbrauchsabgleich
Beiblatt 3	Standardisiertes Ausgabeformat für die Berechnungsergebnisse einer Gebäude- Energiebilanz

quent als Wärmequellen bezeichnet, während Wärmeausträge aus dem Raum, die im Sommer erwünscht, im Winter jedoch unerwünscht sind, als Wärmesenken definiert werden. Diese Terminologie ermöglicht eine wertungsfreie und durchgehend logische Begrifflichkeit.

2.3 Grundlegende ISO-Berechnungsnormen für die Gebäudehülle

Die bauphysikalischen Berechnungsverfahren für die Bauteile der Gebäudehülle sind in einer Reihe internationaler ISO-Normen verankert, die vom DIN als DIN EN ISO übernommen wurden. Diese Normen bilden die Grundlage für eine konsistente und detaillierte Bewertung der thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle und ermöglichen eine Betrachtung aller relevanten Einflussfaktoren.

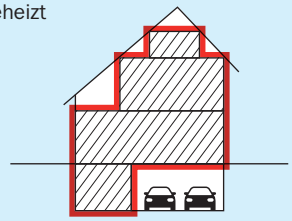
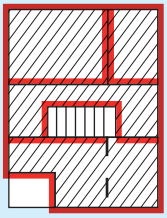
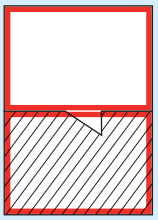
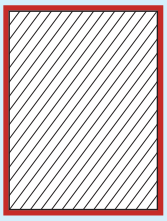
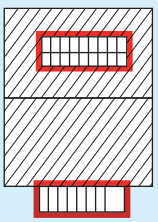
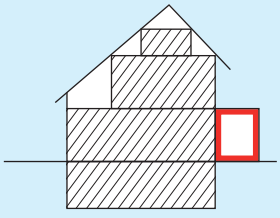
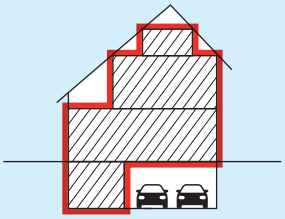
- DIN EN ISO 6946 regelt die Berechnung des stationären Wärmedurchgangswiderstands R und des Wärmedurchgangskoeffizienten U für opake Bauteile.
- DIN EN ISO 10211 behandelt die numerische Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ψ von Wärmebrücken.

- DIN EN ISO 10077-1 und -2 legen die Berechnungsverfahren für die U-Werte von transparenten und teiltransparenten Bauteilen wie Fenstern, Türen und Abschlüssen fest.
- DIN EN ISO 12631 behandelt den U-Wert von Vorhangfassaden.
- DIN EN ISO 13786 ist für die Berechnung dynamischer Wärmetranfers unter Kopplung von Wärmetransfer und Wärmespeicherung maßgeblich, beispielsweise beim Wärmetransport durch erdberührte Bauteile unter Berücksichtigung des Wärmespeichervermögens des Erdreichs, oder für die effektive Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes im sommerlichen Wärmeschutz.
- DIN EN ISO 13789 definiert die Berechnungsgrundlagen für den Transmissions- und Lüftungswärmetransferkoeffizienten *H*.
- DIN EN ISO 13370 beschreibt die detaillierte Berechnung der Wärmeübertragung über das Erdreich. Alternativ hierzu kann ein vereinfachter nationaler Ansatz mit Temperaturkorrekturfaktoren F_x nach DIN/TS 18599-2 und DIN 4108 Beiblatt 2 angewendet werden, wobei sich der U-Wert des erdberührten Bauteils dann nicht nach DIN EN ISO 13370, sondern als konstruktiver U-Wert aus der Schichtfolge des Bauteils und den üblichen Wärmeübergangswiderständen gemäß DIN EN ISO 6946 ergibt.

2.4 Beheizter Bereich und wärmeübertragende Gebäudehülle

Die wärmeübertragende Gebäudehülle, früher als thermische Hüllfläche bezeichnet, umgibt das beheizte beziehungsweise gekühlte Gebäudevolumen lückenlos und grenzt es gegen die Außenluft, das Erdreich oder unkonditionierte Bereiche wie Dachböden, Keller, Garagen und Anbauten ab (Tafel 2).

Tafel 2 **Relevante Aspekte zur Beurteilung der wärmeübertragenden Gebäudehülle**

beheizt 	Die Gebäudehülle umschließt alle beheiz- oder kühlbaren Räume, unabhängig davon, ob diese tatsächlich ständig, gelegentlich oder gar nicht auf mehr als 12 °C beheizt beziehungsweise ob sie gekühlt werden.
	Ein Raum gilt als beheizbar, wenn er über eine eigene Heizfläche oder Heizeinrichtung verfügt, durch offenen Raumverbund mit beheizten Nachbarräumen beheizt wird oder vollständig innenliegend und somit indirekt durch die umgebenden Bauteile beheizt wird.
	Bei Türen zwischen benachbarten Räumen haben diese Räume keinen offenen Raumverbund, selbst wenn die Türen praktisch immer offenstehen sollten.
	Zu den beheizten Räumen zählen üblicherweise Aufenthalts-, Wohn, Schlaf-, Büro-, Geschäfts-, Verkaufs-, Warte-, Gast-, Versammlungs-, Unterrichts-, Kranken-, Sport- und Spielräume, ebenso Wohnküchen und beheizte Glasvorbauten.
	Treppenhäuser ohne eigene Heizkörper können wahlweise als indirekt beheizt (innerhalb der Gebäudehülle) oder als unbeheizt (außerhalb der Gebäudehülle) eingestuft werden.
	Anbauten oder vorgelagerte Räume ohne direkte oder indirekte Beheizbarkeit, wie Garagen und nicht beheizbare Glasvorbauten, liegen außerhalb der wärmeübertragenden Gebäudehülle.
	Die Überlegungen zur wärmeübertragenden Gebäudehülle gelten analog für die Gebäudehülle, die im Sommer einen gekühlten Bereich gegen Außenluft oder unbeheizte Bereiche abgrenzt.

3. Von der Wärmeleitfähigkeit zum U-Wert

Die wärmetechnischen Kennwerte für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach GEG, für den Energieausweis und für Förderprogramme sind nach den oben genannten Normen zu bestimmen. Die Verwendung „alternativer“ Berechnungsverfahren oder „alternativer Kennwerte“ sind Planungsfehler.

3.1 Wärmestrom, Widerstand

Wärmedurchgangswiderstand

Der Wärmetransport durch ein Bauteil erfolgt in einer Reihenschaltung von Widerständen. Die Energie muss nacheinander den Wärmeübergangswiderstand R_{si} an der Bauteilinnenseite, die einzelnen Wärmedurchlasswiderstände R_i aller Baustoffschichten, sowie den Wärmeübergangswiderstand R_{se} an der Bauteilaußenseite überwinden. Analog zum elektrischen Stromkreis ergibt sich der Gesamtwärmedurchgangswiderstand R_{tot} als Summe der Einzelwiderstände. Der Index „tot“ steht für „total“. Je größer R_{tot} ist, desto ausgeprägter ist die Dämmwirkung des Bauteils.

Für die insgesamt von der Luft auf der einen Seite zur Luft auf der anderen Seite transportierte Energiemenge sind durchaus auch andere Bezeichnnungen gebräuchlich, beispielsweise Wärme, Wärmemenge, Energie, Wärmeverlust, Wärmesenke, Wärmegewinn, Wärmequelle.

Phasen des Wärmetransfers durch ein Bauteil

Die Wärmeübertragung von der Raumluft auf die Innenoberfläche erfolgt mittels Luftströmung (Konvektion), Wärmeleitung und von den Innenoberflächen der umgebenden Bauteile mittels Wärmestrahlung. Beides wird im Wärmeübergangswiderstand R_{si} zusammengefasst, wobei der Index „si“ für „surface interior“ steht.

In den Baustoffschichten erfolgt der Wärmetransport durch alle 3 Transportphänomene: Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung. Sie werden aber vereinfachend zu einer effektiven Wärmeleitfähigkeit λ der Baustoffe zusammengefasst (Bild 4). Der Wärmedurchlasswiderstand R einer einzelnen Schicht ist die Dicke der Schicht geteilt durch die Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs der Schicht. Bei mehrschichtigen Bauteilen ist die Summe der Einzelwiderstände der Schichten der Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand R.

An der Bauteilaußenseite tritt eine Wärmeabgabe über Konvektion (v.a. durch Wind) und Wärmeleitung an die Außenluft auf, sowie eine Wämeabgabe über Wärmestrahlung an umliegende Gebäudeoberflächen und den Himmel. Beide werden im äußeren Wärmeübergangswiderstand R_{se} zusammengefasst, mit Index „se“ für „surface exterior“.

Wärmeübergangswiderstände

Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sind in der Norm DIN EN ISO 6946 tabelliert (Tafel 5). Bei direktem Kontakt zweier Schichten, beispielsweise zwischen Kellerwand und Erdreich, entfällt der Wärmeübergangswiderstand R_{se}, da dieser Null beträgt. Der Kehrwert des Wärmeübergangswiderstands an einer Bauteiloberfläche ist der Wärmeübergangskoeffizient h für diese Oberfläche.

U-Wert

Der Kehrwert des Gesamtwärmedurchgangswiderstands R_{tot} ist der Wärmedurchgangskoeffizient U, auch als U-Wert des Bauteils bezeichnet. Je niedriger der U-Wert, desto besser die Dämmwirkung. Das Endergebnis des U-Werts wird auf zwei wertanzeigende Stellen gerundet, bei opaken Bauteilen üblicherweise die ersten beiden Nachkommastellen (z.B. 0,23 W/(m²K)), bei Fenstern häufig eine Vor- und eine Nachkommastelle (z.B. 1,3 W/(m²K)). Diese Rundung entspricht der Genauigkeit der Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. Für Zwischenergebnisse werden drei oder mehr wertanzeigende Stellen beibehalten. Den Wärmetransport durch (opake und transparente) Bauteile, der durch den U-Wert des Bauteile charakterisiert wird, nennt man Transmission.

INFO

Der Wärmedurchgangskoeffizient *U*, ausgedrückt in der Einheit W/(m²K), quantifiziert den stationären Wärmetransfer durch ein Bauteil pro Flächeneinheit und Kelvin Temperaturdifferenz zwischen den begrenzenden Lufträumen. Präziser formuliert, repräsentiert der U-Wert die stationäre Wärmetransportleistung in Watt pro Quadratmeter Bauteilfläche (bzw. die transportierte Energiemenge in Wh pro Stunde), die bei einer Lufttemperaturdifferenz von 1 Kelvin zwischen den Bauteilseiten auftritt.

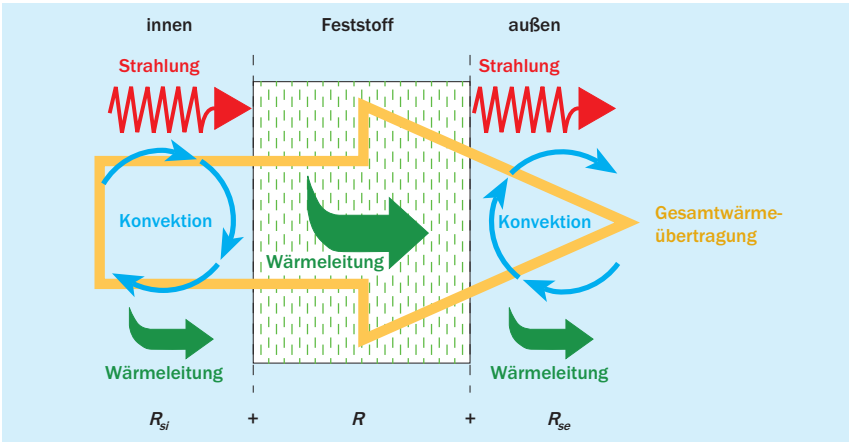


Bild 4 Wärmedurchgang durch ein Bauteil

Die Bestimmung des U-Werts erfolgt gemäß den Normen DIN EN ISO 6946 für homogene Bauteile sowie DIN EN ISO 6946 in Verbindung mit DIN EN ISO 10211 für inhomogene Bauteile. Hierbei finden die Wärmeleitfähigkeiten und Schichtdicken aller im Bauteil enthaltenen Materialien sowie die Wärmeübergangswiderstände an den Oberflächen Berücksichtigung.

Der U-Wert stellt die zentrale Kenngröße zur wärmetechnischen Beurteilung von Außenbauteilen wie Wänden, Dächern und Fenstern dar. Er findet Anwendung bei der energetischen Gebäudebewertung, der Auslegung von Heizungs- und Kühlsystemen so-

wie der Überprüfung gesetzlicher Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz. Die Minimierung der U-Werte ist ein wesentliches Ziel beim energieeffizienten Bauen und Sanieren von Gebäuden (Tafel 4).

Wärmetransferkoeffizient

Der Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T, mit dem Index „T" für Transmission, beschreibt die pro Kelvin Lufttemperaturunterschied durch die gesamte Bauteilfläche transportierte Wärmemenge pro Zeiteinheit. Er berechnet sich als Produkt aus U-Wert und Bauteilfläche. Das flächengewichtete Mittel der H_T-Werte aller Hüllflächenbauteile inklusive Wärmebrückeneinfluss ΔU_{WB}, dividiert durch die Gesamtfläche A der wärmeübertragenden Gebäudehülle, ergibt den Koeffizienten H'_T. Dieser stellt eine Nebenanforderungsgröße des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) an die energetische Qualität der Gebäudehülle dar (Tafel 3).

Solare Wärmegewinne auf opaken Bauteilen

Der solare Energiegewinn durch Aufheizung der Bauteilaußenoberfläche wird nicht im U-Wert berücksichtigt, sondern kann separat als Wärmequelle in der Gebäudebilanz angesetzt werden. Dieser Effekt ist bei gut gedämmten Bauteilen allerdings vernachlässigbar gering.

Elektrisches Analogon

Zur Veranschaulichung lässt sich der Wärmetransport mit der Analogie zum elektrischen Strom beschreiben: Das treibende Potential ist die Temperatur beziehungsweise der Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft, analog zur elektrischen Spannung bzw. Potentialdifferenz. Der Wärmedurchlasswiderstand R_i einer Baustoffschicht entspricht dem elektrischen Widerstand, R_{tot} dem Gesamtwiderstand der Schaltung. Die transportierte Wärmemenge Q entspricht der elektrischen Ladungsmenge, der Wärmestrom Q/t (Wärmemenge pro Zeit) dem elektrischen Strom (Ladung pro Zeit).

Tafel 3 Formeln zum Wärmedurchgang durch ebene homogene opake Bauteile

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [\text{m}^2\cdot\text{K/W}] \text{ für die i-te Schicht und} \tag{3.1}$$

$$R_{tot} = R_{si} + \sum_i R_i + R_{se} = R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad [\text{m}^2\cdot\text{K/W}] \tag{3.2}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} \quad [\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}] \tag{3.3}$$

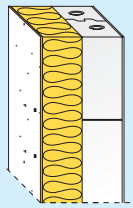
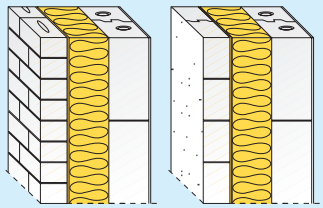
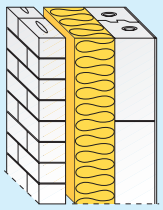
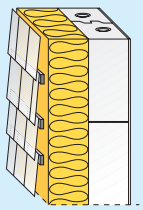
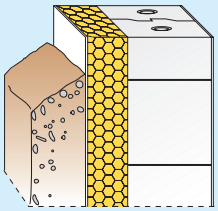
$$H_T = U \cdot A \quad [\text{W/K}] \tag{3.4}$$

$$H'_T = \frac{\Sigma_i U_i \cdot A_i + \Delta U_{WB}}{\Sigma_i A_i}$$

mit

d	Dicke einer Baustoffschicht in m
λ	Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)
R	Wärmedurchlasswiderstand in m²K/W
R_{si}, R_{se}	Wärmeübergangswiderstände innen bzw. außen in m²K/W
h_i, h_e	Wärmeübergangskoeffizienten innen bzw. außen, in W/(m²K); $h_i = 1/R_{si}$ und $h_e = 1/R_{se}$
R_{tot}	Wärmedurchgangswiderstand des Bauteils (von Luft innen zu Luft außen) in m²K/W
U	Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) in W/(m²K); $1/R_{tot} = U$
H_T	Transmissionswärmetransferkoeffizient des ganzen Bauteils in W/K
A	Bauteilfläche
H'_T	flächengewichtetes Mittel der U-Werte der wärmeübertragenden Gebäudehülle (inklusive Wärmebrückeneinfluss), in W/(m²K)
ΔU_{WB}	Gesamter Wärmebrückeneinfluss in der wärmeübertragenden Gebäudehülle
Φ, Q	pro Zeiteinheit übertragene Energiemenge in Wh oder kWh; ergibt sich aus dem Produkt von U-Wert, Bauteilfläche, Lufttemperaturdifferenz zu beiden Seiten des Bauteils, und Zeitdauer dieser Lufttemperaturdifferenz
Index *i*	Laufvariable für die i-te Schicht des Bauteils
Index s	Bauteiloberfläche (surface)
Index *tot*	Gesamt (total)
Index *T*	Transmission

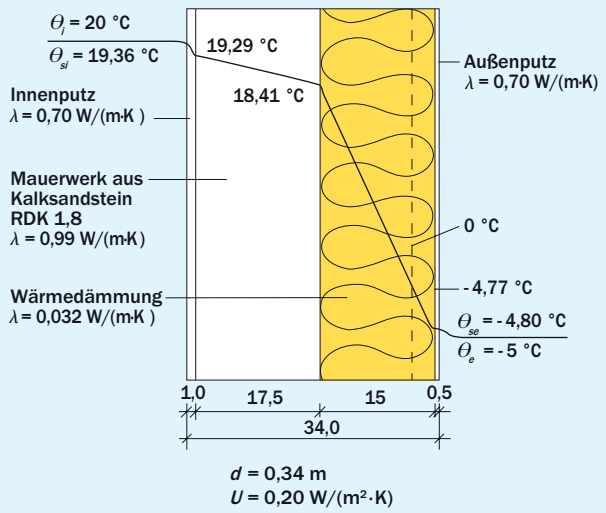
Tafel 4 **U-Werte von KS-Außenwänden (Beispiele)**

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)] 0,022	0,024	0,032	0,035	Wandaufbau
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	**Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz λ = 0,70 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	33,5	14	0,15	0,16	0,21	0,23	
	35,5	16	0,13	0,14	0,19	0,20	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	43,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt R = 0,15 (m²·K)/W 0,115 m KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)[1] oder verputzte KS-Vormauerschale λ = 1,1 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	43,0	12	0,16	0,18	0,23	0,25	
	45,0	14	0,14	0,16	0,20	0,22	
	47,0	16	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	55,0	24	0,09	0,09	0,12	0,13	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ R_{se} = 0,13 (m²·K)/W ≥ 0,04 m Luftschicht 0,115 m KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)
	46,0	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	48,0	14	0,15	0,16	0,21	0,22	
	50,0	16	0,13	0,14	0,18	0,20	
	52,0	18	0,12	0,13	0,16	0,18	
	54,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	31,5	10	0,20	0,22	0,28	0,30	**Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff WAB R_{se} = 0,13 (m²·K)/W 0,02 m Hinterlüftung 0,01 m Fassadenbekleidung
	33,5	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	37,5	16	0,13	014	0,18	0,20	
	41,5	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	45,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	51,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	
	47,5	10	–	–	–	0,34	**Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung)** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,30 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Perimeterdämmung Typ PW R_{se} = 0 (m²·K)/W
	51,5	14	–	–	–	0,26	
	53,5	16	–	–	–	0,24	
	57,5	20	–	–	–	0,20	
	61,5	24	–	–	–	0,18	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.
[1] Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

Tafel 5 **Berechnung des U-Werts von Außenwänden aus homogenen Schichten (Beispiele)**

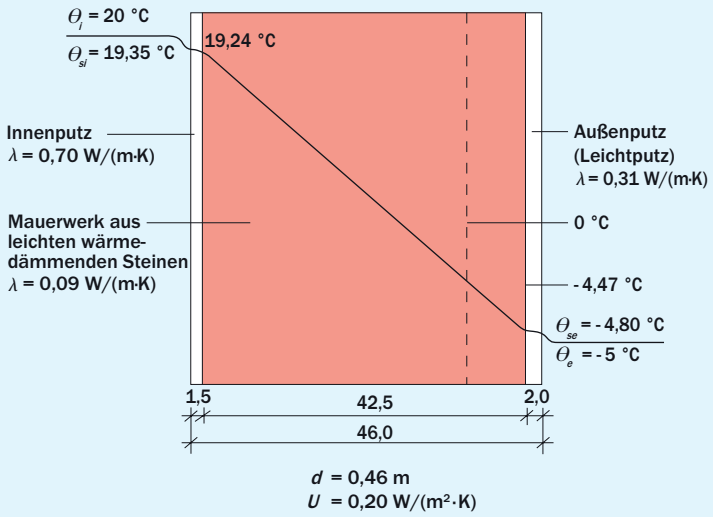
a) Einschaliges Kalksandstein-Mauerwerk mit WDVS



Aufbau von innen nach außen:

1 cm	Gipsputz (λ = 0,70 W/(m·K))
17,5 cm	KS-Mauerwerk der RDK 1,8 (λ = 0,99 W/(m·K))
15 cm	WDVS (λ = 0,032 W/(m·K))
0,5 cm	Außenputz (λ = 0,70 W/(m·K))

b) Monolithische Außenwand



Aufbau von innen nach außen:

1,5 cm	Gipsputz (λ = 0,70 W/(m·K))
42,5 cm	Mauerwerk aus leichten wärmedämmenden Steinen mit Leicht- oder Dünnbettmörtel (λ = 0,09 W/(m·K))
2,0 cm	Faserleichtputz ≤ 700 kg/m³ (λ = 0,31 W/(m·K))

Berechnung des U-Werts durch Einsetzen in die Formel:

Wand a)
$$U = \frac{1}{0{,}13\ \frac{m^2\cdot K}{W} + \frac{0{,}01\ m}{0{,}70\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}175\ m}{0{,}99\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}15\ m}{0{,}032\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}005\ m}{0{,}70\ \frac{W}{m\cdot K}} + 0{,}04\ \frac{m^2\cdot K}{W}} = 0{,}198\ \frac{W}{m^2\cdot K} \approx 0{,}200\ \frac{W}{m^2\cdot K}$$

Wand b)
$$U = \frac{1}{0{,}13\ \frac{m^2\cdot K}{W} + \frac{0{,}015\ m}{0{,}70\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}425\ m}{0{,}09\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}02\ m}{0{,}31\ \frac{W}{m\cdot K}} + 0{,}04\ \frac{m^2\cdot K}{W}} = 0{,}201\ \frac{W}{m^2\cdot K} \approx 0{,}20\ \frac{W}{m^2\cdot K}$$

Berechnung des U-Werts mit Hilfe einer geeigneten Arbeitshilfe

Einschalige KS-Außenwand mit WDVS

	RDK [–]	d [cm]	λ [W/(m·K)]	d/λ [W/(m²·K)]	θ 20,0
Wärmeübergangswiderstand R_{si} =				0,13	19,36
Innenputz		1,0	0,70	0,014	19,29
Kalksandstein	1,8	17,5	0,99	0,177	18,41
Wärmedämmung		15	0,032	4,688	-4,77
Außenputz		0,5	0,70	0,007	-4,80
Wärmeübergangswiderstand R_{se} =				0,04	-5,0

R_{tot} = 5,056

U = **0,198**

Monolithische Außenwand

	RDK [–]	d [cm]	λ [W/(m·K)]	d/λ [W/(m²·K)]	θ 20,0
Wärmeübergangswiderstand R_{si} =				0,13	19,35
Innenputz		1,5	0,70	0,021	19,24
Mauerwerk	0,6	42,5	0,09	4,722	-4,47
Außenputz		2,0	0,31	0,065	-4,80
Wärmeübergangswiderstand R_{se} =				0,04	-5,0

R_{tot} = 4,978

U = **0,201**

Endergebnis: U = **0,198 W/(m²·K)**

Endergebnis: U = **0,201 W/(m²·K)**

3.2 Wärmeübergangswiderstände

Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} an der inneren und R_{se} an der äußeren Bauteiloberfläche stellen wichtige Eingangsgrößen für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U dar. Ihre Bemessungswerte werden in DIN EN ISO 6946 tabelliert und sind abhängig von der Wärmestromrichtung sowie der Bauteilausrichtung.

Für geneigte Bauteile und Dächer mit einer Neigung unter 60° zur Waagerechten werden die Werte für waagerechte, bei größeren Neigungen die Werte für senkrechte Bauteile angesetzt. Die Zuordnung der anzusetzenden Wärmeübergangswiderstände richtet sich nach der baulichen Situation für den Winterfall mit Wärmestrom von innen nach außen (Bild 5). Bei Innenbauteilen der thermischen Gebäudehülle wird beidseitig der Wärmeübergangswiderstand R_{si} verwendet.

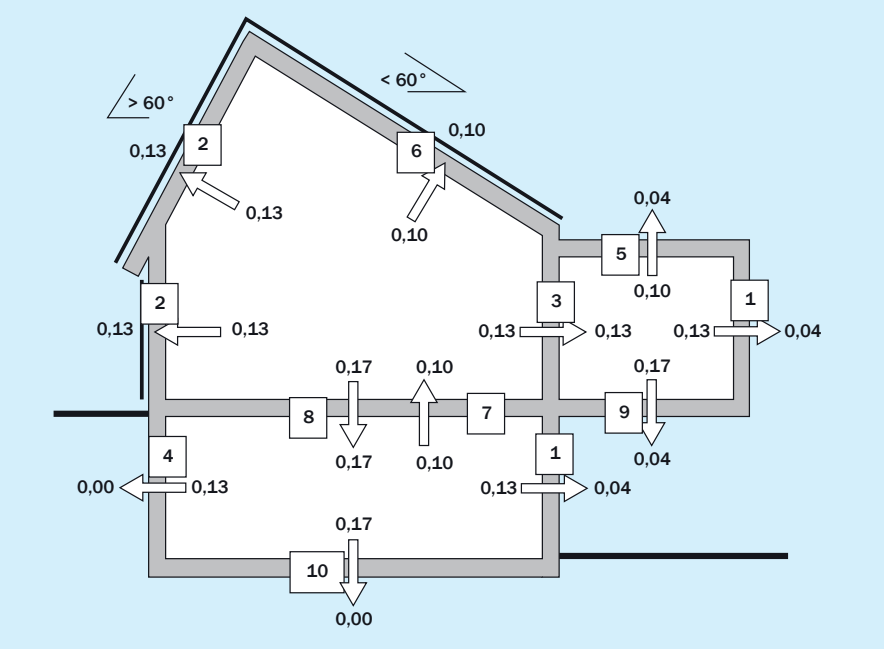


Bild 5 Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände für die Berechnung des U-Werts nach DIN EN ISO 6946 für verschiedene Bauteile (Wärmestromrichtung von innen nach außen). Die Zahlen in den Kästchen verweisen auf die Zeilennummern aus Tafel 6

Tafel 6 Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände nach DIN EN ISO 6946, DIN 4108-2 und DIN 4108-3 für den Winterfall (Wärmestromrichtung von innen nach außen)

Zeile	Bauteil	Wärmeübergangswiderstand	
		innen R_{si} [m²·K/W]	außen R_{se} [m²·K/W]
1	Außenwände (ausgenommen Außenwände aus Zeile 2); nicht hinterlüftete geneigte Dächer mit Neigung ≥ 60°	0,13	0,04
2	Außenwände mit einer hinterlüfteten Bekleidung, Abseitenwände zum ungedämmten Dachraum; hinterlüftete geneigte Dächer mit Neigung ≥ 60°	0,13	0,13
3	Wohnungstrennwände, Treppenhauswände, Wände zwischen unabhängigen Räumen, Trennwände zu dauernd unbeheizten Räumen, Abseitenwände zu gedämmten Dachräumen	0,13	0,13
4	Außenwände, die an das Erdreich grenzen	0,13	0
5	Decken oder geneigte Dächer mit einer Neigung < 60°, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abgrenzen; unbelüftete Flachdächer	0,10	0,04
6	Decken unter Spitzböden und nicht ausgebauten Dachräumen; Decken unter belüfteten Räumen	0,10	0,10
7	Wohnungstrenndecken und Decken zwischen unabhängigen Räumen Wärmestromrichtung nach oben Wärmestromrichtung nach unten	 0,10 0,17	 0,10 0,17
8	Kellerdecken	0,17	0,17
9	Decken, die Räume nach unten gegen Außenluft abgrenzen	0,17	0,04
10	An das Erdreich grenzender unterer Abschluss eines Aufenthaltsraums	0,17	0
11	Nachweis der Schimmelfreiheit (Überprüfung des Schimmelkriteriums f_{Rsi})	0,25	0,04
12	Nachweis des baulichen Feuchteschutzes (Glaser-Verfahren) nach DIN 4108-3	0,10/0,13/0,17 gemäß Zeilen 1 bis 9	0,04

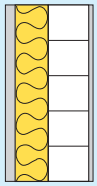
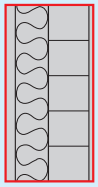
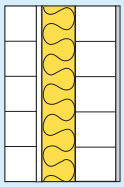
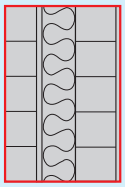
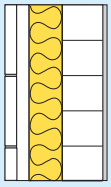
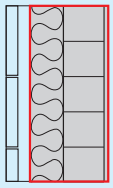
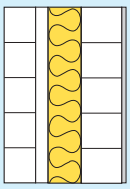
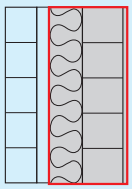
Für die Überprüfung eines Bauteils hinsichtlich Kondensat- oder Tauwasserausfall nach DIN 4108-3 (klimabedingter Feuchteschutz) bzw. DIN 4108-2 Abschnitt 6 (Wärmebrücken) gelten jeweils die dort angegebenen Wärmeübergangswiderstände.
Für Bauteile mit wechselnder Wärmestromrichtung (z.B. bei einer dynamischen Gebäudesimulation für den Sommerfall) oder für Bauteile, deren Einbaulage nicht vorab bekannt ist, wird empfohlen, die Wärmeübergangswiderstände wie für Wände zu verwenden.

Für stark belüftete Luftschichten wie Hinterlüftungsebenen hinter vorgehängten Fassaden oder in zweischaligen Wänden entfallen die außerhalb dieser Schicht liegenden Bauteilschichten bei der U-Wert-Berechnung. Stattdessen wird für R_{se} der Wert für ruhende Luft, also der raumseitige R_{si}-Wert (Tafel 7), angesetzt.

Bei direktem Kontakt zu Feststoffen wie z.B. zwischen der Bodenplattenunterseite und dem Erdreich beträgt der Wärmeübergangswiderstand 0 (Null). Für wechselnde Wärmestromrichtungen oder unbekannte Einbaulagen wird die Verwendung der Werte für senkrechte Wände empfohlen. Für Kondensatrisiko- und Wärmebrückenberechnungen gelten die speziellen Vorgaben aus DIN 4108-2, DIN 4108-3 und DIN 4108 Beiblatt 2.

Zur Beurteilung der reinen Dämmwirkung einer Baustoffschichtenfolge unabhängig von der Wärmestromrichtung bietet sich der Wärmedurchlasswiderstand R anstelle des U-Werts an.

Tafel 7 Thermisch wirksame Schichten und Wärmeübergangswiderstände verschiedener Außenwandkonstruktionen

Bauteil	Systemskizze	Thermisch wirksame Schichten	Wärmeübergangswiderstand außen R_{se}	Wärmeübergangswiderstand innen R_{si}	Luftschicht
KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem			0,04	0,13	–
Zweischalige KS-Außenwand mit Fingerspalt oder stehender Luftschicht			0,04	0,13	ruhend
Hinterlüftete KS-Außenwand nach DIN 18516-1			0,13	0,13	stark belüftet
Zweischalige KS-Außenwand mit Hinterlüftung nach den Regeln der alten DIN 1053-1			0,13	0,13	stark belüftet

3.3 Wärmemenge, Nutzenergie Wärme bzw. Kälte

Der Wärmetransport durch ein Bauteil lässt sich quantifizieren, indem die transportierte Wärmemenge Q (auch: Φ) auf die Zeitdauer des Transports bezogen wird. Dieser Quotient Q/t ergibt den Wärmestrom $\dot{Q}$ beziehungsweise die Wärmetransportleistung in der Einheit Watt (W). Eine weitere Normierung auf die Bauteilfläche führt zur Wärmestromdichte $\dot{q}$ in W/m².

$$Q = U \cdot A\,(\theta_i - \theta_e) \cdot t \text{ [Wh] oder [kWh]} \qquad (3.5)$$

Der entscheidende Antrieb für den Wärmetransport ist die anliegende Lufttemperaturdifferenz $\Delta\theta$ in Kelvin (K) zwischen den begrenzenden Lufträumen. Wird die Wärmestromdichte $\dot{q}$ zusätzlich auf diese Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ bezogen, so ergibt sich der Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils in der Einheit W/(m²K).

Folglich lässt sich in umgekehrter Richtung aus dem U-Wert, der Bauteilfläche, dem Unterschied der Innen- und Außenlufttemperaturen sowie der Dauer dieses Temperaturunterschieds der resultierende Wärmetransport durch das Bauteil ermitteln.

Summiert man diesen Wärmetransport für alle Hüllflächenbauteile über die gesamte Heizperiode, so erhält man den Netto-Gesamtwärmeverlust, auch als „Nutzenergie Wärme“ bezeichnet. Analog ergibt sich für ein klimatisiertes Gebäude durch Summation über alle Sommerstunden die erforderliche Netto-Kühllast oder „Nutzenergie Kälte“.

3.4 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit λ eines Materials ist ein Stoffkennwert, der angibt, wie viel Wärme pro Zeiteinheit durch eine 1 m dicke Schicht des Stoffs mit einer Fläche von 1 m² strömt, wenn die Oberflächentemperaturen beider Seiten einen Unterschied von 1 Kelvin aufweisen (Bild 6). Streng genommen ist die Wärmeleitfähigkeit nicht nur von der Art, Dichte und Struktur des Materials abhängig, sondern variiert auch mit der Temperatur und dem im Material enthaltenen Sorptionsfeuchtegehalt. Im Bauwesen wird die Wärmeleitfähigkeit jedoch unter definierten Bedingungen als Stoffkonstante betrachtet. Je geringer die Wärmeleitfähigkeit, desto ausgeprägter sind die Dämmeigenschaften des Materials.

Für die Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten U sind zwingend sogenannte Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit zu verwenden, nicht Messwerte oder Nennwerte. Die Bemessungswerte repräsentieren den langfristigen Gebrauchszustand des Baustoffs im Gebäude unter Berücksichtigung baupraktisch zu erwartender Feuchtegehalte. Sie werden offiziell festgelegt und sind aus Normen, bauaufsichtlichen Zulassungen, Prüfzeugnissen und Klassifizierungen sowie Bauartgenehmigungen ersichtlich. Die Verwendung anderer Wärmeleitfähigkeitswerte wie Mess- oder Nennwerte für die U-Wert-Berechnung stellt einen Pla-

Tafel 8 **Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen, nach DIN 4108-4 [3] und DIN EN ISO 10456 [4]**

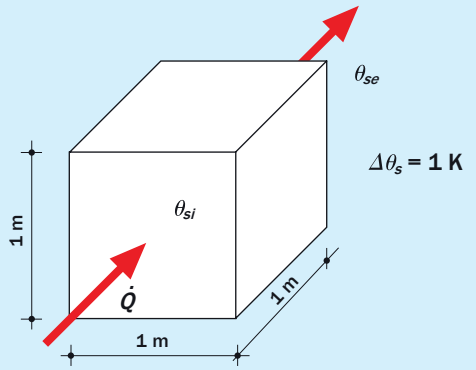
Stoff	Rohdichte[1] ρ [kg/m³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[2] μ [–]
1. KS-Mauerwerk und Kalksandstein-Produkte			
1.1. Mauerwerk aus Kalksandsteinen und Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402	1.400	0,70	5/10
	1.600 1.800 2.000 2.200 2.400 2.600	0,79 0,99 1,1 1,3 1,6 1,8	15/25
1.2 KS-Wärmedämmsteine (Wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine)	1.200	0,33	5/10
2. Putze, Mörtel und Estriche aus DIN 4108-4 und Beton aus DIN EN ISO 10456			
2.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	1.800	1,0	15/35
2.2 Gipsputzmörtel nach DIN EN 13279-1	1.400	0,51	4/10
2.3 Leichtputz	≤ 700 ≤ 1.000 ≤ 1.300	0,25 0,38 0,56	15/20
2.5 Normalmauermörtel NM	1.800	1,2	15/35
2.6 Leichtmauermörtel nach DIN EN 1996-1-1, DIN EN 1996-2	≤ 700 ≤ 1.000	0,21 0,36	15/35
2.7 Dünnbettmörtel DM	1.600	1,0	15/35
2.8 Zement-Estrich	2.000	1,4	15/35
2.9 Anhydritestrich	2.100	1,2	15/35
2.10 Stahlbeton Bewehrungsgrad 1 % Bewehrungsgrad 2 %	 2.300 2.400	 2,3 2,5	 80/130 80/130
3. Sonstige Stoffe			
3.1 Trockene, ruhende Luft	1,23	0,025	1
3.2 Bauglas (Natronglas einschließlich Floatglas)	2.500	1,0	dampfdicht
3.3 Aluminium und Aluminiumlegierungen	2.800	160	≥ 50 µm dampfdicht
3.4 Stahl	7.800	50	≥ 50 µm dampfdicht
3.5 Edelstahl	7.900	17	≥ 50 µm dampfdicht
3.6 Konstruktionsholz	500 700	0,13 0,18	20/50 50/200
3.7 OSB Platten	650	0,13	30/50
3.8 Spanplatten	600	0,14	15/50

4. Wärmedämmstoffe nach DIN 4108-4	Typischer Rohdichtebereich[3] ρ [kg/m³]	Typische Wärmeleitfähigkeit[3] Nennwert λ_D [W/(m·K)]	Typische Wärmeleitfähigkeit[3] Bemessungswert λ_B [W/(m·K)]	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[2] μ [–]
4.1 Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162	20 – 200	0,031 – 0,034	0,032 – 0,035	1
4.2 Expandiertes Polystyrol (EPS) n. DIN EN 13163	15 – 30	0,031 – 0,034	0,032 – 0,035	20/100
4.3 Extrudiertes Polystyrol (XPS) nach DIN EN 13164	20 – 45	0,034 – 0,039	0,035 – 0,040	80/250
4.4 Polyurethan-Hartschaum (PUR) nach DIN EN 13165[3]	30 – 100	0,021 – 0,029	0,022 – 0,030	40/200
4.5 Phenolharz-Hartschaum (PF) nach DIN EN 13166	40	0,021 – 0,023	0,022 – 0,024	10/60
4.6 Schaumglas (CG) nach DIN EN 13167	90 – 220	0,047 – 0,053	0,048 – 0,055	dampfdicht
4.7 Holzwolle-Leichtbauplatten (WW) nach DIN EN 13168	350 – 600	0,060 – 0,10	0,063 – 0,105	2/5
4.8 Blähperlit (EPB) nach DIN EN 13169	90 – 490	0,045 – 0,070	0,046 – 0,072	5
4.9 Expandierter Kork (ICB) nach DIN EN 13170	10 – 220	0,040 – 0,055	0,042 – 0,058	5/10
4.10 Holzfaserdämmstoff (WF) nach DIN EN 13171	30 – 230	0,032 – 0,060	0,034 – 0,063	5

[1] Die bei den Steinen genannten Rohdichten sind die oberen Grenzwerte aus den Produktnormen.
[2] Beim Nachweis des klimabedingten Feuchteschutzes ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. Anwendung der μ-Werte und Berechnungsverfahren siehe DIN 4108-3.
[3] Werte marktüblicher Produkte [6]

nungsfehler dar. Die korrekte Verwendung der Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit ist essentiell für eine realistische Bewertung der Wärmedämmeigenschaften von Bauteilen und die Einhaltung bauphysikalischer Anforderungen. Sie stellen sicher, dass die tatsächlichen Bedingungen im Gebäude angemessen berücksichtigt werden.

Eine Auswahl von Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe sowie Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl sind in Tafel 8 aufgeführt.



Die Wärmeleitfähigkeit λ eines Stoffes gibt an, wie viel Wärme pro Zeiteinheit durch 1 m² einer 1 m dicken Schicht des Stoffes strömt, wenn der Unterschied zwischen den Oberflächentemperaturen zu beiden Seiten 1 K beträgt. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit, umso besser dämmt das Material.

mit

θ_{si}	=	ϑ_{si}	Temperatur der wärmeren Oberfläche
θ_{se}	=	ϑ_{se}	Temperatur der kälteren Oberfläche
$\Delta\theta_s$	=	$\Delta\vartheta_s$	Temperaturdifferenz zwischen den beiden Oberflächen
$\dot{Q}$			Wärmestrom

Bild 6 **Wärmeleitfähigkeit**

3.4.1 Wärmeleitfähigkeit von KS-Mauerwerk nach harmonisierten europäischen Normen

Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk aus Kalksandsteinen, inklusive des Mörteleinflusses, sind in der Norm DIN 4108-4 tabelliert und können direkt den dortigen Angaben entnommen werden. Eine weitere Umrechnung durch den Planer ist nicht erforderlich.

Bei KS-Wärmedämmsteinen werden die Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,dry,unit}$ in der Leistungserklärung deklariert. Für die wärmeschutztechnische Anwendung müssen diese Mittelwerte noch in den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit umgerechnet werden. In der Praxis geben die Hersteller von KS-Wärmedämmsteinen üblicherweise direkt den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit an, sodass auch hier keine weitere Umrechnung durch den Planer notwendig ist. Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von KS-Wärmedämmsteinen beträgt in der Regel 0,33 W/(mK).

INFO

Die Bemessungswerte für Mauerwerk aus Kalksandsteinen sind in DIN 4108-4 tabelliert und können unmittelbar verwendet werden, ohne dass eine Umrechnung durch den Planer erforderlich ist.

3.4.2 Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen

Nenn- und Bemessungswert

Bei Dämmstoffen wird der Nennwert λ_D der Wärmeleitfähigkeit („declared value“ mit Index „D“ für declared) an frischem, trockenem Material vom Hersteller ermittelt und in der Leistungserklärung sowie auf dem Dämmstoffetikett deklariert. Für die praktische Anwendung ist jedoch der langjährige Gebrauchs- und Feuchtezustand, abhängig von der Lage im Bauteil und dem Standort in Europa, maßgeblich. Dieser wird durch den sogenannten Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit repräsentiert, welcher zwingend für wärmeschutztechnische Bemessungen zu verwenden ist.

Der Unterschied zwischen Nenn- und Bemessungswert wird durch einen additiven Zuschlag ausgeglichen, der je nach Material variiert und insbesondere von der Hygroskopizität des Dämmmaterials abhängt. Für Deutschland sind diese Zuschläge in DIN 4108-4 festgelegt, basierend auf umfangreichen Studien und Auswertungen von mehr als 10.000 Messwerten verschiedener Produkte. Tafel 9 stellt die Umrechnung vom Nenn- zum Bemessungswert nach DIN 4108-4 dar und gibt typische Wertebereiche der Nenn- und Bemessungswerte für unterschiedliche Dämmstoffe an.

Der Hersteller kann, muss aber nicht zwingend den Bemessungswert auf dem Dämmstoffetikett und in den technischen Datenblättern angeben. Der Nennwert muss in jedem Fall deklariert werden. Ist der Bemessungswert angegeben, kann er direkt übernommen werden. Andernfalls muss der Planer den Bemessungswert selbst aus dem Nennwert unter Verwendung des Zuschlags aus DIN 4108-4 bestimmen. Für die Berechnung des U-Werts ist stets der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit maßgeblich. Die Verwendung des Nennwerts für diese Berechnung stellt einen Planungsfehler dar.

Perimeterdämmungen

Bei Perimeterdämmungen, die außerhalb der Bauwerksabdichtung angebracht sind und ständig mit Erdreich, Feuchtigkeit, Niederschlagswasser und teilweise Grundwasser in Kontakt stehen, sind zusätzliche Aspekte zu beachten. Unter diesen Bedingungen müssen die Dämmstoffe hohe Anforderungen erfüllen und sind in Normen oder bauaufsichtlichen Dokumenten geregelt. Außer bei Schaumglas muss der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit feuchtekorrigiert werden, um den Feuchteeinfluss auf die Dämmwirkung zu berücksichtigen. Dies ist in DIN 4108-2 und den jeweiligen Zulassungen oder Bauartgenehmigungen beschrieben.

Unter tragenden Gründungsplatten dürfen nur spezielle, für Dauerdruckbelastung zugelassene Qualitäten von Schaumglas, XPS-Hartschaum und EPS-Hartschaum eingesetzt werden. Unter Streifenfundamenten ist keine Dämmung zulässig. Die senkrechte und waagerechte Perimeterdämmung kann lückenlos ineinander übergehen, wodurch das Prinzip der „durchgehenden Dämmebene“ zur Verminderung von Wärmebrücken bei Neubauten gut eingehalten werden kann. Dies führt zu deutlich geringeren Wärmeverlusten als bei unterbrochenen Dämmebenen.

Tafel 9 Umrechnung von Nenn- zum Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von europäisch harmonisierten Dämmstoffen (Dämmstoffe mit CE-Zeichen) nach DIN 4108-4 [3]

Dämmstoffe bzw. Dämmschichten in Mehrschichtplatten	Umrechnungsfaktor vom Nennwert λ_D auf Bemessungswert λ_B	Mindestzuschlag (resultierender Mindestzuschlag) [W/(m·K)]	Wertebereich für Nennwert λ_D [W/(m·K)]	Wertebereich für Bemessungswert λ_B [W/(m·K)]	Zeilennummern in DIN 4108-4, Tabelle 2
Nicht-hygroskopische Dämmstoffe: ■ Mineralwolle ■ EPS ■ XPS ■ PU ■ PF-Schaum ■ Schaumglas ■ Blähperlit	$\lambda_B = 1{,}03 \cdot \lambda_D$	0,001	0,020–0,070	0,021–0,072	5.1–5.6, 5.8, 5.13, 5.14, 5.17
Hygroskopische Dämmstoffe: ■ Holzfaser ■ Holzwolle ■ Blähton	$\lambda_B = 1{,}05 \cdot \lambda_D$	0,002	0,032–0,13	0,034–0,14	5.7.1, 5.10, 5.15
PU-Ortschaum PIR-Ortschaum	$\lambda_B = 1{,}10 \cdot \lambda_D$	0,003	0,020–0,040	0,023–0,044	5.12, 5.19
Holzwolle-Deckschicht in Holzwolle-mehrschichtplatten ■ Vermiculit ■ PE-Schaum	$\lambda_B = 1{,}20 \cdot \lambda_D$	(0,007)	0,035–0,14	0,042–0,17	5.7.2, 5.16, 5.18
Expandierter Kork	$\lambda_B = 1{,}23 \cdot \lambda_D$	(0,009)	0,040–0,055	0,049–0,068	5.9

3.5 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten

Luftschichten und Luftspalte

Für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U eines Bauteils sind nicht nur die Wärmedurchlasswiderstände der Materialschichten, sondern auch der innenliegenden Luftschichten zu berücksichtigen (Tafel 10). Die Norm DIN EN ISO 6946 differenziert hierbei Lufträume in Bauteilen nach ihren Abmessungen und unterteilt sie in:

- Luftschichten, deren Breite und Länge jeweils mehr als das Zehnfache der in Wärmestromrichtung gemessenen Dicke betragen. Diese werden weiter unterteilt in:
  - Ruhende Luftschichten
  - Schwach belüftete Luftschichten
  - Stark belüftete Luftschichten
- Luftspalten, deren Breite oder Länge mit der Dicke vergleichbar sind.

Tafel 10 Bemessungswerte des Wärmedurchlasswiderstandes *R* und der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit λ_{eq} von ruhenden Luftschichten nach DIN EN ISO 6946, für angrenzende Oberflächen aus üblichen Baustoffen (Emissionskoeffizienten ε = 0,9 beider angrenzenden Oberflächen)

Dicke der Luftschicht [mm]	Richtung des Wärmestroms					
	aufwärts		horizontal		abwärts	
	R [m²·K/W]	λ_{eq} [W/(m·K)]	*R* [m²·K/W]	λ_{eq} [W/(m·K)]	*R* [m²·K/W]	λ_{eq} [W/(m·K)]
0	0,00	–	0,00	–	0,00	–
5	0,11	0,045	0,11	0,045	0,11	0,045
7	0,13	0,054	0,13	0,054	0,13	0,054
10	0,15	0,067	0,15	0,067	0,15	0,067
15	0,16	0,094	0,17	0,082	0,17	0,082
25	0,16	0,16	0,18	0,14	0,19	0,13
50	0,16	0,31	0,18	0,28	0,21	0,24
100	0,16	0,63	0,18	0,56	0,22	0,45
300	0,16	1,88	0,18	1,67	0,23	1,30
Für Luftschichtdicken zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden.						

Sehr schmale Luftspalten in Wärmestromrichtung, die grundsätzlich bei einem bestimmten Baustoff auftreten, wie beispielsweise die unvermörtelten Stoßfugen zwischen Mauersteinen, werden nicht gesondert erfasst, sondern sind bereits in den Wärmeleitfähigkeitswerten des Mauerwerks enthalten.

Luftschichten

Die Unterscheidung der Luftschichten nach ihrer Belüftung erfolgt gemäß folgender Kriterien:

- Ruhende Luftschicht (z.B. Fingerspalt in zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung): Abgeschlossen von der Umgebung, Querschnitt eventuell vorhandener Öffnungen zur Außenluft

≤ 5 cm² pro Meter Länge, kein Luftstrom möglich. Die Wärmedurchlasswiderstände ruhender Luftschichten sind in DIN EN ISO 6946 tabelliert und berücksichtigen neben der Wärmeleitung auch Wärmestrahlung und Eigenkonvektion. Für Berechnungsprogramme, die nur Wärmeleitfähigkeiten akzeptieren, kann eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit aus Dicke und Wärmedurchlasswiderstand abgeleitet werden mit $\lambda_{eq,i} = d/R_i$ (3.6). Bemessungswerte für verschiedene Luftschichtdicken und Wärmestromrichtungen sind in Tafel 10 angegeben.

- Stark belüftete Luftschicht (z.B. Hinterlüftungsebenen in zweischaligen Wänden oder hinter vorgehängten Fassaden): Querschnitt der Öffnungen > 15 cm² pro Meter Länge. Solche Luftschichten und alle außerhalb liegenden Schichten entfallen bei der U-Wert-Berechnung. Stattdessen wird für R_{se} der Wert für ruhende Luft R_{si} angesetzt.

3.6 U-Wert von Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten

Bei Bauteilen, die aus homogenen und inhomogenen Schichten bestehen oder unterschiedliche nebeneinanderliegende Bereiche aufweisen (z.B. Sparren und Gefache bei Dachstühlen, Betonstützen in Mauerwerkswänden), muss zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U das sogenannte „vereinfachte Verfahren“ nach DIN EN ISO 6946 angewendet werden. Die früher übliche flächenanteilige Mittelung der U-Werte nebeneinanderliegender Bereiche ist nicht mehr zulässig und stellt einen Planungsfehler dar, da sie zu ungenauen und zu günstigen U-Werten führt.

Die Berechnung des U-Werts eines zusammengesetzten Bauteils oder eines Bauteils aus homogenen und inhomogenen Schichten nach DIN EN ISO 6946 erfolgt zweckmäßigerweise mit einer Tabellenkalkulation oder einem Berechnungsprogramm. Obwohl das vereinfachte Verfahren der Norm auf den ersten Blick komplex erscheint, ist es erheblich vereinfacht im Vergleich zu einer genauen zwei- oder dreidimensionalen Wärmebrückenberechnung, die ansonsten zur Bestimmung des U-Werts erforderlich wäre. Das vereinfachte Verfahren ist jedoch nicht anwendbar, wenn die Dämmschichten eine Wärmebrücke aus Metall enthalten oder nebeneinanderliegende Bereiche sehr unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten aufweisen (z.B. Betonstützen zwischen Wärmedämmung).

Für eine noch präzisere Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten können numerische Verfahren nach DIN EN ISO 10211 eingesetzt werden. Solche computergestützten Berechnungen sind auch zur Bestimmung der Oberflächentemperaturen an Wärmebrücken und somit zur Bewertung des Kondensat- und Schimmelrisikos erforderlich.

3.7 U-Wert-Korrekturen für Luftspalte, Befestigungsmittel und Umkehrdächer

Die Norm DIN EN ISO 6946 adressiert die Berücksichtigung von Wärmebrücken und anderen Einflüssen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten U bei der Berechnung. Luftspalten zwischen Dämmplatten, beispielsweise bei mangelhafter Verlegung eines Wärmedämm-Verbundsystems (WDVS), sowie Befestigungsmittel wie Schrauben und Dübel, die die Dämmebene durchdringen, erhöhen den Wärmeverlust und müssen im U-Wert berücksichtigt werden, um eine Unterschätzung zu vermeiden. Gleiches gilt bei Umkehrdächern für den Anteil des Niederschlags, der zwischen Dämmplatte und Abdichtung abläuft und dort Wärme abtransportiert.

Die Norm liefert folgende Formel zur Korrektur des U-Werts um diese Einflüsse:

$$U_c = U + \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \ \text{[W/(m}^2\cdot\text{K)]} \qquad (3.7)$$

wenn $(\Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r) \geq 0{,}03 \cdot U$

mit	U_c	korrigierter U-Wert unter Berücksichtigung von Luftspalten, Befestigern und Regenwasserunterlauf bei Umkehrdächern
	U	U-Wert vor den Korrekturen („ungestörter“ U-Wert)
	ΔU_g, ΔU_f, ΔU_r	U-Wert-Erhöhung durch Luftspalten in der Dämmebene (Index „g“ für gaps), Befestigungselemente (Index „f“ für fastener), Unterlaufen einer Umkehrdämmung durch Regenwasser (Index „r“ für rain)

Für die Anwendung der drei Korrekturen in Deutschland sind die nachfolgenden Aspekte zu beachten.

3.7.1 Einfluss von Luftspalten in der Dämmebene

Hinsichtlich des Einflusses von Spalten werden drei Korrekturstufen unterschieden:

- In der Planung darf davon ausgegangen werden, dass die spätere Ausführung fachgerecht und größtenteils spaltenfrei erfolgt, sodass der Einfluss ΔU_g von Spalten auf den Wärmedurchgang vernachlässigbar ist. Ebenso vernachlässigbar ist der Einfluss von Spalten bis zu 5 mm Dicke, ausgefüllten breiteren Spalten oder Spalten zwischen Dämmplatten mit Nut-und-Feder-Verbindungen.

- Sind im Bestandsgebäude oder im Schadensfall nicht nur vereinzelte Spalten zwischen den Dämmplatten oder zwischen der Dämmung und den Sparren vorhanden, die mehr als 5 mm breit sind und komplett über die Dämmschichtdicke durchgehen, beträgt der Zuschlag ΔU_g = 0,01 W/(m²K).

- Können diese Spalten zusammen mit anderen Hohlräumen zu einer freien Luftzirkulation zwischen der warmen und der kalten Seite der Dämmschicht führen, erhöht sich der Zuschlag auf ΔU_g = 0,04 W/(m²K).

- Stellt die Dämmschicht, die die Spalte enthält, nicht den Hauptanteil des Gesamt-Wärmedurchlasswiderstands des Bauteils dar, beispielsweise bei mehrlagigen Dämmschichten und Spalten nur in einer der Schichten, wird ΔU_g noch um den multiplikativen Faktor $(R_{\text{Schicht mit Spalten}}/R_{\text{tot}})^2$ abgemindert.

3.7.2 Einfluss von Befestigungsmitteln, die die Dämmebene oder die Luftschicht durchdringen

Die Berücksichtigung des Einflusses ΔU_f von punktförmigen Befestigungsmitteln auf den Wärmedurchgang berücksichtigt verschiedene Szenarien hinsichtlich der Art und Anzahl der Befestigungsmittel sowie deren Wärmeleitfähigkeit. Dafür wird der zusätzliche Wärmedurchgang durch punktförmige mechanische Befestigungsmittel wie Dübel und Schrauben, die die Dämmschicht durchdringen, sowie andere punktförmige Wärmebrücken numerisch als punktförmiger Wärmedurchgangskoeffizient χ bestimmt.

- Besitzt das Befestigungsmittel eine bauaufsichtliche Zulassung, die den χ-Wert festlegt, wird der Befestigereinfluss für das konkrete Bauteil über die mittlere Befestigeranzahl n pro Quadratmeter bestimmmt: $\Delta U_f = n \cdot \chi$.
- Liegt für einen Befestiger kein χ-Wert vor, kann stattdessen die Näherungsformel aus DIN EN ISO 6946:2018-03, Abschnitt F.3.2, für den Befestigereinfluss verwendet werden.
- Der Einfluss von Mauerwerksankern zwischen Tragschale und Vormauerung ist generell so gering, dass er komplett vernachlässigt wird.
- Ebenfalls vernachlässigt wird der Befestigereinfluss, wenn die Wärmeleitfähigkeit eines Teils oder des gesamten Befestigungsteils kleiner als 1 W/(m·K) ist, beispielsweise wenn ein Teil des Ankers aus Kunststoff besteht.
- Für Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) legt die Zulassung des WDVS detailliert fest, bis zu welcher Dübelanzahl pro m² der Dübeleinfluss im U-Wert unberücksichtigt bleiben darf, je nach Dübelklasse, Dämmmaterial und Dämmdicke. Zur Orientierung: Bei Dübeln der Dübelklasse 0,001 liegt diese Schwelle bei WDVS mit 15 bis 20 cm Dicke bei etwa 5 bis 6 Dübeln pro m², bei Dübelklasse 0,002 bei etwa 2 bis 3 Dübeln pro m². Der Einfluss von Dübeln der Dübelklasse 0 ist so gering, dass die Verdübelung als wärmebrückenfrei gilt und die Dübel, unabhängig von ihrer Anzahl pro m², unberücksichtigt bleiben.

3.7.3 Einfluss des Unterlaufens der Dämmung bei Umkehrdächern durch Regenwasser

- Die Korrektur ΔU_r für das Unterlaufen einer Umkehrdämmung durch Regenwasser erfolgt in Deutschland nicht mit der Formel in DIN EN ISO 6946, sondern nach der Festlegung in der jeweiligen Zulassung des Dämmstoffs für das Umkehrdach.
- Ist dort nichts ausgeführt, bestimmt sich laut DIN 4108-2 der Zuschlag ΔU_r gemäß Tafel 11.

Tafel 11 Einfluss des Unterlaufens der Dämmung bei Umkehrdächern durch Niederschlag [5]

UK-Dämmstoff (oberhalb der Abdichtung) ist …Prozent des gesamten Wärmedurchlasswiderstands des Daches	Zuschlag ΔU_r für Regeneinfluss
> 90 %	+ 0,05 W/(m²K)
50 % bis 90 %	+ 0,03 W/(m²K)
< 50 %	+ 0,00 W/(m²K)

4. Hygienischer Mindestwärmeschutz

Der bauliche Wärmeschutz von Gebäuden ist von zentraler Bedeutung, um ein hygienisches Raumklima für die Bewohner beziehungsweise Nutzer zu gewährleisten und die Baukonstruktion vor Feuchteschäden zu schützen. Dementsprechend sind Gebäude so zu planen und auszuführen, dass ein ausreichender Mindestwärmeschutz sowohl für flächige Bauteile als auch an Wärmebrücken sichergestellt ist. Die einzuhaltenden Mindestanforderungen sind in der bauaufsichtlich eingeführten technischen Baubestimmung DIN 4108-2 festgelegt. Sie gelten für alle Außenbauteile von direkt oder indirekt über Raumverbund beheizten oder beheizbaren Räumen, die auf übliche Innentemperaturen von ≥ 12 °C beheizt werden bzw. beheizt werden können.

4.1 Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile bei normal beheizten Gebäuden

Die Festlegungen der DIN 4108-2 zu Mindestwärmedurchlasswiderstand für Außenbauteile sind:

- Eine gleichmäßige Beheizung und ausreichende Belüftung des Gebäudes ist grundsätzlich gefordert.
- Der Mindestwärmeschutz muss überall, insbesondere an wärmeschutztechnisch geschwächten Querschnitten, eingehalten werden
- Seit der Normausgabe 2025 gilt der Mindestwärmeschutz von Bauteilen ≥ 100 kg/m² alternativ als eingehalten, wenn rechnerisch eine Mindest-Innenoberflächentemperatur „fern“ von Wärmebrücken (≥ 1 m Abstand) von 17 °C nachgewiesen wird (und natürlich weiterhin näher als 1 m an Wärmebrücken von 12,6 °C bzw. $f_{Rsi} \geq 0{,}70$).
- Leichte nichttransparente Bauteile mit < 100 kg/m² müssen grundsätzlich einen erhöhten Wärmeschutz von mindestens $R \geq 1{,}75$ m²K/W aufweisen.
- Für thermisch inhomogene, nichttransparente Bauteile z.B. in Skelett-, Rahmen- oder Holzständerbauweise gilt insgesamt ein Mindestwärmedurchlasswiderstand von $(\frac{1}{U} - R_{si} - R_{se}) \geq 1{,}0$ m²K/W, und im Gefach von R ≥ 1,75 m²K/W.
- Bei transparenten und teiltransparenten Bauteilen müssen opake Ausfachungen und Paneele mindestens $R \geq 1{,}2$ m²K/W ($U_p \leq 0{,}73$ W/(m²K)) und Rahmen maximal $U_f \leq 2{,}9$ W/(m²K)

Tafel 12 **Mindestwerte des Wärmedurchlasswiderstands flächiger Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse ≥ 100 kg/m², aus DIN 4108-2:2025 [5]**

Spalte	1	2	3
Zeile	Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils[1] R_{min} in m²·K/W
1	**Wände**		
1.1	**beheizter Räume**	gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen, nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dach- und Kellerräume sowie nicht beheizte Treppenräume)	1,2
1.2	**niedrig beheizter Räume**		0,55
2	**Dachschrägen**	gegen Außenluft	1,2
3	**Decken nach oben und Flachdächer**		
3.1		gegen Außenluft	1,2
3.2		zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,90
3.3		zu nicht beheizten Räumen, zu bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen	0,90
3.4		zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35
4	**Decken nach unten**		
4.1		gegen Außenluft, gegen Tiefgarage, gegen Garagen (auch thermisch konditionierte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller[2]	1,75
4.2		gegen nicht beheizten Kellerraum	0,90
4.3		unterer Abschluss (z.B. Sohlplatte) von beheizten Räumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	
4.4		über einem nicht belüfteten Hohlraum, z.B. Kriechkeller, an das Erdreich grenzend	
5	**Bauteile zwischen thermisch konditionierten Räumen**		
5.1		Wohnungs- und Gebäudetrennwände, Trennwände von thermisch konditionierte Treppenräumen	0,07
5.2		Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung	0,35
6	**Alternativer Nachweis über die Innenoberflächentemperatur**		
6.1		Alle Bauteile (die Anforderung $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ im Bereich der Wärmebrücken bleibt bestehen)	$\theta_{si,min} \geq 17{,}0$ °C im Abstand von ≥ 1 m von der Innenkante von Wärmebrücken

[1] Bei erdberührten Bauteilen: konstruktiver Wärmedurchlasswiderstand
[2] Vermeidung von Fußkälte

aufweisen. Alle Gläser müssen mindestens als Isolierglas oder mit mindestens zwei Glasscheiben ausgeführt sein.

- Die Mindestanforderung von $R \geq 0{,}90$ m²K/W für Sohlplatten und erdberührte Kellerfußböden unter beheizten Aufenthaltsräumen gilt nur für die äußeren 5 m. Der Mittelbereich kann ungedämmt bleiben, da sich dort ein „Wärmesee“ ausbildet.

Tafel 12 listet die Mindestwärmedurchlasswiderstand auf für mittelschwere und schwere Außenbauteile mit Flächenmassen ≥ 100 kg/m².

4.2 Vermeiden von Schimmelpilzwachstum durch ausreichenden Wärmeschutz

Die Vermeidung von Schimmelpilzwachstum auf Innenoberflächen von Bauteilen erfordert nicht nur die Gewährleistung der Kondensatfreiheit der Konstruktion, sondern auch die Vermeidung einer kritischen Luftfeuchte von mehr als 80 % relativer Feuchte unmittelbar an der Bauteiloberfläche. Ab dieser oberflächennahen Luftfeuchte kann es zur Kapillarkondensation von Wasser in den feinen Kapillaren des Baustoffs kommen. Diese Kapillarkondensation liefert bereits eine für Schimmelpilzwachstum ausreichende Menge an Wasser, ohne dass flüssiges Wasser als Oberflächenkondensat auf der Bauteiloberfläche vorhanden sein muss.

Basierend auf vereinfachenden bauphysikalischen Modellbetrachtungen kann Schimmelpilzwachstum auftreten, wenn an mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen die relative Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche einen Wert von mehr als 80 % aufweist und dieser Zustand jeweils mindestens 12 Stunden pro Tag gegeben ist. Bei höheren Luftfeuchten sind kürzere Zeiträume für Schimmelpilzwachstum ausreichend.

INFO

Die funktionsgetrennte Kalksandsteinbauweise bietet das bauphysikalische Optimum.

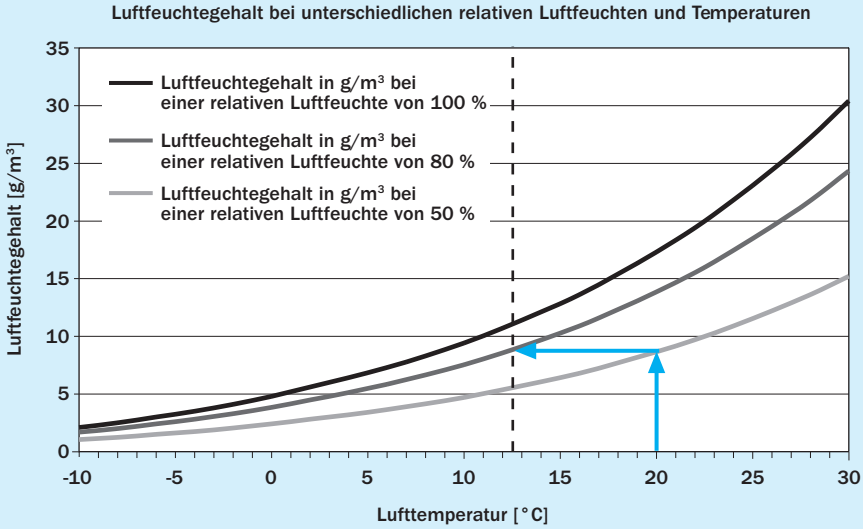


Bild 8 **Zusammenhang zwischen Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte (r.F.) und Luftfeuchtegehalt in g Luftfeuchte pro m³ Luft. Blaue Pfeile: Bei Abkühlung von Luft von 20 °C auf 12,6 °C (z. B. an der Wandoberfläche) steigt die relative Luftfeuchte von 50 % auf 80 %**

Schimmelpilze benötigen für ihr Wachstum einen Nährboden (Substrat) mit passendem pH-Wert sowie moderate Temperaturen und ausreichend Feuchte. Die genauen Wachstumsgrenzen variieren geringfügig zwischen den verschiedenen Schimmelpilzarten. Da in beheizten Gebäuden in der Regel eine geeignete Temperatur und ein passendes Substrat vorhanden sind, bleibt als Maßnahme zur Schimmelvermeidung lediglich die Vermeidung von Oberflächenfeuchte und Kapillarkondensation (Bild 8).

Bei Fenstern und vergleichbaren Abschlüssen sind oberflächennahe Luftfeuchten über 80 % und sogar kurzzeitiger Kondensatniederschlag zulässig, da Fensterbaustoffe keine Kapillaren aufweisen und ein zeitweiser Kondensatniederschlag an Fenstern technisch unvermeidbar ist. Für die Einbaufuge des Fensters bzw. des Abschlusses gilt diese Ausnahme allerdings nicht, dort muss unverändert $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ gegeben sein.

5. Wärmeschutz und Schimmelvermeidung bei Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Stellen in der thermischen Gebäudehülle, an denen ein örtlich erhöhter Wärmedurchgang durch die Konstruktion auftritt. Daraus resultieren lokale Unterschiede in den Temperaturen der Innen- und Außenoberflächen. Im Winter führen Wärmebrücken zu erhöhten Wärmeverlusten und können aufgrund deutlich erniedrigter Innenoberflächentemperaturen zu einer oberflächennahen Luftfeuchte von über 80 % sowie Tauwasser- und Schimmelbildung beitragen. Aus energetischen, bauqualitätsbezogenen und hygienischen Gesichtspunkten sind Wärmebrücken daher zu vermeiden oder in ihrem Einfluss möglichst zu begrenzen.

Mit steigendem Dämmniveau gewinnen Wärmebrücken bei der energetischen Bewertung von Gebäuden zunehmend an Bedeutung: Bei verbesserter Wärmedämmung sinken die Wärmeverluste der Bauteilflächen in der Regel schneller als die Wärmeverluste im Bereich der Wärmebrücken. Dadurch steigt der prozentuale Anteil der Wärmebrücken am Gesamtwärmeverlust, obwohl beide Anteile unterschiedlich schnell abnehmen.

INFO

Mit zunehmender Wärmedämmung kommt der Planung und Verminderung von Wärmebrücken eine wachsende Bedeutung zu.

Wärmebrücken lassen sich unterscheiden in:

- Stofflich bedingte Wärmebrücken: Ergeben sich aus einem Wechsel der Baustoffe nebeneinanderliegender Bereiche, z.B. Betonstützen in einer monolithischen Mauerwerkswand oder Fenster in der Mauerwerkslaibungen (linienförmig, 2D-berechenbar) oder bei Durchdringungen der Dämmschicht durch Verankerungen (punktförmig, 3D-berechenbar.
- Geometrisch bedingte Wärmebrücken: Linienförmige Wärmebrücken an Stellen, wo angrenzende Bauteile unterschiedliche Orientierungen aufweisen, z.B. an Gebäudekanten, Traufen, Ortgängen oder Wandanschlüssen an Bodenplatten.

Häufig sind Wärmebrücken sowohl stofflich als auch geometrisch bedingt. Wärmebrücken lassen sich nicht vollständig vermeiden, jedoch kann ihre Auswirkung durch geschickte Planung deutlich vermindert werden. Generell wird empfohlen, die dämmende Schicht möglichst vollständig und lückenlos um das beheizte Gebäudevolumen zu legen und die dämmenden Schichten benachbarter Bauteile lückenlos und ohne Dickenänderungen aneinander anzuschließen.

Das Konstruktionsprinzip der durchgehenden Dämmebene lässt sich bei Neubauten mit Kalksandstein und vorausschauender Planung gut umsetzen.

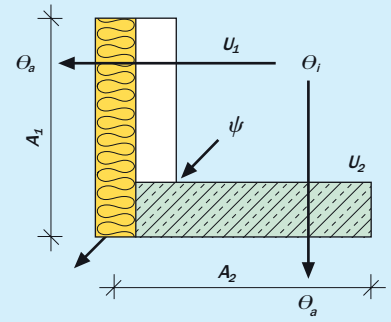
5.1 Energetische Charakterisierung von Wärmebrücken

In energetischer Hinsicht werden linienförmige Wärmebrücken durch den linearen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ in W/(m·K) charakterisiert. Dieser gibt den zusätzlichen Wärmedurchgang pro Stunde, pro Meter Länge der Wärmebrücke und pro Kelvin Lufttemperaturdifferenz an, der über den Wärmedurchgang (ohne Wärmebrücke) durch die benachbarten flächigen Bauteile hinausgeht. Der ψ-Wert ist somit das längenbezogene Pendant zum U-Wert der flächigen Bauteile. Für punktförmige Wärmebrücken wird der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient χ in W/K verwendet.

Zur Bestimmung von ψ wird zunächst mittels einer zweidimensionalen numerischen Berechnung der stationäre Wärmestrom im gesamten Bereich der Wärmebrücke ermittelt und durch die angesetzte Temperaturdifferenz geteilt. Dies ergibt den thermischen Leitwert L in W/K, der formal dem Transmissionswärmetransferkoeffizienten H_T flächiger Bauteile entspricht. Hiervon werden die Wärmetransferkoeffizienten $U_1 \cdot A_1$ und $U_2 \cdot A_2$ der beiden angrenzenden flächigen „Regelbauteile“ abgezogen, soweit ihre Flächen A_1 und A_2 im berechneten Modell enthalten sind. Übrig bleibt der anteilige Wärmetransferkoeffizient, der im Bereich der Wärmebrücke zusätzlich zum „ungestören“ Wärmedurchgang durch die Bauteilflächen auftritt – geteilt durch die Länge der Wärmebrücke erhält man den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ.

Längenbezogene Wärmebrücken treten an allen Anschlussstellen zwischen zwei benachbarten Bauteilen auf. Je nach Bauweise können sie sich deutlich bemerkbar machen, insbesondere wenn keine Maßnahmen zur Verminderung der Wärmebrückenwirkung ergriffen wurden (Bild 9).

Die Bilder 10 und 11 vergleichen die Wärmeströme im Bereich einer einbindenden Decke zwischen einer Kalksandstein-Funktionswand mit Wärmedämmverbundsystem und einer monolithischen Bauweise. Bei der Funktionswand ist eine gleichmäßigere und geringere Wärmestromdichte erkennbar, die sich in einem niedrigen ψ-Wert ausdrückt. Tatsächlich ist die Wärmebrückenwirkung bei einbindenden Bauteilen in Außenwänden mit durchgehender Dämmschicht > 10 cm ($R \geq 2{,}5$ m²K/W) so gering, dass sie auch in der Bagatell-Liste in DIN 4108 Beiblatt 2 Abschnitt 5.5 enthalten ist, in



$$L = \frac{\dot{Q}}{\Delta\Theta} \qquad \psi = L - U_1 \cdot A_1 - U_2 \cdot A_2$$

L:	Thermischer Leitwert
U:	U-Wert
A:	Fläche
$\dot{Q}$:	Wärmestrom

$\Delta\Theta = \Theta_i - \Theta_e$

Θ_i:	Raumlufttemperatur
Θ_e:	Außenlufttemperatur

Bild 9 Skizze zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ

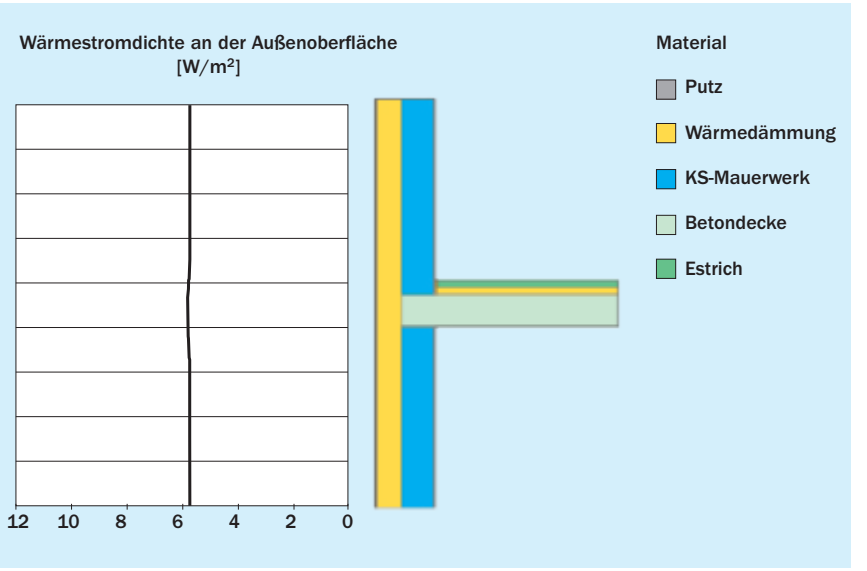


Bild 10 Wärmestromdichten (nach links abgetragen) an der Außenoberfläche bei KS-Funktionswand mit WDVS im Bereich der einbindenden Decke

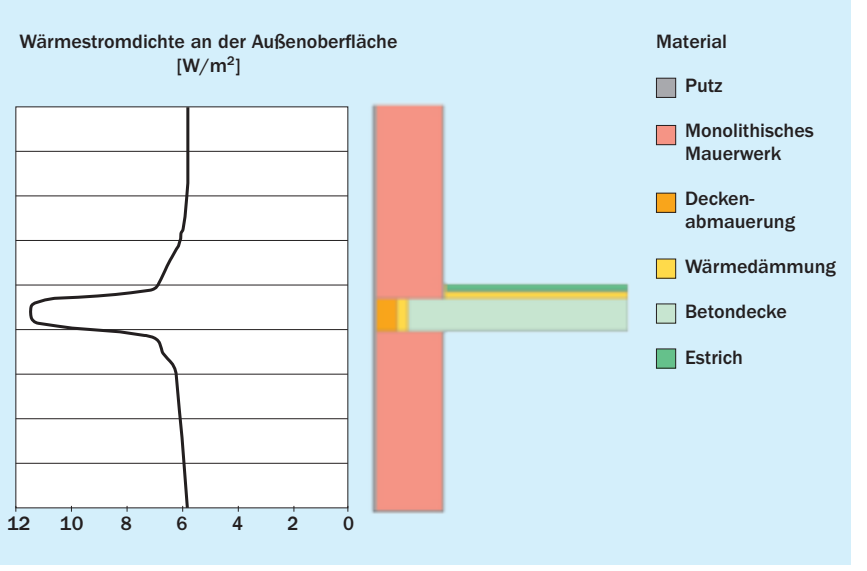


Bild 11 Wärmestromdichten (nach links abgetragen) an der Außenoberfläche bei monolithischer Bauweise im Bereich der einbindenden Decke

der jene Bauteilanschlüsse aufgeführt sind, deren Wärmebrückenwirkung im GEG-Nachweis vernachlässigt werden darf.

