



KALKSANDSTEIN

Planungshandbuch

Planung, Konstruktion, Ausführung

6. Auflage

KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch
Planung, Konstruktion, Ausführung

Ein Nachschlagewerk für Architekten, Ingenieure,
Bauausführende und Studierende.



KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung

Redaktion:

Dipl.-Ing. K. Brechner, Haltern am See

Dipl.-Ing. B. Diestelmeier, Dorsten

Dipl.-Ing. R. Herz, Ludwigshafen

Dipl.-Ing. G. Meyer, Hehlen

Dipl.-Ing. O. Roschkowski, Duisburg

Dipl.-Ing. D. Rudolph, Durmersheim

Dipl.-Ing. P. Schmid, Röthenbach

Dipl.-Ing. H. Schulze, Buxtehude

KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung
Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV,
Entenfangweg 15, 30419 Hannover, Telefon 05 11/2 79 54-0
ISBN 978-3-7640-0591-7

6. überarbeitete Auflage – Stand 1/2014

BV-902-14/01

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

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit
schriftlicher Genehmigung

Empfohlener Ladenverkaufspreis € 72,00

Gesamtproduktion und
© by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

mit der 6. Auflage des Standardwerks „KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung“ erhalten die am Bau Beteiligten, wie Architekten, Ingenieure und Bauausführende aber auch Studierende, alle aktuellen Informationen und Lösungen zu den relevanten Bereichen des Bauens mit Kalksandstein.

Das Planungshandbuch der Kalksandsteinindustrie ist eine anerkannte Fachpublikation für den Mauerwerksbau. Auch in der 6. Auflage wurden die Themen von namhaften Fachautoren aus Wissenschaft und Baupraxis erarbeitet.

Wesentlicher Anlass der Überarbeitung war die nationale Umsetzung der europäischen Mauerwerksnorm DIN EN 1996 (Eurocode 6). Dies umfasst auch die im Eurocode 6 enthaltenen Bestimmungen zum Brandschutz. Zusammen mit den nationalen Anwendungsdokumenten (NAD) erfolgt die bauaufsichtliche Einführung dieser Normen durch die Aufnahme in die „Liste der technischen Baubestimmungen“ noch in 2014.



Darüber hinaus ist die neueste Normung für die Inhalte zum Schallschutz und Wärmeschutz in dieser überarbeiteten Fassung enthalten. Produktinformationen, Hinweise zur optimalen Verarbeitung und die verschiedenen Anwendungsbereiche für Kalksandstein werden ausführlich beschrieben.

Die Kalksandsteinindustrie ist mit ihrem breit gefächerten Produktportfolio für jedes Bausegment bestens ausgestattet. Vom Einfamilien- und Mehrfamilienhausbau über kommunale Projekte wie Kindergärten und Schulen bis hin zu Gewerbe- und Industrie- sowie landwirtschaftlichen Bauten. Es sind die hochwertigen Kalksandsteineigenschaften, die besonders gefragt sind und die die führende Marktpositionierung ausmachen.

Seit nunmehr 120 Jahren hat sich der weiße Kalksandstein als feste Größe im Mauerwerksbau hervorragend bewährt. Wie z.B. als Stein mit hoher Lebensdauer für hochtragfähige, schlanke Innen- und Außenwände, auch wenn sie als Verblender in Sichtmauerwerk häufigem Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt sind. Weiterhin sind sie als nichtbrennbare Steine für hochfeuerbeständige Brandwände und als Steine hoher Rohdichte für Wände in Gebäuden mit hohen Schallschutzanforderungen bestens geeignet.

Für die Herstellung der Kalksandsteine werden ausschließlich die Rohstoffe Kalk, Sand und Wasser verwendet. Für die mineralischen Rohstoffe besteht weder Importabhängigkeit noch Knappheit, sie sind praktisch unbegrenzt verfügbar. Das umweltschonende Herstellverfahren ist im Laufe der Zeit optimiert worden, so dass die Kalksandsteine einen geringen Primärenergieinhalt aufweisen. Nach Beendigung des Lebensdauerzyklus können Kalksandsteine problemlos recycelt werden. So sind Kalksandsteine bestens geeignet für nachhaltiges Bauen.

Die Qualität eines Baustoffs zeigt sich auch in den bereitstehenden Informationsschriften und der technischen Beratungskompetenz. Digitale Medien als CD-ROM oder im Download-Service des Internet-Auftritts sowie die persönliche Beratung vor Ort runden das Informationsangebot der Kalksandsteinindustrie ab.

Mit dieser 6. Auflage gibt die Kalksandsteinindustrie dem interessierten Leser das umfassende Nachschlagewerk für die tägliche Praxis an die Hand. Für das Bauen von heute und morgen!

Wir bedanken uns bei den Autoren, den Redaktionsmitgliedern und allen an der Erarbeitung Beteiligten für ihre engagierte Arbeit.

Herzliche Grüße

Roland Meißner

Geschäftsführer
Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV

Hannover, im Januar 2014

KAPITEL 1 KALKSANDSTEIN (Stand: Januar 2014)	
1.	KALKSANDSTEINE NACH DIN EN 771-2 UND DIN V 106 11
1.1	Die Verwendung von Kalksandsteinen in Deutschland 11
1.2	Steinarten, Anforderungen und Verwendbarkeit nach DIN V 106 12
2.	HERSTELLUNG 12
3.	MAUERSTEINE 12
3.1	Bezeichnungen 13
3.2	Steinarten 13
3.3	Eigenschaften von Kalksandstein 13
3.4	Kalksandsteine für Normalmauermörtel 15
3.5	Kalksandsteine für Dünnbettmörtel 16
3.6	Bauteile zur Systemergänzung 17
4.	KALKSANDSTEINE MIT CE-KENNZEICHNUNG 18
4.1	Überwachung, Leistungserklärung und CE-Kennzeichnung nach Bauproduktenverordnung 19
4.2	Das Konzept der Kalksandsteinindustrie 19
	Literatur 19
KAPITEL 2 WIRTSCHAFTLICHES BAUEN (Stand: Januar 2014)	
1.	SYSTEMGERECHTE MAUERSTEINE 22
1.1	KS -R-Steine 22
1.2	KS -R-Plansteine 22
1.3	KS XL 23
2.	ERGÄNZUNGSPRODUKTE UND ZUBEHÖR 25
3.	ARBEITSVORBEREITUNG 26
4.	ARBEITSTECHNIKEN 27
4.1	Stumpfstoßtechnik 27
4.2	KS-Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung 27
4.3	Ausgleichsschicht bzw. Kimschicht 27
4.4	Mörtelauftrag 27
4.5	Pass- und Ergänzungssteine 27
4.6	Mauerlehren 28
4.7	Arbeitsgerüste 28
4.8	Mauern mit Versetzgerät 28
5.	WIRTSCHAFTLICHE KS-WANDKONSTRUKTIONEN 29
6.	MAUERWERKSGERECHTE PLANUNG UND WANDOPTIMIERUNG 29

6.1	Bauweise mit Fuge 29
6.2	Vertikale Wandausbildung, Höhenausgleich 29
	Literatur 32
KAPITEL 3 AUSSENWÄNDE* * Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Ulrich Vogdt, TU Berlin und Dipl.-Ing. Michael Schober, TU Berlin (Stand: Januar 2014)	
1.	ANFORDERUNGEN 33
1.1	Standicherheit 33
1.2	Brandschutz 33
1.3	Wärmeschutz 33
1.4	Schallschutz 35
1.5	Feuchte- und Witterungsschutz 35
1.6	Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit 36
1.7	Wirtschaftlichkeit 37
2.	KONSTRUKTIONSÜBERSICHT 37
3.	ZWEISCHALIGES MAUERWERK 37
3.1	Konstruktionsprinzip 37
3.2	Entwicklung 37
3.3	Baurechtliche Regelung 37
3.4	Konstruktionsübersicht 37
3.5	Komponenten 38
3.6	Eigenschaften 41
3.7	Dehnungsfugen 44
3.8	Details 47
4.	EINSCHALIGES KS-MAUERWERK MIT WÄRMEDÄMMUNG 50
4.1	Konstruktionsprinzip 50
4.2	KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem 50
4.3	Kalksandstein mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung 59
5.	EINSCHALIGES KS-MAUERWERK OHNE WÄRMEDÄMMUNG 68
5.1	Konstruktionsübersicht 68
5.2	Eigenschaften 68
5.3	Anwendungsbereiche 68
6.	FREI STEHENDE KS-WÄNDE 72
6.1	Standicherheit 72
6.2	Gebrauchstauglichkeit 72
6.3	Witterungsschutz 72
	Literatur 73

KAPITEL 4 SICHTMAUERWERK* * Prof. Dr.-Ing. Manfred Prepens, FH Lüneburg (Stand: Januar 2014)	
1.	PLANUNG UND AUSSCHREIBUNG 75
2.	EINFLÜSSE AUF DIE GESTALTUNG VON KS-SICHTMAUERWERK 77
2.1	Steinart und Steinformat 77
2.2	Steinoberfläche 77
2.3	Mauerverband 77
2.4	Verfugung 79
2.5	Oberflächenbehandlung 79
3.	ANLIEFERUNG DER VERBLENDER 80
4.	MÖRTEL UND VERFUGUNG 80
4.1	Nachträgliche Verfugung 80
4.2	Fugenglattstrich 81
5.	ABNAHME UND BEURTEILUNG VON KS-SICHTMAUERWERK 82
5.1	Eindeutige Beschreibung 82
5.2	Musterbauteile 82
5.3	Abnahme und Beurteilung 82
5.4	Betrachtungsabstand 82
6.	ELEKTROINSTALLATION BEI KS-INNENSICHTMAUERWERK 83
7.	BESCHICHTUNGEN UND IMPRÄGNIERUNGEN VON KS-SICHTMAUERWERK 84
7.1	Optisches Erscheinungsbild 84
7.2	Schutz des Verblendmauerwerks 84
7.3	Geeignete Beschichtungen und Imprägnierungen 84
7.4	Anforderungen 85
7.5	Vorbereitung und Schutz des Untergrundes 86
7.6	Verarbeitung 86
8.	REINIGUNG VON KS-VERBLENDMAUERWERK 87
8.1	Leichte Verschmutzungen und kleinere Flächen 87
8.2	Stärkere Verschmutzungen und größere Flächen 87
8.3	Chemische Reinigungsmittel 87
8.4	Algen- oder Moosbelag 89
9.	ERNEUERUNG VON BESCHICHTUNGEN UND IMPRÄGNIERUNGEN 89
9.1	Beschichtungen 89
9.2	Imprägnierungen 89
	Literatur 90

KAPITEL 5 NICHT TRAGENDE WÄNDE *								
<small>* Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Michael Schmitt M. Sc., Technische Universität Darmstadt (Stand: Januar 2014)</small>								
1.	EINFÜHRUNG UND ÜBERBLICK	91	2.	PUTZ	112	2.3	Bemessungswert der Einwirkungen und zugehörige Einwirkungskombinationen	136
1.1	Vorbemerkungen	91	2.1	Definition, Aufgaben	112	2.4	Bemessungswert des Tragwiderstandes von Mauerwerkswänden	136
1.2	Nicht tragende Außenwände (Ausfachungsflächen)	91	2.2	Technische Regelwerke	113	3.	FESTIGKEITS- UND VER- FORMUNGSEIGENSCHAFTEN	137
1.3	Nicht tragende Innenwände	91	2.3	Lieferformen	113	3.1	Allgemeines	137
2.	NICHT TRAGENDE AUSSENWÄNDE (AUSFACHUNGSFLÄCHEN)	91	2.4	Einteilung der Putze	113	3.2	Charakteristische Druckfestigkeit	137
2.1	Vereinfachter Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA	91	2.5	Putzgrund	115	3.3	Charakteristische Biegezugfestigkeit	138
2.2	Erhöhte Werte der Ausfachungsfläche für Mauer- werk mit Normalmauermörtel	92	2.6	Ausführung von Putz	115	3.4	Zentrische Zugfestigkeit parallel zur Lagerfuge	139
2.3	Erhöhte Werte der Ausfachungs- fläche für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel	92	3.	FLIESENBEKLEIDUNGEN	118	3.5	Haftscherfestigkeit und Reibungsbeiwert	139
2.4	Anschlüsse an angrenzende Bauteile	94		Literatur	118	3.6	Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit	139
3.	NICHT TRAGENDE INNERE TRENNWÄNDE NACH DIN 4103-1	95	KAPITEL 7 BEFESTIGUNG *			3.7	Verformungseigenschaften	140
3.1	Vereinfachter Nachweis nach DIN 4103-1 und DGfM-Merkblatt	95	<small>* Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann, Universität Stuttgart (Stand: Januar 2012)</small>			4.	AUSSTEIFUNG VON GEBÄUDEN UND SCHNITTGRÖSSEN- ERMITTLUNG	141
3.2	Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA	97	1.	ALLGEMEINES	119	4.1	Räumliche Steifigkeit	141
3.3	Befestigung an angrenzende Bauteile	98	2.	DÜBELSYSTEME	119	4.2	Aussteifung tragender Wände	142
3.4	Beschränkung der Deckendurchbiegung	102	2.1	Kunststoffdübel	119	5.	BEMESSUNG NACH DEM VEREINFACHTEN BERECHNUNGSVERFAHREN IN DIN EN 1996-3/NA:2012-01	143
3.5	Schadensfreie Ausführung	102	2.2	Verbunddübel	119	5.1	Allgemeines und Anwendungsgrenzen	143
3.6	Nicht tragende Innenwände aus BP7 KS-Bauplatten	102	2.3	Sicherheitsanforderungen	120	5.2	Knicklänge und Schlankheit	145
	Literatur	105	3.	DÜBEL FÜR SICHERHEITSRELEVANTE BEFESTIGUNGEN	121	5.3	Nachweisformat und Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft	147
KAPITEL 6 MAUERMÖRTEL UND PUTZ *			3.1	Kunststoffdübel mit deutscher Zulassung	121	5.4	Ermittlung des Tragwiderstandes (Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft)	147
<small>* Dr.-Ing. Peter Schubert, Sachverständiger für Mauerwerksbau, Aachen (Stand: Januar 2014)</small>			3.2	Kunststoffdübel mit europäischer Zulassung (ETA)	122	5.5	Nachweis bei Querkraftbeanspruchung	148
1.	MAUERMÖRTEL	107	3.3	Injektionsdübel mit deutscher Zulassung	124	6.	BEMESSUNG VON AUSSTEIFUNGSSCHEIBEN NACH DEM GENAUEREN BERECHNUNGSVERFAHREN NACH DIN EN 1996-1-1/ NA:2012-05	149
1.1	Definition, Aufgaben	107	3.4	Injektionsdübel mit europäischer Zulassung (ETA)	125	7.	EINZELLASTEN UND TEILFLÄCHENPRESSUNG	150
1.2	Technische Regelwerke	107	3.5	Checkliste für Verankerungen in Kalksandstein-Mauerwerk	126	8.	BEMESSUNG VON KELLERWÄNDEN UND WEITEREN BAUTEILEN	150
1.3	Lieferformen	107	4.	DÜBEL OHNE ZULASSUNG	126	8.1	Kelleraußenwände	150
1.4	Mörtelarten	107	5.	MÖRTELANKERSYSTEME	126	8.2	Vorgefertigte Stürze	151
1.5	Anforderungen	108		Literatur	126	9.	BAULICHE DURCHBILDUNG	154
1.6	Allgemeine Anwendung	110	KAPITEL 8 BEMESSUNG NACH EUROCODE 6 *			9.1	Vorbemerkungen	154
1.7	Mörtel für Sichtmauerwerk	110	<small>* Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Michael Schmitt M. Sc., Technische Universität Darmstadt (Stand: Januar 2014)</small>			9.2	Schlitze und Aussparungen	154
1.8	Bauseitige Lagerung, Mörtelsilos	111	1.	EINFÜHRUNG UND STAND DER NORMUNG	127	9.3	Überbindemaß	155
1.9	Kennzeichnung des Mauermörtels	112	1.1	Geschichtliche Entwicklung von Kalksandstein-Mauerwerk	127	9.4	Längen- und Höhenausgleich	156
			1.2	Stand der Normung	127	9.5	Verbandsmauerwerk	157
			1.3	Begriffe	129	9.6	Deckenaufleger	157
			1.4	Tragverhalten von Bauteilen aus Kalksandstein-Mauerwerk	132	9.7	Ringanker und Ringbalken	157
			2.	SICHERHEITSKONZEPT UND EINWIRKUNGEN	133			
			2.1	Grundlagen des semi- probabilistischen Teilsicher- heitskonzeptes ($E_d \leq R_d$)	133			
			2.2	Charakteristische Werte der wesentlichen Einwirkungen im Mauerwerksbau	134			

9.8	Wandanschlüsse	159
9.9	Stumpfstoßtechnik	159
10.	EMPFEHLUNGEN FÜR DECKENAUFLEGER	160
	Literatur	162

KAPITEL 9 VERFORMUNG UND RISESICHERHEIT*		
* Dr.-Ing. Peter Schubert, Sachverständiger für Mauerwerksbau, Aachen (Stand: Januar 2014)		
1.	DAS ENTSTEHEN VON SPANNUNGEN UND RISSEN	163
2.	FORMÄNDERUNGEN	163
2.1	Allgemeines	163
2.2	Feuchtedehnung	164
2.3	Wärmedehnung	165
2.4	Elastische Dehnung	165
2.5	Kriechen	165
3.	VERFORMUNGSFÄLLE, RISESICHERHEIT	166
3.1	Allgemeines	166
3.2	Grundsätzliche Beurteilungskriterien für Rissesicherheit	166
3.3	Miteinander verbundene Außen- und Innenwände	166
3.4	Nicht tragende Trennwände	169
3.5	Zweischalige Außenwände mit Verblendschale	171
3.6	Gebäudetrennfugen	175
3.7	Verformung der Dachdecke	175
	Literatur	178

KAPITEL 10 ABDICHTUNG*		
* Prof. Dr. Rainer Oswald, ö.b.u.v. Sachverständiger für Schäden an Gebäuden, Bauphysik und Bautenschutz, Aachen (Stand: Januar 2012)		
1.	ABDICHTUNG ERDBERÜHRTER BAUTEILE	180
1.1	Beanspruchungsarten	180
1.2	Dränmaßnahmen	181
1.3	Abdichtungen gegen Bodenfeuchtigkeit und nicht stauendes Sickerwasser	182
1.4	Abdichtungen gegen aufstauendes Sickerwasser	187
1.5	Abdichtung gegen drückendes Wasser	188
2.	ABDICHTUNG VON BADEZIMMERN	189
2.1	Beanspruchungssituationen	189
2.2	Abdichtung direkt beanspruchter Flächen	191
	Literatur	192

KAPITEL 11 WÄRMESCHUTZ*		
* Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Obmann des Normungsausschusses NA 005-56-91 AA „Wärmetransport“, München Dipl.-Ing. Christoph Sprengard, FIW München, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (Stand: Januar 2014)		
1.	ÜBERBLICK	193
2.	NORMENWERK ZUM BAULICHEN WÄRMESCHUTZ	193
2.1	Definitionen zur thermischen Hüllfläche und zu beheizten Räumen	194
3.	VON DER WÄRMELEITFÄHIGKEIT ZUM U-WERT	194
3.1	Wärmestrom, Widerstand, U-Wert	194
3.2	Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit	198
3.3	Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerk nach harmonisierten europäischen Normen	198
3.4	Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen nach den harmonisierten europäischen Normen DIN EN 13162 bis DIN EN 13171	200
3.5	Perimeterdämmung	201
3.6	Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten	201
3.7	Wärmeübergangswiderstände	202
3.8	U-Wert von Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten	202
3.9	U-Wert-Korrekturen	204
4.	HYGIENISCHER MINDESTWÄRMESCHUTZ	204
4.1	Vermeiden von Schimmelpilzwachstum	204
4.2	Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile bei normal beheizten Gebäuden	205
5.	WÄRMESCHUTZ UND SCHIMMELVERMEIDUNG BEI WÄRMEBRÜCKEN	206
5.1	Energetische Charakterisierung von Wärmebrücken	206
5.2	Verminderung des Wärmebrückenverlusts nach DIN 4108 Beiblatt 2	207
5.3	Gleichwertigkeitsnachweis	208
5.4	Hygienische Mindestanforderung an die Oberflächentemperatur bei Wärmebrücken	209
5.5	Vermeidung von Schimmelpilzwachstum im Bereich von Wärmebrücken	210
5.6	Vor-Ort-Messungen und Thermografie	211
5.7	Rollladen- und Jalousiekästen	211

5.8	Einbaulage von Fenstern	211
6.	WÄRMEBRÜCKEN IN KALKSANDSTEIN-MAUERWERK	213
6.1	Verringerung der Wärmebrückenwirkung durch KS-Wärmedämmsteine	213
6.2	Einfluss von mechanischen Befestigungsmitteln und Mauerwerksankern	214
6.3	Wärmebrückenwirkung von Konsolen und Ankern bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden	214
6.4	Vergleich der Wärmebrückenwirkung der Befestigung bei typischen Wandaufbauten	214
7.	KLIMABEDINGTER FEUCHTESCHUTZ	217
7.1	Diffusion von Wasserdampf	217
7.2	Kennwerte für die Wasserdampf-Diffusion	218
7.3	Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwasser-nachweis erforderlich ist	218
7.4	Konstruktive Hinweise	219
7.5	Austrocknungsverhalten von Mauerwerkswänden	220
8.	LUFTDICHTHEIT	220
9.	WÄRMEÜBERTRAGUNG ÜBER DAS ERDREICH	222
10.	SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ/ HITZESCHUTZ	224
10.1	Sommerlicher Wärmeschutz von Aufenthaltsräumen	224
10.2	Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem vereinfachten Nachweisverfahren des sommerlichen Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2	225
10.3	Beispiel: Vergleichsrechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz	227
	Anhang	233
	Literatur	235