5.2 Reduzierung der Wärmebrückenverluste nach DIN 4108 Beiblatt 2

Zwei Kategorien für Wärmebrücken

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) erwartet vom Planer, den Einfluss konstruktiver Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf nach den Regeln der Technik und unter Berücksichtigung der im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen so gering wie möglich zu halten. Anders als bei flächigen Bauteilen werden jedoch an Wärmebrücken keine energetischen Mindestanforderungen gestellt, es existieren auch keine verbindlichen Höchstwerte für ψ.

Das nicht-normative DIN 4108 Beiblatt 2 [7] gibt in Prinzipskizzen Planungs- und Ausführungsempfehlungen zur Verminderung des Einflusses von Wärmebrücken in energetischer und thermischer Hinsicht. Hierfür werden zwei Kategorien A und B im Sinne von Niveaus definiert, wobei Kategorie A eher der vorherigen Ausgabe des Beiblatts entspricht, während Kategorie B eine weiter verbesserte Wärmebrückenvermeidung darstellt.

Wärmebrückenberücksichtigung mittels pauschalem Zuschlag

Es steht dem Nachweisführenden des GEG-Nachweises frei, die Wärmebrücken einzeln detailliert zu berücksichtigen oder alle zusammen pauschalisiert mittels eines additiven Wärmebrückenzuschlags ΔU_{WB} von 0,03 W/(m²K) für die Kategorie B und 0,05 W/(m²K) für die Kategorie A. Dabei müssen praktisch alle Wärmebrücken des Gebäudes der gewählten Kategorie gleichwertig entsprechen. Dies ist vom Planer im Energieausweis explizit zu bestätigen. Einzelne Wärmebrücken dürfen schlechter als die gewählte Kategorie sein, ihre Referenzwert-Überschreitung ist jedoch zusätzlich in ΔU_{WB} einzurechnen. Für Förderprogramme ist häufig die vorgenommene Einstufung in eine Kategorie für alle Wärmebrücken einzeln zu begründen.

Die Wahlmöglichkeiten sind in Tafel 13 dargestellt. Die derzeit üblichste Variante der Wärmebrückenberücksichtigung ist der pauschale Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} = 0,03 W/(m²K). Unabhängig von der energetischen Einstufung greift natürlich immer auch die hygienische Mindestanforderung der DIN 4108-2 an den Wärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken, nämlich die Einhaltung des Schimmelpilzkriteriums $f_{Rsi} \geq 0{,}70$.

Zu berücksichtigende und vernachlässigbare Wärmebrücken

Welche Wärmebrücken im Rahmen des energetischen Nachweises mindestens zu berücksichtigen sind und welche vernachlässigt werden dürfen, regeln im Grundsatz das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und die DIN/TS 18599-2, die detaillierte Auflistung findet sich jedoch in DIN 4108 Beiblatt 2, Abschnitt 5.5. Mindestens zu berücksichtigen sind:

- Gebäudekanten inklusive Traufe, Ortgang sowie Kanten zwischen erdberührten Bauteilen (Kanten zwischen gleich aufgebauten Bauteilen, typischerweise Außenecken, First etc. können vernachlässigt werden)
- Die Laibungen von Fenstern und Türen (Laibungen vereinzelt auftretender Haus- und Kellertüren dürfen vernachlässigt werden)

Tafel 13 Möglichkeiten für den Nachweis des Wärmebrückenzuschlags ΔU_{WB}

Pauschaler Zuschlag ΔU_{WB} **= 0,15 W/(m²·K)**	Für Bestandsgebäude, bei denen mehr als 50 % der Außenwandfläche mit einer innen liegenden Dämmschicht versehen sind und einbindende Massivdecken vorliegen
Pauschaler Zuschlag ΔU_{WB} **= 0,10 W/(m²·K)**	Standardwert ohne weiteren Nachweis. Er entspricht zahlenmäßig einer Erhöhung der U-Werte aller Hüllflächenbauteile um jeweils 0,10 W/(m²·K). Überbetont üblicherweise den Wärmebrückeneinfluss.
Reduzierter pauschaler Zuschlag ΔU_{WB} **= 0,05 W/(m²·K)**	Wenn alle relevanten Wärmebrücken mindestens der Kategorie A der DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen.
Reduzierter pauschaler Zuschlag ΔU_{WB} **= 0,03 W/(m²·K)**	Wenn alle relevanten Wärmebrücken der Kategorie B der DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen
Kombinierter Zuschlag (pauschal + individuell) ΔU_{WB} **= 0,05 W/(m²·K) +** $\Delta\psi \cdot \ell_i / \Sigma A$ **bzw.** ΔU_{WB} **= 0,03 W/(m²·K) +** $\Delta\psi \cdot \ell_i / \Sigma A$	Wenn nicht alle relevanten Wärmebrücken mindestens der Kategorie A bzw. B der DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen. Die Wärmebrücken, die ungünstiger als Kategorie A bzw. B sind, werden mit dem Unterschied (ψ - ψ_{Ref}) zwischen dem tatsächlichen ψ-Wert und dem jeweiligen ψ-Referenzwert der betreffenden Kategorie, multipliziert mit der Wärmebrückenlänge ℓ, in ΔU_{WB} eingerechnet. Relevante Wärmebrücken, die gar nicht im Beiblatt 2 enthalten sind, werden mit $\Psi \cdot \ell$ in ΔU_{WB} eingerechnet.
Pauschaler Zuschlag, zusätzliche Wärmebrücken ohne Beispiel im Beiblatt 2	Relevante Wärmebrücken, die gar nicht im Beiblatt 2 enthalten sind, werden zusätzlich mit $\psi \cdot \ell$ in ΔU_{WB} eingerechnet.
Individueller ΔU_{WB} **bei detaillierter Berücksichtigung der Wärmebrücken**	Der individuelle Zuschlag ΔU_{WB} bei detaillierter Wärmebrückenberücksichtigung ist $\Delta U_{WB} = \Sigma(\psi_i \cdot \ell_i) / A$. Hierbei können zusätzlich auch auch punktförmige Wärmebrücken berücksichtigt werden; der Zähler wird dann um + $\Sigma(\chi_j \cdot n_j)$ vergrößert. A ist die gesamte wärmeübertragende Hüllfläche des Gebäudes bzw. der Zone, ℓ_i die Länge der jeweiligen längenbezogenen Wärmebrücke i (und gegebenenfalls n_j die Anzahl, wie oft eine punktförmige Wärmebrücke j auftritt). Zahlenwerte für ψ und χ können selbst berechnet oder der Literatur oder Wärmebrückenkatalogen entnommen werden.

- Decken- und Wandeinbindungen und Deckenauflager, außer sie sind mit mindestens R = 2,5 m²K/W überdämmt

- Balkonplattenanschlüsse (dürfen nur noch wärmetechnisch entkoppelt ausgeführt werden)

Vernachlässigt werden dürfen im GEG-Nachweis u.a.

- Bauteilanschlüsse zwischen zwei gleich aufgebauten Bauteilen, typischerweise z.B. die Außenkanten des Gebäudes und der First

- vereinzelte punktförmige Wärmebrücken wie beispielsweise Durchdringungen der Dämmung durch Holzbalken, Balkon- und Vordachverankerungen (regelmäßige punktförmige Wärmebrücken wie beispielsweise Dübel in WDVS werden nicht bei den Wärmebrücken berücksichtigt, sondern in den U-Wert eingerechnet)

Empfehlungen in DIN 4108 Beiblatt 2

Die Prinzipskizzen im Beiblatt 2 sind als Empfehlungen zur Wärmebrückenvermeidung sowie als Arbeitserleichterung für den bildlichen Gleichwertigkeitsnachweis gedacht und stellen keine Festlegungen im Sinne des Baurechts dar. Auch wenn die Beispiele primär auf den Neubau abzielen, geben die dargestellten Prinzipien auch Hinweise für die Wärmebrückenverminderung bei der Bestandssanierung.

INFO

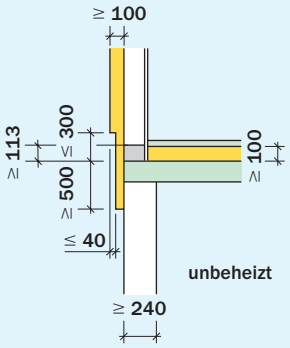
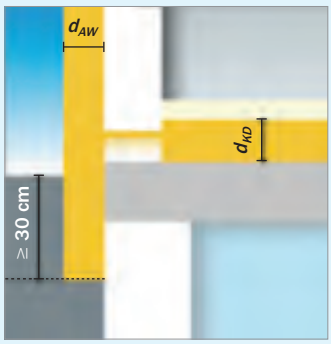
Bei der funktionsgetrennten Kalksandstein-Bauweise können die Bauteilanschlüsse sehr gut die verbesserte Kategorie B erfüllen. Durch den detailliert ermittelten Zuschlag sind bei Kalksandstein-Bauweise weitere Verbesserungen erreichbar. Dies stellt bei energetisch hochwertiger Planung den Standard dar.

5.3 Gleichwertigkeitsnachweis

Der Nachweis, dass eine konkret geplante oder ausgeführte Anschlussausbildung gleichwertig zu den Empfehlungen in DIN 4108 Beiblatt 2 ist, kann auf zwei Arten geführt werden: bildlich oder rechnerisch.

Beim bildlichen Nachweis vergleicht der Planer seine Detailplanung visuell mit den Beispielzeichnungen im Beiblatt und prüft, ob das konstruktive Grundprinzip der Wärmebrückenvermeidung, sowie die Schichtdicken beziehungsweise Wärmedurchlasswiderstände der relevanten Baustoffschichten (Dämmstoffe, Massivbaustoffe) eingehalten sind. Dabei werden gedanklich die

Tafel 14 Beispiel für den rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweis für Kategorie B nach DIN 4108 Beiblatt 2

	DIN 4108 Beiblatt 2	Kalksandstein-Wärmebrückenkatalog
Bildlicher Nachweis **Überprüfung:**		
Dämmdicke Außenwand	≥ 100 mm	= 180 mm
Dämmdicke Kellerdecke	≥ 100 mm	= 120 mm
Länge flankierender Dämmung	**≥ 500 mm**	**= 300 mm**
Höhe KS-Wärmedämmstein	≥ 113 mm	= 113 mm
Dicke Kellerwand	≥ 240 mm	= 300 mm
	→ Die Länge der flankierenden Dämmung auf der Kelleraußenwand ist geringer als in der Beispielskizze aus DIN 4108 Beiblatt 2 → Bildlicher Gleichwertigkeitsnachweis ist nicht eingehalten.	
Rechnerischer Nachweis	$\psi_{Ref,Kat.B}$ = 0,15 W/(m·K)	ψ = 0,038 W/(m·K)
	→ Der individuelle ψ-Wert des Bauteilanschlusses ist geringer als der Referenzwert ψ_{Ref} nach DIN 4108 Beiblatt 2 für die Kategorie B → Rechnerischer Gleichwertigkeitsnachweis ist eingehalten. Das Detail entspricht nach DIN 4108 Beiblatt 2 der Kategorie B.	
	→ Im GEG-Nachweis darf ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von 0,03 W/(m²·K) angesetzt werden, sofern alle anderen relevanten Wärmebrücken ebenfalls der Kategorie B entsprechen.	

möglichen Wärmewege von innen nach außen abgegangen und geprüft, ob die Wärme mindestens den gleichen Wärmedurchlasswiderstand überwinden muss wie in der Beispielzeichnung, ohne „Abkürzungen“. Ist dies gegeben, ist der bildliche Gleichwertigkeitsnachweis für den Bauteilanschluss erbracht.

Wenn nicht, oder wenn die Detailplanung grundlegend von der Prinzipskizze im Beiblatt 2 der DIN 4108 abweicht, oder wenn die Wärmebrücke gar nicht im Beiblatt enthalten ist, muss ein rechnerischer Nachweis erfolgen. Dabei kann der ψ-Wert aus Wärmebrückenkatalogen entnommen oder individuell zweidimensional berechnet sein, und darf nicht größer sein als der Referenzwert des Beiblatts für die Anschlusssituation der jeweils gewählten Kategorie A oder B. Hinweis: Die Referenzwerte des Beiblatts sind nicht die ψ-Werte der Beispieldarstellungen, sondern die Höchstwerte bei Variation der Parameter (Bauteildicken, Wärmeleitfähigkeitsspannen) der Beispieldarstellung.

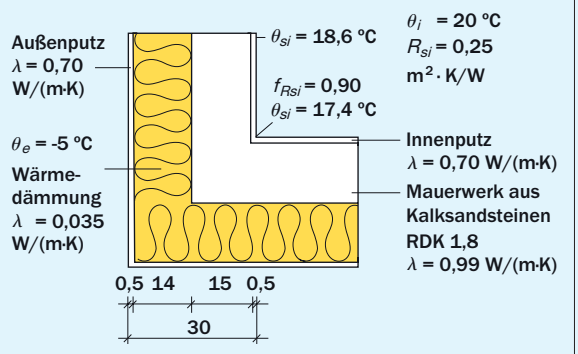
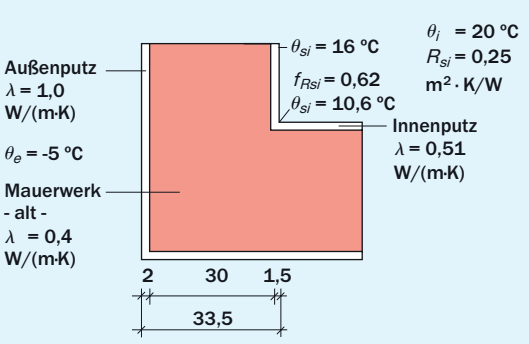
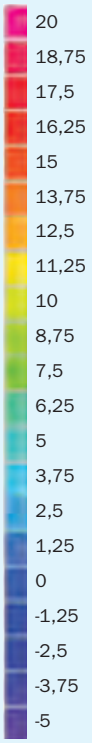
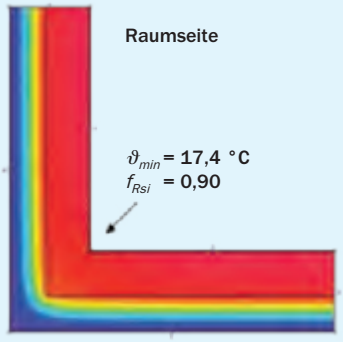
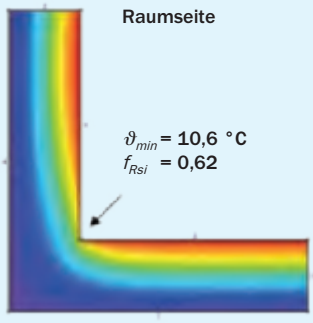
Beide Nachweisvarianten sind gleichberechtigt und können vom Planer frei gewählt werden. Solange für einen Anschluss eines der beiden Nachweisverfahren eingehalten ist, ist die Gleichwertigkeit gegeben. Eine Verpflichtung, dass sowohl der bildliche als auch der rechnerische Nachweis erfüllt sein muss, besteht nicht. Lässt sich weder bildlich noch rechnerisch die Gleichwertigkeit darstellen, kann das Anschlussdetail wärmetechnisch verbessert oder mittels des kombinierten Wärmebrückenzuschlags berücksichtigt werden.

Ein Beispiel für den rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweis für Kategorie B der DIN 4108 Beiblatt 2 für den Sockelanschluss an den unbeheizten Keller bei einer Kalksandstein-Funktionswand mit Wärmedämmstein unter Verwendung des Kalksandstein-Wärmebrückenkatalogs zeigt Tafel 14.

5.4 Hygienische Mindestanforderung an Wärmebrücken

Der Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Wärmebrücken in der Gebäudehülle in hygienischer Hinsicht. Er muss mindestens 0,70 betragen und wird

Tafel 15 **Zweidimensionale Berechnung der Temperaturverteilung in der Raumecke bei KS-Funktionswand (Neubau) und monolithischer Bauweise (Altbau im unsanierten Zustand); Berechnung von f_{Rsi}**

Temperaturverteilung in der Raumecke bei KS-Funktionswand (Neubau)	Temperaturverteilung in der Raumecke bei monolithischer Bauweise (Altbau im unsanierten Zustand)	Temperatur [°C]
		
		
Aufbau von innen nach außen: 0,5 cm Dünnlagenputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,70 W/(m·K)) 15 cm KS-Mauerwerk der RDK 1,8 (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,99 W/(m·K)) 14 cm WDVS (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K)) 0,5 cm Kunstharzputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,70 W/(m·K))	**Aufbau von innen nach außen:** 1,5 cm Gipsputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,51 W/(m·K)) 30 cm Bestandsmauerwerk (angenommener Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,4 W/(m·K)) 2 cm Kalk-Zementputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 1,0 W/(m·K))	
Randbedingungen nach DIN 4108-2 (ϑ_i = 20 °C, ϑ_e = -5 °C; R_{si} = 0,25 m²·K/W)		

aus den angesetzten Lufttemperaturen innen und außen und der berechneten Temperatur an der kältesten Stelle der Innenoberfläche bestimmt und auf zwei signifikante Stellen gerundet.

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si,min} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} \geq 0{,}70 \quad [-] \qquad (5.1)$$

Die Standard-Randbedingungen nach DIN 4108-2 für den Nachweis sind eine Raumlufttemperatur von 20 °C und 50 % relative Luftfeuchte, eine Außenlufttemperatur von -5 °C, ein Wärmeübergangswiderstand R_{se} von 0,04 m²K/W an der Außenseite und ein Wärmeübergangswiderstand R_{si} von 0,25 m²K/W an der Innenseite. Für diese Bedingungen entspricht f_{Rsi} = 0,70 einer kritischen Oberflächentemperatur von 12,6 °C. Diese Temperatur darf an der ungünstigsten Stelle nicht unterschritten werden. Es müssen immer beide Werte, $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ und $\theta_{si,min} \geq 12{,}6$°C, eingehalten werden, und zwar ohne zu runden.

Der R_{si}-Wert 0,25 m²·K/W anstelle der üblichen raumseitigen R_{si}-Werte bildet den reduzierten Wärmeübergang von der Raumluft auf die Wandoberfläche ab, wie er wegen der behinderten Luftzirkulation in der Nähe der Raumkante oder hinter leichten Gardinen auftritt. Innerhalb der Fläche von Fenstern, Fenstertüren, Türen etc. bleibt R_{si} gemäß DIN EN ISO 13788 bei 0,13 m²·K/W, weil dort von ungehinderter Luftzirkulation ausgegangen werden kann.

Die Raumluft hat überall im Raum die gleiche Wasserdampfkonzentration, nimmt aber unmittelbar an der Wandoberfläche die Temperatur der Wandoberfläche an. Wenn Raumluft von 20 °C und 50 % r.F. dadurch auf 12,6 °C abgekühlt wird, steigt ihre relative Luftfeuchte von 50 % auf 80 % (Bild 8). Eine relative Luftfeuchte von 80 % direkt an der Bauteiloberfläche gilt gerade noch als unkritisch hinsichtlich Schimmelpilzwachstum; bei höheren oberlächennahen Luftfeuchten würde es in den feinen Kapillaren der Baustoffe zu Kondensatbildung kommen, und damit hätte ein Schimmelpilz flüssiges Wasser zum Wachsen zur Verfügung. f_{Rsi} übersetzt diese Grenze in einen dimensionslosen Temperaturfaktor.

Der f_{Rsi}-Wert ermöglicht es, die Situation auf andere Temperaturen und Luftfeuchten umzurechnen. Der Nachweis einer Mindest-Innenoberflächentemperatur von 12,6 °C gilt nur für den rechnerischen Wärmebrückennachweis unter den vorgenannten stationären Annahmen.

INFO

Neben der Einhaltung von f_{Rsi} sind zur Schimmelvermeidung eine gleichmäßige Beheizung, ausreichende Lüftung, und eine unbehinderte Luftzirkulation an den Innenoberflächen der Außenbauteile sicherzustellen.

Die Forderung $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ gilt grundsätzlich für alle linienförmige Wärmebrücken zwischen 2 Bauteilen, sowie für punktförmige Wärmebrücken zwischen 3 flächigen Bauteilen. Sind linienförmige Wärmebrücken konform zu den Kategorien A oder B des DIN 4108 Beiblatt 2, bleiben sie bei sachgemäßer Nutzung des Gebäudes schimmelfrei. Dreidimensionale Ecken stellen punktförmige Wärmebrücken zwischen 3 flächigen Bauteilen dar. Sie gelten ohne weiteren Nachweis als unbedenklich hinsichtlich Schimmelbildung, wenn die 3 linienförmigen Wärmebrücken, die sich in der Ecke treffen, ihrerseits unbedenklich hinsichtlich Schimmelbildung sind und die Dämmschichten im Bereich der Ecke unterbrechungsfrei geführt sind.

An Fenstern und Pfosten-Riegel-Konstruktionen ist Tauwasser in geringen Mengen und kurzzeitig zulässig, sofern die Oberfläche die Feuchtigkeit nicht absorbiert und angrenzende Bereiche nicht durchfeuchtet werden. Daher gilt $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ nicht innerhalb des Fensterelements, wohl aber an der Einbaufuge zwischen Fenster und Baukörper, und natürlich überall sonst in der Fensterlaibung.

INFO

Das Schimmelpilzrisiko an Wärmebrücken ist umso geringer, je besser die flächigen Bauteile wärmegedämmt sind. Dies gilt auch für die Sanierung bestehender Gebäude!

Bei Innendämmungen ist eine gründliche Vorab-Analyse der Feuchtesituation Pflicht und die Konsultation eines Bauphysikers empfohlen.

Schwere Vorhänge, Möblierung und Einbauschränke reduzieren den Wärmeübergang auf die Außenwandoberfläche, wodurch die Innenoberflächentemperatur in diesem Bereich sinkt und die Schimmelpilzgefahr erhöht wird. Der reduzierte Wärmeübergang kann durch einen äquivalenten Wärmeübergangswiderstands $R_{si,äq}$ nach DIN/TS 4108-8 dargestellt werden. $R_{si,äq}$ beinhaltet sowohl den normalen Wärmeübergangswiderstand als auch den zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand des vor der Wand stehenden Schranks. Er kann anstelle des üblichen Wärmeübergangswiderstands R_{si} verwendet werden, um die Oberflächentemperatur hinter dem Hindernis zu berechnen, und die Einhaltung des Schimmelkriteriums $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ in diesem Bereich zu überprüfen:

- hinter freistehenden Schränken: $R_{si,äq}$ = 0,5 m²·K/W
- hinter Einbauschränken: $R_{si,äq}$ = 1 m²·K/W

Der Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} ist primär für den rechnerischen Nachweis mittels 2- oder 3-dimensionaler Wärmebrückenberechnung unter stationären Randbedingungen konzipiert. Die Messung von f_{Rsi} bzw. $\theta_{si,min}$ im realen Gebäude ist problematisch, da die tatsächlichen Bedingungen zeitlich variieren und somit zu Ergebnissen führen können, die signifikant vom rechnerischen Ergebnis abweichen. Dies kann aufgrund von Faktoren wie dem Tagesgang des Wetters, Solarstrahlung, Beheizung, Nutzung, und dem 'thermischen Gedächtnis' des Gebäudes geschehen. Daher sind die Messergebnisse nicht aussagekräftig und können je nach zufälligem Messzeitpunkt in beide Richtungen abweichen. Deshalb ist es nicht möglich, die Einhaltung mittels Infrarotkamera nachzuweisen. Stattdessen ist eine Langzeitmessung über mindestens zwei Wochen erforderlich, um genaue Ergebnisse zu erzielen. Weitere Hinweise hierzu finden sich in DIN/TS 4108-8.

5.5 Rollladenkästen

Einbau- und Aufsatz-Rollladenkästen weisen einen örtlich erhöhten Wärmeverlust gegenüber einer Bauweise ohne Rollladenkasten auf. Dies gilt auch für Vorsatzkästen, wenn ein breiteres

oberes Fensterprofil oder eine Rahmenverbreiterung eingesetzt wird, sowie für Mini-Aufsatzkästen. Im wärmeschutztechnischen Nachweis werden Rollladenkästen in der Regel übermessen und ihre Fläche, je nach Kastenart, der Wandfläche (Einbaukasten, Sturzkasten, Aufsatzkasten) oder der Fensterfläche (Mini-Aufsatzkasten, Vorsatzkasten, teilweise auch Aufsatzkasten) zugeschlagen. Eine Rahmenverbreiterung bei Vorsatzkästen sowie der Einfluss von Mini-Aufsatzkästen und Aufsatzkästen, die der Fensterfläche zugeschlagen werden, ist in einem modifizierten U-Wert für die Wandöffnung des Fensterelements zu berücksichtigen.

Für den wärmeschutztechnischen Nachweis ist es erforderlich, dass an jeder Stelle des Kastens, beim Anschluss an den Blendrahmen sowie beim Sturzanschluss, der Oberflächentemperaturfaktor $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ eingehalten wird. Zusätzlich ist in der Referenz-Einbausituation gemäß DIN 4108-2 Beiblatt 2 der Referenz-ψ-Wert für die Kategorie A oder B einzuhalten, wenn im GEG-Nachweis ein pauschaler ΔU_{WB} angesetzt wird.

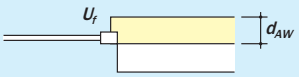
Wärmetechnisch günstige Rollladenkästen sind durch eine möglichst dicke und effektive Wärmedämmung zwischen Rollraum und Decke/Sturz, am Innenschenkel und über dem Blendrahmen des Fensters gekennzeichnet. Die Dämmung sollte den Blendrahmen möglichst weit überdecken. Die Einbausituation von Rollladenkästen im Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) ist in der Regel günstiger zu bewerten als die Einbausituation im monolithischen Mauerwerk. Hier ist aufgrund der Dämmdicke des WDVS eine außenseitige Überdämmung des Kastens gewährleistet, und der Rollraum kann soweit nach außen rutschen, dass die Dämmung der Innenschürze recht dick ausfallen kann. Die Wärmebrückenwirkung der einbindenden Decke wird durch das WDVS stark vermindert. Es ist wichtig, auf eine ausreichende Dämmdicke des Kastens nach oben zur Betondecke zu achten, um die Wärmeverluste an dieser Stelle zu minimieren.

Bei Rollladenkästen in zweischaligem Mauerwerk wird die Dämmschicht in der Regel nicht über die Außenseite des Kastens geführt. Hier ist die Dämmdicke am Innenschenkel aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse geringer. In diesem Fall kann die Verwendung eines Vorsatzkastens, der als Linksroller eingebaut wird, wärmetechnisch günstiger sein. Der Vorsatzkasten tritt als gestalterisches Element in der Fassade auf.

5.6 Einbaulage von Fenstern

Die Einhaltung des Prinzips der durchgehenden Dämmebene ist wichtig für eine wärmetechnisch günstige Fenstermontage. Bei KS-Funktionswänden mit Wärmedämmverbundsystem und zweischaligen KS-Außenwänden mit Wärmedämmung ist es wärmetechnisch vorteilhaft, das Fenster außen vor der tragenden Wand, d.h. in der Dämmebene, zu montieren. Hierbei ist es ausreichend, wenn die Innenseite des Fensters flächenbündig mit der Außenseite der tragenden Wand abschließt. Die Befestigung am tragenden Mauerwerk erfolgt mittels Laschen und/oder Winkel. Der Blendrahmen wird außenseitig überdämmt. An der KS-Tragschale kann die Befestigung der Winkel oder Konsolanker einfach und sicher erfolgen. Hierfür gibt es auch justierbare Lösungen, bei denen das Ausrichten der Fenster in allen Raumrichtungen erfolgen kann. Die Einbauebene ist frei wählbar, und Auskragungen bis 150 mm sind möglich. Die nachfolgenden Dichtungsmaßnahmen zwischen Blendrahmen und Mauerwerk werden durch die Montageschienen nicht behindert (Bild 12).

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ψ [W/(m·K)]



		Rahmendicke d_f			
		≤ 70 mm	80 mm	90 mm	≥ 120 mm
		entspricht typischem U_f-Wert [W/(m²·K)]			
		1,4 oder größer	1,3–1,2	1,1–1,0	0,9 oder kleiner
Dicke der Außenwanddämmung d_{AW} [cm]	10	0,000	0,000	0,001	–
	14	0,002	0,001	0,001	0,000
	18	0,004	0,004	0,003	0,001
	24	0,008	0,008	0,007	0,004
	30	0,012	0,011	0,010	0,008

Hinweise

- Die Fensteröffnung ist mindestens 30 mm zu überdämmen (Überdämmung der Montagefuge 1 cm, Überdämmung des Blendrahmens 2 cm).
- Der ψ-Wert hängt in erster Linie von der Rahmendicke d_f ab. Ist diese bekannt, wird ψ ohne Berücksichtigung von U_f oder U_w für diese Rahmendicke abgelesen. Ist die Rahmendicke nicht bekannt, wird ersatzweise vom U_f-Wert des Rahmens ausgegangen. Ist dieser ebenfalls unbekannt, kann er mit der Faustformel $U_f \approx U_w + 0{,}4$ W/(m²·K) aus dem U_w-Wert des Fensters abgeschätzt werden. Alternativ kann U_f mit der genauen Formel nach DIN EN ISO 10077-1 berechnet werden.
- Gilt für alle Dicken und alle Rohdichteklassen des KS-Mauerwerks

Bild 12 **Fenstermontage in der Dämmebene – anzusetzende lineare Wäremdurchgangskoeffizienten für unterschiedliche Dämmdicken (aus dem KS-Wärmebrückenkatalog) [8]**

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ψ [W/(m·K)]

		Rahmendicke d_f			
		≤ 70 mm	80 mm	90 mm	≥ 120 mm
		entspricht typischem U_f-Wert [W/(m²·K)]			
		1,4 oder größer	1,3–1,2	1,1–1,0	0,9 oder kleiner
Dicke der Außenwand-dämmung d_{AW} [cm]	10	0,023	0,029	0,033	0,044
	14	0,028	0,033	0,038	0,049
	18	0,032	0,038	0,042	0,054
	24	0,036	0,042	0,047	0,059
	30	0,040	0,046	0,051	0,063

Hinweise

- Die Fensteröffnung ist mindestens 30 mm zu überdämmen (Überdämmung der Montagefuge 1 cm, Überdämmung des Blendrahmens 2 cm).
- Der ψ-Wert hängt in erster Linie von der Rahmendicke d_f ab. Ist diese bekannt, wird ψ ohne Berücksichtigung von U_f oder U_w für diese Rahmendicke abgelesen. Ist die Rahmendicke nicht bekannt, wird ersatzweise vom U_f-Wert des Rahmens ausgegangen. Ist dieser ebenfalls unbekannt, kann er mit der Faustformel $U_f \approx U_w + 0{,}4$ W/(m²·K) aus dem U_w-Wert des Fensters abgeschätzt werden. Alternativ kann U_f mit der genauen Formel nach DIN EN ISO 10077-1 berechnet werden.
- Gilt für alle Dicken und alle Rohdichteklassen des KS-Mauerwerks

Bild 13 Montage des Fenster in der Mauerwerksebene – z.B: Außenseite des Fensters flächenbündig mit der Außenseite der tragenden Wand – bei funktionsgetrennter Bauweise und Überdämmung des Blendrahmens (aus dem KS-Wärmebrückenkatalog) [8]

Eine alternative Montagemethode ist die Installation des Fensters innerhalb der Rohbauöffnung. Diese Methode ermöglicht eine Befestigung in der Rohbauöffnung mittels handelsüblicher Rahmendübel. Es ist zu beachten, dass der Blendrahmen außenseitig mindestens 2 cm dick überdämmt werden sollte (Bild 13).

Die Montage des Fensters in der Dämmebene ist wärmetechnisch die etwas vorteilhaftere Lösung, da sie die Wärmebrücke in der Fensterlaibung reduziert.

6. Wärmebrücken in KS-Mauerwerk

6.1 Verringerung der Wärmebrückenwirkung durch KS-Wärmedämmsteine

Der Kalksandstein-Wärmebrückenkatalog [8] enthält etwa 150 Detaillösungen mit zahlreichen Varianten zur Verminderung von Wärmebrücken in KS-Mauerwerk. Die Online-Planungshilfe ist unter www.ks-waermebruecken.de abrufbar und ermöglicht auch eine detaillierte Berechnung des Wärmebrückenzuschlags ΔU_{WB}.

Der Unterschied in der Wärmebrückenwirkung mit und ohne Verwendung eines KS-Wärmedämmsteins als erste Steinlage auf der unbeheizten Kellerdecke wird beispielhaft für den Kellerdeckenanschluss dargestellt (Bild 14).

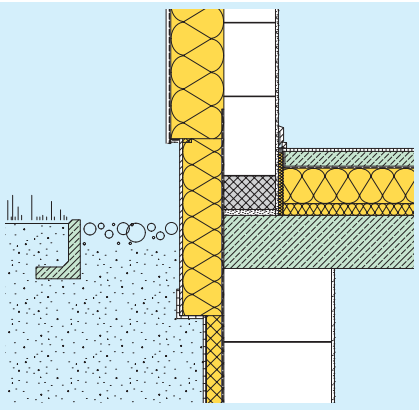
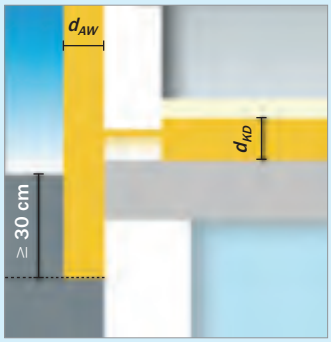


Bild 14 Konstruktionszeichnung aus KS-Detailsammlung, Detail 2.2.3

Rote Farben entsprechen hohen Temperaturen, blaue und violette niedrigen.

Bild 15 Temperaturverlauf am Anschlussdetail von Bild 14

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ψ [W/(m·K)]



		Dicke der Kellerdeckendämmung d_{KD} [cm]			
		8	12	16	24
Dicke der Außenwand-dämmung d_{AW} [cm] (Sockel-dämmung 0 bis 4 cm dünner)	10	0,098	0,090	0,084	0,071
	14	0,056	0,060	0,063	0,063
	18	0,026	0,038	0,047	0,056
	24	-0,010	0,011	0,026	0,044
	30	-0,042	-0,013	0,007	0,032

Hinweise

- Die deckenstirnseitige Sockeldämmung ist in einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0{,}035$ W/(m·K) auszuführen, bis höchstens 30 cm über Geländeoberkante.
- Ein eventueller Rücksprung der Sockeldämmung gegenüber dem WDVS beträgt höchstens 4 cm.
- Die Sockeldämmung ist bis mindestens 30 cm unter Geländeoberkante herabzuführen.
- Die Dicke d_{BP} der Bodenplattendämmung bezieht sich auf die Summe der Dicken der Wärme- und der Trittschalldämmung.
- Der ψ-Wert darf in der EnEV-Berechung nicht mit dem F_x-Wert für den unteren Gebäudeabschluss beaufschlagt werden.
- Gilt für Dicken ≤ 17,5 cm und für Rohdichteklassen ≤ 2,0 des KS-Mauerwerks oberhalb des Kellers und für alle Dicken und alle Rohdichten des KS-Mauerwerks im Keller.

Bild 16 Sockeldetail (WDVS) – KS-Wärmebrückenkatalog, Detail 2.2.3

Durch den Einsatz des KS-Wärmedämmsteins, der gleichzeitig die für Kalksandstein übliche hohe Druckfestigkeit aufweist, kann das Prinzip der umlaufenden Dämmebene am Kellerdeckenanschluss auch bei mehrgeschossigen Gebäuden annähernd eingehalten werden. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung der Wärmeverluste an der Wärmebrücke: Ohne KS-Wärmedämmstein entspricht der Anschluss der Kategorie A aus DIN 4108 Beiblatt 2, mit KS-Wärmedämmstein der Kategorie B. Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ψ wird von 0,066 W/(m·K) ohne KS-Wärmedämmstein auf 0,038 W/(m·K) mit KS-Wärmedämmstein reduziert, was einer Verbesserung um etwa 40 % entspricht.

Als Beispiele zeigt Bild 15 den Temperaturverlauf an der Anschlussstelle; Bild 16 die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für den Kellerdeckenanschluss mit KS-Wärmedämmstein.

6.2 Einfluss von mechanischen Befestigungsmitteln

6.2.1 Mauerwerksanker

Mechanische Befestigungselemente wie Anker und Konsolen erfordern gegebenenfalls eine Korrektur des U-Werts um ihren Einfluss. Dies ist umso wichtiger, je besser die Konstruktion gedämmt ist, da sich die punktförmigen Wärmebrücken dann stärker bemerkbar machen (Bild 17).

Keine Korrektur ist erforderlich für

- Mauerwerksanker, die eine Luftschicht überbrücken,
- Mauerwerksanker, die zwischen Mauerwerkschale und Holzständer angeordnet sind,
- Befestiger, deren Wärmeleitfähigkeit komplett, oder eines Teils des Befestigers, kleiner als 1 W/(m·K) ist.

Tafel 16 Ankerdichte, die ohne U-Wert-Korrektur für den Ankereinfluss möglich ist, für verschiedene U-Werte der ungestörten Wand. Bei einer höheren Ankerdichte oder bei Ankern mit höherem λ-Wert ist der Einfluss der Anker im U-Wert zu berücksichtigen

U-Wert der Wand (ungestörter Bereich) [W/(m²·K)]	Wärmebrückeneinfluss durch die Luftschichtanker ohne U-Wert-Korrektur bis zu (max. 3 % des U-Werts der ungestörten Wand) [W/(m²·K)]	Ankerdichte[1] ohne U-Wert-Korrektur bis zu [Stück/m²]
≥ **0,125**	0,0038	5
≥ **0,150**	0,0045	6
≥ **0,175**	0,0053	7
≥ **0,200**	0,0060	8
≥ **0,225**	0,0068	9

[1] Anzahl an Luftschichtankern pro m² bei zweischaligem Mauerwerk (Edelstahlanker, d = 4 mm mit χ-Wert 0,00075 W/K).

Bei großen Dämmdicken und großem Schalenabstand steigt die Ankeranzahl pro m² und damit der Wärmeverlust durch die Summe der Anker an. Tafel 16 zeigt an einem Beispiel auf, bis zu welcher Anzahl der dort dargestellten Luftschichtanker pro m² Wandfläche keine Korrektur des U-Werts erforderlich wird.

6.2.2 Konsolen und Anker bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF)

Bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF) wird die Dämmschicht regelmäßig von den Befestigungsteilen durchstoßen, wodurch nennenswerte Wärmebrückeneffekte entstehen können. Bereits wenige Anker pro m² können eine Erhöhung des U-Werts um 0,1 bis 0,2 W/(m²·K) oder mehr zur Folge haben. Es wird empfohlen, thermisch getrennte Befestigungsteile einzusetzen oder zugelassene thermische Trennlagen zwischen Konsole und Wand anzubringen. Die Wärmebrücken sind in den U-Wert der Wandfläche mit VHF einzurechnen.

Die Richtlinie „Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden“ [9] stellt entsprechende Werte für typische Verankerungssysteme zur Verfügung und bietet Bemessungsdiagramme zur Berücksichtigung verschiedener Verankerungssysteme.

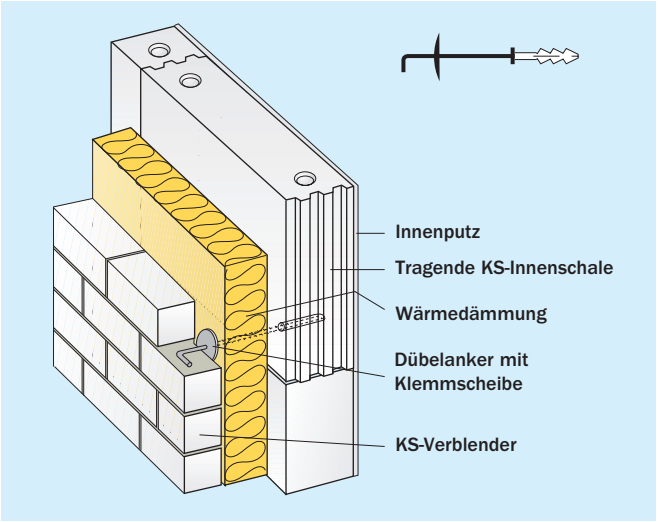


Bild 17 Systemaufbau für zweischaliges Mauerwerk mit Wärmedämmung

Tafel 17 Vergleich von Konstruktionen mit punktförmigen Wärmebrücken: Einfluss auf den U-Wert

Konstruktion	Dämmstoffdicke (λ = 0,032 W/(m·K))	U-Wert[1)] ohne Wärmebrücken	Ankeranzahl n	χ-Wert eines Ankers/Dübels	Wärmebrückeneinfluss ΔU (= $n \cdot \chi$)		U-Wert[1)] mit Wärmebrücken
	[cm]	[W/(m²·K)]	[1/m²]	[W/K]	[W/K]	[%]	[W/(m²·K)]
a) Zweischaliges Mauerwerk mit Edelstahl-Dübelanker, d = 4 mm (außenseitig 11,5 cm KS-Verblender mit λ = 1,1 W/(m·K))	20	0,15 (0,149)	9	0,00075	0,007	4,7	0,16 (0,156)
b) Geklebtes Wärmedämm-Verbundsystem oder geklebt und gedübelt mit Dübeln der Dübelklasse 0 (Null) (außenseitig 0,5 cm Außenputz mit λ = 0,70 W/(m·K))	20	0,15 (0,151)	0	–	–	–	0,15 (0,151)
c) Gedübeltes Wärmedämm-Verbundsystem mit Kunststoffdübeln χ = 0,002 W/K (außenseitig 0,5 cm Außenputz mit λ = 0,70 W/(m·K))	20	0,15 (0,151)	4,5	0,002	0,009	6,0	0,16 (0,160)
d) Vorgehängte hinterlüftete Fassade – verzinkter Stahl (außenseitig 2 cm Hinterlüftung und 4 cm Naturstein mit λ = 3,5 W/(m·K))	20	0,15 (0,150)	1,78	0,018	0,032	21	0,18 (0,182)
e) Vorgehängte hinterlüftete Fassade – Aluminium (außenseitig 2 cm Hinterlüftung und 4 cm Naturstein mit λ = 3,5 W/(m·K))	20	0,15 (0,150)	1,78	0,040	0,071	47	0,22 (0,221)
Wandaufbau: 1 cm Innenputz mit λ = 0,51 W/(m·K); 17,5 cm KS-Tragschale RDK 2,0 mit λ = 1,1 W/(m·K); 20 cm Wärmedämmung mit λ = 0,032 W/(m·K); außenseitig KS-Verblender bzw. Putz bzw. hinterlüftete Natursteinfassade							

[1)] U-Werte werden als Endergebnis auf zwei wertanzeigende Stellen gerundet. Als Zwischenergebnis (z.B. für die Berechnung von ψ-Werten) erfolgt zusätzlich die Angabe der U-Werte mit drei wertanzeigenden Stellen in Klammern.

Der Einfluss der Befestigungsmittel wird bei einem Vergleich der Wärmebrückenwirkung verschiedener Befestigungsarten bei Kalksandstein-Konstruktionen deutlich (Tafel 17):

- a) Zweischaliges Mauerwerk mit Kalksandstein-Verblendmauerwerk ohne Hinterlüftung
- b) KS-Mauerwerk mit geklebtem Wärmedämm-Verbundsystem, oder mit geklebtem und gedübeltem Wärmedämm-Verbundsystem mit Dübeln der Dübelklasse 0 (Null)
- c) KS-Mauerwerk mit geklebtem, oder mit geklebtem und gedübeltem Wärmedämm-Verbundsystem, mit handelsüblichen Kunststoffdübeln mit einem Einstufungswert für χ von 0,002 W/K (Dübelklasse 0,002) und durchschnittlich 4,5 Dübeln pro Quadratmeter.
- d) vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF) mit einer handelsüblichen Tragkonstruktion aus verzinktem Stahl im Rastermaß 0,75 m x 0,75 m, und 6 mm dicker thermischer Trennung zwischen Tragschale und Konsolen.
- e) identisch zu d), aber mit Aluminium-Tragkonstruktion

Ein ausschließlich geklebtes Wärmedämm-Verbundsystem weist keine punktförmigen Wärmebrücken auf. Ein geklebtes und gedübeltes Wärmedämm-Verbundsystem mit Dübeln der Dübelklasse 0 (Null) gilt ebenfalls als wärmebrückenfrei. Bei Systemen mit Befestigungsmitteln können bereits kleine χ-Werte $\geq$ 0,0005 W/K auch bei niedrigen Anker- bzw. Dübeldichten zu einem erkennbaren Anstieg des Wärmetransports führen. Insbesondere bei VHF muss der Einfluss der Befestigungsmittel im U-Wert berücksichtigt werden, um den zutreffenden Wärmebedarf des Gebäudes zu erhalten.

7. Klimabedingter Feuchteschutz

Die Erzielung behaglicher, trockener Räume ist von entscheidender Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Nutzer. Feuchte Wände und Decken können zu Schimmelpilzwachstum führen, was nicht nur ästhetisch unerwünscht ist, sondern auch aufgrund der möglichen toxischen Wirkungen und Allergien zu vermeiden ist. In Räumen mit feuchten Bauteilen ist ein behagliches Raumklima kaum erreichbar. Deshalb ist der Schutz der Außenbauteile gegen Feuchtigkeit eine wichtige bauphysikalische Aufgabe. Um eine ausreichende Feuchtigkeitssicherung zu gewährleisten, gilt:

- Baukonstruktionen müssen über einen konstruktiven Schutz vor Regen oder Schlagregen und vor aufsteigender Feuchte verfügen.
- Der Schutz gegen Oberflächenkondensat auf der Raumseite erfolgt durch einen ausreichenden Wärmeschutz in der Fläche und im Bereich von Wärmebrücken.
- Darüber hinaus muss der Schutz gegen unzulässige Tauwasserbildung infolge von Wasserdampf im Inneren des Bauteils konstruktiv sichergestellt werden, beispielsweise durch eine angepasste Schichtenfolge oder durch raumseitig diffusionshemmende Schichten.
- Eine luftdichte Ausführung der Bauteile und Anschlusspunkte ist ebenfalls erforderlich, um eine Durchströmung der Konstruktion mit warmer, feuchter Raumluft und Kondensatbildung im Bauteilinneren zu vermeiden.
- Bei Neubauten muss eventuell vorhandene Baufeuchte in der Anfangsphase durch erhöhtes Heizen und Lüften abgeführt werden, um Schimmelpilzbildung zu vermeiden. Üblicherweise rechnet man mit einer Zeitdauer von etwa zwei Jahren, bis die Baufeuchte aus massiven Bauteilen ausgetrocknet ist.

INFO

Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung, oder mit Wärmedämmung und Luftschicht, sowie einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) oder hinterlüfteter Außenwandbekleidung sind ohne weiteren Nachweis für alle Schlagregenbeanspruchungsgruppen der DIN 4108-3 geeignet.

7.1 Diffusion von Wasserdampf

Wasserdampfdiffusion ist der Transport gasförmigen Wassers in den Poren und Kapillaren des Baustoffs, angetrieben durch unterschiedliche Wasserdampfteildrücke bzw. unterschiedliche Luftfeuchtekonzentration zu beiden Seiten der Bauteile aufgrund verschiedener klimatischer Bedingungen innen und außen. Die Diffusion erfolgt in der Regel vom beheizten Bereich nach außen. Obwohl die Massenströme gering sind, kann es bei ungünstiger Schichtenfolge, oder wenn auf der Warmseite der Dämmebene diffusionshemmende Schichten fehlen, zu einer unzulässigen Tauwasserbildung im Inneren der Konstruktion über die Winterperiode kommen.

Der Nachweis des ausreichenden Schutzes gegen Tauwasserbildung im Bauteilinneren erfolgt nach dem Blockklima-Verfahren („Glaser“-Verfahren) der DIN 4108-3 mit jeweils 3-monatiger Tau- und Verdunstungsperiode unter konstanten Klimaannahmen. Dieses einfache, „auf der sicheren Seite“ liegende Bewertungsverfahren hat sich insbesondere bei Bauteilen und Baustoffen ohne besondere Sorptions- und Kapillareffekte bewährt.

Die europäische Norm DIN EN 13788 bietet ein analoges, monatsweise bilanzierendes Verfahren an. Da hierfür jedoch keine

für Deutschland geltenden Klimarandbedingungen festgelegt sind, kann es derzeit nicht für den baurechtlichen Feuchteschutznachweis verwendet werden.

In den letzten Jahren haben sich realitätsnahe, instationäre Simulationsprogramme etabliert, die den gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport durch Bauteile unter Berücksichtigung der Kapillarwirkung instationär abbilden. Damit lassen sich auch Konstruktionen wie Innendämmungen mit kapillaraktiven Systemen untersuchen, die mit dem Glaser-Verfahren nicht abgebildet werden können. Solche Konstruktionen sind spezifisch für Standort und Gebäudeausrichtung zu bewerten.

7.2 Kennwerte für die Wasserdampfdiffusion

Die Wasserdampfdiffusion wird anhand folgender Kennwerte berechnet:

- Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ: Diese dimensionslose Kennzahl charakterisiert den Widerstand, den ein Baustoff der Diffusion von Wasserdampf relativ zum Diffusionswiderstand ruhender Luft entgegensetzt. μ ist bei definierten Bedingungen eine Stoffkonstante. Richtwerte finden sich in DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456. Sind zwei μ-Werte angegeben, ist der für die Tauperiode ungünstigere Wert zu verwenden, d.h. der Wert, bei dem sich die höhere Tauwassermenge ergibt. Dieser μ-Wert ist dann auch für die Verdunstungsperiode beizubehalten (Bild 18).

- Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d: Sie drückt aus, wie dick eine ruhende Luftschicht sein müsste, um den gleichen Widerstand gegen Wasserdampfdurchgang wie die betrachtete Bauteilschicht aufzuweisen. Der s_d-Wert ist das Produkt aus der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ des Materials und der Dicke d der betrachteten Schicht. Er ist keine Materialeigenschaft, sondern eine Schichteigenschaft.

Je nach s_d-Wert wird die Diffusionshemmung einer Baustoffschicht oder Bauprodukts wie folgt eingestuft:

- Diffusionsoffene Schicht: $s_d \leq 0{,}5$ m (für Messwerte $s_d < 0{,}10$ m wird $s_d = 0{,}10$ m angesetzt, um mögliche Messunsicherheiten bei kleinen s_d-Werten aufzufangen)
- Diffusionsbremsende Schicht: $0{,}5 \text{ m} < s_d \leq 10$ m
- Diffusionshemmende Schicht: $10 \text{ m} < s_d \leq 100$ m
- Diffusionssperrende Schicht: $100 \text{ m} < s_d < 1.500$ m
- Diffusionsdichte Schicht: $s_d \geq 1.500$ m
- Schicht mit variablem s_d-Wert: Bauteilschicht, die ihren s_d-Wert in Abhängigkeit von der umgebenden relativen Luftfeuchte verändert

Die umgangssprachlichen Bezeichnungen „Dampfbremse“ und „Dampfsperre“ sind nicht normkonform und nicht eindeutig definiert, weshalb sie vermieden werden sollten. Für mehrschichtige Bauteile werden die s_d-Werte der einzelnen Schichten addiert, um den s_d-Wert des gesamten Bauteils zu erhalten. Die Wasserdampf-Übergangswiderstände an den Bauteiloberflächen sind so gering, dass sie vernachlässigt werden können. Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke einer Wärmedämmschicht liegt in der Größenordnung einer massiven Holzwand (Bild 19).

7.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist

In DIN 4108-3 sind zahlreiche Aufbauten von zahlreichen Wand- und Dachbauteilen beschrieben, die keines weiteren Diffusionsnachweises bedürfen. Ihre feuchtetechnische Funktionsfähigkeit ist aus Erfahrung bekannt oder mittels Simulati-

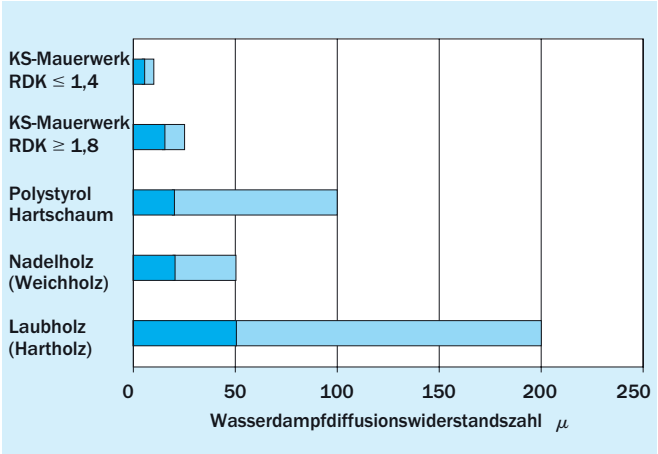


Bild 18 Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen ausgewählter Materialien, angegeben sind jeweils Kleinst- und Größtwert nach DIN 4108-4 bzw. nach DIN EN 12524

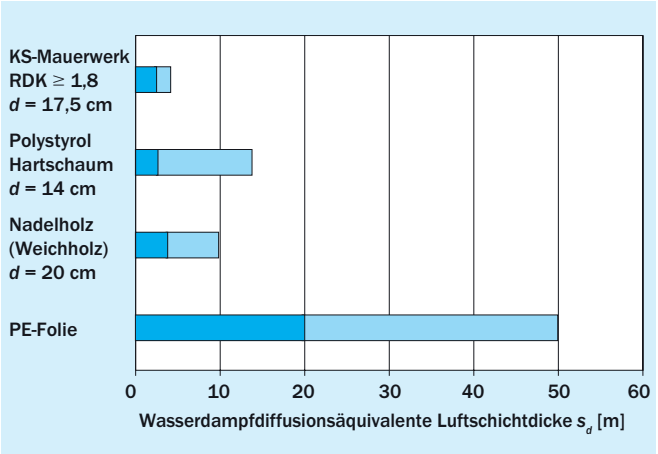


Bild 19 Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d ausgewählter Baustoffe, jeweils für den Kleinst- und den Größtwert des μ-Werts nach DIN 4108-4 bzw. nach DIN EN 12524

onsverfahren nachgewiesen; das Blockklima-Verfahren ist für diese Bauteile nicht anzuwenden. Diese Liste der nachweisfreien Bauteile findet sich in Abschnitt 5.3 der Norm und erstreckt sich über 16 Seiten. Eine Auswahl daraus umfasst:

Außenwände und Bodenplatten (Auswahl):

- Außenwände aus einschaligem Mauerwerk, verputzt
- Außenwände aus mehrschaligem Mauerwerk mit Wärmedämmung, mit Wärmedämmung und Luftschicht oder nur mit Luftschicht
- Außenwände mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung oder Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)
- Außenwände mit angemörtelten Bekleidungen mit mindestens 5 % Fugenanteil
- Perimetergedämmte Kelleraußenwände aus Beton oder Mauerwerk
- Wände in Holzbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale und raumseitiger Schicht mit $s_d \geq 2$ m
- Perimetergedämmte Bodenplatten mit Abdichtung nach DIN-Normen, wenn die Schichten raumseitig der Abdichtung ≤ 20 % des Wärmedurchlasswiderstands ausmachen
- Bodenplatten mit raumseitiger Dämmung und Zementestrich, wobei $s_{d,i} \geq 20$ m sein sollte
- Wände mit Innendämmung ohne Schlagregenbelastung unter bestimmten Randbedingungen

Dächer (Auswahl):

- nicht belüftete Dächer mit belüfteter Dachdeckung und Dämmung zwischen, unter und/oder über Sparren, wenn $s_{d,i}$ und $s_{d,e}$ in einem bestimmtem Verhältnis zueinander stehen
- bestimmte nicht belüftete Steil- und Flachdächer mit Zwischensparren- und Aufsparrendämmung unter gewissen Bedingungen u.a. für Materialien, Schichtdicken und Dampfbremsen
- bestimmte oberste Geschossdecken

INFO

Bei nicht belüfteten Dächern mit belüfteter oder unbelüfteter Dachdeckung und äußeren diffusionshemmenden Schichten mit $s_{d,e} \geq 2$ m ist zu beachten, dass Holz oder Holzwerkstoffe nur bis zur zulässigen Materialfeuchte zwischen inneren und äußeren diffusionshemmenden Schichten eingebaut werden, und dass erhöhte Baufeuchte oder später z. B. durch Undichtheiten eingedrungene Feuchte nur schlecht oder gar nicht wieder austrocknet.

7.4 Konstruktive Hinweise

Generell sollte der s_d-Wert von innen nach außen abnehmen, um die Diffusion nicht zu behindern. Zugelassene oder genormte Wärmedämm-Verbundsysteme weichen davon ab, ihre Systemkomponenten sind aber aufeinander abgestimmt, sodass die Diffusion nur geringfügig behindert wird. Ihre Funktionsfähigkeit ist aus langjähriger Erfahrung bekannt.

INFO

Zweischalige Kalksandstein-Außenwände mit Dämmung, mit WDVS und Kellerwände mit Perimeterdämmung sind hinsichtlich Wasserdampfdiffusion unkritisch und bedürfen keines Diffusionsnachweises nach DIN 4108-3.

Bei Innendämmungen besteht ein hohes Kondensat-Risiko an der Innenseite der tragenden Wand. Abhilfe schaffen diffusionshemmende Dämmstoffe, raumseitige Bekleidungen oder kapillarleitende Dämmstoffe. Aus Gründen der Diffusion, aber auch der Wärmebrückenvermeidung ist eine außenseitige Dämmung oder Kerndämmung einer Innendämmung vorzuziehen. Dadurch wird nur die tragende Konstruktion vor Temperaturwechselbeanspruchungen geschützt, und Wärmebrücken durch innenseitig einbindende Bauteile vermieden.

7.5 Austrocknungsverhalten von Mauerwerkswänden

Das Austrocknungsverhalten von Baustoffschichten und Bauteilen ist insbesondere dann wichtig, wenn diese für die Wärmedämmung von Bedeutung sind. Bei monolithischem Mauerwerk hängt der Wärmeschutz der Außenwand überwiegend von den Mauersteinen ab. Wird ein solches Mauerwerk in der Bauphase durchnässt oder durchfeuchtet, wird der geplante Wärmeschutz erst erreicht, wenn die Wände bis zur Ausgleichsfeuchte ausgetrocknet sind. Rechnerische Untersuchungen zeigen, dass dies bis zu zwei bis drei Jahre dauern kann, wobei der Heizwärmebedarf in dieser Zeit um bis zu 30 % höher sein kann als im ausgetrockneten Zustand.

Bei Kalksandstein-Außenwandkonstruktionen wird der wesentliche Teil der Wärmedämmung von den zusätzlichen Wärmedämmschichten auf der Außenseite der Tragschale erbracht. Die dafür empfohlenen Dämmstoffe (z.B. EPS-Hartschaum oder hydrophobierte Mineralwolleplatten) nehmen praktisch kein Wasser auf, sodass der Wärmeschutz von Kalksandstein-Funktionswänden von Anfang an gewährleistet ist.

INFO

Der Wärmeschutz von Kalksandstein-Funktionswänden ist von Anfang an gewährleistet.

Untersuchungen von Künzel [10] zeigen:

Die Austrocknungszeit von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) bei Kalksandsteinen liegt im Bereich der von monolithischen Wänden, bei Verwendung von Mineralwolle sogar darunter. Da das KS-Mauerwerk selbst nur wenig zur Wärmedämmung beiträgt, stellt eine eventuell lang anhaltende Baufeuchte [10] in der Regel kein Problem dar, solange sie nicht in feuchteempfindliche Bereiche eindringt.

Bei wärmedämmenden und monolithischen Wandbildnern sind WDVS mit wasserdampfdiffusionshemmender Wirkung (z.B. EPS-Hartschaum) ungünstig, da die geringe Trocknungsmöglichkeit nach außen zu länger erhöhter Baufeuchte und reduziertem Wärmedurchlasswiderstand führen kann. Ein WDVS auf Mineralwollebasis führt zu Austrocknungszeiten wie bei Wänden ohne Außendämmung.

INFO

Generell ist in der Austrocknungsphase zu beachten, dass ein erheblicher Teil der Baufeuchte nicht an die Außenluft, sondern an den Innenraum abgegeben wird. In dieser Zeit ist es erforderlich, verstärkt zu lüften und gegebenenfalls zu heizen, um die nach innen austrocknende Baufeuchte mittels Lüftung nach außen abzuführen.

Für die Austrocknung von Kalksandstein-Innenwänden können unter ungünstigen Klimarandbedingungen (20 °C, 65 % r.F.) näherungsweise folgende Anhaltswerte für die Zeit bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte abgeleitet werden:

- Wände der Dicke 11,5 cm: etwa 3 bis 6 Monate
- Wände der Dicke 24 cm: bis etwa 12 Monate
- Bei Lochsteinen sowie praxisgerechten Klimarandbedingungen sind deutlich kürzere Austrocknungszeiten zu erwarten [11]

8. Luftdichtheit

Eine möglichst luftdichte Ausführung der Gebäudehülle ist vor allem aus Feuchteschutzgründen von großer Bedeutung. Andernfalls kann warme, feuchte Raumluft durch Undichtheiten nach außen strömen und es kann an kalten Stellen innerhalb der Konstruktion zu Kondensatbildung und Schimmelpilzwachstum kommen. Dies kann letztlich zur Schädigung oder gar Zerstörung von Bauteilen führen.

Auch aus Sicht der Energieeinsparung ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle relevant. Bei gut gedämmten Neubauten liegt der Anteil der Lüftungswärmeverluste bei freier Lüftung (Fensterlüftung) zwischen 30 und etwa 50 % der gesamten Wärmeverluste. Analog zu Wärmebrücken steigt der prozentuale Anteil mit zunehmender energetischer Qualität der Gebäudehüllfläche. Dementsprechend ist darauf zu achten, dass die Gebäudehülle möglichst wenige ungeplante Undichtheiten aufweist, durch die ein unkontrollierbarer Luftwechsel stattfindet. Lüftungsanlagen (insbesondere mit Wärmerückgewinnung) können die Lüftungswärmeverluste reduzieren bei gleichzeitiger Sicherstellung einer guten Raumluftqualität und hohem Nutzerkomfort.

Hervorzuheben ist, dass die erforderliche Lüftung planmäßig über natürliche Lüftung (Fensterlüftung), Lüftungseinrichtungen (beispielsweise Außenluftdurchlass) oder mechanische Lüftung (Lüftungsanlage mit Ventilator) erfolgen soll, nicht durch mehr oder weniger zufällige Undichtheiten der Gebäudehülle. Der Luftdurchgang durch solche Undichtheiten ist zu stark von Wind- und Luftdrucksituation abhängig, um eine sichere, ausreichende und energieeffiziente Lüftung zu gewährleisten.

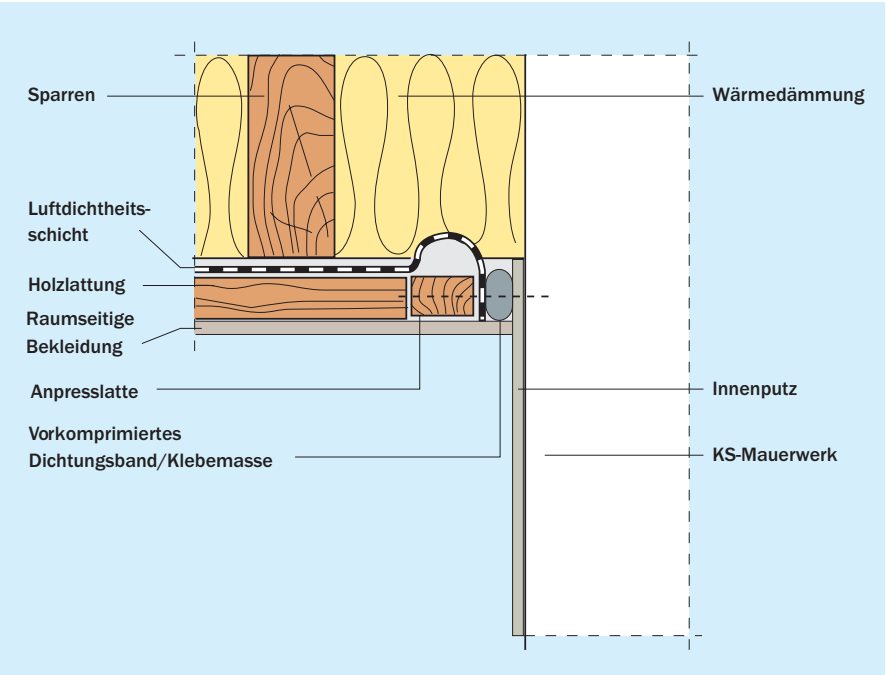


Bild 20 **Luftdichter Anschluss an eine verputzte KS-Wand nach DIN 4108-7 [14]**

Hinsichtlich der Luftdichtheit ist der Mauerwerksbau mit Kalksandstein aufgrund einfacherer und weniger fehleranfälliger Details im Vorteil gegenüber Leichtbauweisen.

Besondere Aufmerksamkeit erfordern:

- Bauteilanschlüsse im Dach- und Fensterbereich
- Durchdringungen im Dach
- Abschlüsse von Mauerkronen; sie sind durch Mörtelauflage oder Verwendung gedeckelter Steine herzustellen.
- Offene Lochkanäle der Mauersteine; sie sind mit Mörtelauflagen herzustellen.
- Bei Verwendung von KS-E-Steinen mit durchgehenden Lochungen sind die Kanäle am Wandkopf zu schließen und Steckdosen luftdicht anzuschließen.
- Mauerwerksbereiche hinter Einbauten wie beispielsweise abgehängten Decken, Spülkästen, Fußbodenleisten, Estrichaufbauten etc. sind vor Anbringen der Einbauten zu verputzen beziehungsweise die Fugen zu verspachteln, um die Luftdichtheit zu gewährleisten.
- Anschlüsse von Luftdichtheitsfolien an Wandbereiche sollten mechanisch gesichert werden, beispielsweise durch eine Anpressleiste mit untergelegtem Kompriband, oder durch Fixieren der Folie mit Rippenstreckmetall und Einputzen (Bild 20).

Kalksandsteine – auch KS-Lochsteine – werden in der Regel mit geschlossenem Deckel hergestellt, was vorteilhaft für Verarbeitung und Luftdichtheit ist.

INFO

KS-Mauerwerk selbst ist bereits bei einseitiger Verwendung von Dünnlagenputz oder bei Vermörtelung der Fugen luftdicht. Der Innenputz ist durchgehend über die gesamte lichte Höhe der Wand zu führen.

INFO

Bei Sichtmauerwerk ist das Mauerwerk besonders sorgfältig zu erstellen und auch die Stoßfugen vollflächig zu vermörteln.

Ausführungsempfehlungen und Hinweise werden exemplarisch in DIN 4108-7 gegeben, entbinden den Planer jedoch nicht von der Pflicht zu eigenverantwortlichem Planen. Die Luftdichtheit ist als eigenständige Planungsleistung zu begreifen und sorgfältig zu planen. Auch auf eine handwerklich gute Ausführung ist zu achten.

Die Ausführung sollte während der Bauphase kontrolliert und mittels Differenzdruckmessung (Blower-Door) nachgewiesen werden. Die Durchführung der Luftdichtheitsprüfung wird vom Gebäudeenergiegesetz nicht gefordert, jedoch ist die ausreichende Luftdichtheit eine geschuldete Eigenschaft. Voraussetzung für die Luftdichtheitsmessung ist, daß die luftdichte Schicht innerhalb der thermischen Gebäudehülle fertiggestellt ist. Die Messung erfolgt hinsichtlich der Fenster, Türen und sonstiger Öffnungen im späteren Gebrauchszustand: Außenfenster und Außentüren werden geschlossen, nutzungsbedingte Öffnungen bleiben offen. Eine Hilfestellung für die fachlich einwandfreie Vorbereitung eines Gebäudes für eine Luftdichtheitsmessung gibt beispielsweise der Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen in einer Broschüre [13]. Das Rechenverfahren des GEG sieht reduzierte rechnerische Lüftungswärmeverluste vor, wenn eine Luftdichtheitsprüfung durchgeführt und bestanden wird. Es ist anzuraten, die Luftdichtheit frühzeitig während der Bauphase nachzuweisen, solange Nachbesserungen noch möglich sind.

Für die mit dem Differenzdruckverfahren (Blower-Door-Test) nach dem nationalen Anhang NA zur DIN EN ISO 9972 geprüfte Luftdichtheit der Gebäudehülle gilt:

- Gebäude ohne raumlufttechnische Anlagen:
  - Mindestanforderung $n_{50} \leq 3{,}0\ h^{-1}$
  - angestrebt werden sollte $n_{50} \leq 2\ h^{-1}$
- Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen:
  - Mindestanforderung $n_{50} \leq 1{,}5\ h^{-1}$
  - Angestrebt werden sollte $n_{50} \leq 1{,}0\ h^{-1}$
- Niedrigenergie- und Passivhäuser:
  - angestrebt werden sollte $n_{50} \leq 0{,}6\ h^{-1}$

n_{50} ist der auf 50 Pa Druckdifferenz bezogene Prüfwert bei der Differenzdruckmessung.

9. Lüftung zum Feuchteschutz

In bewohnten Räumen wird der Luft ständig Feuchte durch die Nutzung zugeführt. Die Raumluftfeuchte hängt wesentlich von der Anzahl der Bewohner, der Wohnungsgröße und der Nutzungsart ab. Hohe Belegungsdichte, freies Wäschetrocknen, viele Pflanzen und Haustiere führen zu einer erhöhten Raumluftfeuchte. Bei üblichem Wohnverhalten können täglich bis zu etwa zehn Liter Wasser als Wasserdampf pro Wohnung freigesetzt werden (Bild 21).

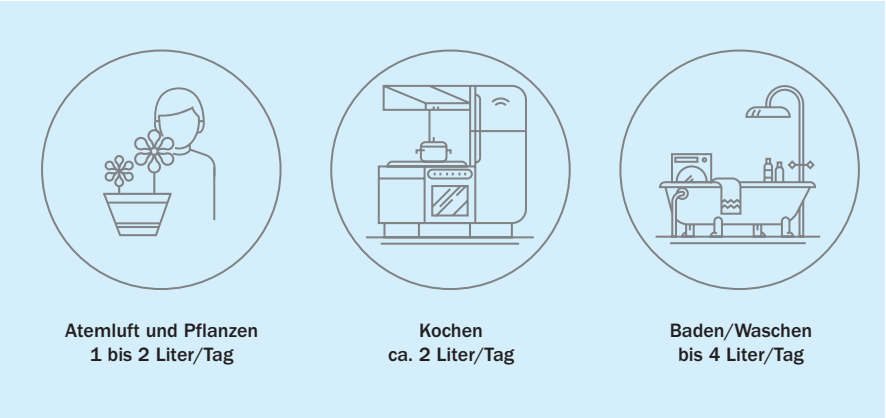


Bild 21 Entstehung von Wasserdampf in einem Vier-Personen-Haushalt

INFO

Außenwände können die anfallende nutzungsbedingte Feuchte nicht „wegatmen“ und auch nicht durch Diffusion abtransportieren. Die Feuchte muss durch Lüftung abgeführt werden. Im Vergleich zur Lüftung ist der Feuchtetransport durch die Außenwände infolge Diffusion verschwindend gering und trägt zur Feuchteabfuhr nur unwesentlich bei, selbst bei sehr diffusionsoffener Bauweise (Bild 22).

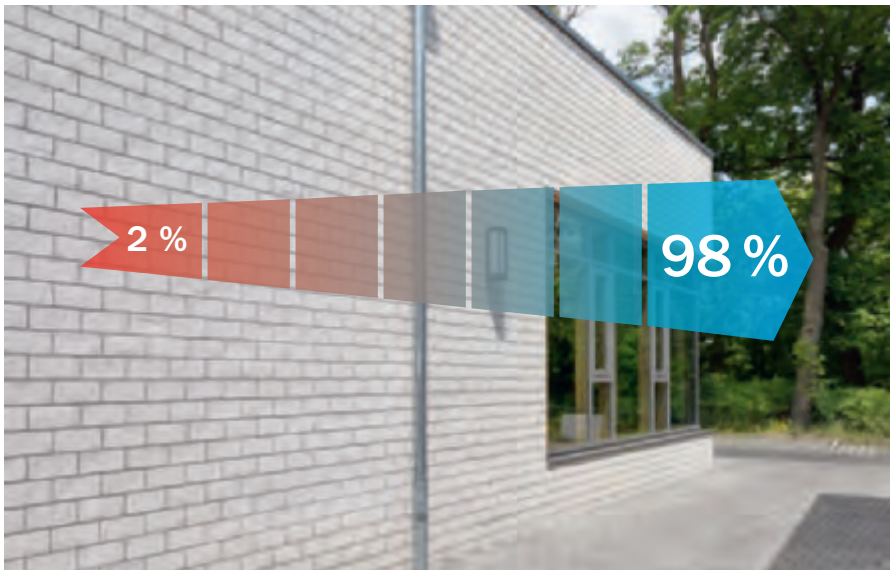


Bild 22 Feuchtetransport aus Räumen findet zu 98 % über Lüftung und nur zu 2 % durch Diffusion statt

Zur Vermeidung von Schimmelbildung auf Bauteilen und an Wärmebrücken sind nicht nur ein ausreichender Wärmeschutz der Bauteile und die Vermeidung von Wärmebrücken wichtig, sondern – neben einer ausreichenden und gleichmäßigen Beheizung - auch eine ausreichende Abfuhr der im Gebäude entstehenden Luftfeuchtigkeit mittels Lüftung. Überlegungen zum Lüftungskonzept des Gebäudes, d.h. wie die ausreichende Lüftung sichergestellt werden kann, gehören daher zum geschuldeten Planungsumfang.

Die ausreichende Lüftung kann wahlweise durch Fenster (freie Lüftung), Lüftungsöffnungen (beispielsweise Außenluftdurchlässe) oder mechanische Lüftung (Absaugung, Wandlüfter, Lüftungsanlagen) oder eine Kombination dieser Maßnahmen erreicht werden. Anhang D der DIN/TS 4108-8 enthält ein Flussdiagramm mit einem Überblick über verschiedene mögliche Verfahren zum Nachweis der Lüftung zum Feuchteschutz mit dem Ziel, eine Vermeidung und Bekämpfung der Lebensbedingungen von Schimmelpilzen unter Beachtung relevanter Zusammenhänge aus Bauphysik, Klima, Heizung und Lüftung zu unterstützen.

Planungs- und Auslegungsfestlegungen für die Wohnungslüftung finden sich u.a. in DIN 1946-6, die aber häufig auf eine Notwendigkeit für mechanische Lüftungsanlagen hinauslaufen. DIN/TS 4108-8 enthält in den informativen Anhängen E bis H ein alternatives Auslegungsverfahren für die Wohnungslüftung, welches den Nachweis mittels Fensterlüftung oder unter Anrechnung der Fensterlüftung gestattet. Hier finden sich auch Rechenbeispiele zu verschiedenen Nachweisverfahren der Lüftung zum Feuchteschutz.

10. Wärmeübertragung über das Erdreich

Die Bedeutung von Kellerräumen hat sich in jüngerer Zeit aufgrund steigender Grundstückspreise grundlegend verändert. Während der Keller früher hauptsächlich als Vorratslager und Abstellfläche genutzt wurde, wird er heute, insbesondere im Einfamilienhausbau, immer mehr in den eigentlichen Wohnbereich integriert. Eine grundlegende Voraussetzung für diese Entwicklung ist die Sicherstellung trockener Wand- und Deckenflächen, die dauerhaft gegen von außen einwirkendes Wasser und Feuchtigkeit von innen geschützt werden müssen. Mit der Nutzung als Aufenthaltsraum steigen auch die Ansprüche des Bauherrn an den Wohnkomfort und das Raumklima im Untergeschoss des Gebäudes. In diesem Fall müssen Außenwände und Bodenplatte einen entsprechenden Wärmeschutz aufweisen.

Für einzelne beheizte oder nur gelegentlich genutzte Räume bietet sich aus wirtschaftlichen Gründen eine auf den einzelnen Raum beschränkte Innendämmung an. Diese Ausführungsvariante ist auch als Nachrüstlösung bei Nutzungsänderungen prädestiniert, häufig als Ausbaureserve. Soll der größte Teil des Kellers beheizt werden, ist eine Kelleraußendämmung (Perimeterdämmung in Wand und Boden) sinnvoll. Der Vorteil der Perimeterdämmung liegt darin, dass Tauwasserausfall auf der Innenseite der Kellerwand und des Kellerbodens verhindert und die Bauwerksabdichtung mechanisch geschützt wird, Wärmebrücken vermieden bzw. vermindert werden, und die Dämmung in größeren Dicken dimensionierbar ist, da im Kellerraum kein Platz verlorengeht. Auch wenn zu Beginn keine hochwertige Kellernutzung geplant ist, ist es empfehlenswert, beim Bau des Gebäudes von vorneherein eine Perimeterdämmung einzubauen. Spätere Nutzungsänderungen sind dann problemlos möglich.

Der Wärmeverlust eines beheizten Kellers an das umliegende Erdreich stellt einen viel komplexeren Vorgang dar als der Wärmeverlust der übrigen Außenbauteile eines Gebäudes an die Außenluft. Die Wärmeverluste hängen ab von der Beschaffenheit des Erdreichs (bindiger bzw. nichtbindiger Boden), dem Wärmeschutz der Außenbauteile, der Grundwassertiefe, der Kellertemperatur und den Abmessungen des Kellers, die nach den Verfahren in DIN/TS 18599-2 und DIN EN ISO 13370 berechnet werden Der Wärmetransfer über das Erdreich kann numerisch zwei- oder dreidimensional nach DIN EN ISO 10211 berechnet werden.

10.1 Temperatur-Korrekturfaktoren F_x und Bodenplattenmaß B'

In der täglichen Praxis hat sich, anstelle einer numerischen Analyse, aber das vereinfachte Verfahren mit Temperatur-Korrekturfaktoren F_x durchgesetzt, wie es in DIN/TS 18599-2 enthalten ist. Dabei wird der U-Wert des erdberührten Bauteils als sogenannter „konstruktiver U-Wert“ einfach aus der Schichtenfolge des Bauteils unter Vernachlässigung des Erdreichs bestimmt. Der äußere Wärmeübergangswiderstand ist Null, da direkter Kontakt zum Erdreich besteht. Die Temperaturdifferenz, die das Bauteil bei Außenluftkontakt hätte, wird auf die niedrigere Temperaturdifferenz des erdberührten Bauteils korrigiert, mittels der in DIN/TS 18599-2 [15] tabellierten Temperatur-Korrekturfaktoren *Fx*. Die Geometrie des beheizten Kellerbereichs geht dabei über das charakteristische Bodenplattenmaß *B'* ein, welches grundsätzlich das Verhältnis aus beheizter Kellerbodenfläche zum exponierten (d.h. außenluftangrenzenden) Umfang dieser Fläche darstellt (Bild 23).

In der Praxis kommt es oft zu Unklarheiten, was zur Grundfläche zählt und welche Umfangsanteile als „exponiert“ gelten. DIN/TS 18599-2 gibt hierzu folgende Hilfestellung, wobei wahlweise auf das Gesamtgebäude oder den einzelnen Gebäudeteil abgestellt werden kann:

- Bezug auf das Gesamtgebäude:
  - Freistehende Wohngebäude und einzonig modellierte Nichtwohngebäude: *Ag* ist die Fläche der Bodenplatte auf Erdreich bzw. Kellerdecke des Gesamtgebäudes, *P* der exponierte Umfang.
  - Mehrzonig modellierte Gebäude: *Ag* kann die Fläche der Bodenplatte/Kellerdecke des Gesamtgebäudes sein, *P* der exponierte Umfang des Gesamtgebäudes. Das ermittelte *B'* gilt für alle Zonen.
  - Reihenhäuser: *Ag* kann die Fläche der Bodenplatten/Kellerdecken der gesamten Reihenhauszeile sein, *P* der exponierte Umfang der Zeile. Das ermittelte *B'* kann für Teile der Reihenbebauung verwendet werden.
- Bezug auf den einzelnen Gebäudeteil:
  - Zonenweise Betrachtung: *P* berücksichtigt nur den exponierten Umfangsanteil der Zone zur Außenumgebung oder zu unbeheizten Gebäudeteilen. *Ag* ist die Grundfläche der Zone.
  - Reihenhäuser: *P* ist der exponierte Umfangsanteil des Reihenhauses zur Außenumgebung oder zu unbeheizten Gebäudeteilen. *Ag* ist die Grundfläche des Reihenhauses.

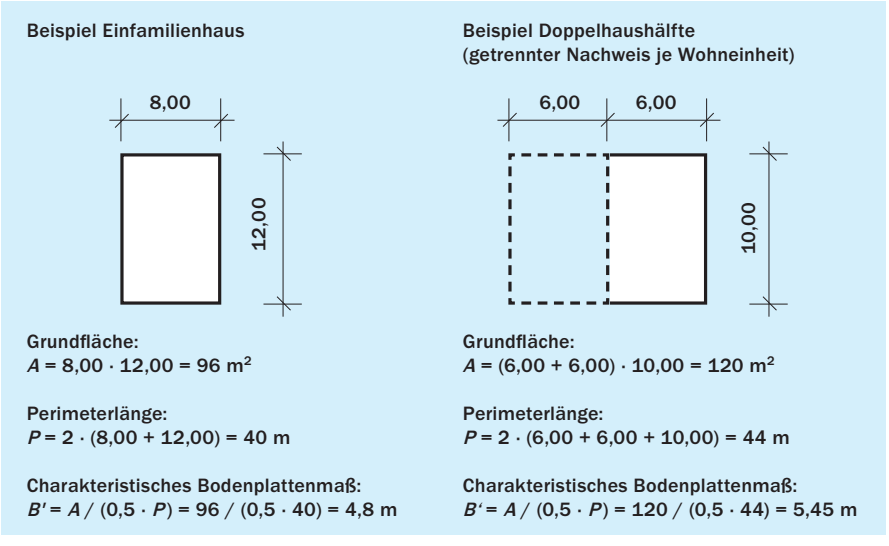


Bild 23 Bestimmung des charakteristischen Bodenplattenmaßes *B'* (Beispiele)

- Unbeheizte Räume außerhalb der Gebäudehülle werden bei *Ag* nicht berücksichtigt, die Wandlänge zu ihnen ist jedoch in P enthalten.
- Im Falle einer detaillierten Berechnung nach DIN EN ISO 13370 wird analog vorgegangen.
- Vereinfachend darf für alle Bauteile des unteren Gebäudeabschlusses $F_x = 0{,}8$ (für einen aufgeständerten Fußboden 0,9) angenommen werden, was aber häufig deutlich ungünstiger ist als der tatsächlich zutreffende Tabellenwert für F_x.
- Für den sommerlichen Wärmeeintrag und bei gekühlten Gebäuden sind die F_x-Werte nicht anwendbar. Hier sind der U-Wert und das Verfahren nach DIN EN ISO 13370 zu verwenden.

Aufgrund der geringeren Temperaturdifferenz bei erdberührten Bauteilen ist die Wärmedämmung des Untergeschosses weniger ergiebig als bei Außenbauteilen. Als Kompromiss aus Energieeinsparung, Komfort und Kosten werden derzeit Perimeterdämmungen von etwa 12 cm Dicke als sinnvoll angesehen, bei Passivhäusern 20 bis 25 cm. Besondere Beachtung sollte der Reduzierung von Wärmebrücken im Bereich von Deckenauflagern und Fundamenten zukommen. Hilfestellung gibt Beiblatt 2 zu DIN 4108 mit Prinzipskizzen und Planungs- und Ausführungsempfehlungen.

Anhang

Tafel A1 Die wichtigsten Normen rund um den baulichen Wärme- und Feuchteschutz

Nummer der Norm	Titel	Inhalt und Hinweise
Grundlagennormen		
DIN 4108-2	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Mindestanforderungen, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung	Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von flächigen Bauteilen und von Wärmebrücken (bauaufsichtlich eingeführt), Anforderungen und Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz
DIN 4108-3	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung	Wasserdampfdiffusion, Glaserverfahren, Tauwasserberechnung, nachweisfreie Bauteile, Randbedingungen für Feuchtesimulationen (bauaufsichtlich eingeführt)
DIN 4108-4	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte	Zu verwendende Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit sowie Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen von Bau- und Dämmstoffen (weitere Werte siehe DIN EN ISO 10456). Umrechnung vom Nennwert zum Bemessungswert für Dämmstoffe. Alternativ dürfen Bemessungswerte aus allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und Bauartgenehmigungen oder vergleichbaren bauaufsichtlichen Regelungen verwendet werden.
DIN EN ISO 10456	Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte	Internationale „Schwester“-Norm zu DIN V 4108-4; enthält u.a. die λ-Werte für Beton, Holz, Holzprodukte
DIN 4108-10	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe	Anwendungstypen von genormten Dämmstoffen und dafür erforderliche Mindesteigenschaften. Alternative Festlegungen werden in produkt- oder bauartspezifischen Technischen Bestimmungen getroffen.
Planungs- und Ausführungsnormen		
DIN 4108-7	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele	Anforderungen und Prinzipskizzen zur luftdichten Ausführung der Gebäudehülle
DIN 4108 Beiblatt 2	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele, mit CD-ROM	Prinzipskizzen für den bildlichen Nachweis sowie λ-Referenzwerte für den rechnerischen Nachweis der Gleichwertigkeit von linienförmigen Wärmebrücken, für den reduzierten pauschalen Wärmebrückenzuschlag
DIN/TS 4108-8	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden	Planungs- und Nutzungshinweise zur Schimmelvermeidung, für Neubau und Bestand, Heizungs- und Lüftungssysteme. Historische wärmeschutztechnische Anforderungen. Nachweisverfahren der Lüftung zum Feuchteschutz; Beispiele für freie Lüftung (Fensterlüftung) nach DIN 1946-6; Luftvolumenströme durch offene Fenster (Anhänge D bis H)
DIN 1946-6	Raumlufttechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung	Anforderungen und Empfehlungen für die Lüftung von Wohnungen, Mindestanforderungen für den Luftaustausch, Lüftung zum Feuchteschutz, Lüftungskonzepte; Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Instandhaltung von Lüftungsanlagen; für die freie und ventilatorgestützte Lüftung
Berechnungsnormen für Bauteile		
DIN EN ISO 6946	Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren	Standardwerte für R_{si} und R_{se}, Formeln für R und U, Behandlung von Luftschichten, Berücksichtigung niedrigemittierender Oberflächen bei Luftschichten, Korrekturwerte für den U-Wert
DIN EN ISO 10211	Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen	Vorgehensweise bei numerischen Berechnungen von zwei- und dreidimensionalen Wärmebrücken, Randbedingungen
DIN EN ISO 13370	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmetransfer über das Erdreich – Berechnungsverfahren	Detaillierte Berücksichtigung des Wärmetransports über das Erdreich (im Gegensatz zur vereinfachten Berücksichtigung über F_x-Werte, die aber nur für den Heizfall verwendet werden dürfen)

Tafel A1 Die wichtigsten Normen rund um den baulichen Wärme- und Feuchteschutz *Fortsetzung*

Nummer der Norm	Titel	Inhalt und Hinweise
DIN EN ISO 13789	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Transmissions- und Lüftungswärmetransferkoeffizient – Berechnungsverfahren	Wärmetransferkoeffizienten, detaillierte Berücksichtigung einiger Wärmetransportpfade
DIN EN ISO 10077-1	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Allgemeines	Rechnerische Bestimmung des U-Werts von Fenstern
DIN EN ISO 10077-2	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Numerisches Verfahren für Rahmen	Rechnerische Bestimmung des U-Werts von Fensterrahmen; enthält u.a. auch Gleichungen für den Wärmedurchlasswiderstand von schmalen Luftspalten
DIN EN ISO 12631	Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten	Rechnerische Bestimmung des U-Werts von Vorhangfassaden
Berechnungsnormen für Gebäude		
DIN V 18599-1 bis 11 (bis 2018) bzw. DIN/TS 18599-1 bis 13 (ab 2021 bzw. 2025)	Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung	Enthält folgende Teile: – 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger – 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen – 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung – 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung – 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen – 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau – 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau – 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungsanlagen – 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen – 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten – 11: Gebäudeautomation – 12: Tabellenverfahren für Wohngebäude (entfällt mit der Ausgabe 2025) – 13: Tabellenverfahren für Nichtwohngebäude (entfällt mit der Ausgabe 2025) – Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich – Beiblatt 3: Überführung der Berechnungsergebnisse einer Energiebilanz nach DIN/TS 18599 in ein standardisiertes Ausgabeformat
Messnormen für Gebäude		
DIN EN ISO 9972	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren	Messverfahren für die Luftdichtheit der Gebäudehülle („Blower-Door“-Messung); Nachfolgenorm für DIN EN 13829

Tafel A2 **Die wichtigsten physikalischen Größen, Formelzeichen und Einheiten rund um bauliche Wärmedämmung und klimabedingten Feuchteschutz**

Physikalische Größe	Symbol	Einheit
Länge	l, ℓ	m
Breite	b	m
Dicke	d	m
Höhe	h	m
Fläche	A	m^2
Volumen	V	m^3
Masse	m	kg
Dichte	ρ	kg/m^3
Celsius-Temperatur	θ, ϑ	°C
Thermodynamische Temperatur	T	K
Wärmemenge	Q	J = Ws
Spezifische Wärmekapazität	c	J/(kg·K)
Wirksame Wärmespeicherfähigkeit	C_{wirk}	Wh/K
Wärmestrom	$\Phi, \dot{Q}$	Ws/s = Wh/h = W
Wärmestromdichte	$\dot{q}$	W/m^2
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)
Thermischer Leitwert	L	W/(m·K)
Wärmedurchlasswiderstand	R	m^2·K/W
Wärmeübergangswiderstand innen/außen	R_{si}, R_{se}	m^2·K/W
Wärmedurchgangswiderstand	R_{tot}	m^2·K/W
Wärmeübergangskoeffizient	h	$W/(m^2·K)$
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)	U	$W/(m^2·K)$
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient („Psi-Wert“)	ψ	W/(m·K)
Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient („Chi-Wert“)	χ	W/K
Temperaturfaktor an der Innenoberfläche	f_{Rsi}	–
Hemisphärischer Emissionsgrad	ε	–
Strahlungsaustauschgrad	E	–
Luftwechsel	n	h^{-1}
Wasserdampfteildruck	p	Pa
Wasserdampfsättigungsdruck	p_S	Pa
Relative Luftfeuchte	φ	%
Massebezogener / Volumenbezogener Feuchtegehalt	u_m, u_V	M.-% / Vol.-%
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	μ	–
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	s_d	m
Tauwassermasse, flächenbezogen	m_c	kg/m^2
Verdunstungsmasse, flächenbezogen	m_{ev}	kg/m^2
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$kg/(m^2·h_{0,5})$
Wasserdampfdiffusionskoeffizient	D	m^2/h
Wasserdampfdiffusionsdurchlasswiderstand	Z	m^2·h·Pa/kg
Wasserdampfdiffusionsstromdichte	g	$kg/(m^2·h)$

Literatur

[1] Umweltbundesamt, www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#entwicklung-des-endenergieverbrauchs-nach-sektoren-und-energietragern, Zugriff am 2025-08-21

[2] Umweltbundesamt, www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#endenergieverbrauch-der-privaten-haushalte, Zugriff am 2025-08-21

[3] DIN 4108-4:2020-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

[4] DIN EN ISO 10456:2010-05: Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte

[5] DIN 4108-2:2025: Wärmeschutz – Mindestanforderungen, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

[6] Pfundstein, M.; Gellert, R.; Spitzner, M.H.; Rudolphi, A.: Dämmstoffe – Grundlagen, Materialien, Anwendungen. Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München 2008

[7] DIN 4108 Beiblatt 2:2019-06: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele

[8] Spitzner, M.H.; Sprengard, Ch.; Simon, H.: Kalksandstein Wärmebrückenkatalog: Als Online-Planungshilfe unter www.ks-waermebruecken.de. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2020

[9] FVHF-Richtlinie: Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, Berlin 1998

[10] Holm, A.; Sedlbauer, K.; Radon, I.; Künzel H. M.: Einfluss der Baufeuchte auf das hygrothermische Verhalten von Gebäuden, IBP Mitteilung 29, 2002

[11] Künzel H. M.: Austrocknung von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen. In: Bauphysik 20 (1998), Heft 1, Seite 18-23

[12] Schubert, P: Zur rißfreien Wandlänge von nichttragenden Mauerwerkwänden. Berlin: Ernst & Sohn. In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 473-488

[13] Anforderungen an den Prüfbericht nach DIN EN ISO 9972. FLiB-Broschüre, Ausgabe 3/2023. Hrsg.: Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen, Berlin 2023

[14] DIN 4108-7:2011-01 und Neuausgabe 202: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden - Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele

[15] DIN/TS 18599-2: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen

Bildnachweise

Bild S. 332: UNIKA GmbH ;
Bild 2: Schulze-Darup;
Bild 20: Netter BauArt/Gerhard Illig/KS-ORIGINAL;
Bild 22, Bild Seite 367: Stefan Witte

Bild S. 333, Bild 23:
Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 13

SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach,
MHS Ingenieurbüro München

Stand: 08/2025

1. Einleitung

Die thermische Behaglichkeit – primär durch die Raumtemperatur und der Außentemperatur der vorherigen Tage bestimmt – ist der Schlüsselfaktor für ein angenehmes Raumklima und somit ein essentielles Qualitätsmerkmal von Aufenthaltsräumen in Wohn- und Nichtwohngebäuden.

Während die Gewährleistung einer adäquaten thermischen Behaglichkeit im Winter seit Jahren durch Mindestanforderungen an den baulichen und energiesparenden Wärmeschutz reguliert wird, ist der sommerliche Wärmeschutz erst seit der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 im Ordnungsrecht verankert. Diese relativ späte Integration hat zur Folge, dass das Bewusstsein für die Notwendigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes bei Planern und Bauausführenden noch nicht so ausgeprägt ist wie für den winterlichen Wärmeschutz.

Die Berücksichtigung des sommerlichen Wärmeschutzes von Beginn der Planung an ist jedoch von wachsender Bedeutung, insbesondere angesichts des Klimawandels und der prognostizierten Zunahme sommerlicher Hitzeperioden. Die Sicherstellung einer guten thermischen Behaglichkeit im Sommer ist eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale zukunftsfähiger Gebäude.

Die Gewichtung der Jahreszeiten hinsichtlich des Energieverbrauchs für die Gebäudetemperierung verlagert sich derzeit vom Winter in den Sommer: Wir können in unseren Gebäuden im Winter eine behagliche Raumtemperatur mit moderatem Energieaufwand sicherstellen, aber wir bekommen zunehmend Schwierigkeiten im Sommer mit zu warmen Innenräumen, bzw. müssen einen zunehmenden Energieaufwand betreiben, um das Raumklima im Sommer in einem behaglichen Bereich zu halten.

Das vorliegende Kapitel beleuchtet zunächst die fundamentalen Zusammenhänge und Einflussparameter und erläutert die relevanten Nachweisverfahren. Anschließend wird die praktische Anwendung dieser Verfahren anhand von Berechnungsbeispielen demonstriert. Dabei wird der Einfluss verschiedener Parameter, wie beispielsweise der Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile, anschaulich dargestellt. Diese ganzheitliche Beschreibung soll ein tieferes Verständnis für die Komplexität und Wichtigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes vermitteln, und dabei helfen, diesen Aspekt frühzeitig und effektiv in die Planung zu integrieren.

2. Sommerlicher Wärmeschutz von Aufenthaltsräumen

Einflussfaktoren

Das sommerliche Temperaturverhalten eines nicht klimatisierten Aufenthaltsraums hängt von Klima, Fenstern, Nutzerverhalten und Gebäudeeigenschaften ab und wird maßgeblich von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Außenklima und Sonneneinstrahlung
- Größe der Fenster relativ zur Raumgröße
- Orientierung und Neigung der Fenster
- Gesamtenergiedurchlassgrad der Fenster inklusive Verschattungseinrichtungen
- Lüftungsverhalten des Nutzers, vor allem hinsichtlich Nachtlüftung
- Nutzung von beweglichen Verschattungseinrichtungen
- Innere Wärmelasten aus Geräten und Personen
- Wärmespeicherverhalten des Raums
- Baulicher Wärmeschutz der Außenbauteile
- Bauliche Verschattung durch Topografie, Nachbargebäude, und durch das Gebäude selbst

Bei der Gebäudekonzeption und -planung sollten Architekten und Ingenieure diese Faktoren angemessen berücksichtigen. Das primäre Ziel ist die Schaffung eines angenehmen sommerlichen Raumklimas bei gleichzeitiger Reduzierung oder gänzlicher Vermeidung eines Kühlenergiebedarfs. Dies lässt sich durch gezielte bauliche und technische Maßnahmen erreichen, die auf fundierten bauphysikalischen Prinzipien basieren:

- Minimierung der Wärmezufuhr von außen z.B. durch effektive Nutzung von Verschattungseinrichtungen
- Reduzierung interner Wärmegewinne z.B. durch energiesparende Geräte und Beleuchtung
- Erhöhung der Wärmeabfuhr, insbesondere durch erhöhte Nachtlüftung
- Bereitstellung ausreichender Speichermassen mit direktem Kontakt zur Raumluft, um Temperaturanstiege tagsüber zu dämpfen

INFO

Die thermische Masse schwerer Konstruktionen fungiert als natürlicher Temperaturpuffer, der Hitzespitzen im Raum abmildert und ein ausgeglichenes Raumklima fördert.

INFO

Gebäude aus Kalksandstein-Vollsteinen mit Stahlbetondecken sind generell als schwere Bauart einzustufen.

Die Nachweispflicht

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) schreibt für Aufenthaltsräume in beheizten Gebäuden (≥ 19 °C Raumsolltemperatur) und in niedrig beheizten Gebäuden (≥ 12 °C Raumsolltemperatur) einen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 vor [1]. Diese bietet mit dem Sonneneintragskennwertverfahren eine pragmatische Berechnungsmethode, die Fenstergröße und Sonnenschutz, verschiedene Bauarten, verstärkte Nachtlüftung und passive Kühlkonzepte berücksichtigt. Dieses ingenieurmäßige Verfahren evaluiert einfach und schnell die wichtigsten Einflussfaktoren, um übermäßige sommerliche Raumtemperaturen ohne aktive Kühlung zu vermeiden. Es empfiehlt sich, diese Kontrolle von vorneherein in die Entwurfs- und frühen Planungsphasen zu integrieren, um rechtzeitig und günstig gegensteuern zu können.

Für eine präzisere Analyse können Planer auf Programme zur thermischen Gebäudesimulation zurückgreifen. Diese ermöglichen eine detaillierte Prognose der sommerlichen Raumtemperaturen. Soll die Simulation als GEG-Nachweis des ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes anstelle des Sonneneintragskennwertverfahrens dienen, sind die in der DIN 4108-2 definierten Berechnungsparameter und Randbedingungen zu verwenden, um die Vergleichbarkeit mit den normativen Grenzwerten zu gewährleisten.

Zusätzlich (aber nicht als Nachweisersatz!) kann die thermische Gebäudesimulation mit individuellen Randbedingungen wiederholt werden, um im Rahmen der Bauherrenberatung die Behaglichkeit unter den für später tatsächlich geplanten Nutzungsrandbedingungen und am individuellen Gebäudestandort zu bewerten. Dabei kann der resultierende Verlauf der Raumtemperatur anhand eines Gleitenden-Mittelwert-Verfahrens aus DIN EN 16798-1 [2] in Komfortklassen eingestuft und mit der Komfortanforderung des Bauherren verglichen werden.

INFO

Gemäß GEG ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 entweder mit dem Sonneneintragskennwertverfahren oder mittels thermischer Gebäudesimulation für die Aufenthaltsräume aller beheizten und niedrig beheizten Gebäude zu führen.

Beim Nachweis konzentriert man sich auf den vermutlich ungünstigsten Aufenthaltsraum des Gebäudes hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes. Ist für diesen Raum der Nachweis erfolgreich erbracht, gilt er für alle anderen Aufenthaltsräume mit. Falls man sich vorab nicht sicher ist, welcher Aufenthaltsraum der kritische ist, werden alle Räume analysiert, die als kritischer Raum in Frage kommen. Bei mehrzonigen Gebäuden geht man analog vor, aber pro Zone. Aufenthaltsräume sind üblicherweise z.B. Wohn- und Schlafräume, Büro-, Geschäfts-, Verkaufsräume, Warteräume, Werkstätten, Gaststätten, Versammlungs- und Unterrichtsräume, Krankenräume, Sport- und Spielräume, aber nicht z.B. Treppenräume, Abstell- und Lagerräume, Heizräume.

Ausnahmen von der Nachweispflicht

Bei Wohngebäuden mit spezifischen Merkmalen – einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil des kritischen Raums von bis zu 35 % und mit Rollläden an Ost-, Süd- und Westfenstern – entfällt die Nachweispflicht. In diesen Fällen gilt der sommerliche Mindestwärmeschutz pauschal als erfüllt.

Ähnliches gilt für Räume hinter unbeheizten, zum Aufenthaltsraum hin abgeschlossenen Glasanbauten, wenn der unbeheizte Glasvorbau einen Sonnenschutz mit einem Abminderungsfaktor $F_C \leq 0{,}35$ und Lüftungsöffnungen im obersten und untersten Glasbereich hat, die zusammen mindestens 10 % der Glasfläche ausmachen, und der dahinterliegende nachzuweisende Raum nur über den Glasvorbau belüftet wird.

3. Umgang mit besonderen Raumsituationen

Die einzuhaltenden Anforderungswerte der Nachweisverfahren der DIN 4108-2 für den sommerlichen Wärmeschutz basieren auf typischen Raumsituationen, nämlich quaderförmigen Räumen üblicher Raumhöhe, mit Fenstern in 1 oder 2 Außenfassaden, und umfassen damit von Haus aus typische Raumsituationen in Wohngebäuden sowie gängige Aufenthaltsräume in Büro- und ähnlichen Nichtwohngebäuden.

Mit ein paar Überlegungen ist das Nachweisverfahren aber auch auf einige besondere Raumsituationen anwendbar. Dabei wird ein pragmatischer Kompromiss zwischen Genauigkeit und Praktikabilität erreicht, der die Vielfalt realer Raumgeometrien auf die dem Nachweisverfahren zugrundliegenden Modelle zurückführt und damit handhabbar macht, ohne dass man auf eine Simulation ausweichen müsste. Treffen mehrere dieser Besonderheiten zusammen, werden die im Folgenden genannten Vorgehensweisen sinngemäß kombiniert.

3.1 Besonders große Räume, L- und U-förmige Räume

- Räume mit einer Raumtiefe von mehr als dem 3-fachen ihrer lichten Höhe

  Bei der Betrachtung solcher Räume müssen nach DIN 4108-2 alle Raumbereiche und Bauteile unberücksichtigt bleiben, die in der Raumtiefe mehr als das 3-fache der lichten Raumhöhe von der Fensterfassade entfernt sind (Bild 1). Hintergrund ist, dass weiter entfernt liegende Raumbereiche oder Bauteile kaum noch am kurzfristigen Abpuffern von Temperaturspitzen teilnehmen.

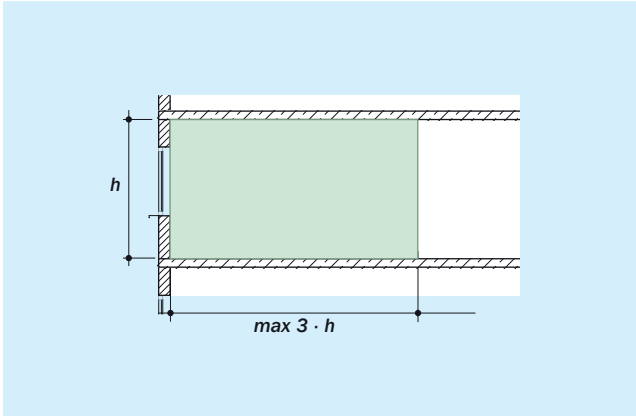


Bild 1 Die größte anzusetzende Raumtiefe beträgt das Dreifache der lichten Raumhöhe [3]

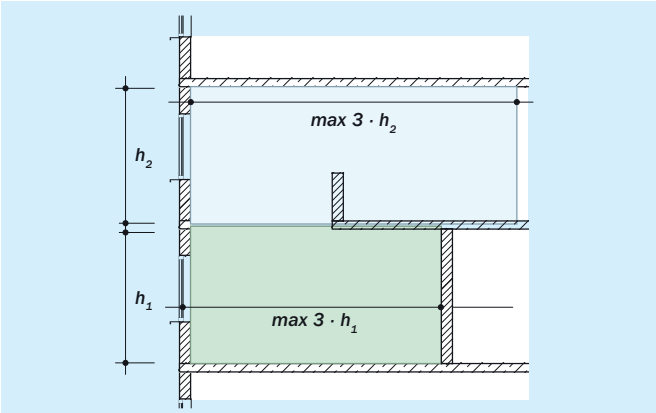


Bild 2 Der mehrgeschossige Raum wird auf Höhe der Oberkante der vorhandenen Rohdecke horizontal virtuell unterteilt. Die so entstehenden virtuellen Raumbereiche werden jeweils separat behandelt [3]

- L- und U-förmige Räume, sehr breite Räume

  Bei besonders breiten Räumen und bei L- oder U-förmigen Räumen wird empfohlen, die Begrenzung auf eine Raumtiefe vom 3-fachen der lichten Raumhöhe nicht nur in der Raumtiefe vorzunehmen, sondern auch in der Raumbreite. Das heißt, alle Raumbereiche und Bauteile, die im Grundriss weiter als das Dreifache der lichten Raumhöhe von der nächstgelegenen Fensterlaibung entfernt sind, in seitlicher Richtung, sollten vernachlässigt werden. Sofern sich die zu berücksichtigenden Raumbereiche überlappen, werden sie zusammengefasst und im Nachweis als ein Raum behandelt.

- Räume mit Fenstern in gegenüberliegenden Fassaden und einer Raumtiefe von mehr als dem 6-fachen ihrer lichten Höhe

  Räumen mit Fenstern in gegenüberliegenden Fassaden werden als zusammenhängender Raum behandelt, sofern die beiden Fensterfassaden weniger als das 6-fache der Raumhöhe voneinander entfernt sind. Dies berücksichtigt die bessere natürliche Belüftungsmöglichkeit in derartigen Raumkonfigurationen aufgrund der gegenüberliegenden Fenster. Bei einer Raumtiefe von mehr als dem 6-fachen der lichten Höhe wird jede Fassade mit zugehörigem 3-fach-Raumhöhe-Bereich wie ein separater Raum behandelt.

3.2 Geschossübergreifende Raumsituationen

Für zwei- oder mehrgeschossige Räume wie Foyers oder Wohnzimmer mit Galerien wird eine virtuelle horizontale stockwerksweise Unterteilung dieser Räume empfohlen. Die Unterteilung erfolgt auf Höhe der Oberkante der vorhandenen Rohdecke. Diese Methode gilt auch für Bereiche mit über mehrere Etagen durchgehenden Fenstern. Durch diese virtuelle Segmentierung entstehen separate Raumbereiche, die jeweils einzeln nachgewiesen werden können. Die virtuell eingezogenen Böden und die tatsächlich vorhandenen Böden bilden zusammen die Grundflächen der Raumbereiche (Bild 2). Zusätzlich kommt, sofern zutreffend, die oben beschriebene Begrenzung auf das Dreifache der lichten Raumhöhe der virtuellen Raumbereiche zum Tragen.

3.3 Räume mit beheizten oder unbeheizten Glasvorbauten und Räume mit bzw. hinter Schaufenstern

Die Wärmeeinträge aus verglasten Treppenhäusern, Foyers, Malls oder aus Schaufenstern können als irrelevant für den Aufenthaltsbereich betrachtet werden, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind:

- Es besteht eine effektive bauliche Trennung zwischen dem Aufenthaltsraum und dem verglasten Bereich bzw. dem Schaufenster.
- Der Aufenthaltsbereich hat eine separate Belüftung, die nicht durch den verglasten Bereich bzw. durch das Schaufenster erfolgt.

Fehlt hingegen eine räumliche Trennung oder erfolgt die Belüftung des Aufenthaltsbereichs über die verglasten Zonen bzw. das Schaufenster, werden diese als integraler Bestandteil des Aufenthaltsbereichs betrachtet. In solchen Fällen müssen die Wärmeeinträge aus den verglasten Bereichen bei der thermischen Bewertung des Gesamtraums berücksichtigt werden. Als wirksame räumliche Trennungen gelten:

- komplett mindestens einseitig geschlossene Regalwände
- komplett mindestens einseitig geschlossene Leichtbauwände
- ähnliche fest installierte Abtrennungen
- nicht jedoch Vorhänge!

3.4 Räume mit Raumhöhen über 4 m (z.B. Hallen), Räume mit Doppelfassaden oder transparenten Wärmedämmsystemen (TWD)

Solche Räume können nicht mit dem Sonneneintragskennwertverfahren, sondern nur mittels Simulation, unter Berücksichtigung der in der Norm definierten Rechenrandbedingungen, nachgewiesen werden.

4. Struktur des Sonneneintragskennwertverfahrens nach DIN 4108-2

4.1 Überblick

Für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes steht in der Norm ein einfaches Handrechenverfahren, das so genannte Sonneneintragskennwertverfahren, zur Verfügung, welches trotz seiner Einfachheit eine gute Übereinstimmung mit einer aufwändigeren Gebäudesimulation aufweist. Dabei wird für den ungünstigsten Aufenthaltsraum des Gebäudes bzw. der Zone der vorhandene Sonneneintragskennwert (S_{vorh}) mit dem zulässigen Höchstwert (S_{zul}) verglichen. Der Nachweis für diesen ungünstigsten Aufenthaltsraum – und damit auch für alle anderen Aufenthaltsräume des Gebäudes bzw. der Zone – ist bestanden, wenn der vorhandene Wert den zulässigen Wert nicht überschreitet:

$$S_{vorh} \leq S_{zul} \qquad (3.1)$$

Der vorhandene Wert S_{vorh} wird bestimmt durch

- Fensterfläche des Raums (inkl. Dachfenstern)
- Lichte Grundfläche des Raums
- Gesamtenergiedurchlassgrad g des Glases
- Abminderung von fest installierten Verschattungseinrichtungen

während in den zulässigen Wert S_{zul} eingehen:

- Klimaregion des Standorts
- Nutzung des Gebäudes, unterschieden zwischen Wohn- und Nichtwohnnutzung
- Bauart, unterschieden in leicht, mittel, schwer
- Nachtlüftungsintensität, d.h. keine, erhöhte oder hohe Nachtlüftung
- Nutzung von Sonnenschutzverglasung
- eventuelle Fensterneigung und/oder Nordorientierung von Fenstern
- passives Kühlkonzept

INFO

Für eine effiziente Nachweisführung steht unter www.kalksandstein.de ein spezielles Berechnungsprogramm zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach dem Sonneneintragskennwertverfahren zur Verfügung.

4.2 Vorhandener Sonneneintragskennwert S_{vorh}

Der vorhandene Wert S_{vorh} berechnet sich aus

$$S_{vorh} = \frac{\Sigma\,(A_{W,j} \cdot g_{tot,j})}{A_G} \qquad (3.2)$$

mit:

$A_{W,j}$ Fensterflächen des betrachteten Raums
$g_{tot,j}$ Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasungen einschließlich Sonnenschutz des betrachteten Raums
A_G Nettogrundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs.

Als Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} der Kombination aus Glas und Sonnenschutzes verwendet man wahlweise

- übliche Standardwerte für g (Tafel 1)
- Herstellerangaben für g ($g = g_{\perp}$)
- Anhaltswerte für F_C, siehe Tafel 2 (bauliche Verschattung durch Vorsprünge, Gebäude und Topografie dürfen alternativ zu den Anhaltswerten auch nach DIN/TS 18599-2 angesetzt werden, aber nur entweder oder)
- Herstellerangaben für F_C

und multipliziert die beiden miteinander:

$$g_{tot} = g \cdot F_C$$

oder man verwendet

- produktspezifische Herstellerangaben für g_{tot}, also gleich für die Kombination aus einem angegebenen Glas und einem angegebenen Sonnenschutz; dies ist meist günstiger als die Verwendung von g- und F_C-Einzelwerten.

4.3 Standard- und Anhaltswerte für Glas und Sonnenschutz

Sofern keine genaueren oder produktspezifischen Angaben bekannt sind, können Standardwerte für den Gesamtenergiedurchlassgrad von Gläsern bzw. die Anhaltswerte der DIN 4108-2:2025 [4] für den Abminderungsfaktor von Sonnenschutzvorrichtungen verwendet werden:

Tafel 1 **Typische Standardwerte und Wertebereiche für den Gesamtenergiedurchlassgrad von Gläsern, für die Vordimensionierung (die Verwendung produktspezifischer Werte wird empfohlen, vor allem bei Sonnenschutzglas)**

Glas	g-Wert Standardwert	g-Wert Wertebereiche ca.
Einfachglas	0,87	–
Doppelverglasung mit Luftzwischenraum	0,75	–
Zweischeiben-Isolierglas	0,60	0,53 bis 0,72
Dreischeiben-Isolierglas	0,50	0,46 bis 0,55
Sonnenschutzglas zweifach	0,40	0,27 bis 0,48
Sonnenschutzglas dreifach	0,25	0,16 bis 0,34

Tafel 2 **Abminderungsfaktoren F_c für den Abminderungsfaktor von Sonnenschutzvorrichtungen. Die Wertebereiche stellen jeweils die Werte für hohe bis niedrige Lichttransmission dar. Nach [4] Tabellen 9 bis 12**

	Glas und Gesamtenergiedurchlassgrad			
	$g \leq 0{,}40$		$g > 0{,}40$	
	dreifach	zweifach	dreifach	zweifach
1. Sonnenschutzvorrichtung außenliegend				
1.1 Fensterladen, Rollladen, Markise parallel zum Glas				
Allgemein; bei unbekannten Reflexions- und Transmissionseigenschaften	0,29	0,32	0,24	0,25
dunkel bzw. niedrig reflektierend	0,29 - 0,15	0,32 - 0,19	0,24 - 0,09	0,25 - 0,11
hell bzw. hoch reflektierend	0,26 - 0,12	0,28 - 0,15	0,24 - 0,09	0,24 - 0,09
1.2 Jalousie, Raffstore, drehbare Lamellen				
Allgemein; bei unbekannten Reflexions- und Transmissionseigenschaften	0,29	0,32	0,24	0,25
dunkel bzw. niedrig reflektierend	0,29 - 0,15	0,32 - 0,19	0,24 - 0,09	0,25 - 0,11
hell bzw. hoch reflektierend	0,26 - 0,12	0,28 - 0,15	0,22 - 0,08	0,23 - 0,08
1.3 Vordach, Markise nicht parallel zum Glas, freistehende Lamellen				
Wenn ohne direkte Besonnung des Fensters	0,55	0,55	0,50	0,50
2. Sonnenschutzvorrichtung im Scheibenzwischenraum des Mehrscheibenisolierglases				
2.1 Jalousie, drehbare Lamellen				
Allgemein; bei unbekannten Reflexions- und Transmissionseigenschaften	0,31		0,35	
dunkel bzw. niedrig reflektierend	0,31 - 0,18		0,35 - 0,22	
hell bzw. hoch reflektierend	0,27 - 0,14		0,31 - 0,19	
2.2 Folienrollo				
Allgemein; bei unbekannten Reflexions- und Transmissionseigenschaften	0,25		0,27	
je nach Lichttransmission	0,25 - 0,12		0,27 - 0,14	
3. Sonnenschutzvorrichtung innenliegend				
3.1 Rollo, Plissee, Jalousie, drehbare Lamellen				
Allgemein; bei unbekannten Reflexions- und Transmissionseigenschaften	0,95	0,95	0,95	0,90
Sehr dunkel	0,95 - 0,85	0,95 - 0,85	0,95 - 0,85	0,90 - 0,80
dunkel	0,76 - 0,73	0,74 - 0,70	0,75 - 0,72	0,74 - 0,69
hell	0,66 - 0,61	0,64 - 0,59	0,66 - 0,61	0,65 - 0,59
weiß oder hoch reflektierend	0,59 - 0,53	0,57 - 0,51	0,61 - 0,55	0,60 - 0,52
	Außenscheibe Einfachglas und Innenscheibe Dreifachglas		Außenscheibe Einfachglas und Innenscheibe Zweifachglas	
4. Sonnenschutzvorrichtung zwischen den Scheiben liegend in einer mehrschaligen Konstruktion, z. B. Verbundfenster, Kastenfenster				
4.1 Jalousie, drehbare Lamellen, Markise, Rollladen				
Allgemein; bei unbekannten Reflexions- und Transmissionseigenschaften	0,31		0,36	
dunkel bzw. niedrig reflektierend	0,31 - 0,18		0,36 - 0,24	
mittlere Reflexion	0,30 - 0,16		0,32 - 0,19	
hell bzw. hoch reflektierend	0,26 - 0,12		0,28 - 0,14	

4.4 Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul}

Der zulässige Wert S_{zul} setzt sich additiv aus Teilkennwerten S_x verschiedener Raumaspekte zusammen:

$$S_{zul} = \Sigma S_x \qquad (3.3)$$

mit:
S_x Anteiliger Sonneneintragskennwert nach Tafel 3

Tafel 3 Anteilige Sonneneintragskennwerte zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwerts nach DIN 4108-2 [1], [4]

Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x nach Klimaregionen in Wohngebäuden					
S_x	Bedingungen		Klimaregion		
S_1	Nachtlüftung	Bauart	A	B	C
	Ohne	Leicht	0,071	0,056	0,041
		Mittel	0,080	0,067	0,054
		Schwer	0,087	0,074	0,061
	Erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2h^{-1}$	Leicht	0,098	0,088	0,078
		Mittel	0,114	0,103	0,092
		Schwer	0,125	0,113	0,101
	Hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5h^{-1}$	Leicht	0,128	0,117	0,105
		Mittel	0,160	0,152	0,143
		Schwer	0,181	0,171	0,160
S_2	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}				
	$S_2 = a - (b \cdot f_{WG})$	a	0,060		
		b	0,231		
S_3	Sonnenschutzglas				
	Fenster mit Sonnenschutzglas mit $g \leq 0,40$		0,03		
S_4	Fensterneigung				
	0° ≤ Neigung ≤ 60° (gegenüber der Horizontalen)		$-0,035 f_{neig}$		
S_5	Orientierung				
	Nord-, Nordost und Nordwest-orientierte Fenster, soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen > 60° ist, sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind		$+0,10 f_{nord}$		
S_6	Einsatz passiver Kühlung nach Bauart	Bauart			
		Leicht	0,02		
		Mittel	0,04		
		Schwer	0,06		

4.5 Klimakarte und Sommerklimaregionen

Die Norm enthält eine Klimakarte, die auf den aktuellen Testreferenzjahren basiert und Deutschland in drei Sommerklimaregionen A, B und C unterteilt. Diese Einteilung ermöglicht eine Zuordnung von Gebäudestandorten zu den entsprechenden klimatischen Bedingungen.

Bei Unklarheiten in der Zuordnung eines Standorts wird konservativ vorgegangen:

- bei Zweifeln zwischen A und B wird Region B gewählt
- bei Zweifeln zwischen B und C, oder zwischen A und C, wird Region C gewählt

Die Klimakarte basiert auf einer komplexen Analyse der Einflussgrößen

- Lufttemperatur
- Solare Einstrahlung
- regionale Klimaadaption der Bevölkerung

Diese multifaktorielle Klimaklassifizierung berücksichtigt damit sowohl objektive klimatische Faktoren als auch die subjektive Wahrnehmung des Sommerklimas durch die Bewohner einer Region.

Bild 3 **Sommerklimaregionen nach DIN 4108-2**

4.6 Einstufung der Bauart hinsichtlich ihrer Wärmespeicherfähigkeit

DIN 4108-2 legt Kriterien für die Einstufung der Bauart hinsichtlich ihrer Wärmespeicherfähigkeit fest. Standardmäßig wird von leichter Bauart ausgegangen, außer man kann begründet davon abweichen. Die Bauart wird entweder pauschal nach Gebäudemerkmalen oder rechnerisch anhand der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des Raumes eingestuft.

Pauschale Einstufung der Bauart

Als leichte Bauart gelten standardmäßig:

- Räume mit Innendämmung
- Räume mit abgehängten Decken
- hohe Räume (> 4,5 m), wie Turnhallen oder Museen

Eine mittelschwere Bauart kann angenommen werden bei:

- Vorhandensein einer Stahlbetondecke
- Außen- und Innenbauteilen mit einer flächenanteilig gemittelten Rohdichte ≥ 600 kg/m³
- keinen hohen Räumen, und keinen abgehängten oder thermisch vom Raum getrennten Decken

Eine schwere Bauart liegt vor, wenn:

- eine Stahlbetondecke vorhanden ist
- keine hohen Räume und keine abgehängten oder thermisch vom Raum getrennten Decken vorliegen
- die Außen- und Innenbauteile massiv ausgeführt sind mit einer flächenanteilig gemittelten Rohdichte ≥ 1.600 kg/m³

Gebäude mit KS-Mauerwerk und Stahlbetondecken erreichen oft Rohdichten über 1.800 kg/m³ und gelten somit als schwere Bauart. Diese differenzierte Betrachtung der Bauarten ermöglicht eine angemessene Einschätzung der thermischen Trägheit des Gebäudes, und damit des Vermögens, sommerliche Raumtemperaturspitzen im Tagesverlauf abzupuffern.

INFO

Im Kontext des sommerlichen Wärmeschutzes klassifiziert die DIN 4108-2 Massivkonstruktionen mit schweren Wänden (Rohdichteklasse ≥ 1,8) und Betondecken pauschal als „schwere Bauart". Diese Bauart, insbesondere unter Verwendung von Kalksandstein, wirkt sich positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz aus, vereinfacht das Bestehen des Nachweises enorm, und bringt eine substanzielle Verbesserung der thermischen Behaglichkeit im Vergleich zu weniger schweren oder leichten Bauarten.

Rechnerische Einstufung der Bauart

Alternativ zur pauschalen Einstufung der Bauart kann die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} eines Raumes auch detailliert nach DIN EN ISO 13786 [5] ermittelt werden. Dafür wird die sogenannte „10-cm-Regel bis zum ersten Dämmstoff" angewendet: man addiert von innen aus die nutzbaren Wärmespeicherfähigkeiten der Baustoffschichten für die ersten 10 cm der Bauteile oder bis zum ersten Dämmstoff im Bauteilaufbau, wenn dieser weniger als 10 cm von der Innenoberfläche entfernt ist. Diese Summe bezieht man auf die lichte Grundfläche des Raums, und erhält die wirksame grundflächenbezogene Wärmespeicherfähigkeit des Raumes. Anschließend wird diese nach Tafel 4 einer der drei Bauartenklassen leichte – mittlere – schwere Bauart zugeordnet:

$$C_{wirk} / A_G = \Sigma (d_i \cdot \rho_i \cdot c_i \cdot A_j) / A_G$$

mit:

C_{wirk} wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Raums, in kJ/(m² · K)

d_i Dicke der jeweiligen Baustoffschichten *i* aller Bauteile mit direkter Anbindung an die Raumluft (innerhalb der ersten 10 cm des Bauteils von der Raumluft ausgesehen, maximal aber bis zu ersten Dämmschicht im Bauteil) (Bild 4)

ρ_i Dichte des jeweiligen Baustoffs *i* (Tafel 5), siehe DIN 4108-4 [6] und DIN EN ISO 10456 [7]

c_i spezifische Wärmekapazität des Baustoffs, siehe DIN EN ISO 10456

A_j Bauteilfläche aller Umfassungsbauteile *j* des betrachteten Raumbereichs (d.h. direkt angrenzend an den nach Abschnitt 3 bestimmten Raumbereich)

A_G lichte Raumgrundfläche des nach Abschnitt 3 bestimmten Raumbereichs

Tafel 4 Einstufung der Bauart in Abhängigkeit von der Speicherfähigkeit des Raums

Bauart	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} / Nettogrundfläche A_G
Leichte Bauart	C_{wirk} / A_G < 50 Wh/(m²·K)
Mittlere Bauart	C_{wirk} / A_G = 50–130 Wh/(m²·K)
Schwere Bauart	C_{wirk} / A_G > 130 Wh/(m²·K)

Wichtig sind dabei folgende Überlegungen, aus denen sich die „10-cm-Regel" ergibt:

- Primär tragen hauptsächlich die raumnahen Schichten zur Pufferung solarer Energie im Tagesrhythmus bei. Tiefer liegende Bereiche haben aufgrund ihrer thermischen Trägheit einen vernachlässigbaren Einfluss.
  - Bei Außenbauteilen werden maximal die ersten 10 cm von der Innenoberfläche aus berücksichtigt.
  - Dünne Innenbauteile (< 20 cm) werden bis zur Wandmitte berücksichtigt.
  - Bei dicken Innenbauteilen (> 20 cm) werden nur die raumseitigen 10 cm einbezogen.
- Wärmedämmschichten, beispielsweise auf abgehängten Decken oder in Installationsebenen hinter raumseitigen Bekleidungen, koppeln dahinterliegende Speichermassen thermisch von der Raumluft ab; die Speichermassen stehen dann für die Pufferung im Tagesrhythmus nicht mehr zur Verfügung.

Tafel 5 Wärmekapazität von typischen Baustoffschichten pro Quadratmeter, bis 10 cm Dicke [8]

Baustoffschicht	Wärmekapazität in Wh/(m²·K)
10 cm Kalksandstein RDK 1,4	39
10 cm Kalksandstein RDK 1,8	50
10 cm Beton	64
10 cm Leichthochlochziegel RDK 0,7, ungefüllt	19
4 cm Wärmedämmung aus MW, EPS, XPS	0,3 - 0,7
4 cm Wärmedämmung aus WF	2 - 3
2 cm Massivholzplatte oder Holzwerkstoffplatte	4 - 6

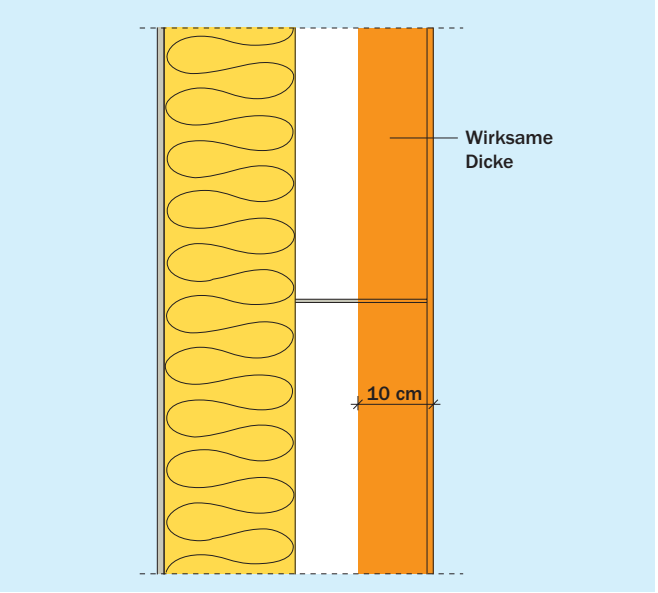


Bild 4 Wirksame Dicke für die Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit

– Bei Außen- und Innenbauteilen mit raumnahen Dämmschichten (mit einer Wärmeleitfähigkeit λ < 0,10 W/(m·K)) in den ersten 10 cm des Bauteils, vom Rauminneren aus gesehen, werden nur die Schichten von der Raumluft bis zum Beginn der ersten Dämmschicht gezählt.

INFO

Wärmedämmschichten mit einer Wärmeleitfähigkeit λ < 0,10 W/(m·K) und alle dahinter liegenden Bauteilschichten stehen nicht als Speichermasse zur Verfügung, ebenso alle mehr als 10 cm von der Innenoberfläche entfernten Materialien.

4.7 Nachtlüftung

Die erhöhte Nachtlüftung stellt eine effektive Strategie für den sommerlichen Wärmeschutz dar. Bei dieser Methode wird die kühlere Nachtluft genutzt, um die tagsüber aufgeheizten Innenräume abzukühlen und die thermische Masse des Gebäudes zu entladen. Gebäude in Massivbauweise, wie beispielsweise mit Kalksandstein-Wänden, profitieren besonders von dieser Strategie aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherkapazität.

Auch wenn sie üblicherweise „nur“ über Fenster umgesetzt wird, muss die erhöhte Nachtlüftung bei der Planung mitgeplant werden. Dies umfasst die Berücksichtigung von Faktoren wie Luftströmungswegen, Sicherheitsaspekten und die eventuelle Automatisierung von Lüftungssystemen. Bei korrekter Anwendung kann die erhöhte Nachtlüftung den Kühlenergiebedarf erheblich reduzieren und somit zu einem energieeffizienten sommerlichen Wärmeschutz beitragen.

Unterschieden wird hier zwischen dem Grundfall „keine erhöhte Nachtlüftung“, d.h. es findet lediglich der übliche Grundluftwechsel (n = 0,5 h^{-1}) statt, und zwei Stufen der zusätzlichen Nachtlüftung: erhöhte Nachtlüftung (n bis zu insgesamt 2 h^{-1}) und hohe Nachtlüftung (n bis zu insgesamt 5 h^{-1}). Für Ein- und Zweifamilienhäuser darf standardmäßig die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung angenommen werden, weil davon ausgegangen werden darf, dass nachts die Fenster gekippt bleiben können – es sind ja Personen im Haus, das wirkt einem Einbruchrisiko entgegen, und bei Sturm und Gewitter können die Bewohner die Fenster schließen. Bei Sicherheitsbedenken z.B. im Erdgeschoss oder bei hoher nächtlicher Lärmbelastung sind ggf. Zusatzmaßnahmen erforderlich. Eine hohe Nachtlüftung kann in Betracht gezogen werden, wenn die Möglichkeit einer geschossübergreifenden Lüftung besteht, beispielsweise durch ein angeschlossenes Atrium, ein Treppenhaus oder eine Galerieebene, oder zuverlässig „auf Durchzug“ gelüftet werden kann.

Bei Nichtwohngebäuden sind nachts keine Benutzer anwesend, deshalb braucht es in der Regel nutzerunabhängige, einbruch- und regensichere Strategien zur Nachtlüftung, z.B. automatisch betriebene, schmale Lüftungsflügel oder Jalousiefenster.

Wohnungs- und Büro-Lüftungsanlagen sind üblicherweise kleiner als n = 2 h^{-1} dimensioniert; schaffen sie n = 2 h^{-1}, darf das entsprechend angesetzt werden.

Die angenommene Nachtlüftungsstrategie ist im Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes zu dokumentieren.

4.8 Geneigte oder nordorientierte Fenster des kritischen Raums

Geneigte Fenster wirken sich eher ungünstig auf den sommerlichen Wärmeschutz aus, weil sie normalerweise die solaren Wärmegewinne im Sommer vergrößern. Weist der kritische Raum nicht nur senkrechte, sondern auch oder nur geneigte Fensterflächen (Neigung ≤ 60°) auf, wird ihr Anteil über einen Faktor f_{neig} berücksichtigt.

Standardmäßig geht S_{vorh} davon aus, dass alle Fenster des kritischen Raums in Nordost- über Süd- bis Nordwestfassadenn liegen. Ist ein Teil der Fenster des kritischen Raums nordorientiert oder dauerhaft vom Gebäude verschattet, was auf dasselbe herauskommt, wird ihr Anteil über f_{nord} berücksichtigt:

$$f_{neig} = \frac{A_{W,neig}}{A_{W,gesamt}} \quad (3.4) \qquad f_{nord} = \frac{A_{W,nord}}{A_{W,gesamt}} \quad (3.5)$$

mit:

$A_{W,neig}$	Geneigte Fensterfläche des Raums
$A_{W,gesamt}$	Gesamte Fensterfläche des Raums
$A_{W,nord}$	Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche (Neigung > 60°) sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind

4.9 Passive Kühlung

Passive Kühlung adressiert Kühlsysteme, bei denen Energieaufwand praktisch nur für das Umwälzen des Kühlmediums anfällt, nicht aber für dessen Abkühlen. Im Gegensatz zu aktiven Kühlsystemen benötigen passive Kühlsysteme keine oder nur minimale externe Energiezufuhr: sie setzen keine energieintensiven Kälteanlagen ein (wie z.B. Kälteaggregate, maschinelle Kühlung mit Kühlturm, maschinell erzeugter Eisspeicher), sondern Umweltkälte, z.B. als Bauteilaktivierung in Kombination mit Erdwärmetauscher oder Sohlplatten-Wärmetauscher. Energieverbrauch und Betriebskosten sind gegenüber Kälteanlagen signifikant reduziert. Passive Kühlsysteme eignen sich für eine Temperierung des Gebäudes um wenige Grad unter die Außenlufttemperatur.

5. Vergleichsrechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz

5.1. Beispielraum

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird für ein Wohnzimmer eines Mehrfamilienwohnhauses aus Kalksandstein mit Flachdach in der Klimaregion B durchgeführt (Bild 5). Der Nachweis erfolgt sowohl mittels Sonneneintragskennwertverfahren als auch mittels thermischer Gebäudesimulation. Die Untersuchung mit dem Sonneneintragskennwertverfahren wird mit Hilfe des KS-Nachweisprogramms zum sommerlichen Wärmeschutz [9] durchgeführt.

Um den Einfluss der Bauart herauszustellen, wird, bei sonst identischen Parametern und U-Werten, der Raum für alle 3 Bauarten (schwer, mittel und leicht) betrachtet. Außerdem wird die Art der Nachtlüftung variiert (ohne und mit erhöhter Nachtlüftung mit n = 2 h^{-1}), um den Effekt der Nachtlüftung aufzuzeigen. Die Ergebnisse werden gegenübergestellt und bewertet.

Die angesetzten Randbedingungen und die Vorgehensweise sind exemplarisch unten aufgelistet (Tafel 6). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird nur die Variante mittlere Bauart mit erhöhter Nachtlüftung ausführlich dargestellt.

Zur besseren Vergleichbarkeit werden für den Variantenvergleich nur die Wand- und Deckenaufbauten variiert und es wird jeweils mit gleichen Innenraummaßen gerechnet.

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk}

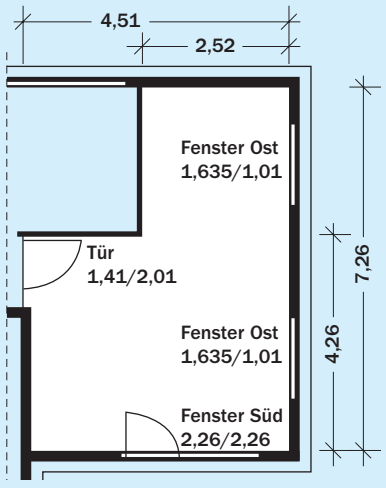
Die Bauart kann pauschal anhand von Gebäudemerkmalen (siehe 4.6) oder rechnerisch anhand der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile des Raumes eingestuft werden. Die rechnerische Ermittlung wird für die mittlere Bauart demonstriert, hier mit den Bauteilen:

- schwere KS-Außenwände mit RDK 1,8
- leichte Innenwände in Gipskartonständerbauweise
- massive Betondecke nach unten
- leichte Holzbalkendecke nach oben

Das Gebäude kombiniert die schweren Bauteile KS-Außenwand und Betondecke mit den leichten Bauteilen GKB-Innenwände

Tafel 6 Untersuchte Bauarten

Schwere Bauart	Außenwände aus 17,5 cm KS-Mauerwerk RDK 1,8 mit WDVS verputzt Innenwände aus 11,5 cm KS-Mauerwerk RDK 1,8, verputzt Decken aus 20 cm Stahlbeton, 6 cm Trittschalldämmung, Zementestrich und Fliesenbelag
Mittlere Bauart	Außenwände aus 17,5 cm KS-Mauerwerk RDK 1,8 mit WDVS, verputzt Innenwände aus 7,5 cm Metallständer, Mineralwollefüllung, beidseitig einlagige Gipsfaserbeplankung Kellerdecke aus 20 cm Stahlbeton, 6 cm Trittschalldämmung, Zementestrich und Fliesenbelag Decke nach oben als Holzbalkendecke, unterseitig Holzfaserdämmplatte, oberseitig Spanplatte und Gipsfaserplatte
Leichte Bauart	Außenwände als Holzständerkonstruktion mit MDF- und Gipsfaserbeplankung, Mineralwolledämmung im Gefach, 4 cm Installationsebene mit Mineralwolledämmung Innenwände als 7,5 cm Holzständerwand mit Mineralwollefüllung, beidseitig einlagige Gipsfaserbeplankung Kellerdecke aus 20 cm Stahlbeton, 6 cm Trittschalldämmung, Zementestrich und Fliesenbelag Decke nach oben als Holzbalkendecke, unterseitig Holzfaserdämmplatte, oberseitig Spanplatte und Gipsfaserplatte
Alle Bauarten	3-fach-Wärmeschutzfenster U = 0,85 W/(m²K), g = 0,53, Rahmenanteil 30%



Bauteil- und Flächenzusammenstellung (lichte Innenmaße) für den Beispiel-Wohnraum:

Bauteil	Fläche
Außenwände (alle Orientierungen, Nettofläche)	27,31 m²
Innenwände (Nettofläche)	20,29 m²
Decke nach unten	26,77 m²
Decke nach oben	26,77 m²
Tür	2,83 m²
Fenster, Ostorientierung	3,30 m²
Fenster und Fenstertür, Südorientierung	5,11 m²
Sonnenschutz	F_C = 0,5
Netto-Grundfläche des Raums	26,77 m²
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}	(3,30 m² + 5,11 m²) / 26,77 m² = 0,31

Bild 5 Beispielraum (Wohnraum) für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

und Holzbalkendecke, so dass sich insgesamt eine mittlere Bauart ergibt. Für alle raumbegrenzenden Bauteile zusammen beträgt die wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Raums 90,7 Wh/(m²·K), was ziemlich genau dem Mittelwert der Spanne für die mittlere Bauart entspricht (Tafel 4).

Tafel 7 **Beispiel für die rechnerische Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} des Raums, hier: Wohnraum aus Bild 5, mittelschwere Bauart mit schweren KS-Außenwänden, leichten Innenwände in Gipskartonständerbauweise, schwerer Massivdecke nach unten, leichter Holzbalkendecke nach oben. Es gilt die „10-cm-Regel bis zum ersten Dämmstoff“**

Mittlere Bauart $C_{wirk} = (c \cdot \rho \cdot d_{wirk}) \cdot 1.000/3.600$		d [m]	λ [W/(m·K)]	c [kJ/kg·K]	ρ [kg/m³]	d_{wirk} [m]	$C_{wirk} / A_{Bauteil}$ [Wh/(m²·K)]
Bauteil 1: Außenwand (Nord, Ost und Süd)	Gipsputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,01	3,89
	KS-Mauerwerk, RDK 1,8	0,175	0,990	1,0	1.700	0,09	42,50
	PS-Hartschaum	0,200	0,035	1,5	20		
	Außenputz	0,010	0,700	1,0	1.400		
		0,395				**0,10**	**46,39**
Bauteil 2: Innenwände	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Mineralwolle	0,075	0,035	1,0	16		
	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000		
		0,100				**0,01**	**3,82**
Bauteil 3: Boden	Fliesen	0,020	1,000	1,0	2.000	0,02	11,11
	Estrich	0,040	1,100	1,0	1.900	0,04	21,11
	Trittschalldämmung	0,060	0,040	1,5	20		
	Beton	0,200	2,300	1,0	2.300		
	Innenputz	0,010	0,700	1,0	1.400		
		0,330				**0,06**	**32,22**
Bauteil 4: Decke	Gipsfaserplatte	0,13	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Holz + Spanplatte	0,040	0,130	1,6	500		
	Mineralwolle	0,220	0,035	1,0	16		
	Holzfaserdämmplatte	0,022	0,045	2,1	250		
		0,295				**0,01**	**3,82**
Bauteil 5: Tür	Holz	0,040	0,130	1,6	500	0,02	4,44
						0,02	**4,44**
Summe							**90,69**

5.2. Nachweis mit dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren (Beispiel)

Tafel 8 **Ermittlung der Sonneneintragskennwerte**

Vorhandener Sonneneintragskennwert S_{vorh}:
S_{vorh} = (3,30 m² + 5,11 m²) · 0,53 · 0,5 / 26,77 m² = 0,083

Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul}:

Sx	Aspekt	schwere Bauart	mittlere Bauart	leichte Bauart
S1	Nutzung, Klimaregion, Nachtlüftung (Wohnen, Klimaregion B, mit erhöhter Nachtlüftung)	0,113	0,103	0,088
S2	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	0,06 - (0,231 · 0,31) = - 0,012		
S3	Sonnenschutzglas	0		
S4	Fensterneigung	0		
S5	Orientierung	0		
S6	Passive Kühlung	0		
S_{zul}	Summe S1 bis S6	0,102	0,091	0,076

Vergleich von S_{vorh} mit S_{zul}

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes ist bestanden, wenn der vorhandene Sonneneintragkennwert den zulässigen Sonneneintragskennwert nicht übersteigt. Tafel 9 stellt die Ergebnisse für das Beispiel zusammen.

Tafel 9 **Gegenüberstellung des vorhandenen und des zulässigen Sonneneintragkennwerts (Beispiel für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mittels des Sonneneintragskennwertverfahrens)**

Nutzung: Wohngebäude, Klimaregion B		Variante I schwere Bauart	Variante II mittlere Bauart	Variante III leichte Bauart
Vorhandener Sonneneintragskennwert	S_{vorh}	0,083	0,083	0,083
Zulässiger Sonneneintragskennwert (mit erhöhter Nachtlüftung)	S_{zul}	0,102	0,091	0,076

= erfüllt
= nicht erfüllt

5.3. Nachweis mittels thermischer Gebäudesimulation

Die thermische Gebäudesimulation ermittelt dynamisch in Stundenschritten über den Verlauf eines ganzen Jahres, wie lange und wie stark die empfundene Temperatur im Raum im Jahresverlauf eine bestimmte Bezugstemperatur überschreitet, und summiert diese Überschreitungen und deren jeweilige Dauer zur Kenngröße Übertemperaturgradstunden G_t in Kh/a (Kelvin mal Stunden pro Jahr) auf.

Die Bezugstemperatur, die möglichst wenig überschritten werden soll, variiert je nach Sommerklimaregion in Deutschland (Bild 3). Der Standort des Beispielgebäudes fällt in die Sommerklimaregion B mit einem Bezugswert der operativen Innentemperatur von 26 °C. Gleichzeitig liegt damit das zu verwendende Wetter fest. Für Standorte in die Sommerklimaregion B ist das generell das Testreferenzjahr der TRY-Zone 4 (2011, Normaljahr).

Die so ermittelten Übertemperaturgradstunden werden mit den Anforderungswerten der DIN 4108-2 verglichen. Als absolute Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz sind die Übertemperaturgradstunden auf höchstens 1.200 Kh/a für Wohngebäude und höchstens 500 Kh/a für Nichtwohngebäude zu begrenzen. Damit die Innenraumtemperaturen als überwiegend gut und angenehm empfunden wird, sollten die Übertemperaturgradstunden aber deutlich unter den höchstens zulässigen Grenzwerten bleiben.

Die Berechnung der operativen (= empfundenen) Innenraumtemperatur mittels dynamisch-thermischer Gebäudesimulation berücksichtigt dabei stündlich multiple Einflussfaktoren:

- Außenklima (u.a. Lufttemperatur, solare Zustrahlung, Bewölkung)
- Sonnenstand und Fassadenorientierung
- Sonnenschutzeinrichtungen
- Thermische Speichermassen
- Luftwechsel, erhöhte Tag- und Nachtlüftung
- Interne Wärmelasten und Personenbelegung

Die thermische Gebäudesimulation ermöglicht eine detaillierte und realitätsnahe Analyse des zeitlichen Verlaufs des thermischen Verhaltens des Gebäudes unter sommerlichen Bedingungen.

Randbedingungen

Die Beispielberechnung wird für folgende Randbedingungen durchgeführt:

- Klimazone B
- Grundriss- und Raumabmessungen siehe Bild 5
- Die Gebäudegeometrie ist durch eine Geschosshöhe von 2,80 m charakterisiert, wobei sich nach Abzug der Deckenkonstruktion (20 cm Betondecke, 4 cm Estrich, 6 cm Trittschalldämmung) eine lichte Raumhöhe von 2,50 m ergibt.
- Die Fenster mit Dreifachverglasung weisen einen Gesamtenergiedurchlassgrad von g = 0,53 auf.
- Als Sonnenschutzmaßnahme dient eine geregelte außenliegende Markise mit einem Abminderungsfaktor F_C = 0,5. Diese wird aktiviert, sobald eine Grenzbestrahlungsstärke von 250 W/m² (Direkt- plus Diffusstrahlung) auf der jeweiligen Fassadenfläche überschritten wird.
- Die Einstufung der Bauart erfolgt mittels eines detaillierten Nachweises der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk}.
- Der Grundluftwechsel durch Fenster- und Türöffnungen und durch Leckagen beträgt ganztägig 0,5 h^{-1}.
- Ein erhöhter Tagluftwechsel wird angesetzt, wenn die Raumlufttemperatur 23 °C übersteigt und gleichzeitig über der Außenlufttemperatur liegt; in diesem Fall wird der Luftwechsel während der Aufenthaltszeit tagsüber (06:00 bis 23:00 Uhr) auf n = 3 h^{-1} erhöht.
- Hinsichtlich der Nachtlüftung zwischen 23 Uhr und 6 Uhr werden zwei Szenarien betrachtet: "ohne Nachtlüftung", d.h. nachts findet nur der vorgenannte Grundluftwechsel statt, und "erhöhte Nachtlüftung". Bei letzterer wird der Nachtluftwechsel auf n = 2 h^{-1} erhöht, solange die Außenluft kühler ist als die Raumluft.
- Weitere für die dynamisch-thermische Simulation relevante Parameter entsprechen den Vorgaben der DIN 4108-2:2025, Abschnitt 8.5.2 „Berechnungsrandbedingungen für thermische Gebäudesimulationsrechnungen“.

Tagesverlauf der Innenraumtemperatur

Die thermische Gebäudesimulation liefert aufschlussreiche Erkenntnisse über das Verhalten verschiedener Bauartvarianten hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes. Bild 6 zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur sowie die Verläufe der empfundenen Innenraumtemperatur für die Varianten schwere – leichte Bauart für das betrachtete Wohnzimmer, ohne und mit erhöhter Nachtlüftung. Die Analyse konzentriert sich auf eine repräsentative sommerheiße Periode vom 14. bis 17. August, in der die höchsten Temperaturen des Jahres auftreten. Die Bezugstemperatur 26 °C der Sommerklimaregion B ist durch eine schwarze Linie markiert.

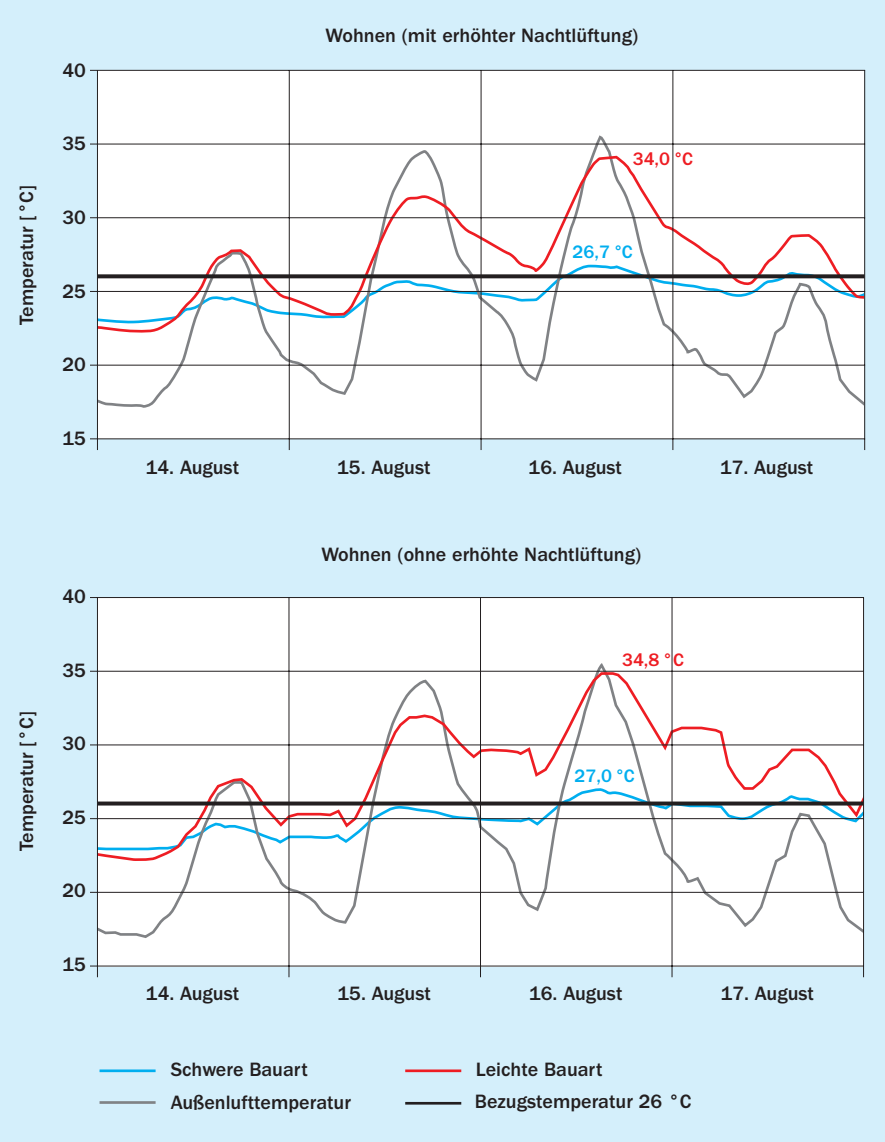


Bild 6 **Verlauf von Außentemperatur, Bezugstemperatur und operativer Raumtemperatur für die Varianten schwere Bauart und leichte Bauart mit und ohne Berücksichtigung einer erhöhten Nachtlüftung über eine sommerheiße Periode**

Die Temperaturverläufe zeigen deutlich den positiven Einfluss hoher wirksamer Speichermassen auf die sommerliche Raumtemperatur. Der Vergleich der Temperaturverläufe offenbart signifikante Unterschiede zwischen den Bauartvarianten: Die massive Konstruktion führt dazu, dass die operative Raumtemperatur in der sommerlichen Hitzephase deutlich niedriger bleibt als bei leichter Bauart. Im Beispiel kann die Temperaturdifferenz zwischen der schweren und der leichten Bauart bis zu fast 8 °C betragen. Der viel geringere Anstieg der Raumtemperatur während sommerlicher Hitzeperioden in schweren Gebäuden resultiert in einer erheblich verbesserten thermischen Behaglichkeit über einen längeren Zeitraum für die Nutzer. Der Verlauf der Kurven zeigt die temperaturabsenkende Wirkung der erhöhten Nachtlüftung, am deutlichsten erkennbar in der Nacht vom 15. auf den 16. August. Die erhöhte Nachtlüftung durch Kippen oder Öffnen der Fenster führt bei schwerer Bauart zu einer weniger stark ausgeprägten Absenkung der Raumtemperatur als bei leichter Bauart, aber auf insgesamt niedrigerem Temperaturniveau. Bei schwerer Bauart liegt die Raumtemperatur sogar ohne erhöhte Nachtlüftung unter der Raumtemperatur bei leichter Bauart mit erhöhter Nachtlüftung.

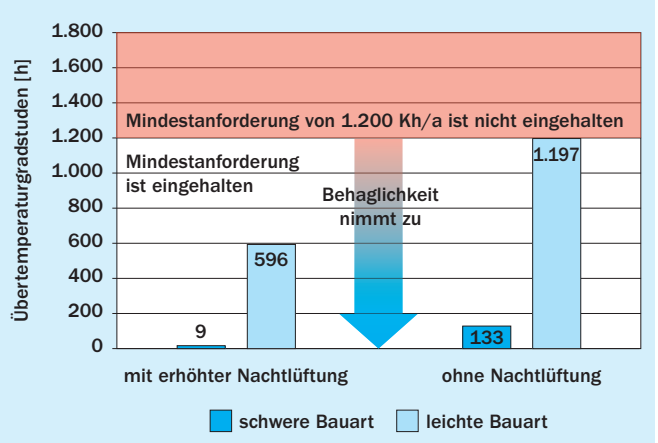


Bild 7 **Übertemperaturgradstunden für den untersuchten Wohnraum (Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mittels thermischer Gebäudesimulation)**

Massive Konstruktionen, die KS-Außenwände mit hoher Rohdichte, massive Geschossdecken und schwere Innenwände umfassen, weisen eine hohe wirksame Speichermasse auf. Gemäß DIN 4108-2 können solche Konstruktionen ohne detaillierte Berechnung der raumflächenbezogenen wirksamen Wärmespeicherkapazität (C_{wirk} /A_G) als schwere Bauart klassifiziert werden.

Die Simulation unterstreicht somit die Bedeutung der Materialwahl und Konstruktionsweise für den sommerlichen Wärmeschutz. Massive Bauweisen mit hoher Speichermasse erweisen sich als besonders effektiv bei der Regulierung der Innenraumtemperaturen während Hitzeperioden, was zu einem deutlich verbesserten Raumklima führt.

INFO

In vielen Fällen kann mit schwerer Bauart und erhöhter Nachtlüftung eine hohe thermische Behaglichkeit auch ohne kostenintensive Klimatisierung sichergestellt werden.

Übertemperaturgradstunden

Das Balkendiagramm in Bild 7 visualisiert die Übertemperaturgradstunden für die verschiedenen Bauarten und Lüftungsszenarien im untersuchten Wohnraum. Das Diagramm ermöglicht zwei wesentliche Erkenntnisse:

- die Bauart hat einen signifikanten Einfluss auf die auftretenden Übertemperaturgradstunden
- eine erhöhte Nachtlüftung führt zu einer erheblichen Reduzierung der Übertemperaturgradstunden

Die Ergebnisse unterstreichen den signifikanten Vorteil hoher Speichermassen. Es zeigt sich eine klare Korrelation: Je massiver die Konstruktion, desto geringer fallen die Übertemperaturgradstunden aus. Selbst wenn die Mindestanforderung der DIN 4108-2 an den sommerlichen Wärmeschutz in Wohngebäuden erst ab mehr als 1.200 Übertemperaturgradstunden nicht mehr eingehalten ist, empfiehlt es sich unbedingt, möglichst deutlich unter diesem Grenzwert zu bleiben, damit die Raumtemperaturen im Sommer als behaglich empfunden werden und die Nutzerzufriedenheit hoch ist.