KAPITEL 12 BRANDSCHUTZ*		
* Dipl.-Ing. Christiane Hahn, ö.b.u.v. Sachverständige für Brandschutz, Braunschweig/Hamburg (Stand: Januar 2014)		
1.	EINLEITUNG	237
1.1	Bedeutung des Brandschutzes	237
1.2	Sicherheitskonzept	237
1.3	Brandschäden	237
1.4	Haustechnik	238
1.5	Kalksandstein-Mauerwerk	238

2.	BAUAUFSICHTLICHE ANFORDERUNGEN	238	1.4	Schalltechnisches Verhalten massiver Bauteile	289	1.3	Dimensionen der Nachhaltigkeit	339
2.1	Grundlagen	238	2.	SCHALLSCHUTZ ZWISCHEN WUNSCH UND WIRKLICHKEIT	290	1.4	Schutzziele und Indikatoren	340
2.2	Musterbauordnung (MBO)	238	2.1	Die Erwartungen der Bewohner	290	1.5	Lebenszyklusbetrachtung	341
2.3	Definition Gebäude	240	2.2	Der eigene Wohnbereich	290	2.	PLANUNGSPHASE	341
2.4	Bauprodukte – Wände	242	2.3	Objektive Kriterien für den Schallschutz	290	2.1	Ökonomische Lebenszyklusanalyse	341
2.5	Verwendbarkeitsnachweise	245	2.4	Anforderungen und Empfehlungen	291	2.2	Ökologische Lebenszyklusbewertung	343
2.6	Rauchdichte Bauteile	251	2.5	Zahlenmäßige Festlegungen des Schallschutzes	292	3.	ERRICHTUNGSPHASE	344
2.7	Brandschutznachweise, Brandschutzkonzepte	251	2.6	Schallschutz und Rechtsprechung	292	3.1	Rohstoffgewinnung	344
3.	BRANDSCHUTZNORMEN	251	2.7	Die Umsetzung von Schallschutz-Anforderungen	294	3.2	Herstellung	344
3.1	Grundlagen und Verwendbarkeitsnachweise	251	2.8	Kosten des Schallschutzes	294	3.3	Transport	345
3.2	Nationale Prüfnormen – DIN 4102	251	3.	ANFORDERUNGEN AN DEN BAULICHEN SCHALLSCHUTZ	295	3.4	Verarbeitung	345
3.3	Europäische Prüfnormen	252	3.1	Regelwerke	295	4.	NUTZUNGSPHASE	345
3.4	Bauteil-Klassifizierungen nach DIN EN 13501-2 (Kurzbezeichnungen)	254	3.2	Hinweise zur Festlegung des Schallschutzniveaus	299	4.1	Minimierung von Energieaufwendungen und Emissionen	345
3.5	Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4 und DIN 4102-22	254	3.3	Planungsgrundlagen des Schallschutzes mit den Kenngrößen R'_w und $D_{nT,w}$	300	4.2	Behaglichkeit	346
3.6	DIN EN 1996-1-2 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang (NA)	255	4.	BEMESSUNG DES SCHALLSCHUTZES UND DER SCHALLDÄMMUNG	301	4.3	Gesundheit	349
4.	BAULICHER BRANDSCHUTZ MIT KALKSANDSTEIN-MAUERWERK	257	4.1	Die Schallschutznorm DIN EN 12354	301	4.4	Minimierung weiterer Aufwendungen in der Nutzungsphase	351
4.1	Grundlagen	257	4.2	E DIN 4109:2013	301	5.	ABRISS UND RECYCLING	351
4.2	Tragende Wände	258	4.3	KS-Schallschutzrechner	307	5.1	Regelung	351
4.3	Nicht tragende Trennwände	260	5.	HINWEISE ZUR PLANUNG UND AUSFÜHRUNG	310	5.2	Verfahren	352
4.4	Außenwände	262	5.1	Einschalige Wände	310		Literatur	352
4.5	Gebäudetrennwände – Gebäudeabschlusswände	265	5.2	Zweischalige Haustrennwände	320	KAPITEL 15		
4.6	Brandwände	267	6.	AUSSENLÄRM	325	SPEZIELLE ANWENDUNGSBEREICHE		
4.7	Komplextrennwände	271	6.1	Anforderungen	325	(Stand: Januar 2014)		
4.8	Sonstige Anwendungen mit Kalksandstein	275	6.2	Nachweise	326	1.	KALKSANDSTEIN IM ERDREICH	355
4.9	Haustechnische Aspekte	276	6.3	Zweischalige massive Außenwände	327	2.	KABELABDECKUNGEN	355
4.10	Versicherungstechnische Aspekte	277	6.4	Einschalige Außenwände mit WDVS	327	3.	AGGRESSIVE MEDIEN	355
5.	TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG DER BRANDSCHUTZNACHWEISE MIT KALKSANDSTEIN-KONSTRUKTIONEN	279	7.	SCHALLABSORPTION	332	4.	STRAHLENSCHUTZ IN GEBÄUDEN	356
	Normen	283	7.1	Begriffe	332	4.1	Das elektromagnetische Spektrum	356
	Literatur	284	7.2	Einsatz von Schallabsorbieren	333	4.2	Elektromagnetische Strahlung	357
KAPITEL 13			7.3	Schallabsorption mit KS-Wänden	333	4.3	Radioaktive Strahlung	357
SCHALLSCHUTZ*				Literatur	334	5.	BESCHUSS-SICHERHEIT	358
* Prof. Dr. Heinz Martin Fischer (Stand: Januar 2014)			KAPITEL 14			6.	MAUERN BEI FROST UND ABSÄUERN DES MAUERWERKS	358
1. SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN			UMWELT UND GESUNDHEIT*			7.	ERDBEBENSICHERHEIT	359
1.1 Grundbegriffe			* Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Ulrich Vogdt, Kathleen Schwabe M. Sc., TU Berlin (Stand: Januar 2014)			7.1	Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe	360
1.2 Schalldämmung und Schallschutz			1. NACHHALTIGKEIT			7.2	Erdbebennachweis	360
1.3 Spektrum-Anpassungswerte			1.1 Veranlassung			8.	EINBRUCHHEMMUNG	360
			1.2 Entwicklung			9.	AUSTROCKNUNGSVERHALTEN VON KS-MAUERWERK	361
						10.	GEBÄUDETRENNFUGEN	362
							Literatur	363
						STICHWORTVERZEICHNIS		
						365		

1. KALKSANDSTEINE NACH DIN EN 771-2 UND DIN V 106

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 ermöglichten bereits seit mehr als hundert Jahren eine industrielle Kalksandstein-Produktion. Im Jahre 1900 wurden rd. 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 Kalksandsteinnorm DIN 106. Die derzeit gültige Ausgabe ist die DIN V 106:2005-10 [1]. Die europäisch harmonisierte Kalksandsteinnorm DIN EN 771-2:2011-07 [2] ist die neueste Fassung der europäisch gültigen Norm. Auf Grundlage dieser Norm können Kalksandsteine mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet werden.

Kalksandsteine sind Mauersteine, die aus den natürlichen Rohstoffen Kalk und kieselsäurehaltigen Zuschlägen (Sand) hergestellt, nach innigem 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 1996-1-1:2005/NA [3], für nicht tragende Innenwände DIN 4103-1 [4].

Mit der Einführung der CE-Kennzeichnung und der bauaufsichtlichen Einführung der DIN V 106 ist von staatlicher Seite nur noch eine Überwachung der werkseigenen Produktionskontrolle (Systemüberwachung, keine Produktüberwachung) verbunden. Kalksandsteine, die nach DIN V 106 überwacht und gekennzeichnet werden, sind – ohne Überprüfung durch den Verwender – im Sinne der Landesbauordnungen in Deutschland verwendbar. Die Verwendbarkeit wird vom Lieferanten zugesichert. Dies kann durch eine unabhängige Stelle überwacht werden. Damit

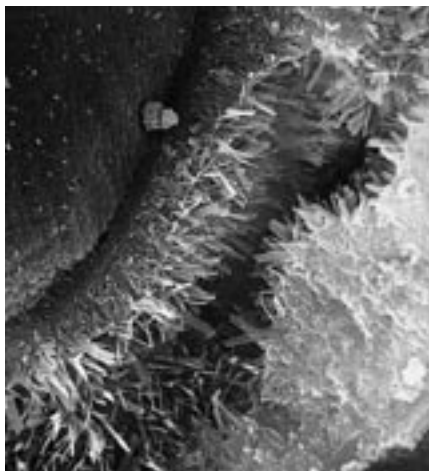


Bild 1: Raster-Elektronen-Mikroskopaufnahme (REM) von Kalksandstein



Bild 2: Die Rohstoffe: Kalk, Sand und Wasser

ist sichergestellt, dass das damit gekennzeichnete Produkt entweder der DIN V 106 oder einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung entspricht. Die Überwachung selbst ist – zusätzlich zur Überwachung der werkseigenen Produktionskontrolle – eine Produktüberwachung nach Anhang B der DIN V 106.

1.1 Die Verwendung von Kalksandsteinen in Deutschland

Entsprechend dem Bauproduktengesetz müssen Kalksandsteine CE-gekennzeichnet werden. Die CE-Kennzeichnung regelt jedoch nur das „Inverkehrbringen“. Sie sagt nichts über deren Verwendung am Bau aus.

Falls Kalksandsteine außer dem CE-Kennzeichen keine weitere Kennzeichnung tragen, aus der deren Verwendbarkeit hervor-

geht, ist diese vom Anwender anhand der Bestimmungen von DIN V 20000-402 [5] zu überprüfen.

Falls Kalksandsteine zusätzlich nach DIN V 106 gekennzeichnet sind, sichert der Hersteller deren Verwendbarkeit zu.

Kalksandsteine nach DIN V 106 entsprechen automatisch der DIN EN 771-2. Die Verwendbarkeit von Steinen nach DIN V 106 wird vom Hersteller zugesichert. Anders verhält es sich bei Steinen, die der DIN EN 771-2 entsprechen, aber nicht der DIN V 106. Hier hat der Verarbeiter die Verwendbarkeit anhand der DIN V 20000-402 selbst zu prüfen. Mit Kalksandstein nach DIN V 106 erhält der Anwender also die bisher gewohnte Sicherheit.

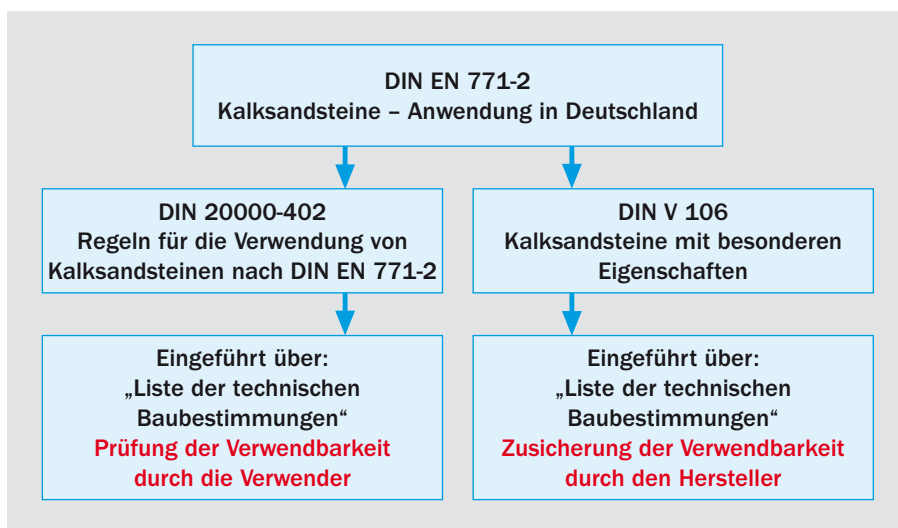


Bild 3: Verwendbarkeit von Kalksandsteinen

1.2 Steinarten, Anforderungen und Verwendbarkeit nach DIN V 106

Wenn CE-gekennzeichnete Kalksandsteine zusätzlich mit der DIN V 106 übereinstimmen, dürfen diese Kalksandsteine verwendet werden, ohne dass die für die Verwendung ausschließlich CE-gekennzeichneter Kalksandsteine in Deutschland festgelegten Verwendungsregeln in DIN V 20000-402 beachtet werden müssen.

DIN V 106 [1] ersetzt die früheren Ausgaben der Kalksandsteinnormen DIN V 106-1:2003-02 und DIN V 106-2:2003-02. Sie ist über die Musterliste der technischen Baubestimmungen (bauaufsichtliche Einführung in den Bundesländern unterschiedlich) anwendbar.

2. HERSTELLUNG

Die wesentlichen Stationen der Kalksandstein-Produktion sind:

- 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 Wasserverbrauch 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.
- 4 Es folgt dann das Härten der Rohlinge unter geringem Energieaufwand bei Temperaturen von ca. 200 °C unter Wasserdampf-Sättigungsdruck, je

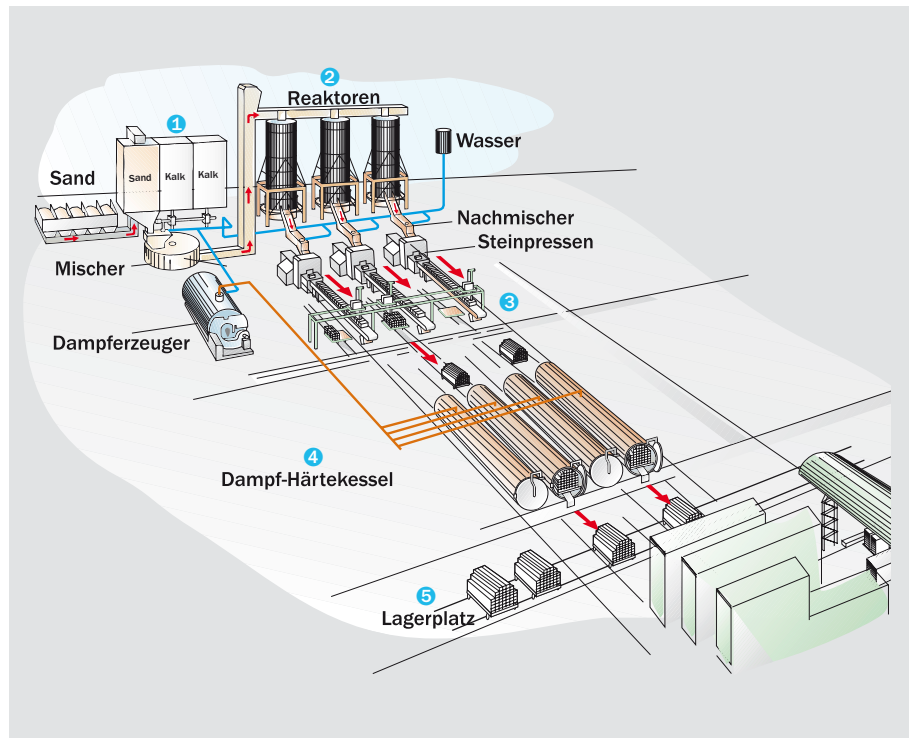


Bild 4: Herstellung von Kalksandstein

nach Steinformat etwa vier bis acht Stunden. Der Vorgang ist von der Natur abgeschaut. Beim Härtevorgang wird durch die heiße Wasserdampf-atmosphäre 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 (Bild 1). Die beim Herstellungsprozess gebildeten Strukturen aus Kalk, Sand und Wasser sind dafür verantwortlich, dass der Kalksandstein ein festes Gefüge hat. Es entstehen keine Schadstoffe.

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

3. MAUERSTEINE

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 1996-1-1/NA auch Bauteile zur Systemergänzung sowie Sonderprodukte.



Bild 5: Nach dem Mischen werden die Rohlinge gepresst.



Bild 6: Das Härten der Rohlinge erfolgt in Dampf-Härtekesseln.

Die KS-Palette reicht von traditionellen, kleinformatigen Kalksandsteinen (KS) zur Handvermauerung (KS-Vollsteine und KS-Lochsteine) zu Steinen mit Nut-Feder-System (KS-R-Steine) zur Herstellung von tragenden und nicht tragenden Wänden. Mit KS-Bauplatten werden schlanke nicht tragende Wände hergestellt. Besonders wirtschaftlich sind KS-Plansteine und großformatige KS XL, die mit Dünnbettmörtel verarbeitet werden. KS-E-Steine ermöglichen – auch nachträglich – die Verlegung von Elektroinstallation ohne Schlitzfenster und Fräsen. Steine zur Erstellung von Sichtmauerwerk runden die Palette ab.

3.1 Bezeichnungen

Die Bezeichnung der Kalksandsteine erfolgt nach DIN V 106. Sie setzt sich zusammen aus der Steinsorte, der DIN-Hauptnummer, der Steinart, der Steindruckfestigkeitsklasse, der Steinrohrichteklasse 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. Dies gilt stets bei Plansteinen, KS XL, Fassensteinen und Bauplatten.

3.2 Steinarten

Kalksandsteine werden in verschiedenen Eigenschaften für unterschiedliche Anwendungsbereiche angeboten. Bei der Unterscheidung der Steinarten sind verschiedene Kriterien zu beachten:

- Lochanteil gemessen an der Lagerfläche (Vollsteine/Lochsteine)
- Stoßfugenausbildung, z.B. R-Steine (mit Nut-Feder-System für Verarbeitung ohne Stoßfugenvermörtelung)
- Steinhöhe „Normal-“ oder „Planstein“
- Kantenausbildung (Fase)
- Frostwiderstand
- Schichthöhe (Steinhöhe + Dicke der Lagerfuge)

3.3 Eigenschaften von Kalksandstein

Alle wesentlichen Eigenschaften von Kalksandsteinen sind in DIN V 106 genormt.

3.3.1 Steindruckfestigkeitsklassen (SFK)

Die Steindruckfestigkeit wird in N/mm² angegeben. Kalksandsteine sind in den Druckfestigkeitsklassen 4 bis 60 genormt. In der Praxis werden im Wesent-

Tafel 1: Wichtige Steinarten und -bezeichnungen nach DIN V 106 bzw. DIN EN 771-2/ DIN V 20000-402

a) Kalksandsteine: Lochanteil ≤ 15 % der Lagerfläche			
Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
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 Einhaltung geringerer Grenzabmaße der Höhe*) (Δh = ± 1,0 mm) zum Versetzen in Dünnbettmörtel geeignet
4 KS-Fassensteine	KS F	≤ 25	Wie Zeile 3, jedoch mit beidseitig umlaufender Fase an der Sichtseite von ca. 4 bis 7 mm
5 KS-XL-Raster-elemente ¹⁾	KS-XL-RE	≥ 50 ≤ 62,5	Wie Zeile 3; Lieferung von Regelementen der Länge 498 mm sowie Ergänzungselementen der Längen 373 mm und 248 mm
6 KS-XL-Plan-elemente ¹⁾	KS-XL-PE	≥ 50 ≤ 65	Wie Zeile 3; Lieferung von werkseitig vorkonfektionierten Wandbausätzen mit Regelementen der Länge 998 mm
7 KS-E-Steine	KS-E KS-XL-E	≤ 25 = 50	Wie Zeilen 3 und 5, jedoch mit durchgehenden Installationskanälen
b) Kalksandsteine: Lochanteil > 15 % der Lagerfläche			
Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
8 KS-Lochsteine	KS L	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
9 KS-R-Hohlblocksteine	KS L-R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 8, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen.
10 KS-Plansteine KS-R-Plansteine	KS L P KS L-R P	≤ 25	Wie Zeile 9, aufgrund Einhaltung geringerer Grenzabmaße der Höhe*) (Δh = ± 1,0 mm) zum Versetzen in Dünnbettmörtel
c) Frostwiderstandsfähige Kalksandsteine ²⁾			
Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
11 KS-Vormauersteine	KS Vm oder KS Vm L	≤ 25	KS-Vormauersteine sind Mauersteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 10, die frostwiderstandsfähig sind (mindestens 25-facher Frost-Tau-Wechsel).
12 KS-Verblender ²⁾	KS Vb oder KS Vb L	≤ 25	KS-Verblender sind Mauersteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 16 mit geringeren Grenzabmaßen der Höhe*) als Zeile 11 und erhöhter Frostwiderstandsfähigkeit (mindestens 50-facher Frost-Tau-Wechsel), die mit ausgewählten Rohstoffen hergestellt werden.

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

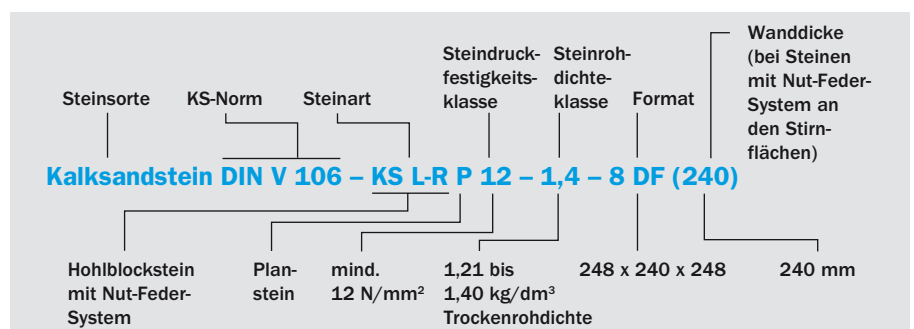


Bild 7: Bedeutung der Kurzzeichen (Beispiel)

lichen die Steindruckfestigkeitsklassen 12 und 20 hergestellt.

Zu berücksichtigen sind die Anforderungen an die Steindruckfestigkeitsklasse bei:

- KS-Vormauersteine: ≥ 10
- KS-Verblender: ≥ 16

Nach DIN V 106 wird zwischen KS-Vormauersteinen und KS-Verblendern unterschieden. Aus Gründen der Vereinfachung wird im Folgenden nur der Begriff „KS-Verblender“ verwendet.

Für die Zuordnung in Steindruckfestigkeitsklassen nach DIN V 106 oder DIN V 20000-402 müssen die Steine in der Probe zwei Anforderungen erfüllen: die Anforderung an den Mittelwert und die Anforderung an den Einzelwert. Die Prüfung nach DIN EN 772-1 erfolgt an sechs Probenkörnern.

3.3.2 Steinrohdklassen (RDK)

Die Steinrohdklasse wird in kg/dm^3 angegeben. Sie wird nach DIN EN 772-1:2005-05 geprüft und nach DIN V 106 oder DIN V 20000-402 mit nationalen Umrechnungen in Rohdklassen eingeteilt. Das Steinvolumen wird einschließlich etwaiger Lochungen und Grifföffnungen ermittelt. Die Steinrohdklasse wird auf den bis zur Massenkonstanz bei 105 °C getrockneten Stein bezogen (Trockenrohdklasse).

Voll- und Blocksteine sind dabei den Steinrohdklassen $\geq 1,6$ zuzuordnen, Loch- und Hohlblocksteinen den Steinrohdklassen $\leq 1,6$. Ob Steine der Steinrohdklasse 1,6 zu den Voll- oder Lochsteinen zu zählen sind, ist abhängig von der Querschnittsminderung durch die Lochung. In der Praxis werden im Wesentlichen die RDK 1,4 – 1,8 und 2,0 hergestellt.

3.3.3 Grenzabmaße (Toleranzen)

Kalksandsteine sind durch das Herstellungsverfahren sehr maßgenau. In Abhängigkeit von der Steinart sind die Anforderungen an die Grenzabmaße (Maßtoleranzen) der Kalksandsteine in DIN V 106 festgelegt. Die Anforderungen nach DIN EN 771-2 Tabelle 1 (Grenzabmaße) werden ebenfalls eingehalten.

3.3.4 Frostwiderstand

Kalksandsteine, die der Witterung ausgesetzt sind (z.B. in der Verblendschale von zweischaligem Mauerwerk), müssen frostwiderstandsfähig sein. Die Einstufung



Bild 8: Kalksandsteine – im Einklang mit der Natur

Tafel 2: Übliche Steindruckfestigkeitsklassen (SFK) von Kalksandstein

Steindruckfestigkeitsklasse (SFK) ¹⁾	10 ²⁾	12	16 ²⁾	20	28 ²⁾
Mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm ²]	12,5	15,0	20,0	25,0	35,0

¹⁾ Entspricht auch dem kleinsten zulässigen Einzelwert der jeweiligen SFK ²⁾ Nur auf Anfrage regional lieferbar

Tafel 3: Übliche Steinrohdklassen (RDK) von Kalksandstein

Steinrohdklasse (RDK) ¹⁾	1,2 ²⁾	1,4	1,6 ²⁾	1,8	2,0	2,2 ²⁾
Klassengrenzen ³⁾ in kg/dm^3	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 Steinrohdklassen werden jeweils ohne Bezeichnung (Einheit) angegeben. ²⁾ Nur auf Anfrage regional lieferbar
³⁾ Einzelwerte dürfen darunter liegen.

Tafel 4: Zulässige Grenzabmaße nach DIN V 106

Bezeichnung	KS und KS -R	KS -R P ¹⁾	KS XL ¹⁾	KS Vm	KS Vb ²⁾
Steinlängen und -breiten					$\pm 2 \text{ mm}$ $\pm 1 \text{ mm}$
	Einzelwerte $\pm 3 \text{ mm}$				
Höhenmaß bei DF und NF					$\pm 2 \text{ mm}$ $\pm 1 \text{ mm}$
	Einzelwerte $\pm 3 \text{ mm}$				
Höhenmaß bei Steinen $\geq 2 \text{ DF}$					$\pm 2 \text{ mm}$ $\pm 1 \text{ mm}$
	Einzelwerte $\pm 4 \text{ mm}$				
	Mittelwerte $\pm 2 \text{ mm}$				
	Mittelwerte $\pm 3 \text{ mm}$				

¹⁾ Die hohe Maßgenauigkeit ermöglicht besonders ebenflächiges und sauberes Mauerwerk. Der Einsatz von Dünnlagenputzen ist dadurch möglich.

²⁾ KS-Verblender mit strukturierter Oberfläche haben eine oder zwei bossierte bzw. bruchraue Sichtflächen. Das Längen- oder Breitenmaß darf hier bis zu 5 mm (im Mittelwert 4 mm) unterschritten werden.

in Vormauersteine und Verblender erfolgt in DIN V 106 durch Bezug auf das in DIN EN 772-18 definierte Prüfverfahren. Die Steine werden dabei einer extremen Beanspruchung (25 Frost-Tau-Wechsel bei KS Vm bzw. 50 Frost-Tau-Wechsel bei KS Vb) ausgesetzt. Die Temperatur wechselt im Verlauf der Prüfung, die mit einer optischen Beurteilung abschließt, zwischen -15 °C und +20 °C.

3.3.5 Formate

Die Kalksandsteinindustrie bietet für jeden Anwendungsfall das richtige Steinformat an. Alle Steinformate entsprechen der DIN 4172 „Maßordnung im Hochbau“. Sie werden in der Regel als Vielfaches vom Dünnsformat (DF) angegeben (Ausnahme: NF = Normalformat).

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

3.4 Kalksandsteine für Normalmauermörtel

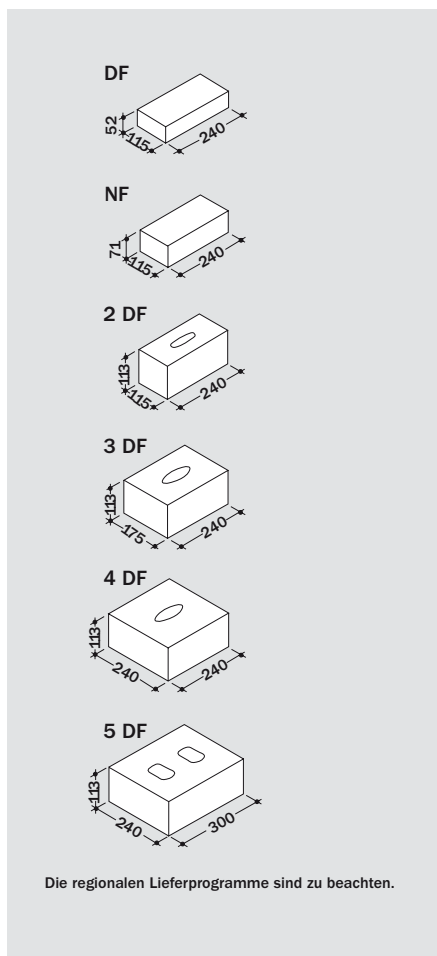


Bild 9: Beispiele für KS-Steine, KS-Verblender, zu versetzen in Normalmauermörtel

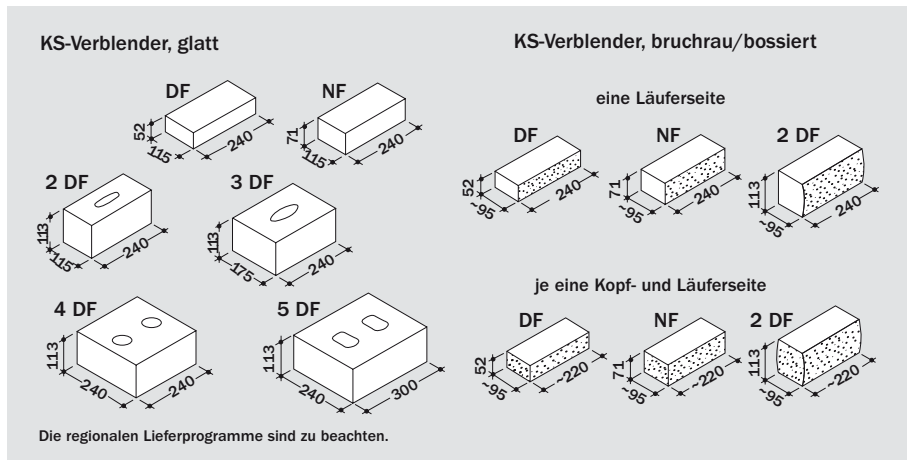


Bild 10: Beispiele für KS-Produkte für Sicht- und Verblendermauerwerk, zu versetzen in Normalmauermörtel

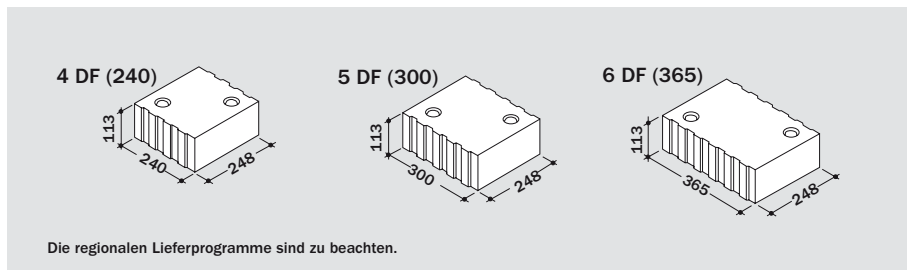


Bild 11: Beispiele für KS-R-Steine (h = 113 mm), zu versetzen in Normalmauermörtel

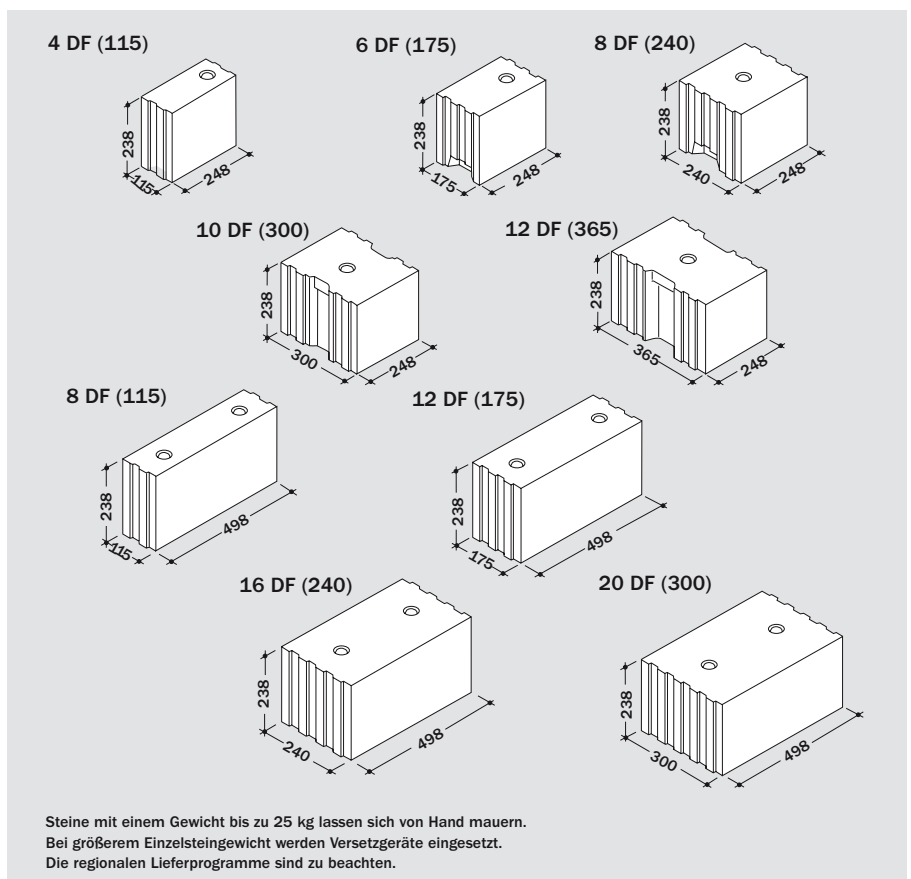


Bild 12: Beispiele für KS-R-Blocksteine (h = 238 mm), zu versetzen in Normalmauermörtel

3.5 Kalksandsteine für Dünnbettmörtel

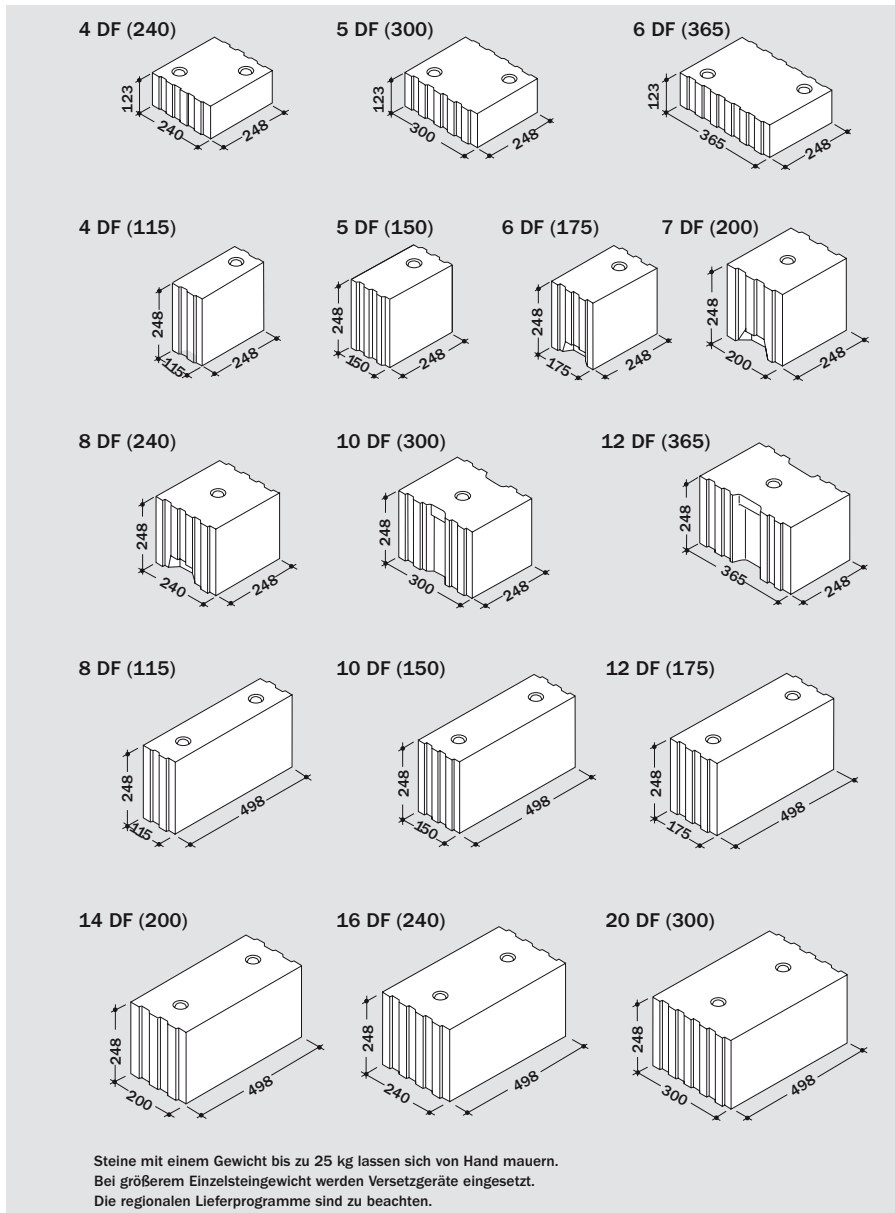


Bild 13: Beispiele für KS -R-Plansteine (h = 123 mm bzw. 248 mm), zu versetzen in Dünnbettmörtel

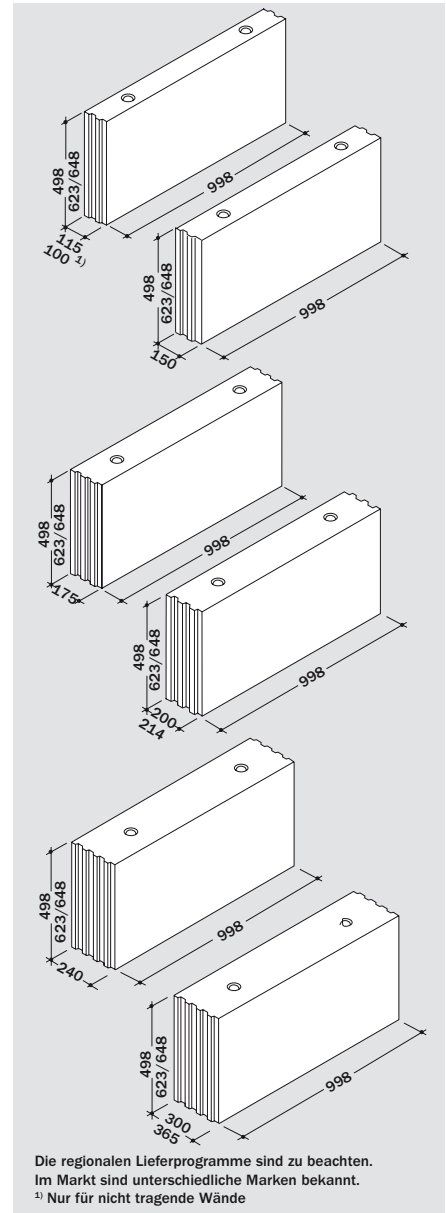


Bild 15: Beispiele für KS-XL-Planelemente, zu versetzen in Dünnbettmörtel

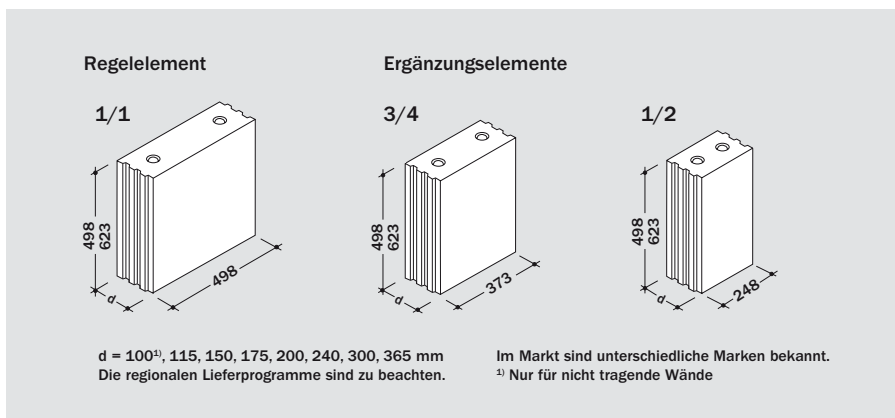


Bild 14: Beispiele für KS-XL-Risterelemente, zu versetzen in Dünnbettmörtel

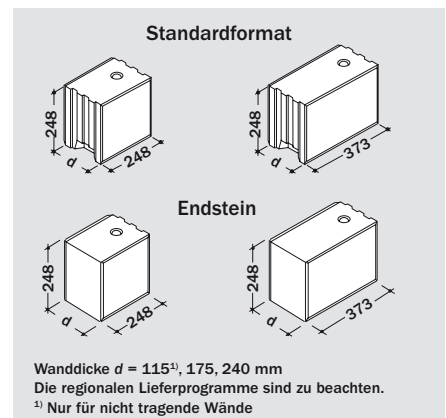


Bild 16: Beispiele für KS-Fasensteine, zu versetzen in Dünnbettmörtel

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-Bauplatten

Für nicht tragende innere Trennwände nach DIN 4103-1 können KS-Bauplatten (KS-BP) eingesetzt werden. KS-Bauplatten

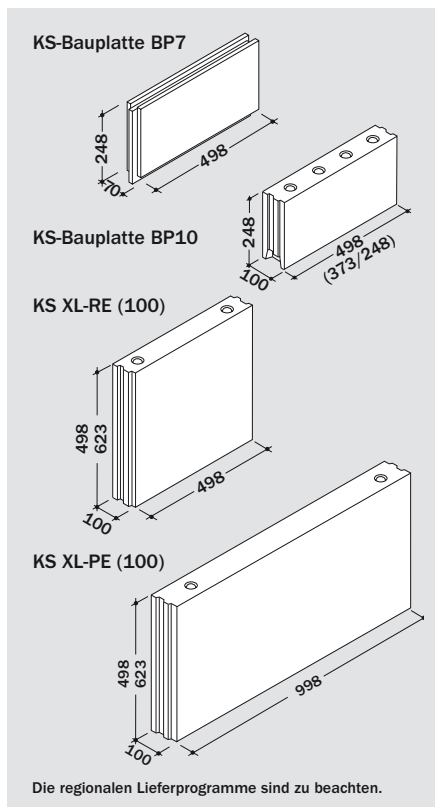


Bild 17: KS-Produkte für nicht tragende Wände nach DIN 4103

sind Kalksandsteine nach DIN V 106 mit Regelhöhen von 248 mm und einer Dicke < 115 mm, die mit einem umlaufenden Nut-Feder-System ausgebildet sein können und an die erhöhte Anforderungen hinsichtlich der Grenzabmaße für die Höhe gestellt werden. Die Stoßfugen der KS-Bauplatten werden in der Regel vermörtelt.