Insgesamt lässt sich festhalten:

- eine schwere Bauart in Kombination mit erhöhter Nachtlüftung schafft üblicherweise einen guten Abstand zum maximal zulässigen Grenzwert und bleibt sehr gut im behaglichen Temperaturbereich
- eine schwere Bauart in Kombination mit erhöhter Nachtlüftung überschreitet die Bezugstemperatur üblicherweise nicht oder nur minimal
- die Kombination aus massiver Bauweise und erhöhter Nachtlüftung ist eine äußerst effektive Strategie zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung in Gebäuden

Diese Erkenntnisse sind von großer Bedeutung für die energieeffiziente und komfortable Gestaltung von Gebäuden in Zeiten zunehmender Hitzeperioden.

5.4 Vergleich der Ergebnisse aus Sonneneintragskennwertverfahren und thermischer Gebäudesimulation

Eine vergleichende Analyse der Beispielergebnisse aus dem Sonneneintragskennwertverfahren und der dynamisch-thermischen Gebäudesimulation offenbart interessante Erkenntnisse hinsichtlich der Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes. Die Resultate aus dem Sonneneintragskennwertverfahren sind in Tafel 9 dargestellt, die aus der Simulation in Bild 7. Das vereinfachte Sonneneintragskennwertverfahren führt tendenziell zu einer strengeren Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes. Die konservativere Einschätzung erreicht, dass Bewertungen mit dem vereinfachten Nachweisverfahren eher „auf der sicheren Seite“ liegen. Dies unterstreicht die Robustheit des Sonneneintragskennwertverfahrens als Instrument zur Ersteinschätzung. Es bietet einen zuverlässigen,

wenn auch tendenziell vorsichtigeren Ansatz zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes. Demgegenüber kann die detailliertere thermische Gebäudesimulation eine genauere, möglicherweise weniger restriktive Bewertung liefern, was insbesondere bei komplexen Gebäudekonzepten von Vorteil sein kann. Je nach spezifischen Projektanforderungen und -komplexität kann vom Planer das geeignete Nachweisverfahren gewählt werden.

Die Einhaltung der Normanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz garantiert keine durchgehend als behaglich empfundene Raumtemperatur. Auch bei eingehaltenem Nachweis können phasenweise recht hohe Raumtemperaturen auftreten, die aber insgesamt im Sinne einer Mindestanforderung als noch hinnehmbar bewertet werden können. Trotzdem empfiehlt es sich sicherzustellen, mit Blick auf eine durchgehend hohe hohe Nutzerzufriedenheit, dass der Grenzwert nicht nur eingehalten, sondern möglichst deutlich unterschritten ist.

6. Komfortbewertung für ein Einfamilienhaus in unterschiedlichen Bauarten

An einem weiteren Beispiel wird der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf die sommerliche thermische Behaglichkeit demonstriert und der erreichte Komfort bewertet. Es handelt sich um ein Einfamilienhaus mit zehn Räumen, welches für zwei Bauarten (schwer: KS-Mauerwerk, Betondecken für Kellerdecke und Geschossdecke, Steildach und Kehlbalkenlage in Holzkonstruktion; leicht: Holzbau, Holzbalkendecken als Kellerdecke und Geschossdecke, Steildach und Kehlbalkenlage in Holzkonstruktion) mittels dynamischer Gebäudesimulation verglichen wird. Parameter und Nutzungsrandbedingungen entsprechen wie oben denen der DIN 4108-2 bzw. der DIN V 18599, Standort (Klimadatei) ist Potsdam. Das Gebäude hat ein aktuelles energetisches Niveau entsprechend dem GEG bzw. dem EH55-Standard.

Die schwere Bauart wirkt sich deutlich positiv aus: Die Übertemperaturgradstunden bleiben bei schwerer Ausführung signifikant niedriger, generell unter 200 Kh/a, in vielen der Räume treten gar keine Übertemperaturgradstunden auf. Die Werte bei leichter Bauart liegen, bei ansonsten gleichen Bedingungen, durchweg höher. Im ungünstigsten Aufenthaltsraum überschreitet der Wert mit gut 1.800 Kh/a den zulässigen Grenzwert 1.200 Kh/a der Norm deutlich; thermischer Komfort ist im Sommer hier nicht mehr gegeben.

Die Spitzentemperatur liegt im Falle der schweren Bauart in allen Räumen im Bereich zwischen 24 °C und 28 °C. Für das Gebäude in leichter Bauart liegen die Spitzentemperaturen deutlich höher, und erreichen im wärmesten Raum unangenehme 36 °C.

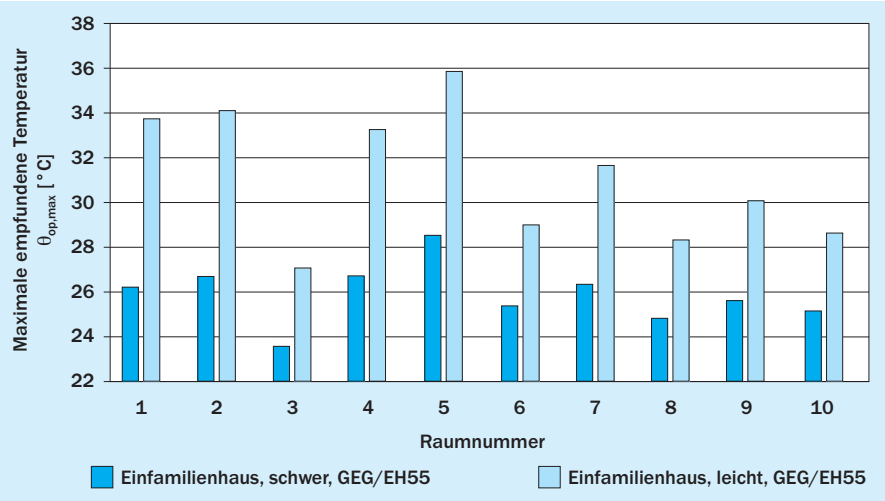


Bild 8 **Beispiel: berechnete maximale empfundene (operative) Temperatur für alle zehn Räume des Beispiel-Einfamilienhauses, für zwei Bauarten (schwer, mit Kalksandstein und leicht, z. B. Holzbau) und das energetische Niveau GEG bzw. KfW-Effizienzhaus 55**

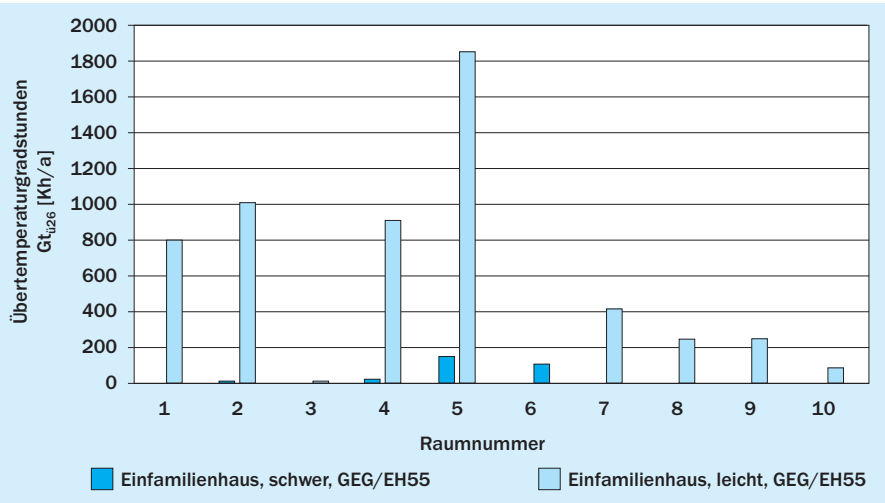


Bild 9 **Beispiel 2: berechnete Übertemperaturgradstunden (Bezugswert 26 °C) für alle zehn Räume des Beispiel-Einfamilienhauses, für zwei Bauarten (schwer, mit Kalksandstein und leicht, z. B. Holzbau) und energetisches Niveau GEG bzw. KfW-Effizienzhaus 55**

Individuelle Komfortbewertung nach DIN 4108-2 Anhang B bzw. nach DIN EN 16798-1

Um den sommerlichen Wärmeschutz in einem Gebäude über die Mindestanforderungen der DIN 4108-2 hinaus zu bewerten, verweist ein neuer Anhang B der DIN 4108-2 [4] auf die Komfortbewertung auf Stundenbasis gemäß DIN EN 16798-1 [2]. Diese erlaubt die realitätsnahe Einschätzung und Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens bei individuellen Gegebenheiten. Dafür definiert DIN EN 16798-1 in ihrem Anhang B drei verschiedene Komfortklassen I, II und III für die empfundene Raumtemperatur (operative Raumtemperatur), abhängig vom gleitenden Mittelwert der Außentemperatur (Tafel 10). In den gleitenden Mittelwert der Außentemperatur gehen die Außentemperaturen der letzten 7 Tage ein, wobei der gestrige Tag die höchste Gewichtung hat und die Gewichtung abnimmt, je weiter der Tag zurückliegt. Dies bildet die physiologische Gewöhnung an die Außentemperaturen der letzten Tage ab. Dieser gleitende Mittelwert der Außentemperatur ist damit die Komforttemperatur für diesen Tag, inklusive der Gewöhnung an die jeweiligen Außentemperaturen der Tage vorher, und ist im Diagramm als gestrichelte Linie erkennbar (Bild 10). Die Komfortklassen stellen einen gewissen Komfortbereich der Raumtemperatur dar, wobei die beste Komfortklasse I mit „sehr hohem Komfort“ einen schmalen Schwankungsbereich um die Komforttemperatur herum beinhaltet, die Komfortklasse II mit „hohem Komfort“ einen etwas größeren Schwankungsbereich, und die schlechteste Komfortklasse III mit „akzeptablem Komfort“ den größten Abstand zur Komforttemperatur zulässt. Die Bereichsgrenzen der Komfortklassen sind im Diagramm durch gerade Linien dargestellt. Eine Komfortklasse gilt als eingehalten, wenn die Raumtemperatur „nur unerheblich“ außerhalb der Grenzen der Komfortklasse liegt. Was hier mit unerheblich gemeint ist, ist nicht eindeutig definiert. Üblicherweise wird eine Überschreitung der Komfortgrenzen in etwa 2 % bis 5 % der Aufenthaltszeit als unerheblich angesehen.

Die operativen Temperaturen aus der thermischen Gebäudesimulation sind für alle 10 Räume des Einfamilienhauses in Bild 10 als Punktwolken eingetragen, für schwere und leichte Bauart und jeweils mit erhöhter Nachtlüftung.

Tafel 10 Komfortklassen der DIN EN 16798-1 für die Innenraumtemperatur

Komfortklasse DIN EN 16798-1	Komfort-niveau	Beschreibung
Kategorie I	Sehr hoher Komfort	sehr hohe Erwartungen an das Raumklima, geeignet für empfindliche oder besonders zu schützende Personen (z.B. in Krankenhäusern, hochwertigen Büros, Konferenzräumen)
Kategorie II	Hoher Komfort	mittlere bis hohe Erwartungen an das Raumklima, Standardniveau für normale Nutzungen wie Büros, Schulen, Wohngebäude
Kategorie III	Akzeptabler Komfort	moderate Erwartungen, akzeptabel für weniger anspruchsvolle oder kurzzeitige Nutzungen, z.B. Versammlungsstätten oder einfache Aufenthaltsräume

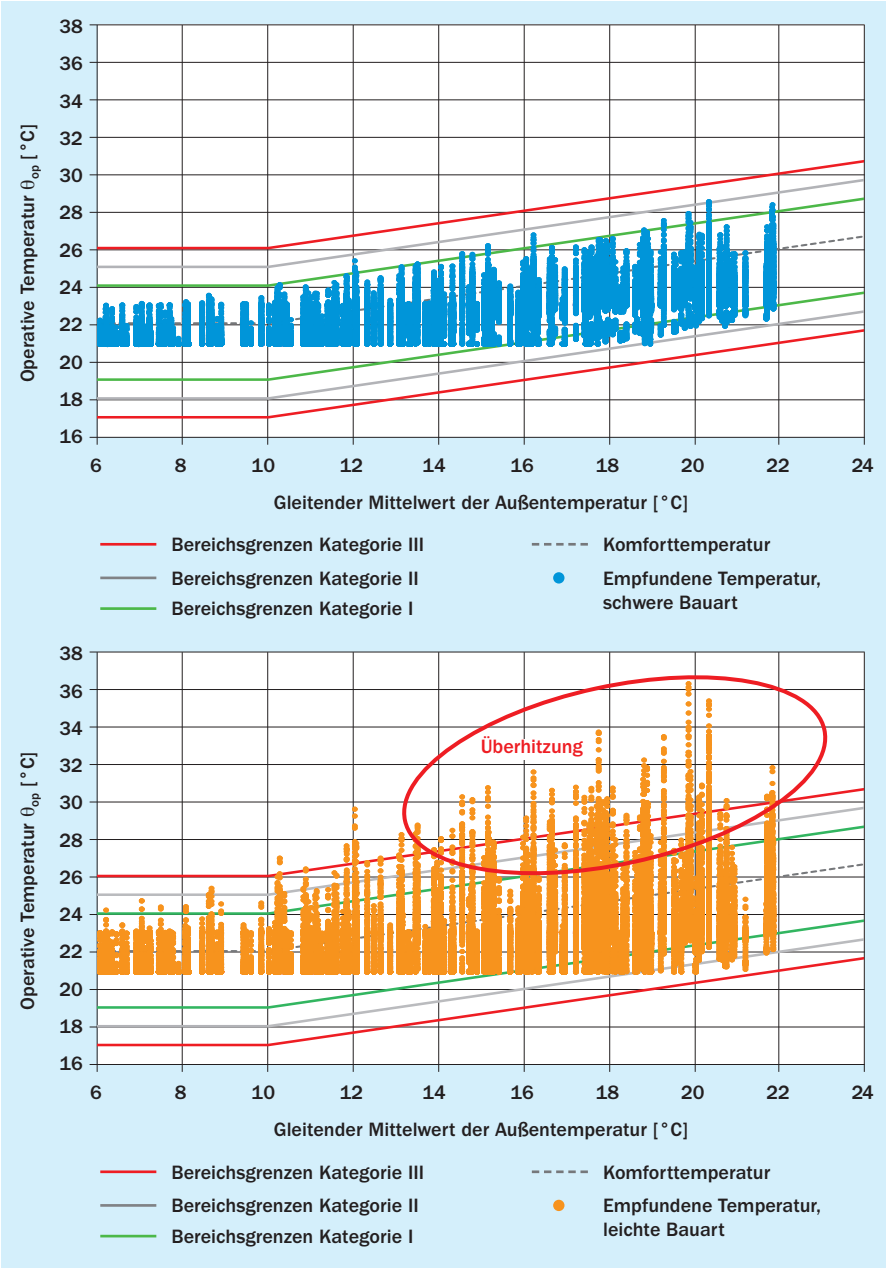


Bild 10 Komfortbewertung auf Stundenbasis nach DIN EN 16798-1 der empfundenen (operativen) Raumtemperatur aller Räume des Beispielgebäudes in schwerer Bauart (oben) und in leichter Bauart (unten). Die Ober- und Untergrenzen der Komfortklassen Kategorie I, II und III sind durch farbige Linien dargestellt, die Komforttemperatur ist gestrichelt eingezeichnet

Dieser Vergleich zeigt anschaulich, dass bei schwerer Bauart ein überdurchschnittlicher Komfort gemäß der Komfortklasse Kategorie I durchgehend gegeben ist, während bei leichter Bauart unter gleichen Randbedingungen die Komfortgrenzen auch der Kategorie II und der Kategorie III im Sommer häufig überschritten werden.

7. Zusammenfassung

Der sommerliche Wärmeschutz wird maßgeblich durch die direkte Sonneneinstrahlung in den Raum beeinflusst. Diese hängt von mehreren Faktoren ab, darunter die Fensterfläche, der Sonnenschutz sowie die Ausrichtung und Konzeption des Gebäudes.

Für den üblichen Geschosswohnungsbau erweist sich das vereinfachte Sonneneintragskennwertverfahren als adäquate Nachweismethode. Bei Nichteinhaltung der Anforderungen können Maßnahmen wie eine erhöhte Nachtlüftung oder der Einsatz von Glas-Sonnenschutz-Kombinationen mit niedrigem Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} in Betracht gezogen werden. Diese Anpassungen dienen nicht nur der Erfüllung des Nachweises, sondern verbessern gleichzeitig den sommerlichen Wärmeschutz für die Nutzer.

Das Sonneneintragskennwertverfahren ist auch das Mittel der Wahl, um bereits im frühen Entwurfs- oder Planungsstadium das Gebäudekonzept einfach und schnell hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes zu überprüfen. Dies gibt die Möglichkeit, falls erforderlich, die Planung frühzeitig anzupassen, um möglichst durch bauliche oder passive Mittel und unter Vermeidung einer maschinellen Kühlung einen guten sommerlichen Wärmeschutz sicherzustellen.

Sollte das vereinfachte Verfahren trotz Optimierungsmaßnahmen nicht zum Erfolg führen, bietet die dynamisch-thermische Gebäudesimulation eine Alternative. Obwohl aufwändiger sowie zeit- und kostenintensiver, ermöglicht sie eine präzisere Abbildung der Einflussfaktoren und eine detailliertere Bewertung des sommerlichen Komforts. Diese Methode kann zu einem günstigeren Bewertungsergebnis führen, da sie komplexe Wechselwirkungen berücksichtigt, die im vereinfachten Verfahren nicht erfasst werden.

Für eine individuelle Bewertung des sommerlichen thermischen Komforts, außerhalb der normativen Nachweisverfahren des sommerlichen Wärmeschutzes, bietet es sich an, die sommerlichen Raumtemperaturen aus der dynamisch-thermischen Gebäudesimulation nach DIN EN 16798-1 in eine Komfortklasse einzustufen. Die Komfortklasse Kategorie I steht für sehr hohen Komfort und befriedigt hohe Erwartungen an das Raumklima für hochwertige Räume.

INFO

Bauarten mit hohen wirksamen Speichermassen in Kombination mit erhöhter Nachtlüftung üben einen signifikant positiven Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz aus, können die thermische Behaglichkeit für die Nutzer erheblich verbessern und sollten daher bei der Planung von Gebäuden besondere Beachtung finden.

Die Implementierung effektiver Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz und eine umfassende Betrachtung unter Berücksichtigung der relevanten Einflussfaktoren führen zu einer guten thermischen Behaglichkeit im Sommer und sichern damit eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale zukunftsfähiger Gebäude.

Literatur

[1] DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

[2] DIN EN 16798-1: Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik

[3] Maas A., Schlitzberger S., Vukadinovic M., Spitzner M. H., Dorsch L.: Weiterentwicklung von Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz; Endbericht zum Forschungsvorhaben 10.08.17.7-21.39 des BBSR im BBR, 2023; BBSR-Online-Publikation (zur Veröffentlichung eingereicht)

[4] DIN 4108-2:2025 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Wärmeschutz – Mindestanforderungen, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

[5] DIN EN ISO 13786: Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren

[6] DIN 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

[7] DIN EN ISO 10456: Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte

[8] Schlitzberger, S; Kempkes, C.; Maas, A.; Schäfers, M.: Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf Heizwärmebedarf und thermischen Komfort. In: Bauphysik 39 (2017), Heft 1, S. 57–63

[9] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.), KS-Nachweisprogramm zur Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes (kostenfreier Download über die KS Homepage www.kalksandstein.de)

Bildnachweis

Bild S. 372; Bild S. 381: Anja Grah, GrahDesign
Bild S. 378: Warema
Bild S. 383, Bild S. 384: Stefan Witte
Bild S. 391: UNIKA GmbH/H. Thierschmidt

Kapitel 14

ABDICHTUNG

Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller, AIBau, Aachen

Stand: 08/2025

1. Einleitung

KS-Mauerwerk ist grundsätzlich feuchtebeständig. Steine und Mörtel brauchen nicht zwingend in allen Situationen eine schützende, wasserdichte Schicht. So schützt z.B. zweischaliges Verblendmauerwerk hervorragend gegen Schlagregen. Bei erdberührten Wänden müssen nicht alle Mauerwerksbauteile durch Abdichtungen geschützt werden. Ständig feuchte, von Erdreich umgebene Grundmauern bleiben in der Regel dauerhaft gebrauchstauglich. Es wird empfohlen:

- für ungeschütztes Mauerwerk im Erdreich sind gründsätzlich KS-Vollsteine mindestens der Festigkeitsklasse 20 einzusetzen.
- im Frostbereich sind frostwiderstandsfähige KS-Vollsteine zu verwenden.

Räume in Untergeschossen neuer Gebäude werden, selbst wenn sie nicht als Wohnräume dienen, häufig hochwertig genutzt. Dort werden auch feuchteempfindliche Dinge gelagert, wie Papier oder Kleidung, die schon gegenüber höherer Luftfeuchtigkeit empfindlich sind. Solche Nutzungen benötigen Bauwerksabdichtungen an den erdberührten Bauteilen, die dafür sorgen, dass außerhalb des Gebäudes anstehendes Erdreich kein Wasser oder auch nur Feuchtigkeit in die Innenräume abgeben kann.

Bauwerksabdichtungen sind notwendig, wenn:

- nur durch die Abdichtung die beabsichtigte Nutzung der Räume im Gebäudeinneren ermöglicht wird oder
- die Bauteile durch Abdichtungen vor Schäden zu schützen sind.

Zur benötigten Trockenheit der Raumluft sind aber in der Regel zusätzliche Maßnahmen vorzusehen, um die, gerade im Sommer auftretende, hohe Luftfeuchtigkeit zu vermeiden. Diese entsteht durch Lüftungsvorgänge bei wärmerer Außenluft in kühlen Untergeschossräumen. In den kühlen Räumen wird die warme Außenluft abgekühlt und kann dadurch weniger Wasserdampf speichern. Der in der Luft enthaltene überschüssige Wasserdampf kondensiert als Wasser an den kühlen Bauteiloberflächen. Dieses Tauwasser muss sich nicht unmittelbar zeigen, wenn es vom Untergrund absorbiert wird. Für die Entstehung von Schimmelpilzen muss jedoch nicht zwingend Tauwasser vorhanden sein. Bereits eine hohe relative Luftfeuchtigkeit genügt für die Bildung von Schimmelpilzen. Es ist daher nicht nur auf eine korrekte Abdichtung der erdberührten Bauteile zu achten, sondern auch auf das richtige Lüftungsverhalten der Nutzer.

Maßnahmen gegen Feuchtigkeit aus anderen Ursachen

Die Norm für Bauwerksabdichtung beschreibt keine Maßnahmen gegen andere Feuchtigkeitsquellen, gibt aber Hinweise dazu. Bei einer Raumnutzung, die eine trockene Raumluft erfordert, soll Feuchtigkeitsbildung aus z.B. Tauwasser bei sommerlichem Lüften vermieden werden (Bild 1).

DIN 18533-1 [1] enthält beispielhaft Hinweise zu Maßnahmen, die über die Anforderungen der Abdichtung hinausgehen, wie z.B. Wärmedämmung, Beheizung, Belüftung der Räume oder Raumlufttrocknung.

Im Folgenden werden die Anforderungen und die Grundlagen für den Feuchtigkeitsschutz durch Abdichtung von erdberührten Bauteilen im Allgemeinen und mit KS-Mauerwerk im Speziellen erläutert.

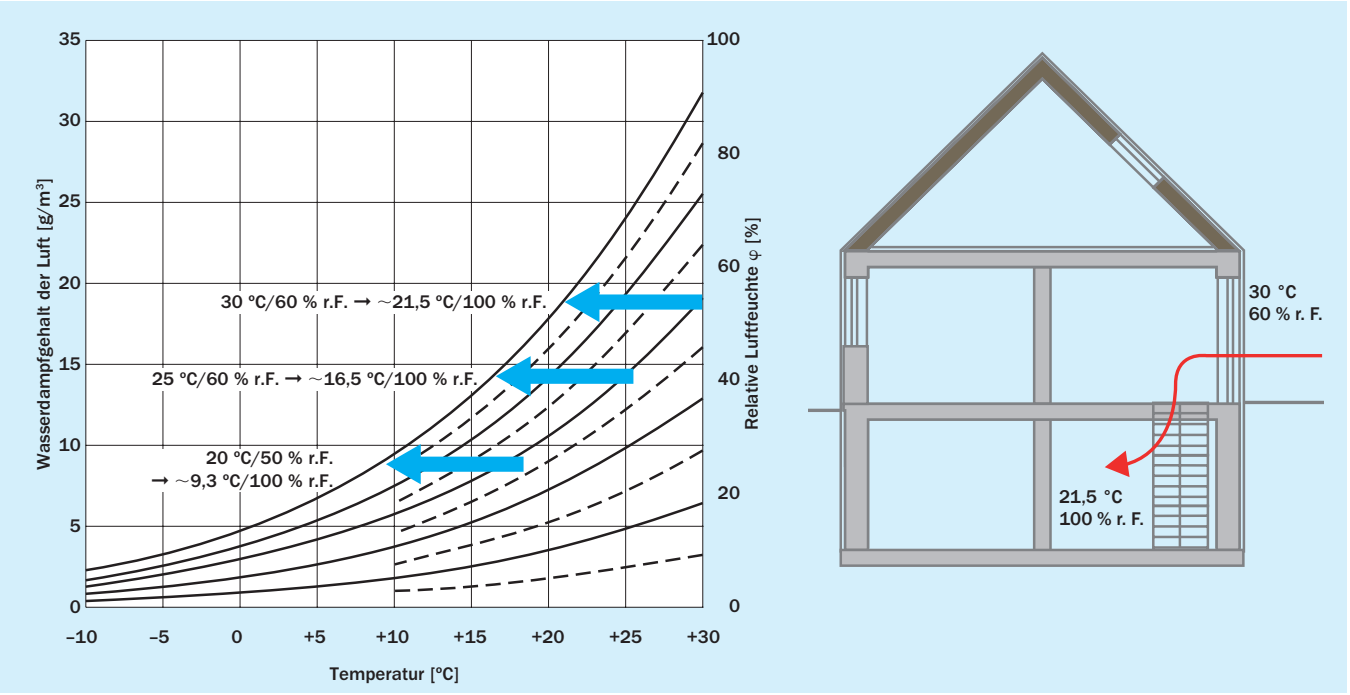


Bild 1 **Links: Das Carrier-Diagramm (Wilis Haviland Carrier) zeigt den Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Kapazität von Luft auf, Wasser in Gasform (Wasserdampf) aufzunehmen. Mit steigender Temperatur steigt auch die Wasserdampfkapazität. Bei gleichbleibendem Wasserdampfgehalt und sich ändernden Temperaturen ändert sich die relative Luftfeuchte, die das Verhältnis zwischen vorhandenem und dem aufnehmbaren Wasserdampf beschreibt.**
Rechts: Das hat zur Folge, dass bei sommerlichem Lüften kühle Untergeschosse von innen feucht werden können

2. Feuchtetransport

2.1 Strömen

Zum Schutz gegen von aus dem Baugrund auf Bauteilflächen einwirkendes Druckwasser sind durchgehende und vollständige wasserdichte Abdichtungen oder durchgehend wasserundurchlässige Betonkonstruktionen erforderlich. Diese Schutzmaßnahmen dürfen auch an Details, zum Beispiel an Anschlüssen, keine Lücken aufweisen.

2.2 Kapillartransport

Unter der Annahme, Wasser könnte Beton kapillar durchdringen, ist Wasser in den Kapillaren gebunden und kann aus diesen nicht austreten, wie das Modell einer strohhalmartigen Kapillare im Wasser verdeutlicht (Bild 2).

Kapillarkräfte sind größer als die Erdanziehungskraft, sie wirken in Saugspannung, also in einem geringeren Druck als der atmosphärische Luftdruck. Die Schwerkraft wirkt sich nicht auf die Kapillarität aus. Der Kapillartransport ist aber an Kapillare gebunden und endet an Bauteiloberflächen [2]. Zur Verdeutlichung: Wäre das anders, könnte aus Kapillaren an Bauteiloberflächen ausgetretenes Wasser über eine kleine Turbine geleitet und unteren Enden von Kapillaren wieder zugeführt werden, damit es an deren oberen Enden wieder austritt. Das wäre ein „Perpetuum mobile“, das permanent Energie abgibt, ohne dass diese von außen zugeführt oder aus atomarer Energie zur Verfügung gestellt würde. Das wäre ein Verstoß gegen den physikalischen Grundsatz des Energieerhaltungssatzes.

Nur bei unmittelbar angrenzenden, kapillar leitfähigen Stoffen, z.B. in Mörtelschichten, könnte durch „andocken“ von Kapillaren, vergleichbar durch Aufpressen eines Löschblatts, Kapillarwasser aufgesogen werden.

Künzel [3] stellte fest, dass Mauerwerk unmittelbar über Gründungen, das an Seen oder an Fließgewässern steht, nicht nass ist (vergleichbar zu Bild 3).

Bild 3 **Historische Gebäude an einer Gracht in Delft. Die gemauerten Wände sind nur in Höhe des Wasserspiegels erkennbar nass, unmittelbar darüber aber trocken**

Bei der Suche nach der Ursache dieses Feuchtigkeitsschutzeffekts erkannte Künzel, dass der in Bild 4 dargestellte Sachverhalt zu hohen Übergangswiderständen an Grenzflächen zwischen Bauteilschichten führt. Wenn Mörtel auf Mauersteine oder auf Betonbodenplatten aufgebracht wird, „passen“ Kapillare nicht unmittelbar aufeinander. Daraus ergeben sich hohe Übergangswiderstände an den Grenzflächen zwischen Beton und Mörtel sowie dem Mörtel und darüber aufgebrachten Steinen mit der Folge, dass alleine durch die Grenzflächen spätestens ab der dritten Steinreihe eine abdichtende Wirkung gegen Kapillartransport entsteht (Bild 5, 6)

Selbst unter der Annahme, Beton könnte kapillar durchdrungen werden, genügten zum Feuchtigkeitsschutz kapillare Unter-

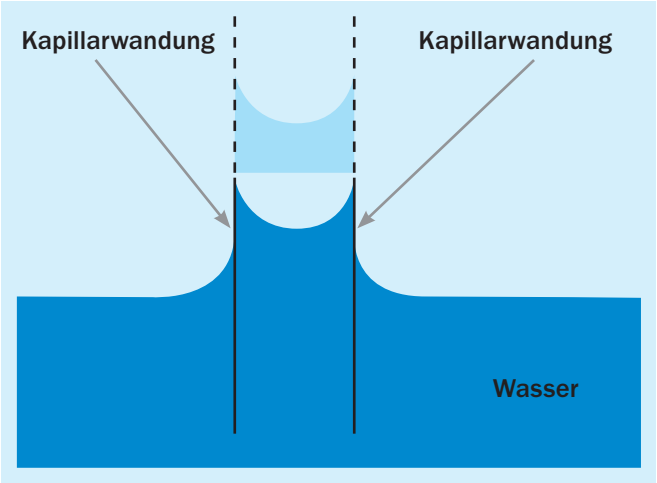


Bild 2 **Kapillartransport benötigt zwei Bedingungen: Wasser und (nicht hydrophobe) Kapillarwandungen. An Bauteiloberflächen und damit am Ende von Kapillaren kann Wasser nicht austreten, weil ab dort eine der beiden Bedingungen nicht mehr vorliegt**

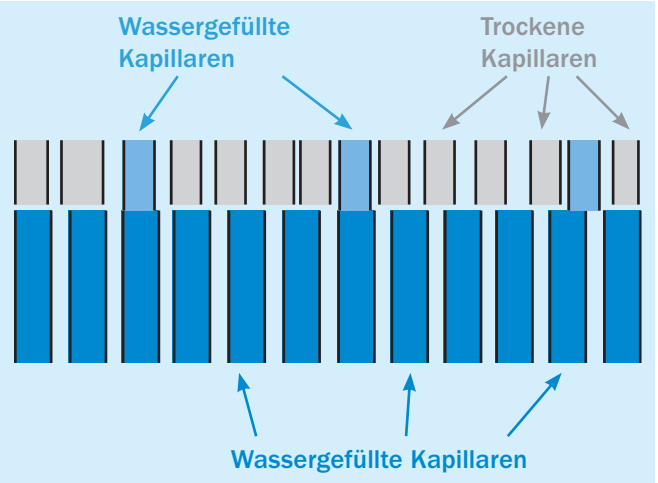


Bild 4 **Schematische Darstellung von Kapillarporen in Mauersteinen an Grenzflächen zu Mörtel: an gefüllte Poren nicht unmittelbar anschließende Kapillarporen saugen kein Wasser aus benachbarten Poren**

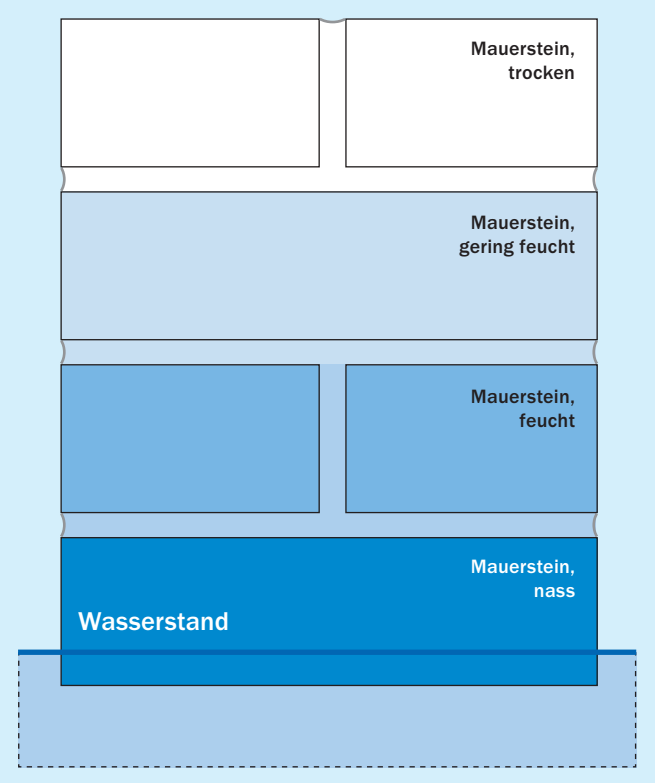


Bild 5 Schematische Höhenverteilung von Feuchtigkeit in Mauerwerk: Begrenzung der Feuchtigkeit durch kapillare Übergangswiderstände an den Grenzflächen zwischen Steinen und Mörtel [3]

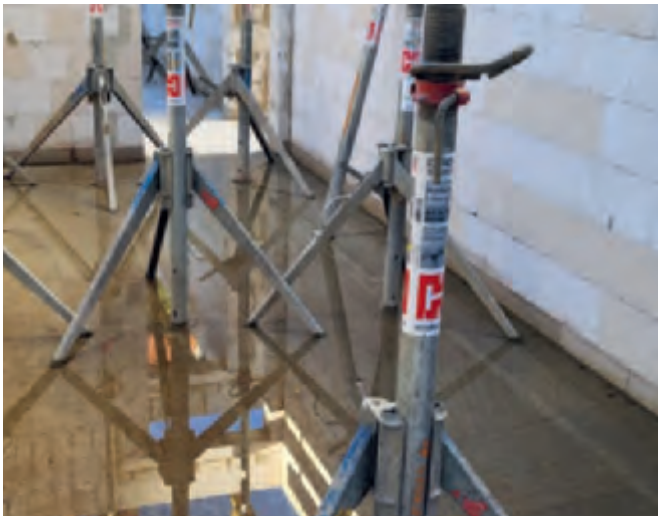


Bild 6 Erste Steinreihen werden durch Tagwasser nass, nicht durch „aufsteigende Feuchte". Die Durchnässung beschränkt sich aber im Wesentlichen auf die erste Steinreihe

brechungen. Diese entstehen bereits durch schmalste Fugen zwischen angrenzenden Bauteiloberflächen, die nicht vom Kapillartransport überbrückt werden können.

Daher genügen an Oberflächen, die durch von der raumabgewandten Seite einwirkendes Wasser kapillar feucht wurden, kapillare Unterbrechungen durch z.B. nicht kapillare aktive Dämmplatten, Folien oder feine Spalte zwischen den Bauteilen.

INFO

Mineralische Dichtungsschlämme können die Durchnässung der unteren Steinreihe verhindern (Bild 41).

2.3 Diffusion

Wasserdampf ist ein unsichtbares Gas, das als Teil des Luftgemischs in der Luft einen Anteil zwischen mehr als 0 und ca. 2 % einnimmt.

Unterschiedliche Konzentrationen von (Wasserdampf-) Molekülen in unterschiedlichen Raumteilen gleichen sich durch den Brownschen Molekulareffekt aus. Dabei handelt es sich um räumlich ungerichtete Bewegungen. Nach dem Konzentrationsausgleich gibt es diese noch immer, allerdings dann in der Richtung entgegengesetzt gleich groß, sodass keine Stoffströme mehr zu beobachten sind.

Diffusionsvorgänge führen nicht unmittelbar zu Feuchtigkeitsproblemen, sondern erst bei Temperaturgefällen. Da warme Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann als kühlere, steigt bei gleichbleibendem Wasserdampfgehalt und sinkenden Temperaturen die relative Luftfeuchtigkeit solange, bis die Tautemperatur erreicht ist (Bild 1, links). Dann entsteht kein Überdruck, sondern Tauwasser. Das hat zur Folge, dass, solange die Temperaturen unterhalb von Gebäuden geringer sind als darin, keine feuchtigkeitsbedingten Probleme durch Wasserdampfdiffusion aus dem Erdreich in Fußböden entstehen kann. In der Richtung von außen nach innen steigt die Temperatur und damit die Kapazität von Luft, Wasserdampf aufzunehmen. In dieser Richtung kann sich daher kein Tauwasser bilden.

Die meisten Probleme durch Feuchtigkeit in Untergeschossen entstehen aus raumklimatischen Ursachen, die am Anfang dieses Beitrags erläutert sind.

Die Schutzmaßnahmen gegen von außen einwirkendes Wasser stellen primär nicht auf den Schutz gegen Wasserdampfdiffusion ab. Das kann zwar ein Nebeneffekt sein, ist aber nicht das Hauptschutzziel von Abdichtungen.

Wasserdampfdiffusion ist weder Gegenstand der Abdichtungsnorm, noch der WU-Richtlinie, sondern gegebenenfalls Gegenstand von Überlegungen in DIN 4108 Teil 3 bzw. Teil 2. Ebenso wenig ist in Bauteilen enthaltene Feuchtigkeit, sogenannte Baufeuchte, Gegenstand der Abdichtungsnorm.

3. Feuchteschäden an erdberührten Bauteilen historischer Gebäude – Erfahrungen

„Aus Schaden wird man klug – es muss ja nicht der eigene sein“.

Dieses Bonmot von Prof. Günter Zimmermann trifft: Die Schadensanalyse hilft, die jeweils technische Notwendigkeit zu erkennen. Gleichzeitig kann aus der Schadensanalyse abgeleitet werden, welche Bauweisen nicht schadensträchtig sind.

Das Prinzip Versuch und Irrtum ist ein Jahrtausend alter Lehrmeister. Die heute bewunderten gotischen Kathedralen waren keineswegs von vornherein standsicher. Das Aufbrechen der dicken, massiven Wände mit großen Fensterflächen und die Dimensionierung der dünnen Strebepfeiler beruhten im ausgehenden Mittelalter nicht auf computergestützten Berechnungsverfahren mit finiten Elementen, sondern sind erfahrungsbasiert aus der Analyse von zuvor entstandenen Schäden zustande gekommen.

In diesem Kapitel geht es um die Erkenntnisse, die von nicht abgedichteten, erdberührten Bauteilen des (historischen) Gebäudebestands gewonnen werden können, die in einer sehr großen Anzahl vorhanden sind und einen wesentlichen Anteil aller Wohngebäude in Deutschland einnehmen (Bild 7). Aus den Erfahrungen des Gebäudebestands kann die Häufigkeit von Feuchtigkeits- oder Wasserschäden, deren Intensität und die hauptsächlichen Schadensstellen abgeleitet werden.

Heute können computergestützte Berechnungsmodelle mit Erfahrungen kombiniert werden. Abdichtungen sind aber technisch nicht so kompliziert, dass dazu aufwändige, computergestützte Rechenmodelle erforderlich würden.

Abdichtungsregeln z.B. von DIN e.V. sind keine rechtsrelevanten Regeln, sondern Empfehlungen, die zu hinreichend funktionierenden Abdichtungen führen sollen. Bei der Entwicklung von Technischen Empfehlungen werden bauübliche Ungleichmäßigkeiten, Arbeitsunterbrechungen, möglicherweise aufklaffende Fugen, Unebenheiten und vieles weitere berücksichtigt, sodass Abdichtungen auch bei der Überlagerung von ungünstigen Randbedingungen noch immer durchgehend dicht sind. Das hat aber auch zur Folge, dass bei der Prüfung bereits ausgeführter Abdichtungen die Rahmenbedingungen zu untersuchen sind, sodass die aus der Kombination ungünstiger Rahmenbedingungen entwickelten Vorhaltemaße angemessen reduziert werden können.

Übertriebene Anforderungen liegen übertrieben auf der sicheren Seite. Die "sichere Seite" ist aber oft mit einem übermäßigen damit unwirtschaftlichem Aufwand verbunden. Unter werkvertraglichen Aspekten gibt es regelmäßig nur ein Optimum aus Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Dabei muss die Funktion für die vorgesehene wirtschaftliche Nutzungsdauer bei zu erwartenden Einwirkungen unter Berücksichtigung möglicher und üblicher Instandhaltungen sichergestellt sein. Andererseits dürfen durch Anwendung von Technischen Empfehlungen keine übermäßigen Kosten sowie unnötiger Ressourcenverbrauch entstehen [4].

Ein Maximum an Aufwand kann eine Praxisbewährung nicht nachweisen, wenn nicht gleichzeitig untersucht wird, ob mit einem geringeren Aufwand die gleiche Zuverlässigkeit erreicht werden kann.

Bild 7 **Beispiele für übliche Situationen in Untergeschossen historischer Gebäude ohne Abdichtungen, die regelmäßig nicht in stark durchlässigem Baugrund stehen, aber mit Ausnahme von Feuchtigkeit in den Außenbauteilen keine nennenswerten Feuchtigkeitsschäden aufweisen und sogar die Lagerung von feuchteempfindlichen Gütern zulassen**

Hier setzen die Überlegungen zu den neuen Empfehlungen zum Schutz erdberührter Bauteilflächen gegen von außen einwirkendem Wasser an. Deswegen ist zunächst zu untersuchen, worauf Feuchtigkeitsschäden an erdberührten Bauteilflächen beruhen.

In der Vergangenheit wurden Gebäude regelmäßig nicht in Gebieten oder Höhenlagen erstellt, in denen Grundwasserhorizonte zu erwarten waren. In Baugebieten z.B. im oberen Rheingraben, wurden Siedlungsgebiete zunächst aufgeschüttet, damit Untergeschosse von Gebäuden nicht durch Grundwasser beansprucht wurden. Das hat sich erst geändert, als zunächst Sperrbetonkonstruktionen und dann wasserundurchlässige Betonkonstruktionen möglich wurden. Dennoch wird vermieden, übliche Wohnhäuser in Grundwasser hinein zu bauen.

Erdberührte Bauteilflächen im Gebäudebestand haben regelmäßig einen gewissen Feuchtigkeitsgehalt. Selten aber werden Untergeschosse überflutet (Bild 8). Daher soll zwischen Feuchtigkeit und Überflutungen in Räumen unterschieden werden.

Bild 8 **In seltenen Fällen steht auf Bodenflächen von außen eindringendes Wasser**

Erfahrungen im Gebäudebestand belegen, dass in den wenigsten Fällen Druckwasser auf erdberührte Bauteilflächen einwirkt. Bis vor wenigen Jahrzehnten wurden Untergeschosse regelmäßig nicht aus wasserdichten oder wasserundurchlässigen Bauteilen erstellt, ohne dass Wasser in flüssiger Form in die Untergeschosse eindringt. Diese Beobachtung soll nicht dazu verleiten, Untergeschosse von Neubauten nicht gegen von außen einwirkendes Wasser abzudichten oder durch wasserundurchlässigen Beton zu schützen. Sie lassen aber erkennen, wo und in welchen Fällen Wasser in flüssiger Form in Gebäude eindringt oder lediglich feuchtigkeitsbedingte Schäden an Putz oder Anstrich verursacht. Letzterer sind dann nicht auf Druckwasser zurückzuführen, sondern auf kapillare Verbindungen zwischen Feuchtigkeit im Boden und in der Regel nicht abgedichtete Mauerwerkswände.

INFO

Erfahrungen im Gebäudebestand belegen, dass in den wenigsten Fällen Druckwasser auf erdberührte Bauteilflächen einwirkt.

Wassereintritte von Wand- und von Bodenflächen oberhalb von Grundwasser sind regelmäßig zurückzuführen auf:

- Brüchen in abwasserführenden Leitungen in Arbeitsräumen als häufigste Ursache (Bild 9)
- Wassereintritte an Kellerfenstern oder Leitungswanddurchführungen durch in die Arbeitsraumverfüllung (durch z.B. vertikale Flächendräne) gelangendes Oberflächenwasser (häufige Ursache) oder wasserführende Vertikalfugen zwischen z.B. Außenwänden und davor angeordneten Perimeterdämmplatten ohne Schutzmaßnahmen gegen eindringendes Oberflächen- oder Fassadenwasser
- in oder neben Arbeitsräumen angeordnete, undichte Rigolen oder Zisternen

Dabei beschränken sich viele Wasserschäden auf abplatzenden Putz, Schäden am Farbanstrich oder gleichartigen Erscheinungen. Wenn Wasser auf der Bodenfläche steht, ist, insofern undichte Leitungen oder andere Havarieursachen ausgeschlossen werden können, regelmäßig Grundwasser oder an Grundwasser heranreichendes Schichten- bzw. geotechnisches Stauwasser ursächlich.

INFO

Das sogenannte Tagwaser oder die Baufeuchte ist nicht Gegenstand der Abdichtungsnorm.

In neuen Gebäuden sind Feuchtigkeitsschäden in unteren Steinreihen regelmäßig nicht auf die genauso regelmäßig bemühte, sogenannte aufsteigende Feuchtigkeit zurückzuführen. Niederschlagswasser, das in der Bauzeit in das Gebäude eindrang, sammelt sich insbesondere in unteren Geschossen und durchnässt die ersten Mauersteinreihen (Bild 6). Dabei trocknet das Wasser nur sehr langsam aus. Sogar über Jahre hinweg können erste Steinreihen feucht sein. Das sogenannte Tagwasser oder Baufeuchte sind aber nicht Gegenstand der Abdichtungsnorm. Abdichtungen sind nur zum Schutz gegen von außen einwirkendes, flüssiges Wasser gedacht.

In älteren Gebäuden liegt die Ursache von feuchtigkeitsbedingten Schäden an Sockeln regelmäßig an hygroskopischer Feuchtigkeitsaufnahme infolge hoher Salzbelastungen. Diese kann nicht durch Abdichtungen verhindert werden, weder durch außenliegende Abdichtungen, noch durch Mauerquerschnittsabdichtungen.

Bei Feuchtigkeitsschäden in Untergeschossen oder an Sockeln ist eine genauere Analyse der jeweiligen Ursache unerlässlich, bevor Maßnahmen ergriffen werden, die nicht den gewünschten Zweck erfüllen. Dazu zählt insbesondere die Einschätzung der jeweiligen Wassereinwirkung aus dem Baugrund. Dies gilt insbesondere zur Bewertung von Einwirkungen an Bodenflächen, da es dort nicht nur um den Schutz gegen Wasser, sondern um den wesentlich aufwändigeren Schutz gegen Aufschwimmen geht.

Bild 9 **Beispiel für ein Untergeschoss aus Mauerwerk ohne Abdichtung. Partielle Wasserschäden sind sehr oft auf Undichtheiten in vor den erdberührten Außenwänden verlaufende Leitungen z.B. der Dachentwässerung zurückzuführen**

4. Wassereinwirkungen aus dem Baugrund

4.1 Begriffe

Die nachstehende Tafel 1 sowie die Bilder 10-15 verdeutlichen die Begrifflichkeit der Abdichtungsnorm zu Wasser im Baugrund.

Tafel 1 **Die Abdichtungsnorm DIN 18533-1 [5] verwendet derzeit folgende Begriffe:**

Bodenfeuchte	Haftwasser, Kapillarwasser
Sickerwasser	Wasser, das im Boden der Schwerkraft folgend sickert. Dabei ist unklar, ob Sickerwasser in Saugspannung vorliegt oder Druck auf z.B. Abdichtungen ausübt.
Nicht drückendes Wasser	Begriff für Wasser auf Deckenflächen. Allerdings ist dieser nur begrenzt nachvollziehbar, da Wasser über dem atmosphärischen Luftdruck ansteht und damit auf Decken grundsätzlich mit drückendem Wasser zu rechnen ist – auch wenn der Überdruck gering ist.
Stauwasser	In der Arbeitsraumverfüllung sich bildendes Stauwasser, das von oben in den Arbeitsraum sickert und sich auf dem Boden der Arbeitsraumverfüllung aufstaut. Wegen des Verweises auf DIN 4095:1990-06 ist unklar, ob darin (wie in DIN 4095:1990-06) seitlicher Zufluss enthalten ist oder nicht. Seitlicher Zufluss wird in DIN 18533-1 als Schichtenwasser bezeichnet, das dem Grundwasser gleichgestellt ist. Nach dieser Logik ist Stauwasser auf die Arbeitsraumverfüllung beschränkt und nicht dem geotechnischen Stauwasser gleichzustellen.
Grundwasser, Schichtenwasser	Grundwasser und Schichtenwasser sind Druckwasser in durchlässigeren Schichten über dazu relativ geringer durchlässigen Schichten ohne Differenzierung nach Ergiebigkeit oder zwischenzeitlichem Trockenfallen der wasserführenden Schichten. Auch ist nicht geklärt, ob der Kapillarsaum über Grundwasserhorizonten als Druckwasser oder als Kapillarwasser in Saugspannung verstanden werden.

Folgende Grafiken verdeutlichen die Begrifflichkeit der Abdichtungsnorm zu Wasser im Baugrund:

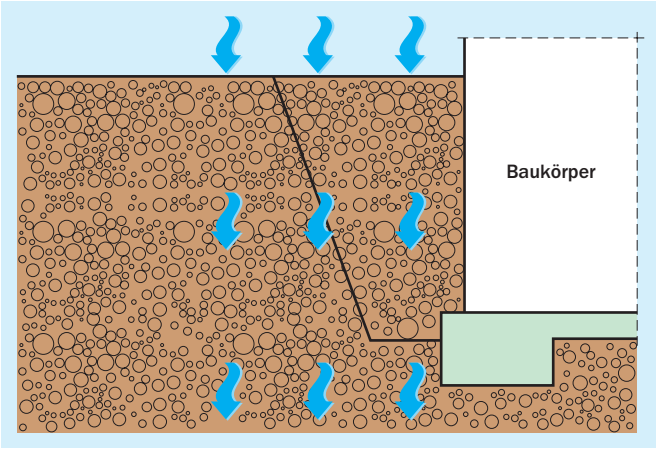


Bild 10 **Sickerwasser und Bodenfeuchte**

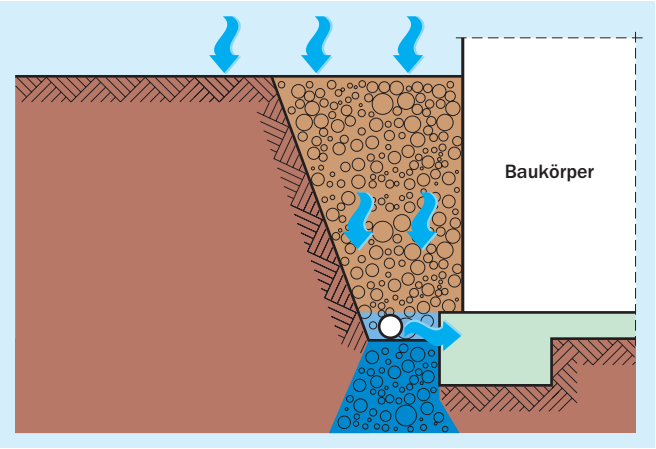


Bild 11 **Stauwasserbildung in stark durchlässiger Arbeitsraumverfüllung über geringdurchlässigem Baugrund, die ggf. durch Dränung vermieden werden kann**

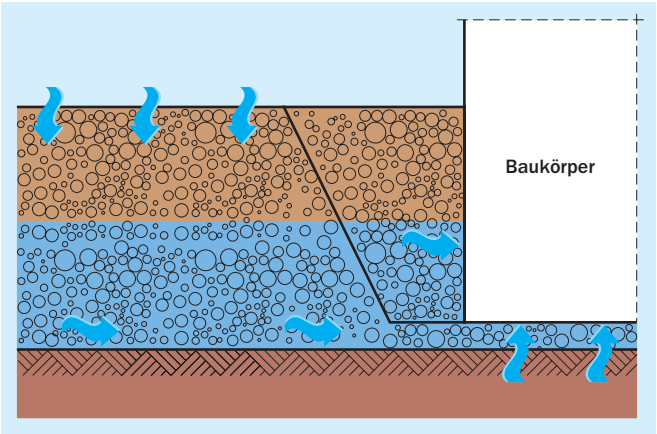


Bild 12 **Grundwasser**

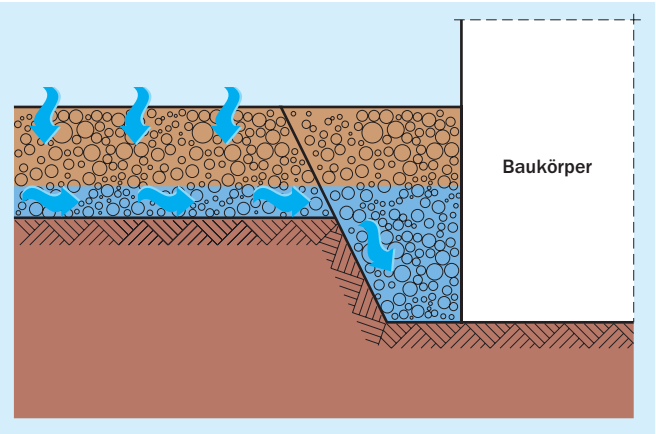


Bild 13 **Schichtenwasser (geotechnisch: Stauwasser) ohne hydraulische Verbindung unter die Bodenplatte**

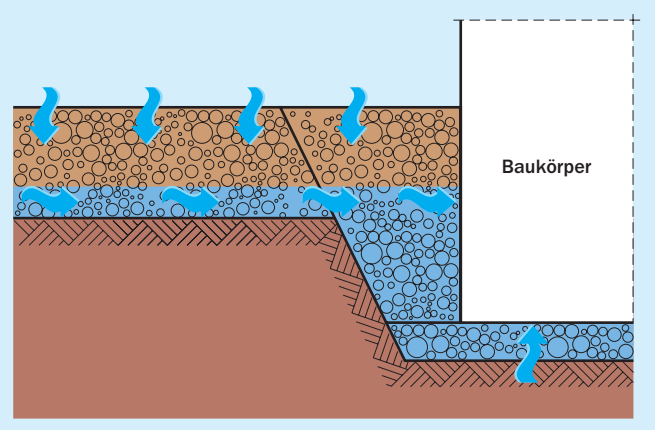


Bild 14 Schichtenwasser (geotechnisch: Stauwasser) mit hochliegendem Strömungshorizont

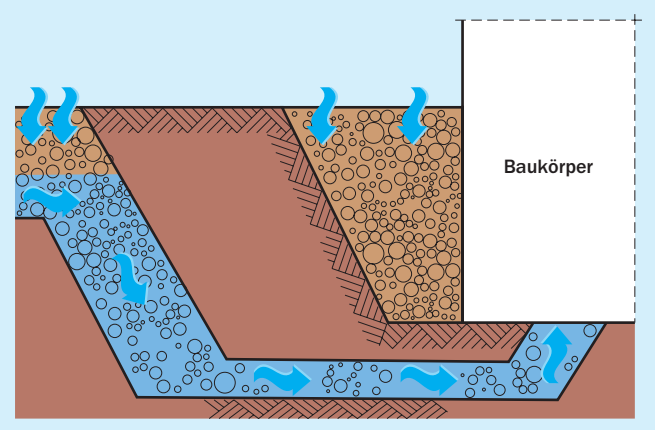


Bild 15 Grund- oder Schichtenwasser, Zufluss durch Klüfte

Im Gegensatz zu DIN 18533-1 definiert die DIN 4095-1 einige Begriffe unterschiedlich.

Tafel 2 In DIN 4095-1 werden dagegen unter den geotechnischen Begriffen verstanden:

Bodenfeuchte	(Saugspannung, unter atmosphärischen Luftdruck, in wasserungesättigter Bodenzone): Sorptionswasser, Haftwasser: örtlich gebunden Kapillarwasser: Transport durch dickeren Wasserfilm, richtungsunabhängig auch entgegen der Schwerkraft.
Sickerwasser	(Saugspannung in wasserungesättigter Bodenzone): In Boden infiltrierendes Niederschlagswasser wird in einem dickeren Wasserfilm richtungsabhängig durch die Schwerkraft nach unten transportiert.
Stauwasser	(Wasserdruck über atmosphärischem Luftdruck in wassergesättigter Bodenzone) Sickerwasser staut sich in durchlässigeren Schichten über dazu relativ weniger durchlässigen Schichten; Stauwasserhorizonte sind wenig ergiebig und können trocken fallen; (geotechnisches) Stauwasser ist räumlich begrenzt, es beschränkt sich nicht auf Arbeitsraumverfüllungen.
Grundwasser	Wasserstauschicht in wassergesättigter Bodenzone mit größerem Einzugsgebiet und schwankenden Grundwasserständen fallen in der Regel nicht trocken. Grundwasserstockwerke können in Bodenfolgen mit Wechseln zwischen Grundwasserleitern und Grundwassergering- oder -nichtleitern übereinanderliegen. Der Grundwasserbemessungsstand beschreibt den in 100 jährlicher Wahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeitsfaktor 0,01/a) zu erwartenden, höchsten Grundwasserstand, in den Sicherheitsfaktoren einfließen. Deswegen sind zu den Angaben von Bemessungsgrundwasserständen keine weiteren Zuschläge erforderlich.

4.2 Bemessungsgrundwasserstand (BGW)

Der Bemessungsgrundwasserstand (BGW) soll aus der möglichst langjährigen Beobachtung bisheriger Grundwasserstände abgeschätzt werden. Dabei sollen die Grundwasserstände maßgeblich sein, die mindestens in 30 Jahren festgestellt wurden. Allerdings liegen an Messstellen, insofern in aussagekräftiger Nähe zum Untersuchungsobjekt, nicht immer Aufzeichnungen über längere Zeiträume vor. Insbesondere in Gebieten mit Verwerfungen und damit stark wechselnden Bodenschichtungen lassen sich die Erkenntnisse der nicht selten erst in größerer Entfernung liegenden Messstellen auf eine Untersuchungsstelle übertragen.

Erkenntnisse aus der Vergangenheit können zwar wesentlich zur Abschätzung beitragen, welche Grundwassereinwirkungen zukünftig an erdberührten Bauteilflächen an einem Gebäude auftreten können. Zu dieser Einschätzung zählen auch mögliche (insbesondere geplante bauliche) Veränderungen im Grundwasserhorizont, z.B. durch unterirdische bauliche Anlagen im Grundwasserstrom, die entweder Grundwasser ableiten und damit Grundwasserhorizonte absenken oder Grundwasserströme hindern und damit Grundwasserhorizonte steigen lassen.

Die Einschätzung der während einer (zukünftigen) Gebäudenutzungsdauer zu erwartenden Grundwassereinwirkungen soll eine Prognose für eine Eintrittswahrscheinlichkeit von einmal in 100 Jahren beinhalten. Dies ist eine verantwortungsvolle Aufgabe an Geotechniker mit geohydraulischen Kenntnissen. Wenn aber aus vermeintlichen Sicherheitsabwägungen für erdberührte Bauteilflächen fast grundsätzlich Druckwassereinwirkung angenommen werden, hat dies unnötige Kosten und Ressourcenverbräuche zur Folge. Damit würde z.B. Mauerwerk mit Abdichtungen an erdberührten Außenwänden de facto verhindert.

Perspektivische Aussagen sind sorgfältig zu treffen, beinhalten aber keine Beschaffenheitsgarantie. Nicht seriös abschätzbare Faktoren, etwa Klimawandelfolgen, können nicht Bestandteil einer Beratungsverpflichtung sein. Niemand kann vorhersehen, ob die wahrscheinlich zunehmenden langen Trockenphasen

auch unter Berücksichtigung zwischenzeitlicher Stark- bis Katastrophenregenereignisse zu sinkenden Grundwasserhorizonten führt, wie das die letzten Jahre bis Jahrzehnte zu beobachten ist. Genauso können durch globale klimatische Veränderungen die Niederschlagsereignisse über längere Zeiträume ergiebiger werden. Damit könnte die in den letzten Jahren stark zurückgegangene Grundwasserneubildung verstärkt werden, wodurch Grundwasserhorizonte steigen können.

Zukünftige Entwicklungen dürfen nicht ausgeschlossen werden. Sie werden durch Sicherheitszuschläge berücksichtigt. Das hat zur Folge, dass nicht nochmals weitere Sicherheitszuschläge in z.B. der für geotechnische Fragen nicht einschlägigen Abdichtungsnorm notwendig werden, wie das zurzeit mit einem Abstandsmaß von 30 cm bzw. 50 cm der Fall ist.

4.3 Wassereinwirkungen oberhalb des BGW

INFO

Bodenfeuchte und Sickerwasser:

- **Beides prinzipiell gleich, da beides in Saugspannung vorliegt, also einen geringeren Druck als den atmosphärischen Luftdruck hat.**
- **Beides ist an Bodenkörnungen anhaftendes Wasser, das auf angrenzende Flächen keinen Druck ausübt und nicht gedränt werden kann.**
- **Der Unterschied besteht in der Dicke der Wasserhülle an den Bodenkörnungen.**

Beobachtungen in offenen Baugruben sind oberhalb von Grundwasserständen prinzipiell nicht geeignet, auf die späteren Wassereinwirkungen zu schließen (Bild 16). Erst im Zustand des aufgefüllten Arbeitsraums entstehen die relevanten Bedingungen.

Bild 16 **Beobachtungen zu Pfützen nach Niederschlägen in der offenen Baugrube sind nicht geeignet, um die späteren Beschaffenheiten bezüglich möglicher Stauwasserbildung in Arbeitsraumverfüllungen zu bestimmen.**

In der Arbeitsraumverfüllung ist nämlich die vertikale Wasserbewegungsgeschwindigkeit um 3-8 Zehnerpotenzen langsamer als die Wasserbewegung an der Geländeoberfläche.

Für die folgenden Betrachtungen ist nach wassergesättigten und wasserungesättigten Bodenzonen zu unterscheiden.

INFO

- **Stauwasser kann sich aus in Boden eindringendes Sickerwasser bilden.**
- **Stauwasser kann sich in Bodenschichten bilden, die über zu ihnen (relativ) geringer durchlässigen Bodenschichten liegen. Wenn die in der durchlässigeren Bodenschicht ankommende Wassermenge so groß ist, dass sie in der unterliegenden Bodenschicht nicht staufrei einsickern kann, bildet sich Stauwasser.**
- **Wenn Niederschlagswasser nur in geringen Mengen oder gar nicht im Boden versickern kann, spielt die Bodendurchlässigkeit hinsichtlich möglicher Stauwasserbildung keine Rolle.**
- **Sickerwasser und Stauwasser sind primär Aspekte der Geohydraulik, die vom Verhältnis zwischen Sickerwassermenge und Bodendurchlässigkeit abhängt.**
- **Ob sich Stauwasser bildet oder nicht, wird nicht ausschließlich durch eine Bodendurchlässigkeit bestimmt. Damit ist die Frage einer Stauwasserbildung nicht nur eine an die Geotechnik, sondern primär eine an die Geohydraulik.**

Stauwasser ist keine ausschließliche Betrachtung der Bodendurchlässigkeit, sondern eine des Verhältnisses von in Boden infiltrierenden Niederschlag und Bodendurchlässigkeit. Dringt viel Wasser z.B. um große Faktoren leistungsfähigeren Freispiegelabfluss durch vertikale Sickerwege durch z.B. fehlerhafterweise bis an Geländeoberflächen angeschlossene Vertikaldräne oder nicht hinterlaufsicher angebrachte Perimeterdämmplatten vor Wänden in Arbeitsraumverfüllungen ein, kann sich auch bei Böden mit einer Durchlässigkeit von $> 10^{4}$ m/s Stauwasser bilden.

4.3.1 Wasserbewegung in der ungesättigten Bodenzone

Nur in der wassergesättigten Bodenzone fließendes Wasser kann in Dränungen gefasst werden. Sich aus Sickerwasser bildendes Stauwasser ist die Voraussetzung, in Leitungen gefasst und abgeleitet werden zu können.

In der ungesättigten Bodenzone haftet Wasser an Bodenkörnungen an. Der Druck liegt unterhalb des atmosphärischen Drucks und wird als Saugspannung beschrieben. Sickerwasser ist an Bodenkörnungen anhaftendes Wasser, das nicht frei abtropft. Sickerwasser übt keinen Druck auf umgebende Flächen und damit auch nicht z.B. auf erdberührte Wände aus. Sickerwasser kann so nicht in Dränleitungen gefasst werden.

Die Geschwindigkeit von Grundwasser (in der gesättigten Bodenzone) schwankt zwischen wenigen Zentimetern pro Jahr bis 10 m pro Jahr, das entspricht 10^{-9} m/s bis 10^{-4} m/s. Grundwasser in der gesättigten Bodenzone bewegt sich damit um

Bild 17 Nach ca. 5 h Landregen und 1 h Starkregen sickerte in diesem Beispielfall mit Feinsand und Schluffanteilen Oberflächenwasser nur langsam in eine geringe Tiefe in den Boden von etwa 5 cm

Bild 18 Steht Wasser temporär auf der Geländeoberfläche, ist es nicht im Baugrund, sonst wäre es nicht auf ihm, sondern darin. Infiltration in den Boden wirkt sich i.d.R. nur in Nähe von Fließgewässern aus und wird dort durch Bemessungsgrundwasserstände berücksichtigt. Oberflächenwasser infiltriert wegen Fließwiderständen im Boden langsam, solange keine bis an die Geländeoberfläche führende Vertikaldräne angeordnet werden

Zehnerpotenzen langsamer als an der Geländeoberfläche strömendes Wasser.

Wasser in der ungesättigten Bodenzone sickert an Oberflächen von Bodenkörnungen in Richtung der Schwerkraft nach unten. Die Geschwindigkeit ist aufgrund der Adhäsion der Wasserhülle an den Bodenkörnungen (deutlich) geringer als die Wasserbewegung in der gesättigten Bodenzone. Die Geschwindigkeit der Sickerwasserströmung beträgt ca. 10^{-9} m/s bis 10^{-6} m/s und damit ca. 0,1 mm bis 10 cm pro Tag.

INFO

- **Freispiegelabfluss hat eine Geschwindigkeit zwischen 0,1 m/s und 4 m/s (0,36 km/h bis 14,4 km/h), z.B. im Rhein 1 m/s (3,6 km/h).**
- **Grundwasserströmungen (in der gesättigten Bodenzone, waagrechte oder annähernd waagrechte Fließrichtung) sind zwischen 10^{-9} m/s und 10^{-4} m/s schnell, damit um Faktoren zwischen ca. 1.000 und 100 Millionen langsamer als Freispiegelabfluss**
- **Die Sickerströmung (vertikal in wasserungesättigter Bodenzone) bewegt sich zwischen 10^{-9} m/s und 10^{-6} m/s und damit um Faktoren zwischen ca. 100.000 und 10 Millionen langsamer als Freispiegelabfluss.**

Der Deutsche Wetterdienst DWD definiert Starkregen in drei Warnstufen. Für z. B. Lübeck wird in der dritten und stärksten Warnstufe ein Niederschlag von 40 l/m² bei einer Niederschlagsdauer von 1 Stunde und einer von 60 l/m² bei einer Niederschlagsdauer von 6 h angenommen. Bei einem Porenvolumen von 10 % füllt die Niederschlagsmenge der höchsten Warnstufe eine Bodenschicht einer Dicke von 60 cm. Das Wasser sickert aber nicht in 6 h in diese Tiefen, sondern braucht viel länger dafür. Nimmt man die größte Geschwindigkeit der ungesättigten Bodenzone von 10 cm pro Tag an, sickert das Wasser in der Zeit von 6 Stunden in eine maximale Tiefe von knapp 3 cm ein. Nach Ende des Regens wird nicht neues Wasser von der Geländeoberfläche „nachgefüllt“, solange das Gelände in der Sockelzone vom Gebäude weg geneigt ist (Bild 17).

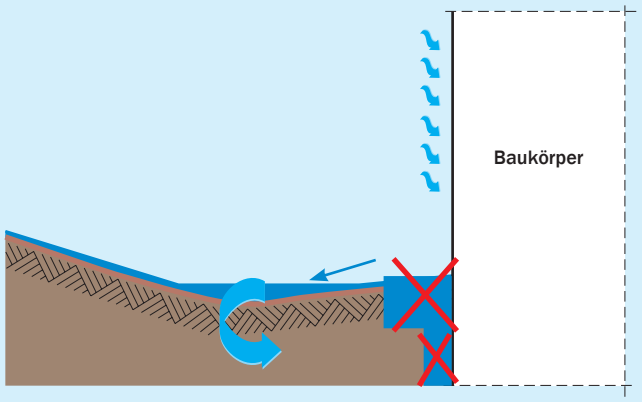
Deswegen wirkt sich Oberflächenwasser aus (kurzzeitigen) intensiven Niederschlägen nicht bzw. nicht nennenswert auf den Wasserhaushalt im Boden aus (Bild 18).

Durch Boden ist ein guter bis sehr guter Schutz gegen Starkniederschlagsereignisse gegeben. Der direkte Zufluss von Niederschlagswasser an der Geländeoberfläche über vertikale Strömungswege durch z. B. bis an die Oberfläche reichende Vertikaldräne vor Wänden, häufig kombiniert mit nach unten entwässerten Kiesstreifen, soll vermieden werden. Hinzu kommt unter praktischen Erwägungen, dass Deckschichten auch auf starkdurchlässigem Boden durch z.B. Sedimentation von Stäuben oder die Abdeckung mit Pflanzen, Humus oder Belägen geringer durchlässig sind.

Im Baugrund gibt es keine „kommunizierenden Röhren“, weil

- die Sickergeschwindigkeiten zu gering sind,
- das Bodensystem unten nicht geschlossen ist
- und es nicht zu einer Wasserausbreitung wie in offenen Systemen (nach dem Kaffeekannenprinzip) kommt.

Die vorherigen Ausführungen verdeutlichen, dass durch Boden ein guter bis sehr guter Schutz gegen die üblicherweise kurzzeitig vorkommenden Starkniederschlagsereignisse gegeben ist. Sie zeigen auch, dass direkter Zufluss von Niederschlagswasser an der Geländeoberfläche über vertikale Strömungswege durch z.B. bis an die Oberfläche reichende Vertikaldräne vor Wänden, häufig kombiniert mit nach unten entwässerten Kiesstreifen, zu vermeiden ist. Selbst bei starker Durchlässigkeit von Baugrund und Arbeitsraumverfüllung kann Stauwasser nicht vermieden werden, wenn vertikale Strömungswege



- Keine „Burggräben“ an Sockeln (Ausnahme: bei Geländeanhebungen an Zugängen seitlich entwässerter Streifen)
- Keine nach unten entwässernde Kiesstreifen!
- Keine Vertikaldräne vor Außenbauteilen!
- Wasser auf dem Gelände vom Sockel weg leiten!

Bild 19 Grundsatz: Wasser vom Sockel wegleiten

Bild 20 Stauwasser bildet sich aus nach unten sickerndem Wasser, das sich auf einer gering durchlässigen Schicht staut. Zur Verdeutlichung wurde hier in den mit Sand gefüllten Behälter eine durchflusshemmende Schicht eingesetzt, über der Stauwasser zu erkennen ist. Unterhalb ist aber der Sand trocken. Dieses Beispiel verdeutlicht die evtl. Folgen von Inhomogenitäten in Arbeitsraumverfüllungen: Über Staulinsen kann sich Stauwasser bilden, das wegen der Staulinsen aber nicht unter diesen ist.

bis an die Geländeoberfläche reichen. Selbstverständlich ist es möglich, dies zuzulassen mit der Folge, dass an den erdberührten Wänden mit Druckwasser zu rechnen ist – wie ausgeführt, unabhängig von der Durchlässigkeit der Arbeitsraumverfüllung oder des Baugrunds.

Allerdings soll das Schadenspotenzial an erdberührten Bauteilflächen oberhalb von Grundwasserständen auf ein unvermeidbares Maß reduziert werden. Dann dürfen keine vertikalen Strömungswege durch bis an die Geländeoberfläche reichende Vertikaldräne bestehen (Bild 19).

Wasser darf von Geländeoberflächen nicht in Arbeitsraumverfüllungen eingeleitet werden. Wenn (unvermeidlich) Fassadenwasser von oben in Arbeitsräume eindringt, ist die durch Vertikaldräne abfließende Wassermenge gering. Sie kann ungünstigstenfalls zu lokal begrenztem Stauwasser an Sockeln erdberührter Außenwände oder zur Stauwasserbildung im Sickerweg an z.B. Durchdringungen führen. Ein Zufluss unter Gebäuden ist auch dann ausschließbar.

INFO

Niederschlagswasser ist stets vom Gebäudesockel wegzuleiten und darf nicht durch Vertikaldräne in die Arbeitsraumverfüllung abgeleitet werden.

Die Sicherheit zur Vermeidung von Feuchtigkeitsschäden an erdberührten Bauteilflächen hängt aber in erster Linie von der Resilienz von Abdichtungen ab. Soll diese erhöht werden, sollten an Details Maßnahmen ergriffen werden, die Widerstand gegen eine kurzzeitige Druckwassereinwirkung zulassen, ohne dass Wasser in die Baukonstruktion eindringen kann. Dazu sind hinterlaufsichere Anschlüsse von Abdichtungen an Betonbauteile und Durchdringungen zu empfehlen.

4.3.2 Stau- und Schichtenwasser

Nach geohydraulischer Betrachtung sind Gebäude oder bauliche Anlagen (zunächst) unbedeutend. Sie existieren bezüglich der Auswirkung von Wasser im Baugrund (noch) nicht.

Stauwasser in der Geotechnik bezeichnet deswegen nicht Wasser, das sich in (verfüllten) Arbeitsräumen bilden kann, sondern im Gelände: Stauwasser kann sich aus in Boden infiltrierenden Niederschlag in durchlässigeren über geringer durchlässigen Schichten bilden. Ist das Gelände bzw. die Grenzfläche zwischen den beiden Bodenschichten geneigt, kann Stauwasser bis an erdberührte Bereiche von Gebäuden gelangen (Bild 20).

Stauwasser in der Nomenklatur der Abdichtungsnorm bezeichnet sich in verfüllte Arbeitsräumen aufstauendes Sickerwasser, das von oben in diese infiltriert. Stauwasser in der Geotechnik ist etwas anderes als Stauwasser in der Begrifflichkeit der Abdichtungsnorm. In letzterer wird das geotechnische Stauwasser als Schichtenwasser bezeichnet, ein Begriff, den es in der Geotechnik nicht gibt: Dort heißt dieses Wasser Stauwasser (Kap. 4.1).

Da die Abdichtungsnorm DIN 18533-1 Grundwasser und Schichtenwasser gleichstellt, sind in den letzten Jahren bis Jahrzehnten Dränanlagen immer weniger genehmigt bzw. erlaubt worden, da zuständige Behörden unter Bezugnahme auf das Wasserhaus-

haltsgesetz (WHG) grundsätzlich keine Grundwasserabsenkungen und damit kein Grundwasser in Vorfluter akzeptieren.

Die geotechnische Differenzierung erlangt damit eine neue Bedeutung. Das (geotechnische) Stauwasser darf – im Gegensatz zu Grundwasser – grundsätzlich gedränt werden, auch wenn gegebenfalls eine Genehmigung oder eine Erlaubnis einzuholen ist. Stauwasser in der Arbeitsraumverfüllung bildet sich dagegen in der Regel nicht, sondern nur dann, wenn vergleichsweise ungünstige Rahmenbedingungen aus nicht abgedeckten, stark durchlässigen Arbeitsraumverfüllungen auf sehr geringdurchlässige Böden zusammenkommen. Daher wird in diesem Beitrag zwischen geotechnischem Stauwasser und Stauwasser in der Arbeitsraumverfüllung unterschieden.

Die Wasserbewegung im Boden und in Arbeitsraumverfüllungen ist ungleich langsamer als der Freispiegelabfluss (s. Kapitel 4.3.1).

4.3.3 Bisherige Einschätzungen

In der Abdichtungsnorm DIN 18533-1:2017-07 wird als worstcase-Szenario in Fällen oberhalb von Grundwasserständen und Bodendurchlässigkeiten unter 10^{-4} m/s empfohlen, von Druckwasser auf die gesamten erdberührten Wand- und Bodenflächen auszugehen – für den Fall, dass keine geotechnische Einschätzung vorliegt. Geotechniker sollten sich nicht auf einen Fall in einer für Geotechnik nicht einschlägigen Abdichtungsnorm beziehen, der als Ausnahme gedacht ist, dass keine Geotechniker involviert sind.

So sollten sich Baugrundgutachten nicht auf eine für Geotechnik nicht einschlägige Abdichtungsnorm stützen und sich nicht zu Aussagen folgender Art hinreißen lassen:
„Der Bemessungsgrundwasserstand liegt ausreichend tief unter der Gründungssohle. Aufgrund geringdurchlässiger Böden mit einer hydraulischen Durchlässigkeit von weniger als 10^{-4} m/s ist von Stauwasser bis zur Oberkante des Geländes auszugehen."

Nicht selten kommen unter geotechnischen Aspekten sehr sorgsam ausgearbeitete Gutachten zu dieser, in geohydraulischer Hinsicht, nicht nur viel zu knappen, sondern auch nicht nützlichen Angabe. Sie lässt die geohydraulischen Aspekte, die in Kapitel 4.3.1 zusammengefasst sind, außer Acht. Diese Bewertungen treffen in dieser Pauschalität nicht zu. In den (aller-) meisten Fällen kommt es in dieser Konstellation nicht zu Druckwasser an erdberührten Wänden und noch weniger an Unterseiten von Bodenplatten.

Im Folgenden werden knapp geohydraulischen Aspekte zusammengefasst, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Sie sollen animieren, sich mit den Baugrundbeschaffenheiten zu beschäftigen und Ergebnisse zu erarbeiten, die einerseits ein hohes Sicherheitsniveau beinhalten, andererseits aber keine Maßnahmen fordern, die ohne Nutzen unwirtschaftlich sind.

Darüber hinaus bergen solche Einschätzungen nicht nur unerhebliche Risiken für die Gebäudesubstanz, wie Schadensfälle in Überflutungsgebieten aus Hochwasser und Katastrophenregen an der Ahr und in der Eifel im Juli 2021 aufgezeigt haben.

Geohydraulik ist offensichtlich kein Lehrgebiet in der Geotechnik. Bislang fehlte es an brauchbaren Hilfestellungen. Geotechniker stützen sich auf eine für sie nicht einschlägige DIN-Norm der Abdichtungstechnik, nämlich seit Juli 2017 auf DIN 18533-1 [5] und zuvor auf (die seitdem zurückgezogene) DIN 18195-1 [6]. Diese wiederum lehnt sich an DIN 4095 von Juni 1990 [7] an, die allerdings nicht Wassereinwirkungen an erdberührten Bauteilflächen beschrieb, sondern Voraussetzungen für Dränungen von baulichen Anlagen.

In DIN 4095:1990-06 wurden drei Fälle aufgezeigt:

a) Situationen oberhalb von Grundwasserständen in starkdurchlässigem Baugrund (nach DIN 18130-1 [8] waren dies Böden mit einer Durchlässigkeit von mehr als 10^{-4} m/s): kein Druckwasser,

b) Situationen oberhalb von Grundwasserständen in schwach durchlässigem Baugrund (nach DIN 18130-1,) waren dies Böden mit einer Durchlässigkeit von mehr als 10^{-6} m/s) in Verbindung mit Dränungen: kein Druckwasser,

c) in allen anderen Situationen: Druckwasser aus Grundwasser oder aus sich im Boden aufstauendem Sickerwasser.

Aus diesen Fallkonstellationen wird deutlich, dass ein Durchlässigkeitsbereich von zwei Zehnerpotenzen nicht beschrieben war: Dränungen waren erst ab einer Unterschreitung der Durchlässigkeit von 10^{-6} m/s gefordert und nicht bereits bei einer Unterschreitung von 10^{-4} m/s. Diese Festlegung stimmt mit den Anforderungen für Versickerungsanlagen überein, wo eine Bodendurchlässigkeit von mindestens 10^{-6} m/s gefordert wird. Es handelt sich dann um durchlässigen und nicht um nur gering durchlässigen Boden.

Für die Empfehlungen waren, auf der sicheren Seite liegend, (sehr) ungünstige Rahmenbedingungen zu Grunde gelegt worden:

1. Die Arbeitsraumverfüllung ist mit starkdurchlässigem Material angenommen worden, das sich zwar gut verdichten lässt und innerhalb kurzer Zeit keine Nachsetzungen mehr auftreten, aber Wasser von der Geländeoberfläche vergleichsweise schnell (innerhalb von ein bis zwei Wochen) nach unten zur Sohle ableitet. Auch können Vertikaldräne in Form von z.B. mehrschichtigen, strukturierten Schutzlagen Wasser von der Geländeoberfläche schnell nach unten ableiten. Arbeitsräume wurden nicht mit geringdurchlässigen Stoffen abgedeckt angenommen.

2. Die Bodendurchlässigkeit wurde als geringdurchlässig und geringer angenommen.

3. DIN 4095:1990-06 ging von einem seitlichen Zufluss aus, wobei dieser sowohl unterirdisch durch Bodenschichtungen (als Grundwasser durch Klüfte) als auch in Geländeoberflächen vorkommen kann. Deswegen sollten Geländeformen und Einzugsgebiet abgeschätzt werden.

Grundsätzlich kann bei Überlagerung dieser Annahmen davon ausgegangen werden, dass durch in dieser Norm beschriebene Dränungen die Wassereinwirkungen auf Bodenfeuchte reduziert werden kann. Dabei wurde aber übersehen, dass diese Konstellationen ein nicht nur unerhebliches Gefahrenpotenzial beinhaltet.

Auch im Ahrtal waren nach diesen Idealen Häuser errichtet worden. In der Katastrophennacht vom 14. auf den 15. Juli 2021 konnten in Fällen mit

- gegen Druckwasser abgedichteten Bauteilen oder solche aus wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen
- die auf starkdurchlässigen Ausgleichsschichten gegründet
- und deren Arbeitsräumen mit starkdurchlässigem Material verfüllt wurden und bzw. oder bis an die Geländeoberfläche reichende Vertikaldräne (z.B. aus Noppenbahnen mit Geotextilien) aufwiesen

Wasser von der Geländeoberfläche unter die Gebäude strömen und diese aus ihren Baugruben aufschwimmen lassen. Andere Gebäude hatten das vergleichbar katastrophale Hochwasserereignis aus dem Jahre 1910 überstanden, die im Juli 2021 untergingen. Dazu genügte es, an den Außenflächen vor Gründungen das vorhandene, gering durchlässige Material gegen für Befestigungen oder zum vermeintlichen Schutz gegen Spritzwasser angelegte Kiesstreifen und damit stark durchlässiges auszutauschen. So konnte Flutwasser unmittelbar an den Gründungen einwirken und diese unterspülen.

INFO

Oberflächenwasser darf wegen an Klimawandelfolgen angepasstes Bauen nicht durch z.B. Kiesstreifen in Arbeitsraumverfüllungen abgeleitet werden.

4.4 Neue Zuordnungen

In der Vergangenheit waren Wassereinwirkungen aus dem Baugrund auf Bauwerksflächen in der Abdichtungsnorm DIN 18533 Teil 1 (und davor in DIN 18195 Teil 1) beschrieben. Im Jahre 2018 wurde beschlossen, Wassereinwirkungen zukünftig nicht mehr in der für Baugrund nicht einschlägigen Abdichtungsnorm für erdberührte Bauteile, sondern in der Norm für Baugrund DIN 4095 Teil 1 zu beschreiben. Diese liegt zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Beitrags in der Entwurfsfassung von April 2024 vor.

Die Zuordnung der Aufgabenbereiche sind in folgendem Kontaktflächenmodell dargestellt (Bild 21):

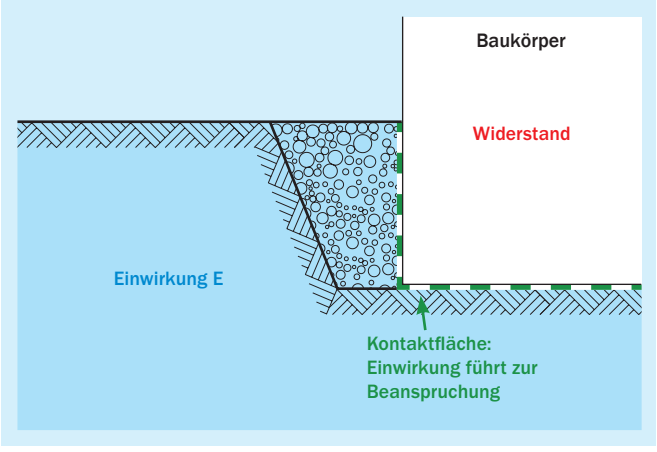


Bild 21 **Kontaktflächenmodell**

Das Modell beschreibt die Einwirkung, die zur Beanspruchung an Bauteilen führen und Schutz gegen die Einwirkungen brauchen.

Dieses Modell lässt sich wie folgt detaillierend ergänzen (Bild 22).

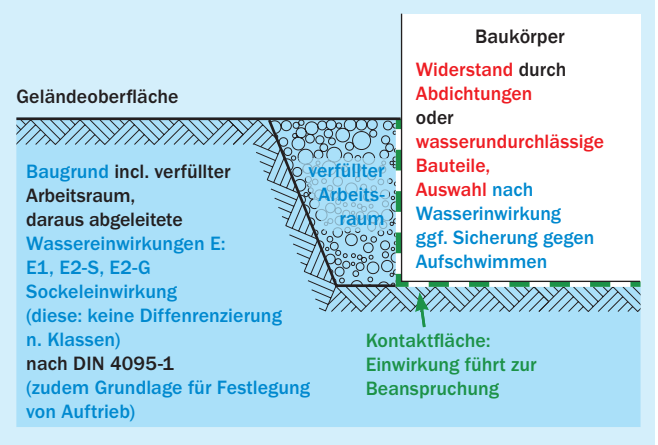


Bild 22 **Kontaktflächenmodell mit Zuordnung der Zuständigkeitsbereiche Baugrund und Schutz gegen Wasser aus dem Baugrund**

Die neue DIN 4095-1 unterscheidet zwischen Situationen unterhalb und oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands. Damit gibt es nicht mehr den Bemessungswasserstand, der sich aus dem höchsten Niveau aus Grundwasser, Stauwasser und Hochwasser bilden soll. Dieser ist geohydraulisch, auch unter Berücksichtigung eines großen Sicherheitsmaßes, nicht richtig. Wasser bewegt sich im Baugrund anders als in offenen Behältnissen.

4.5 Hochwasser

Bei Hochwasser lassen sich Gebäude nicht mit Abdichtungen für erdberührte Bauteile schützen, sondern durch andere Maßnahmen, die z.B. in der Hochwasserschutzfibel [9] zusammengestellt sind (Bild 23).

Ob sich Hochwasser auf Wasserstände im Boden auswirkt, hängt sehr stark von der hydraulischen Verbindung zwischen Geländeoberfläche und dem Baugrund ab. Uferfiltrate werden in Bemessungsgrundwasserständen BGW berücksichtigt. An baulichen Anlagen sollten sowohl Oberflächenwasser, als auch Hochwasser nicht durch vertikal wasserleitende Schichten in den Baugrund abgeleitet werden. Dabei geht es nicht nur um die Vermeidung unnötiger Beanspruchungen auf Bauteilflächen, sondern auch um den Schutz dieser Bauteilflächen vor Hochwassereinwirkung. Die in DIN 4095-1 beschriebenen Empfehlungen zur Vermeidung des Zuflusses von Oberflächenwasser in den Baugrund haben den zusätzlichen Zweck, Hochwasser von Bauteilflächen unterhalb der Geländeoberfläche fernzuhalten.

Hochwasser ist nicht Gegenstand des Anwendungsbereichs der DIN 4095-1, da die daraus resultierenden Beanspruchungen insbesondere an Bauteilflächen oberhalb der Geländeoberfläche dort nicht beschrieben werden können. Hochwasser kann nicht gedränt werden. Es war richtigerweise auch nicht Gegenstand der DIN 4095:1990-06, die ohnehin keine Wassereinwirkungen beschrieb, sondern lediglich Voraussetzungen für Dränanlagen von Gebäuden.

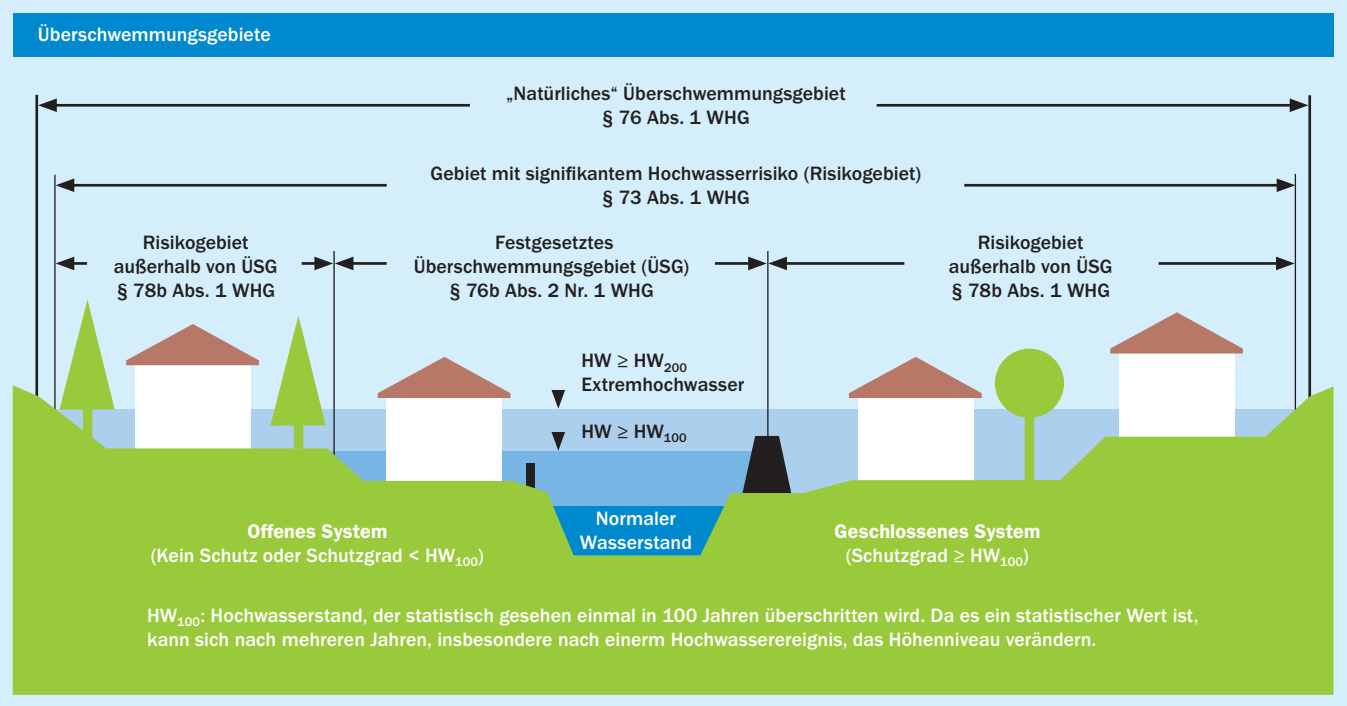


Bild 23 Systemdarstellung von Hochwasserereignissen in Siedlungsgebieten [9]

Geländeüberflutungen fallen ebenfalls nicht in den Anwendungsbereich der Abdichtungsnorm DIN 18533-1. Die Vorstellung eines „Bemessungswasserstands“ in dieser Norm ist geohydraulisch unbegründet (s. Kapitel 4.3).

4.6 Neue Überlegungen auf Basis alter Erfahrungen

Nicht nur die oben beschriebenen Erfahrungen trugen zur Erkenntnis bei, Arbeitsräume vor erdberührten Wänden mit möglichst geringdurchlässigem Material aufzufüllen und Vertikaldräne nicht bis zur Geländeoberkante zu führen. Dadurch wird die Wassereinwirkung an erdberührten Bauteilflächen oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands geringgehalten. Zusätzlich ist die Geländeoberfläche in der Nähe von Gebäuden vom Sockel weg zu neigen. Das trifft auch für Bergseiten in Hanglagen zu, denn auf der Geländeoberfläche strömendes Wasser beansprucht nicht nur Sockel, sondern bei bis an die Geländeoberfläche reichende Vertikaldräne oder sehr stark durchlässigen Arbeitsraumverfüllungen über geringdurchlässigen Bodenschichten unnötig stark auch erdberührte Bauteilflächen.

Das war über Jahrhunderte Anlass, vor erdberührten Außenbauteilen möglichst geringdurchlässige Böden zu verwenden und die Oberflächen des Geländes von Sockeln weg zu neigen. Diese Konstruktionsempfehlungen waren in den Lehrbüchern bis vor dem Zweiten Weltkrieg enthalten (z.B. in [10]). Erst danach hatte man mit dem vermeintlichen Schutz von Sockeln dies geändert und dabei übersehen, dass diese Empfehlungen in vieler Hinsicht kontraproduktiv sind.

Der zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Beitrags vorliegende Entwurf von Teil 1 zur DIN 4095 von April 2024 [11] geht nicht nur auf diese jahrhundertealte Erfahrung zurück, sondern auch auf die erst mittlerweile zur Verfügung stehenden Berechnungsmethoden zur Wasserbewegung in ungesättigtem Boden, die an der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe durchgeführt wurden mit dem Ergebnis:

- Wasser weg vom Sockel: auf der Geländeoberfläche kann sich zwar durch Niederschlag ein geschlossener Wasserfilm bilden, der Staudruck bleibt aber sehr gering. Die Beanspruchung auf Sockel wird durch die Anordnung von Kiesstreifen nicht nennenswert verringert, oft aber erhöht. Sockel mussten in der Vergangenheit regelmäßig (zumindest in Teilbereichen an z.B. Eingängen oder Einfahrten) auch ohne Kiesstreifen auskommen und funktionierten unter der Voraussetzung sachgerechter Ausführung der Anordnung und Ausführung von Abdichtungen (Tafel 3).

Bild 24 Kiesstreifen, in dem sich Wasser ansammelt und so an Sockeln zur Erhöhung anstelle zur Verringerung der Beanspruchung führt

Bild 25 Die Schäden am Sockel waren auf eine fehlerhafte Abdichtung zurückzuführen

- Oberflächenwasser darf nicht in Arbeitsraumverfüllungen eingeleitet werden. Dies ist eine zwingende Anforderung klimawandelfolgengerechtes Bauen. Unvermeidlich von Fassadenflächen kommendes und in den Baugrund infiltrierendes Niederschlagswasser ist so wenig, dass es keine zu beachtende Erhöhung der Wassereinwirkung an Bauteilflächen verursacht.

- Vor Sockeln von erdberührten Außenwänden dürfen keine vertikalen Sickerschichten vorhanden sein. Nach unten entwässernde Kiesstreifen vor Sockel sind vermeiden (Bild 19). Deshalb sollen Zuflüsse in Vertikaldräne einen Abstand von mindestens 20 cm, eher mehr, zu Geländeoberflächen einhalten. Fugen zwischen z.B. Perimeterdämmplatten und angrenzenden Bauteilflächen sind oberseitig gegen Wasserzufluss zu schützen.

Diese Anforderungen lassen sich im Gebäudebestand ohne größeren Aufwand auch nachträglich umsetzen.

Aufgrund von Inhomogenitäten in der Arbeitsraumverfüllung kann sich über Staulinsen in Teilflächen Stauwasser bilden, das sich aber auf den Bereich über diesen Staulinsen beschränkt (Bild 20). Ohne Inhomogenitäten sickert Wasser staufrei nach unten ab. Staulinsen haben zur Folge, dass in diesen Teilbereichen entstehendes Stauwasser darunter nicht vorliegen kann. Dies trifft insbesondere für Unterseiten von Bodenflächen zu.

Oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands liegt damit regelmäßig kein Druckwasser vor. Dies kann in Ausnahmen der Fall sein, wenn Oberflächenwasser (was es ja nicht soll) durch z.B. durchlässige, nicht abgedeckte Arbeitsraumverfüllungen auf sehr gering durchlässigen Baugrund gelangen und dort entweder nach vielen Wochen oder erst nach Jahren zu Stauwasser führen kann.

4.7 Wassereinwirkungsklassen nach geotechnischen Aspekten

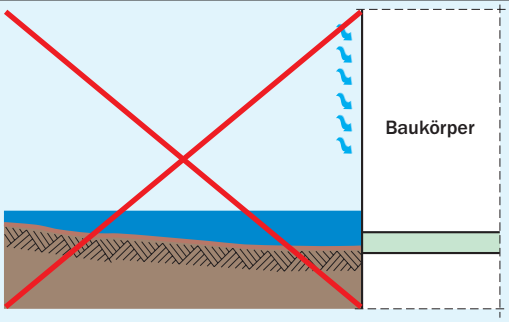
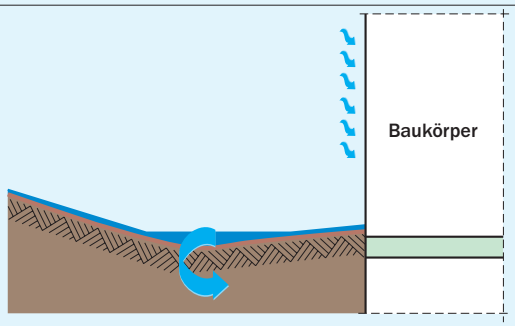
Die neue DIN 4095-1 [11] unterscheidet nach

- E1: Bodenfeuchte und Sickerwasser (in der wasserungesättigten Bodenzone).

- E2: Druckwasser aus Grundwasser E2-G) und solchem aus Stauwasser (E2-S, jeweils in der wassergesättigten Bodenzone).

Wassereinwirkungen an Sockelzonen sind ebenfalls beschrieben. Da von einer einheitlichen Wassereinwirkung und Beanspruchung an Sockeln auszugehen und keine Differenzierung erforderlich ist, wurde auf eine Klassifizierung verzichtet.

Tafel 3 Wasserführung auf dem Gelände zur Vermeidung unnötig hoher Einwirkung von Oberflächenwasser

Bauliche Situation	Beschreibung
	Gefälle zum Gebäude ist zu vermeiden. Bei einer Neigung der Geländeoberfläche zum Gebäude besteht das Risiko von Überflutung der Sockelzone und Wasserschäden durch über Türschwellen eindringendes Oberflächenwasser.
	Auf Bergseiten kann ein Gegengefälle mit Seitenneigung von der Bergseite kommendes Wasser um das Gebäude umleiten.

4.7.1 Wassereinwirkungsklasse E1 (wasserungesättigte Bodenzone)

In Kapitel 4.3.1 ist die physikalische Situation erläutert, die zur Wasserbewegung in der ungesättigten Bodenzone führt. Wasser haftet an den Bodenkörnungen an, der Druck liegt unter dem atmosphärischen Luftdruck, weswegen dieses Wasser keinen Druck auf angrenzende Flächen, z.B. auf Außenseiten von erdberührten Wänden und Bodenplatten, ausübt. Das trifft auch auf den Kapillarsaum oberhalb von geschlossenen Wasserspiegeln in der gesättigten Bodenzone zu.

INFO

Durch Dränungen kann Sickerwasser nicht abgeleitet werden, Dränungen sind bei Sickerwasser deswegen entbehrlich.

4.7.2 Wassereinwirkungsklasse E2 (wassergesättigte Bodenzone)

In der wassergesättigten Bodenzone (E2) füllt Wasser die Porenräume vollständig aus und kann sich in Abhängigkeit des hydraulischen Gefälles im Boden bewegen. Die Fließgeschwindigkeit hängt vom Widerstand ab, der im Wesentlichen durch die Größe der Poren und damit vom Verhältnis des Wasservolumens zur anhaftenden Fläche gebildet wird. Je kleiner die Poren, desto größer ist der Fließwiderstand und desto geringer ist die Ergiebigkeit einer wasserführenden Schicht.

Der Druck in der wassergesättigten Bodenzone ist über dem atmosphärischen Luftdruck. Daher übt Wasser in der gesättigten Bodenzone Druck auf angrenzende Flächen aus, z.B. auf Außenseiten von erdberührten Wänden und auf Unterseiten von Bodenflächen. Der Druck wird als Standrohrspiegelhöhe beschrieben, also nach der Höhendifferenz zwischen der Oberkante des freien Wasserspiegels und der Bezugshöhe, z.B. der Höhenlage der Unterseite von Bodenplatten. Die Einbautiefe ist bezüglich des Wasserdrucks unerheblich. Diese wirkt sich nur auf den Erddruck aus, der auf erdberührte Bauteilflächen einwirkt.

Geotechnisch wird nach Grundwasser und Stauwasser unterschieden. Ersteres bezeichnet freibewegliches Wasser in einer durchlässigeren Schicht, das über einer dazu relativ geringeren Schicht geleitet wird. Dazu wird nach Grundwasserleiter, Grundwassergeringleiter und Grundwassernichtleiter differenziert (Tafel 4).

Tafel 4 Zuordnung von Böden und Durchlässigkeit

Charakterisierung der Wasserdurchlässigkeit von Bodenschichten			
Durchlässigkeitsbeiwert k in m/s	**Bezeichnung in Anlehnung an DIN 18530-1 [8]**	**Bezeichnung n. DIN 4095-1 [11]**	**Beispiele**
< 10^{-8}	Sehr gering durchlässig	Grundwassernichtleiter	Ton, schluffiger Ton
10^{-8} – 10^{-6}	Gering durchlässig	Grundwassergeringleiter	Schluff, sandiger Schluff
10^{-6} – 10^{-4}	Durchlässig	Grundwasserleiter	Feinsand, Sand-Schluff-Gemische
10^{-4} – 10^{-2}	Stark durchlässig		Mittel- und Grobsand, sandiger Kies
über 10^{-2}	Sehr stark durchlässig		Kies, Schotter

Die Durchlässigkeit in Bezug auf Grundwasserleitfähigkeit bedeutet nicht, dass dieses immer vorhanden ist, sondern nur, dass sich vorhandenes Wasser in diesen Bodenzonen bewegen kann. Allerdings können auch grundwasserarme und sogar nichtleitende Schichten von Wasser durchdrungen werden. Die Geschwindigkeit ist allerdings gering bis sehr gering und erreicht lediglich wenige Dezimeter bis auch nur Zentimeter pro Jahr. Diese Bodenschichtungen sind für (geotechnisches) Stauwasser maßgeblich (Bild 26, 27).

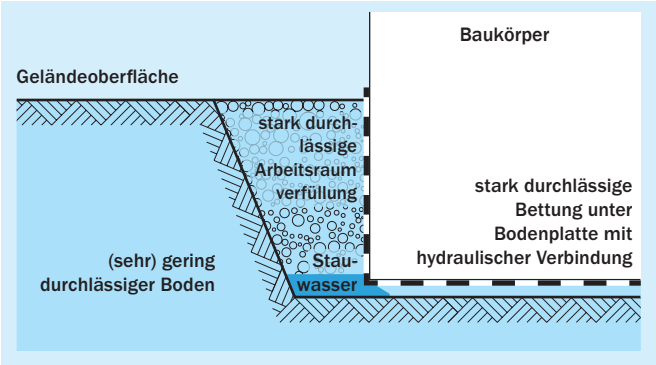


Bild 26 Stauwasser ohne seitlichen Zufluss: Die horizontale Ausbreitung von Wasser in eine stark durchlässige Schicht unter der Bodenplatte in Saugspannung ist gering, weil die in die Arbeitsraumverfüllung infiltrierende Wassermenge und die Kontaktflächen zwischen den Bodenteilchen gering sind

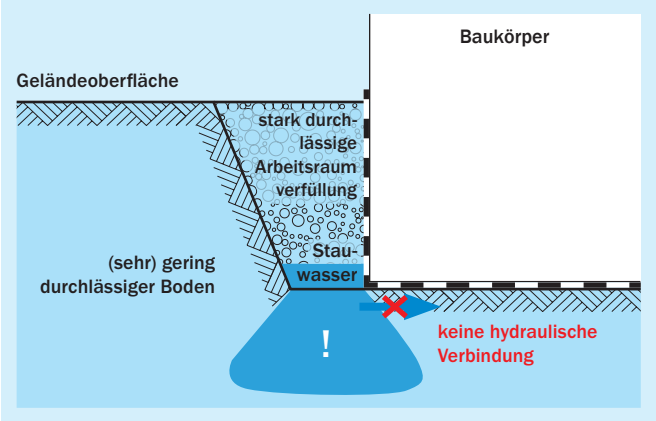


Bild 27 Stauwasser ohne seitlichen Zufluss: Wasser kann sich ohne hydraulische Verbindung nicht unter Bodenplatten ausbreiten. Sehr kleine Wassermengen, die unter die Bodenfläche gelangen können, sind unbedeutend

Stauwasserhorizonte können zeitweise trocken liegen, was bei Grundwasserleiterschichten nicht angenommen wird. Bei diesen schwankt lediglich der Grundwasserstand.

4.8 Grundleitungen unter Bodenplatten

Werden unter Bodenplatten Ausgleichsschichten aus starkdurchlässigem Material eingebaut, ist dieses Kapitel nur teilweise anwendbar. Werden Bodenplatten aber unmittelbar auf geringdurchlässigen Boden gegründet, sind folgende Überlegungen zu empfehlen.

Neben dem Risiko von partieller Druckwassereinwirkung durch Sickerwasser, das von der Arbeitsraumverfüllung in die „Kanäle“ aus Bettungsmaterial um Grundleitungen eindringen und dort fließen kann, besteht die Gefahr von Druckwasser bei Fehlstellen insbesondere aus Grundleitungen, die Niederschlagswasser von Dächern ableiten, aber auch bei Rückstau aus dem Kanalnetz. Daher sollten Sammelleitungen innerhalb von Untergeschossen und von dort durch Außenwände geführt werden.

Die Gefahr von Schäden an im Baugrund verlegten Abwasserleitungen ist durch die Verdichtung des umgebenden Erdreichs auch bei geeigneter Bettung größer als bei der Verlegung in Innenräumen. Wenn Leitungen unter Bodenplatten beschädigt sein sollten, sind sie für Instandsetzungen nur unter hohem Aufwand mit Durchbrechen der Bodenplatte und ggf. erforderlichem Teilabbruch von darauf stehenden Wänden zugänglich.

Grundleitungen sollten daher nicht nur bei gering durchlässigem Baugrund oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands, sondern grundsätzlich auf ein unvermeidbares Mindestmaß beschränkt werden, z.B. als Verbindung untergeschossiger Bodenabläufe in Pumpensümpfe.

4.9 Lichtschächte und außenliegende Zugänge in Untergeschosse

Lichtschächte sowie bewitterte, außenliegende Zugänge in Untergeschosse können bei Druckwasser aus dem Baugrund druckwasserdicht an das Gebäude angeschlossen werden. Niederschlagswasser aus diesen Bereichen soll durch rückstausichere Entwässerungssysteme abgeleitet werden. Da in vielen Fällen Lichtschächte und Außentreppen unterhalb der Rückstauebene liegen, wird ein eigens dafür zu installierendes, unterbrechungsfrei funktionierendes Entwässerungssystem mit Pumpe empfohlen. Auch sollte die Pumpe nicht im Gebäude, sondern außerhalb in einem Schacht angeordnet sein. Diese Lösung ist nicht nur bei Herstellung und Instandhaltung kostenintensiv, sie birgt auch Betriebsrisiken.

Alternativ kann durch Geländegestaltungen oder, ggf. transluzente, für Luftwechsel auf Abstand montierte Abdeckungen vermieden werden, dass Niederschlagswasser in Lichtschächte oder auf Außentreppen gelangen kann. Dann kann auf eine Entwässerung dieser Anlagen verzichtet werden.

Dennoch bleibt zu überlegen, welchen Vorteil Kellerlichtschächte haben. Licht kommt nicht in nennenswerten Mengen im Untergeschoss an, zu Lüftungszwecken gibt es einfachere und technisch bessere Lösungen, Fluchtwege bieten sie in der Regel nicht. Ob sie im Brandfall (neben mechanischen Lüftungen) für Entrauchungen geeignet sein können, ist gesondert zu bewerten. So könnten Standardlichtschächte einfach entfallen und gegen Lüftungssysteme ersetzt werden. Genauso sollten außenliegende Zugänge in Untergeschosse kritisch auf ihren tatsächlichen Nutzen in Bezug zu Aufwand und Risiken betrachtet werden.

5. Feuchteschutz von Wänden und Bodenplatten

5.1 Von Abdichtungen zu WU-Konstruktionen

Die erste Norm für Abdichtungen von erdberührten Flächen war DIN 4031 von 1932 [12]. Diese stammte aus einer Zeit, in der es keine Alternativen zu Abdichtungen gegen an Bauwerksflächen einwirkendes Druckwasser gab, also keine Sperrbeton- bzw. heute WU-Betonkonstruktionen möglich waren.

In den 1960er Jahren wurden Abdichtungen und deren Details für den Hamburger U-Bahnbau entwickelt. Da im Infrastrukturtiefbau, z.B. an Tunnelbauten, Abdichtungen nach Fertigstellung nicht mehr zugänglich sind, werden sehr hohe Zuverlässigkeitsanforderungen gestellt und darüber hinaus Redundanzsysteme berücksichtigt. Es ist üblich, mit klein(st)en Leckwassermengen zu rechnen und innere Dränsysteme anzuordnen, wie sie noch heute in z. B. im Albaufstiegtunnel bei der Bahn eingebaut wurden.

Die Details sind Grundlage für die Planung und Ausführung von Abdichtungen für erdberührte Bauteilflächen geworden. Die Reihe der DIN 18195 enthielt so in Teil 9 [13] unter anderem Klemmkonstruktionen, also mit Stahlschienen angeschlossene und untereinander verbundene Abdichtungen, die alleine durch Anpressdruck Dichtheit erzielten [14]. Diese Details wurden bei der Übernahme der Abdichtungsaufgaben von erdberührten Bauteilflächen in DIN 18533 zwar in der Menge reduziert, sind aber noch enthalten.

In den 1970er Jahren allerdings haben sich bei hohen Druckwassereinwirkungen neben dem Schutz durch Abdichtungen Sperrbetonkonstruktionen etabliert, die seit 2003 in der WU-Richtlinie [15] beschrieben werden.

Seitdem werden bei zu erwartendem Druckwasser zunehmend wasserundurchlässige Betonkonstruktionen anstelle von Abdichtungen gewählt. Es gibt aber immer noch Befürworter von außen an erdberührten Bauteilflächen und damit auch unter Bodenplatten angeordneten Abdichtungen. Beim Bauen, insbesondere bei Abdichtungsarbeiten, darf kein Druckwasser vorhanden sein. Deswegen sind temporäre Wasserhaltungen erforderlich, die sowohl die Baugrube trocken halten als auch

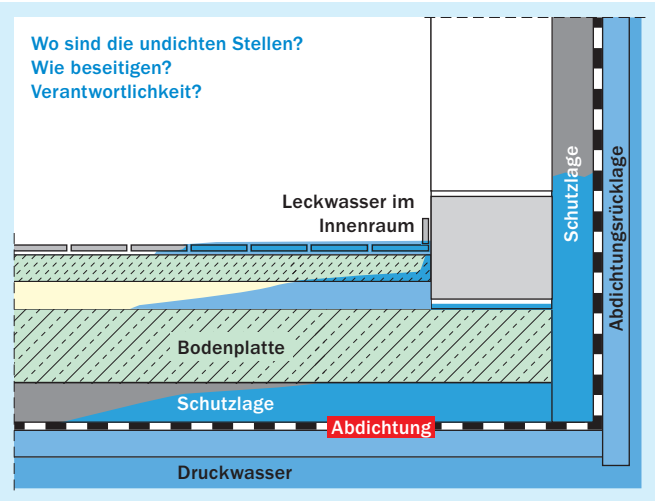


Bild 28 **Undichtheiten in Abdichtungen an der Einwirkungsseite sind nicht lokalisierbar und können nicht instandgesetzt werden**

Aufschwimmen des unfertigen Rohbaus vermeiden. Diese können erst abgeschaltet werden, wenn der Rohbau fertiggestellt ist und dadurch der Schutz gegen Aufschwimmen gewährleistet ist. Dann aber sind die Abdichtungen unter Bodenplatten nicht zugänglich. Ursachen von evtl. Undichtheiten der Abdichtung können so nicht lokalisiert werden (Bild 28).

Nachträgliche Untergelungen in Schutzschichten sind zwischen Abdichtung und Unterseiten von Bodenplatten möglich, um die Folgen von Leckstellen in Abdichtungen einzugrenzen und zu beschränken. In diesen Bereichen wird dann der Schutz durch die Außenbauteile aus Beton erzielt. Warum aber wird nicht gleich mit wasserundurchlässigen Bodenplatten gearbeitet?

Es sind sind keine aktuellen Statistiken zur Häufigkeitsverteilung bekannt, aus denen in Fällen von zu erwartendem Druckwasser auf erdberührten Bauteilflächen WU-Konstruktionen oder Abdichtungen gewählt werden. Nach eigener Wahrnehmung werden Bauteile nur noch in seltenen Ausnahmefällen mit außenliegenden Abdichtungen, insbesondere solche unter Bodenplatten, geschützt. Dies betrifft insbesondere Situationen, in denen mit Druckwasser zu rechnen ist. WU-Bodenplatten lassen sich bei eventuellen Undichtheiten von der Raumseite instand setzen, was bei Abdichtungen nicht möglich ist. Das hat zur Folge, dass Abdichtungen weitgehend auf erdberührte Wandflächen beschränkt werden.

5.2 (Keine) Dränung von Stauwasser

Die in DIN 4095 von 1990 benannten Dränspenden wurden nicht durch Messungen von Stauwasser in Arbeitsräumen bestimmt – bei Untersuchungen für die Drännorm aus dem Jahr 1990 war dort keines festgestellt worden. Die Dimensionierungsregeln fußten auf Mengenmessungen in Dränleitungen, die Grundwasser ableiteten und sind bezüglich der Ableitung von Stauwasser weit überzogen. Weil bisher regelmäßig mit (zu) großen Mengen abzuleitenden Dränwassers zu rechnen war, haben in den letzten Jahren die Behörden regelmäßig nicht mehr zugestimmt, Dränwasser in Vorfluter, in der Regel die Kanalisation für Niederschlagswasser, einleiten zu dürfen.

Tatsächlich aber sind ableitbare (geotechnische) Stauwassermengen gering. Die Menge von Stauwasser, die sich am Boden von Arbeitsraumverfüllung unter bestimmten Voraussetzungen bilden kann, ist noch sehr viel kleiner.

Wegen den immer weniger oft zulässigen Dränmöglichkeiten sahen sich Planende veranlasst, Gebäude gegen Druckwasser zu schützen. Ein großer Aufwand entsteht aber nicht für druckwasserschützende Abdichtung an Wänden, sondern vor allem zur Sicherung von Bodenplatten insbesondere gegen den von unten einwirkendem Auftrieb.

5.3 Folge von übertrieben auf der sicheren Seite liegenden Festlegungen

Wie bereits ausgeführt, stellen sehr häufig Baugrundgutachter keine geotechnischen Überlegungen zu Wasser im Baugrund an. Anstelle dessen wenden sie die für Baugrund und damit auch für Wasser im Baugrund nicht einschlägige Abdichtungsnorm DIN 18533 an. Sie empfehlen auf dieser Grundlage regelmäßig oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands und Bodendurchlässigkeiten von weniger als 10^{-4} m/s entweder Dränungen nach DIN 4095:1990-06 oder gegen Druckwasser schützende Maßnahmen.

Der Verzicht auf die Untersuchung der tatsächlichen Wassereinwirkung führt meistens zu unwirtschaftlichen Ergebnissen. Alleine durch die Tatsache, dass Baugrund durchlässig (!) oder gering durchlässig ist, führt bei ausreichendem Abstand zum Grundwasser nicht zu Stauwasser, und schon gar nicht zu einem Wasserdruck aus dem Druckgefälle zwischen Geländeoberfläche und der Unterseite von Gebäuden und damit zu einem rechnerisch anzusetzenden Auftrieb in gleicher Größe. Die dann aufwändigen Bodenplatten zum Schutz gegen den vermeintlichen hydrostatischen Druck und Aufschwimmen sind in dieser Konstellation nicht erforderlich.

Mittlerweile werden auch erdberührte Wände häufig aus wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen errichtet. Das ist auch eine Folge von zu weit auf der sicheren Seite liegenden Festlegungen in DIN 18533-1 (s. Kapitel 4). Gegen Druckwasser schützende Betonkonstruktionen erhöhen nicht nur die Baukosten, sondern belasten die Umwelt in unnötigem Maß. Diese negativen Auswirkungen können korrigiert werden, wenn die Eingangsparameter richtiggestellt werden. Der Ansatz dazu findet sich in den vorherigen Kapiteln. Dann sind, ohne Abstriche an die Zuverlässigkeit des Feuchtigkeitsschutzes, wieder gemauerte Außenwände mit Abdichtungen in den erdberührten Bereichen möglich.

Die Kombination von Situationen oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands und Bodendurchlässigkeiten von weniger als 10^{-4} m/s liegt nach sehr vorsichtiger Schätzung bei etwa 70 % aller Neubauten des Wohnungsbaus vor. Unter Berücksichtigung der vorherigen Ausführungen kommt unter diesen Voraussetzungen Druckwasser an Unterseiten von Bodenplatten tatsächlich aber sehr selten vor. Es gilt daher, die Fallkonstellation zu beschreiben, wann dies sein kann, um den in einem sehr großen Anteil nicht notwendigen Aufwand zum Schutz gegen Druckwasser vermeiden zu können.

Aus der Abdichtungsnorm abgeleitete, aber nicht notwendige Schutzmaßnahmen gegen Aufschwimmen führen zu einem nicht nur untergeordneten, sehr vorschichtig am unteren Rand einer möglichen Bandbreite geschätzten Mehraufwand von ca. 150 Mio. Euro pro Jahr und einer zusätzlichen CO_2-Emission von ca. 200.000 Tonnen pro Jahr [17]. Hinzu kommen der Ressourcenverbrauch für Stahl, Zuschlagstoffe sowie die Emissionen und Kosten für den Transport der Mehrmenge von Beton.

Tatsächlich dürften die Aufwendungen größer sein unter der Voraussetzung, dass die Empfehlungen aus Baugrundgutachten für alle Bauweisen Anwendung fänden. Sie lässt eine Größenordnung eines möglichen Folgeschadens erahnen, der sich bei Fehlanwendung der Empfehlungen zur Wassereinwirkung in einer dafür nicht zuständigen Abdichtungsnorm ergeben kann.

5.4 Angleichung der Technischen Empfehlungen

In der WU-Richtlinie ist geplant auf die Einwirkung zu Wasser im Baugrund in DIN 4095-1 zu verweisen. So soll aus Beanspruchungsklasse BK2 Wassereinwirkungsklasse E1 werden und

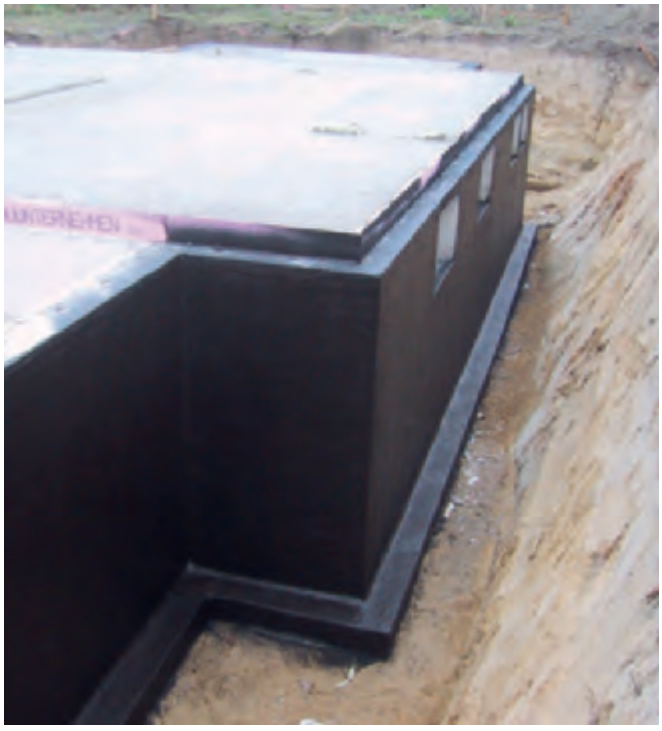
aus BK1 E2. Damit wird die Nomenklatur zwischen Abdichtungsnorm, der Norm für Baugrund und der WU-Richtlinie einheitlich.

INFO

Nach dem Anwendungsausschluss in DIN 18533-1 für wasserundurchlässige Bauteile ist die gesamte Reihe der DIN 18533 nicht anwendbar.

Vor allem aber reduziert sich das zuvor abgeschätzte Schadenspotenzial, da, wie oben beschrieben, Bodenplatten regelmäßig nicht mehr abgedichtet, sondern aus WU-Konstruktionen errichtet werden und die WU-Richtlinie sich – nach derzeitigem Kenntnisstand – den Empfehlungen der DIN 4095-1 anschließen wird. Dann ist nach dem Anwendungsausschluss in DIN 18533-1 für wasserundurchlässige Bauteile die gesamte Reihe der DIN 18533 nicht anwendbar.

WU-Bodenplatten der jetzigen Beanspruchungsklasse BK2 bzw. der zukünftig geplanten Wassereinwirkungsklasse E1 können aus 15 cm dickem Beton errichtet werden, der lediglich das WU-Betonkriterium erfüllen muss und damit deutlich kostengünstiger ist als Bodenplatten mit Abdichtungen nach DIN 18533. Dünnere Bodenplatten können ebenfalls wasserundurchlässig sein, da die Unterseiten von Bodenplatten immer optimal nachbehandelt sind und Beton einen hohen Kristallisationsgrad aufweist. Aber selbst bei der Annahme, dass es Kiesnester oder andere Lücken gibt, kann Wasser in Saugspannung durch diese Bodenplatten nicht aufsteigen und an Oberseiten in Innenräumen austreten. Zur Vermeidung von eventuellen Mangelansprüchen ist aber zu empfehlen, die in der WU-Richtlinie vorgeschlagene Dicke von Bodenplatten von 15 cm vorzusehen.



Einen kleinen Wermutstropfen enthält die WU-Richtlinie – die Entwurfsgrundsätze a), b) und c) beschreiben Maßnahmen gegen den Wassertransport durch Risse. Das trifft aber nur für Druckwasser zu. Die Entwurfsgrundsätze sind nur für Druckwasser (BK1 rsp. E2) anwendbar. Für BK2 resp. E1 sind sie unerheblich, da dann Wasser nur im Unterdruck und in Saugspannung vorliegt. Kapillar gebundenes Wasser kann zwar Risse befeuchten. Je breiter aber der Riss, desto geringer ist aber die Steighöhe. Aus Rissen kann Wasser in Saugspannung aber nicht austreten (s. Kapitel 2.2).

Für diese Bodenplatten entfallen alle Anforderungen bezüglich Abdichtungen an deren Oberseiten. Das trifft auch formal zu, da die Abdichtungsnorm DIN 18533 ihre Anwendbarkeit für wasserundurchlässige Bauteile ausschließt. Somit sind weder Abdichtung auf Bodenplatten noch Abdichtungen unter oder in Wänden erforderlich. Allerdings können in Abhängigkeit vom Fußbodenaufbauten Schutzmaßnahmen gegen Baufeuchte aus Bodenplatten erforderlich werden. Das trifft aber auch für abgedichtete Bodenplatten im Druckwasser zu, weil dort die Abdichtung an der Außen- und damit an Unterseiten geführt wird. Weder Baufeuchte, noch Diffusion sind Gegenstand der Abdichtungsnorm, sondern lediglich der Schutz gegen von außen an erdberührte Bauteilflächen einwirkendes, flüssiges Wasser.

5.5 Zusammenfassung

Die Entwicklung der letzten Jahre haben dazu geführt, dass Bodenplatten nicht mehr abgedichtet werden. Abdichtungen beschränken sich auf Außenseiten von erdberührten Wandflächen. Die Kombination aus Abdichtung an Wänden und wasserundurchlässigen Bodenplatten wurde in der damaligen Abdichtungsnorm DIN 18195-9 seit der Änderungsfassung A1 im Jahr 2009 beschrieben. Bei zu erwartendem Druckwasser sind Abdichtungen an Wänden hinterlaufsicher an Betonflächen anzuschließen. Diese Abdichtungsbauweise wird, wenn überhaupt noch abgedichtet wird, am häufigsten angewendet.

Die realistischeren Einschätzungen nach der neuen DIN 4095-1 liegen zwar teilweise auch weit auf der sicheren Seite. Sie lassen aber insbesondere eine nicht nur unerhebliche Verringerung der Einwirkungen an Unterseiten von Bodenplatten erwarten.

Wenn die Anforderungen der Wassereinwirkungen aus dem Baugrund richtig bestimmt werden, können erdberührte Außenwände sehr viel häufiger (kostengünstiger) aus Mauerwerk errichtet und außenseitig abgedichtet werden.

Der dritte, positive Effekt wird darin bestehen, Dränungen zur Ableitung von Stauwasser mit realistischen kleinen Wassermengen zu ermöglichen – dazu ist gegebenenfalls noch nicht einmal eine Ableitung einer Dränspende in eine Vorflut erforderlich [18].

INFO

Bei der richtigen Bestimmung der Wassereinwirkung aus dem Baugrund können erdberührte Außenwände aus Mauerwerk mit außenseitiger Abdichtung kostengünstig und sicher erstellt werden.

6. DIN-Normen zu Abdichtungen

Im Juli 2017 wurden die Abdichtungsnormen DIN 18531 bis DIN 18535 veröffentlicht. Die Normen dieser Reihe enthalten jeweils Empfehlungen für Schutzmaßnahmen gegen die jeweils beschriebenen Wassereinwirkungen in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen (siehe Bild 29). Die 2017 neu erschienene DIN 18195 enthält Begriffe, Abkürzungen und Bezeichnungen für die Anwendung der Normen DIN 18531 bis DIN 18535.

Abdichtungen von erdberührten Bauteilen sind in der Reihe der DIN 18533 [1] beschrieben. Teil 1 enthält Grundsätzliches, Teil 2 die Verarbeitung von bahnenförmigen und Teil 3 flüssig zu verarbeitende Abdichtungsstoffe.

Hinweise zur Kontrolle und Prüfung der Schichtdicken von flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen enthält Beiblatt 2 zu DIN 18195.

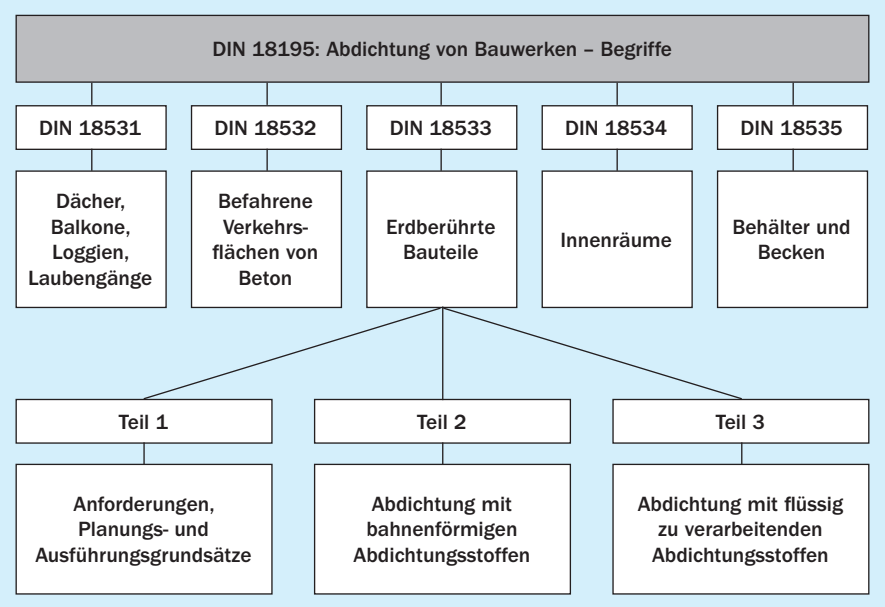


Bild 29 Struktur der DIN-Normen für Abdichtungen

Die in DIN 18533-2 beschriebenen, bahnenförmigen Stoffe sind in DIN SPEC 20000-202 [19] spezifiziert, die allerdings nicht das Verfahren nach DIN 820 durchlaufen muss und nicht den gleichen Status wie DIN-Normen hat, die dieses Verfahren durchlaufen. Allerdings verweist DIN 18533-2 auf diese Spezifikationsnormen, wodurch im Verständnis von DIN die Abdichtungsnorm diese in den normativen Status erhebt.

Abdichtungsnormen sind nicht für Bauteile anwendbar, die wasserundurchlässig sind und damit nicht für Bodenplatten, deren Feuchtigkeitsschutz bereits durch Beton erzielt wird, der einen ausreichenden Schutz entweder gegen Bodenfeuchte oder gegen drückendes Wasser bietet. Dabei verweist die Norm beispielhaft auf die WU-Richtlinie [15].

Unter dem Begriff „Sonderlösung“ wird juristisch eine Abweichung unter Mindeststandards verstanden und damit, ohne vorherige Aufklärung von Bestellern, als Mangel eingestuft. Begriffe wie „Sonderlösungen“ oder „Sonderkonstruktionen“ bedeuten aber nicht erhöhte Risiken, sondern sind nur Synonyme für Konstruktionen oder Verfahren, die in DIN-Normen und andere technische Empfehlungen. nicht beschrieben sind. Diese erheben keinen Alleinstellungsanspruch. Andere Lösungen, die ebenso das Schutzziel erreichen, sind nicht ausgeschlossen. Daher ist es, auch rechtsdogmatisch, nicht richtig, in von DIN-Normen abweichende Lösungen grundsätzlich mangelhafte Leistungen zu subsumieren. Daher sollen diese Begriffe aus Technischen Empfehlungen grundsätzlich gestrichen und nur dann verwendet werden, wenn tatsächlich damit ein höheres Risiko zum Ausdruck gebracht werden soll. Das trifft aber für die wenigsten Konstruktionen zu, die in den Technischen Empfehlungen als „Sonderkonstruktion“ bezeichnet werden.

So werden bei z.B. niveaugleichen Türschwellen richtigerweise nicht mehr als „abdichtungstechnische Sonderkonstruktion“ beschrieben. Sie sind mittlerweile ein üblicher Standard, die genauso funktionieren müssen wie andere Schwellen auch – der Innenraum muss bei jeder Einwirkung trocken bleiben. Aus Abdichtungen können zudem keine Schwellen hergestellt werden, sie sind nur ein Teil eines Bausatzes. Der wichtigste Teil dieses Bausatzes sind die Schwellen selbst, an die aber bis heute regelmäßig (außenseitig) keine Abdichtungen unter Berücksichtigung der in den Abdichtungsnorm enthaltenen Grundempfehlungen angeschlossen werden können. Da es aber keine koordinierende, andere Technische Empfehlungen gibt, nutzt man die dafür eigentlich nicht einschlägige Abdichtungsnormen DIN 18533 für Eingänge vom Gelände bzw. DIN 18531 für Dachterrassentüren. Problematisch sind aber bei den Festlegungen, die Anforderungen an Abdichtungen auf Schwellen zu übertragen. Dazu zählen z.B. die Laborprüfung mit Prüfdrücken für Abdichtungen, die für Fenster- und Türprofile nicht geeignet sind.

Im Ergebnis: Für niveaugleiche Türschwellenkonstruktionen gibt es lediglich Anforderungen in der Normenreihe für barrierefreies Bauen DIN 18040 [20], aber keine Konstruktionsempfehlungen. Die Anforderungen an Abdichtung können nicht für Schwellen angewendet werden. Niveaugleiche Türschwellen sind seit Jahrzehnten üblich, ohne ein übermäßiges Schadenseintrittsrisiko zu erkennen. Sie sind Standardkonstruktionen, die unter üblichen Bedingungen funktionieren.

Technische Empfehlungen, z.B. die oben genannten DIN-Normen, sind perspektivisch gedacht für Planung und Ausführung. Sie sollen Baubeteiligten Hilfestellungen geben, können aber keine Detailplanung ersetzen. Technische Empfehlungen werden in Arbeitsausschüssen formuliert auf Basis von Erfahrungen der dort Mitarbeitenden. Sie kennen nicht den konkreten Anwendungsfall. Anwender von Technischen Empfehlungen haben eigenverantwortlich Inhalte von DIN-Normen aus dem Abstrakten auf konkrete Anwendungen zu übertragen. Das führt zu einem Ermessensspielraum, Vorschläge auszuwählen, aber auch, von in DIN-Normen enthaltenen Empfehlungen abzuweichen, wenn die jeweiligen Ziele entweder nicht oder besser durch andere Maßnahmen erreichbar sind. Diese Pflicht ist gleichzeitig auch ein Recht der Anwender von DIN-Normen oder anderen Technischen Empfehlungen.

DIN-Normen erheben keinen Ausschließlichkeitsanspruch. Es kommt einerseits auf die jeweils uneingeschränkte Verwendungseignung für die vorgesehene wirtschaftliche Nutzungsdauer unter Berücksichtigung zu erwartenden Einwirkungen und üblichen, möglichen Instandhaltungen sowie andererseits auf die Beachtung des Wirtschaftlichkeitsgebots an. DIN-Normen und andere technische Empfehlungen schließen andere Lösungen nicht aus, die ebenso zu diesem Ziel führen.

Für den Gebäudebestand sind die in den perspektivisch gedachten Abdichtungsnormen nur bedingt anwendbar. Nachträglich sollen keine Abdichtungen unter Bodenplatten verlegt werden müssen. Dennoch haben Bodenplatten zu funktionieren.

Bei zu erwartenden Druckwassereinwirkungen unter Bodenplatten anzuordnenden Abdichtungen sind für Inspektion, Wartung, Reparatur oder Erneuerung nicht zugänglich. Deswegen sind die Anforderungen an Abdichtungen hoch, z.B. an die Rissüberbrückungseigenschaften, Schichtdicken und Lagenzahl, den hohen Aufwand an Durchdringungen u.a.m.

Da Abdichtungen unter Bodenplatten zur gegebenenfalls notwendigen Instandsetzung nicht zugänglich sind (das Gebäude steht im Weg zur Abdichtung darunter), hat sich die Anwendungshäufigkeit von Abdichtungen unter Bodenplatten im Hochbau sehr stark reduziert.

7. Wassereinwirkungen nach DIN 4095-1

DIN 4095 Teil 1 [11] legt die Schnittstelle zwischen Baugrundgutachten und den darin abzubildenden hydrogeologischen Baugrundverhältnissen sowie der Planung von Schutzmaßnahmen gegen Wassereinwirkungen fest. Diese Norm enthält Empfehlungen zur Ermittlung von Wassereinwirkungen an den Kontaktflächen zwischen Baugrund bzw. Arbeitsraumverfüllung einschließlich eventueller Dränungen und den erdberührten Flächen von Gebäuden oder baulichen Anlagen. Dadurch wird auch die Grundlage für Auftrieb und die daraus folgende die Bemessung gegen Aufschwimmen geschaffen.

INFO

Baugrundgutachten sind hinsichtlich der Wassereinwirkungen auf Grundlage der Norm für Baugrund DIN 4095-1 auszuarbeiten. Die Abdichtungsnorm DIN 18533-1 ist für Baugrund nicht einschlägig.

7.1 Situation oberhalb des BGW

DIN 4095-1 bildet Tab. 2 Einwirkungskombinationen in Situationen oberhalb von Bemessungsgrundwasserständen BGW ab, wobei grundsätzlich davon ausgegangen wird, dass Arbeitsraumverfüllungen aus homogenem Material bestehen.

Die Trennung der Einwirkungen nach erdberührten Wänden und Unterseiten von Bodenflächen berücksichtigt, dass unter Bodenflächen kein Sickerwasser anfallen kann, weil die darauf stehenden Gebäuden das verhindern. Unter Bodenplatten kann sich Druckwasser nur aus seitlich zusickerndem Stauwasser bilden. Das ist regelmäßig weniger als das, das sich aus aufstauendem Sickerwasser bilden kann. Diese Zuordnungen beinhalten ausreichende Sicherheitszuschläge und können fallbezogen reduziert werden: In Situationen mit E1 ist Druckwasser auszuschließen, ohne Einwirkung liegt auch keine Beanspruchung vor.

In Fällen ohne seitlichen Zufluss und Einbindetiefen von mehr als 2 m liegen folgende Konstellationen vor:

- Baugrund mit $k > 10^{-6}$ m/s: An Wand- und Bodenflächen E1
- Baugrund mit $k > 10^{-7}$ m/s: An Wandflächen E2-S, an Bodenflächen W1
- Baugrund mit $k < 10^{-7}$ m/s: An Wand- und Bodenflächen E2-S

In Fällen mit seitlichem Zufluss (damit ist nur geotechnisches Stauwasser, nicht aber die Zuleitung von Oberflächenwasser gemeint) oder Einbindetiefen von weniger als 2 m sind folgende Konstellationen beschrieben:

- Baugrund mit $k > 10^{-4}$ m/s: An Wand- und Bodenflächen E1
- Baugrund mit $k > 10^{-6}$ m/s: An Wandflächen E2-S, an Bodenflächen E1
- Baugrund mit $k < 10^{-6}$ m/s: An Wand- und Bodenflächen E2-S

In allen Fällen von E2-S können Dränungen die Einwirkungen auf E1 reduzieren, die in Teil 2 der DIN 4095 beschrieben werden (der zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Beitrags in der Entwurfsbearbeitung ist). Zurzeit lässt sich abschätzen, dass grundsätzlich die Konstruktionsempfehlungen bisheriger Dränungen beibehalten werden. Allerdings wurden die Dränspenden in DIN 4095:1990-06 aus Grundwasserableitungen entwickelt. Sie sind deswegen stark übertrieben. Das ist ein wesentlicher Grund, dass heute keine Dränungen mehr erlaubt werden. Wenn aber erarbeitet wird, dass entweder so wenig Wasser abzuleiten ist, dass dafür keine Vorflut erforderlich wird, oder die abzuleitenden Wassermengen sehr klein sind, bestehen berechtigte Aussichten, dass Gebäude zukünftig wieder durch Dränungen geschützt und die zum Teil übermäßigen und damit unnötigen Aufwendungen zum Schutz gegen Druckwasser sowie die damit verbundenen ökonomischen und ökologischen Schadensfolgen vermieden werden können.

Dränungen sollen zukünftig entweder genehmigungsfrei bzw. erlaubnisfrei errichtet werden können. Genehmigungen bzw. Erlaubnisse durch realistische Einschätzungen der Dränspenden sollen wieder ermöglicht werden.

Die Bodendurchlässigkeit von 10^{-6} m/s als Grenzwert, ob durch Dränungen die Einwirkungen auf E1 reduziert werden können, ist nicht neu, sondern war bereits in der DIN 4095 in der Fassung von Juni 1990 so enthalten (s. Kapitel 4.3.3). Der Grenzwert von 10^{-4} m/s ist daher eine Verschärfung gegenüber der bisherigen Festlegung, um (der sicheren Seite liegend unter Berücksichtigung von auch sehr ungünstigen Einwirkungskombinationen) Stauwasser in Arbeitsraumverfüllungen zu vermeiden.

Die Bodendurchlässigkeit von 10^{-7} m/s ist der ebenfalls noch auf der sicheren Seite liegende Grenzwert für die Entscheidungshilfe, ob an Bodenflächen von unten mit E2-S gerechnet werden muss oder nicht. Letzteres berücksichtigt den geringen Zufluss in Arbeitsraumverfüllungen, wobei die Empfehlungen unter verschärften Rahmenbedingungen angenommen wurden: stark durchlässiges Material in Arbeitsraumverfüllungen, das an der Oberseite nicht geneigt und nicht zur Ableitung von Oberflächenwasser abgedeckt ist. Sobald der grundlegenden Empfehlung, diesen Bereich mit einer Neigung vom Gebäude weg zu versehen und Arbeitsräume mit nichtstarkdurchlässigem Material abzudecken, gefolgt wird, ist – auf der sicheren Seite liegend – nicht mit Stauwasser unter Bodenplatten zu rechnen (solange kein (geotechnisches) Stauwasser zufließt und Bodenplatten oberhalb von Grundwasserständen liegen).

7.2 Situation teilweise unter dem BGW

Bei Bauteilflächen, die unter dem Bemessungsgrundwasserstand (BGW) liegen, ist davon auszugehen, dass sie durch Druckwasser aus Grundwasser beansprucht werden.

Liegt der BGW unterhalb der Geländeoberfläche, sind Bauteilflächen oberhalb des BGW entweder nur durch Bodenfeuchte (E1) oder durch Druckwasser aus Stauwasser (E2-S) beansprucht.

Liegt kein seitlicher Zufluss vor, ist die Einbindetiefe bzw. der Abstand zum BGW größer als 2 m und weist der anstehende Baugrund eine Durchlässigkeit > 10^{-6} m/s auf, liegen an Wandflächen oberhalb des BGW Bodenfeuchte und Sickerwasser E1 vor. In anderen Fällen ist mit E2-S zu rechnen, das mit Dränungen nach DIN 4095-2 auf E1 reduziert werden kann.

INFO

Die jeweiligen Wassereinwirkungen sind gesondert zu beachtende Fälle und dürfen nicht zu einem "Bemessungswasserstand" kombiniert werden. So liegt z.B. unter Gebäuden kein Sickerwasser vor, weil diese Flächen durch Gebäude abgedeckt sind. In den meisten Fällen sickert Wasser seitlich an Gebäuden vorbei, ohne unter Gebäude zu gelangen. Dann kann an Wänden E2-S vorliegen, unter Bodenplatten bleibt die Einwirkung E1.

8. Schutz durch Abdichtungen

8.1 Abdichtungen von Wänden bei E1

8.1.1 Flächenabdichtungen

Zum Schutz von Bauteilen gegen die geringe Wassereinwirkung aus W1 reichen einfache Schutzmaßnahmen aus. Unter technischen Aspekten genügten Kapillarsperren, die verhindern, dass an Bodenkörnungen anhaftendes Wasser von einem Bauteil (kapillar) aufgesogen wird (vgl. Kapitel 4.3).

Praktisch schützen einfache Abdichtungsmaßnahmen aus durchgehenden, nicht kapillarleitenden Schichten oder Bauteile aus Beton, der das WU-Betonkriterium erfüllt. Diese Schichten müssen nicht gegen Druckwasser dicht sein. Überlappungen von Abdichtungen und solche auf wasserundurchlässige Betonbauteile sowie nichtdruckwasserdichte Anschlüsse von Abdichtungen an Rohrleitungen sind bei dieser geringen Wassereinwirkung unproblematisch.

Flächige Wasserschäden sind regelmäßig nur festzustellen, wenn Abdichtungen entweder im historischen Bestand auf gemauerten Wänden gar nicht vorhanden sind oder aber aus Stoffen verarbeitet wurden, die mittlerweile korrodiert sind (Bild 30). Aus Sicherheitsüberlegungen werden Abdichtungen an Wänden bei dieser geringen Wassereinwirkung aus durch-

Bild 30 Früherer Beton hatte üblicherweise eine stark poröse Struktur und wies einen (sehr) geringen Feuchteschutz auf

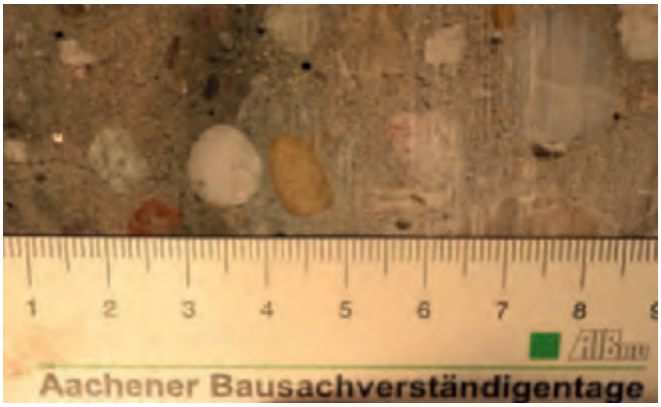


Bild 31 Heute üblicher Konstruktionsbeton weist bei Verarbeitung mit üblicher Sorgfalt eine dichte Struktur auf, die das WU-Beton-Kriterium erfüllt

gehend dichten Schichten erstellt, die in der Lage sind, gegen räumlich begrenztes Stauwasser bei z. B. Inhomogenitäten in der Arbeitsraumverfüllung zu schützen.

Bei der geringen Einwirkung aus Bodenfeuchte (in Saugspannung) kann Wasser von unten nach oben nur kapillar aufsteigen. Das aber wird bereits durch den heute üblichen Beton verhindert (Bild 31). Auf Bodenplatten sind bei heute üblichem Konstruktionsbeton, der das WU-Beton-Kriterium [21] erfüllt, keine Abdichtung gegen von außen einwirkendes Wasser erforderlich. Daneben stehen möglicherweise Anforderungen zum Schutz gegen Baufeuchte.

8.1.2 Details

Vertikale Strömungswege durch bis an die Geländeoberfläche reichende Vertikaldräne sollen vermieden werden. Dazu sollen weder Noppenbahnen, mit oder ohne Geotextile, bis an Sockel hochgeführt werden. Wenn Kiesstreifen gewünscht werden, können diese auf das Gelände gelegt und seitlich entwässert werden. Nach unten in die Arbeitsraumverfüllung entwässernde Kiesstreifen sollen vermieden werden.

Durch solche Vertikaldräne kann Oberflächenwasser nach unten abfließen. Die abfließende Wassermenge ist dabei gering und kann ungünstigstenfalls zu lokal begrenztem Stauwasser an Sockeln, erdberührter Außenwände oder im Sickerweg an z.B. Durchdringungen führen. Ein Zufluss unter Gebäuden ist ausschließbar. Diese Erscheinung ist aber unabhängig von der Bodendurchlässigkeit und der Durchlässigkeit der Arbeitsraumverfüllung. Das bedeutet, dass selbst bei starker Durchlässigkeit von Baugrund und Arbeitsraumverfüllung Stauwasser aufgrund der erheblichen Unterschiede der Wasserbewegungsgeschwindigkeiten über und unter von Geländeoberflächen (s. Kapitel 4.3) nicht vermieden werden kann, wenn vertikale Strömungswege bis an die Geländeoberfläche reichen. Selbstverständlich ist es möglich, dies zuzulassen mit der Folge, dass an den erdberührten Wänden mit Druckwasser zu rechnen ist – wie ausgeführt, unabhängig von der Durchlässigkeit der Arbeitsraumverfüllung oder des Baugrunds.

Soll die Zuverlässigkeit von Abdichtungen an erdberührten Außenwänden erhöht werden, sollten insbesondere Details gegen eine kurzzeitige Druckwassereinwirkung dicht gestaltet werden.

Für druckwasserdichte Anschlüsse von Abdichtungen an Betonbauteile ist Beton an Anschlussflächen mechanisch abtragend vorzubehandeln. Weiterhin sind aufwändigere Maßnahmen erforderlich als bei nicht hinterlaufsicheren Übergängen von Abdichtungen an Betonflächen, die gleichsam einen Regenschirm von oben kommendes, der Schwerkraft folgendes Sickerwasserwasser außen ableitet. Bei der geringen Wassereinwirkung E1 werden selten druckwasserdichte Leitungsdurchführungen gewählt. Anstelle dessen durchdringen Leitungen Abdichtungen tüllenartig z.B. an Kelleraußenwänden. Da aber bereits geringe Stauschichten am Fuß von Arbeitsraumverfüllungen zu lokalem Stauwasser führen können, sollten aus Zulässigkeitsüberlegungen unabhängig von geohydraulischen Einstufungen ausschließlich hinterlaufsicherer Anschlüsse gewählt werden.

Genauso können auch gegen Druckwasser geeignete Leitungsdurchführungen an Wänden die Zuverlässigkeit erhöhen ohne die Baukosten nennenswert zu beeinflussen.

8.2 Bodenplatten

In Kapitel 2, insbesondere in Kapitel 2.2, ist dargestellt, dass Wasser durch Kapillarität nicht frei aus Bauteilen ausströmen kann. Deswegen sind bei Bodenfeuchte und gegen in Saugspannung sickerndes Wasser (s. Kapitel 4.3) keine gegen Druckwasser schützende Abdichtungen nötig.

Bild 32 **Aus Zuverlässigkeitsüberlegungen sollten auch bei der geringen Wassereinwirkung E1 Abdichtungen an Beton von Bodenplatten hinterlaufsicher angeschlossen werden und nicht, wie hier im Bild, auf einen nicht vorbehandelten Untergrund aufgetragen werden. Damit kann bei eventuell später auftretender, geringen Stauwasserbildung an den unteren Wandenden Wasserschäden im Gebäude verhindert werden**

In Situationen E1 dürfen Bodenplatten zum Schutz gegen „aufsteigende Feuchte“ anstelle an der Unterseite auch oberseitig abgedichtet werden (Bild 32). Allerdings ist DIN 18533 nicht für Bauteile anwendbar, die wasserundurchlässig sind und damit nicht für Bodenplatten, deren Feuchtigkeitsschutz bereits durch Beton erzielt wird, der einen ausreichenden Schutz entweder gegen Bodenfeuchte oder gegen drückendes Wasser bietet.

Dabei verweist die Norm beispielhaft auf die WU-Richtlinie [15]. Technisch sind Abdichtungen nicht erforderlich, wenn Wasser aus dem Baugrund Bauteile nicht durchdringen kann. Dazu genügt technisch das WU-Beton-Kriterium [21].

Beton wird im Laufe der Zeit durch das stetig voranschreitende Wachstum von Calcium-Silikat-Hydrat-Nadeln (CSH-Nadeln) immer weniger wasserdurchlässig. An der Einwirkungsseite von Betonbo-

denplatten, an Unterseiten, liegen grundsätzlich ideale „Nachbehandlungsbedingungen“ vor: das Erdreich und die darauf angeordneten Ausgleichsschichten schützen vor raschem Wärmeabfluss und vor Trockenheit. Das führt regelmäßig dazu, dass Beton, der aus heute üblichen Lieferbeton im üblichen Maße verdichtet eingebaut wird, keine Kapillarität durch die Bodenplatte zulässt und damit Bodenplatten unter technischen Aspekten wasserundurchlässige Eigenschaften haben – es kommt keine Feuchtigkeit von außen bis an Oberseiten von Bodenplatten.

INFO

Auf Bodenplatten, die das WU-Kriterium erfüllen, sind weder flächige Abdichtungen, noch Mauerquerschnittsabdichtungen erforderlich.

8.3 Schutzmaßnahmen bei E2

In der Vergangenheit wurden relativ häufig druckwasserhaltende Abdichtungen aus Flüssigsystemen (inbesondere aus kunststoffmodifizierten Bitumen Dickbeschichtungen KMB bzw. polymer modified bituminous thick coatings PMBC) verarbeitet. Wenn raumseitig keine Feuchtigkeitsschäden feststellbar sind, lässt sich allerdings nicht schlussfolgern, ob die Abdichtung gegen Druckwasser geeignet waren. Dies betrifft insbesondere Situationen oberhalb von Grundwasserständen, da dann regelmäßig zwar Druckwasser angenommen wird, dieses aber nicht vorkommt (s. Kapitel 4). Wenn Druckwasser während der zu erwartenden Nutzungsdauer ausgeschlossen werden kann, sind die aufwändigeren Schutzmaßnahmen gegen Druckwasser zu hinterfragen, um nicht gegen den werkvertraglichen Grundsatz des Wirtschaftlichkeitsgebots zu verstoßen.

Unterhalb von Bemessungsgrundwasserständen neigt man regelmäßig dazu, Außenbauteile nicht mehr durch Abdichtungen, sondern durch wasserundurchlässige Betonkonstruktionen zu schützen – man traut Abdichtungen dann im Allgemeinen nicht, auch mit dem Argument, dass sie nicht instandgehalten werden können (s. Kapitel 5).

8.4 Abdichtungen nach DIN 18533

8.4.1 Von Wassereinwirkungen zu Wasserbeanspruchungen

DIN 18533 definiert Wassereinwirkungsklassen, die aber nicht die in Kapitel 4 behandelten, geotechnischen Wassereinwirkungen aus dem Baugrund bedeuten, sondern deren Auswirkungen als Wasserbeanspruchungen auf die Außenseiten von erdberührten Bauteilflächen. Danach wird unterschieden zwischen

- Wasser im Baugrund, das als Bodenfeuchte oder Sickerwasser in Saugspannung an Bodenkörnungen anhaftet und damit keinen (Wasser-) Druck auf erdberührten Bauteilflächen ausübt (W1-E)

und nach

- Wasser in der wassergesättigten Bodenzone aus Stau- und Druckwasser, das mit (Wasser-) Druck auf erdberührte Bauteilflächen einwirkt (W2-E).

Die Abdichtungsnorm DIN 18533 ergänzt die Nomenklatur um *E*, was für *erdberührt* steht und gegen die Einwirkungen in DIN 18532 (*V* für befahrene Verkehrsflächen aus Beton), DIN 18534 (*I* für Innenräume) und DIN 18535 (*B* für Behälter und Becken) abgrenzt.

DIN 18533 enthält weiterhin Klasse W3-E für sog. erdüberschüttete Decken, die aber unter Berücksichtigung baupraktischer Umsetzbarkeit wesentliche Anforderungen der Dachabdichtungsnorm DIN 18531 enthält. Zwar wird in DIN 18531 die Anwendbarkeit von Dachabdichtungen auf eine Wasserüberstauhöhe von 10 cm beschränkt (das entspricht einem Wasserdruck von 0,01 bar). Diese Begrenzung ist aber auch für W3-E angesetzt. Damit unterscheiden sich bei üblicher Gebäudenutzung die Anforderungen aus den beiden Abdichtungsnormen nicht wesentlich. Bei untergeordneter Nutzung sind Vereinfachungen möglich, die aber analog nach DIN 18531-5 ebenfalls möglich sind.