3.6.2 KS-Kimmsteine/ KS-Wärmedämmsteine

KS-Kimmsteine sind Steine, die in unterschiedlichen Höhen zum Höhenausgleich am Wandfuß bzw. am Wandkopf eingesetzt werden.

KS-Wärmedämmsteine sind wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine, die nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung unter Verwendung eines natürlichen Leichtzuschlags hergestellt werden. Sie

werden in der Regel als Vollstein in der Steindruckfestigkeitsklasse ≤ 20 und einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0,33 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ angeboten, regional auch mit anderen Steineigenschaften. Wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine werden an geometrisch bedingten Wärmebrücken wie z.B. Wandfußpunkten von Außen- und Innenwänden über nicht beheizten Kellern, Fundamentplatten oder belüfteten Kriechkellern eingesetzt.

3.6.3 KS-Stürze

Als vorgefertigte Bauteile zur leichteren Öffnungsüberdeckung werden vorgefertigte KS-Stürze angeboten.

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

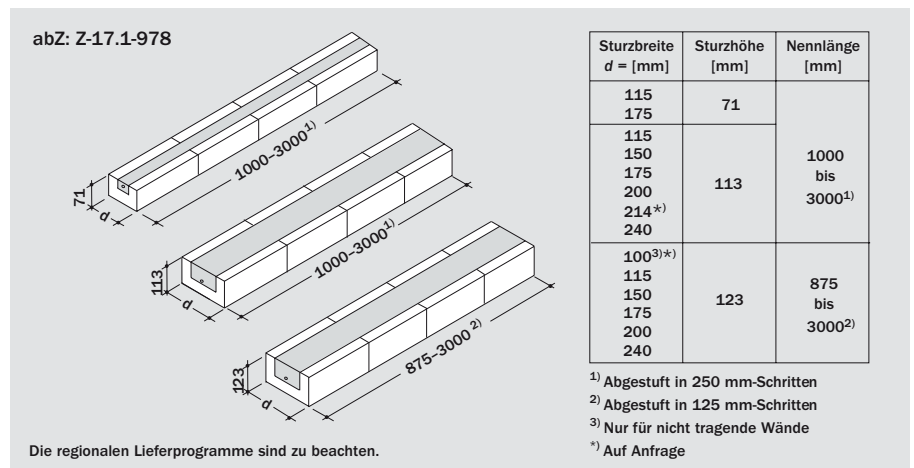


Bild 19: KS-Flachstürze nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)

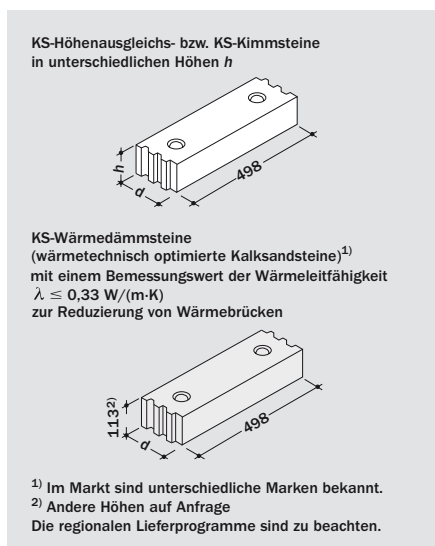


Bild 18: KS-Kimmsteine/ KS-Wärmedämmsteine

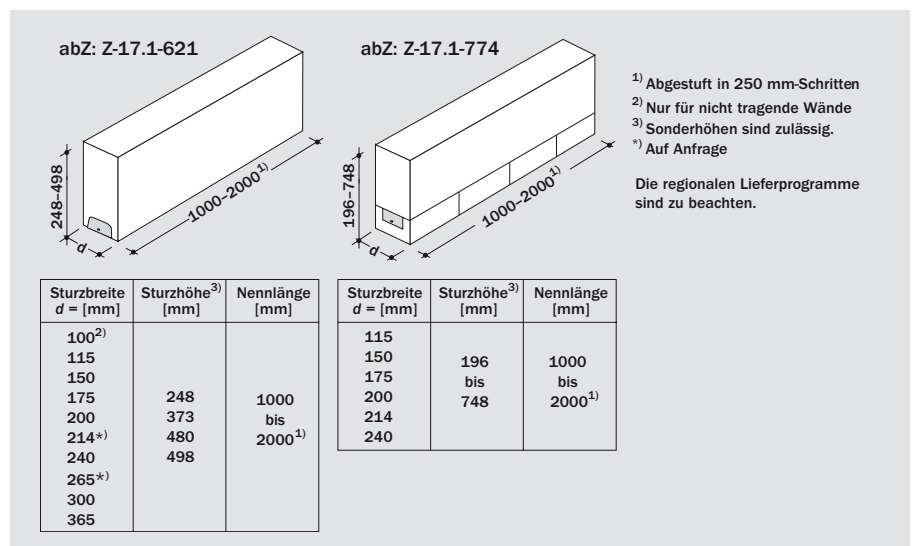


Bild 20: KS-Fertigteilstürze nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)

3.6.4 KS -U-Schalen

KS -U-Schalen sind Kalksandsteine, die aus anwendungstechnischen Gründen von der Form eines geschlossenen Mauerwerks abweichen. Sie werden z.B. für Ringbalken, Stürze, Stützen und Installationsschlitze im Mauerwerk verwendet. KS -U-Schalen nach DIN V 106 werden für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk und für Verblendmauerwerk angeboten. Die Lieferung erfolgt folienverpackt auf Paletten.

3.6.5 KS -E-Steine

KS-Produkte mit durchgehenden vertikalen Installationskanälen ($\varnothing \leq 60$ 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.

4. KALKSANDSTEINE MIT CE-KENNZEICHNUNG

Die CE-Kennzeichnung von Kalksandsteinen erfolgt auf Grundlage der Bauproduktenverordnung 2011 [6] in Verbindung mit der europäisch harmonisierten Kalksandsteinnorm DIN EN 771-2.

Ziel der Bauproduktenverordnung ist es, die bestehenden Handelshemmnisse zwischen den Mitgliedsstaaten zu beseitigen. Obwohl durch die Bauproduktenverordnung damit (theoretisch) ein freier Warenverkehr – ausgedrückt durch die CE-Kennzeichnung – ermöglicht wird, unterliegt die Verwendung von Bauprodukten weiterhin nationalen Festlegungen. Für die Verwendung ausschließlich CE-gekennzeichneter Kalksandsteine ist daher in Deutschland zusätzlich die nationale Anwendungsnorm DIN V 20000-402 zu beachten.

Die Überprüfung nach DIN V 20000-402, ob ausschließlich CE-gekennzeichnete Kalksandsteine in Deutschland verwendet werden dürfen, obliegt dem Verwender.

Hintergrund dieser Regelung ist, dass nicht für alle Kalksandsteine, die nach DIN EN 771-2 herstellbar sind, Erfahrungen mit der Anwendung im Mauerwerksbau bestehen. Daher übt die DIN V 20000-402 praktisch eine Siebfunktion aus, welche der CE-gekennzeichneten Kalksandsteine in Deutschland für Mauerwerk verwendet werden dürfen. Diese Siebfunktion bewirkt, dass anschließend nur Steine verwendet werden dürfen, die auch der DIN V 106 entsprechen. Alle übrig bleibenden Produkte dürfen nur in Verbindung mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung verwendet werden.

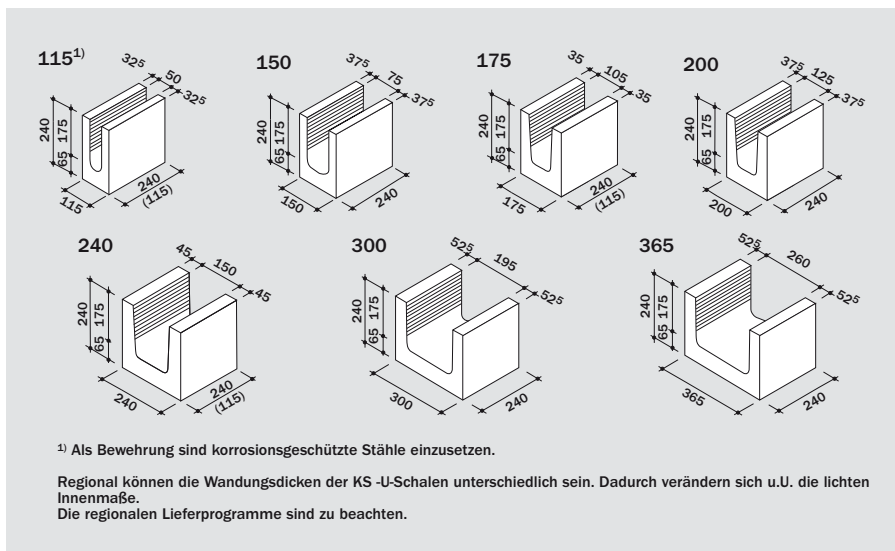


Bild 21: KS -U-Schalen

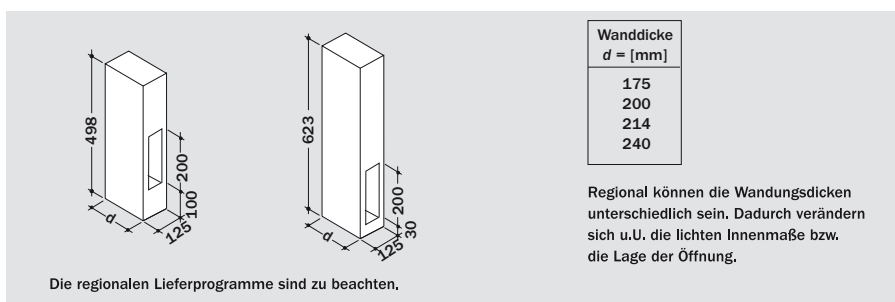


Bild 22: KS-Gurtrollersteine

Der Hersteller kann zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens nicht sicher wissen, in welchem Land sein Produkt verbaut werden wird. Es dürfen auch Produkte frei gehandelt werden, die in Deutschland nicht für die vom Hersteller vorgesehenen Zwecke anwendbar sind. Daher richten sich die Anwendungsnormen an die Verwender (Planer, Bauausführende).

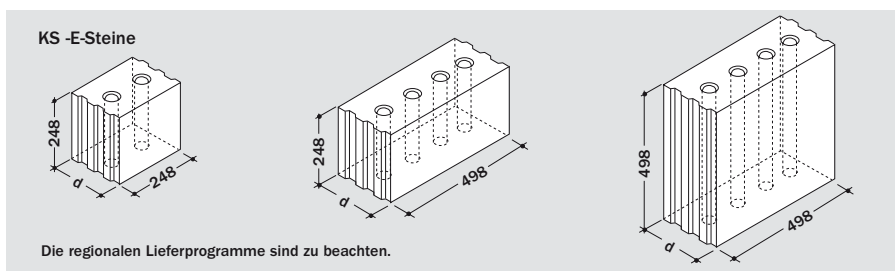


Bild 23: Beispiele für KS-Produkte mit durchgehenden Installationskanälen

Der Verwender hat die vom Hersteller im CE-Kennzeichen deklarierten Produkteigenschaften mit Hilfe der Anwendungsnorm zu bewerten. Er muss eigenverantwortlich auf Grundlage seiner Bewertung Produkte zur Verwendung freigeben oder diese zurückweisen.

4.1 Überwachung, Leistungserklärung und CE-Kennzeichnung nach Bauproduktenverordnung

Damit für Kalksandsteine vom Hersteller eine Leistungserklärung erstellt und die Steine auf dieser Grundlage CE-gekennzeichnet werden dürfen, ist die Einhaltung des vorgeschriebenen Verfahrens der Konformitätsbescheinigung nach DIN EN 771-2, Anhang ZA einzuhalten.

In den europäischen Mauersteinnormen werden zwei Kategorien von Mauersteinen definiert, für die jeweils ein eigenes System zur Konformitätsbescheinigung gilt.

Kalksandsteine der Kategorie I sind solche,

- die eine deklarierte Druckfestigkeit mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von mindestens 95 % erreichen.
- für die der Hersteller eine werkseigene Produktionskontrolle (WPK) eingerichtet hat, die sicherstellt, dass die deklarierten Werte für die Kalksandsteine eingehalten werden.
- für die der Hersteller ein gültiges Zertifikat einer notifizierten Stelle über die werkseigene Produktionskontrolle (WPK) besitzt.
- für die der Hersteller eine Erstprüfung des Produktes durchgeführt hat.

Kalksandsteine der Kategorie II

- erfüllen keine Anforderungen an irgendwelche statistischen Aussagen hinsichtlich der deklarierten Druckfestigkeiten.
- dürfen in Deutschland nicht für Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA verwendet werden.

Alle Kalksandsteine, die nach DIN EN 771-2 gefertigt sind, werden ausschließlich CE-gekennzeichnet. Zusätzlich mit dem Ü-Zeichen gekennzeichnet werden, dürfen nur noch Sonderprodukte, bei denen spezielle Eigenschaften nicht in DIN EN 771-2 geregelt sind. Daher sind Kalksandsteine in nahezu allen Fällen ausschließlich CE-gekennzeichnet.

Das CE-Kennzeichen ist ein Konformitätszeichen (Übereinstimmungszeichen) und kein Qualitätszeichen. Es ist Voraussetzung für das Inverkehrbringen und den freien Handel von (Bau-)Produkten.

4.2 Das Konzept der Kalksandsteinindustrie

Wegen der umfangreichen Deklarationspflicht ist die CE-Kennzeichnung eines jeden Mauersteins jedoch weder sinnvoll möglich noch verlangt. Eine produktbegleitende Kennzeichnung auf der Verpackung oder den Begleitunterlagen ist eine nach Bauproduktenverordnung zulässige und sinnvolle Alternative, wenn eine eindeutige Zuordnung von Kennzeichen und Produkt gewährleistet ist.

Eine zusätzliche Kurz-Bezeichnung nach DIN V 106 auf Lieferschein, Beipackzettel oder Kennzeichnung auf der Verpackung gibt dem Verwender in bekannter Form die notwendigen Hinweise zur Verwendung.

Beispiel: Kalksandstein

DIN V 106-KS L-R P 12-1,4-8 DF (240)

Bei Kalksandsteinen, die diese Bezeichnung tragen, braucht der Verwender nicht mehr zu überprüfen, ob diese nach der Produktnorm DIN V 20000-402 im Rahmen der Landesbauordnungen in Deutschland verwendet werden dürfen.

Diese prägnanten, bewährten Kurzbezeichnungen nach der deutschen Kalksandsteinnorm vereinfachen ganz wesentlich den Umgang mit Mauersteinen in der hiesigen Baupraxis. Erst durch die Kurzbezeichnung ist eine Ausschreibung von Produkten und Qualitäten in der deutschen Baupraxis mit einem überschaubaren Aufwand möglich und sind beispielsweise mündliche Bestellungen erst denkbar.

Die deutsche Kalksandsteinindustrie hält – zusätzlich zur CE-Kennzeichnung – an der bewährten und etablierten Kurzbezeichnung der DIN V 106 fest.

CE-gekennzeichnete Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 können auch ohne Fremdprüfung durch Dritte in Verkehr gebracht werden. Die ergänzenden Ausführungen in Anhang A von DIN V 106 zur Produktprüfung durch Dritte sind für den Hersteller freiwillig und beziehen sich im Wesentlichen auf den Umfang der Prüfungen.

Über die bauaufsichtlich relevanten Aspekte hinausgehend, hat DIN V 106 für die Kalksandsteinindustrie aber eine weit höhere Bedeutung:

- Die Anwendung von DIN V 106 setzt die Bestätigung der Konformität der Kalksandsteine mit DIN EN 771-2 voraus.

Durch Bezug auf DIN V 106 bestätigt der Hersteller der CE-gekennzeichneten Kalksandsteine zusätzlich, dass die weitergehenden Anforderungen der deutschen Produktnormen für die Anwendung nach DIN EN 1996/NA (Eurocode 6) eingehalten sind.

- Die in DIN V 106 festgelegten Stufen und Klassen bedingen eine zwingende Zusage der damit verbundenen Produkteigenschaften und definieren hierdurch ein eindeutiges Abnahmekriterium für Kalksandsteine nach DIN V 106.
- Mit Bezug auf DIN V 106 kann der Hersteller zusätzlich deutlich machen, dass nicht nur sein System der werkseigenen Produktionskontrolle, sondern auch die qualitätsrelevanten Eigenschaften seiner Produkte wie gewohnt durch unabhängige Dritte geprüft und beurteilt werden.

LITERATUR

- [1] DIN V 106:2005-10 Kalksandsteine mit besonderen Eigenschaften (Vornorm)
- [2] DIN EN 771-2:2011-07 Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine; Deutsche Fassung EN 771-2:2003+ A1:2005
- [3] DIN EN 1996-1-1/NA (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 mit Nationalem Anhang (NA) 2012-05
- [4] DIN 4103-1:1984-07: Nichttragende innere Trennwände; Anforderungen, Nachweise
- [5] DIN V 20000-402:2005-06 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2 (Vornorm)
- [6] 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, Text von Bedeutung für den EWR

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

Das KS-Bausystem umfasst systemgerechte Mauersteine und Ergänzungsprodukte, berücksichtigt Arbeitsvorbereitung und Arbeitstechniken, ermöglicht die mauerwerksgerechte Planung und Wandoptimierung und die Bemessung von schlanken Wänden. Spezifische KS-Serviceleistungen und komplette Systemlösungen runden das KS-Bausystem ab.



Bild 3: Wirtschaftliches Bauen mit großformatigen Kalksandsteinen



Bild 1: Im Bauteam werden Lösungen entwickelt.

Vorteile der Rationalisierung im KS-Bausystem

- Nutzflächengewinn bis zu 7 % durch schlanke KS-Wände
- Maßgenaue Kalksandsteine ergeben planebene Wände.
- Geringe körperliche Belastung durch Einsatz einfach bedienbarer Versetzgeräte
- Günstige Arbeitszeitwerte führen zu Lohnkosteneinsparungen von bis zu 50 % gegenüber konventionellem Mauerwerk.
- Komplett Systemlösungen – Lieferung aus einer Hand, vom Kimmstein bis zum vorgefertigten Sturz

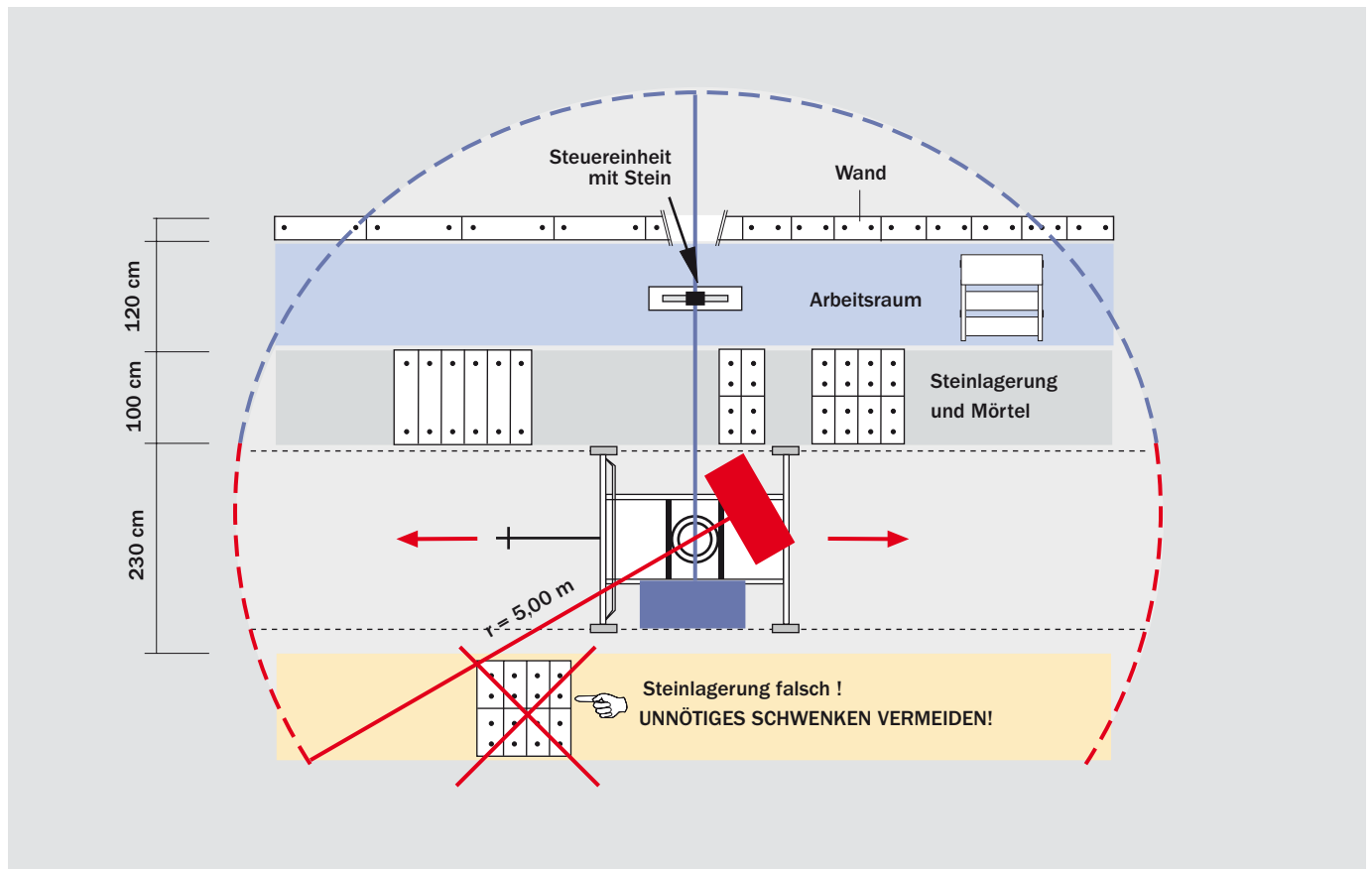


Bild 2: Optimale Baustelleneinrichtung mit kurzen Versetzwegen

1. SYSTEMGERECHTE MAUERSTEINE

In einem Merkblatt [1] der Bauberufsgenossenschaft über das Handhaben von Mauersteinen sind Gewichtsobergrenzen für Einhand- und Zweihandsteine für das Vermauern von Hand festgelegt.