Unter Berücksichtigung der zunehmenden Häufigkeit von (innerstädtischen) Retentionsdächern mit Überstauhöhen von bis zu einem halben Meter werden sich Anwender fragen, ob sie auf Dächern Abdichtungsbauarten nach W2.2-E realisieren wollen, für die die Norm höhere Wasserdrücke als nur 10 cm vorsieht. Nach meiner Einschätzung wird die Anforderung, Abdichtungen auf Decken nach W2.2-E zu bauen, lediglich im Infrastrukturtiefbau (z.B. auf Decken von in offener Bauweise hergestellten Tunneln), nicht aber bei erdüberschütteten Decken im Hochbau berücksichtigt.

Anmerkung zur Überstauung von 3 m anstelle 10 cm: Die bisherige Verwendung des Begriffs nicht drückendes Wasser zur Unterscheidung von Stauhöhe bis bzw. mehr als 10 cm verkennt, dass nicht drückendes Wasser als Kapillarwasser und dieses wiederum nach der Dicke der Wasserhülle um Bodenkörnungen differenzierte. Bei Haftwasser ist die Wasserhülle dünn, die Adhäsion dominiert, Wasser kann nicht der Schwerkraft folgend im Boden versickern. Bei Sickerwasser ist die Wasserhülle dicker, sodass Wasser vertikal, der Schwerkraft folgend, sickern kann. In beiden Formen aber ist der Wasserdruck unterhalb des atmosphärischen Luftdrucks. Nicht drückendes Wasser übt keinen Wasserdruck auf angrenzende Flächen aus. Weder Haftwasser noch Sickerwasser kann in Leitungen gefasst und abgeleitet werden. Nicht drückendes Wasser liegt in der ungesättigten Bodenzone vor. Sobald Wasser ableitbar ist, liegt der Wasserdruck über dem atmosphärischen Luftdruck. Ableitbares Wasser ist damit drückendes Wasser. Daher ist in allen Fällen auf Deckenflächen mit drückendem Wasser zu rechnen.

INFO

Nur drückendes Wasser kann abgeleitet werden.

Bei Wasserdrücken bis 3 m sind also an Wänden zweilagig aufgetragene kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen mit Verstärkungseinlage möglich. Auf Deckenflächen dagegen ist bei einem Wasserdruck aus einer Überstauhöhe von nur wenig mehr als 10 cm aber keine üblichen Dachabdichtungen aus Bahnen mehr anwendbar. Dabei sind Bahnen unter technischen Aspekten bei höherem Druck zuverlässiger als kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen. Ein über dem atmosphä-

rischen Luftdruck liegender Wasserdruck ist richtungsunabhängig. Ob Wasser von der Seite, von unten oder von oben auf eine Fläche einwirkt, ist unerheblich. Wenn die Wassereinwirkung W2.1-E und Wassereinwirkungsklasse W2.2-E die Einwirkungsintensität auf 3 m festlegt, darf auf erdüberschütteten Decken keine andere Einwirkungsintensität festgelegt werden. Diese enge Beschränkung auf eine Überstauhöhe von nur 10 cm widerspricht der Begrenzung der Wassereinwirkung an Wänden, bei denen bei Wasserdrücken bis zu 3 m von einer mäßigen Beanspruchung und der Klassifizierung in W2.1-E ausgegangen wird. Erst bei Wasserdrücken von mehr als 3 m ist von W2.2-E auszugehen. Damit verbleibt eine (technisch nicht begründbare) Definitionslücke der Wasserdrücke zwischen 0,1 m und 3 m. Daher ist die jeweils technische richtige Bauart auszuwählen und gegebenenfalls von Technischen Empfehlungen abzuweichen.

Einwirkungen an Sockeln sind in DIN 4095-1 beschrieben (s. Kapitel 4.3). Die Wassereinwirkung W4-E beschreibt Schutzmaßnahmen an Sockeln, die als Streifen definiert werden, der 20 cm unter die Oberkante und 30 cm über die Höhenlage des angrenzenden Geländes reichen. Auch hier besteht ein formales Problem in DIN 18533-1, dass W4-E grundsätzlich nur über W1-E liegt und damit deren oberer Rand ist. Bei Sockeln über W2-E sollten Abdichtungen an Sockeln aus Stoffen der Klasse W2-E verwendet werden. Niederschlagswasser, das (kurzzeitig) auf Geländeoberflächen abläuft, erzeugt einen (geringen) Staudruck. Diese Einwirkungen liegen schon immer an Sockeln vor. Probleme gab es bisher bei sachgerecht verarbeiteten Abdichtungen der Klasse W4-E nicht. Daher ist die grundsätzliche Zuordnung von Abdichtungsbauarten der W1-E an Sockeln möglich, die kurzzeitig von Stauwasser beansprucht werden.

8.4.2 Abdichtungsbauarten

Wassereinwirkungen sind geotechnische Festlegungen, die in der neuen DIN 4095-1 beschrieben werden (s. Kapitel 4).

Die aus den Wassereinwirkungen resultierenden Beanspruchungen auf erdberührte Außenwände und Unterseiten von Bodenplatten führen zu differenzierten Anforderungen der Abdichtungsbauarten, die nach den Klassen W1-E und W2-E in der Abdichtungsnorm DIN 18533 enthalten sind.

Zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Beitrags lag noch kein „Schlüssel“ zwischen der Baugrundnorm DIN 4095-1 und der Norm für Abdichtung DIN 18533-1 vor. Vorstellbar ist die Übernahme von Tabellen 2 und 3 der DIN 4095-1, die in den Fallkonstellationen um Abdichtungsbauweisen und -bauarten ergänzt werden.

Nach DIN 18533 sind folgende Bauarten, d. h. die Ausführung mit im Erdreich üblichen Abdichtungssystemen, möglich:

- Flüssig zu verarbeitende Abdichtungen aus PMBC (Polymer modified bituminious thick coatings, deutsch: polymer- oder kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtung PMB oder KMB) in W1-E (Bodenfeuchte, in Saugspannung sickerndes Wasser) und W2.1-E (mäßige Druckwassereinwirkung mit Wasserdruck bis 3 m)
- Mineralische Dichtschlämmen MDS (kunststoffmodifiziert) in W1-E (Bodenfeuchte, in Saugspannung sickerndes Wasser) und W4-E bei Begrenzung von nach der Abdichtungsverarbeitung entstehenden Rissaufweitungen um 0,2 mm
- Flexible Polymere Dichtschlämmen FPD (in Neufassung der DIN 18533), die die gleichen Anforderungen wie PMBC erfüllen, ohne aber deren Nachteile aufzuweisen, wie Probleme bei der Durchtrocknung oder Blasenbildungen. Sie sind auch in W2.1-E einsetzbar
- Abdichtungen aus Bitumen- oder Kunststoffbahnen, die allerdings gegenüber den Flüssigsystemen mengenmäßig erheblich an Bedeutung verloren haben; Bahnenförmige Abdichtungen sind zwar die nach DIN 18533 einzig anwendbare Bauarten in W2.2-E. Da sie dann aber auf der Seite der Wassereinwirkung und damit unter Bodenplatten anzuordnen sind, sind sie nach der Gebäudeerrichtung nicht mehr zugänglich – ein Hauptargument, Bodenplatten nicht mehr abzudichten, sondern aus wasserundurchlässigem Betonkonstruktionen zu erstellen
- Flüssig zu verarbeitende, faserverstärkte Kunststoffabdichtungen FLK in W4-E

8.4.3 Abdichtungen mit PMBC

Als Abdichtung von erdberührten Bauteilen können KMB gewählt werden. Die Bezeichnung wird wegen der europäischen Stoffnormen in Englisch ausgedrückt, daher heißen diese Abdichtungsstoffe Polymer modified bituminious thick Coatings (PMBC). PMBC werden seit Jahrzehnten mit gutem Erfolg eingesetzt. Fehler beruhen in der Regel auf Problemen bei Vorbehandlung und Ausführung, insbesondere aber auf fehlerhafter Nachbehandlung, etwa unzureichender Durchtrocknung der Abdichtungsschicht vor der Verfüllung des Arbeitsraums.

Abdichtungen erdberührter Bauteile beschränken sich allerdings seit vielen Jahren auf Wände, da die Abdichtung im Bereich des unteren Gebäudeabschlusses durch die Erstellung von Bodenplatten aus WU-Beton realisiert wird. Dadurch entsteht die Herausforderung, Abdichtungsschichten an wasserundurchlässige Betonbodenplatten so anzuschließen, dass die Übergänge dauerhaft ihre Aufgabe erfüllen. Weil diese Stellen im späteren Zustand entweder nicht oder nur unter hohem Aufwand zugänglich sind, ist es nachvollziehbar, dass der Aufwand für Abdichtung und deren Anschlüsse hoch ist. Da sich aber unbeabsichtigte Stauhorizonte bilden können, sind druckwasserdichte Übergänge auch bei W1-E zu empfehlen.

Stoffe

Bei PMBC handelt es sich um kunststoffmodifizierte, ein- oder zweikomponentige Massen auf der Basis von Bitumenemulsionen. Die Emulsion besteht aus den beiden sich gegenseitig abweisenden Flüssigkeiten Wasser und Bitumen. Bitumen schwimmt mit Hilfe von Emulgatoren in Form kleiner Tröpfchen im Wasser. Durch Abgabe des trennenden Wassers vernetzen die Bitumenkolloide, wodurch eine wasserdichte Bitumenschicht an der Bauteiloberfläche entsteht. Dazu wird das Wasser der Emulsion einerseits vom Untergrund aufgenommen, andererseits diffundiert es nach außen in Richtung des Arbeitsraums und verdunstet dort. Dieser Vorgang wird „Bre-

chen“ genannt. Die Trocknung hängt stark vom Feuchtegehalt des Untergrunds und den Austrocknungsbedingungen ab, die Durchtrocknungsdauer kann je nach Art des Untergrunds und den Klimabedingungen deutlich variieren.

Zweikomponentige Systeme dagegen können ggf. auch durch chemische Reaktion vernetzen, sie sind dann gegenüber baustellenüblichen Bedingungen weniger schadensanfällig.

Untergrund

KS-Mauerwerk, insbesondere solches aus Plansteinen und Planelementen, ist als Untergrund für PMBC sehr gut geeignet. Unterputze und egalisierende Kratzspachtelungen sind in der Regel nicht erforderlich.

Vertiefungen über 5 mm Tiefe sind mit Mörtel zu schließen. Kanten müssen gefast werden, Kehlen sollten gerundet sein. Dies kann z.B. durch Mörtelkehlen im Radius von 4 cm erfolgen. Wenn Hersteller dies zulassen, können Kehlen mit zweikomponentigen Bitumendickbeschichtungen hergestellt werden. Diese sollen keine größere Rundung als 2 cm haben, um Trocknungsprobleme zu vermeiden. Mit der Ausrundung soll erreicht werden, dass die Abdichtung an der Kehle nicht versehentlich mit der Kelle durchtrennt wird. In Abhängigkeit der Herstellerangaben sind PMBC auf einem durch Voranstrich vorbereiteten Untergrund zu verarbeiten.

Untergründe von Abdichtungen müssen frostfrei und trocken sein, trennende Substanzen oder Schmutz sind in Abhängigkeit der Einwirkungsklasse zu entfernen. Dabei ist grundsätzlich zu empfehlen, Maßnahmen zu ergreifen, damit Abdichtungen fest anhaften und nicht unterläufig sind.

INFO

KS-Mauerwerk, insbesondere solches aus Plansteinen und Planelementen, ist als Untergrund für PMBC sehr gut geeignet.

Verarbeitung

PMBC ist in mindestens zwei Arbeitsgängen zu verarbeiten. Der Auftrag kann in Wassereinwirkungsklasse W1-E frisch in frisch erfolgen, die (geplante) Trockenschichtdicke muss mindestens 3 mm zuzüglich einem von Hersteller benannten, sonst einem Dickenzuschlag für verarbeitungsbedingte Schwankungen, Schrumpf bei Trocknung sowie dem Mehrverbrauch für die Egalisierung des Untergrunds von 25 % betragen. Auf zuvor geebneten Untergründen kann der Zuschlag geringer sein.

Die Trockenschichtdicke darf an keiner Stelle der Fläche doppelt so dick sein wie die Mindestrockenschichtdicke zuzüglich des Dickenzuschlags. Wenn flüssig zu verarbeitende Abdichtungen zu dick sind, besteht die Gefahr, dass sie in diesen Teilbereichen nicht vollständig durchtrocknen und nach dem Verfüllen des Arbeitsraums versagen können.

Die Schichtdickenkontrolle soll während der Verarbeitung im frischen Zustand durch Messung der Nassschichtdicke (mindestens 20 Messungen je Ausführungsobjekt bzw. mindestens 20 Messungen je 100 m^2) erfolgen. Hersteller bieten dazu

Bild 34 **Kellerwand-Außenseite mit PMBC-Abdichtung**

Messlehren an. Zusätzlich sollen im Bereich von Durchdringungen, an Übergängen sowie Anschlüssen Schichtdicken gemessen werden. Weiterhin soll durch den Materialverbrauch im Bezug zur Fläche die mittlere Schichtdicke kontrolliert werden.

Bis zum Erreichen der Regenfestigkeit muss die Fläche vor Regeneinwirkung geschützt werden, Wasserbelastungen und Frosteinwirkung sind bis zur Durchtrocknung der Abdichtungsschicht auszuschließen.

Durchtrocknung

Da Schutzschichten erst angebracht und Arbeitsräume verfüllt werden dürfen, wenn PMBC ausreichend durchgetrocknet ist, ist die Durchtrocknung zu prüfen. Wegen unvermeidlicher Dickenschwankungen sowie klimaabhängigen Trocknungsgeschwindigkeiten kann dazu kein fester Zeitraum vorgegeben werden. Die Durchtrocknung kann z.B. an einer Referenzprobe (z.B. ein in der Baugrube gelagerter Mauerstein, praktisch aber an Übergängen zu Betonflächen in dafür breiter angelegten Überlappungen von Übergängen an Bodenplatten) durch Schnittprüfungen festgestellt werden.

Nachträgliche Messung von Schichtdicken

Die oben genannten Anforderungen hinsichtlich Schichtdicken berücksichtigen unvermeidbare Ungleichmäßigkeit beim Auftragen, eventuell entstehende oder sich weitende Risse im Untergrund, Arbeitsunterbrechungen, Dickenschwankungen aufgrund von Unebenheiten im Untergrund und anderen, baustellenbedingte Üblichkeiten. Auch werden Materialschrumpf und Kompression beim Verfüllen von Arbeitsräumen durch den horizontalen Erddruck berücksichtigt.

Das aber hat zur Folge, dass die perspektivischen Schichtdickenempfehlungen kein absolutes Maß bei nachträglichen Prüfungen ausgeführte Abdichtungsschichten sind: Die Schichtdickenempfehlungen sollen an jeder Stelle durchgehende Abdichtungsschichten sicherstellen.

Daher dürfen ausgeführte Schichten dünner sein als sie für die Planung und Ausführung empfohlen werden. Hinweise enthält z.B. die Empfehlungen zur Messung von Schichtdicken als Beiblatt zu den Abdichtungsnormen [22].

Schutzschichten

Die durchgetrocknete Abdichtung soll z.B. durch eine Schutzschicht gegen mechanische Beschädigungen geschützt werden. Diese kann z.B. aus den Dämmplatten einer Perimeterdämmung bestehen. Bei strukturierten Schutzlagen, z.B. Noppenbahnen, erhöht sich die Flächendruckspannung, da der Erddruck nicht über die Gesamtfläche, sondern nur über den anliegenden Teil auf die Abdichtung übertragen wird. Das Beschädigungsrisiko steigt, solange nicht zwischen solchen Bahnen und der Abdichtung eine drucklastverteilende Schutzschicht angeordnet wird, z.B. ein ausreichend dickes Vlies. Dieses trägt zudem dazu bei, dass durch die Verdichtung der Arbeitsraumauffüllung die möglicherweise nach unten geschobene Schutzlage die Abdichtung nicht beschädigt wird. Strukturierte Trennlagen sollten aber nicht als Vertikaldräne bis an die Geländeoberflächen geführt werden und dort Niederschlagswasser von Fassaden und Gelände in den Baugrund ableiten können. Günstiger sind daher nicht strukturierte Schutzlagen oder sorgsam eingefülltes homogenes Verfüllmaterial, idealerweise kombiniert mit einer nicht strukturierten Schutzlage vor der Abdichtung.

8.4.4 Abdichtungen mit FPD

Die Empfehlungen zur Verarbeitung von PMBC sind auch für Flexible Polymere Dichtschlämmen FPD anwendbar. Im Grunde sind sie gleichartige Stoffe, allerdings ohne bituminöse Zusätze. Aufgrund der Kunststoffmodifikation sind diese aber auch nicht mehr erforderlich. FPD haben praktische Vorteile bezüglich Durchtrocknung, Robustheit und Verarbeitbarkeit, weswegen zu erwarten ist, dass sich die in der neuen Abdichtungsnorm DIN 18533 enthaltene Stoffe durchsetzen werden.

8.4.5 Abdichtungen mit Bahnen

Wenn die Wartezeiten bis zur Durchtrocknung von PMBC oder die Frost- und Niederschlagsempfindlichkeit des frisch verarbeiteten Materials den geplanten Bauablauf verzögern könnten, können bahnenförmige Abdichtungen auch bei der geringen Wassereinwirkungsklasse W1-E sinnvoll sein. DIN 18533 beschreibt dazu auch Kaltselbstklebebahnen.

Bahnen sind wegen der industriellen Produktion gleichmäßig dick. Sie haben aber den Nachteil, dass bei der Verarbeitung Fehlstellen an Nähten, Durchdringungen und an den Anschlüssen an andere Bauteile entstehen können, die von außen nicht immer bemerkbar sind. Daher ist eine sorgfältige Ausführung an allen Stellen erforderlich. An Übergängen auf wasserundurchlässige Betonbauteile sind zwar neben Klemmkonstruktionen auch adhäsive Verbindungen möglich. Allerdings sollten wegen der fehlenden baupraktischen Möglichkeit, die bei W2-E notwendige Hinterlaufsicherheit der Ausführung zu prüfen, adhäsive Verbindungen auf die geringe Wassereinwirkungen W1-E beschränkt bleiben, auch wenn sie für W2-E beschrieben sind.

8.4.6 Übergänge auf Betonflächen

Bei geringer Wassereinwirkung der Klasse W1-E genügt es, die Abdichtungsschicht an der Stirnfläche der Bodenplatte um 10 cm nach unten zu führen. Dann ist es nach normativer Festlegung nicht erforderlich, Maßnahmen gegen die Unterläufigkeit der Abdichtung zu ergreifen. Aus Zuverlässigkeitsüberlegungen sind aber auch bei der geringen Wassereinwirkungsklasse die

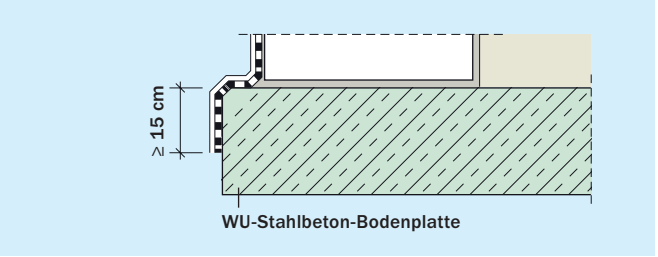


Bild 35 Standardanschluss von Abdichtungen an Stirnseiten von Bodenplatten

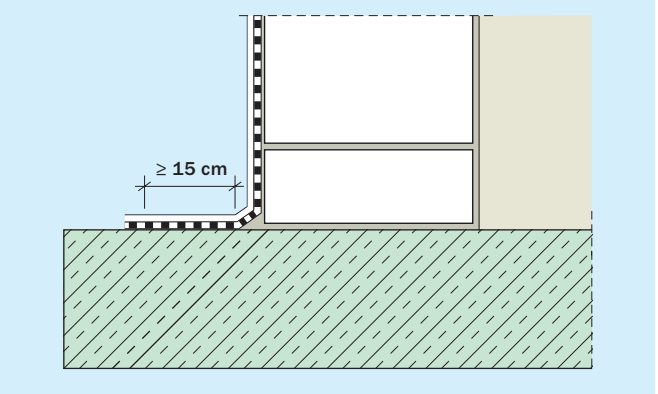


Bild 36 Druckwasser übt richtungsunabhängig den Druck auf angrenzende Flächen aus; Daher kann bei gleicher Anschlusstechnik auch an Oberseiten von Bodenplatten angeschlossen werden, insbesondere bei großen Überständen

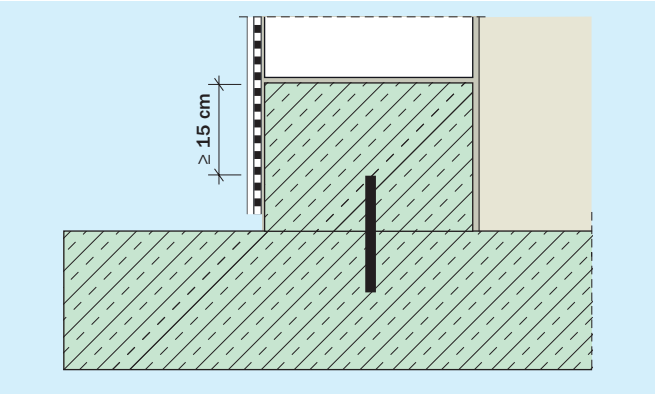


Bild 37 Diese Grundsätze lassen sich auch auf andere Anschlüsse übertragen

im Folgenden erläuterten Maßnahmen der Wassereinwirkungsklasse W2-E zu empfehlen, wofür ein Überlappungsbereich von 15 cm erforderlich wird..

Seit vielen Jahren werden PMBC auf Wandflächen erfolgreich an die Stirnflächen von Bodenplatten angeschlossen (Bild 35, 35). Adhäsive Übergänge sind im Vorteil, da diese Ungleichmäßigkeiten des Untergrunds besser als Klemmkonstruktionen aus Stahlschienen ausgleichen können.

Für den festen Verbund zwischen Abdichtung und Beton, den Druckwasser nicht unterlaufen kann, ist der Untergrund mechanisch abtragend vorzubehandeln, etwa durch Schleifen, Strahlen oder Fräsen. Bei letzterem soll die gefräste Oberfläche zusätzlich z.B. kugelgestrahlt werden, um die durch das Fräsen geschädigte Betonmatrix zu entfernen. Der Untergrund muss ausreichend trocken sein und nach Herstellerempfehlungen einen Voranstrich oder eine Grundierung erhalten. Dazu ist anzumerken, dass etliche Experten kunstharzbasierte Grundierungen empfehlen. Allerdings haben sich, eine sorgfältige Verarbeitung vorausgesetzt, ebenfalls Anschlüsse auf entsprechend geeigneten Voranstrichen bewährt. Zudem besteht bei den Kunstharzen die Gefahr, dass Bitumen nicht anhaftet.

Die Abdichtungsnorm lässt eine Vorbehandlung des Untergrunds mit einer mineralischen Dichtschlämme nur in Wassereinwirkungsklasse W1-E zu, nicht aber in W2-E, weil unterstellt wird, dass bei eventuellen Rissen in der Bodenplatte die MDS bricht und durch Brüche Wasser sickern kann. Deswegen soll die flüssig zu verarbeitende Abdichtung unmittelbar auf dem Beton aufgetragen werden. Praktisch spricht aber nichts gegen eine Untergrundvorbehandlung mit einer mineralischen Dichtungsschlämme, wenn der Untergrund nach dem Auftragen rissfrei bleibt oder vorhandene Risse sich dann nur sehr wenig aufweiten.

Die Abdichtung soll mindestens 15 cm überlappend auf Betonflächen angeschlossen werden. Die Norm präferiert dafür die Stirnfläche von Betonbodenplatten, schließt aber andere Betonflächen nicht aus. So können Abdichtungen an andere Betonflächen angeschlossen werden, etwa an untere Wandabschnitte aus Beton (Bild 37), an Oberseiten von Betonbodenplatten (Bild 36), die nicht nur geringfügig überstehen oder auch Abdichtungen von Deckenflächen an Wände, wobei dort eine Überlappungsbreite von 20 cm unterhalb der Fuge zwischen Wand und Betondecke empfohlen wird.

8.4.7 Sockelabdichtungen

Der obere Rand von Abdichtungen erdberührter Wände ist in Klasse W4-E beschrieben. Am einfachsten ist es, die Abdichtung hinter einer Bekleidung, von außen unsichtbar, aufzukanten. Das ist an der Außenseite von z.B. KS-Mauerwerk, das außenseitig zum Wärmeschutz durch Perimeterdämmplatten eines Wärmedämm-Verbundsystems bekleidet wird, möglich (Bild 39). Auch kann die Abdichtung hinter einer Verblendschale an der Außenseite der hinteren Wandschale hoch geführt werden. Da aber dann durch das Verblendmauerwerk kein Spritzwasser mehr in die Abdichtung gelangt, bleibt es Anwendern überlassen, die empfohlene Aufkantungshöhe für unmittelbar beanspruchte Sockelbereiche von 15 cm einzuhalten oder diese zu unterschreiten.

Der Sockel umfasst nicht nur den Bereich unmittelbar oberhalb der Geländeoberkante, sondern auch einen 20 cm breiten Streifen darunter, damit Bauarten am Sockel an darunter fortführende Abdichtungen angeschlossen werden können (Bild 38). Das ist notwendig, weil am Sockel auch Stoffe zulässig sind, z.B. faserverstärkte, flüssig zu verarbeitende Kunststoffabdichtung (FLK), die nicht für darunterliegende Wandbereiche normiert sind.

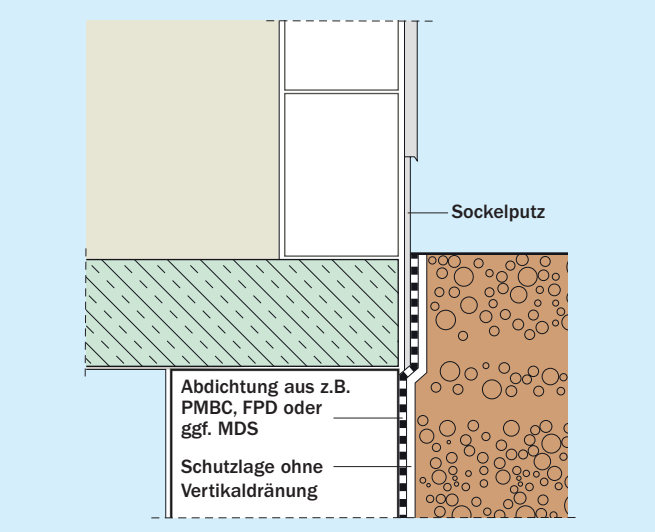


Bild 38 **Einschalige KS-Außenwände (unbeheiztes Gebäude): Auf den Sockelputz wird überlappend bis zur Oberkante des Geländes eine flüssig zu verarbeitende Abdichtung der darunterliegenden Wand geführt**

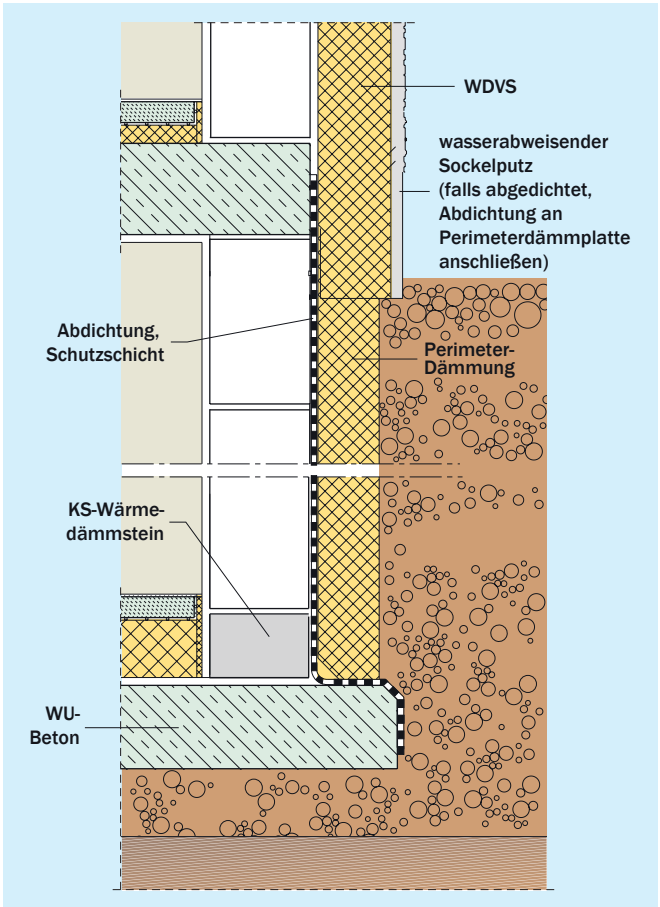


Bild 39 **Beispiel für Fußpunktausbildung bei Kalksandstein-Mauerwerk mit WDVS**

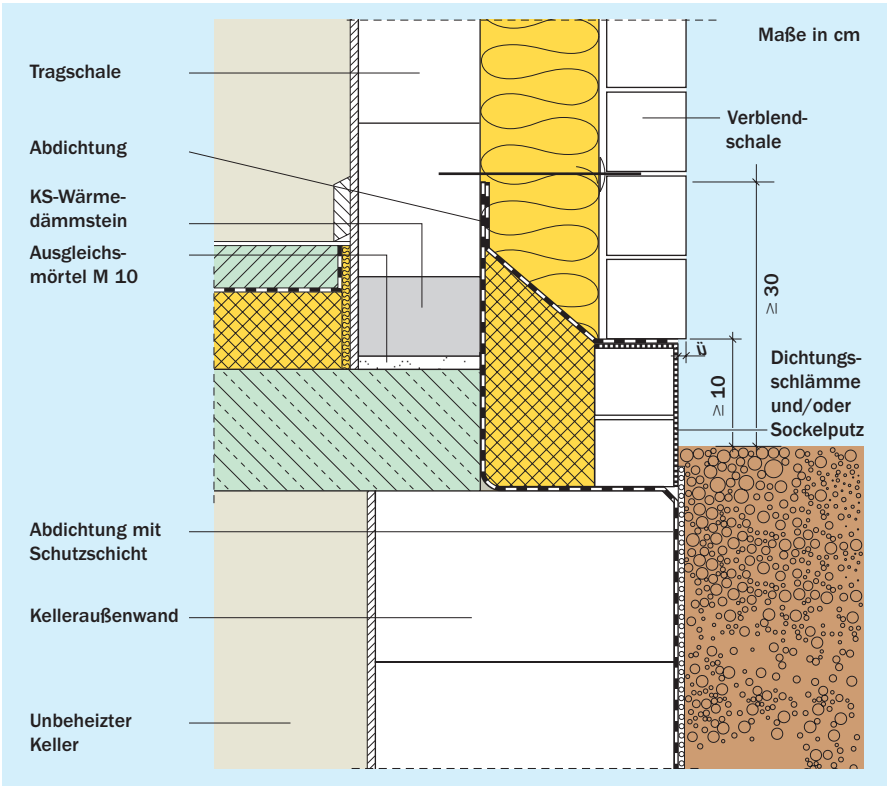


Bild 40 **Beispiel für Fußpunktausbildung bei zweischaligem Mauerwerk**

Grundsätzlich sieht DIN 18533 die Verarbeitung von Abdichtungsschichten auf festen und damit mineralischen Untergründen vor, lässt aber die Verarbeitung auf Dämmstoffen zu, die z.B. an Stirnflächen von Decken anbetoniert sind. Allerdings widerspricht das den Möglichkeiten nach DIN 18531, der Norm für Flachdachabdichtungen, bei der regelmäßig Abdichtungen auf Wärmedämmschichten angeordnet werden. Bei geeigneten Maßnahmen kann die Sockelabdichtung entgegen der normativen Empfehlung auch auf nichtmassiven Untergründen ausgeführt werden [23].

Bei zweischaligem Mauerwerk mit Verblendern aus Kalksandstein sollte allerdings in Bereichen, in denen mit Tausalzeinwirkung zu rechnen ist, z.B. an Gehwegen, die Abdichtung nicht nur unterhalb oder nur bis auf Höhe des Geländes geführt werden, sondern die Spritzwasserzone des Verblendmauerwerks durch eine Abdichtung zur Vermeidung von Gefügeschäden durch Salze geschützt werden. Diese kann entweder bekleidet werden oder bei geeigneten Abdichtungen z.B. aus mineralischen Dichtschlämmen verputzt werden (Bild 40).

Oberhalb des Geländes darf die Abdichtung entfallen, wenn in der Sockelzone ausreichend wasserabweisende Bauteile verwendet werden und wenn die Abdichtung am oberen Rand nicht hinterlaufen werden kann. Diese in DIN 18533-1 enthaltene Formulierung ist offen, sie stellt auf die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit von Anschlüssen ab, die nicht über die Geländeoberkante aufgekantet werden können oder z.B. aus optischen Gründen sollen.

Für niveaugleiche Türschwellen enthalten die Abdichtungsnormen eine Reihe von Empfehlungen, um Feuchtigkeitsschäden in Innenräumen zu verhindern, ohne aber Details abschließend zu regeln. Deswegen werden niveaugleiche Anschlüsse als „Sonderkonstruktion“ bezeichnet. Dieser Begriff impliziert nicht ein erhöhtes Risiko, sondern weist nur auf die eingeschränkte Regelungstiefe der Norm hin. Wenn der Feuchtigkeitsschutz an niveaugleichen Türschwellen dauerhaft sichergestellt werden kann, gibt es keinen vernünftigen Grund, neben Türen die Aufkantungshöhe der Abdichtung von 15 cm zu fordern, wenn dort vergleichbare Maßnahmen ebenfalls den Feuchtigkeitsschutz dauerhaft sicherstellen. Die Gefahr von Schäden ist zudem geringer, da z.B. Festverglasungen keine bewegliche Fuge zwischen Türrahmen und Schwellenprofil aufweisen. Plakativ ausgedrückt: Wer will schon an bodentiefen Gläsern eine Abdichtung 15 cm hochführen?

Anschlüsse an Außenseiten von Profilen barrierefreier, niveaugleicher Tür- oder Fensterrahmen ist insbesondere an den Übergängen zwischen Leibungen problembehaftet. Wenn zuerst die Abdichtung unter der Türschwelle durchgeführt und an der Innenseite aufgekantet wird, bestehen erheblich geringere Risiken von Feuchtigkeitsschäden. Wenn darüber hinaus ein schmaler Spalt zwischen Abdichtung und Schwellenprofil verbleibt, kann eventuell durch Fenster oder Tür hindurchdringende Leckwassermenge schadensfrei aufgenommen werden. Da dies i.d.R. sehr wenig ist, kann dieses aus der inneren Rinne verdunsten. Dieser Vorgang kann durch ein feuchtigkeitsgesteuertes, elektrisches Heizband in der inneren Rinne beschleunigt werden. Eine eigene Entwässerung der innenliegenden Rinne ist i.d.R. nicht erforderlich. Im Beispielfall der Zeichnung oben wird das eventuelle Leckwasser unterhalb des Schwellenprofils nach außen abgeleitet.

DIN 18533 beschreibt keine Fußpunktabdichtungen von zweischaligem Mauerwerk, sondern nur die Abdichtung zum Bauwerks- und Bauteilschutz, also die Abdichtung, die das Bauwerk gegen von außen einwirkende Feuchtigkeit. Die heute gebräuchliche Abdichtungsbauart mit PMBC ist als Querschnittsabdichtung unter bzw. in lastableitenden Mauerwerkswänden nicht geeignet und nicht zulässig. Sie kann aber unter bzw. in Verblendmauerwerksschalen eingesetzt werden, die nur sich selbst tragen. Damit werden Risiken durch Wechsel von Abdichtungsbauarten vermieden. Die Abdichtung der erdberührten Außenwand kann damit auch unter der Verblendmauerwerksschale hindurchgeführt und an der Außenseite der inneren Wandschale angeschlossen werden.

8.4.8 Mauerquerschnittsabdichtungen

In Kapitel 2.2 ist erläutert, dass es aufsteigende Feuchte durch Bodenplatten unter Berücksichtigung der heutigen Werkbetone nicht gibt. Selbst unter der Annahme, es gäbe einen Kapillartransport durch Bodenplatten, kann Wasser nicht an Oberseiten von Bodenplatten austreten. Aus diesem Grund sind keine

Abdichtungen im Sinne der Abdichtungsnorm erforderlich, sondern lediglich entweder nicht kapillarleitfähige Stoffe oder Kapillartrennungen. Aus Zuverlässigkeitsüberlegungen z.B. zum Schutz gegen im Beton enthaltene Baufeuchte können auf Bodenplatten Folien oder gegebenenfalls auch Estrichbahnen verlegt werden.

Da Mauerquerschnittsabdichtungen aber in Fachkreisen von Bauschaffenden, insbesondere aber von Beratern von z. B. Käufern von Eigentumswohnungen, häufig für erforderlich gehalten werden, sollte abgewogen werden, ob an Oberseiten von Bodenplatten Abdichtungen und Mauerquerschnittsabdichtungen verlegt werden – obwohl sie technisch nicht erforderlich sind. Als Querschnittsabdichtung bei KS-Mauerwerk können besandete Bitumenbahnen, z.B. R 500, verwendet werden. Alternativ sind in DIN 18533-3 beschriebene mineralische Dichtschlämmen anwendbar. Der Vorteil von diesen ist ein höherer Scherkraftwiderstand. Dabei ist zu empfehlen, mineralische Dichtschlämmen einzufärben, damit sie bei nachträglichen Untersuchungen sicherer festgestellt werden können.

Die Höhenlage von (wie ausgeführt, technisch nicht erforderlichen) Querschnittsabdichtungen, ob sie unter oder auf der ersten Steinreihe verlegt werden, ist nicht festgelegt. Unter der Annahme, dass Unterseiten von Wänden durch Kapillarwasser beansprucht werden, soll durch Mauerquerschnittsabdichtungen aufsteigende Feuchtigkeit verhindert werden. Die äußere Wandabdichtung sowie, falls vorhanden, die Abdichtung auf einer Bodenplatte sollen an die Querschnittsabdichtung herangeführt werden. Ziel ist dabei, die für diesen Fall angenommenen, kapillaraktiven Feuchtigkeitsbrücken zu verhindern. Mauerquerschnittsabdichtungen müssen also nicht mit angrenzenden Abdichtungen überlappend verklebt werden, da dies für die Unterbrechung des Kapillartransports nicht erforderlich ist.

Schutz vor Baufeuchte

Mauerquerschnittsabdichtungen können aber dazu beitragen, Durchfeuchtungen von Wänden in den unteren Bereichen durch Niederschlagsereignisse während der Bauzeit auf die erste Steinreihe zu beschränken, wenn sie darüber angeordnet werden. Allerdings ist die gesamte Wand einschließlich der unteren Steinreihe zu schützen, so dass die Querschnittsabdichtung unmittelbar auf der Bodenplatte anzuordnen ist, solange der unter der Wand liegende Beton gegenüber Wasser kapillaraktiv ist.

INFO

Bahnförmige Querschnittsabdichtugnen sollten bei Planstein-Mauerwerk auf der Bodenplatte angeordnet werden.

Der tatsächliche Zweck von Abdichtungen an Sockeln von Mauerwerkswänden in Untergeschossen sowie in Erdgeschossen nicht unterkellerter Gebäude ist der Schutz der unteren Steinreihe während der Bauzeit in die Baustelle gelangendes Niederschlagswasser (Tagwasser). We-

der Abdichtungen unter, noch Abdichtungen auf ersten Steinreihen können die Durchnässung derselben verhindern. Von Mauersteinen aufgesogenes Wasser benötigt Jahre zur Austrocknung mit der Folge, dass auch Jahre nach Fertigstellung Feuchtigkeitserscheinungen an Innenraumsockeln auf Tagwasser zurückgeführt werden können.

Mineralische Dichtungsschlämme gemäß Bild 41 können sowohl die Durchnässung der unteren Steinreihe, gleichzeitig aber auch bei eventueller Feuchtigkeit in der ersten Steinreihe Feuchtigkeitsschäden im Innenraum verhindern.

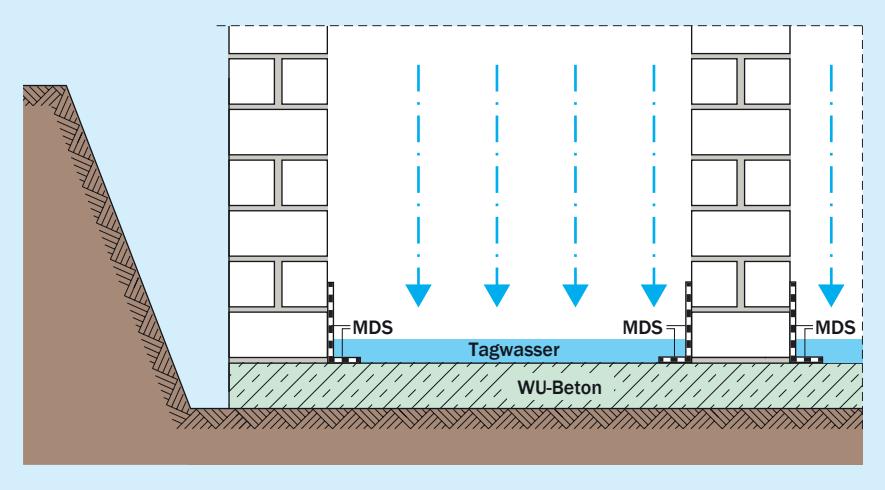


Bild 41 **Beispiel für Schutz von Mauerwerk gegen Tagwasser**

Abdichtungen erdberührter Bauteile

DIN 18533 lässt in Verbindung mit DIN 4095-1 abgestufte und nach Wassereinwirkungen sowie Nutzung differenzierte Abdichtungsbauarten zu. Die Wassereinwirkungen sind nach geohydraulischen Aspekten festzulegen. Dazu sind die bisherigen Angaben in der Abdichtungsnorm DIN 18533-1 nicht geeignet. Zukünftig enthält DIN 4095-1 diesbezügliche Empfehlungen.

Für einen Großteil der Anwendungsfälle oberhalb von Bemessungsgrundwasserständen sind folgende Empfehlungen geeignet:

- Wände können aus Mauerwerk mit Abdichtungen hergestellt werden, wobei Abdichtungen an Stirnflächen von Bodenplatten angeschlossen werden. Diese können aus flüssig zu bearbeitenden Abdichtungsstoffen aus PMBC, zukünftig voraussichtlich aus FPD, in zweilagigem Auftrag und Verstärkungseinlage realisiert werden.
- Abdichtungen sollten aus Zuverlässigkeitsüberlegungen an Betonbauteile nichtunterläufig angeschlossen werden, wozu der Betonuntergrund mechanisch abtragend vorzubereiten ist. Anschlüsse an Durchdringungen sollten ebenfalls druckwasserdicht hergestellt werden.
- Bodenplatten werden bei geringer Wassereinwirkung nach Beanspruchungsklasse 2 (geplante Umbenennung: E1) der WU-Richtlinie durch gegen Bodenfeuchte ausgelegte Betonbodenplatten hergestellt. Bei untergeordneter Raumnutzung sind Betonpflaster und Streifenfundamenten möglich.
- Bei zu erwartendem Grundwasser können gegen Druckwasser ausgebildete WU-Konstruktionen der Beanspruchungsklasse 1 (geplante Umbenennung: E2) der WU-Richtlinie realisiert werden.
- Auf WU-Bodenplatten sind unter technischen Aspekten keine Abdichtungen erforderlich. Zur Vermeidung eines Streitpotenzials aufgrund bisheriger Gepflogenheiten von Mauerquerschnittsabdichtungen können unter ersten Steinreihen Querschnittsabdichtungen angeordnet werden. Zum Schutz gegen Tagwasser können erste Steinreihen seitlich durch mineralische Dichtschlämmen geschützt werden.
- In Bauteilbereichen unterhalb von Bemessungsgrundwasserständen BGW sind wasserundurchlässige Betonkonstruktionen (WU-Konstruktionen) der Beanspruchungsklasse 1 (zukünftig geplant E2) zu empfehlen.
- Oberhalb von BGW können Außenbauteile nach den oben genannten Kriterien aus abgedichtetem Mauerwerk realisiert werden.

Literatur

[1] Reihe DIN 18533:2017-07 Abdichtung von erdberührten Bauteilen (3 Teile), wird aktuell vollständig überarbeitet (Stand Verfassen dieses Beitrags)

[2] Kalksandstein Frühjahrs-Akademie 2025: Abdichtung aktuell! Wassereinwirkungen im Baugrund: Nicht mehr nach der Abdichtungsnorm, sondern nach der Baugrundnorm – Hintergründe zu den Neuerungen

[3] Künzel, Helmut: Bauphysik und Denkmalpflege. Fraunhofer IRB, Stuttgart, 2. Aufl. 2009

[4] s. Empfehlungen des AK I / VI des 10. Deutschen Baugerichtstags, kostenfrei downloadbar unter baugerichtstag.de

[5] DIN 18533-1:2017-07 Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze

[6] DIN 18195-1:2011-12 Bauwerksabdichtungen, Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten (zurückgezogen)

[7] DIN 4095:1990-06 Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung

[8] DIN 18130-1:1998-05 Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1: Laborversuche (zurückgezogen)

[9] Hochwasserschutzfibel: Objektschutz und bauliche Vorsorge. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen BMWSB, Februar 2022

[10] Frick, O., Knöll, K.: Die Konstruktion von Hochbauten, 1927

[11] DIN 4095-1:2024-04 – Entwurf Baugrund – Dränung zum Schutz baulicher Anlagen – Teil 1: Begriffe und Wassereinwirkungen (Stand der Bearbeitung dieses Beitrags)

[12] DIN 4031:1932-07 Wasserdruckhaltende Dichtungen für Bauwerke – Wasserdruckhaltende Dichtungen aus nackten Teerpappen oder nackten Asphaltbitumenpappen

[13] DIN 18195-9:1983-08 Bauwerksabdichtungen; Durchdringungen, Übergänge, Abschlüsse (zurückgezogen)

[14] Anmerkung: Für einen hinreichend unterlaufsicheren Anschluss werden 6 mm dicke, 6 cm breite Stahlschienen mit Gewindeschrauben M12 in Abständen zwischen 75 mm und 150 mm und mehrlagigen Bitumenbahnen verwendet; solche Klemmkonstruktionen sind damit nicht gleichzusetzen mit von Dachrändern bekannten Aluminiumklemmprofilen, die mit Schrauben lediglich Bahnen lagesichern können
[15] DAfStb Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), Ausgabe November 2003 (erhältlich seit Mai 2004), vollständig überarbeitete Fassung Dezember 2017. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im Deutschen Institut für Normung e.V., Berlin.
[16] Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie; Schriftenreihe Heft 555, 1. Auflage Juli 2006
[17] Anmerkung: Unter Berücksichtigung von etwa 140.000 neuen Wohngebäuden / Jahr (Angaben des statistischen Bundesamts), eine angenommenen mittleren Bodenplattengröße von 100m², eine Erhöhung der Bodenplattendicke von 15 auf 25 cm, einem Anteil von Baugrundstücken oberhalb des Bemessung Grundwasserstands bei Bodendurchlässigkeit von weniger als 10^{-4} m/s von 70 % (ohne Erlaubnisoption einer Dränung), Kosten von 150 Euro pro m³ Stahlbeton, etwa 0,5 kg CO_2 / kg Zement, 12 Masse-% Zement je kg Beton, 80 kg CO_2 je Tonne Beton (Quelle: Beton Dialog Österreich (BDÖ), Wien)
[18] Anmerkung: Details dazu werden in DIN 4095-2 enthalten sein, deren Entwurf zurzeit ausgearbeitet wird
[19] DIN SPEC 20000-202 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 202: Anwendungsnorm für Abdichtungsbahnen nach Europäischen Produktnormen zur Verwendung als Abdichtung von erdberührten Bauteilen, von Innenräumen und von Behältern und Becken; Neufassung in Bearbeitung, dann DIN TS 20000-202; Anmerkung: SPEC steht für Specification, TS für Technical Specification.
[20] Reihe der DIN 18040 Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen, Teile 1 bis 3
[21] Anmerkung: das WU-Betonkriterium ist erfüllt, wenn ein 28 Tage altes Betonprisma für 72 Stunden mit 5 bar Druck (das entspricht 50 m Wassersäule) beaufschlagt wird und Wasser danach nicht mehr als 5 cm in den Beton eingedrungen ist
[22] DIN 18195 Beiblatt 2:2017-07 Abdichtung von Bauwerken – Beiblatt 2: Hinweise zur Kontrolle und Prüfung der Schichtdicken von flüssig verarbeiteten Abdichtungsstoffen
[23] Sous, S.; Wilmes, K.; Zöller, M.: Dauerhaftigkeit von Abdichtungen auf nicht-massiven Untergründen im Sockelbereich. Forschungsbericht AIBau Aachener Institut für Bauschadensforschung gGmbH, März 2016, www.aibau.de
[24] Abel, R.; Oswald, R.; Wilmes, K.: Schadensfreie niveaugleiche Türschwellen. Forschungsbericht AIBau Aachener Institut für Bauschadensforschung gGmbH Januar 2011

Bildnachweise

Bild 8: Katrin Oswald;
Bild S. 392, S. 410, S. 417, S. 421: Hinrich Schulze;
Bild 23: Hochwasserschutzfibel;
Bild 24, 25, 30, 31: Matthias Zöllner

Bild 34: Bundesverband der Kalksandsteinindustrie e.V.

Kapitel 15

BEFESTIGUNG

Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann,
MPA Universität Stuttgart

Stand: 08/2025

1. Allgemeines

Die Bedeutung nachträglicher Befestigungen in KS-Mauerwerk nimmt im Bauwesen stetig zu. Die Anwendungen beim Einsatz nachträglicher Befestigungen mit Kunststoffdübeln, Injektionsdübeln und inzwischen auch Schraubankern sind sehr vielfältig. Einrichtungsgegenstände, wie z.B. Hängeschränke, Regale, Spiegel, Bilder oder Ähnliches (Bild 1) werden im privaten Bereich in der Regel mit nicht zugelassenen Dübeln befestigt.

Typische sicherheitsrelevante Anwendungen hingegen sind Fassadenunterkonstruktionen, Vordächer, Markisen, Rohrleitungen oder anschließende Stahlkonstruktionen (siehe Bild 2), Rolltorführungen, Lüftungskanäle, Kabeltrassen oder abgehängte Decken.

Mauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen ist für nachträgliche Befestigungen mit Dübeln in der Regel sehr gut geeignet, da die hohen Druckfestigkeiten der Mauerwerkssteine hohe Haltewerte garantieren. Zudem ist der Untergrund homogen und so auch gut für die Verwendung von Schraubankern geeignet. Schraubanker und Kunststoffdübel aus Polyamid können in KS-Vollsteinen unter Zug- und Querbelastung vergleichbare Tragfähigkeiten wie in Normalbeton erreichen.

In KS-Lochsteinen ist wegen der hohen Festigkeit der Steinstege ebenfalls mit ausreichend großen Traglasten zu rechnen. In diesen Fällen hängt die Tragfähigkeit jedoch wesentlich von der Anzahl der vom Dübel aktivierten Steinstege sowie der Dicke des Außensteges ab.

In den folgenden Abschnitten werden die für Befestigungen in Kalksandstein geeigneten Systeme beschrieben, ihre Anwendungsbedingungen zusammengestellt und das Wirkprinzip erklärt.

Bild 1 Befestigung von Treppengeländern an KS-Mauerwerk

Bild 2 Innensichtmauerwerk aus Kalksandstein mit befestigten Installationsleitungen

2. Befestigungssysteme

Für nachträgliche Befestigungen an KS-Vollsteinen (Lochanteil < 15%) oder KS-Lochsteinen (Lochanteil > 15%) eignen sich Kunststoffdübel und Injektionssysteme mit oder ohne Siebhülse. Eine neue Entwicklung sind Schraubanker für den Einsatz in Mauerwerk. Man unterscheidet zwischen Befestigungssystemen mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) und allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG) sowie mit europäisch technischer Bewertung (ETA).

2.1 Kunststoffdübel

Kunststoffdübel bestehen aus einer Dübelhülse und einer speziellen Schraube als Spreizelement. Die Dübelhülsen zugelassener Kunststoffdübel bestehen meist aus Polyamid (PA). Die vom Hersteller mitgelieferte Schraube bildet zusammen mit der Dübelhülse eine Befestigungseinheit und darf in keinem Fall untereinander ausgetauscht oder verändert werden. Ein Grund ist, dass die Länge und Geometrie von Schraube und Kunststoffhülse exakt aufeinander abgestimmt sind, um ein optimales Spreizverhalten bei der Montage zu gewährleisten. So kann beispielsweise ein Mitdrehen des Dübels bei der Montage vermieden werden. Weiterhin besitzt die Dübelhülse einen „Kragen“, der die Soll-Einbaulage gewährleistet und verhindert, dass der Dübel bei der Montage in das Bohrloch hineinrutscht und somit die Lage des Spreizbereichs verändert. Für Dübelhülsen von nicht bauaufsichtlich zugelassenen Kunststoffdübeln können neben Polyamid auch andere Kunststoffe wie z.B. Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE) verwendet werden. Als Spreizelement können, je nach Empfehlung des Herstellers, Holzschrauben oder Spanplattenschrauben eingesetzt werden.

Bild 3 zeigt beispielhaft die Montage eines Kunststoffdübels. Dieser wird in der Regel in Durchsteckmontage gesetzt, d.h. der Dübel wird durch das zu befestigende Anbauteil hindurch montiert und die Schraube von Hand oder mit Hilfe eines Elektroschraubers eingeschraubt bis der Schraubenkopf auf dem Anbauteil bzw. dem „Kragen“ aufliegt.

Beim Eindrehen der Schraube in die Hülse wird der Kunststoff der Dübelhülse verdrängt und gegen die Bohrlochwand gepresst. Der Dübel ist richtig verankert, wenn sich die Dübelhülse nach dem vollständigen Eindrehen der Schraube weder dreht noch ein leichtes Weiterdrehen der Schraube möglich ist. Ein Überdrehen der Schraube ist bei hochwertigen Produkten in der Regel nicht möglich.

In Vollsteinen werden die auf den Dübel wirkenden Zuglasten ausschließlich durch Reibung zwischen Dübelhülse und Bohrlochwand übertragen. In Lochsteinen können Reibungskräfte

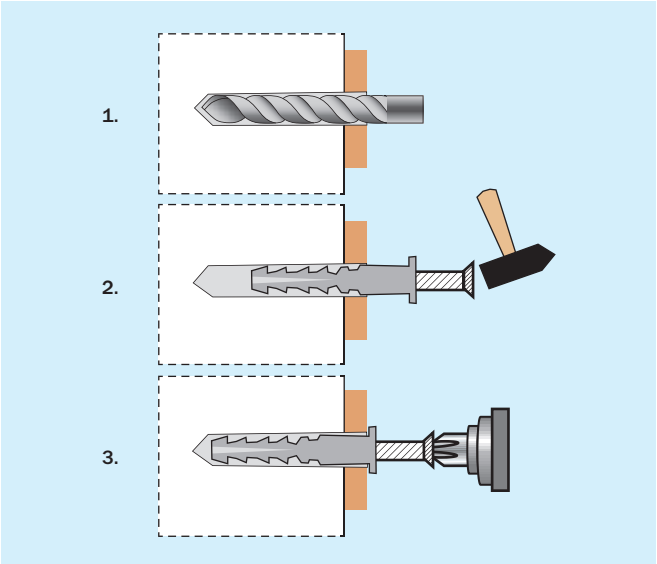


Bild 3 Montage eines Kunststoffdübels

nur im Bereich der angeschnittenen Stege übertragen werden. Bei Lochsteinen wird jedoch zusätzlich ein Teil der aufgebrachten Zuglast durch die mechanische Verzahnung im Bereich der Steinlochung übertragen.

2.2 Injektionsdübel

Injektionsdübel (Verbunddübel) für Mauerwerk bestehen aus einer Gewindestange oder einer Innengewindehülse und einem für Mauerwerk geeigneten Injektionsmörtel. Der Mörtel wird in Kartuschen geliefert. Diese bestehen in der Regel aus zwei Kammern, in denen jeweils der Mörtel und der Härter enthalten sind. Als Bindemittel kommen Kunstharze oder eine Mischung aus Kunstharz und Zement (Hybridsysteme) zur Anwendung.

Für KS-Lochsteine sind Kunststoff- oder Metallsiebhülsen notwendig, um die erforderliche Mörtelmenge zu begrenzen, so dass nicht der gesamte Hohlraum mit Mörtel gefüllt werden muss.

Bild 4 zeigt beispielhaft die Montage eines Injektionsdübels. Nach dem Bohren muss das Bohrloch unbedingt gemäß den Herstellerangaben gereinigt werden. In der Kartusche sind das Harz und der Härter stets in einem für die jeweilige Mörtelart speziellen Mengenverhältnis enthalten. Dieses Mischungsverhältnis darf in keinem Fall verändert werden.

Der Mörtel wird mit Hilfe eines Auspressgerätes in das Bohrloch injiziert. Während diesem Vorgang werden Harz und Härter ausgepresst und in einer Mischwendel (dem sogenannten Statikmischer), an der Spitze der Kartusche, vollständig miteinander vermischt. Die ersten Hübe beim Auspressen sind daher zu verwerfen, da das vorgegebene Mischungsverhältnis noch nicht eingehalten wird. Der Härter und das Harz vermischen sich in der Mischwendel und härten dort, z.B. während einer Arbeitspause, aus. Die Kartusche kann dann nach Aufsetzen einer neuen Mischwendel weiterverwendet werden, wobei die ersten Hübe beim Auspressen wieder zu verwerfen sind.

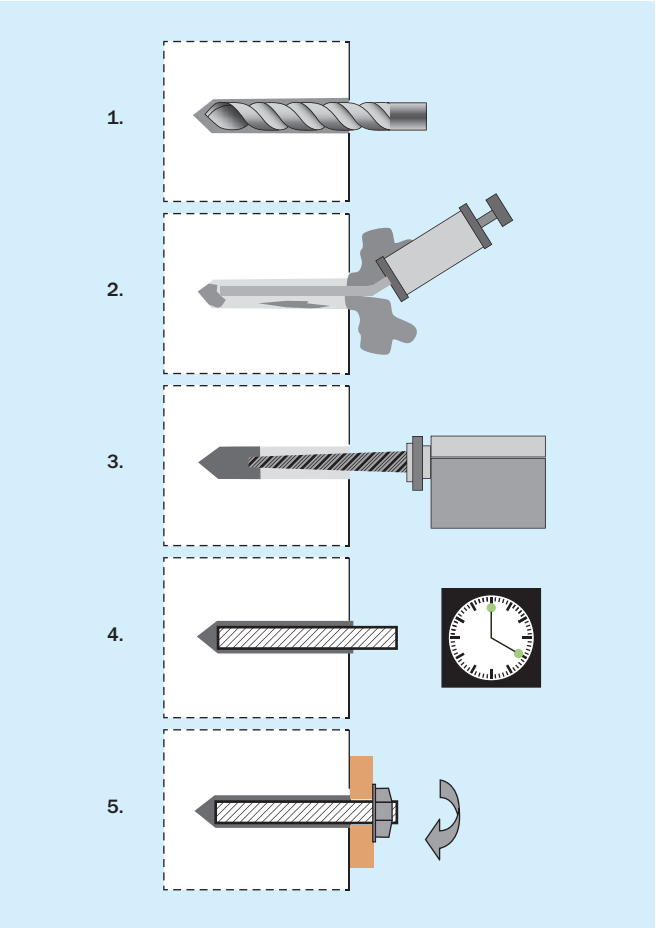


Bild 4 Montage eines Injektionsdübels als Vorsteckmontage

Nach dem Injizieren der erforderlichen Mörtelmenge wird die Gewindestange mit einer leichten Drehbewegung in das Bohrloch eingedrückt. Tritt am Bohrlochmund Mörtel aus, so wurde das Bohrloch ausreichend mit Mörtel verfüllt und die Montage korrekt ausgeführt. Die erforderliche Wartezeit bis zum Aufbringen der Last entspricht der angegebenen Aushärtezeit des Injektionsmörtels und ist von der Umgebungs- und Verankerungsgrundtemperatur abhängig. Je höher diese ist, desto kürzer ist in der Regel die Aushärte- und Verarbeitungszeit.

Um in Lochsteinen die Mörtelmenge zu begrenzen, müssen bei zugelassenen Systemen Siebhülsen verwendet werden. Beim Einpressen des Mörtels dringt dieser durch die Maschen der Siebhülse und bildet so im Hohlraum einen Formschluss aus. Die Siebhülse bildet mit dem Mörtel und der Ankerstange eine Einheit und darf nicht durch eine andere Siebhülse ausgetauscht werden, da die Maschengröße und Mörtelviskosität aufeinander abgestimmt sind. Dadurch wird die erforderliche Mörtelmenge auf ein Minimum begrenzt und dennoch eine hohe Tragfähigkeit gewährleistet (Bild 5).

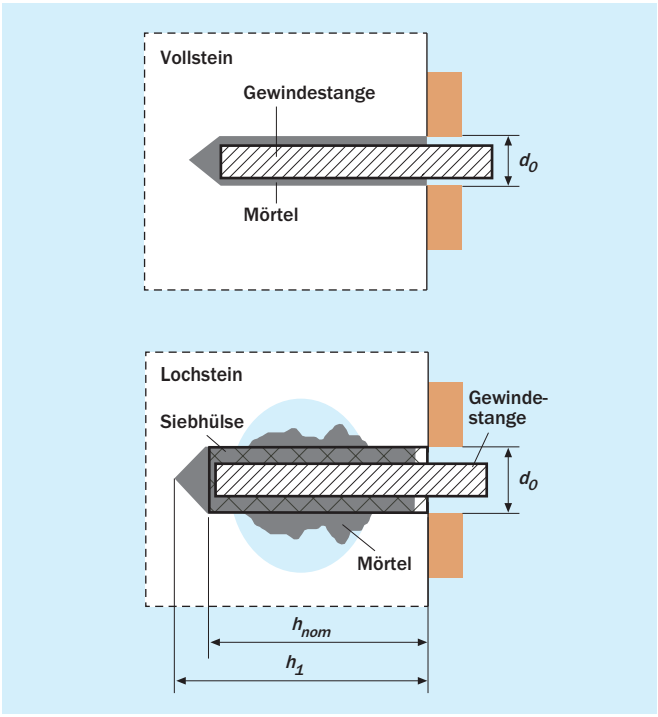


Bild 5 Injektionsdübel in KS-Vollstein und KS-Lochstein

Injektionsdübel werden oft in Vorsteckmontage verwendet. Hierbei werden zuerst die Dübel gesetzt und anschließend das Anbauteil, nach Ablauf der Aushärtezeit, befestigt (Bild 4). Bei größeren Anbauteilen mit mehreren Befestigungspunkten, wie z.B. Holzbalken kann dies aufgrund unvermeidlicher Toleranzen problematisch werden. Hier muss dann der Dübel in Durchsteckmontage oder mittels einer Setzschablone montiert werden.

Zugelassene Injektionsdübel, die in Durchsteckmontage verwendet werden können, sind speziell für diese Montageart entwickelt und hinsichtlich unterschiedlicher Anbauteildicken und Siebhülsenlängen flexibel.

Injektionsdübel tragen in KS-Lochsteinen die Lasten überwiegend durch Verbund und mechanische Verzahnung des Mörtels mit dem Mauerwerk in den Untergrund ab. Werden beim Bohren keine Hohlräume angeschnitten, werden die Lasten – wie in KS-Vollsteinen – nur durch die Klebewirkung (Verbund) zwischen Mörtel und Bohrlochwand in den Mauerwerksverband abgetragen (Bild 5).

INFO

Vorteil der Injektionssysteme ist die in der Regel höhere Tragfähigkeit und die Verwendbarkeit als Einzelverankerung.

2.3 Schraubanker

Schraubanker sind rein mechanische Verankerungselemente und leiten die Lasten durch einen Formschluss in den Untergrund ein. Schraubanker eignen sich grundsätzlich für KS-Vollsteinmauerwerk. Je nach Lochgeometrie ist jedoch auch eine Anwendung in KS-Lochsteinen möglich.

Schraubanker sind in der Regel einteilige Verankerungselemente aus oberflächengehärtetem Stahl und haben unterschiedliche Kopfausführungen, wie z.B. einem Senkkopf, einem Gewindeanschluss oder einem Sechskantkopf mit angepresster Scheibe.

Für die Montage wird ein zylindrisches Bohrloch erstellt, das einen geringeren Durchmesser aufweist als der Außendurchmesser des Schraubengewindes. Dadurch wird beim Eindrehen des Schraubankers ein Gewinde in den Kalksandstein geschnitten, in dem die Schraube formschlüssig verankert wird. In Bild 6 ist die Montage eines Schraubankers beispielhaft dargestellt.

Wichtig ist, dass der Schraubanker bei der Montage nicht überdreht. Durch das Einschneiden des Gewindes in den Untergrund, kann es bei einem Überdrehen dazu kommen, dass das eingeschnittene Gewinde zerstört wird. Dadurch wird die Tragfähigkeit sehr stark oder vollständig reduziert. Aus diesem Grund sind die maximalen, in der ETA oder der aBG angegebenen Drehmomente, unbedingt einzuhalten. Für die Montage mit einem Elektro- oder Schlagschrauber dürfen zudem nur die in der ETA oder aBG aufgelisteten Geräte verwendet werden. Der Grund hierfür ist, dass diese für die Montage überprüft wurden und ein Überdrehen der Schraube damit ausgeschlossen werden kann.

Nach der Montage kann der Schraubanker sofort voll belastet werden. Ein weiterer Vorteil der Schraubanker ist, dass diese im Vergleich zu Verbunddübeln zwar höhere Spreizkräfte entwickelt, diese aber im Vergleich zu herkömmlichen Spreizdübeln gering bleiben. Damit sind für Schraubanker auch sehr geringe Rand- und Achsabstände realisierbar.

INFO

Mit der Anwendung von Schraubankern sind sehr geringe Rand- und Achsabstände realisierbar.

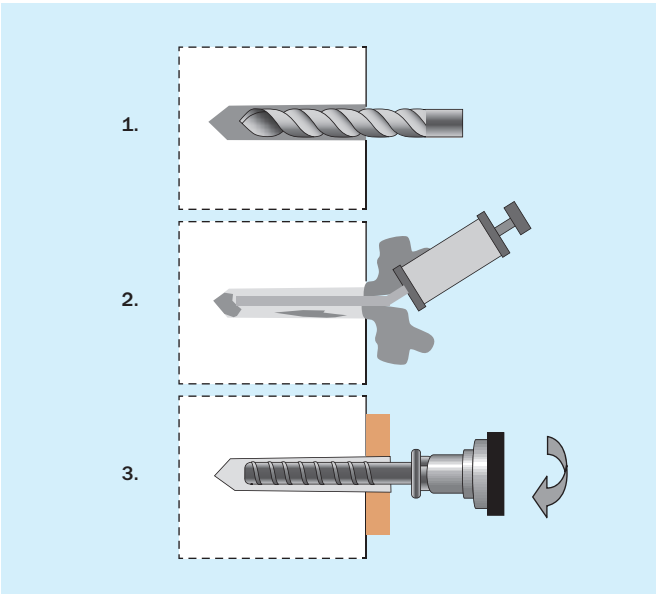


Bild 6 Montage eines Schraubankers als Durchsteckmontage

Durch das Einschneiden des Gewindes in Kalksandstein ist es zudem möglich, den Schraubanker ohne großen Aufwand zu demontieren. Einige Schraubanker sind auch für eine mehrmalige, kurzzeitige Anwendung zugelassen, wenn es sich um temporäre Befestigungen handelt. Durch teilweises Herausdrehen ist zudem eine Justierung der Verankerung möglich. Auch hierzu gibt es bereits Untersuchungen, die zeigen, dass Schraubanker hierfür grundsätzlich geeignet sind. Ob ein Schraubanker für eine mehrfache Anwendung oder eine Justierung geeignet ist, muss in der technischen Bewertung angegeben sein.

3. Sicherheitsanforderungen

Bei der Beurteilung einer Befestigung spielen Sicherheitsanforderungen eine sehr große Rolle. Grundsätzlich wird zwischen sicherheitsrelevanten und nicht sicherheitsrelevanten Anwendungen unterschieden.

Eine sicherheitsrelevante Anwendung liegt dann vor, wenn beim Versagen der Befestigung Gefahr für Leib und Leben besteht oder wesentliche wirtschaftliche Schäden zu erwarten sind. In solchen Fällen dürfen nur Befestigungen verwendet werden, wenn deren Verwendbarkeit durch

- eine allgemeine Bauartgenehmigung (aBG),
- eine europäisch technische Bewertung (ETA) nachgewiesen ist.

Alternativ kann die Verwendbarkeit auch durch eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) oder Baustellenversuche in Kombination mit einer allgemeine Bauartgenehmigung geregelt werden.

Definitionsgemäß sind Befestigungen von Fassadenunterkonstruktionen, Verankerungen von Sprinklersystemen oder von abgehängten Decken als sicherheitsrelevant einzustufen. Demgegenüber werden Befestigungen von Einrichtungsgegenständen (z. B. Hängeschränke, Regale, Lampen und Bilder) oder von Installationsleitungen (Wasser, Sanitär und Heizung) in Privatgebäuden in der Regel als nicht sicherheitsrelevant angesehen. Allerdings sollte auch hier überprüft werden, ob durch ein Versagen der Befestigung Menschenleben gefährdet sind. Im Zweifelsfall sollten auch für diese Anwendungen zugelassene Dübelsysteme verwendet werden. Ansonsten können solche Verankerungen nach handwerklichen Regeln ausgeführt werden. Auch wenn hier keine Anforderungen an die Verankerung gestellt werden, sollten die Grundprinzipien, die auch zugelassenen Dübeln zugrundliegen, beachtet werden.

Des Weiteren unterscheiden sich die Anwendungsbedingungen von Kunststoffdübeln von denjenigen von Verbunddübeln oder Schraubankern.

Kunststoffdübel sind auf Anwendungen mit Mehrfachbefestigungen und statisch unbestimmte Systeme beschränkt [4]. Dies sind in der Regel sogenannte „redundante Systeme“, bei denen im Falle eines Versagens oder einer übermäßig großen Verschiebung eines Verankerungspunktes nicht das Gesamtsystem versagt [1].

Gemäß europäischer Definition ist diese Lastumlagerung automatisch und ohne zusätzliche Nachweise gewährleistet, wenn die nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Das zu befestigende Bauteil wird mit mindestens drei Befestigungspunkten befestigt. (Ein Befestigungspunkt besteht dabei aus mindestens einem Dübel).
- Der Bemessungswert der Einwirkungen S_d pro Befestigungspunkt muss auf 3 kN begrenzt werden.
- Die Tragfähigkeit und ggf. Gebrauchstauglichkeit der Unterkonstruktion bei Ausfall eines Befestigungspunktes ist nachgewiesen.

Bei einer Vergrößerung der Anzahl der Befestigungspunkte von drei auf vier (oder mehr) darf der Bemessungswert der Einwirkungen vergrößert werden und beträgt maximal S_d = 4,5 kN.

Demgegenüber dürfen Verbunddübel und Schraubanker auch als Einzelverankerung verwendet werden, wenn bestimmte Anwendungsbedingungen wie Mindestverankerungstiefe oder Setzposition eingehalten werden.

In Europa gibt es eine sehr große Vielfalt an Mauerwerksbaustoffen, Steinformaten und Lochbilder. In den technischen Bewertungen (aBG, ETA) sind daher alle Voll- und Lochsteine beschrieben, für die die Verankerung zugelassen ist. Die angegebenen Werte gelten daher nur für die dort aufgeführten Steine. Dies betrifft vor allem die Angaben hinsichtlich des Formats, der Druckfestigkeit und des Lochbildes (d.h. Größe und Verteilung der Hohlräume).

4. Dübel für sicherheitsrelevante Befestigungen

4.1 Kunststoffdübel

Aufgrund der inzwischen großen Anzahl an unterschiedlichen Produkten und Steinarten können keine typischen Montagekennwerte und Lasten angegeben werden. Dies liegt auch daran, dass die Tragfähigkeit von sehr vielen Faktoren abhängt. Diese wird daher in der ETA oder aBG immer in Abhängigkeit der Montage- und Anwendungsbedingungen angegeben. Beispielsweise gelten die angegebenen Tragfähigkeiten in KS-Lochsteinen nur dann, wenn die Bohrlöcher mit dem vorgeschriebenen Bohrverfahren erstellt wurden. Diese Einschränkung hat den Hintergrund, dass beim Bohren mit Hammerwirkung die Stege der Lochsteine auf ihrer Rückseite deutlich stärker ausbrechen können als beim Bohren im Drehgang (Bild 7).

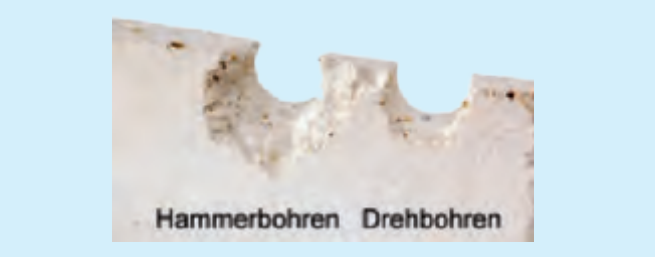


Bild 7 **Unterschiedliche Vorschädigung durch Dreh- und Hammerbohren**

Das zulässige Bohrverfahren ist daher immer in der europäisch technischen Bewertung angegeben.

Der erforderliche minimale Randabstand hängt davon ab, ob im Bereich der Verankerung eine Auflast vorhanden ist oder nicht. Hierbei ist aber zu beachten, dass eine Auflast auch eine ungünstige Auswirkung haben kann. Es sollte daher mindestens der Randabstand eingehalten werden, der sich ohne Auflast ergibt. Der minimale Randabstand ist daher immer in der europäisch technischen Bewertung angegeben und nimmt in der Regel mit einem größer werdenden Verankerungsdurchmesser zu.

Im Bereich von Stoßfugen ist zu beachten, dass die Tragfähigkeit der Kunststoffdübel nahezu halbiert werden muss. Bei Injektionsdübeln liegen die Abminderungen im Bereich von ca. 30 %. Zudem darf nur dann in der vermörtelten Stoßfuge verankert werden, wenn der Dübel hierfür geeignet ist und dies durch Versuche nachgewiesen wurde. Bei unvermörtelten Stoßfugen ist die Funktion des Dübels ebenfalls nachzuweisen.

In der Regel sind für Kunststoffdübel auch Temperaturbereiche angegeben, die einzuhalten sind (z.B. 50 °C/80 °C). Der geringere Wert entspricht der langzeitig im Mittel erlaubten Temperatur, der höhere Temperaturwert darf auch kurzzeitig nicht überschritten werden.

Wichtig für die Bemessung ist, dass die Tragfähigkeiten, die in der ETA oder aBG angegeben sind, nur für die dort aufgeführten Steine und Anwendungsbedingungen gelten.

Die wichtigsten einzuhaltenden Anwendungsbedingungen sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Mörtelklasse M 2,5 nach DIN 20000-412 entsprechen.
- Die Werte für KS-Vollsteine gelten für die in der Zulassung angegebenen Formate und Druckfestigkeiten sowie für alle größeren Formate und/oder Druckfestigkeiten.
- Die Werte für KS-Lochsteine gelten nur für die Formate und Lochbilder, die in der Zulassung beschrieben sind.
- Bei abweichenden Formaten und/oder Lochbildern sowie bei geringeren Druckfestigkeiten und/oder Rohdichten dürfen Versuche am Bauwerk durchgeführt werden.
- Bei Anwendungen in KS-Lochsteinen muss die erforderliche Verankerungstiefe eingehalten werden. Ist das nicht möglich, können Versuche am Bauwerk durchgeführt werden.
- Bei Mauerwerk ohne Vermörtelung der Stoßfugen ist der Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{Rd} = F_{Rk} / \gamma_M$ auf 2,0 kN zu begrenzen, um ein Herausziehen des Steins aus dem Mauerwerksverband zu verhindern. Auf diese Begrenzung darf verzichtet werden, wenn Mauersteine mit Nut-Feder-System verwendet werden oder das Mauerwerk mit Stoßfugenvermörtelung ausgeführt wird.
- Sind die Mauerwerksfugen nicht sichtbar, z.B. bei verputztem Mauerwerk, ist die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} zu halbieren.

Sind die Fugen zwar sichtbar, aber das Mauerwerk ist ohne Stoßfugenvermörtelung erstellt, dann darf die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} nur angesetzt werden, wenn der Mindestrandabstand gemäß ETA oder aBG auch zu den Stoßfugen eingehalten wird. Ist das nicht der Fall, muss die charakteristische Tragfähigkeit ebenfalls halbiert werden.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden der Kunststoffdübel zu entnehmen.

4.2 Injektionsdübel

Im Gegensatz zu Kunststoffdübeln dürfen Injektionsdübel in Kalksandsteinen als Einzelbefestigungen verwendet werden. Das bedeutet, die gesamte Last darf mit nur einem Dübel oder einer Dübelgruppe in den Ankergrund eingeleitet werden.

Wie bei Kunststoffdübeln hängt der erforderliche Randabstand davon ab, ob eine Auflast vorhanden ist oder nicht. Es gelten die gleichen Ausführungen wie für Kunststoffdübel.

Üblicherweise versagen Injektionsdübel durch Ausbrechen oder Herausziehen. Bei größeren Randabständen ist die Tragfähigkeit daher höher, da die Versagensfläche nicht durch den Steinrand beeinflusst wird. Übliche Randabstände liegen je nach Dübelgröße und Steinfestigkeit zwischen 5 cm und 20 cm.