Die maximal zulässigen Verarbeitungsgewichte von Einhandsteinen, einschließlich der baupraktischen Feuchte, sind in Abhängigkeit von der Greifspanne

- max. 6 kg bei einer Greifspanne ≥ 115 mm und
- max. 7,5 kg bei einer Greifspanne von 40 bis 70 mm.

Die maximal zulässigen Verarbeitungsgewichte von Zweihandsteinen sind auf max. 25 kg beschränkt. Die Gewichtsobergrenze von 25 kg hat Konsequenzen auf die Steinformate.

- Die Länge der KS -R-Steine beträgt vorzugsweise 25 cm.
- Bei hohen Rohdichteklassen, z.B. 2,0 für Wände mit hohen Anforderungen an den Schallschutz, werden zum Bausystem passende KS -R-Steine mit Schichthöhe $h = 12,5$ cm angeboten.

Steine, die mehr als 25 kg Verarbeitungsgewicht aufweisen, müssen mit Versetzgerät verarbeitet werden.



Bild 4: KS -R-Blocksteine für Normalmauermörtel

1.1 KS -R-Steine

Wesentliche Kennzeichen der KS -R-Steine sind die Stirnflächenausbildung mit Nut-Feder-System für das Mauern ohne Stoßfugenvermörtelung und die ergonomisch gestalteten Griffhilfen für das Mauern der Steine von Hand.

KS -R-Steine mit $h = 25$ cm Schichthöhe werden als KS-Blocksteine bezeichnet.

1.2 KS -R-Plansteine

Die hohe Maßgenauigkeit (Höhentoleranz ± 1 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.

Die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit nach DIN EN 1996/NA ist für Vollsteine und Blocksteine vermauert mit Dünnbettmörtel gegenüber Mauerwerk in Normalmauermörtel erhöht.

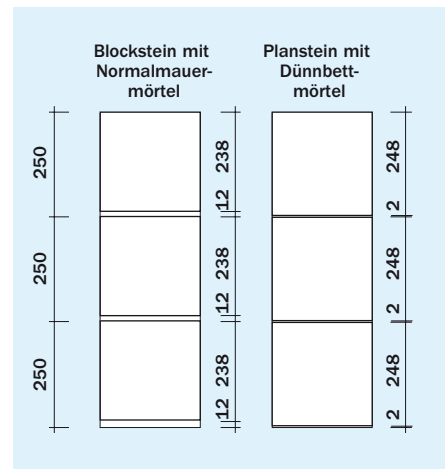


Bild 5: KS -R-Plansteine für Dünnbettmörtel

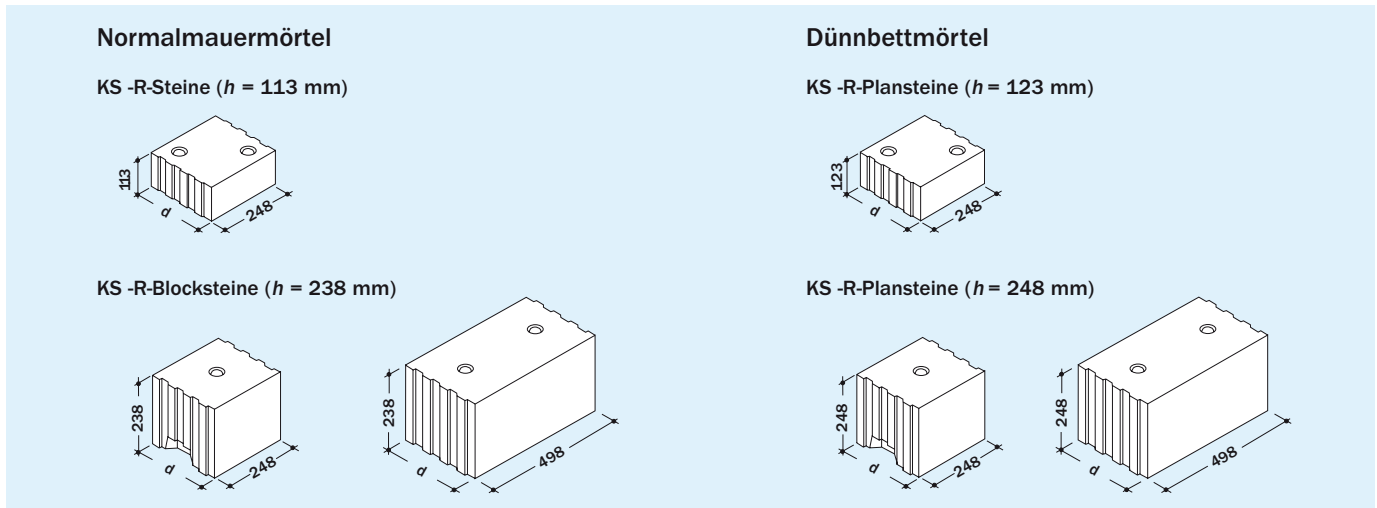
Beispiel Steindruckfestigkeitsklasse 12:

- $f_k = 6,0$ N/mm² für Mauerwerk mit Normalmauermörtel MG IIa
- $f_k = 7,0$ N/mm² für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel

Tafel 2: Schichtmaß



Tafel 1: KS -R-Steine



1.3 KS XL

KS XL sind großformatige Kalksandsteine, die mit Schichthöhen von 50 cm bzw. 62,5 cm geliefert werden. Die Länge der jeweiligen Regelelemente beträgt je nach System 50 cm (KS XL-Rasterelemente = KS XL-RE) oder 100 cm (KS XL-Planelemente = KS XL-PE).

KS XL werden mit Versetzgerät und Dünnbettmörtel vermauert.

Die Wände werden aus Regelelementen einer Höhe (Schichtmaß 50 cm oder 62,5 cm) und der Länge 50 cm (KS XL-RE) bzw. 100 cm (KS XL-PE) hergestellt. Zum Längen- und Höhenausgleich kommen Passelemente und/oder Ausgleichselemente zum Einsatz.

Die Anwendung von KS XL ist mit Erscheinen von DIN EN 1996/NA normativ geregelt. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen werden nicht mehr ausgestellt.

Auch bei KS XL mit Schichthöhen von 50 cm bzw. 62,5 cm sollte das Überbindemaß von $I_{ol} \geq 0,4 \cdot$ 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 $I_{ol} \geq 0,2 \cdot$ Steinhöhe $\geq 12,5$ cm geregelt. Gegebenenfalls sind Einschränkungen (z.B. bei der Schubtragfähigkeit) zu beachten.

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

Beim Einsatz der Versetzgeräte ist insbesondere der Montagezustand zu beachten. Gegebenenfalls sind Montagestützen nach Anweisung des Statikers zu setzen, da während des Bauzustandes höhere Verkehrslasten auftreten können als im Nutzungszustand. Bei der Lagerung von Steinpaketen auf den Zwischendecken ist

ebenfalls zu prüfen, ob hierdurch ungünstige Lastfallkombinationen entstehen.

Die Verfahrbarkeit der Versetzgeräte ist sicherzustellen. Um dies zu gewährleisten, wird von der Bauleitung vor Beginn des Mauerns ein Ablaufplan für die Baustelle erstellt, in dem die Reihenfolge der zu erstellenden Wände festgelegt wird. Zusätzlich ist im Ablaufplan das Umsetzen des Versetzgerätes zu berücksichtigen.

Ebene Wandoberflächen, die erhöhte Anforderungen an die Ebenheit erfüllen, können mit KS XL ohne Mehraufwand hergestellt werden. Damit ist der Auftrag von flächensparendem Dünnlagenputz ($d = \text{ca. } 5 \text{ mm}$) möglich.

Tafel 3: Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinauerwerk 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	–	–	–	5,0
12	9,4	7,0	7,0	5,6
16	11,2	8,8	8,8	6,6
20	12,9	10,5	10,5	–
28	16,0	–	13,8	–

KS XL: KS-Planelement ohne Längsnut, ohne Lochung
 KS XL-E: KS-Planelement ohne Längsnut, mit Lochung (gilt auch für Elemente mit Längsnut ohne Lochung)
 KS P: KS-Planstein mit einem Lochanteil $\leq 15 \%$
 KS L-P: KS-Planstein mit einem Lochanteil $>15 \%$

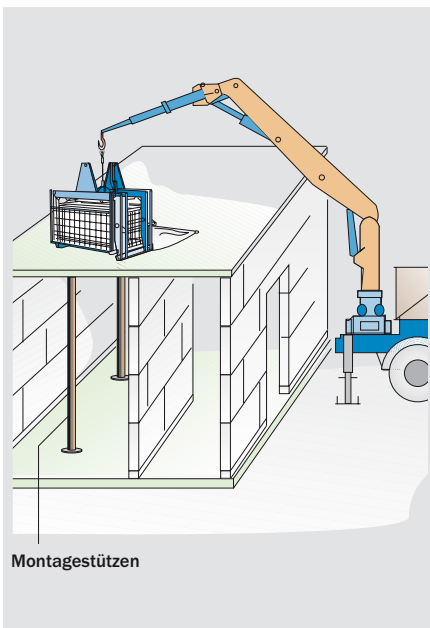


Bild 6: Erforderliche Montagestützen sind in Abstimmung mit dem Statiker zu setzen.

Überbindemaß I_{ol} in Abhängigkeit von der Steinhöhe

Steinhöhe h_u [cm]	Regelfall $I_{ol} = 0,4 \cdot$ Steinhöhe [cm]	Mindestüberbindemaß $I_{ol} \geq$ [cm]
< 11,3	5	4,5
11,3 / 12,3	5	$0,4 \cdot$ Steinhöhe $\hat{=} 5$
23,8 / 24,8	10	$0,4 \cdot$ Steinhöhe $\hat{=} 10$
49,8	20	$0,25 \cdot$ Steinhöhe $\hat{=} 12,5$
62,3	25	$0,2 \cdot$ Steinhöhe $\hat{=} 12,5$

Bild 7: Mindestüberbindemaße

KS XL-Planelemente (KS XL-PE)

Kennzeichnend für KS XL-PE ist die Anlieferung als kompletter Wandbausatz mit objektbezogenem Verlegeplan, der aus dem Grundriss entwickelt ist.

Die optimierten Verlegepläne werden vom Lieferwerk erstellt, nachdem die Planungsunterlagen vorliegen. Die Pass- und Ausgleichselemente werden bereits werkseitig maßgenau zugeschnitten. Ein Sägen auf der Baustelle ist daher nicht erforderlich.

Es besteht dadurch keine Bindung an ein bestimmtes Raster. Der gesamte Bausatz – inklusive der erforderlichen Elemente zum Höhen- und Längenausgleich – wird zusammen mit dem Verlegeplan auf die Baustelle geliefert.

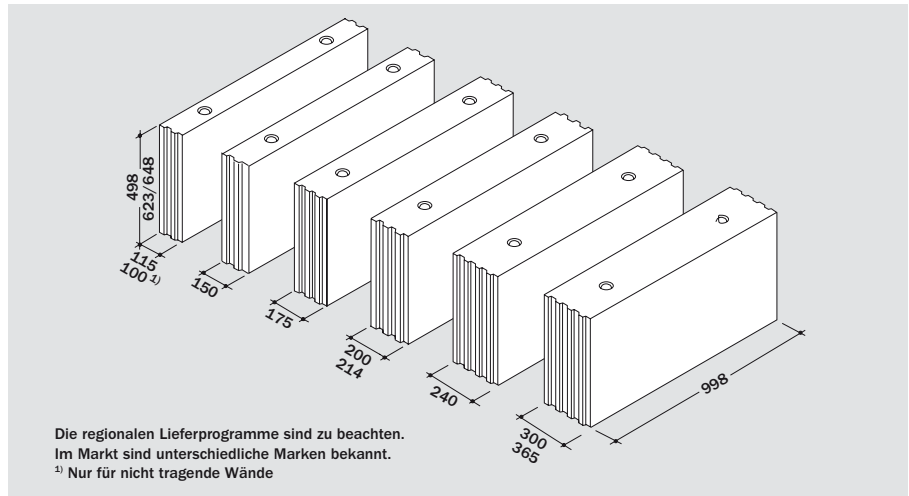


Bild 8: KS XL-Planelemente

KS XL-Rasterelemente (KS XL-RE)

Voraussetzung für eine optimale Anwendung von KS XL-RE ist die konsequente Planung im oktametrischen (12,5 cm) Raster.

Die üblichen Wandlängen im beliebig Vielfachen von 12,5 cm sind möglich. Die Beschränkung auf Regelement (1/1) mit 50 cm Länge und zwei Ergänzungselemente (3/4) mit 37,5 cm Länge und (1/2) mit 25 cm Länge erleichtern Lagerhaltung und Disposition.

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.

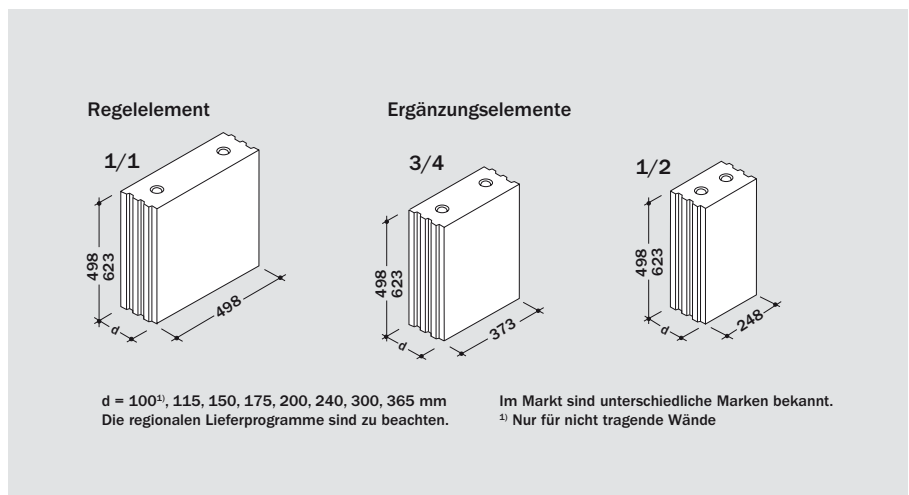


Bild 9: KS XL-Rasterelemente



Bild 10: Anlegen der Kimmschicht



Bild 11: Vermauern von KS XL-Rasterelementen

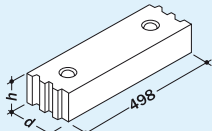


Bild 12: Vermauern von KS XL-Planelementen

2. ERGÄNZUNGSPRODUKTE UND ZUBEHÖR

Tafel 4: KS-Bauteile zur Systemergänzung

KS-Höhenausgleichs- bzw. KS-Kimmsteine
in unterschiedlichen Höhen h ¹⁾

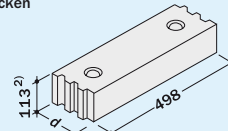


¹⁾ Andere Höhen auf Anfrage

KS-Wärmedämmsteine

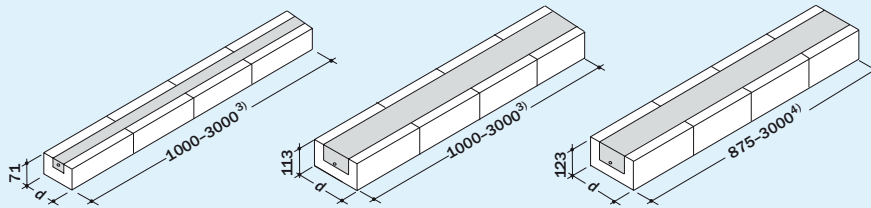
(wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine)²⁾

Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0,33 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ zur Reduzierung von Wärmebrücken



²⁾ Im Markt sind unterschiedliche Marken bekannt.

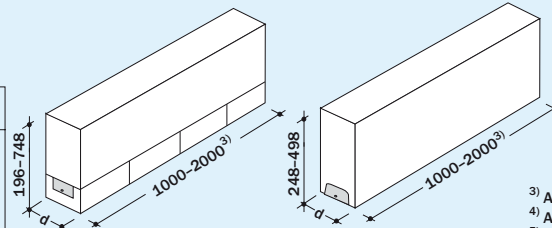
KS-Flachstürze nach Z-17.1-978



Sturzbreite d [mm]	Sturzhöhe [mm]	Nennlänge [mm]	
115 175	71	1000 bis 3000 ³⁾	
115 150 175 200 214 ^{*)} 240	113		
100 ⁵⁾ *) 115 150 175 200 240	123		875 bis 3000 ⁴⁾

KS-Fertigteilstürze nach Z-17.1-774

Sturzbreite d [mm]	Sturzhöhe ⁶⁾ [mm]	Nennlänge [mm]
115	196 bis 748	1000 bis 2000 ³⁾
150		
175		
200		
214		
240		

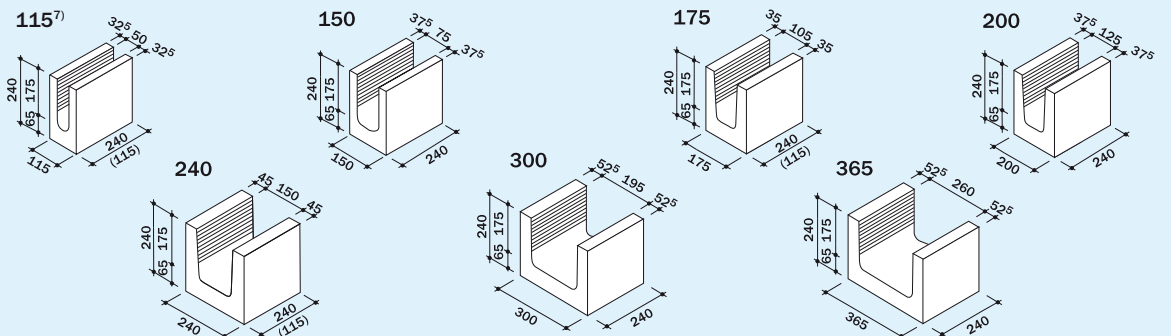


KS-Fertigteilstürze nach Z-17.1-621

Sturzbreite d [mm]	Sturzhöhe ⁶⁾ [mm]	Nennlänge [mm]
100 ⁵⁾	248 373 480 498	1000 bis 2000 ³⁾
115		
150		
175		
200		
214 ^{*)}		
240		
265 ^{*)}		
300		
365		

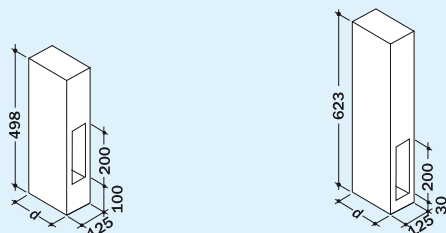
³⁾ Abgestuft in 250 mm-Schritten
⁴⁾ Abgestuft in 125 mm-Schritten
⁵⁾ Nur für nicht tragende Wände
⁶⁾ Sonderhöhen sind zulässig.
^{*)} Auf Anfrage

KS-U-Schalen



⁷⁾ Als Bewehrung sind korrosionsgeschützte Stähle einzusetzen.
Regional können die Wandungsdicken der KS-U-Schalen unterschiedlich sein. Dadurch verändern sich u.U. die lichten Innenmaße.

KS-Gurtrollersteine

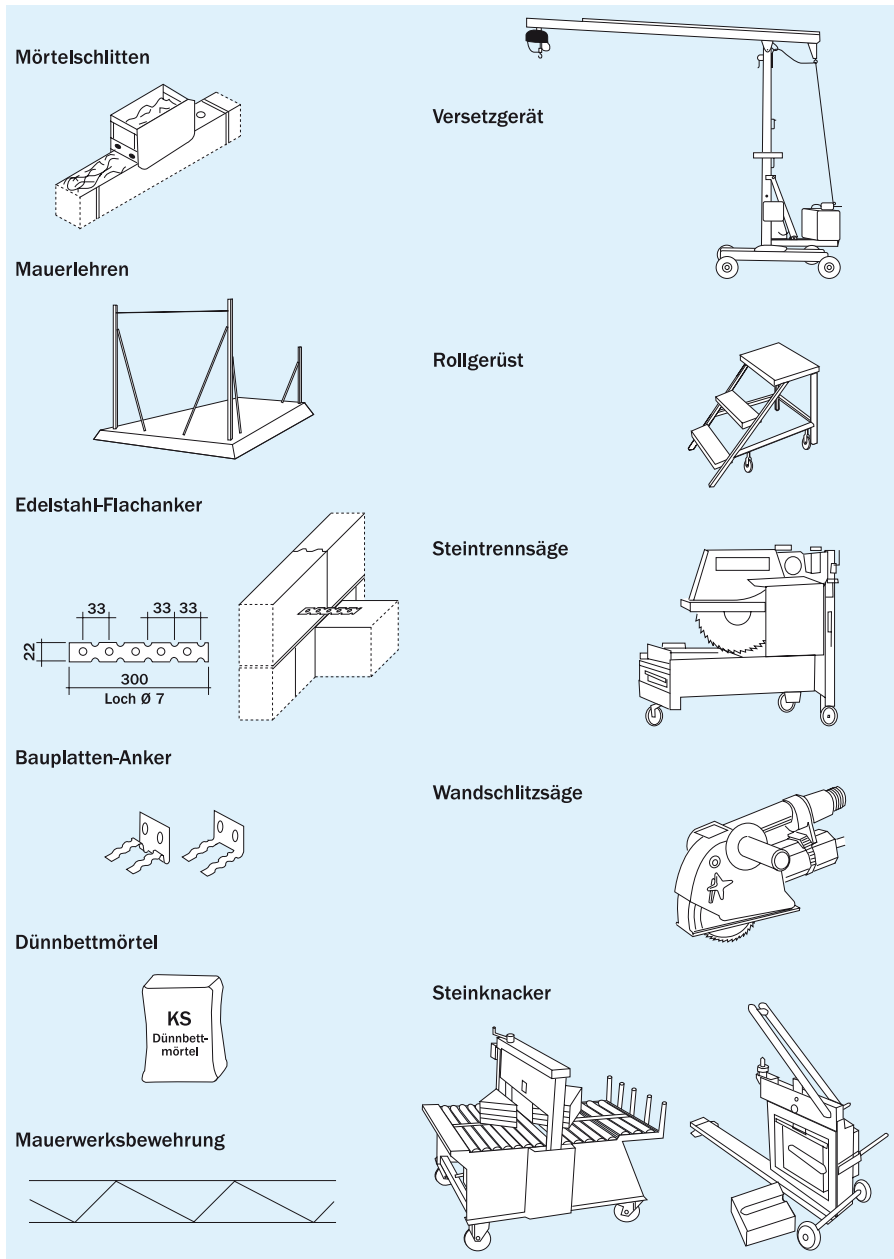


Wanddicke d [mm]
175
200
214
240

Regional können die Wandungsdicken unterschiedlich sein. Dadurch verändern sich u.U. die lichten Innenmaße bzw. die Lage der Öffnung.

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Tafel 5: Geräte und Zubehör für die Rationalisierung auf der Baustelle



3. ARBEITSVORBEREITUNG

Der Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung kommt bei der Rationalisierung besondere Bedeutung zu.

Auf den Baustellen, in den Betrieben und in den Planungsbüros geht es darum, die Kontinuität der Arbeitsabläufe zu sichern. Dazu einige Regeln:

- Objektunterteilung in Ausführungsabschnitte.
- Materialbedarfslisten, unterteilt nach Ausführungsabschnitten, die Baustoffhändler und Polier erhalten, so dass der Abruf direkt erfolgen kann.
- Rechtzeitig die richtigen Mengen abrufen. Die Kontinuität und Produktivität sichern durch aktiven Einsatz von Kurbelböcken, Arbeitsbühnen oder Rollgerüsten. Ein Maurer leistet bei der Vermauerung mit Hand mit geringster Anstrengung die größte Menge, wenn die Arbeitshöhe zwischen 60 und 90 cm über Tritthöhe ist.
- Richtiges, überlegtes Abstellen der Mauersteine und Mörtelkübel an der Arbeitsstelle.
- Kübel 40 cm hoch über Tritthöhe aufbocken, um unnötige Bewegungen und Ermüdung zu vermeiden.
- Mauerlehren für das Anlegen von Ecken und Öffnungen einsetzen, um die ständige Unterbrechung des Arbeitsrhythmus durch das Benutzen der Wasserwaage zu vermeiden.
- Wahl der jeweiligen Mauertechnik und der Steinformate in Abhängigkeit von Gebäudeart und -größe, Platzangebot für Versetzgeräte und Wandzuschnitt.



Bild 13: KS-Fertigteilstürze für großformatiges Mauerwerk



Bild 14: Vorgefertigte KS-Flachstürze zur schnellen und rationellen Öffnungsüberdeckung



Bild 15: Mauerlehren zur Vereinfachung und Beschleunigung des Bauablaufs

4. ARBEITSTECHNIKEN

4.1 Stumpfstoßtechnik

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.

Bei der Bauausführung ist zu beachten, dass die Stoßfuge zwischen Längswand und stumpf gestoßener Querwand voll vermörtelt wird. Die Vermörtelung ist aus statischen und schalltechnischen Gründen wichtig. Aus baupraktischen Gründen wird empfohlen, den stumpfen Wandanschluss durch Einlegen von Edelstahl-Flachankern in die Mörtelfuge zu sichern. Kelleraußenecken sind im Verband zu mauern.

Für das Aufmauern von Wandscheiben ist das gleichnamige Merkblatt der Berufsgenossenschaft zu beachten [2].

4.2 KS-Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung

Beim Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung werden KS-R-Steine und KS XL knirsch auf der mit Mörtel vorher aufgezogenen Lagerfuge aneinander gereiht. Das an den Stirnflächen der Steine vorhandene Nut-Feder-System erleichtert es dem Maurer, ebene Wandflächen zu erstellen. Ein Verkanten der Steine wird vermieden und das Mauerwerk ist bereits in der Rohbauphase optisch dicht. Die in DIN EN 1996/NA maximal zulässigen Stoßfugenbreiten von 5 mm sind mit den planebenen KS-R-Steinen und KS XL problemlos einzuhalten. Bei Steinen mit Nut-Feder-System lassen sich so ebene Wandflächen erzielen, dass der Einsatz von flächensparendem Dünnlagenputz (ca. 5 mm) möglich ist.

In Ausnahmefällen kann es erforderlich sein, die Stoßfugen zu vermörteln, u.a. bei

- Druckzone von Flachstürzen,
- ggf. bei Kelleraußenwänden, in Abhängigkeit von der Lastabtragung,
- bewehrtem Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA (gilt nicht für konstruktiv bewehrtes Mauerwerk),
- einschaligem Mauerwerk ohne Putz, bei dem Winddichtigkeit gefordert ist,
- ggf. bei nicht tragenden inneren Trennwänden.

4.3 Ausgleichsschicht bzw. Kimmschicht

Das Aufmauern der Wände beginnt grundsätzlich mit einer Ausgleichsschicht aus Normalmauermörtel der Mörtelgruppe III, Dicke $d = 1$ bis 3 cm, oder mit Ausgleichssteinen (Kimmsteinen), die in Normalmauermörtel der Mörtelgruppe III versetzt werden.

Die Ausgleichsschicht dient dem Höhenausgleich der Wand, zur Herstellung eines planebenen Niveaus in Längs- und Querrichtung und dem Ausgleich von Unebenheiten in der Betondecke. Das genaue Anlegen der Ausgleichsschicht ist insbesondere bei Mauerwerk mit Dünnbettmörtel wichtig.

Die Ausgleichsschicht muss vor dem Weitermauern ausreichend erhärtet sein. Im fachgerechten, exakten Anlegen der Ausgleichsschicht liegen erhebliche Rationalisierungspotenziale beim Aufmauern der Wand.

4.4 Mörtelauftrag

Der Mörtel wird zweckmäßigerweise mit dem Mörtelschlitten aufgetragen, das Mauerwerk ist ggf. vorzunässen. Mörtelschlitten lassen sich für Normal- und Dünnbettmörtel in der gewünschten Fugendicke genau einstellen und reduzieren Mörtelverluste. Für Dünnbettmörtel ist die zum Dünnbettmörtel passende Zahnschiene zu verwenden.

Die Lagerfuge wird in Abhängigkeit von der Witterung etwa 2 m vorgezogen und die Steine werden in Reihenverlegetechnik knirsch aneinander gereiht. Gegebenenfalls werden die Steine anschließend mit einem Gummihammer ausgerichtet.

Der gleichmäßige Mörtelauftrag bei Einsatz von Mörtelschlitten ermöglicht ein lückenloses Versetzen der Steine. Bei zweischaligen Haustrennwänden hat das fachgerechte Aufziehen des Dünnbettmörtels den Vorteil, dass kein Mörtel in die Trennfuge fällt und die Schalldämmung somit nicht beeinträchtigt wird.

4.5 Pass- und Ergänzungssteine

Für Mauerwerk werden Pass- und Ergänzungssteine zu Beginn der Mauerarbeiten jeweils für eine Wand aus Standardsteinen hergestellt

- mit einem Steinspaltgerät, vorzugsweise bei Normalmauermörtel, oder
- mit einer Steinsäge, vorzugsweise bei Dünnbettmörtel (wegen der exakten Schnittkante, z.B. im Bereich der Stoßfuge).

Bei KS XL PE werden Ausgleichselemente und/oder geschnittene Passelemente systemgerecht vom Werk mitgeliefert.



Bild 16: Mörtel für die Kimmschicht aufziehen



Bild 17: Mörtel planeben abziehen



Bild 18: Kimmsteine im Mörtelbett verlegen



Bild 19: Lagerfugenmörtel mit Mörtelschlitten aufziehen



Bild 20: Mörtel für Anschlussfuge auftragen



Bild 21: Ersten Stein setzen



Bild 22: Ausrichten des Steins



Bild 23: Versetzen der folgenden Steine



Bild 24: Nächste Steinlagen aufmauern

4.6 Mauerlehren

Bei Verwendung von Eck- und Öffnungslehren kann auf das Vorziehen der Ecken und auf Abtreppungen verzichtet werden. Die Schnur lässt sich jederzeit einfach und exakt verstellen.

Innerhalb kürzester Zeit ist das Mauerlehrensystem aufgestellt. Der Maurer setzt die Steine gegen die Öffnungslehren, dabei entfällt das zeitaufwendige schichtweise Einloten der Leibungen. Die Öffnungsmaße werden exakt eingehalten und Abweichungen wie beim Arbeiten mit der Wasserwaage werden vermieden.

4.7 Arbeitsgerüste

Kurbelböcke, Arbeitsbühnen und Rollgerüste ermöglichen das Arbeiten in der je nach Körpergröße der Maurer günstigen Arbeitshöhe zwischen 60 und 90 cm über Tritthöhe und sind Voraussetzung für hohe Arbeitsleistung bei geringstmöglicher körperlicher Belastung und Ermüdung.

4.8 Mauern mit Versetzgerät

Das Mauern mit einem auf den Geschossdecken verfahrbaren Versetzgerät humani-

siert und rationalisiert die Baustelle. Mit dem Versetzgerät werden großformatige KS XL mit einer Zange versetzt. Mit zwei Hüben entsteht so eine Wandfläche bis zu 1 m² oder 1,25 m², je nach System. Bei hoher Leistung ist die körperliche Belastung der Maurer trotzdem gering und die Kontinuität des Arbeitsablaufes sichergestellt.

Zunächst wird der Mörtel mit dem Mörtelschlitten aufgezo- gen, dann werden die Steine versetzt und ausgerichtet. Der Materialnachschub für Steine, Pass- und Ergänzungssteine, Mörtel und Anker muss gewährleistet sein.

Wichtig ist in jedem Fall eine gute Arbeitsvorbereitung, da nur optimale Ergebnisse erreicht werden, wenn einige Grundvoraussetzungen erfüllt sind. Dazu gehört die lückenlose Transportkette von der Produktion bis zur Verwendungsstelle und ggf. die Ersteinweisung der Maurer.

Die kürzesten Taktzeiten werden erzielt, wenn die Steinpakete zwischen Versetzgerät und Mauer abgestellt werden (siehe Bild 2). Die Steine werden systemgerecht

angeliefert. Das Absetzen erfolgt auf vorbereitetem, ebenem Untergrund, das Umsetzen auf der Baustelle mit einem Steinkorb. Gegebenenfalls ist eine zusätzliche Abstützung der Rohbaudecke zur Aufnahme der Lasten aus Versetzgerät und Stein- stapel erforderlich.



Bild 25: Arbeiten mit dem Versetzgerät

Foto: Steinweg

5. WIRTSCHAFTLICHE KS-WANDKONSTRUKTIONEN

Knappes Bauland und hohe Grundstückspreise verteuern das Bauen. Die rationelle Nutzung der Grundflächen wird 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.

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 Rissesicherheit 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 Steinrohichte sind damit bestens geeignet für schlanke, tragende Wände – auch bei Anforderungen an den Schallschutz.

6. MAUERWERKSGERECHTE PLANUNG UND WANDOPTIMIERUNG

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“ ($a_m = 1/8 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$) 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 Achtel-meters ($n \cdot 12,5 \text{ cm}$) und als Planungsmaße für den Architekten von Bedeutung. Für Ausführungspläne werden Nennmaße benötigt, die abhängig von der Bauweise (mit oder ohne Fugen) differenziert werden.

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

6.1 Bauweise mit Fuge

Mauerwerksbau ist nach DIN 4172 „Maßordnung im Hochbau“ eine „Bauweise mit Fuge“. In den 50er Jahren wurde darunter ausschließlich Mauerwerk mit Normalmauermörtel und Stoßfugenvermörtelung verstanden. Die in DIN 4172 angesetzte Fugendicke beträgt daher 1 cm. Die Steinlänge glatter Steine entspricht dem Baurichtmaß abzüglich der Fugendicke (z.B.: 24 cm).

Bereits seit den 60er Jahren werden Steine mit Nut-Feder-System ohne Stoßfugenvermörtelung angewandt. Die Ausführung des Mauerwerks ohne Stoßfugenvermörtelung ist in DIN EN 1996/NA geregelt. Die Steine werden knirsch aneinander gereiht und Stoßfugen > 5 mm sind mit Mörtel zu schließen. Die Steinlänge ergibt sich aus dem Baurichtmaß abzüglich der Sollfugendicke (z.B.: $24,8 \text{ cm} = 25 \text{ cm} - 0,2 \text{ cm}$). Bei der Steinlänge ist zwischen dem Nennmaß (von Nut bis Nut oder Feder bis Feder) und der Gesamtlänge (über beide Nuten und Federn) zu unterscheiden.

Das Federmaß ergibt sich aus der Gesamtlänge abzüglich Nennmaß (z.B. = $25,2 \text{ cm} - 24,8 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$).

Sinnvollerweise erfolgt die Planung im Baurichtmaß (12,5 cm Raster) und nicht mit den um 1 cm abweichenden Maßen für Außen-/Innenmaß. Kritisch können in der Praxis die Öffnungsmaße für Stahlzargen (Nennmaß = Baurichtmaß) sein. Hier empfiehlt es sich, die Zargen oder vergleichbare Einbauteile bereits beim Aufmauern der Wände zu stellen. Theoretisch müssten bei Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung auch die Wanddicken geändert werden, damit das Planungsraster der Maßordnung stimmt. In der Praxis ist das jedoch nicht erforderlich, weil Längs-

und Querwände bei der Stumpfstoßtechnik durch eine Mörtelfuge angeschlossen werden und bei größeren Wandlängen kleine Toleranzen jeweils in den Fugen ausgeglichen werden können. Hinsichtlich der Höhenmaße ergeben Steinhöhe und Lagerfugendicke das Schichtmaß, das stets ein Vielfaches von 12,5 cm und somit das Rohbau-Richtmaß darstellt. Lediglich beim Normalformat (NF) wird das Schichtmaß von 25 cm erst in jeder dritten Schicht erreicht.

6.2 Vertikale Wandausbildung, Höhenausgleich

Bei Plansteinmauerwerk erfolgt der Toleranz- und Höhenausgleich in der Regel am Wandfuß. Das Aufmauern der Wände beginnt mit einer Ausgleichsschicht aus Normalmauermörtel der Mörtelgruppe III, Dicke $d = 1$ bis 3 cm oder mit Ausgleichsteinen (Kimmsteinen oder KS-Wärmedämmsteinen), die in Normalmauermörtel der Mörtelgruppe III versetzt werden. Die Ausgleichsschicht dient dem Höhenausgleich der Wand, zur Herstellung eines planebenen Niveaus in Längs- und Querrichtung und dem Ausgleich von Unebenheiten in der Betondecke. Das genaue Anlegen der Ausgleichsschicht ist insbesondere bei Mauerwerk mit Dünnbettmörtel wichtig. Die Ausgleichsschicht muss vor dem Weitermauern ausreichend erhärtet sein. Im fachgerechten, exakten Anlegen der Kimm-schicht liegen erhebliche Rationalisierungspotenziale beim Aufmauern der Wand.

Als Querschnittsabdichtung für Kalksandsteinwände im Keller (Erddruckbeanspruchung) werden die seit 2009 für die Behälterabdichtung in Teil 2 und 7 von DIN 18195 genormten, mineralischen Dichtungsschlämme (MDS) empfohlen. Die nach DIN EN 1996/NA ebenfalls zulässigen Bitumendachbahnen mit Rohfilzeinlage (R 500) dürfen in einer Dünnbettfuge nicht verwendet werden. Bei Verwendung der R 500 ist die Abdichtung nur unterhalb der Kalksandsteinwand möglich. Andere Mauersperrbahnen benötigen ein abP

Fenster- und Türöffnungen werden rationell durch Stürze (KS-Flachstürze u.a. für Sichtmauerwerk oder KS-Fertigteilstürze) überdeckt. Bei Sichtmauerwerk werden auch KS-U-Schalen zur Überdeckung eingesetzt. In der Druckzone über Flachstürzen sind die Stoßfugen zu vermörteln. Fenster- und Türöffnungen lassen sich auch mit deckengleichen Unterzügen herstellen. Geschosshohe Öffnungen mit entsprechenden, darauf abgestimmten Tür- und Fensterelementen sind die Folge.