Für Injektionsdübel sind eine Reihe weiterer Bedingungen einzuhalten. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Die maximale Last, die durch Einzeldübel oder eine Dübelgruppe in einen Stein eingeleitet werden darf, ist begrenzt. Dadurch soll verhindert werden, dass der belastete Stein als Ganzes aus dem Mauerwerksverband herausgezogen wird. Der entsprechende Nachweis ist nach der Bemessungsrichtlinie EOTA TR 054 [9] zu führen.
- Die Temperatur im Bereich des Injektionsmörtels darf den in der ETA oder aBG angegebenen Wert nicht überschreiten. Die angegebenen Temperaturbereiche sind analog zu den Kunststoffdübeln definiert.
- Bis zur Lastaufbringung sind produktabhängige Wartezeiten einzuhalten, die von der Temperatur im Ankergrund und vom Injektionssystem (Mörteltyp) abhängen.

Auch bei Injektionssystemen gelten die ermittelten Tragfähigkeiten nur für die in der ETA oder der aBG angegebene Bohrverfahren. Wird von dem angegebenen Bohrverfahren abgewichen, können Versuche am Bauwerk durchgeführt werden, um den charakteristischen Widerstand F_{Rk} für das abweichenden Bohrverfahren zu ermitteln.

Die Berechnung der Tragfähigkeit, insbesondere bei Vollsteinen, berücksichtigt alle möglichen Versagensarten. Die Versagensart mit dem rechnerisch geringsten charakteristischen Widerstand ist für die Bemessung maßgebend. Die Tragfähigkeiten gelten nur, wenn die in der ETA oder der aBG angegebenen Montagekennwerte und Anwendungsbedingungen eingehalten werden. Die wichtigsten einzuhaltenden Anwendungsbedingungen sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Mörtelklasse M 2,5 nach DIN 20000-412 entsprechen.
- Die Werte für KS-Vollsteine gelten für die in der Zulassung angegebenen Formate und Druckfestigkeiten sowie für alle größeren Formate und/oder Druckfestigkeiten.
- Die Werte für KS-Lochsteine gelten nur für Formate, Druckfestigkeiten und Lochbilder, die in der Zulassung beschrieben sind.
- Bei abweichenden Formaten und/oder Lochbildern sowie bei geringeren Druckfestigkeiten und/oder Rohdichten dürfen Versuche am Bauwerk durchgeführt werden.
- Der Gewindedurchmesser der Ankerstange muss mindestens 6 mm betragen.
- Die Verankerungstiefe muss mindestens 50 mm betragen.
- Die Wanddicke muss mindestens 100 mm betragen.

Der Fugeneinfluss ist wie folgt zu berücksichtigen:
Sind die Fugen des Mauerwerks nicht sichtbar (z.B. verputzte Wand), sind die charakteristischen Tragfähigkeiten auf 75 % abzumindern. Sind die Fugen des Mauerwerks sichtbar (z.B. bei einer unverputzten Wand) dürfen die in der Zulassung angegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten verwendet werden, wenn:

- die Stoß- und Lagerfugen planmäßig mit Mörtel verfüllt sind, oder
- der minimale Randabstand c_{min} auch zu den Stoßfugen eingehalten wird.

In allen anderen Fällen ist die Tragfähigkeit ebenfalls auf 75 % zu reduzieren.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung, sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen. Die früher vorgeschriebene Probebelastung von 3 % der verbauten Dübel entfällt, da die Anwendung nur noch in Voll- und Lochsteine zugelassen ist, die in der ETA oder der aBG aufgeführt sind. Diese Vorgehensweise entspricht der bei Kunststoffdübeln.

4.3 Schraubanker

Im Gegensatz zu Kunststoffdübeln dürfen Schraubanker auch in Kalksandstein als Einzelbefestigungen verwendet werden. Der erforderliche Randabstand zur freien Mauerwerkswand oder einer freien Fuge hängt bei Schraubankern in der Regel vom Bohrverfahren und dem Schraubendurchmesser ab.

Üblicherweise versagen Schraubanker durch Ausbrechen oder einem kombinierten Ausbrechen/Herausziehen. Bei größeren Randabständen ist die Tragfähigkeit daher höher, da die Versagensfläche nicht durch den Mauerwerksrand oder eine Fuge beeinflusst wird. Übliche Randabstände liegen zwischen 5 cm und 15 cm.

Für Schraubanker sind eine Reihe weiterer Bedingungen einzuhalten. Die Wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Nachweis für das Herausziehen eines Steines aus dem Verbund ist nach der Bemessungsrichtlinie EOTA TR 054 [9] zu führen.
- Im Vergleich zu Verbunddübeln und Kunststoffdübeln werden keine Temperaturbereiche angegeben. Hier gilt der allgemeine Temperaturbereich, der Temperaturen zwischen -40 °C und +80 °C abdeckt.
- Eine Anwendung in der Stoß- und Lagerfuge ist nur dann möglich, wenn diese untersucht wurde und entsprechende Regelungen in der ETA oder der aBG angegeben sind. Teilweise ist die zulässige Fugenbreite abhängig vom Schraubendurchmesser begrenzt.
- Der Nenndurchmesser des Schraubankers muss mindestens 6 mm betragen.
- Die Wanddicke muss mindestens 100 mm betragen.

Der Fugeneinfluss kann, anders als bei Verbunddübeln, nicht pauschal durch eine Abminderung berücksichtigt werden. Dieser hängt bei Schraubankern von mehreren Faktoren ab, ins-

besondere dem Schraubendurchmesser und der Fugenbreite. Daher sind in der ETA oder aBG jeweils Abminderungen für die Anwendung in Fugen angegeben. Diese müssen in den notwendigen Zulassungsversuchen ermittelt werden.

5. Bemessung

5.1 Zugbelastung

5.1.1 Herausziehen

Die charakteristische Tragfähigkeit bei Steinausbruch oder Herausziehen eines Dübels ist stark vom Dübeltyp abhängig. Zudem variiert diese abhängig von der Steinfestigkeit und der Stegdicke des KS-Voll- bzw. KS-Lochsteines. Daher kann diese Versagensart nicht ohne weiteres berechnet werden. Für Schraubanker und Kunststoffdübel wird daher die Last für die Versagensart Herausziehen immer in der ETA oder aBG angegeben.

In [6] sind die Grundlagen für eine überschlägige Berechnung für Verbunddübel aufgeführt. Der Wert ist aber in jedem Fall der ETA zu entnehmen. Die Berechnung des Verbundversagens für Injektionssysteme erfolgt mit folgender Gleichung:

$$N_{Rk,p} = \tau_{Rk} \cdot h_{ef} \cdot d_s \cdot \pi \qquad (5.1)$$

τ_{Rk}	Charakteristische Festigkeit des Verbundmörtels
h_{ef}	Verankerungstiefe
d_s	Durchmesser der Gewindestange

Die charakteristische Verbundfestigkeit des Mörtels kann dabei von der maximalen Anwendungstemperatur abhängen. Auch ein feuchter Untergrund während der Montage kann die Verbundfestigkeit reduzieren und sollte berücksichtigt werden. Nach den Ausführungen in [8] hat die Höhe der Auflast keinen wesentlichen Einfluss auf die Herausziehlasten und kann daher vernachlässigt werden.

5.1.2. Stahlversagen

Grundsätzlich hängt die Tragfähigkeit vom Querschnitt der Gewindestange bzw. der Schraube des Kunststoffdübels sowie der Stahlfestigkeit ab. Die charakteristische Tragfähigkeit kann damit wie folgt berechnet werden:

$$N_{Rk,s} = f_{uk} \cdot A_s \qquad (5.2)$$

f_{uk}	Nominelle charakteristische Stahlzugfestigkeit
A_s	Minimaler maßgebender Stahlquerschnitt

Da bei Schrauben, die in Kunststoffdübeln verwendet werden, der maßgebende Querschnitt nicht immer einfach zu ermitteln ist, wird die Tragfähigkeit ebenfalls in Versuchen ermittelt und in der ETA angegeben.

Bei Schraubankern ist zu beachten, dass diese an der Oberfläche gehärtet sind. Daher ist auch hier eine Berechnung der Stahltragfähigkeit nur bedingt möglich. Die Stahltragfähigkeit für Schraubanker ist daher ebenfalls der ETA oder der aBG zu entnehmen.

5.1.3 Steinausbruch

Zu einem Steinausbruch kommt es, wenn der Untergrund durch Rissbildung versagt. Dabei kommt es zu einem kegelförmigen, pyramidenförmigen Ausbruchkörper, der durch Ränder oder Aussparrungen begrenzt werden kann. Für Lochsteine ist eine allgemeingültige Berechnung der Steinausbruchlast nicht möglich, da der Spannungszustand im Untergrund von unzähligen Faktoren abhängt. Daher wird der Wert für Steinausbruch in Lochsteinen immer in der ETA oder der aBG angegeben.

Für Vollsteine nach DIN EN 771-2 [3] kann die Steinausbruchlast überschlägig berechnet werden. Es ist allerdings zu beachten, dass die Berechnungsmethode derzeit noch nicht vollständig abgesichert und daher nicht in den Zulassungen enthalten ist. Nach den derzeitigen Regelungen ist der in den Versuchen geprüfte Wert für die Versagensart Herausziehen des Dübels auch für das Versagen infolge Steinausbruch zu verwenden.

Nach [10], [11] kann die charakteristische Steinausbruchlast von Injektionsdübeln in Abhängigkeit der Steinsorte mit Gleichung 5.3 für Vollsteine ermittelt werden.

$$N_{Rk,b} = k \cdot f_{M,Netto} \cdot (h_{ef})^{1,5} \qquad (5.3)$$

k	Faktor für Steinversagen = 1,25
$f_{M,Netto}$	Nettodruckfestigkeit des Stein, die in der ETA angegeben ist.
h_{ef}	Verankerungstiefe

Bei Schraubankern errechnet sich die wirksame Verankerungstiefe h_{ef} analog für Beton, indem der Gewindeanlauf und die Schraubenspitze abgezogen werden.

5.1.4. Herausziehen eines Steines

Die Last bei Versagen infolge Herausziehens eines Steines aus dem Verband hängt von der zur Verfügung stehenden Scherfläche ab. Damit hängt der charakteristische Widerstand vom Steinformat ab und ob die Stoßfugen vermörtelt sind oder nicht. Sind diese nicht vermörtelt, können nur die Lagerfugenflächen für A_{Scher} angesetzt werden. Die Tragfähigkeit für ein Herausziehen des Steines aus dem Verband berechnet sich wie folgt:

$$N_{Rk,SA} = f_{vk} \cdot A_{Scher} \qquad (5.4)$$

Der Wert f_{vk} ist dabei die charakteristische Schubfestigkeit in den Mauerwerksfugen. Für Kalksandsteine kann ein Wert zwischen 0,10 N/mm² und 0,15 N/mm² angenommen werden. Vor allem bei kleinformatigen Steinen kommt es zu dieser Versagensart. Bei einer mechanischen Verzahnung der Steine (z.B. Nut-Feder-System) kann der Wert allerdings deutlich höher liegen.

5.1.5. Einfluss des Randes

Der Einfluss des Randes (z.B. der Steinrand im Bereich einer nicht vermörtelten Stoßfuge oder der Rand eines Wandelements) auf die Tragfähigkeit hängt von der Versagensart ab. Für reines Herausziehen oder Verbundversagen ist die Abminderung im Bereich eines Randes relativ gering, da hier der Untergrund wenig Einfluss auf das Versagen hat.

Für ein Versagen infolge Steinausbruch kann für KS-Vollsteine davon ausgegangen werden, dass die Last mit einem Randabstand geringer als $1{,}5 \cdot h_{ef}$ abnimmt. Die in der Zulassung angegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten beziehen sich daher immer auf den zugehörigen minimalen Randabstand c_{min}. Dieser Randabstand ist einzuhalten. Teilweise sind in der ETA und aBG auch Tragfähigkeiten für unterschiedliche Randabstände angegeben.

Gemäß den Vorgaben der ETAG 029 [2] ist für KS-Vollsteine der minimale Randabstand $c_{min} > 50$ mm oder $3d_0$ und für KS-Vollsteine der minimale Randabstand $c_{min} > 100$ mm oder $6d_0$, wobei d_0 der nominelle Bohrdurchmesser ist.

Grundsätzlich können im Rahmen der Qualifizierungsversuche auch geringere Randabstände untersucht werden. Hierzu liegen jedoch bisher nur vereinzelt Erfahrungen vor. Überschlägig kann die Tragfähigkeit für Steinausbruch linear im Verhältnis vom vorhandenen zum notwendigen Randabstand reduziert werden:

$$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot (c_1/c_{cr}) \cdot (0{,}7+0{,}3/c_{cr}) \qquad (5.5)$$

N^0_{Rk} Charakteristische Tragfähigkeit in der Steinmitte, wenn $c_1 > c_{cr}$
c_1 Vorhandener Randabstand
c_{cr} Notwendiger Randabstand, um die charakteristische Tragfähigkeit N^0_{Rk} zu erhalten.

Der Wert c_{cr} kann für Vollsteine zu ca. $1{,}5 \cdot h_{ef}$ angenommen werden. Für Lochsteine kann dieser derzeit nur experimentell ermittelt werden. Daher ist der entsprechende Wert immer einer ETA zu entnehmen.

5.1.6. Einfluss des Achsabstandes

Der Einfluss des Achsabstandes auf die Tragfähigkeit hängt von der Versagensart ab. Für reines Herausziehen oder Verbundversagen ist die Abminderung für nebeneinander angeordnete Verankerungen durch Versuche zu ermitteln. Bei Kunststoffdübeln ist die Abminderung relativ gering, bei Verbunddübeln kann diese hingegen größer ausfallen, wenn es zu einem sogenannten kombinierten Versagen aus Herausziehen mit Steinausbruch kommt.

Der Einfluss des Achsabstandes wird immer im Rahmen der Qualifizierungsversuche ermittelt und in der ETA oder aBG ein entsprechender Gruppenfaktor α_{gN} angegeben. Dabei wird zwischen Gruppenfaktoren $\alpha_{gN,\perp}$ und $\alpha_{gN,II}$ unterschieden. Die Richtung senkrecht ($\perp$) oder parallel (II) bezieht sich dabei auf die Anordnung der Gruppen bezogen auf die Lagerfuge (Bild 8).

Die charakteristische Tragfähigkeit einer Gruppe ergibt sich damit zu:

$$N^g_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \alpha_{gN,\perp} \cdot \alpha_{gN,II} \qquad (5.6)$$

N^0_{Rk} Charakteristische Tragfähigkeit eines Einzeldübels $s_\perp > s_{cr,\perp}$ und $s_{II} > s_{cr,II}$

Der Gruppenfaktor kann für KS-Vollsteine überschlägig wie folgt abgeschätzt werden:

$$\alpha_{gN,\perp} = (s_{,\perp}/s_{cr}) \qquad (5.7)$$

$$\alpha_{gN,II,II} = (s_{,II}/s_{cr}) \qquad (5.8)$$

Der Wert s_{cr} kann für Vollsteine zu ca. $3{,}0 \cdot h_{ef}$ (= $2 \cdot c_{cr}$) angenommen werden. Für Lochsteine kann dieser derzeit nur experimentell ermittelt werden. Daher ist der entsprechende Wert immer einer ETA zu entnehmen.

Wenn sich die Gruppe im Bereich eines Randes befindet, kann der Einfluss des Randes wie bei einem Einzeldübel berücksichtigt werden. Der anzunehmende Randabstand ist der minimale Abstand zum randnahen Dübeln der Gruppe. D. h. die Abminderung durch den Rand (c_1/c_{cr}) wird auf die Gruppentragfähigkeit N^g_{Rk} bezogen.

5.1.7. Einfluss von Fugen

Fugen können grundsätzlich wie Ränder behandelt werden. Insbesondere bei unvermörtelten Stoßfugen ist das Verhalten einer

$s_{cr,II}$ Abstand zwischen 2 Befestigungspunkten parallel zu Lagerfuge
$s_{cr,\perp}$ Abstand zwischen 2 Befestigungspunkten senkrecht zu Lagerfuge
$s_{min,II}$ Minimaler Achsabstand zwischen 2 Verankerungen innerhalb einer Gruppe parallel zu Lagerfuge
$s_{min,\perp}$ Minimaler Achsabstand zwischen 2 Verankerungen innerhalb einer Gruppe senkrecht zu Lagerfuge
c_{min} Minimaler Randabstand zur Stoßfuge oder zum Rand des Wandelements

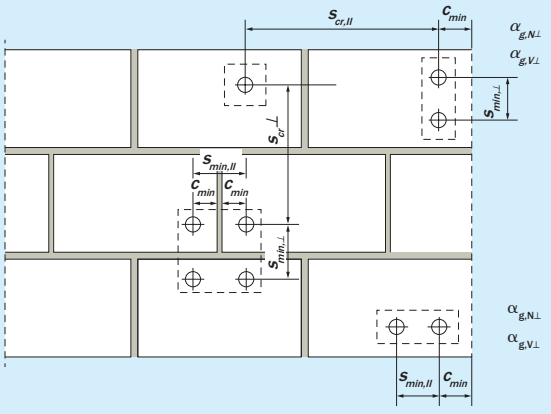


Bild 8 **Unterschiedliche Anordnungen von Gruppenverankerungen in KS-Mauerwerk [6]**

Verankerung vergleichbar mit dem Verhalten am freien Rand. Um die Bemessung zu vereinfachen und aufgrund dessen, dass die Fugen nicht immer sichtbar sind (z.B. verputztes Mauerwerk) wurde eine vereinfachte Regelung getroffen.

Für Kunststoffdübel darf bei sichtbaren Fugen die in der technischen Spezifikation angegebene charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} angesetzt werden. Voraussetzung ist, dass zu unvermörtelten Stoßfugen ein Abstand c_{min} eingehalten bzw. eine Abminderung durch den Randabstand berücksichtig wird. Gleiches gilt für Verbunddübel und Schraubanker.

Bei nicht sichtbaren Fugen (d. h. eine Montage des Dübels in der Fuge kann nicht ausgeschlossen werden) muss die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln auf 50 % reduziert ($0{,}5 \cdot F_{Rk}$) werden.

Verbunddübel haben eine davon abweichende Regelung. Hier sollte die Tragfähigkeit bei nicht sichtbaren Fugen auf 75 % reduziert ($0{,}75 \cdot F_{Rk}$) werden. Insbesondere kleine Durchmesser können aber zu einer größeren Abminderung führen. Daher ist diese durch Versuche zu ermitteln und wird als Faktor $\alpha_{j,V}$ in der ETA oder aBG angegeben.

Bei Schraubankern muss die Tragfähigkeit in der Fuge stets durch Versuche ermittelt werden. Daher wird die Abminderung $\alpha_{j,V}$ für eine bestimmte maximale Fugenbreite in der ETA oder aBG angegeben. Ist kein Wert angegeben, so darf der Schraubanker nicht in der Fuge montiert werden.

5.2 Querbelastung

5.2.1 Lokales Steinversagen

Die charakteristische Tragfähigkeit bei lokalem Steinversagen ist vom Durchmesser des Dübels, der Steinfestigkeit sowie der Stegdicke des KS-Voll- bzw. KS-Lochsteines abhängig. Daher kann diese Versagensart nicht ohne weiteres berechnet werden. Der Wert wird daher immer in einer ETA oder aBG angegeben.

5.2.2. Stahlversagen

Bei einer Querbelastung eines Dübels kann es zu einem Versagen infolge Stahlbruch der Schraube bzw. der Gewindestange kommen. Die charakteristische Tragfähigkeit kann wie folgt berechnet werden.

$$V_{Rk,s} = \alpha_s \cdot f_{uk} \cdot A_s \qquad (5.9)$$

α_s	Faktor zur Berücksichtigung der Querbelastung
f_{uk}	Nominelle charakteristische Stahlzugfestigkeit
A_s	Minimaler maßgebender Stahlquerschnitt

Der Faktor α_s berücksichtigt die Spannungsverteilung in Querlastrichtung und beträgt in der Regel 0,35 bis 0,5. Da der Faktor α_s und der maßgebende Querschnitt A_s nicht immer einfach zu ermitteln sind, wird die Tragfähigkeit ebenfalls in Versuchen ermittelt. Dies gilt insbesondere für Kunststoffdübel und Schraubanker.

5.2.3. Herausziehen eines Steines

Die Ausführungen in 5.1.3 zum Herausziehen des Steines bei einer zentrischen Zugbelastung gelten auch für das Herausziehen des Steines aus dem Verband infolge einer Querbelastung, wobei nur die aktivierten Schubflächen berücksichtigt werden.

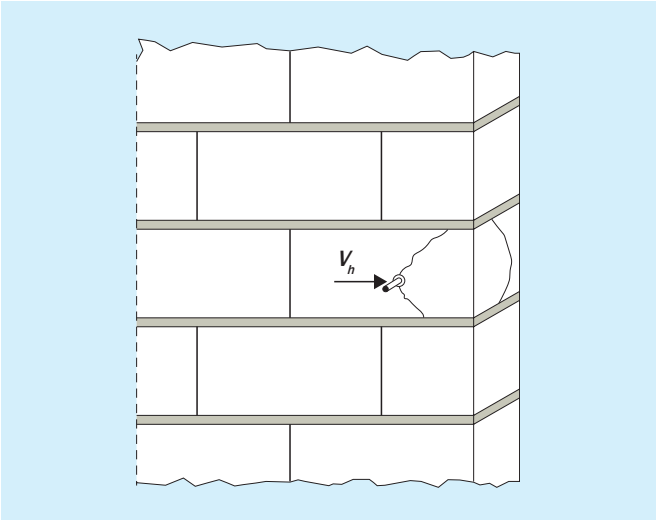


Bild 9 **Steinkantenbruch am Mauerwerksrand [7]**

5.2.4. Steinkantenbruch am Rand

Unter Querbelastung kann bei Vollsteinen ein Steinkantenbruch auftreten. Hierbei bildet sich ein typischer Bruchkegel am Rand.

Die charakteristische Tragfähigkeit kann in Vollsteinen wie folgt berechnet werden:

$$V_{Rk,c} = k \cdot (d_{nom} \cdot f_{bk})^{0,5} \cdot c_1^{1,5} \cdot (h_{nom}/d_{nom})^{0,2} \qquad (5.10)$$

k	Faktor für Querlastrichtung
h_{nom}	Wirksame Länge
d_{nom}	Durchmesser der Verankerung
f_{bk}	Charakteristische Steinfestigkeit
c_1	Vorhandene Randabstand

Der Faktor k berücksichtigt die Querlastrichtung und beträgt in der Regel 0,25 bei Belastung zum freien Rand (siehe Bild 9) und 0,45 bei Belastung parallel zum freien Rand. Die Werte h_{nom} und d_{nom} sind die wirksame Länge und der Durchmesser des Dübels, f_{bk} die Steinfestigkeit und c_1 der vorhandene Randabstand. Als wirksame Länge kann für die meisten Verankerungselemente h_{ef} angenommen werden.

Es ist zu beachten, dass $c_1 > c_{min}$ erfüllt sein muss. Bei Gruppen muss die Tragfähigkeit unter Verwendung der Gruppenfaktoren $\alpha_{gV,\perp}$ bzw. $\alpha_{gV,II}$ berechnet werden. Die Vorgehensweise entspricht derjenigen bei Zugbelastung.

Bei Kunststoffdübeln ist zu beachten, dass $V_{Rk,c}$ auf die Herausziehlast $N_{Rk,p}$ limitiert wird, da in der technischen Spezifikation nur ein Wert F_{Rk} für alle Lastrichtungen angegeben wird und es theoretisch auch bei einer Querbelastung zu einem Herausziehen kommen kann.

Für Lochsteine muss der Wert über Versuche ermittelt werden. Eine Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit ist derzeit nicht möglich. Für senkrecht zum Rand belastete Verbund-

dübel kann nach [7] für $c_1 > 100$ mm eine Tragfähigkeit von $V_{Rk,c} = 1{,}25$ kN und für $c_1 > 250$ mm eine Tragfähigkeit von $V_{Rk,c} = 2{,}5$ kN angenommen werden. Für eine Belastung parallel zum freien Rand kann für $c_1 > 100$ mm generell eine Tragfähigkeit von $V_{Rk,c} = 2{,}5$ kN angenommen werden. Beispiele für die Bemessung von Verankerungen in KS-Steinen sind auch in [5] aufgeführt.

6. Baustellenversuche

6.1 Allgemeines

Gemäß der Empfehlung für die „Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bauwerk mit Injektionsankern“ können Baustellenversuche durchgeführt werden, um abweichende Anwendungsbedingungen nachträglich abzuprüfen [12]. Grundsätzlich sind dort drei Möglichkeiten für die Untersuchungen am Bau geregelt:

- Auszugsversuche,
- Probebelastung und
- Abnahmeversuche

Die Dübel dürfen nur dann auf der Baustelle getestet werden, wenn diese eine ETA oder aBG besitzen. Grund hierfür ist, dass auf der Baustelle der Dübel unter Standard- und unter Kurzzeitbedingungen geprüft wird. Im Bewertungsverfahren werden zusätzlich Einflüsse wie erhöhte Temperatur, Feuchte, wiederholte Belastung usw. untersucht und beurteilt. Die durch solche Einflüsse veringerten Tragfähigkeiten müssen in jedem Fall berücksichtigt werden. Daher wird in den europäisch technischen Bewertungen eine Abminderung β angegeben, die genau solche Einflüsse berücksichtigt.

6.2. Durchführung

Die Anzahl der zu untersuchenden Dübel sowie die Stelle, an der die Verankerungen geprüft werden muss, sind durch den Versuchsleiter oder Gutachter festzulegen und müssen an das Bauwerk angepasst werden. Grundsätzlich sollen die ausgewählten Prüfstellen repräsentativ sein, so dass zuverlässige Angaben über die charakteristische Tragfähigkeit des Dübels für das gesamte Bauwerk vorliegen. Die Versuche sollten auch die ungünstigsten Bedingungen bei der anschließenden praktischen Ausführung berücksichtigen.

Wenn Steine, die auch im Bauwerk verbaut sind, für Laborversuche zur Verfügung stehen, können die Versuche auch unter Laborbedingungen durchgeführt werden. Um ungünstige Bedingungen abzudecken sind hier jedoch gesonderte Überlegungen notwendig, allerdings sind der Versuchsablauf und der Versuchsaufwand deutlich geringer als in Situ.

Folgende Bedingungen sollten bei Versuchen am Bauwerk eingehalten werden:

- Die Last sollte bei allen Versuchen rechtwinklig zur Oberfläche des Mauerwerks aufgebracht werden.
- Eine Einspannung am Dübel ist zu vermeiden.
- Der lichte Abstand der Abstützung der Versuchseinrichtung auf dem Mauerwerk sollte mindestens 150 mm betragen (für $h_{ef} < 75$ mm).
- Bei großen Verankerungstiefen muss im Einzelfall die Abstützweite vergrößert werden.

Bei den Auszugsversuchen ist die Belastung langsam und stetig zu steigern, bis die Bruchlast erreicht wird (ca. 1 Minute). Bei der Probebelastung und dem Abnahmeversuch ohne Versagen, muss die Last stufenweise erhöht werden, bis die notwendige Probelast erreicht wird.

6.3. Auswertung

Die Auswertung der Auszugversuche erfolgt nach den in der ETA angegebenen Verfahren. Zudem kann ein vereinfachtes Verfahren angewandt werden. Dies gilt jedoch nur für fünf oder mehr Versuche. Die charakteristische Tragfähigkeit ergibt sich dann aus der folgenden Gleichung:

$$N_{Rk} = 0{,}5 \cdot N_1 \cdot \beta \qquad (6.1)$$

N_1	Mittelwert aus den fünf kleinsten Versuchen
β	Abminderungsfaktoren nach ETA oder aBG

Der Wert N_1 ist der Mittelwert der fünf kleinsten Versuchslasten aus allen durchgeführten Versuchen (mindestens 15 Versuche). Der Faktor β ist die Abminderung, die sich aus weiteren ungünstigen Faktoren (z.B. Dauerlast, erhöhte Temperatur usw.) ergibt. Dieser Faktor ist in der ETA oder aBG angegeben. Grundsätzlich kann immer eine statistische Auswertung vorgenommen werden, wenn fünf oder mehr Versuche vorliegen. Die charakteristische Tragfähigkeit ergibt sich dann aus der folgenden Gleichung:

$$N_{Rk} = (N_{um} - k_s \cdot s) \cdot \beta \qquad (6.2)$$

N_{um}	Mittelwert aus allen Versuchen
k_s	Statistikfaktor zur Berücksichtigung der Anzahl der Versuche
s	Standardabweichung aller Versuche
β	Abminderungsfaktoren nach ETA oder aBG

Der Wert k_s ist der Statistik-Faktor nach Owen [13]. Für fünf Versuche beträgt dieser 3,41 und für zehn Versuche 2,57.

7. Befestigungen für Fenster

Im Bereich der einbruchhemmenden Fenstermontage werden die mechanischen Angriffe auf die Befestigungsmittel untersucht und geprüft. Diese Anforderungen können bisher nicht über eine ETA oder aBG abgedeckt werden.

Für die statischen Einwirkungen auf ein Fenster aus Wind- und Nutzlast können die Verankerungen theoretisch nach ETA oder aBG nachgewiesen werden. Dazu müssen die Dübel auf der Seite des Kalksandsteines geprüft sein, die sich später im Bereich der Fensterlaibung befindet. Ist ein solcher Wert in der ETA oder aBG angegeben, kann dieser für den Nachweis verwendet werden.

Für die Bemessung müssen die Einwirkungen auf den jeweiligen Dübel bekannt sein. Diese hängen jedoch von sehr vielen Parametern ab, wie z.B. der Art der „Verklotzung“, der Fensterrahmensteifigkeit, dem Lastfall (geschlossenes Fenster, offenes Fenster, leicht geöffnetes Fenster) und der Konstruktion des Verankerungspunktes.

Für die Verankerung der Fenster selbst gibt es mehrere Möglichkeiten. Dies ist z.B. die direkte Verankerung mit Rahmendübeln oder die indirekte Verankerung mittels Laschen, Winkeln und Konsolen. Bei der direkten Verankerung werden die Lasten vom Fensterrahmen direkt in den Untergrund eingeleitet. Für den Fall der indirekten Verankerung werden die Winkel und Laschen am Fenster und am Untergrund befestigt, wobei für die Befestigung am Untergrund grundsätzlich die oben beschriebenen Verankerungen (Schraubanker, Kunststoffdübel und Verbunddübel) Dübel verwendet werden.

Im Bereich von absturzsichernden Verankerungen für Fenster gibt es den Leitfaden für absturzsichernde Verglasungen [14], in dem weitergehende Anforderungen an die Verankerung gestellt werden. In der Regel handelt es sich dabei um bodentiefe Fenster, bei denen Einwirkungen durch Personenanprall möglich sind und die über kein Geländer oder andere absturzsichernde Maßnahmen verfügen, um diese Lasten aufzunehmen. In diesem Fall sind je Fensterseite mindestens zwei absturzsichernde Fensterelementbefestigungen anzuordnen. Die Befestigung der Lasche am Fensterprofil mit Bohrschrauben für das jeweilige Rahmenprofil ist separat nachzuweisen oder muss durch eine entsprechende Zulassung (aBG) abgedeckt sein.

Für die Einwirkung sind die Kräfte auf die Verankerungsmittel als Querkräfte in Stoßrichtung anzunehmen. Der Nachweis kann für den Fall eines harten Stoßes pauschal dadurch erfolgen, dass für die Verankerung ein Widerstand von 2,8 kN nachgewiesen wird. Weitere Ausführungen hierzu sind in [14] enthalten. Im Zweifelsfall sollten aber Stoßprüfung nach DIN EN 13049 [15], nach DIN 18008-4:2013-07 [16] mit Fenstern inklusive deren Verankerung im Mauerwerk durchgeführt werden.

INFO
Kalksandstein ist ein idealer Befestigungsgrund.

8. Befestigungen von Vorhangfassaden

Die Anforderungen für Verankerungen von Fassaden ergeben sich aus der Unterkonstruktion, der Belastung und den Toleranzanforderungen. Fassaden sind aufgrund ihrer Konstruktion in der Regel redundante Systeme, so dass für die Verankerung neben Verbunddübeln und Betonschrauben auch Kunststoffdübel zulässig sind [4].

Die Anwendung und Bemessung der Verankerungen im Mauerwerk unterscheiden sich jedoch nicht von Verankerungen für andere Anwendungen. Auch die Ermittlung der Tragfähigkeit und die Bemessung der Verankerungspunkte sind identisch, so dass alle zugelassenen Verankerungssysteme mit einer ETA oder aBG für die Verankerungen von Fassaden in KS-Mauerwerk verwendet werden können.

9. Befestigungen im Brandfall

Werden Befestigungen einer Brandbelastung ausgesetzt, kann es zu einem Versagen des Untergrundes oder einem Versagen der Verankerung selbst kommen. Um das Tragverhalten unter Brandbelastung zu beurteilen, wird in Brandversuchen die Dauer bis zu einem Versagen ermittelt und ausgewertet.

Sowohl Kunststoffdübel als auch Verbunddübel haben eine ausgeprägte Temperaturempfindlichkeit und sind nur unter bestimmten Randbedingungen für den Brandfall geeignet. Dies liegt daran, dass der Verbundmörtel und die verwendeten Kunststoffe bereits bei Temperaturen zwischen 80 °C und 120 °C schmelzen und ihre Festigkeit vollständig verlieren. Die Temperaturen im Bauteilinneren können aber auch unter Brandbelastung unterhalb dieser Grenze bleiben, da die Temperaturleitfähigkeit von KS-Mauerwerk gering ist.

Für Verbunddübel kann die Verankerungstiefe ohne großen Aufwand erhöht werden, um die Brandtragfähigkeit positiv zu

beeinflussen. Die Tragfähigkeit von Verbunddübel unter Brand ist jedoch sehr produktabhängig, so dass keine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann. Für eine grobe überschlägige Abschätzung kann für R60 eine Verbundfestigkeit von ca. $\tau_{fi} = 2$ N/mm² angenommen werden. Die Verankerungstiefe sollte aber im oberen Bereich um ca. 40 mm reduziert werden, da in diesem Bereich der Mörtel verbrennen bzw. es zu Steinabplatzungen kommen kann.

Schraubanker bestehen aus Stahl und weisen im Brandfall eine höhere Tragfähigkeit auf. Im Brandfall kann für eine Branddauer von 60 Minuten eine Stahltragfähigkeit von $\sigma_{fi} = 8$ N/mm² angenommen werden. Bei Schraubankern kann es auch zu einem Versagen des Untergrundes kommen. Für dieses Versagen liegen für Kalksandvollsteine teilweise Versuche vor. Diese zeigen, dass die Tragfähigkeit im Brandfall durch eine Abminderung der Tragfähigkeit bei 20 °C wie folgt ermittelt werden kann:

$$N_{Rk,fi} = 0{,}7 \cdot 0{,}25 \cdot N_{Rk,20C} \text{ bis R90} \quad (6.3)$$

$$N_{Rk,fi} = 0{,}7 \cdot 0{,}20 \cdot N_{Rk,20C} \text{ für R120} \quad (6.4)$$

Der Faktor 0,7 berücksichtigt, dass der Stein unter Brandbelastung reißt und sich der Schraubanker damit im Riss befindet. Für das Versagen des Untergrundes unter Querbelastung gilt entsprechend:

$$V_{Rk,fi} = 0{,}7 \cdot 0{,}25 \cdot V_{Rk,20C} \text{ bis R90} \quad (6.5)$$

$$V_{Rk,fi} = 0{,}7 \cdot 0{,}20 \cdot V_{Rk,20C} \text{ für R120} \quad (6.6)$$

In den oben aufgeführten Gleichungen sind für $N_{Rk,20°C}$ und $V_{Rk,20°C}$ die geringsten Werte aller maßgebenden Versagensarten bei Raumtemperatur anzusetzen.

Literatur

[1] EAD 330747-00-0601, Fasteners for use in concrete for multiple use for non-structural systems.

[2] Europäische Organisation für Technische Zulassungen: ETAG 029, Metal Injection Anchors for use in Masonry, Brüssel, April 2013

[3] DIN EN 771-2: Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine; Deutsche Fassung EN 771-2:2011

[4] EAD 330284-00-0604 „Plastic anchors for redundant non-structural systems in concrete and masonry“ (Ersatz für ETAG 020)

[5] W. Jäger, Mauerwerk-Kalender 2012, Dübeltechnik praxisnah, Teil 1: Grundlagen und Bemessungsbeispiele für Befestigungen in Mauerwerk, Ernst und Sohn 2012.

[6] Meyer, A.: Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln in Mauerwerk. Dissertation, Universität Stuttgart, 2005.

[7] Welz, G: Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln unter Querlast in Mauerwerk, Dissertation, Universität Stuttgart 2011

[8] Schild, K.: Zur Bemessung von Injektionsverankerungen in Mauerwerk. Dissertation, Universität Bochum 2002.

[9] TR 054, Design methods for anchorages with metal injection anchors for use in masnonry, EOTA Brüssel, April 2016

[10] Stipetić, M.: Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln in ungerissenem und gerissenem Mauerwerk. Dissertation, Universität Stuttgart, 207

[11] Hofmann, J. und Welz, G.: Tragverhalten und Bemessung von Injektionsdübeln in Mauerwerk, Mauerwerk-Kalender 2017

[12] DIBt; Technische Regeln im Bereich Befestigungstechnik und Bewehrungstechnik 22.01.2021

[13] Owen, D. B.: Handbook of statistical tables. Addison Wesley Publishing Company, 1968.

[14] ETB – Richtlinie “Bauteile, die gegen Absturz sichern”; Juni 1985

[15] DIN EN 13049:2003-08, Fenster – Belastung mit einem weichen, schweren Stoßkörper – Prüfverfahren, Sicherheitsanforderungen und Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 13049:2003

[16] DIN 18008-4: 2013-07, Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 4: Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen

Bildnachweise

Bild S. 424, Bild S. 437: Stefan Witte
Bild 1: Xella Deutschland GmbH;
Bild 2: Atelier Kinold;
Bild 7: Adolf Würth GmbH & Co. KG;

Kapitel 16

SPEZIELLE ANWENDUNGSBEREICHE

Stand: 08/2025

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Durch die umfangreiche Formatpalette und die breite Spanne der Festigkeits- und Rohdichteklassen des Kalksandsteins bietet KS-Mauerwerk vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Hoch- und Tiefbau. Neben den klassischen Bauaufgaben im Wohn- und Industriebau ist Kalksandstein aufgrund seiner umweltgerechten Herstellung und seiner spezifischen Eigenschaften auch für besondere Anwendungsbereiche vorzüglich geeignet.

1. Kalksandstein im Erdreich

Seit Jahrzehnten haben sich Fundamentmauerwerke aus Kalksandstein in den deutschen Heide- und Moorgebieten hervorragend bewährt. Der Kalksandstein hat sich im Laufe von mehr als 100 Jahren als solider, dauerhafter Mauerstein für den Fundamentbau etabliert.

Ohne Abdichtung ist KS-Mauerwerk auch dann außerordentlich beständig, wenn es ungeschützt im Erdreich angeordnet wird und wenn es ganz oder teilweise im Grundwasser steht. In einer über 20 Jahre laufenden Versuchsreihe wurde das Verhalten und die Widerstandsfähigkeit von unverputztem KS-Mauerwerk untersucht. Die Versuchswände befanden sich im Grundwasserbereich, in der Wasserwechselzone (Überschwemmungsgebiet) sowie oberhalb des Grundwasserspiegels. Die Auswertungen nach jeweils 2, 5, 10 und 20 Jahren ergaben, dass bei den Wandteilen sowohl unterhalb als auch oberhalb des Grundwasserspiegels die Steindruckfestigkeiten nahezu unverändert hoch blieben. Optische Schäden oder Gefügestörungen sind bei nicht aggressivem Wasser in keinem Fall aufgetreten.

Bei wechselndem Grundwasserstand ist die Beanspruchung deutlich größer als bei konstantem Grundwasserpegel. Neben der optischen Beschaffenheit ist die Steindruckfestigkeit ein wichtiges Hilfsmittel zur Bewertung der Einwirkungen aggressiver Medien. Kalksandsteine hoher Steinrohdichteklassen – Vollsteine – die im Fundamentbereich üblicherweise Verwendung finden, sind deutlich widerstandsfähiger als Lochsteine.

Es bestehen daher keine Bedenken, wenn Kalksandsteine über längere Zeit hin im Erdreich oberhalb oder unterhalb des Grundwasserspiegels eingesetzt werden – vorausgesetzt es liegen keine aggressiven Medien (Wässer bzw. Böden) vor und es werden geeignete Mauermörtel (mind. M 10) verwendet.

Es wird empfohlen:

- Für ungeschütztes Mauerwerk im Erdreich grundsätzlich KS-Vollsteine der Festigkeitsklasse ≥ 20 einzusetzen und
- im Frostbereich frostwiderstandsfähige KS-Vollsteine zu verwenden.

Keller werden seit fast 100 Jahren aus Kalksandstein gebaut. Im Laufe der Zeit haben sich die Anforderungen an die Abdichtung von Kellerräumen in Folge der höherwertigeren Nutzung geändert. Die Anordnung der Abdichtung auf der Erdseite ist daher heute allgemein üblich und stellt die Regel der Technik dar.

2. Kabelabdeckungen

Die Verwendungsfähigkeit von Mauersteinen für die Abdeckung von Hoch- und Niederspannungskabeln im Erdreich hängt wesentlich davon ab, ob aus den Steinen durch in das Erdreich eindringende Feuchtigkeit Salze herausgelöst werden, die auf Blei bzw. Aluminium angreifend wirken. In einer umfangreichen Versuchsreihe der Materialprüfanstalt Berlin-Dahlem wurden zur Absicherung bereits vorliegender guter Erfahrungen mit Kalksandstein Langzeit-Prüfungen zur Untersuchung dieser Kriterien durchgeführt. Es wurden Blei- und Aluminiumbleche bis zu einer Versuchsdauer von einem Jahr Lösungen ausgesetzt, die aus Kalksandstein unter Feuchteeinwirkung (z.B. Regen) wasserlösliche Stoffe transportierten. Selbst unter den besonders starken Korrosionsbeanspruchungen der Auslaugungsversuche im Feuchtelagergerät mit erheblichem Temperaturwechsel und starker Tauwasserbildung auf den Proben erfolgten keine stärkeren Abtragungen oder örtliche Anfressungen an Blei und Aluminium. Die Lebensdauer von Kabelmänteln oder dergleichen aus diesen Metallen wird nicht herabgesetzt, so dass Kabelabdeckungen aus Kalksandsteinen besonders geeignet sind. Für diese Zwecke sind seit Jahrzehnten von der Deutschen Post und von Versorgungsunternehmen überall im Land Kalksandsteine mit Erfolg eingesetzt worden, vorzugsweise als KS-Vollsteine im Format DF/NF.

3. Aggressive Medien

Wässer und Böden können Mauerwerk und Beton angreifen, wenn sie freie Säuren, Sulfide (Salze des Schwefelwasserstoffes), Sulfate (Salze der Schwefelsäure), bestimmte Magnesiumsalze (Magnesiumsulfat und Magnesiumchlorid), Ammoniumsalze und bestimmte organische Verbindungen (Fette, Öle) enthalten [1].

Darüber hinaus wirken Wässer angreifend, wenn sie besonders weich sind. Die Wasserhärte wird nach DIN 38409-6 [2] angegeben. Neben der alt hergebrachten Bezeichnung °dH (Grad Deutsche Härte) hat sich mittlerweile der Anteil an Erdalkalien bzw. Calciumcarbonat in mmol/l durchgesetzt (Tafel 1).

Hartes Wasser enthält größere Mengen an Erdalkalisalzen, vorwiegend gelöste Ca- und Mg-Salze. Weiches Wasser enthält wenig Erdalkalisalze.

Alle weichen Wässer enthalten freie Kohlensäure, da diese das in der Luft enthaltene Kohlendioxid (CO_2) zu freier Kohlensäure (H_2CO_3) binden, sie reagieren daher sauer mit pH-Werten von 4,8 bis 5.

Der pH-Wert ist die Größe, die die Azidität (Säuregehalt) oder die Alkalität (Laugengehalt) eines Mediums beschreibt.

- pH < 7 sauer
- pH = 7 neutral
- pH > 7 basisch (alkalisch)

Saure Wässer, d.h. Wässer mit freien Säuren – pH < 7 –, greifen Mauerwerk und Beton an.

Auch Gase können in Verbindung mit Feuchtigkeit Mauerwerk und Beton angreifen, wenn sie Schwefelwasserstoff oder Schwefeldioxid enthalten. Schwefelwasserstoff kommt insbesondere in Faulgasen (Kanalanlagen) vor, Schwefeldioxid insbesondere in Rauchgasen. Beide Gase werden bei gleichzeitiger Anwesenheit von Feuchtigkeit und Luft zu Schwefelsäure oxidiert, es kommt zu entsprechenden Schädigungsreaktionen.

Grundwasser enthält oft kalklösende Kohlensäure, Sulfat, Magnesium, Schwefelwasserstoff und Ammonium. Angreifende organische Verbindungen kommen in höherer Konzentration nur in solchen Gewässern vor, die durch Abwässer verunreinigt sind. Zur Beurteilung des aggressiven Charakters eines Baugrundes genügt im Allgemeinen die Prüfung von Wasserproben. Äußere Merkmale angreifender Wässer sind häufig: dunkle Färbung, Ausscheidung von Gips und anderen Kristallen, fauliger Geruch, Aufsteigen von Gasblasen sowie saure Reaktion (Rotfärbung von blauem Lackmuspapier). Die chemische Wasseranalyse ist die sicherste Methode, angreifende Bestandteile festzustellen. Sie sollte bei der Errichtung von Bauwerken im Grundwasserbereich immer durchgeführt werden.

Tafel 1 Einteilung der Wasserhärte nach dem Wasch- und Reinigungsmittelgesetz

Härtebereich	[°dH]	[mmol/l]
weich	0 – 8,4	0 – 1,5
mittelhart	8,4 – 14,0	1,5 – 2,5
hart	> 14,0	> 2,5

Bei der Untersuchung von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung werden nach DIN 4030 die folgenden Werte/Eigenschaften bestimmt:

- pH-Wert
- Geruch
- Kaliumpermanganatverbrauch
- Gesamthärte
- Carbonathärte
- Magnesium
- Ammonium
- Sulfat
- Chlorid
- Kalklösende Kohlensäure

Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Böden und Wässern nach DIN 4030 enthält Tafel 2.

Bei stark und sehr stark angreifenden Wässern und Böden ist das Mauerwerk entsprechend zu schützen. Seewasser aus Nord- und Ostsee ist als stark bis sehr stark angreifend einzustufen. Nicht zuletzt wirkt sich der hohe Chloridgehalt negativ aus.

Tafel 2 Grenzwerte / Angriffsgrad von Böden und Wässern nach DIN 4030

	Angriffsgrad		
	schwach	stark	sehr stark
pH-Wert	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	< 4,5
Kalklösende Kohlensäure (Heyer-Versuch) [mg CO_2/l]	15 – 40	40 – 100	> 100
Ammonium-Ionen [NH_4^+/l]	15 – 30	30 – 60	> 60
Magnesium-Ionen [Mg^{2+}/l]	300 – 1.000	1.000 – 3.000	> 3.000
Sulfat-Ionen [SO_4^{2-}/l]	200 – 600	600 – 3.000	> 3.000

4. Strahlenschutz in Gebäuden

Der vorbeugende Schutz vor technisch erzeugter Strahlung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Gerade die Tatsache, dass Gefährdungspotenziale und Risiken für den Menschen noch nicht ausreichend wissenschaftlich erforscht sind, führt zu Unsicherheit und ist gleichzeitig Anlass für die Entwicklung von Schutzmaßnahmen.

Der Strahlenschutz in Gebäuden dient in der Regel dem Schutz vor elektromagnetischen Wellen oder gar dem Schutz vor radioaktiver Strahlung.

4.1 Das elektromagnetische Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum (Tafel 3) umfasst die Gesamtheit aller elektromagnetischen Wellen. Maßeinheit für die Frequenz ist Hertz. 1 Hertz = 1 Schwingung pro Sekunde. Der Bereich unterhalb 30.000 Hertz wird als niederfrequentes Feld bezeichnet, oberhalb 30.000 Hertz als hochfrequentes Feld. Das hochfrequente Feld wird weiter unterteilt in nicht ionisierende Strahlung und ionisierende Strahlung (i.W. radioaktive Strahlung). Zur hochfrequenten nicht ionisierenden Strahlung sind auch infrarote und ultraviolette Strahlung zu zählen.

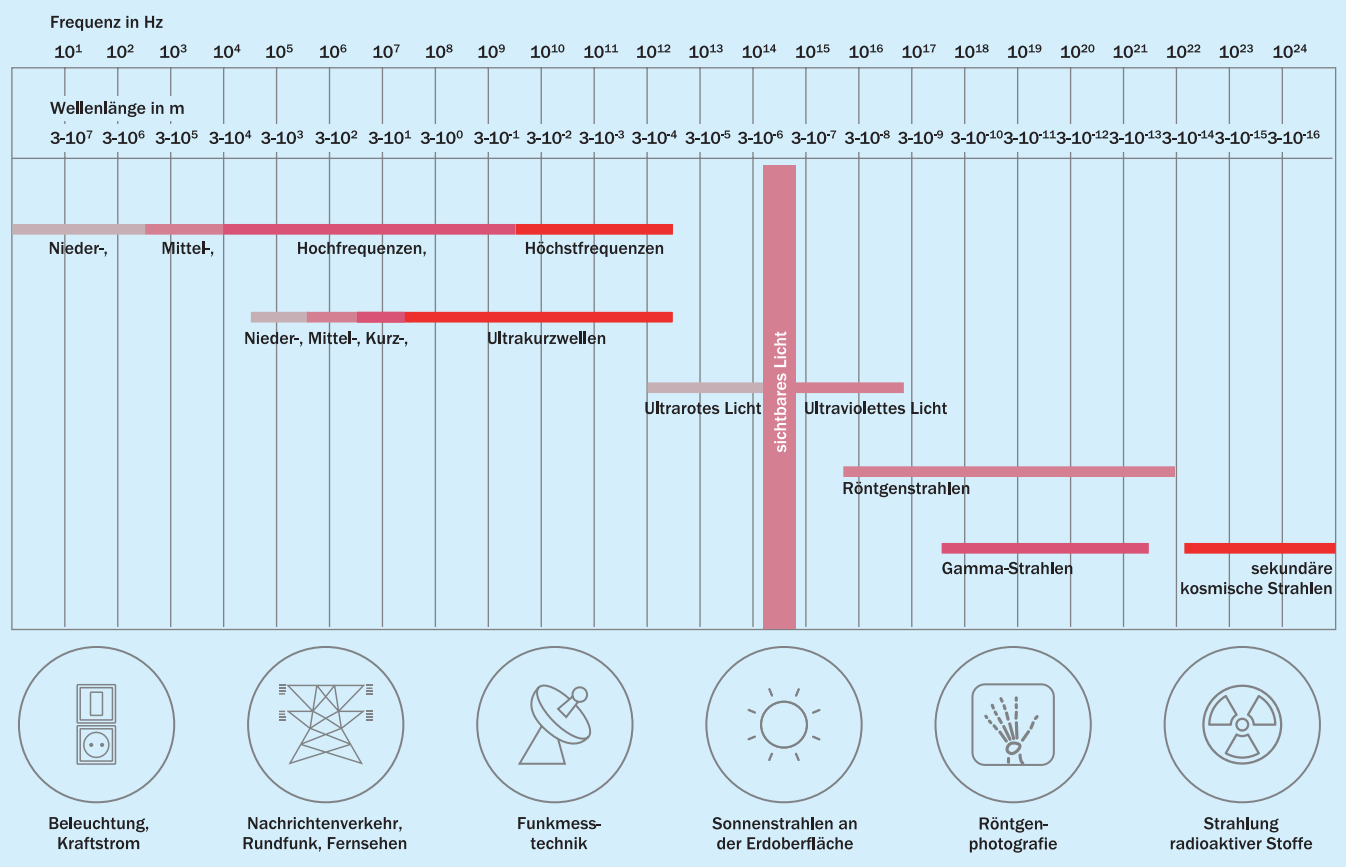
Das Zeitalter der Kommunikation führt zu dem immer stärkeren Wunsch, den Datentransfer jederzeit, überall und in unbeschränkter Menge durchzuführen. Die extremen Zuwachsraten im Mobilfunk haben bis 2024 zu mehr als 200 Millionen Mobilfunkanschlüsse in Deutschland geführt [3]. Kabellose Geräte im Bereich der Bürokommunikation, aber auch im modernen Haushalt finden sich immer häufiger.

Die Funktionstüchtigkeit dieser Geräte wie z.B. W-LAN Router oder Bluetooth hängt vom ungestörten Senden und Empfangen des Signals ab. Im Bereich der Medizintechnik sowie in sensiblen Bereichen der Datenverarbeitung wird dagegen bewusst auf abschirmende Wirkung der raumumschließenden Bauteile gesetzt. In diesen Bereichen kann bei unzureichender Abschirmung, der Betrieb dieser Anlagen durch „fremde Wellen“ gestört werden.

4.2 Elektromagnetische Strahlung

Die elektromagnetischen Felder werden anhand ihrer Frequenz, Feldstärke und Signalform in eine Reihe von Haupt- und Unterbereichen eingeteilt. Von besonderer Relevanz ist dabei der Be-

Tafel 3 Das elektromagnetische Spektrum



reich von etwa 10 kHz bis ca. 300 GHz, da er u.a. die Betriebsfrequenzen von Rundfunk, Fernsehen, Mobilfunk und Radar umfasst.

Untersuchungen von Prof. Dr.-Ing. Pauli [4] für Kalksandsteine der RDK 1,8 zeigen, dass für typische Mobilfunkfrequenzen (GSM 900 / GSM 1800, DECT, UMTS) bereits bei einer Wanddicke von 17,5 cm eine Schirmdämpfung von 40 bzw. 70 % erreicht wird. Je höher die Schirmdämpfung ist, desto höher ist die Schutzwirkung. KS-Mauerwerk mit WDVS hat eine deutlich höhere Schirmdämpfung von bis zu 99 %, wenn im Außenputz des KS-Mauerwerks mit WDVS ein elektromagnetisch wirksames Armierungsgewebe verwendet wird.

Bei Verwendung von Kalksandsteinen mit speziellen Zuschlägen wird die Schirmdämpfung auf über 99,99 % gesteigert. Dies bedeutet, dass z.B. das Telefonieren im D1- oder D2-Netz (ca. 900 MHz) in einem Raum aus diesem Material nahezu unmöglich ist, wenn keine Fenster- oder Türöffnungen vorhanden sind. Damit bieten sich nicht nur Anwendungsgebiete zum Schutz des Menschen, sondern auch im Bereich der Datenverarbeitung und der Abhörsicherheit von Gebäuden.

INFO

Eine einfache Rechenhilfe zur Ermittlung der äquivalenten Bleischichtdicke nach DIN 6812 [5] steht auf der KS-Homepage zum Download bereit.

4.3 Radioaktive Strahlung

Der Schutz vor radioaktiver Strahlung ist besonders im Bereich der Medizintechnik relevant. Für den baulichen Strahlenschutz ist die DIN 6812 [6] zu beachten. Die Bemessung der erforderlichen Abschirmung (Bleischichtdicke) erfolgt in Abhängigkeit von der Nutzstrahlung, der Kategorie des Raums sowie dem Abstand zwischen Brennfleck und zu schützendem Aufenthaltsraum je nach Geräteleistung.

Die abschirmende Wirkung anderer Stoffe als Blei wird als äquivalente Bleischichtdicke angegeben. Die äquivalente Bleischichtdicke sagt aus, wie dick eine Schutzschicht aus einem anderen Baustoff, z.B. aus Kalksandstein, sein muss, um die gleiche Abschirmwirkung zu erzielen.

INFO

Die äquivalente Bleischichtdicke ist am homogenen Querschnitt zu ermitteln. Der Einsatz von KS-Vollsteinen ist deshalb grundsätzlich zu empfehlen. Da Vollsteine nach DIN V 20000-402 einen Lochanteil von bis zu 15 % der Lagerfläche aufweisen dürfen, wird empfohlen, das Lochbild konkret festzulegen. Eventuelle Grifftaschen und Dollenlöcher sind zu verfüllen, Stoßfugen zu vermörteln.

Die erforderliche Dicke wird nach Gleichung (1) der DIN 6812 ermittelt. Eventuell vorhandene Bausubstanz darf bei der Bestimmung der Abschirmung berücksichtigt werden. Die „äquivalente Bleischichtdicke“ ist abhängig von der Rohdichte und Dicke des Baustoffes sowie der maximalen Röhrenspannung.

$$x_m = a \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^b \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^c \cdot \left(\frac{x}{x_0}\right)^d$$

mit:

x_m Äquivalente Bleischichtdicke [mm]
a, b, c, d als Konstanten entsprechend Tafel 4
ρ Dichte des Materials [kg/dm³]
ρ_0 1 [g/cm³]
U Röhrenspannung [kV]
U_0 100 [kV]
x Schutzschichtdicke aus Blei [mm]
x_0 1 [mm]

Beispiel:

- Erforderliche Bleischichtdicke = 0,5 mm (ermittelt nach DIN 6812)
- Röhrenspannung = 80 kV, z.B. dentales Fernaufnahmegerät
- Kalksandstein der Rohdichteklasse 2,0 (Rohdichte = 1,81 bis 2,0 kg/dm³, angesetzt: ρ = 1,81 kg/dm³)

$$x_m = 192 \cdot \left(\frac{1{,}81}{1}\right)^{-0{,}83} \cdot \left(\frac{80}{100}\right)^{-0{,}70} \cdot \left(\frac{0{,}5}{1}\right)^{1{,}1}$$

x_m = 64 mm

Gewählt: KS-Bauplatte, d = 70 mm.

Tafel 4 **Konstanten zur Ermittlung der äquivalenten Bleischichtdicke [mm] nach DIN 6812, Tabelle 17 [6]**

Röhrenspannungsbereich	< 100 kV		100 bis 175 kV		175 bis 200 kV		> 200 kV	
Dichte des Schwächungsmaterials [kg/dm³]	< 3,2	≥ 3,2	< 3,2	≥ 3,2	< 3,2	≥ 3,2	< 3,2	≥ 3,2
a	192	–	192	10,5	290	9,3	290	25
b	-0,83	–	-0,95	-0,20	-0,95	-0,22	-0,95	-0,20
c	-0,70	–	0,69	1,85	-0,53	1,31	-0,50	0,00
d	1,1	–	0,82	0,90	0,75	0,96	0,70	0,87

Tafel 5 **Schutzschichtdicken bei Mauerwerk aus Kalksandstein (RDK 2,0) [mm] ermittelt nach Gleichung (1) der DIN 6812 [6]**

Baustoff/Dichte	Dicke der Schutzschicht Blei [mm]	Äquivalente Schichtdicke aus Kalksandstein [mm] bei maximaler Röhrenspannung [kV]					
		50	100	150	200	250[1)]	300[1)]
Kalksandstein RDK 2,0; angesetzt wird der untere Grenzwert von ρ = 1,81 kg/dm³.	0,5	83	58	76	69	65	59
	1	177	102	134	115	105	96
	2	–	179	237	194	171	156
	3	–	250	330	262	227	207
	4	–	316	–	325	277	253
	5	–	–	–	–	324	296

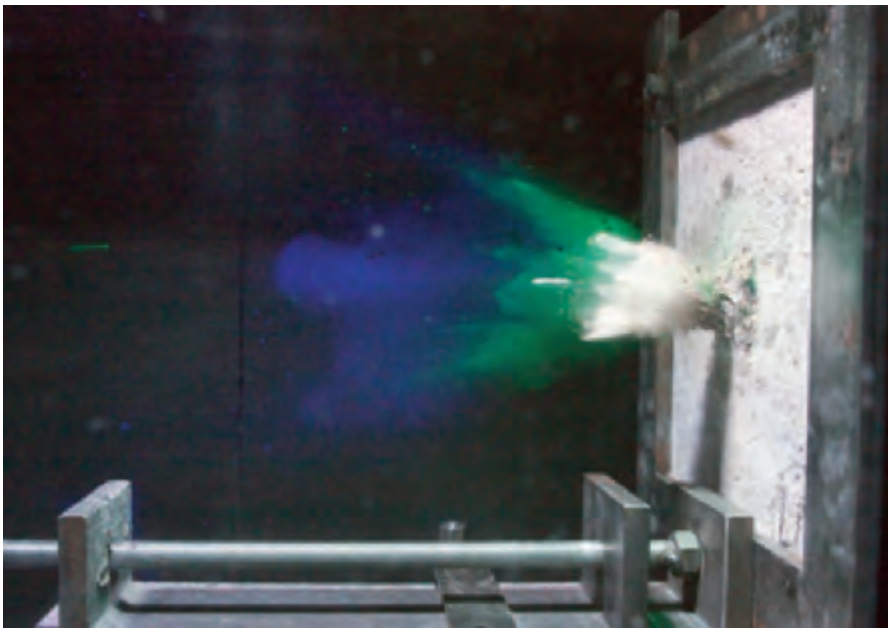
[1)] Für Störstrahlung sind die Werte für 200 kV maßgebend.

5. Beschusssicherheit

In sicherheitsrelevanten Bereichen von Gebäuden, wie Sparkassen und Banken, Militärgebäuden, Verwaltungsgebäuden u.a., werden an die einzelnen Bauteile hohe Anforderungen bzgl. der Beschusssicherheit gestellt. Die Grundlage für den Einsatz von Kalksandstein in diesen Gebäuden schaffen Untersuchungen zur Beschusssicherheit von KS-Wänden vom Beschuss-Amt Ulm [7].

Die Prüfungen erfolgten nach den Prüfungsbedingungen für den Beschuss angriffhemmender Stoffe des Landeskriminalamtes Baden-Württemberg. Dabei werden nach DIN EN 1522 [8] sieben Beanspruchungsarten für die Beschussprüfungen zugrunde gelegt. Durch die Beurteilung des Beschussbildes auf der Rückseite der Prüfwand: kein Durchschuss in Verbindung mit „Splitterabgang (S)“ oder „kein Splitterabgang (NS)“ ergeben sich 14 Widerstandsklassen:

- FB1 NS bis FB7 NS
- FB1 S bis FB7 S



Die Ergebnisse der Beschussprüfungen sind in Tafel 6 wiedergegeben. Für KS-Mauerwerk der RDK 2,0 in Dünnbettmörtel, ohne Putz, ohne Stoßfugenvermörtelung wurden die folgenden Beschussklassen erreicht:

- FB1 NS bis FB4 NS mit 11,5 cm
- FB5 NS und FB6 NS mit 15 cm
- FB7 NS mit 24 cm

Somit können in Bereichen, in denen hohe Anforderungen an die Beschuss-Sicherheit gestellt werden, wirtschaftliche und schlanke Wandkonstruktionen aus Kalksandstein eingesetzt werden. Zum Nachweis liegen beim Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. Prüfzeugnisse vor.

Tafel 6 Beschuss-Widerstandsklassen von unverputzten KS-Wänden

Klasse	Art der Waffe	Kaliber	Munition		Beschussbedingungen		Erforderliche Wanddicke aus KS, RDK 2,0 in Dünnbettmörtel
			Art	Masse [g]	Prüfentfernung [m]	Geschoss-geschwindigkeit [m/s]	[cm]
FB1	Büchse	22 LR	L(1)/RN	2,6 ± 0,1	10 ± 0,5	360 ± 10	11,5
FB2	Faustfeuer-waffe	9 mm Para	FJ(2)/RN/SC	8,0 ± 0,1	5 ± 0,5	400 ± 10	11,5
FB3	Faustfeuer-waffe	0,357 magnum	FJ(3)/CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10	11,5
FB4	Faustfeuer-waffe	0,357 magnum	FJ(3)/CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10	11,5
	Faustfeuer-waffe	0,44 magnum	FJ(3)/FN/SC	15,6 ±0,1	5 ± 0,5	440 ± 10	11,5
FB5	Büchse	5,56 · 45	FJ(3)/PB/SCP1	4,0 ± 0,1	10 ± 0,5	950 ± 10	15
FB6	Büchse	5,56 · 45	FJ(3)/PB/SCP1	4,0 ± 0,1	10 ± 0,5	950 ± 10	15
	Büchse	7,62 · 51	FJ(2)/PB/SC	9,5 ± 0,1	10 ± 0,5	830 ± 10	15
FB7	Büchse	7,62 · 51	FJ(3)/PB/HC1	9,8 ± 0,1	10 ± 0,5	830 ± 10	24

L(1) – Blei, kupferbeschichtet
FJ(2) – Vollmantel, Stahl
FJ(3) – Vollmantel, Kupfer
L – Blei
CB – Kegelspitzkopf
FJ – Vollmantel
FN – Flachkopf
HC1 – Stahlhartkern, Masse 3,7 g ± 0,1, Härte mind. 63 HRC
PB – Spritzkopf-Geschoss
RN – Rundkopf
SC – Weichkern mit Blei
SCP1 – Weichkern mit Blei und Stahlpenetrator (Typ SS 109)

6. Mauern im Winterhalbjahr und Absäuern des Mauerwerks

Bei ungeeigneten Witterungsbedinungen wie z.B. Frost dürfen Mauerarbeiten nur **in Abstimmung mit dem Auftraggeber** und bei der Ergreifung besonderer Maßnahmen durchgeführt werden (VOB-C:DIN 18330, Abschnitt 3.1.2) [9]. Auch in DIN EN 1996-2/NA Abschnitt 3.6.3 NA.3 [10] wird gefordert, dass bei Frost nur unter besonderen Schutzmaßnahmen gearbeitet werden darf. Der Einsatz von Frostschutzmitteln ist nicht zulässig; gefrorene Baustoffe dürfen nicht verwendet werden. Der Einsatz von Salzen zum Auftauen ist ebenfalls nicht zulässig.

INFO

Das Mauern bei Frost bedarf nach VOB-C: DIN 18330 grundsätzlich der Zustimmung des Auftraggebers und darf nach DIN EN 1996/NA nur unter besonderen Schutzmaßnahmen durchgeführt werden. Das frische Mauerwerk ist vor Frost zu schützen.

Das frische Mauerwerk ist vor Frost rechtzeitig zu schützen, z.B. durch Abdecken. Auf gefrorenem Mauerwerk darf nicht weitergemauert werden. Durch Frost oder andere Einflüsse beschädigte Teile von Mauerwerk sind vor dem Weiterbau abzutragen. Von einigen Mörtelherstellern werden so genannte Wintermörtel angeboten. Dieser Begriff bezieht sich nicht auf die Verwendbarkeit bei Frost. Er ist so zu verstehen, dass die Rezeptur des Mörtels auf die im Winterhalbjahr vorherrschenden Witterungsbedingungen geändert wurde. Entsprechende Schutzmaßnahmen und sonstige vorbereitende Arbeiten für das Mauerwerk und die zu verarbeitenden Mauersteine sind auch bei Verwendung dieser Mörtel erforderlich.

Entsprechend VOB-C:DIN 18330 Mauerarbeiten, Abschnitt 3.2.6 darf Mauerwerk aus Kalksandstein nicht abgesäuert werden. Dies ist besonders bei Sicht- und Verblendmauerwerk zu beachten.

Die umweltschädliche Wirkung von chloridhaltigen Tausalzen ist bekannt. Bei dem Einsatz auf Baustellen können diese hochaggressiven Salzlösungen zusätzlich zur Zerstörung von Bauteilen aus Mauerwerk und Beton und zur beschleunigten Korrosion der Stahleinlagen führen. In DIN EN 1996-2/NA wird auf diese Gefahr besonders hingewiesen. Der Zerstörungsprozess als physikalischer und chemischer Vorgang wird durch den kombinierten Angriff der beim Auftauen entstehenden wässrigen Salzlösungen, die in Geschossdecken und Wandaufbauten eindringen, und den in der hiesigen Klimazone üblichen Frost-Tau-Wechsel ausgelöst. Das kann bereits bei geringen Chloridkonzentrationen zu mehr oder weniger starken Schäden am Mauerwerk führen. Daher sind Arbeitsplätze und Arbeitsflächen auf der Baustelle auf keinen Fall mit Tausalzen, sondern mechanisch oder unter Verwendung von Wasserdampflanzen von Eis und Schnee zu befreien. Im Streu- und Spritzbereich bestehender Gebäude sind ebenfalls keine Tausalze zu verwenden. Weiterhin besteht die Gefahr, dass Ausblühungen im Mauerwerk auftreten, die zu Folgeschäden in Putz und Anstrich führen können.

INFO

Der Einsatz von Salzen zum Abtauen ist nicht zulässig (DIN EN 1996-2/NA). Dies gilt für Baustellen und bestehende Gebäude.

Bild 1 Lagern von Stein und Mörtel

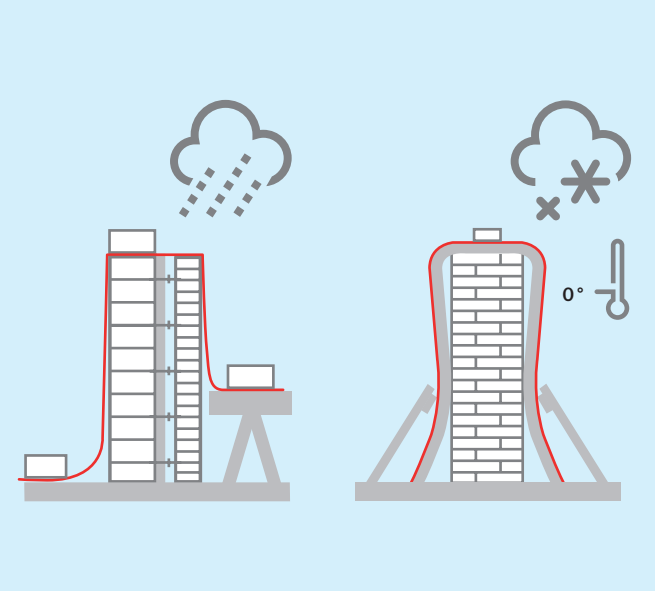


Bild 2 Frisches KS-Mauerwerk ist vor Regen und Frost zu schützen

7. Erdbebensicherheit

Deutschland ist im Vergleich zu anderen europäischen Ländern, den USA oder Japan aufgrund der gemessenen Intensitäten und der Erdbebendauer ein Gebiet mit nur geringer bis sehr geringer Seismizität.

Nach jahrelanger Diskussion um den Nationalen Anhang soll mit der MVV TB 2026 nunmehr der Eurocode 8 [11] als geltende Norm zur Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben bauaufsichtlich eingeführt werden. Alle in den deutschen Erdbebengebieten (Bild 3) einzuhaltenden Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten sind dort enthalten. Hauptziel ist der Schutz von Menschenleben durch die Sicherstellung der Standsicherheit im Falle eines Erdbebens. Bei Erdbeben handelt es sich um eine außergewöhnliche Einwirkung. Die Bemessungsphilosophie zielt nicht darauf ab, bei dem schwersten am Standort zu erwartenden Erdbeben einen vollständig schadensfreien Zustand des Bauwerks zu garantieren. Ziel ist es, menschliches Leben zu schützen, Schäden zu begrenzen und die Funktionstüchtigkeit wichtiger Bauwerke zum Schutz der Bevölkerung sicherzustellen.

Übertragen auf Mauerwerksbauten bedeutet dies, dass es beim „Bemessungserdbeben“ durchaus zu Rissen kommen darf. Diese Risse dürfen jedoch nicht die Standsicherheit des Gebäudes gefährden.

Mit Einführung des Eurocode 8 wird auch die Planung und Bemessung von Mauerwerksbauten in deutschen Erdbebengebieten neu justiert. Einwirkungen und Baugrundverhältnisse wurden neu festgelegt und Bemessungsverfahren dem aktuellen Stand der Technik angepasst.

7.1 Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe

In deutschen Erdbebengebieten dürfen generell alle in DIN EN 1996/NA geregelten Mauersteine und Mauermörtel verwendet werden. Dies schließt alle Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402 sowie Kalksandsteine mit allgemeiner Bauartgenehmigung ein.

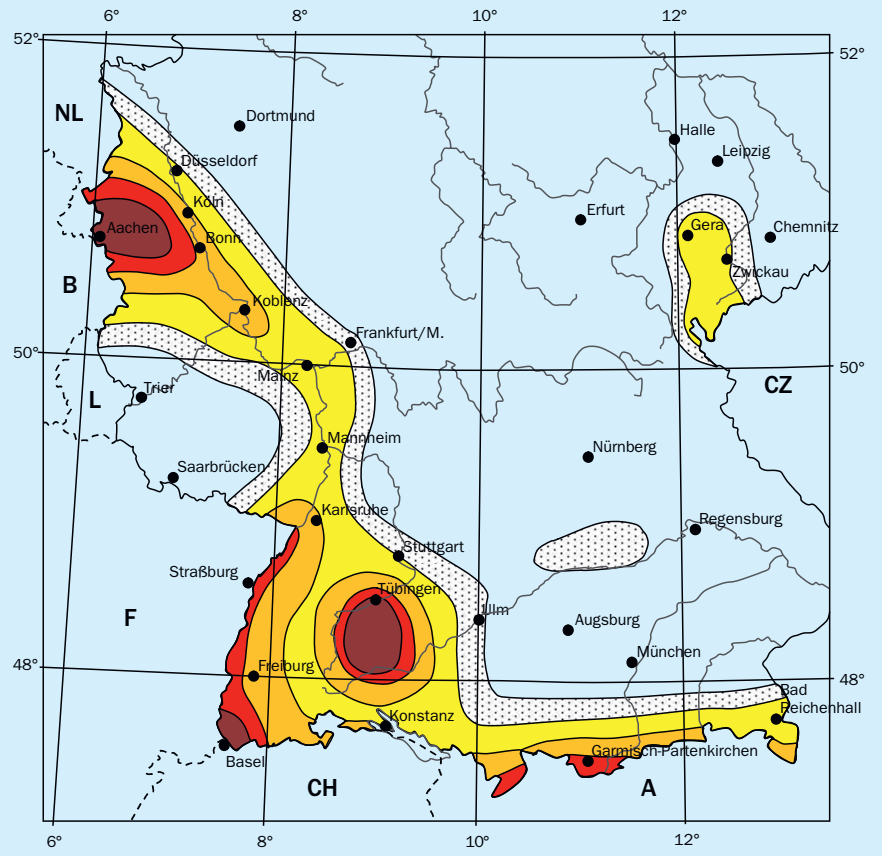


Bild 3 Deutsche Erdbebengebiete nach DIN EN 1998-1/NA

INFO

KS-Mauerwerk darf bei Einhaltung der geforderten konstruktiven Regeln und/oder rechnerischen Nachweise in allen deutschen Erdbebengebieten uneingeschränkt angewendet werden.

7.2 Erdbebennachweis

Auf einen expliziten rechnerischen Erdbebennachweis von einfachen Mauerwerksbauten der Bedeutungskategorien I und II (hierunter fallen im Regelfall auch übliche Büro- und Wohnungsbauten) kann verzichtet werden, wenn die konstruktiven Regeln nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.7.2 und Anhang H eingehalten sind. Auf der Grundlage detaillierter neuerer Untersuchungen und Forschungsergebnisse sind hierbei unter bestimmten Bedingungen nunmehr auch bis zu fünfgeschossige Gebäude aus KS-Mauerwerk (bisher maximal drei Geschosse) ohne expliziten Sicherheitsnachweis möglich.

Mit MINEA [12] steht eine benutzerfreundliche Softwarelösung zum Erdbebennachweis zur Verfügung. Neben dem vereinfachten Nachweis (Einhaltung der konstruktiven Regeln) sind auch lineare und nichtlineare rechnerische Erdbebennachweise nach DIN EN 1998-1/NA im Programm umgesetzt.

8. Einbruchhemmung

Alle zwei Minuten passiert in Deutschland ein Einbruch. Die Summe der jährlich durch Einbrüche in Wohnungen verursachten Schäden beträgt rund 470 Mio. Euro. Der durchschnittliche Schaden eines Einbruchs im privaten Bereich beträgt dabei rund 3.250 Euro [13, 14]. Neben dem materiellen Schaden stellt jeder Einbruch einen Eingriff in die persönliche Sphäre dar und zieht oft eine starke psychische Belastung nach sich. Das Bedürfnis nach Sicherheit in den eigenen vier Wänden sowie der hohe materielle und persönliche Wert der mobilen Gegenstände (Schmuck, Laptop, Akten etc.) machen daher den Einbruchschutz eines Gebäudes zu einem wichtigen Qualitätskriterium. Bei Gewerbetreibenden kann der Schaden eines Einbruchs (Verlust von Daten durch Zerstörung oder Diebstahl ganzer Büroausstattungen inklusive Computern und Servern) den unternehmerischen Ruin bedeuten. Einbrecher haben nur wenige Minuten Zeit, um in das Gebäude zu gelangen. Fenster und Türen sind die bevorzugten Angriffspunkte (Bild 4). Nach fünf Minuten gibt der Einbrecher auf – so lautet das Ergebnis einer wissenschaftlichen Studie von Prof. Dr. Feltes M.A., Lehrstuhl für Kriminologie, Kriminalpolitik und Polizeiwissenschaft an der Ruhr-Universität Bochum [15].