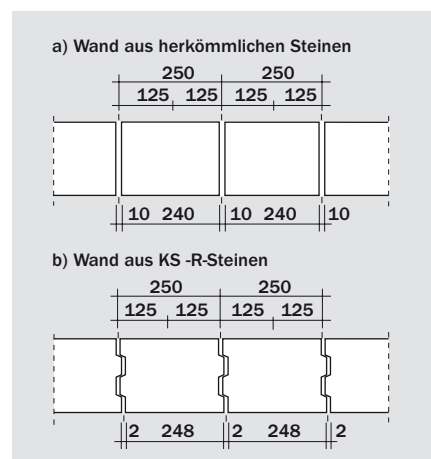


Bild 26: Abmessungen von kurzen Wänden

Tafel 6: Anwendungsbereiche und Besonderheiten der einzelnen KS-Wanddicken

Mauerwerksdicke [cm]	Anwendungsbereich	Besonderheiten
7	Nicht tragende innere Trennwand gem. DIN 4103-1	Wohnflächengewinn und Kostenersparnis Feuerwiderstandsklasse EI 60 (F 60-A)
10 ¹⁾	Nicht tragende innere Trennwand gem. DIN 4103-1	Feuerwiderstandsklasse EI 90 (F 90-A) (bei RDK $\geq 1,8$ unter Verwendung von Dünnbettmörtel oder RDK 1,2 mit 2 x 10 mm Putz), Wohnflächengewinn und Kostenersparnis
11,5	Tragende Innenwand gem. DIN EN 1996/NA	Wohnflächengewinn und Kostenersparnis durch schlanke, tragende Innenwand Feuerwiderstandsklasse R 90 (F 90) (Wand beidseitig beflammt)
15	Tragende Innenschale einer zweischaligen Außenwand gem. DIN EN 1996/NA	Wohnflächengewinn und Kostenersparnis durch schlanke, tragende Innenschale Die hohe Rohdichte wirkt sich günstig auf den vertikalen und horizontalen Schallschutz aus. Statischer Nachweis nach den vereinfachten Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3/NA ist möglich.
	Außenwand mit WDVS	
	Zweischalige Haustrennwand (mit Unterkellerung)	2 x 15 cm und beidseitiger Dünnlagenputz bei RDK 1,8: $R'_{w,2} = 67$ dB (erhöhter Schallschutz nach Beibl. 2 DIN 4109), zweischalige Brandwand (REI-M 90) nach DIN 4102-4 bei RDK 2,0
17,5	Einschalige Brandwand	RDK $\geq 1,8$ und Verwendung von Dünnbettmörtel, bei KS XL zusätzlich mit aufliegender RE 90 (F 90)-Geschossdecke als konstruktive obere Halterung
	Außenwand mit WDVS	Bewährte Außenwand bei mehrgeschossigen Gebäuden Statischer Nachweis nach den vereinfachten Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3/NA ist möglich.
	Zweischalige Haustrennwand (mit Unterkellerung)	2 x 17,5 cm und beidseitiger Dünnlagenputz bei RDK 1,8: $R'_{w,2} \geq 67$ dB (erhöhter Schallschutz nach Beibl. 2 DIN 4109), zweischalige Brandwand (REI-M 90)
20	Wohnungstrennwand	Mit beidseitig 10 mm Putz bei RDK 2,0: Direktschalldämm-Maß $R_w = 58,2$ dB
	Einschalige Brandwand	Feuerwiderstandsklasse REI-M 90 RDK 2,0 und Verwendung von Dünnbettmörtel
	Zweischalige Haustrennwand (ohne Unterkellerung)	2 x 20 cm mit RDK 2,0 und mindestens 4 cm dicke Trennfuge mit Dämmschicht, Fundamentplatte getrennt auf gemeinsamen Fundament und beidseitigem Dünnlagenputz: $R'_{w,2} = 67$ dB
21,4 ¹⁾	Wohnungstrennwand	Mit beidseitigem Dünnlagenputz bei RDK 2,0: Direktschalldämm-Maß $R_w = 60,4$ dB für guten Schallschutz
24	Wohnungstrennwand	Mit beidseitig 10 mm Putz bei RDK 2,2 hervorragender Schallschutz möglich: Direktschalldämm-Maß $R_w = 61,8$ dB
	Kelleraußenwand	Gut geeigneter Untergrund für das Aufbringen von Bitumendickbeschichtung ohne zusätzliche Putzschicht und als sichtbar bleibendes Mauerwerk innen mit verschlammten Fugen
26,5 ¹⁾	Wohnungstrennwand	Mit beidseitig 10 mm Putz bei RDK 2,0: Direktschalldämm-Maß $R_w = 62,0$ dB
30/36,5	Kelleraußenwand	Gut geeigneter Untergrund für das Aufbringen von Bitumendickbeschichtung ohne zusätzliche Putzschicht und als sichtbar bleibendes Mauerwerk innen mit verschlammten Fugen. 30 cm Wanddicke mit RDK 2,0 auch als Wohnungstrennwand bei hohen Schallschutzanforderungen; Direktschalldämm-Maß $R_w = 63,0$ dB

RDK = Steinrohrichteklasse

¹⁾ Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Tafel 7: Beispiele für KS-Wandkonstruktionen: Schalldämm-Maße R_w bzw. $R_{w,2}$ und Wärmedurchgangskoeffizienten U

Außenwände		U-Wert [W/(m ² ·K)]		Rohdichteklasse [-]		Direktschalldämm-Maß [dB]		$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w}$ [dB]		Schalllängsleitung [dB] horizontal und vertikal (nur Hintermauerschale)	
		0,15	0,15	2,0	2,0	$R_{s,w} = 56,0$	$R_{s,w} = 56,0$	$\Delta R_{Dd,w} = \pm 4$	$R_{w,1} = 56,0$	$R_{w,1} = 56,0$	
		0,15 ¹⁾	0,28	2,0	2,0	$R_{s,w} = 63,0$ (Summe aus Vor- und Hintermauerschale)	$R_{s,w} = 63,0$ (Summe aus Vor- und Hintermauerschale)	$\Delta R_{Dd,w} = + 5$ bis 8 (bei mineralischem Faserdämmstoff) $\Delta R_{Dd,w} = - 2$ (bei Hartschaumdämmstoff)	$R_{w,1} = 56,0$	$R_{w,1} = 56,0$	

Wohnungstrennwände		Rohdichteklasse [-]			Direktschalldämm-Maß ²⁾ [dB]			Nicht tragende Trennwände		
		1,8	2,0	2,0	$R_w = 58,5$	$R_w = 58,2$	$R_w = 63,0$			
$R_w = 58,5$	$R_w = 58,2$	$R_w = 63,0$	$R_w = 61,8$	1,2	–	$R_w = 40,9$	1,4	–	$R_w = 43,1$	
				1,8	$R_w = 41,9$	$R_w = 46,7$	2,0	$R_w = 43,4$	$R_w = 48,2$	

Zweischalige Haustrennwände		Rohdichteklasse [-]		Direktschalldämm-Maß [dB]		Schalllängsleitung [dB] horizontal und vertikal		Kelleraußenwände		
		1,8	2,0	$R_{w,2} \geq 67$	$R_{w,2} \geq 67$	$R_{w,1} = 52,4$	$R_{w,1} = 57,7$			
								U-Wert U [W/(m ² ·K)]	2,04	0,19 ³⁾
								Rohdichteklasse [-]	1,8	1,4
								Direktschalldämm-Maß ²⁾ [dB]	64,1	60,5

¹⁾ 14 cm Dämmstoff $\lambda = 0,024$ W/(m·K)

²⁾ Direktschalldämm-Maße gelten auch für die horizontale und vertikale Schalllängsleitung.

³⁾ Perimeterdämmung $\lambda = 0,036$ [W/(m²·K)] mit Zuschlag ΔU nach abZ von 0,04 [W/(m²·K)]

- Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.
- Sofern nicht anders angegeben, wurden bei den Wandkonstruktionen Wärmedämmstoffe mit $\lambda = 0,032$ W/(m·K) verwendet.
- Aus Gründen der Winddichtigkeit ist auf der Innenseite der Außenwände ein Putz aufzubringen.
- Sofern die Erhöhung des Wandflächengewichts durch beidseitigen Putz (2×10 mm ~ 20 kg/m²) erforderlich ist, ist dies in den Zeichnungen angegeben.

- Die Direktschalldämmmaße R_w nach E DIN 4109-2:2013 gelten nur in Verbindung mit beidseitigem Dünnlagenputz ($d = \sim 5$ mm) oder einseitigem Putz ($d = \sim 10$ mm) oder mit Stoßfugenvermörtelung.
- Die Direktschalldämmmaße R_w beschreiben die Leistungsfähigkeit eines Bauteils ohne Berücksichtigung der Flankenübertragung. Für die vertikale und horizontale Schalllängsleitung im Inneren des Gebäudes ist mit $R_{w,1}$ zu rechnen.

Spezifische Serviceleistungen der Kalksandstein-Industrie

- Beratung zu Kosten sparendem und Flächen sparendem Bauen, Statik und Bauphysik
- Ökonomisch und ökologisch optimierte Gebäudeplanung durch Mitarbeit im Bauteam
- Arbeitsvorbereitung und Logistik für die Baustelle zur Kostenminimierung
- Ergonomische Optimierung des Arbeitsplatzes für den Maurer durch moderne Maschinenteknik
- Information und Schulung von Auszubildenden und Studenten
- Bereitstellung von Fachliteratur
- Seminare und Vorträge

LITERATUR

- [1] BGI 695 (bisher Z/H 1/610), Merkblatt Handhaben von Mauersteinen, Fachausschuss Bau, Oktober 1992
- [2] Merkblatt ZH 1/531 für das Aufmauern von Wandscheiben, Fachausschuss Bau



Bild 27: Gebäudeensemble aus Sichtmauerwerk in Kalksandstein

Von der Kalksandstein-Industrie wird bereits seit Jahrzehnten das Konzept der KS-Funktionswand mit konsequenter Funktionstrennung der Bauteilschichten von Außenwandkonstruktionen verfolgt. Die daraus resultierende individuelle Anpassungsfähigkeit von KS-Außenwänden erweist sich dabei vor allem bei steigenden Anforderungen – z.B. im Bereich des Wärmeschutzes – als zukunftsorientiert.

1. ANFORDERUNGEN

Kaum eine andere Baukonstruktion ist vielfältigeren Einwirkungen ausgesetzt als eine Außenwandkonstruktion. Diese Einwirkungen sind im Einzelnen:

- Eigenlasten und Nutzlasten
- Winddruck- und Windsoglasten
- Schnee- und Eislasten
- Temperaturwechselbeanspruchung
- Feuchtwechselbeanspruchung
- Schlagregenbeanspruchung
- UV-Beanspruchung
- Chemische Beanspruchung durch Luftschadstoffe oder Reinigungsmittel
- Vandalismus

Hieraus leiten sich folgende Anforderungen in statisch-konstruktiver sowie in bauphysikalischer Hinsicht ab, die dauerhaft erfüllt werden müssen:

- Standsicherheit
- Brandschutz
- Winterlicher Wärmeschutz
- Sommerlicher Wärmeschutz
- Schallschutz
- Feuchte- und Witterungsschutz
- Gebrauchstauglichkeit
- Dauerhaftigkeit
- Wirtschaftlichkeit
- Hygiene und Gesundheitsschutz
- Ökologie
- Ästhetik

Durch die Vielzahl möglicher Konstruktionsvarianten bieten dabei insbesondere KS-Außenwände die Möglichkeit, für jeden einzelnen Anwendungsfall individuell optimierte Lösungen zu wählen.

1.1 Standsicherheit

Die Standsicherheit der Außenwandkonstruktion muss dauerhaft gewährleistet sein (MBO §12 [1]).

Dabei sind neben den Eigen- und Nutzlasten sowie den Winddruck- bzw. Windsoglasten insbesondere mögliche Zwängungen aus klimatischer Wechselbeanspruchung zu berücksichtigen.

1.2 Brandschutz

Im Hinblick auf den Brandschutz sind die Anforderungen der Muster- bzw. Landesbauordnung unter Berücksichtigung der DIN 4102 [2] zu erfüllen. Die zusätzlichen Bestimmungen der Richtlinien für die Verwendung brennbarer Baustoffe im Hochbau [3] sind zu beachten.

1.3 Wärmeschutz

Die Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz sind festgelegt in:

- DIN 4108-2 [4]
- Energieeinsparverordnung (EnEV) [5]

Bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwandkonstruktion ist auch der Einfluss etwaiger punktueller Wärmebrücken – z.B. infolge der Verankerung (Dübel, Konsolen, Wandhalter etc.) von Wärmedämmschichten, Vormauerschalen oder hinterlüfteten Außenwandbekleidungen – zu berücksichtigen, U-Werte für KS-Außenwände siehe Tafel 1.

Durch die KS-Funktionswand (klare Trennung der Funktionen in die tragende Schicht der KS-Wand einerseits und die Wärmedämmschicht andererseits) wird die tages- und jahreszeitliche Temperaturamplitude (Bild 3) der tragenden Schicht im Vergleich zu anderen Konstruktionen erheblich reduziert. Dieses führt zu geringeren Zwängungs- und Eigenspannungen und damit zu einer höheren Rissesicherheit. Des Weiteren ergibt sich in der kalten Jahreszeit eine deutliche Erhöhung der Temperatur an den Bauteilinnenober-



Bild 1: Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem



Bild 2: Einfarbig gestrichenes KS-Verblendmauerwerk

Tafel 1: U-Werte von KS-Außenwänden

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m ² ·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Wärmedämmstoff nach Zulassung ~ 1 cm Außenputz (λ = 0,70 W/(m·K))
	34,5	15	0,14	0,15	0,20	0,22	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	44,5	25	0,09	0,09	0,12	0,13	
	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 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Wärmedämmung Typ WZ nach DIN 4108-10 1 cm Fingerspalt, R = 0,15 11,5 cm ³⁾ KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0) ¹⁾
	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 ²⁾	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18 ²⁾	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20 ²⁾	0,10	0,11	0,15	0,16	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand (tragende Wand), RDK 1,8 ¹⁾ Wärmedämmstoff Typ WZ nach DIN 4108-10 Luftschicht ≥ 4 cm nach DIN EN 1996-2/NA (Mörtel auf einer Hohlraumseite abgestrichen) 11,5 cm ³⁾ KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0) ¹⁾
	46,0	12 ²⁾	0,17	0,18	0,24	0,26	
	31,5	10	–	–	0,28	0,30	Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff Typ WAB nach DIN 4108-10 2 cm Hinterlüftung Fassadenbekleidung (Dicke nach Art der Bekleidung)
	33,5	12	–	–	0,24	0,26	
	37,5	16	–	–	0,18	0,20	
	41,5	20	–	–	0,15	0,16	
	46,5	25	–	–	0,12	0,13	
	51,5	30	–	–	0,10	0,11	
	52,5	10	–	–	–	0,34	Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung) 36,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Perimeterdämmplatten ⁴⁾ nach Zulassung oder Typ PW nach DIN 4108-10 Abdichtung
	57,5	15	–	–	–	0,25	
	62,5	20	–	–	–	0,20	
	67,5	25	–	–	–	0,17	
	52,5	10	–	–	–	0,32	Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung) 36,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,4 ¹⁾ Perimeterdämmplatten ⁴⁾ nach Zulassung oder Typ PW nach DIN 4108-10 Abdichtung
	57,5	15	–	–	–	0,24	
	62,5	20	–	–	–	0,20	
	67,5	25	–	–	–	0,17	

Als Dämmung können unter Berücksichtigung der stofflichen Eigenschaften und in Abhängigkeit von der Konstruktion alle genormten oder bauaufsichtlich zugelassenen Dämmstoffe verwendet werden, z.B. Hartschaumplatten, Mineralwolleplatten.

¹⁾ Bei anderen Dicken oder Steinrohdektklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

²⁾ Bei Verwendung von bauaufsichtlich zugelassenen Ankern mit Schalenabstand ≤ 20 cm

³⁾ 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA

⁴⁾ Der Zuschlag ΔU = 0,04 W/(m·K) nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist bereits berücksichtigt.

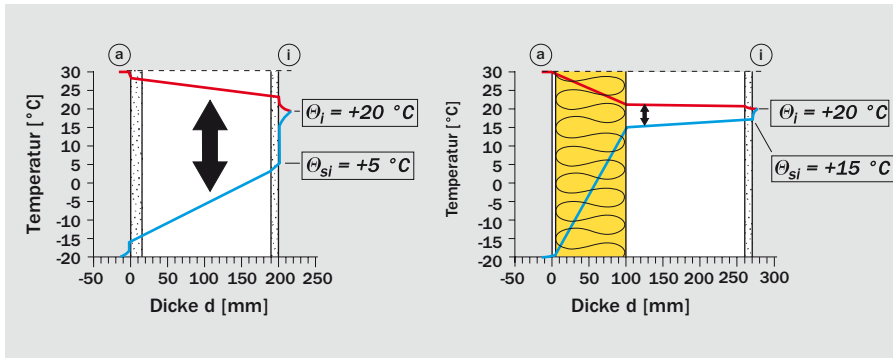


Bild 3: Minimale Innenoberflächentemperatur θ_{si} sowie jahreszeitlich bedingte Temperaturänderung des KS-Mauerwerks mit und ohne Wärmedämmung

flächen. Das erhöht die Behaglichkeit für die Nutzer und verhindert eine Schimmelpilz- oder Tauwasserbildung an den Innenoberflächen.

1.4 Schallschutz

Die Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm sind DIN 4109 [6] in Abhängigkeit von der Nutzung des Gebäudes und dem maßgeblichen Außenlärmpegel zu entnehmen. Zukünftig ist dabei auch die Frequenzabhängigkeit der Außenlärmquellen, wie für schnellen Schienenverkehr oder innerstädtischen Verkehrslärm, durch Spektrums-Anpassungswerte zu berücksichtigen.

Bei der Bestimmung des vorhandenen Schalldämm-Maßes gegen Außenlärm ist der Einfluss zusätzlicher Bauteilschichten (z.B. von Wärmedämm-Verbundsystemen bezüglich des Resonanzverhaltens) nachzuweisen. Bei Berechnung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung innerhalb des Gebäudes wird dagegen nur die innere Schale der Außenwand betrachtet, die Außenschalen (Wärmedämm-Verbundsystem oder Verblendschale) tragen nichts zur Schalllängsleitung bei.

Insgesamt sind funktionsgetrennte KS-Außenwände eine wesentliche Voraussetzung für einen guten Schallschutz zwischen benachbarten Wohnungen, da die flankierende Schallübertragung aufgrund der hohen flächenbezogenen Masse der KS-Wand minimiert wird.

1.5 Feuchte- und Witterungsschutz

Im Hinblick auf den Feuchte- und Witterungsschutz sind folgende Phänomene zu untersuchen:

- Tauwasserbildung
 - im Wandinnern
 - auf den inneren Wandoberflächen

- Schimmelpilzgefährdung auf den inneren Wandoberflächen
- Einwirkung durch Schlagregen
- Spritzwasser

1.5.1 Tauwasserbildung im Wandinnern

Nach DIN 4108-3 ist nachzuweisen, dass das ggf. in der Tauperiode (Wintermonate) im Innern der Bauteile anfallende Tauwasser während der Verdunstungsperiode (Sommermonate) wieder ausdiffundieren kann. Gleichzeitig ist die anfallende Tauwassermenge auf $1,0\text{ kg/m}^2$ bei kapillar wasseraufnahmefähigen Bauteilschichten und auf $0,5\text{ kg/m}^2$ bei kapillar nicht wasseraufnahmefähigen Bauteilschichten zu begrenzen. Dabei dürfen Baustoffe, die mit Tauwasser in Berührung kommen, nicht geschädigt werden. Für Konstruktionen aus Holz oder Holzwerkstoffen muss darüber hinaus die Erhöhung des massebezogenen Feuchtegehaltes begrenzt werden, zulässig ist eine Erhöhung um maximal 5 M.-% bei Holz bzw. um maximal 3 M.-% bei Holzwerkstoffen.

Bei ausreichendem Mindestwärmeschutz sind einschalige KS-Außenwände, zweischalige KS-Außenwände mit Luftschicht und/oder Wärmedämmung, KS-Außenwände mit WDVS oder hinterlüfteter Bekleidung und KS-Kellerwände mit Perimeterdämmung hinsichtlich der Wasserdampfkondensation unkritisch und bedürfen keines Nachweises für den Tauwasserausfall im Wandinnern (DIN 4108-3).

1.5.2 Tauwasserbildung auf Bauteilinnenoberflächen

Zur Vermeidung von Tauwasserbildung auf den Innenoberflächen der Außenbauteile wird die minimale Temperatur der

Bauteilinnenoberflächen unter Zugrundelegung einer Außentemperatur von -5 °C nach DIN 4108-2 ermittelt und überprüft, ob unter den jeweiligen raumklimatischen Bedingungen die Taupunkttemperatur unterschritten wird. Im Einzelfall sollten besondere Randbedingungen berücksichtigt werden – wie ein stark behinderter Wärmeübergang durch Möblierung, Vorhänge o.Ä. sowie konstruktive oder geometrische Wärmebrücken.

1.5.3 Schimmelpilzbildung

Umfangreiche Untersuchungen (u.a. [7]) zeigen, dass bereits eine relative Luftfeuchte von zeitweise 80 % ausreichend ist, um Schimmelpilzbildung zu fördern. Durch den inneren Wärmeübergang ergibt sich in der kalten Jahreszeit an der Innenoberfläche der Außenbauteile eine gegenüber der Raumlufttemperatur geringere Temperatur. Bei gleich bleibender absoluter Luftfeuchte erhöht sich damit die relative Luftfeuchte in diesen oberflächennahen Bereichen. Insbesondere im Bereich von Wärmebrücken (also Bereichen mit gegenüber dem normalen Flächenbereich ohnehin geringeren Temperaturen an der Innenoberfläche) kann dann die Voraussetzung für Schimmelpilzbildung gegeben sein.

Nach DIN 4108-2 wird deshalb folgende Anforderung gestellt:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \geq 0,7$$

f_{Rsi}	Temperaturfaktor an der Bauteiloberfläche
θ_{si}	Maßgebende – also minimale – Temperatur an der Bauteilinnenoberfläche [°C]
θ_i	Innenlufttemperatur [°C] ($\theta_i = 20\text{ °C}$)
θ_e	Außenlufttemperatur [°C] ($\theta_e = -5\text{ °C}$)

Hieraus ergibt sich, dass die innere Oberflächentemperatur θ_{si} mindestens $12,6\text{ °C}$ betragen muss. Ein ordnungsgemäßes Lüftungsverhalten (relative Raumluftfeuchte $\Phi_r \leq 50\%$) und Heizverhalten (Raumlufttemperatur $\theta_i \geq 20\text{ °C}$) des Nutzers wird dabei vorausgesetzt. Damit stellt sich an der Bauteiloberfläche eine maximale relative Luftfeuchte Φ_{si} von 80 % ein, so dass die Gefahr einer Schimmelpilzbildung in diesem Fall ausgeschlossen werden kann. Hinweise zum sachgerechten Nutzerverhalten können [8, 9] entnommen werden.

1.5.4 Schlagregenschutz

Nach DIN 4108-3 werden die Beanspruchungsgruppen I (geringe Schlagregenbeanspruchung) bis III (starke Schlagregenbeanspruchung) definiert in Abhängigkeit von

- regionalen klimatischen Bedingungen (Regen, Wind),
- örtlicher Lage (Bergkuppe, Tal),
- Gebäudeart (Hochhaus, eingeschossiges Gebäude).

Daneben werden Beispiele genormter Wandkonstruktionen angegeben, die den Anforderungen an die jeweiligen Beanspruchungsgruppen genügen, ohne andere Konstruktionen mit entsprechend gesicherter, praktischer Erfahrung auszuschließen.

Hierzu zählen z.B.:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit allgemein bauaufsichtlich zugelassenem Wärmedämm-Verbundsystem
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung nach DIN 18516

1.5.5 Spritzwasser

Für den Spritzwasserbereich (≤ 30 cm über Geländeoberkante) sind besondere konstruktive Maßnahmen zu ergreifen, wie z.B. wasserabweisende Sockelputze.

Darüber hinaus ist zu empfehlen, an den Gebäudeaußenflächen einen ca. 50 cm breiten und 20 cm tiefen Kiesstreifen anzuordnen, um die Bildung von Spritzwasser bei Niederschlägen und eine damit einhergehende Verschmutzung der Oberfläche zu reduzieren.