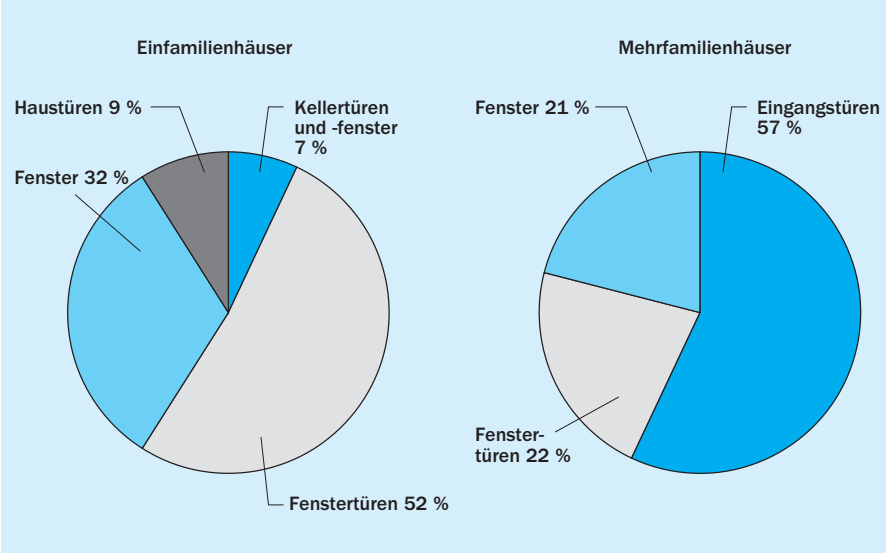


Bild 4 Einbrecher kennen die Schwachstellen des Hauses [15]

Anforderungen an die umgebenden Wände einbruchhemmender Bauteile wie Fenster, Türen und Abschlüsse (sowie das zu erwartende Täterverhalten) sind in DIN EN 1627:2011-09 [16] beschrieben. Gegenüber der Vorgängernorm DIN V 1627:1999 hat sich die Bezeichnung der Widerstandsklassen geändert. Alte Prüfzeugnisse dürfen im Allgemeinen weiter benutzt werden, da im Nationalen Anhang (NA) der Norm eine Korrelationstabelle angegeben ist. Die Korrelation mit den Widerstandsklassen nach der alten Norm ist in Tafel 7 angegeben.

Die Widerstandsklassen RC 2 und RC 3 sind für den privaten Bereich üblicherweise ausreichend [17]. Dies gilt auch für übliche Gewerbebauten und öffentliche Objekte mit geringem und durchschnittlichem Risiko.

INFO

Die Einstufung in die Versicherungsklassen richtet sich auch nach den baulich realisierten Einbruchswiderstandsklassen.

Tafel 7 dient nur zur groben Orientierung. Fachkundige Beratung, z.B. durch die Beratungsstelle der örtlichen Polizei, ist unerlässlich. Die Abschätzung des Risikos sollte unter Berücksichtigung von Nutzung und Sachwertinhalt sowie der Lage des Gebäudes (geschützt/ungeschützt) auf eigene Verantwortung

Tafel 7 Widerstandsklassen in Abhängigkeit vom Täterverhalten [16]

Widerstandsklasse DIN EN 1627:2011	Widerstandsklasse DIN EN V 1627:1999	Widerstands-zeit [min]	Mutmaßliches Täterverhalten
RC 1 N	**WK 1**	–[1)]	Bauteile der Widerstandsklasse RC 1 N weisen nur einen geringen Schutz gegen den Einsatz von Hebelwerkzeugen auf.
RC 2 N	–	3	Der Gelegenheitstäter versucht zusätzlich, mit einfachen Werkzeugen wie Schraubendreher, Zange und Keil, das verschlossene und verriegelte Bauteil aufzubrechen.
RC 2	**WK 2**	3	
RC 3	**WK 3**	5	Der Täter versucht zusätzlich, mit einem zweiten Schraubendreher und einem Kuhfuß sowie mit einfachem Bohrwerkzeug das verschlossene und verriegelte Bauteil aufzubrechen.
RC 4	**WK 4**	10	Der erfahrene Täter setzt zusätzlich Säge- und Schlagwerkzeuge wie Schlagaxt, Stemmeisen, Hammer und Meißel sowie eine Akku-Bohrmaschine ein.
RC 5	**WK 5**	15	Der sehr erfahrene Täter setzt zusätzlich leistungsfähige Elektrowerkzeuge, wie z.B. Bohrmaschine, Stich- oder Säbelsäge und Winkelschleifer (max. ø 125 mm), ein.
RC 6	**WK 6**	20	Der sehr erfahrene Täter setzt zusätzlich leistungsfähige Elektrowerkzeuge, wie z.B. Bohrmaschine, Stich- oder Säbelsäge und Winkelschleifer (max. ø 230 mm), ein.

[1)] Wird nicht manuell geprüft
Die Zuordnung der Widerstandsklassen von einbruchhemmenden Bauteilen zu Massivwänden nach [16] ist in Tafel 8 angegeben.

Tafel 8 Zuordnung der Widerstandsklassen von einbruchhemmenden Bauteilen zu Massivwänden nach [16]

Widerstandsklasse des Bauteils nach DIN EN 1627	Umgebende Wände						
	aus Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA					aus Stahlbeton nach DIN EN 1992/NA	
	Wanddicke (ohne Putz) [mm]	Steindruckfestigkeitsklasse (SFK)	Steinrohdichteklasse (RDK)	Mörtelklasse NM	Mörtelklasse DM	Nenndicke [mm]	Festigkeitsklasse
RC 1 N RC 2 N RC 2	≥ 115	≥ 12	–	M 2,5	M 10	≥ 100	≥ C 16/20
RC 3	≥ 115	≥ 12	–	M 2,5	M 10	≥ 120	≥ C 16/20
RC 4	≥ 240[1)]	≥ 12	–	M 2,5	M 10	≥ 140	≥ C 16/20
RC 5	≥ 240[1)]	≥ 20	≥ 1,8		M 10	≥ 140	≥ C 16/20
RC 6	≥ 240[2)]	≥ 20	≥ 1,8		M 10	≥ 140	≥ C 16/20

[1)] RC 4 und RC 5 auch mit: KS -R P 20-2,0-7 DF (200) bzw. Maße (L · B · H) 248 · 200 · 248 mm
[2)] Anwendbar auf Formate der Höhe 238 mm, 498 mm, 623 mm, und 648 mm.
Nachweis: ift Rosenheim Prüfbericht Nr. 12-002464-PR01

erfolgen. Bei hohem Risiko sollten zusätzlich alarmtechnische Meldeanlagen eingesetzt werden. Bei Verwendung einbruchhemmender Elemente der Widerstandsklassen RC 4 bis RC 6 in Flucht- und Rettungswegen ist zu beachten, dass der Werkzeugeinsatz der Feuerwehr erschwert ist bzw. berücksichtigt werden muss. Außensteckdosen, z.B. im Flur einer Wohnung, sollten spannungslos sein, um ihre Benutzung durch Einbrecher zu verhindern.

INFO

Tafel 8 zeigt, wie mit üblichen Wandkonstruktionen aus Kalksandstein alle Einbruchswiderstandklassen realisiert werden können.

Die Einschränkungen hinsichtlich der Steinformate in den Fußnoten 1 und 2 in Tafel 8 resultieren aus maximal zulässigen Einstiegsöffnungen, die im Rahmen einer Prüfung zur Einstufung eines Bauteils in eine Widerstandsklasse nach einer bestimmten Zeit nicht überschritten werden darf.

9. Austrocknungsverhalten von KS-Mauerwerk

9.1 Übliche Baufeuchte

Das Austrocknungsverhalten von einer Baustoffschicht und Bauteilen ist insbesondere dann wichtig, wenn von der betreffenden Baustoffschicht Aufgaben bezüglich des Wärmeschutzes zu übernehmen sind. Untersuchungen [18] kamen zum Ergebnis, dass der rechnerisch ermittelte U-Wert bei monolithischen Wänden aus „dämmenden Mauersteinen“ z.T. erst nach zwei bis drei Jahren erreicht wird. Im Gegensatz dazu nehmen die bei KS-Funktionswänden meist verwendeten Dämmstoffe (z.B. EPS-Hartschaum oder hydrophobierte Mineralfaserplatten) praktisch kein Wasser auf, so dass der Wärmeschutz von KS-Außenwänden von Anfang an gewährleistet ist.

Generell ist in der Austrocknungsphase zu beachten, dass ein erheblicher Teil der Baufeuchte nicht an die Außenluft, sondern an den Innenraum abgegeben wird. In dieser Zeit ist es daher erforderlich, den Luftwechsel zu erhöhen, um die Baufeuchte über Lüftung nach außen abzuführen.

Für die Austrocknung von Innenwänden können nach einer Veröffentlichung von Schubert [19] näherungsweise folgende Anhaltswerte genannt werden:

- d = 11,5 cm : 3 bis 6 Monate,
  d = 24 cm : bis 12 Monate.
- Die Untersuchungen wurden unter ungünstigen Klimarandbedingungen durchgeführt (20 °C/65 % rel. Luftfeuchte). Bei Lochsteinen sowie bei praxisgerechten Klimarandbedingungen sind deutlich kürzere Austrocknungszeiten zu erwarten.

Diese Untersuchungen von Schubert werden weitgehend bestätigt durch eigene Austrocknungsversuche neueren Datums, in die auch Innenputze mit einbezogen werden. Bei den verwendeten Dispersionsputzen war der Ausgangsfeuchtezustand mit ca. 6 M.-% festgelegt worden (Bild 5). Für die Austrocknungsversuche wurden wassergesättigte Steine unter Laborbedingungen verwendet.

9.2 Durchfeuchtung infolge von Extrem-Ereignissen wie Hochwasser

Hochwasserereignisse treten in Deutschland immer wieder auf. Angesichts des sich abzeichnenden Klimawandels ist davon auszugehen, dass Extrem-Ereignisse wie Überflutungen in der Zukunft zunehmen werden [21]. Dies hat zur Folge, dass Gebäude in hochwassergefährdeten Regionen zunehmend von Hochwasserereignissen betroffen sein werden und dabei bisweilen bis ins Obergeschoss überflutet werden können [22]. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage der Eignung von Baustoffen für den Einsatz innerhalb dieser Regionen.

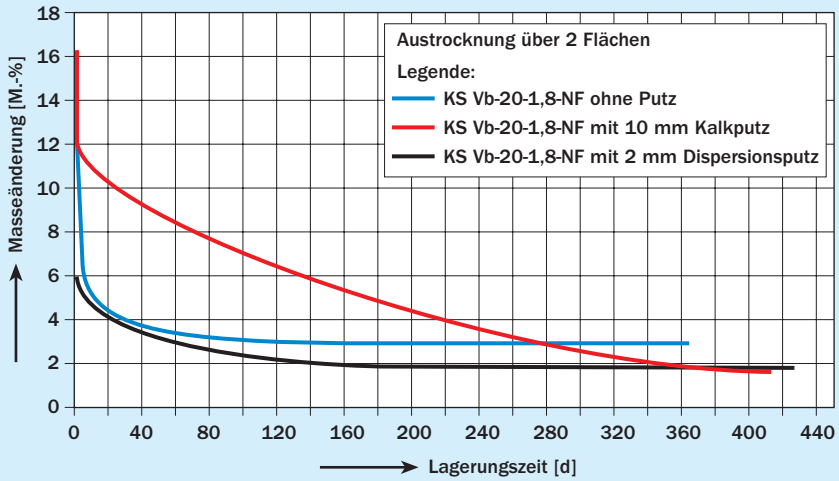


Bild 5 **Einfluss von Putzen auf das Austrocknungsverhalten von Kalksandsteinen (Austrocknung über 2 Flächen, Klima: 20 °C/65 % rel. F.)**

Die Hochwasserschutzfibel [23] zählt Kalksandstein im Gegensatz zu anderen Bauweisen zu den gut geeigneten Baustoffen bei der Gefahr einer Hochwasserbeanspruchung. In einem Forschungsprojekt an der RWTH Aachen wurden die mechanischen Eigenschaften von Mauerwerk bei Wasserbeaufschlagung bis zur Sättigung und anschließender Rücktrocknung untersucht [24]. Dabei wurden die folgenden Ergebnisse festgestellt:

- Die Beaufschlagung mit Wasser bis zur Sättigung beeinflusst die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Kalksandsteinen und KS-Mauerwerk nur geringfügig.
- Nach Rücktrocknung erreichen Kalksandsteine und KS-Mauerwerk mindestens die Festigkeitseigenschaften welche im Ausgangszustand vorhanden waren.

Untersuchungen zum Trocknungsverhalten durchfeuchteter Bauteilen wurden neben [20] auch in [25] durchgeführt. Die Untersuchungen von Schubert in [20] werden durch die Berechnungen in [25] bestätigt. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse in [25], dass hochwassergeschädigte Bauteile aus KS-Mauerwerk mittels natürlicher Belüftung getrocknet werden können. Die zum Abtransport der anfallenden Feuchte erforderlichen Luftwechselraten können in beheizten Räumen in der Regel durch eine Fensterlüftung gewährleistet werden. Eine Beschleunigung der Trocknung von KS-Mauerwerk ist durch maschinelle Trocknungsverfahren wie z.B. Kondensationslufttrocknern oder Infrarotflächenheizungen (in der Anfangsphase) gut möglich. Beim Einsatz von Infrarotflächenheizungen ist jedoch darauf zu achten, dass nur Geräte verwendet werden, die zu Oberflächentemperaturen auf dem Mauerwerk von maximal 40 °C führen [22].

10. Explosionsdruck

Die Bemessung von Kalksandsteinwänden auf Explosionsdruck kann aufgrund von verschiedenen eher seltenen Ereignissen erforderlich werden. Explosionsdrücke sind daher grundsätzlich als außergewöhnliche Einwirkungen einzustufen. Bereits seit einigen Jahren müssen beispielsweise vermehrt Innenwände auf solche Horizontalbelastungen infolge Überdruck-Entladung bei Schaltanlagen bemessen werden, da auch bei Anordnung von Druckentlastungseinrichtungen zumeist noch ein horizontaler Restdruck anzusetzen ist.

Die Bemessung von vertikal tragenden Wänden nach DIN EN 1996-1-1 unter zusätzlicher horizontaler Beanspruchung stellt kein Problem dar. Der Nachweis kann mit einer üblichen Bemessungs-Software erfolgen. Für vertikal nicht tragende Wände stehen hingegen kaum Informationen zur tatsächlichen Biegetragfähigkeit bei horizontaler Druckbeanspruchung zur Verfügung. Lediglich für windbeanspruchte nicht tragende Außenwände sind entsprechende Tabellen mit zulässigen Ausfachungsflächen verfügbar.

Für Ausfachungsflächen infolge Windbelastung wurde in verschiedenen Forschungsvorhaben an der Technischen Universität Darmstadt – z.B. [26], [27], [28] – ein vereinfachtes Nachweisverfahren zur Bestimmung der im Grenzzustand der Tragfähigkeit aufnehmbaren Beanspruchungen für nicht tragende Wände entwickelt, welches gleichzeitig auch die Angabe zulässiger Ausfachungsflächen in Abhängigkeit der Einwirkungen erlaubt. Die resultierenden Ausfachungsflächen für Wind auf nicht tragende Außenwände sind im Kapitel 6 des Planungshandbuches angegeben.

Aufbauend auf diesen Vorarbeiten wurden nunmehr ergänzend entsprechende Untersuchungen für Wände aus KS-Mauerwerk unter horizontaler Druckbelastung infolge Explosion durchgeführt und entsprechende Größtwerte der Ausfachungsflächen tabellarisch dargestellt [29]. Ausgangspunkt der Tragfähigkeitsanalyse von nicht tragenden Wänden unter horizontaler Beanspruchung war die Dissertation von Richter [26]. Unter Verwendung des dort entwickelten Nachweisverfahrens kann die Tragfähigkeit von nicht tragenden Mauerwerkswänden unter horizontalen Einwirkungen bzw. die maximal zulässige Ausfachungsfläche der Wand A_W wie folgt bestimmt werden:

$$A_W = t^2 \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{1}{q_{ex,d}} \cdot Y_W \qquad (1)$$

mit

A_W	Ausfachungsfläche
t	Wanddicke
f_{tk1}	Vertikale Biegezugfestigkeit (f_{tk1} = 0,2 N/mm² nach DIN EN 1996-1-1 und [Ex5])
μ_t	Biegezugverhältnis ($\mu_t = f_{tk1}/f_{tk2}$ = 1,1 nach [30])
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert (γ_M = 1,3 für außergewöhnliche Einwirkungen)
$q_{ex,d}$	Bemessungswert des Explosionsdrucks ($q_{ex,d} = q_{ex,k}$ mit $\gamma_{A,ex}$ = 1,0)
Y_W	Traglastfaktor in Abhängigkeit der Lagerungsbedingungen, der Wandgeometrie und des Biegezugverhältnisses nach [30]

Die angegebene Biegezugfestigkeit und das Biegezugverhältnis können nach [30] für KS-Plansteine und KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel und einem Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$ angesetzt werden. Eine Stoßfugenvermörtelung ist nicht erforderlich. Mit den dargestellten Eingangsparametern kann nach Gleichung (1) die größtmögliche Ausfachungsfläche infolge Explosionsdruck ermittelt werden.

Für einen Einheitswert des Explosionsdrucks von $q_{ex,d}$ = 1,00 kN/m² sind die entsprechenden Ergebnisse für die Ausfachungsflächen $A_{ex,0}$ bei verschiedenen Lagerungsbedingungen in Tafel 9 dargestellt. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Bei anderen Explosionsdrücken müssen die angegebenen Ausfachungsflächen $A_{ex,0}$ mit dem Korrekturbeiwert k_{ex} nach Tafel 10 multipliziert werden:

$$A_{ex} = k_{ex} \cdot A_{ex,0} \qquad (2)$$

Tafel 9 Größtwerte der Ausfachungsflächen von nicht tragenden Kalksandsteinwänden bei Explosionseinwirkung

Größtwerte der Ausfachungsflächen $A_{ex,0}$ [m²] KS-Plansteine und KS XL, KS XL-E und KS XL-N mit Dünnbettmörtel ohne Stoßfugenvermörtelung Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$ / Explosionsdruck $q_{ex,d}$ = 1,0 kN/m²						
4-seitig gehalten; seitlich gelenkig gelagert						
Wanddicke *t* [mm]	**Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge) [1)]**					
	0,30	**0,50**	**0,75**	**1,00**	**1,50**	**2,00**
115	10,5	6,6	5,5	5,4	6,0	6,9
150	17,9	11,3	9,4	9,2	10,2	11,7
175	24,4	15,4	12,7	12,5	13,8	15,9
200	31,9	20,1	16,6	16,3	18,1	20,8
240	45,9	28,9	24,0	23,5	26,0	29,9
300	71,8	45,1	37,4	36,7	40,7	46,8
365	106,3	66,8	55,4	54,3	60,2	69,2
4-seitig gehalten; seitlich eingespannt						
Wanddicke *t* [mm]	**Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge) [1)]**					
	0,30	**0,50**	**0,75**	**1,00**	**1,50**	**2,00**
115	10,8	7,1	7,0	7,8	9,6	11,5
150	18,3	12,1	12,0	13,2	16,4	19,6
175	24,9	16,5	16,3	18,0	22,3	26,6
200	32,6	21,6	21,3	23,5	29,2	34,8
240	46,9	31,1	30,7	33,9	42,0	50,1
300	73,3	48,6	47,9	52,9	65,6	78,2
365	108,5	71,9	71,0	78,4	97,1	115,8
3-seitig gehalten; oberer Rand frei; seitlich gelenkig gelagert						
Wanddicke *t* [mm]	**Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge) [1)]**					
	0,30	**0,50**	**0,75**	**1,00**	**1,50**	**2,00**
115	2,8	2,5	2,6	3,0	4,1	5,3
150	4,8	4,2	4,5	5,2	7,0	9,1
175	6,5	5,7	6,1	7,0	9,5	12,4
200	8,5	7,4	8,0	9,2	12,4	16,1
240	12,2	10,7	11,5	13,2	17,9	23,2
300	19,1	16,7	17,9	20,7	28,0	36,3
365	28,3	24,7	26,5	30,6	41,4	53,7
3-seitig gehalten; oberer Rand frei; seitlich eingespannt						
Wanddicke *t* [mm]	**Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge) [1)]**					
	0,30	**0,50**	**0,75**	**1,00**	**1,50**	**2,00**
115	4,3	4,6	5,0	5,6	7,0	8,5
150	7,2	7,7	8,6	9,6	11,8	14,5
175	9,8	10,5	11,7	13,0	16,1	19,7
200	12,9	13,8	15,2	17,0	21,0	25,7
240	18,5	19,8	22,0	24,5	30,3	37,0
300	28,9	31,0	34,3	38,2	47,3	57,9
365	42,8	45,9	50,8	56,6	70,1	85,6

[1)] Zwischenwerte dürfen gradlinig interpoliert werden.

Tafel 10 Faktor k_{ex} für die Umrechnung der Ausfachungsflächen bei anderen Explosionsdrücken

Umrechnungs-faktor	**Explosionsdruck $q_{ex,d}$ [kN/m²] [1)]**															
	0,5	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1,0**	**1,1**	**1,2**	**1,3**	**1,4**	**1,5**	**2,0**	**2,5**	**3,0**	**4,0**	**5,0**
k_{ex}	2,00	1,67	1,43	1,25	1,11	1,00	0,91	0,83	0,77	0,71	0,67	0,50	0,40	0,33	0,25	0,20

[1)] Zwischenwerte dürfen gradlinig interpoliert werden.

Literatur

[1] DIN 4030-1:2008-06 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Grundlagen und Grenzwerte

[2] DIN 38409-6:1986-01 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Härte eines Wassers (H 6)

[3] https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3907/umfrage/mobilfunkanschluesse-in-deutschland/#:~:text=Die%20Anzahl%20der%20Mobilfunkanschl%C3%BCsse%20in,Millionen%20mehr%20als%20im%20Vorjahr

[4] Pauli, P.; Moldan, D.: Reduzierung hochfrequenter Strahlung, 2. kompl. überarbeitete und erweiterte Auflage 2003

[5] Bleigleichwert, Rechenhilfe zur Ermittlung der äquivalenten Bleischichtdicke nach DIN 6812. Bezug über KS-Homepage.

[6] DIN 6812:2013-06 Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV – Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes

[7] Prüfzeugnisse zur Beschusssicherheit von KS-Wänden, Beschussamt Ulm, 30.10.2001

[8] DIN EN 1522:1999-02 Fenster, Türen, Abschlüsse – Durchschußhemmung – Anforderungen und Klassifizierung. Deutsche Fassung EN 1522:1998

[9] DIN 18330:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Mauerarbeiten

[10] DIN EN 1996-2:2010-12 Eurocode 6 Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk in Verbindung mit: DIN EN 1996-2/NA: 2012-01

[11] DIN EN 1998-1:2010-12 Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; in Verbindung mit DIN EN 1998-1/NA:2023-11

[12] MINEA – Software zur Berechnung und Bemessung von Mauerwerksbauten – SDA-solutions GmbH, Herzogenrath 2025

[13] „Bei jedem ist etwas zu holen“ – Einbruch-Report 2017 der deutschen Versicherungswirtschaft, GDV, April 2017

[14] Initiative für aktiven Einbruchschutz „Nicht bei mir!”, Pressemitteilung vom 23.05.2008

[15] Nach fünf Minuten gibt der Einbrecher auf!, Hrsg.: Programm Polizeiliche Kriminalprävention der Länder und des Bundes (ProPK) und Stiftung Deutsches Forum für Kriminalprävention (DFK), Berlin/Stuttgart, 2006

[16] DIN EN 1627:2011-09/NA Fenster, Türen Abschlüsse – Einbruchhemmung – Anforderungen und Klassifizierung

[17] www.k-einbruch.de/fenster

[18] Holm, A.; Sedlbauer, K.; Radon I.; Künzel H.M.: Einfluss der Baufeuchte auf das hygrothermische Verhalten von Gebäuden, IBP Mitteilung 29, 2002

[19] Schubert, P.: Zur rissfreien Wandlänge von nicht tragenden Mauerwerkwänden. Berlin: Ernst & Sohn – In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 473–488

[20] Schubert P.: Trocknungsschwinden von Kalksandsteinen. Berlin: Ernst & Sohn – In: Das Mauerwerk, Heft 3 (2003)

[21] Rahmstorf, S.: Ursachen und Folgen des Klimawandels – ein kurzer Überblick über den Wissensstand mit historischem Kontext. Mauerwerk 17, Heft 5, 2013

[22] Alfes, C.; Schäfers, M.: Bauphysikalische und mechanische Aspekte von Mauerwerk nach Flutkatastrophen. Mauerwerk 18, Heft 5, 2014

[23] Hochwasserschutzfibel – Objektschutz und bauliche Vorsorge. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Berlin, Februar 2022

[24] Brameshuber, W.; Graubohm, M.: Instandsetzung wasserbeaufschlagter Mauerwerksbauteile – Einfluss einer Wasserbeaufschlagung auf Eigenschaften von Mauerwerk und Bauteilbekleidungen, Austrocknungsmaßnahmen und deren Wirkung. Institut für Bauforschung der RWTH Aachen im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Bonn, Az. Z6-10.07.03-04.12. Forschungsbericht F917. Aachen, 02.07.2007

[25] Otto, F.; Klatecki, M.; Schäfers, M.: Optimierung von Austrocknungsprozessen hochwassergeschädigter Bauteile unter Berücksichtigung der gängigen Trocknungsverfahren zur Sicherung des Gebäudebestandes und zur Vermeidung von Sekundärschäden durch Feuchtemigration in Bauteile sowie innerhalb von Wohnungen. Fraunhofer IRB, Verlag C.H. Beck, 2009

[26] Richter, L.: Tragfähigkeit nicht tragender Wände aus Mauerwerk, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2009

[27] Graubner, C.-A.; Richter, L.: Nicht tragende Wände aus Mauerwerk; Forschungsbericht F01-06; Juni 2008

[28] Graubner, C.-A.; Richter, L.: Nicht tragende Wände aus Mauerwerk; Forschungsbericht F01-08; September 2008

[29] Graubner, C.-A.: Zulässige Ausfachungsflächen von Mauerwerk aus KS-Plansteinen mit Dünnbettmörtel bei Explosionsdruck; Stellungnahme Nr. 2023-02/AG; April 2023

[30] Brameshuber, W., Saenger, D.: Forschungsbericht F 7066 – Erarbeiten einer elektronischen Datenbank zu Biegezugfestigkeitsversuchen an Mauerwerk aus Kalksandsteinen sowie Auswertung der Daten; Aachen, 28.11.2011

Bildnachweise

Bild S. 438: Stefan Witte;
Bild S. 443: Universität der Bundeswehr München

STICHWORTVERZEICHNIS

A
BC

Stichwortverzeichnis

A

Abdichtung 75, 86, 91, 106, 211, 303, 305, 347, 362, 392 ff., 408 ff., 439
Abdichtungsstoff 411, 416, 422
Abfangkonstruktion 105, 177
Absorption 113, 273, 328 ff.
Algen 114, 156
Anker 98 f., 102, 126, 348, 358 ff.,
Anschluss 32, 129 f., 134 ff., 247, 260, 294, 303, 356, 358
–, gleitender 134
–, oberer 134 f.
–, seitlicher 134 f.
–, starrer 134, 249
Anschüttung 188, 213
Anstrich 144, 147 f., 151, 153, 397, 444
Arbeitsraum 211 ff., 397 ff., 402 f., 404 ff., 409, 412
Arbeitstechnik 76
Arbeitsvorbereitung 76
Attikaabdeckung 147, 154
Aufbrennsperre 88
Aufstandsfläche 170, 217, 221
Ausfachungsfläche 125 ff., 187, 220
Ausgleichsschicht 217, 415, 404, 407
Auskratzen 82, 148 f.
Außenecke 199, 220 f., 352
Außenlärm 20, 24, 56, 96, 104, 118, 275,2 78, 283 ff., 291, 299 f., 304f, 320 ff., 325 f.
Außenlufttemperatur 343, 351, 355, 381, 385
Außenputz 84 ff., 87, 90, 107, 109, 341, 354, 359, 383, 442
Außensichtmauerwerk 79, 143 f., 147., 150
Außenwand 23, 42, 96 ff., 103 f., 107 ff., 111, 120, 130, 163 ff., 206, 209, 260, 273, 299 ff., 323 ff., 340 ff., 362, 382
–, Brandschutz 96, 104, 111, 118, 120, 253
–, durchgehende 356
–, nicht tragende 130, 207, 230 ff., 249, 253
–, tragende 115 f., 130, 201, 207, 219, 230, 249
–, zweischalige 101 ff., 110, 252, 323, 340, 343, 356
Außenwandbekleidung 249, 252 f., 340, 360, 362,
Außenwandkonstruktion 56 f., 97, 102, 116, 231, 343, 362
Aussparung 109, 215 f., 248, 263
Aussteifung 119, 121, 125, 186, 196 ff., 209, 253, 257, 261
Austrocknung 88, 152 f., 175, 178, 218, 222, 363, 447 f.
Austrocknungszeit 363, 447

B

Barrierefreiheit 21, 43 ff.
Bauart, leichte, mittlere, schwere 95, 111, 225 ff., 234, 236, 240, 282, 374, 376, 378 ff., 382 ff., 416, 419
Baufeuchte 116, 139, 360, 362 f., 395, 397, 410, 414, 421, 447
Bauplatte 63 f., 74, 125, 135, 139 f., 265, 442
Bauproduktenverordnung 61, 72, 234, 236
Bauregelliste 227, 234, 239
Baurichtmaß 75, 185, 220
Bauschalldämm-Maß 57, 273 f., 276, 278, 280, 282, 284, 286, 289 ff., 308, 320, 322
–, bewertetes 274, 276, 278, 280, 286, 292
Bauschutt 54 f., 319
Baustellenmörtel 85, 148
Brandverhalten 65, 138, 226, 230, 234, 240 ff., 245, 262, 264
Baustoffklasse 86, 97, 135, 240, 248 f., 252, 259
Bausystem 63, 76
Bauteil 23 ff., 46 f., 52 f., 63, 69 f., 84, 119, 121, 125 f., 129 ff., 151, 159 ff., 167 ff., 176, 181, 186 ff., 192, 196 ff., 200 ff., 210 f., 215, 225 ff., 240 ff., 254 ff., 271 ff., 290 ff., 333 ff., 360 ff., 380 ff., 392 ff., 402 ff., 446 ff.
–, erdberührtes 26, 337, 352, 366 f., 393, 396, 404, 411, 422
–, flankierendes 24, 272, 282, 286, 290 ff., 298 ff., 308 f., 312 ff.
Befestigung 107 ff., 133, 356 ff., 425 ff., 435
–, nachträgliche 425
–, sicherheitsrelevante 425, 428 f.
Befestigungselement 115, 347, 358
BEG-Förderung 39 ff., 48
Behaglichkeit 19, 43, 45, 95, 333, 373 f., 380, 386 f., 389
Bekleidungselement 117, 119
Belastung 24, 80, 112, 125, 133 f., 162 f., 165, 170, 185, 187, 209, 213 f., 304, 433 ff., 446
–, körperliche 24
–, zentrische 433
Belüftung 346, 348, 375, 393, 448
Bemessung 72 ff., 98, 101, 120, 174, 180 ff., 230, 234, 243, 246, 286, 291 f., 316 f., 321, 429 ff., 442, 445, 449
–, Schallschutz 95, 291 f., 317, 321
Bleischicht 442
–, nach Eurocode 6 61, 72, 76, 79, 95, 125, 182 f., 185, 196, 204, 210, 234, 240, 242 f., 245 f.
–, nach vereinf. Berechnungsverfahren 281 f., 190, 192 f., 200, 204 ff., 210, 217 f., 291, 335
–, nach genauerem Berechnungsverfahren 182, 192 f., 200, 205, 210

Bemessungswert 69, 188 ff., 191, 193, 195, 204, 210, 213, 243, 335, 338, 342 f., 344 ff., 354, 368, 428, 449
–, Wärmedurchlasswiderstand 338, 343, 346 f., 368
–, Wärmeleitfähigkeit 69, 96, 109, 338, 343 ff., 354, 368
–, Wärmeübergangswiderstände 338, 342 f.
Beschichtung 84, 86, 107, 148, 151 f., 153, 156, 263, 305
Beschusssicherheit 443
Beschuss-Widerstandsklassen 443
Betrachtungsabstand 117, 150, 159
Bewegungsfuge 91
Bewertungskriterien 41, 45
Bewertungssystem 40 f., 44
Biegebeanspruchung 200
Biegezugfestigkeit 126 f., 139, 193 f., 449
–, charakteristische 193 f.
Biodiversität 41
Biomasse 32, 35
Bitumendickbeschichtung 415 ff.
BiRN 40, 44
Bleischichtdicke, äquivalente 442
Blockverband 144, 146
Blower-Door 29, 95, 364, 369
BMWSB 40
BNB 40, 44 f., 52
Bodenfeuchte 398 ff., 403, 406, 411, 413 ff., 422
Bodenplattenmaß, charakteristisches 366
Bogen 212
Bogenmodell 187, 213
Bogenschub 187, 211, 214
Bogenstich 211
Bogentragwirkung 139, 211
Bohrlochtiefe 99 f.
Bossiert 63 f., 66, 144, 147, 155, 183
Brandabschnitt 226, 229, 232, 244 ff., 252, 257, 260, 262
Brandlast 229 f., 238, 242, 261 f., 264
Brandriegel 111 f.
Brandschutz 57, 86, 95 f., 104, 111, 118, 120, 134 f., 136 f., 138, 140, 159, 221, 224 ff., 310
Brandwand 254, 256 ff., 259 ff.
Brandprüfung 242 ff., 251
BREEAM 40
Bruchrau 63 f., 66, 144, 147, 155, 183
Brüstung 178, 230

C

CO_2-Emissionen 51 ff.
CE-Kennzeichen 63, 72, 84
CO_2-Kreislauf 52 f.

D

Dachüberstand 114, 151, 253
Dauerhaftigkeit 56, 82, 95, 97, 188, 237
Deckendurchbiegung 76, 135, 139, 164, 171 f., 222
Deckenscheibe 125, 197 f., 200, 218
Deckenspannweite 23, 125, 134, 171, 206, 218
Deckenstützweite 139, 201, 204 f., 207
Deckenverdrehung 205, 210
DEGA 277 f., 280 ff., 288 f., 208, 313, 315
Dehnung 82, 160 ff.
–, elastische 82, 160
Dehnungsfuge 90, 99, 104 f., 112, 171, 175 ff., 257
–, horizontale 104, 177 f.
–, vertikale 177
Dehnungsfugenabstand 177 f.
Dehnungsfugenausbildung 104
Dekarbonisierung 50 f., 333
Deklaration 46, 49
Deklarationspflicht 72
Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) 39 ff.
DF 63 f., 66 f., 105, 120, 145, 162, 177 f., 292, 307, 328, 439
DGNB 39 ff., 49, 52
DIBt 72, 75, 90, 107, 111, 234 f., 262, 326
Dichtstoff 104, 135, 251
Dichtungsschlämme 75, 106, 121, 211 f., 248, 395, 421
Digitalisierung 29, 34 f., 50
DIN EN 771-2 61, 63 ff., 69, 71 f., 74, 256, 261 f., 265, 344, 431, 445
DIN EN 998-2 79 f., 185
DIN EN 1363-2 241 f., 249, 254
DIN EN 1996-1-1/NA 9, 81 f., 87, 98, 127, 130, 139, 160 ff., 182, 184 f., 186 ff., 191 ff., 209 ff., 215 f., 238, 248
DIN EN 1996-1-2/NA 96, 131, 182, 234, 240, 243, 245 f., 249, 252, 262, 265
DIN EN 1996-2/NA 98 f., 101, 143, 147, 211 f., 215, 444
DIN EN 1996-3/NA 98, 126, 133, 187, 189, 192, 196, 200 f., 204 ff., 211 f., 217 f., 222, 243
DIN 4030 440
DIN 4095 398 f., 403 ff., 406 f., 409, 410, 412 f., 416, 422
DIN 4102 87, 120, 129 ff., 235 ff., 238, 240, 246, 248 f., 252, 254, 256 f., 261 ff.
DIN 4103-1 69, 74, 125, 130, 132 f.
DIN 4108-2 19, 95 f., 102, 109, 117, 334 f., 345, 348 f., 352, 354 ff., 368, 374, 376, 378 ff., 384 ff., 388
DIN 4108-3 86 f., 96, 101, 108, 116, 120, 334 f., 342 ff., 360 ff., 368
DIN 4108-7 95, 335, 363 f., 368
DIN 4108, Beiblatt 2 96, 335, 337, 343, 351 f., 353 f. 355, 358, 367

DIN 4109-1 20, 96, 273, 275, 277, 279 ff., 296, 306, 308 f., 312 f., 315, 320 ff.
DIN 4109-2 271, 282, 285 ff., 308, 313, 316, 318, 321 ff.
DIN 4109-4 276, 285, 296, 308, 313, 322
DIN 4109-31 382, 285 f., 291 f.
DIN 4109-32 271, 285, 291 ff., 295 ff., 316, 320, 323
DIN 4109 Beiblatt 1 248, 285 f., 289, 295, 297, 316
DIN 4109 Beiblatt 2 248, 285, 289
DIN 4172 73, 183
DIN EN 12354 286, 291, 295, 313
DIN EN 12620 61
DIN EN 13055-1 61
DIN EN 13162 298, 307, 315 ff., 320, 344
DIN EN ISO 13370 337, 366 ff.
DIN EN 13501 96, 120, 235, 237 f., 239 ff., 248, 263
DIN 18095 238, 241
DIN 18195 211 f., 403 f., 408, 410 f.
DIN 18202 87 f.
DIN 18230 229 ff.
DIN 18330 83, 88, 144, 148, 153, 444
DIN 18350 84 f., 87
DIN 18516 115 f., 343
DIN 18533 75, 106, 393, 398 f., 402 f., 404 f., 408 f., 410 ff., 414 ff., 418, 420 ff.
DIN 18542 104
DIN 18550 84 ff., 89, 91, 189
DIN 18555 80, 186
DIN V 18580 79, 81, 168
DIN 20000-402 61, 63 ff., 69, 71 f., 74, 143, 147, 183 f., 256, 261 f., 265, 344, 442, 445
Direktschalldämm-Maß 131, 274, 293, 301, 304
Drahtanker 99, 130
Dränung 398, 400, 403, 406, 409
Dreisäulenmodell 24 f.
Druckfestigkeit, charakteristische 74, 80, 192 f., 429 f.
Druckfestigkeitsklasse 64, 69, 86, 184 f., 196, 202, 217
Druckwasser 404, 406 ff., 412, 422
Druckzone 70, 214
Dübel 110, 115, 134, 140, 347 f., 353, 360, 431 ff.
Dübelanker 99, 359
Dübelteller 108
Dünnbettmörtel 63 f., 67 f., 73 f., 76, 79 ff., 99 f., 106, 126 ff., 132, 139 f., 148, 161 f., 168, 181, 183, 185 f., 189, 192 f., 245, 248, 257, 318 f., 344, 442, 449 f.
Dünnformat 64, 183
Dünnlagenputz 87 ff., 131, 191, 305, 317, 364
Durchbiegung 76, 88, 135, 138 f., 170 ff., 186, 188
Durchdringung 353, 364, 402, 412, 414, 418, 422

E

Ebenheit 88, 115
Ebenheitsanforderungen 88
Edelstahl-Flachanker 199 f.
Effizienzhaus 15, 22, 24, 26, 27, 387
Effizienzhaus 40 Standard 15, 22, 24, 26 f., 387
Effizienzstandard 23, 334
Eigengewicht 82, 125, 133, 182, 186, 189, 191, 208, 244
Eigenlast 101, 108, 115, 130, 187, 213
Eigenspannung 159
Einbau, nachträglicher 248
Eignungsprüfung 79, 81, 181, 191
Einbaubereich 132 f., 140
Einbaufeuchte 159
Einbaulage 342, 356, 425
Einbauschränke 355
Einbauteil 217
Einbruchhemmung 446
Einsteinmauerwerk 74, 193, 217
Einwirkung 86, 95, 159 f., 170, 175, 182, 186 f., 188 ff., 195 ff., 200, 204, 207 f., 211, 214, 242, 396 ff., 406, 413 ff., 428, 435, 449
–, außergewöhnliche 49, 189, 191, 445, 449
–, Bemessungswert 188 ff., 204, 428, 449
–, charakteristische 187, 189, 190 f., 207 f.
–, horizontale 190, 196, 198, 211, 449
–, ständige 138, 170, 189, 191, 207 f.
–, veränderliche 189, 191, 208
–, kombinierte 86
Einwirkungskombination 138, 170, 190 f., 211, 412
Elektroinstallation 63, 139, 248, 307
Elementiertes Mauerwerk 24
Emission 15, 24 ff., 32, 36, 43, 49 ff., 56, 333
Emissionsbilanz 41, 50
Ende des Lebenszyklus 46, 54
Endkriechzahl 162, 196
Energieeinsparung 95, 102, 334, 363, 367
Energieeinsparverordnung (EnEV) 15, 252, 334, 373
Energieverbrauch 19, 46, 52, 333 f., 373
Gesamt-, 333 f.
End-, 15
Entkoppelte Bauteile 293, 295, 308
Entkoppelt 96, 136 f., 250 f., 293, 295, 303, 308 ff., 353
Entwässerung 420
Entwässerungsöffnung 90, 106
Erdbeben 174, 187, 189, 198, 445
Erdbebeneinwirkung 189
Erdbebensicherheit 445
Ergänzungselement 63, 68, 183
Erneuerbare Energien 15, 23, 26 f., 31, 36, 43
EPD 25, 47 ff., 53
Errichtungsphase 46, 52
Erschließung 17 f., 21, 43
Eurocode 6/(EC6) 61, 72, 79, 95, 125, 182 f., 185, 196, 204, 234, 240, 242 f., 245 f.
Europäische Technische Bewertung (ETA) 90, 107, 230, 427 ff., 430 f.

F

Fachwerkkonstruktion 129
Fasenstein 63 f., 67, 144, 182, 243, 265 ff.
Fassade, vorgehängte hinterlüftete 115 f., 118 f., 343, 359 f.,
Fassadenbekleidung 118, 340
Fassadenunterkonstruktion 428
Fenster, Sonnenschutz 378, 382, 384
Fensterflächen 18, 20, 211, 327 f., 376, 381, 396
Fensterflächenanteil 323, 326 ff., 374, 378, 382, 384
Feuchte 88 f., 95, 106, 395, 420, 434, 448
Feuchte- und Witterungsschutz 84, 90, 95 f., 101, 108, 116 f., 120 f.
Feuchteaufnahme 168
Feuchtedehnung 160, 162, 169, 196
Feuchtegehalt 96, 114, 152, 343, 370, 417
Feuchteschutz, klimabedingter 335, 360, 368
Feuchtigkeitsaufnahme 151, 397
feuerbeständig 225 ff., 229, 236, 238, 247, 248, 252 ff.
feuerhemmend 227, 229 f., 236, 238, 247, 252 ff., 262 f.
Feuerwiderstandsklasse 96, 131, 230, 236, 240, 243, 246 ff., 252 f., 259 261 f.
Fingerspalt 102 f., 252, 340, 343, 346
Flächengewicht 24, 111, 189
Flächenbezogene Masse 96, 104, 136 f., 250 f., 274, 276, 288, 293, 295 ff., 301 ff., 312 ff., 323 f., 394
Flächeninanspruchnahme 41
Flankendämmung 276, 287, 290, 294 ff., 299, 301, 304 f., 324
Fliese 89, 91, 307, 383
Folie 152 f., 178, 361, 364, 395, 421
Formänderung 159 ff., 167, 176, 178, 188, 197
Format 61, 63, 139, 144, 152, 183, 430
Format-Kurzzeichen 63
Frost 82, 86, 444
Frost-Tau-Wechsel 65
Frostwiderstand 65, 183
Fuge, klaffende 187, 210, 212, 215, 396
Fugendichtstoff 104, 136 f., 177, 250 f., 310 f.
Fugendichtungsband 104
Fugendicke 75, 184, 247
Fugenglattstrich 82, 101 f., 147, 149
Fundament 166, 176, 200, 211, 297 f., 316 ff., 367
Funktionstrennung 27, 76, 97, 120
Funktionswand 351, 354
Fußpunkt 101, 130, 134, 247, 260, 306, 316

G

Gebäude 39 ff., 52 ff., 76, 95 ff., 104, 106, 111 f., 120, 122, 125, 138 f., 144 f., 147, 150 ff., 159, 166 ff., 183, 186, 188, 196 f., 227 ff., 252 ff., 258 ff., 273, 283 ff., 312 ff., 333 ff., 348 ff., 364 ff., 374, 376, 381 f., 396 f., 412 f., 441 ff., 446
–, (normal) beheiztes 97, 348
–, niedrig beheiztes 97, 350, 374
–, unbeheiztes 419
Gebäudeabschlusswand 230, 252
Gebäudeaussteifung 125, 187, 190 f., 197, 200, 209, 218
Gebäudebetrieb 22 f., 25 f., 44
Gebäudeecke 99, 104, 177, 207
Gebäudeenergiegesetz (GEG) 25, 334, 352, 364, 374
Gebäudehülle 17, 21, 24, 27, 29 f., 36, 43, 334 ff., 354, 363 f., 367 368
Gebäudeklasse 96, 111, 118 f. 227 f., 231 ff., 249 252 f.
Gebäudetechnik 15, 19, 23 f., 26 f., 29, 35, 43, 264
Gebäudetrennfuge 175
Gebäudetrennwand 246, 252
Gebrauchstauglichkeit 121, 140, 187 f., 196, 420, 428
Geschlämmtes Mauerwerk 147
Gestaltung 16 ff., 145, 316, 386
Gesteinskörnungen siehe Zuschlag 52, 54 f., 61, 79 ff., 87
Gesundheit 43, 45, 49, 129, 360
Gesundheitsschutz 283
Gewölbe 181
Giebelwand 166, 188, 261
Glattstrich 88
Gleichwertigkeit 354, 368
Gleitschicht 135, 167 f., 219 f., 222
Grenzabmaß 64
Grenzbebauung 253
Grifföffnung 194, 196
Grundgeräuschpegel 277 f., 285
Grundrissgestaltung 23, 140, 279, 283, 314
Grundwasser 345, 396 ff., 412 f., 415, 422, 439 f.

H

Haftscherfestigkeit 194, 80, 186, 192 ff., 195
Haftverbund 87, 89, 148, 168 , 173, 178
Halterung 133 ff., 140, 168, 190, 198 ff., 203, 209, 217, 220 ff., 255, 257, 266
–, dreiseitige 129, 133 f., 203
–, vierseitige 121, 126, 129, 133, 135, 186, 198 f., 203, 215, 217
Handvermauerung 63
Härten 62, 426
Haustrennwand 282, 296 ff., 300, 315 f., 318 f.
Heizenergiebedarf 34, 36, 57
Heizwärmebedarf 16, 27, 30 f., 34, 362

Herstellung 23, 45 ff., 50, 52 f., 54 f., 62 f., 75, 79, 81, 88, 115, 214 f., 226, 237, 335, 408, 439
Herstellungsphase 46, 52, 56
Hochfeuerbeständig 247
Hochfeuerhemmend 227, 230, 236, 238, 247, 252 f.
Höhenausgleich 69, 73, 75, 140, 217
Holzbalkendecke 165, 189, 197, 198, 203, 220, 226, 382 f., 387

I

Imperfektion 396
Imprägnierung 144, 148, 151 f., 156
Injektionsdübel 425 ff., 429 ff.
Innenoberflächentemperatur 348 f., 355
Innenputz 47, 84 f., 87 f., 89, 98, 100, 103, 107, 109, 118, 340, 341, 354, 359, 363 f., 383
Innensichtmauerwerk 143, 144, 147, 425
Innenwand, nicht tragende 133 f., 136, 140, 250, 310
Innenraumluftqualität 43, 56 f., 138
Installation 304 ff., 308, 357
Installationsgeräusche 306, 309, 312
Installationskanal 71, 240 f., 320
Installationsschacht 240, 247
Installationswand 300, 306, 308 f.
Instandhaltung 23, 25, 234, 296, 408, 412
Inverkehrbringen 61, 72
Investitionskosten 17, 21 ff., 27, 30, 32 f.
Investor-Nutzer-Dilemma 22

K

Kabelabdeckung 439
Kalksandstein 15 ff.
–, Eigenschaften 63 f., 73, 138, 183, 185, 287, 293, 448
–, wärmetechnisch optimierter 69, 344
Kantenausbildung 64, 183
Kategorie I 191, 388 f., 445
Kehle 86, 417
Kelleraußenwand 97, 162, 211, 353, 421
Kellerdeckenanschluss 357 f.
Kellerwand-Außenputz 86, 417
Kerndämmung 102, 323, 346, 362
KfW Effizienzhaus 22, 387
Kiesstreifen 401, 404 ff., 414
Kimmschicht 73, 217, 220 f.
Klimaneutralität 26 f., 30 ff., 36, 50 f.
Klimaneutralitätspfad 50 f.
Klimaregion 376, 378 f., 382, 384 f.
Klimaresilienz 40, 42
Klimarisiken 42
Klimaschutz 38 ff.
Klimaschutzprogramm 39
Klimawandel 42, 57, 373, 399, 448
Knicklänge 186, 198, 203, 207, 210, 217 f. 243
Knicksicherheitsnachweis 196 f., 202, 205, 210
Komfort 15 f., 19 f., 27, 29 f., 33, 35, 40, 42 f., 56 f., 138 f., 278, 281, 285, 334, 367, 387 ff
Komfortwohnung 279, 281, 289
Komplextrennwand 255, 261
Konstruktionseigengewicht 189
Konvektion 338
Körperschallübertragung 309, 312, 316
Korrigierbarkeitszeit 80, 185
Kreuzverband 146
Kreislauffähigkeit 39
Kriechdehnung 161, 169
Kriechen 123, 133, 137, 129, 159 f., 161 f., 171, 175, 177, 210, 243, 251, 311
Kriechzahl 161 f.
Kristallwasser 244
KS XL 27, 29, 63 f., 68, 73 f., 87, 91, 125, 127 f., 182, 185 f., 193, 214, 217, 221, 257, 450
KS XL-Planelement 73 f.
KS XL-Rasterelement 68
KS-Außenwandkonstruktionen 97, 116
KS-Bausystem 63, 76
KS-Fasenstein 63, 67, 144, 183
KS-Fertigteilsturz 70, 75, 214, 249
KS-Flachsturz 70, 75, 213, 249
KS-Haustrennwand 318 f.
KS-Hohlblockstein 126 f., 243
KS-Kimmstein 69
KS-Lochstein 63, 125, 183, 243, 265 ff., 329, 364, 425, 428 ff.
KS-Planstein 63, 74, 87, 91, 127 f., 183, 185, 193, 243, 265 ff., 449
KS-Produkte 66, 69, 71, 73, 131
KS-Schallschutzrechner 24, 273 f., 282, 290, 295, 299 ff., 302, 308, 318
KS-Sichtmauerwerk 129, 143, 145, 148 f.
KS-Stein 166, 267, 307, 434
KS -U-Schale 71, 129, 133 f., 198, 212 ff., 218, 249
KS-Verblender 63 ff., 101, 143 ff., 147, 154, 183 f., 359
KS-Vollstein 63, 183, 243, 265 f. 305, 393, 425, 427, 429 f., 432, 439, 442
KS-Vormauerstein 65, 121, 143 ff., 147, 184
KS-Wand, freistehende 121
KS-Wandkonstruktion 23, 76, 102, 191, 196
KS-Wärmedämmstein 69, 75, 306 f., 317, 344 f., 354, 357 f.
Kühlung 33, 52, 334, 369, 378, 381, 384, 389
Kunststoffdübel 359 f., 425 f., 428 ff.
Kurzbezeichnung 242

L

Lagerfuge 79 ff., 87, 99, 106, 128, 133, 139, 145, 164, 168, 171 ff., 178, 184 ff., 192 ff., 210 f., 214, 217, 220 ff., 261, 430
Lagerfugendicke 82, 168, 185, 194
Landesbauordnung 62, 72, 95 f., 100 f., 227 ff., 234, 236, 239, 252 ff.
Längen- und Höhenausgleich 73, 217
Langlebigkeit 21, 24, 41
Lastabtrag 23 f., 125 f., 132, 139, 189, 209, 211
Lasteinleitung 181, 205, 218
Lastmanagement 33 ff.
Läuferverband 144, 146
Lebenszyklus 27, 32, 34 f., 41 f., 45 ff.
Lebenszyklusanalyse (LCC-Analyse) 21, 22
Lebenszyklusbetrachtung 22, 27
Lebenszyklusbilanzierung 22, 23
Lebenszykluskosten 19, 22 f., 32, 56
Lebenszykluskostenrechnung 42
Lebenszyklusphase 46
Leichtentflammbar 230
LEED 40
Liste der technischen Baubestimmungen 243
Lochanteil 63 ff, 75, 183, 193, 425, 442
Luftdichtheit 29, 43, 84, 95 f., 101 f., 116, 159, 335, 363 f.
Luftfeuchte 43, 96, 116, 161, 349 f., 355, 370, 393, 447
Luftschicht 97 ff., 99 ff., 102 ff., 252, 323, 328, 340, 343, 346 ff., 358 ff.
–, ruhende 346 f., 361
–, schwach belüftete 102, 346
–, stark belüftete 102, 343, 346 f.
Luftschichtanker 99 f., 276, 358 f.
Lüftungsöffnung 102, 365, 364
Lüftungstechnik 15, 30, 262

M

Maße 126, 138 f., 282, 291, 293 f., 297, 301
Masse, flächenbezogene 98, 104, 131, 136, 250, 274, 276, 288, 293, 295 ff., 301, 324, 349
Massekurve 274, 276, 294 f., 304, 323 f.
Maßgenauigkeit 73, 140
Maßordnung 73, 183
Maßtoleranz 79, 82
Mauermörtel 78 ff.
Mauerstein 54, 61, 71, 79 ff., 139, 161 f., 164 ff., 168, 346, 362, 364, 394, 421, 429, 439, 444 f., 447
Mauerverband 145, 147, 150
Mauerwerk 98, 107, 115, 120, 126 f., 162, 187, 189, 226, 244, 357, 444, 447
–, bewehrtes 182, 190
–, geschlämmtes 147
–, nicht tragendes 61, 63, 71, 183, 261
–, tragendes 61, 63, 71, 107 f., 115, 183, 186 f., 207, 261
–, zweischaliges
Mauersteinart 159, 162
Mauerwerksdruckfestigkeit 73, 80, 181, 192, 201, 205, 209, 217, 234
–, charakteristische 73, 80, 192, 201, 205, 243
Merkblatt 86 f., 113 f., 119, 130, 267, 306
Mindestdicke 87, 89, 148, 199, 248, 261 f., 265
Mindestschallschutz 20, 278 ff., 282, 285, 289, 304
Mindestüberbindemaß 74, 215 f.
Mindestwärmeschutz 95 f., 334, 348, 374
MINEA 445
Modulares Bauen 27, 29
Montagestütze 172, 218, 222
Mörtelart 75, 79, 88, 159, 162, 185, 192, 196, 126
Mörtelgruppe 81, 132, 136, 185, 214, 250
Mörtelkübel 79
Mörtelschlitten 81
Mörtelspritzer 153 f.
Musterfläche 143, 150

N

Nachbehandlung 82, 88, 139, 149, 171, 175, 416
Nachhallzeit 86, 274, 2887, 299
Nachhallzeitbezogen 290
Nachhaltiges Bauen 16, 39 ff., 44, 50, 57
Nachhaltigkeit 15 f., 20, 24 ff., 38 ff., 44, 56
Nachhaltigkeitsaspekte 25
Nachhaltigkeitsbewertung 39 f., 40, 46, 56, 138
Nachhaltigkeitsbewertungssystem 39
Nachhaltigkeitsdefinition 40, 45
Nachhaltigkeitszertifizierung 20, 43, 52
Nachhaltigkeitszertifizierungssystem 52
Nachtlüftung 95, 373 f., 376, 378, 381 f., 384 ff., 388 f.
NaWoh 40, 44 f.
Nennmaß 73
NF 66
Nichtraumabschließend 238, 244, 246, 265 f.
Niederschlagswasser 82, 99, 106, 399 ff., 406, 408 f., 416, 418
Normalentflammbar 111, 119, 227, 230 f., 252
Normalmauermörtel 63 f., 73 ff., 79 ff., 126 f., 132, 161 f., 168, 181, 185 f., 120 ff., 261
Norm-Trittschallpegel 284, 286, 291
Nut-Feder-System 63 f., 73 f., 183 ff., 429
Nutzlast 95, 132, 175, 187, 189 f., 204, 435
Nutzungsdauer 24, 47, 51, 56, 187 f., 400, 415
Nutzungsphase 15, 25, 44, 46, 52 ff.
Nutzungszeiten 15, 23 f., 336

O

Oberfläche, strukturierte 64, 89, 143, 148
Oberflächenbehandlung 119, 145, 148
Oberflächentemperatur 95 f., 343, 347 ff., 354 f., 368
Oberflächentemperaturfaktor 354 ff.
Öffnungsüberdeckung 70, 76
Ökobaudat 25, 47 f.
Ökobilanz 41, 45, 48 f., 53
Ökobilanzierung 23, 25 f., 45 ff., 52 f., 54
Ökologie 24 f., 41
Ökologische Aspekte 24, 40 f.
Ökologische Qualität 40 f., 45, 56
Ökonomie 24 f., 41 f
Ökonomischen Aspekte 25
Ökonomische Nachhaltigkeit 56
Ökonomische Qualität 40, 42, 45, 56
Optimierung 15 f., 24 ff., 27, 41 f., 79, 102, 296, 300, 326, 389

P

Passivhaus 15, 19, 21 f., 27, 34, 36, 334
Passivhausstandard 102
Perimeterdämmung 97, 106, 108, 341, 345, 362, 366, 418
Pfeiler 121, 159, 197, 204, 207f., 243, 246
Pfeilerlänge 304
Pionierpfad 50 f.
Photovoltaik 26 f., 32 f., 35
Planstein 63, 67, 73, 82, 87, 91, 127 f., 183, 185, 192 f., 217, 243, 417, 449 f.
Planstein-Mauerwerk 87, 217, 421
Planungsprozess 15 f., 19, 25, 44, 290
Planungsqualität 21 f.
Plattenschub 195
PMBC 415 ff.
Pressfeuchte 62
Primärenergiebedarf 95, 334, 336, 370
Prozessqualität 40, 42, 44 f.
Prüfung 87, 95, 152, 230, 234 f., 238, 240, 242, 255, 285, 309, 353, 396, 411, 443, 447
Putz 84 ff., 111, 114, 121, 137, 151, 159, 219, 222, 238, 246, 248 ff., 305, 310 f., 397
Putzgrund 84 f., 87 ff., 138
Putzmörtelgruppe 84

Q

Qualität 16, 23 ff., 36, 40 ff., 47, 55 f., 73, 76, 95, 111, 138 f., 148, 278, 282, 329, 333, 339, 363
Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) 21 f., 25, 39f., 48
Quartierskonzept 34
Quartiersnetze 34
Querschnittsqualität 41 f.
QNG-Anforderungen 25, 39
Quellen 49 f., 52, 159 ff., 333
Querkraftbeanspruchung, Nachweis 209

R

Radioaktivität 49, 54
Randabstand 429 ff.
Randdehnungsnachweis 195
Randschwinden 162
Raumluftqualität 20, 30, 42, 363
Recarbonatisierung 51 ff., 56
Rauch 138, 225, 235 f.
Rauchdichte Bauteile 238
Rauchgasdichtigkeit 238
Recycling 24 f., 54 f.
Referenzpfad 50 f.
Regelelement 63, 68, 73 f., 183
Regen 41, 90, 148 f., 151, 360, 439
Regenwasser 147, 151, 154, 347 f.
Reibungsbeiwert 194 f., 212
Reihenhaus 253, 280, 366
Reinigung 154
Relaxation 160, 178
Resonanzfrequenz 96, 296 f., 307 f., 324 ff.
Ressourceneffizienz 39 ff.
Ressourcengewinnung 41
Ressourcenschonung 95
Rezeptmauerwerk 181
Rezeptmörtel 191
Richtmaß 73, 75
Ringanker 198, 218 ff.
Ringbalken 198, 218 ff.
Rissbildung. 88, 105, 112, 121, 162 ff., 170 ff., 174 ff., 177 ff., 220, 431
Risssicherheit 82, 132, 147, 162, 164, 168 f., 171, 173, 178
–, Beurteilung 162, 169
–, Erhöhung 164, 168, 171, 173, 178
Roadmap 50 ff.
Rohbau-Richtmaß 73, 75
Rohdichte 24, 125, 136 f., 139, 159, 245, 250, 252, 306, 310 ff, 379
(s.a. Steinrohdichte)
Rohdichteklasse 24, 65, 129, 136 f., 139, 159 ff., 259, 261, 310 f., 344, 379, 429, 439, 442
(s.a. Steinrohdichteklasse)
Rohstoff 41, 52 f., 62, 84, 150
Rollschicht 121

S

Sägen 52, 74, 139
Salz (s.a. Tausalz) 83, 420, 439 f., 445
Salzlösungen 444
Salzsäure 153
Saugfähig 96, 153
Saugverhalten 83 f.
Schachtwand 300, 313
Schallabsorption 291, 328 f.
Schalldämm-Maß 273 f., 276, 282, 287, 293, 296, 315, 320 ff.
–, bewertetes 131, 274, 276, 280, 286, 292, 294 f., 298, 325
–, resultierendes 273 f., 276, 293, 300, 305, 308, 321 ff. 327
Schalldämmung, resultierende 273, 293, 300, 302, 306, 308, 323, 327
Schallpegel 277, 284, 306, 320
Schallpegeldifferenz 274 f., 278, 290, 322
–, Standard- 275, 278, 290
–, bewertete 274 ff., 290, 323
Schallschutz 20 ff., 96 ff., 273 ff., 277 ff., 280 ff. 283 ff. 299
–, erhöhter 281, 283 f., 288 f., 301, 304, 316 f.
Schallschutznachweis 291, 293, 299, 323
Schallschutzniveau 20, 23, 277, 283, 288, 300, 302
Schallschutzrechner 24, 273, 282, 290, 295, 299 ff., 308, 318
Schallschutzstufen 378f., 287 f., 290, 316
Schallübertragung 371, 373, 283 f., 285 f., 291 ff., 295 ff., 301, 304, 308, 321
–, direkte 273, 293, 322
–, flankierende 273, 285 f., 293, 295 ff., 301, 303 f., 308, 322
Scheibenschub 194, 209, 218
Schichthöhe 64, 73 f., 144 f., 183
Schichtmaß 75, 122, 184
Schimmelpilz 139, 350, 355, 365, 393
–, -bildung 96, 334, 360
–, -vermeidung 96
–, -wachstum 349, 355
Schlagregen 90, 96, 114, 151, 178, 360, 393
–, -beanspruchung 87, 108, 130, 152
–, -beanspruchungsgruppe 86, 96, 116, 120, 360
–, -schutz 86, 101, 116, 120, 159
Schlitz 63, 129, 203, 215 f., 248, 304 ff.
–, horizontaler 216
–, schräger 216
–, vertikaler 215
Schlitzbreite 216
Schlitzlänge 215 ff.
Schlitztiefe 139, 216, 306
Schneelast 115, 182
Schnittgrößenermittlung 183, 196 f., 210
Schubfestigkeit 191, 194 f., 431
–, charakteristische 191, 194 f., 431
–, charakteristischer Wert 191, 194
–, Bemessungswert 191, 195
Schubtragfähigkeit 200
Schutzschicht 106, 409, 417 f., 420, 442
schwach belüftet 102, 346
schwerentflammbar 111, 119, 227, 230 f., 235, 252
Schwinddehnung 161, 168, 178
Schwinden 132, 139, 159 ff., 175 ff., 178, 194, 218, 222
Sekundärrohstoffe 41, 55 f.
Sicherheitsbeiwert 188 f., 191, 193, 208, 287, 299 f., 322, 449
–, globaler 186
Sichtmauerwerk 63, 79, 81 ff., 120, 129, 139, 142 ff., 150
Sickerwasser 398 ff., 402 f., 406, 412 f., 415
–, nicht drückendes 398, 414 f.
–, drückendes 415
Sockelanschluss 354
Sockelbereich 84, 90, 106, 108, 419
Sockelputz 84, 86, 106, 108, 419
–, wasserabweisender 106
Sollfugendicke 82
sommerlicher Wärmeschutz 19 ff., 95, 373 ff., 382 ff., 389 f.
Sonneneinstrahlung 95, 104, 113, 149 f., 373, 389
Sonneneintragskennwert 374 ff., 378, 384, 386, 389
Sonneneintragskennwertverfahren 374, 376, 384, 386, 389
Sonnenschutzvorrichtung 377
Sozialen Aspekte 25
Sozioökonomische Bedeutung 39
Soziokultur 41, 43
Soziokulturell-funktionale Qualität 138
Soziokulturelle Nachhaltigkeit 57
Speichermasse 19, 373, 380 f., 384, 386, 389
Spektrum-Anpassungswert 275, 300, 321 f., 326
Sprachverständlichkeit 277 f.
Spritzbewurf 88, 90 f. 98
Spritzwasser 84, 96, 106, 108, 121, 404, 420
–, -beanspruchung 96
Standortqualität 40, 42, 44
Standsicherheit 95, 98, 107 f., 115, 120 f., 125, 130, 133, 139, 186 f., 188 f., 195 f., 218, 225 f., 260 f., 445
Standsicherheit (Brandschutz) 95, 120, 225, 246, 248, 260 f.
Standsicherheitsnachweis 115, 187, 194, 217
Stauwasser 398 ff.
Steckdose 248, 306, 364
Steifigkeit, räumliche 196, 220
Steinart 61, 63 f., 132, 144 f., 183, 192, 245, 429
Steindruckfestigkeit 64, 74, 184, 192 f., 195, 439
Steindruckfestigkeitsklasse 184, 193
Steinformat 62 ff., 145, 165, 183, 217, 428, 447
Steinhöhe 64, 73 ff., 82, 144, 183, 185, 216 f.
Steinoberfläche 101, 145, 147, 153, 155
Steinrohdichte 65, 76, 120, 140, 184, 189, 317, 324, 439
Steinrohdichteklasse 120, 131, 184, 189, 317, 439
Steinsorte 63, 192, 196, 431
Steinzugfestigkeit 165, 192, 195 f.

Stoßbeanspruchung 229, 354 f., 260
Stoßfuge, unvermörtelte 81, 87, 95, 116, 148, 185, 193, 195, 238, 246 f., 304 f., 346, 429, 432
Stoßfugenausbildung 64, 127, 183 ff.
Stoßfugenvermörtelung 75, 101, 126 ff., 132, 140, 181, 183 ff., 305, 429, 450
–, ohne 75, 128, 183 ff., 305, 329, 450
Stoßstelle 96, 104, 118, 271, 282, 286, 294 ff., 303, 316
Stoßstellendämm-Maß 291, 293, 295 f., 301
Strahlenschutz 86 f., 441
Strahlung 441 f.
–, elektromagnetische 441
–, radioaktive 441 f.
Stumpfstoß 221, 248, 302 f., 304
Stumpfstoßtechnik 76, 164, 181, 199, 220 f., 303
Sturz 214, 256
Stütze 71, 121, 130, 197, 240 f., 262
Systemergänzung 69
Systemgrenze 25, 45 f., 49

T

Tapete 84, 89
Tausalz 106, 121, 444
Tauwasser 95 f., 101, 108, 116, 334, 350, 355, 393, 395, 398f. 402 ff.
–, -ausfall 366
–, -bildung 360, 398, 402, 439
–, -nachweis 101, 361
Technische Qualität 40, 43, 45, 56, 138
Teilflächenpressung 209 f.
Teilsicherheitsbeiwert 129 f., 182 f., 187, 189, 191
Temperatur 33, 62, 65, 96, 152 f., 339, 345, 350, 385, 395
–, maßgebende 163
–, -änderung 82, 138, 160, 175
–, -faktor 354 ff., 370
–, -zeitkurve (ETK) 242
Thermischer Komfort 27, 43, 56
Toleranzen 64, 115, 185, 427
Treibhausgasemission 36, 39 f., 50, 52
Treibhausgasneutralität 16, 50
Treibhausgaspotenzial 41, 47 f.
Trennfuge 276, 294 f., 302, 316 ff., 320
Trennschicht 164, 171, 173, 222
Trennwand, nicht tragende 171, 190, 246
Trennwandzuschlag 190
Treppenraumwand 313
Trittschall 272, 277, 285
Trittschalldämmung 291, 300, 258, 382 f.
Trittschallschutz 284, 288, 290, 300
Trockenrohdichte 79 ff., 185 f.
Tropfkante 114, 121, 147, 154
Typengebäude 47, 54

U

U-Wert 102, 109, 387 ff., 345, 347 f., 351, 353, 356, 358 ff.
Überbindemaß 75, 126, 132, 140, 144, 200 ff., 209 f. 217, 449
Übermauerung 70, 214
Überstand, maximaler 101
Überwachung 81, 336
Umweltwärme 34 ff.
Umweltwirkung 25, 41 f., 45 ff. 49, 52
Umweltproduktdeklaration (EPD) 25, 48 f.
Untergrund 84, 87 ff. , 92, 102, 106, 112, 115, 118, 152 f., 193, 116 f., 420, 425, 427, 421 f., 435
–, tragender 118
Unterkonstruktion 115 ff., 231, 253, 435

V

Verankerungselement 115, 118, 427
Verankerungstiefe 428 f. 430 f., 434 f.
Verarbeitbarkeitszeit 80
Verband 71, 104, 112 f., 118, 163, 197, 199, 214, 216, 220, 421, 433
Verbandsmauerwerk 218, 248
Verblender 64 ff., 83, 101, 143 ff., 147 f., 151, 154, 184, 359, 420
Verblendmauerwerk 82, 104, 143 f., 151 ff., 323, 419 f., 444
Verblendschale 65, 82, 96, 98, 101 f., 104 ff., 110, 147, 162, 168, 177 f., 218, 323 f., 340, 419
VDI Richtlinie 4100 277 ff., 287 f.
Verformung 82, 88, 90 f., 104, 115, 117, 121, 131, 134 f., 139, 153, 159, 162, 164, 167, 170, 172, 175 f., 177 f., 186 f., 204, 218, 220
–, -eigenschaften 162, 192, 196
–, -fall 152 f., 164 ff., 167, 177 f.
–, -kennwerte 196
Verfugung 162 f., 164 ff., 82 f., 102, 143, 145, 147 ff.
Verkehrslast, Zuschlag 131
Verklebung, vollflächige 108
Verschmutzung 117, 148, 151, 153 ff.
Versetzgerät 29, 73, 181, 214, 221
Verwendungszweck 85, 234
Verzahnung 276, 134, 181, 185, 221, 426 f., 431
Visueller Komfort 43
Vollstein 63 f., 69, 183, 187, 193, 195 f., 209, 217, 243, 265 ff., 305, 375, 393, 425, 427, 430 ff., 439, 442
Vorlagerung 62
Vormauerschale 90, 97, 104, 249
–, verputzte 97, 104
Vormauerstein 65, 101, 121, 143 ff., 147, 184
Vornässen 82, 149, 168
Vorsatzschale 276, 291, 294, 296, 300, 304, 307 f., 323, 326

W

Wand 125, 130, 139, 165, 167, 193 f., 112 f., 247, 276, 296 f., 449
–, aussteifende 125, 186, 199, 203, 219 f.
–, auszusteifende 162, 186, 199, 221
–, einschalige 276, 296 ff., 324
–, nichtraumabschließende 324, 246, 265 f.
–, nicht tragende 65, 125 ff., 265 ff., 242, 245, 449
–, raumabschließende 243 ff., 262, 265 ff.
Wandanschluss 129 f., 134, 171
–, seitlicher 135, 198
–, oberer 137, 152, 311
Wanddicke 23 f., 63, 73, 90, 128, 132 ff., 200 ff., 208, 217, 230, 348 ff., 301, 306, 310 f., 324, 431, 450
Wandflächengewicht 189
Wandfuß 75, 133, 168, 171, 210 ff., 215, 217 f., 220, 256
Wandgewicht 189, 208
Wandkopf 69, 129, 132, 171, 186, 204, 210 f., 215, 217, 245, 256, 364
Wandkrone 151
Wandlänge 74 f., 99, 128, 132 ff., 139 f., 168, 171, 178, 219, 367,450
–, rissfreie 165, 178
–, zulässige 132 ff., 140
Wandöffnung 214, 244, 256
Wandoptimierung 76
Wandscheibe 134, 183, 187, 190, 197 f., 209 f., 218, 220
Wandschlankheit 181, 198, 205
Wärmebrücken 27 ff., 96, 118, 306, 334, 348, 350 ff., 365
Wärmebrückenkatalog 352 f., 354, 356 ff.
Wärmedämm-Verbundsystem 86, 90, 109, 172, 252, 319, 324, 347 f., 356, 360, 362, 419
–, gedübeltes 360
–, geklebtes 360
Wärmedämmputz 86, 265
Wärmedämmstoff 117 f., 340
Wärmedämmstoffdicke 117 f., 340
Wärmedämmung 29, 97 f., 106 ff., 113, 115, 117 f., 120, 125, 163, 169, 258 f., 304, 340, 347, 350, 359 ff., 393
Wärmedehnung 360 f.
Wärmedurchgangskoeffizient 336, 338, 343, 346 f., 351, 356 ff., 370
–, längenbezogener 356 ff., 370
–, punktbezogener 370
Wärmedurchlasswiderstand 228, 349, 343, 346 f., 349, 355, 362 f., 368 ff
Wärmeleitfähigkeit 69, 80, 86, 96, 109, 306, 338, 343 ff., 354, 358, 370, 381
–, äquivalente 346 f.
–, Bemessungswert 69, 109, 118, 338, 340, 342 ff.
Wärmeleitung 338, 347
Wärmenetz 32, 34 f.
Wärmeschutz 11 ff., 19 ff., 76, 95 ff., 334 ff., 348 ff., 372 ff.
–, sommerlicher 19 ff., 95 ff., 372 ff.
–, winterlicher 19 ff., 95 ff., 332 ff.
Wärmespeicherfähigkeit, wirksame 370, 379 ff.
Wärmestrom 338 f, 351, 370
–, -dichte 343, 351, 370
–, -richtung 342 f., 346 f.
Wärmeplanungsgesetz 32
Wärmepumpen 19, 23, 30 ff., 34 f.
Wärmerückgewinnung 20, 29 ff., 363
Wärmetransport 365, 338 f., 343, 360, 368
Wärmeübergang 355
Wärmeübergangswiderstand 102, 109, 117, 237 f., 342 f., 355, 366
Warmwasserbereitung 33 f., 333
Warmwasserversorgung 33
Wasser, drückendes 338, 411, 414 f.
Wasseraufnahme 85, 87, 152
Wasseraufnahmekoeffizient 86, 108, 370
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl 368, 370
Wasserdampfdurchlässigkeit 152
Wasserrückhaltevermögen 80, 82, 87 f., 148 f.
WDVS 23, 90, 96, 107 ff., 112, 249, 252, 304, 324 ff., 327, 348, 362 f., 442
Werk-Frischmörtel 79
Werk-Trockenmörtel 79, 85, 89 ff., 147 f., 185
Werk-Vormörtel 79, 85
Werkmörtel 79, 85, 186
Werthaltigkeit 56
Wertschöpfungskette 50
Wertstabilität 42, 57
Winddichtigkeit 29, 95
Winddruck 95, 196
Windlast 125, 129, 131, 168, 182, 200, 202, 205
Windlastzone 99, 129
Wintermörtel 444
Wirtschaftlichkeit 18, 21, 23 f., 27, 32 f., 35, 76, 185 f., 210, 289, 396, 412, 415
Witterungsschutz 24, 79, 84, 90, 95 f., 97 f., 101, 107 f., 115 ff., 120
Wohnkomfort 19 f., 333 f., 366
Wohnungsbau 17, 20 f., 23, 33, 45, 134, 139, 244, 260, 262, 264, 284, 288 f., 313, 409
Wohnungstrennwand 104, 111, 136, 273, 287, 300 ff., 310
WPK 80
WU-Richtlinie 409 ff., 415, 422

Z

Zahnschiene 186
Zange 446
Zentrierung 168, 218 ff., 222
Zirkuläres Bauen 42 f.
Zertifizierungssystem 25, 39, 45, 48, 52
Zugfestigkeit 360, 165, 194
Zulassung (abZ) 70, 90, 234 ff., 340, 247 f., 252, 263, 425
Zulassung (ETA) 425
Zuschlag (Gesteinskörnungen) 55, 87
Zustimmung im Einzelfall (Z.,i.,E.,) 107, 234, 240
Zwangsspannung 159
Zweischaligkeitszuschlag 297 f., 317 ff.
Zweischalige Haustrennwand 282, 296, 297 f., 300, 315 ff.
Zweischaliges Mauerwerk 97 f., 143, 231, 359 f., 393

Bildnachweis

Bild S. 452: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Beratung:

Kalksandstein-Bauberatung Bayern GmbH
Günthersbühler Straße 10
90571 Schwaig b. Nürnberg
Telefon: 0911 | 54073-0
info@ks-bayern.de
www.ks-bayern.de

Kalksandsteinindustrie Nord e. V.
Lüneburger Schanze 35
21614 Buxtehude
Telefon: 04161 | 7433-60
info@ks-nord.de
www.ks-nord.de

Kalksandsteinindustrie Süd e. V.
Rheinstraße 120
77866 Rheinau-Freistett
Telefon: 07844 | 405-370
info@ks-sued.de
www.ks-sued.de

Kalksandsteinindustrie West e. V.
Zum Vogelsberg 12
45721 Haltern am See
Telefon: 0160 | 8492836
info@ks-west.de
www.ks-west.de

Bundesverband KALKSANDSTEIN Industrie e. V.