1.6 Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

Im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit sind insbesondere die Beanspruchungen durch Temperatur- und Feuchtewechsel bezüglich möglicher Zwängungsspannungen zu berücksichtigen.

Die Dauerhaftigkeit wird darüber hinaus durch die Beständigkeit gegenüber UV-Beanspruchung und möglichem chemischen Angriff – z.B. durch Luftschadstoffe oder Reinigungsmittel – bestimmt.

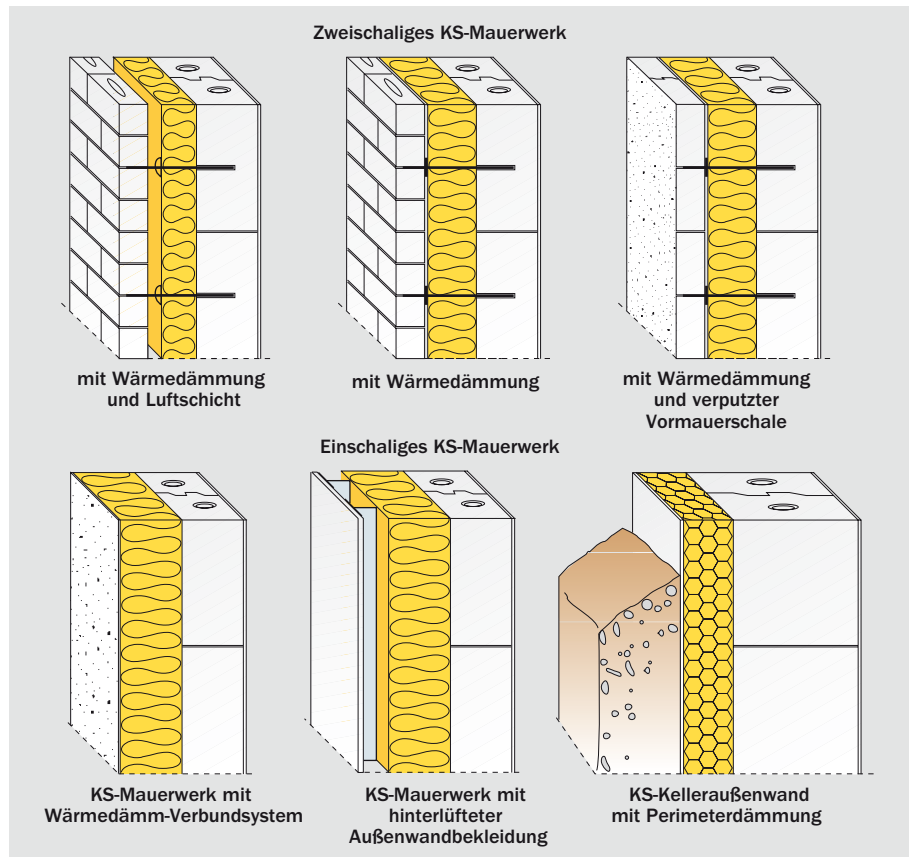


Bild 4: KS-Außenwandkonstruktionen für beheizte Gebäude

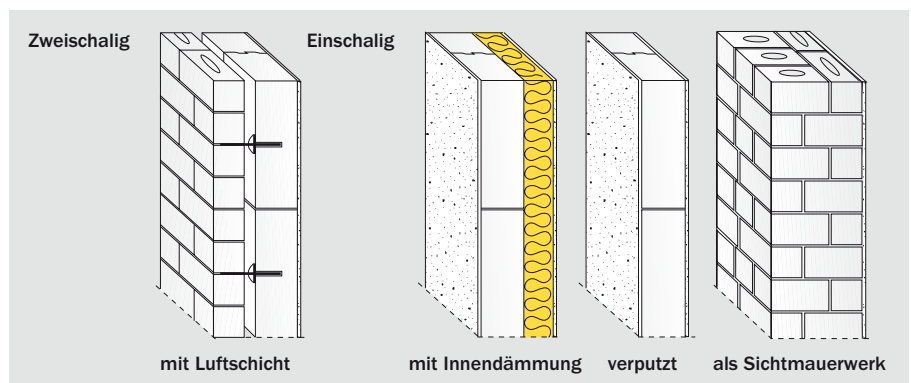


Bild 5: KS-Außenwandkonstruktionen für Sonderfälle

Tafel 2: Anwendungsbereiche von KS-Außenwandkonstruktionen

KS-Außenwandkonstruktion	Anwendung	
	Beheizte Gebäude	Sonderfälle
Zweischalige KS-Außenwand • mit Wärmedämmung • mit Wärmedämmung und Luftschicht • mit Wärmedämmung und verputzter Vormauerschale • mit Luftschicht	X X X	X
Einschalige KS-Außenwand • mit Wärmedämm-Verbundsystem • mit Wärmedämmung und hinterlüfteter Außenwandbekleidung • mit Innendämmung	X X	X
Einschalige KS-Außenwand ohne Wärmedämmung (verputzt oder Verblendmauerwerk)		X

1.7 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit ist nicht nur unter dem Aspekt der Minimierung der Erstinvestitionskosten, sondern insbesondere unter Berücksichtigung der Nutzungsphase – z.B. Heizenergiekosten oder Instandhaltungskosten – zu betrachten.

Gerade KS-Funktionswände bieten hierzu kostengünstige Möglichkeiten, hochdämmende Konstruktionen zu erzielen, die zudem eine hohe Dauerhaftigkeit aufweisen und durch schlanke Konstruktion Nutzflächengewinne ermöglichen.

2. KONSTRUKTIONSÜBERSICHT

Im Allgemeinen können KS-Außenwandkonstruktionen entsprechend Bild 4 differenziert werden.

Um insbesondere dem Anspruch an ein hohes Wärmeschutzniveau gerecht zu werden, sollten bei beheizten Gebäuden nur folgende Konstruktionen eingesetzt werden:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung
 - als KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)
 - als KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung



Bild 6: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern, Format 2DF



Bild 7: Sichtmauerwerk aus bruchrauen KS-Verblendern, Format 2DF

3. ZWEISCHALIGES MAUERWERK

3.1 Konstruktionsprinzip

Zweischalige KS-Außenwände bestehen aus zwei massiven Mauerschalen mit einer dazwischen liegenden Luft- und/oder Wärmedämmschicht (früher nach DIN 1053-1 auch: Kerndämmung). Bei dieser Konstruktion besteht eine klare funktionale Trennung der einzelnen Bauteilschichten.

Die Innenschale hat in erster Linie die statische sowie wärmespeichernde Funktion. Die Außenschale hat die Aufgaben des Witterungsschutzes zu erfüllen. Die dazwischen liegende Schicht – als Luft- und/oder Wärmedämmschicht – bestimmt im Wesentlichen die wärme- und feuchteschutztechnischen Belange. Die massiven Innen- und Außenschalen zusammen ergeben den besonders guten Schutz gegen Außenlärm.

3.2 Entwicklung

Konstruktionen mit zweischaligem Mauerwerk sind bereits aus dem römischen Reich (siehe Vitruv: „De Architectura Libri Decem“, 2. Buch) bekannt.

Zweischaliges KS-Mauerwerk hat sich in der Fassade seit vielen Jahrzehnten vor allem in Gegenden mit extremen Witterungsbedingungen hervorragend bewährt.

3.3 Baurechtliche Regelung

Zweischaliges Mauerwerk wird durch DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-2 mit jeweils Nationalem Anhang (NA) geregelt, die absehbar in die Liste der Technischen Baubestimmungen aufgenommen werden. Für eine Übergangsphase (Koexistenzphase) behält DIN 1053-1 Gültigkeit.

Für einzelne Konstruktionskomponenten können darüber hinaus allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (z.B. für Flachstahlanker oder Dämmstoffe für Konstruktionen ohne Luftschicht) erforderlich werden.

3.4 Konstruktionsübersicht

Zweischalige KS-Außenwandkonstruktionen werden wie folgt unterschieden:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung („Kerndämmung“)
- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und Luftschicht
- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Luftschicht (bei unbeheizten Gebäuden)

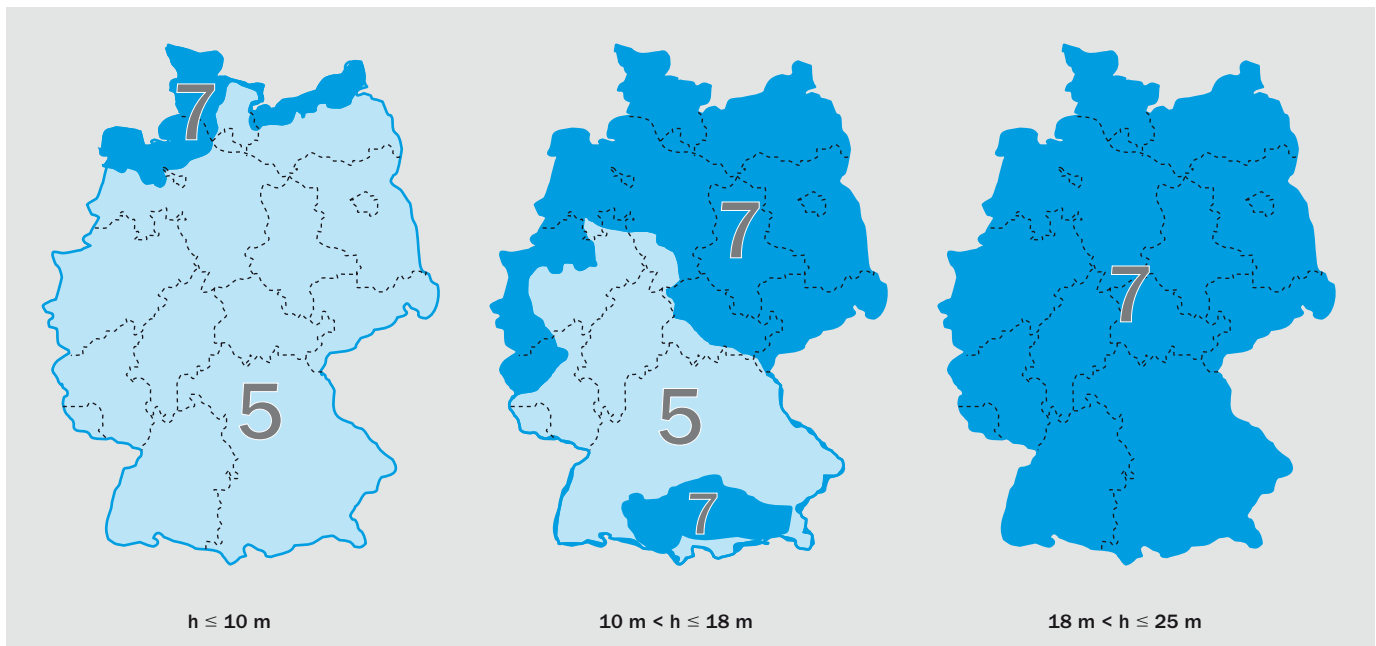


Bild 8: Erforderliche Ankeranzahl im Binnenland in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und Windlastzone

3.5 Komponenten

3.5.1 Tragende KS-Innenschale

Die mindestens 11,5 cm dicke tragende Innenschale übernimmt die statische Funktion und ist nach DIN EN 1996-1-1/NA oder nach DIN EN 1996-3/NA zu bemessen.

3.5.2 Anker

Die Mauerwerksschalen sind nach DIN EN 1996-2/NA durch Drahtanker aus nicht rostendem Stahl nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) oder durch Anker nach DIN EN 845-1 aus nicht rostendem Stahl, deren Verwendung in einer abZ geregelt ist, zu verbinden.

Für Drahtanker, die in Form und Maßen DIN EN 1996-2/NA Anhang D, Bild NA.D.1 entsprechen, ist die Mindestanzahl der Drahtanker je m^2 Wandfläche in Abhängigkeit von der Höhe der Wandbereiche über Gelände und der Windlastzone in Tabelle NA.D.1 (Tafel 3) festgelegt. Windlastzonen nach Landkreisen sortiert werden unter in <http://www.dibt.de/de/Service/Dokumente-Listen-TBB.html> zur Verfügung gestellt.

Der vertikale Abstand der Drahtanker soll dabei höchstens 500 mm, der horizontale Abstand höchstens 750 mm betragen. Bei KS XL mit Schichthöhen von 625 mm ist

auch ein vertikaler Abstand von 625 mm in den bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. Der horizontale Abstand der Anker beträgt dann max. 250 mm. Der lichte Abstand der Mauerwerksschalen darf bei Verwendung von Drahtankern höchstens 150 mm betragen. Andere Abstände sind in den Ankerzulassungen geregelt (siehe Tafel 4). Zusätzlich müssen an freien Rändern der Außenschale – wie im Bereich von Dehnungsfugen, an Gebäudekanten, am oberen Ende der Außenschale sowie umlaufend um Wandöffnungen – drei Drahtanker je Meter Randlänge angeordnet werden (Bild 10).

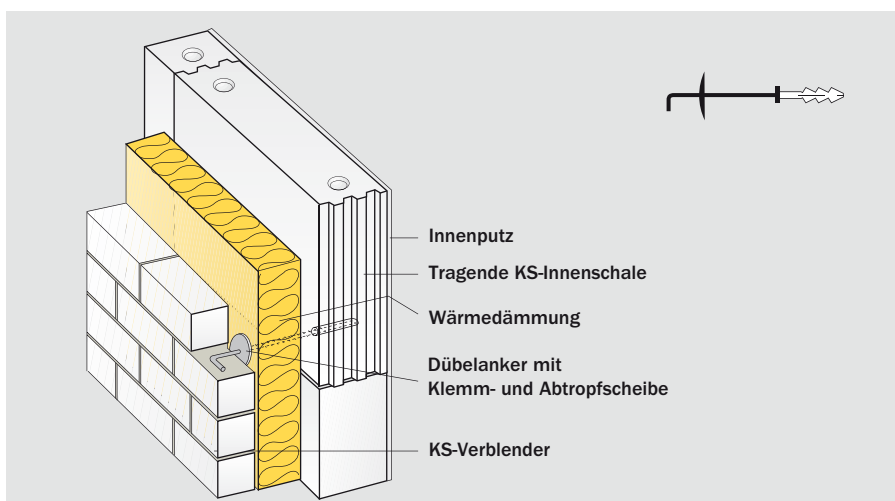


Bild 9: Systemaufbau zweischaliges Mauerwerk mit Wärmedämmung

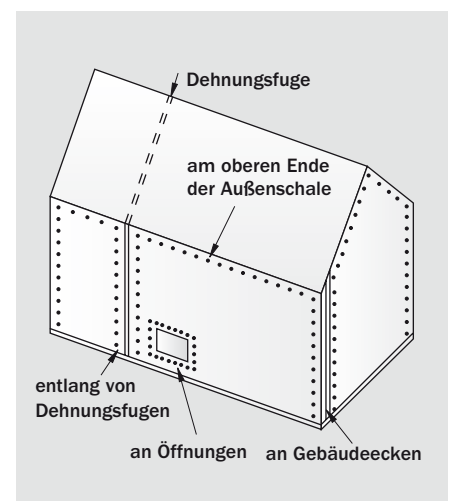


Bild 10: Anordnung zusätzlicher Drahtanker (3 Stück je m) nach DIN EN 1996-2/NA

Bei weischaligen Außenwänden werden in der Regel zweistufige Klemm- und Abtropfscheiben auf die Drahtanker im Be-

reich der Luftschicht aufgeschoben, damit kein ggf. an den Drahtankern entlang laufendes Wasser bis zur Wärmedäm-

mung gelangen kann, sondern im Bereich der Kunststoffscheibe (Tropfscheibe) im Schalenzwischenraum abtropft. Gleichzeitig haben sie die Funktion der Dämmstofffixierung.

Tafel 3: Mindestanzahl der Anker je m² Wandfläche nach DIN EN 1996-2/NA

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

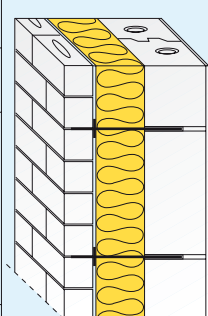
An allen freien Rändern (von Öffnungen, entlang von Dehnungsfugen und an den oberen Enden der Außenschalen) sind zusätzlich zu dieser Tafel drei Drahtanker je m Randlänge anzuordnen.

Anker nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen

Andere Ankerformen (z.B. Flachstahlanker) und Dübelanker dürfen verwendet werden, wenn deren Brauchbarkeit nach den bauaufsichtlichen Vorschriften, z.B. durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ), nachgewiesen ist.

Luftschichtanker zum Einlegen werden beim Aufmauern in die Lagerfuge der Tragschicht eingelegt. Für Plansteinmauerwerk mit Dünnbettmörtel gibt es bauaufsichtlich zugelassene Flachstahlanker aus Edelstahl.

Tafel 4: Luftschichtanker zum Einlegen beim Aufmauern

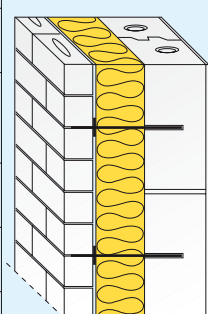
Zulassung	Z-17.1-463 (Gebr. Bodegraven bv)	Z-17.1-633 (Bever GmbH) ¹⁾	Z-17.1-822, Anlage 1 ¹⁾ (H & R GmbH)	Z-17.1-825 ¹⁾ (Bever GmbH)	Z-17.1-888 ²⁾ (Bever GmbH)	Z-17.1-1062 (Bever GmbH)	
Max. Schalenabstand	100 bis 200 mm	100 bis 170 mm	≤ 200 mm	≤ 200 mm	120 bis 200 mm	40 bis 150 mm	
Tragschale	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa oder III, Plansteine / KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel NM IIa / NM III oder Plan-/Fasensteine / KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel ≥ NM IIa	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel ≥ NM IIa	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel NM IIa / NM III oder Plan-/Fasensteine / KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa oder III oder KS-Plansteine / Planelemente mit Dünnbettmörtel	
Ankerlänge	250 bis 340 mm	250 bis 320 mm	gemäß Zulassung	275 bis 350 mm	280 bis 360 mm	103 bis 213 mm	

¹⁾ Vormauerschale nur in Normalmauermörtel NM IIa 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 5: Luftschichtanker zum Eindübeln in die Tragschale

Zulassung	Z-17.1-822, Anlage 2 mit Dübeln nach Z-21.2-1732 (H&R GmbH) ¹⁾	Z-17.1-825 mit Dübel nach Z-21.2-1009 (Bever GmbH) ¹⁾	
Max. Schalenabstand	> 150 bis ≤ 200 mm	> 150 mm bis ≤ 200 mm	
Tragschale	Vollsteine, SFK ≥ 12 mit Normalmauermörtel ≥ NM IIa, Dünnbettmörtel oder Leichtmauermörtel der Gruppe LM 36	Vollsteine, SFK ≥ 12 mit Normalmauermörtel ≥ NM IIa, Dünnbettmörtel oder Leichtmauermörtel der Gruppe LM 36	
Ankerdurchmesser	4 mm	4 mm	
Bohrerdurchmesser	8 mm	8 mm	
Bohrlochtiefe	≥ 60 mm	≥ 60 mm	

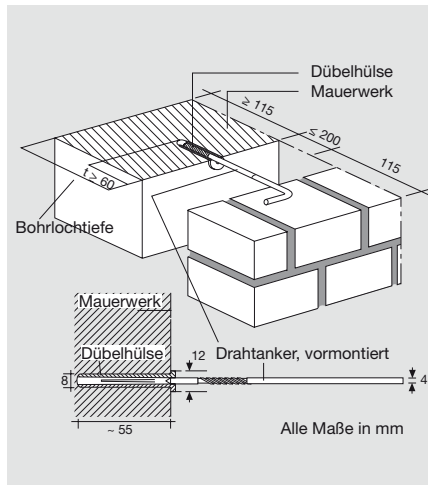
¹⁾ Dübel nicht in Stoß- und Lagerfugen setzen. Der Abstand zu den Steinrändern muss mindestens 3 cm betragen.

Bei Anforderungen an den Brandschutz (Gebäudeklasse nach Landesbauordnung) sind ggf. vorhandene Einschränkungen zur Verwendung der Dämmstoffe und Dübel in den abZ zu beachten.



Foto: H&R GmbH

Bild 11: Dübelanker mit Klemm- und Abtropfscheibe im eingebauten Zustand (links) und als Prinzipskizze (rechts)



Ist das Einlegen der Anker in den Lagerfugen der Tragschale nicht möglich, kann die Verwendung von Schlagdübelankern sinnvoll sein. Nach den Zulassungen sind dabei für die tragende Innenschale KS-Vollsteine der Steindruckfestigkeitsklasse $\geq 12/\text{NM IIa}$ zu verwenden. *Luftschichtanker zum Eindübeln* dürfen nicht in die Lager- oder Stoßfuge gesetzt werden. Der Abstand der Dübel zu den Steinrändern muss mindestens 3,0 cm betragen.

Bei fehlerhafter Ausführung der Luftschichtanker kann eine nachträgliche Sicherung durch speziell entwickelte Sanieranker erfolgen – z.B. durch Injektionsanker (Fa. Hilti).

Bei Verwendung von Luftschichtankern sind – je nach Zulassung – erhöhte Schalenabstände bis max. 20 cm möglich. Durch eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) sind bei der Verwendung bestimmter Anker einzelner Hersteller auch Schalenabstände > 20 cm ausführbar.

3.5.3 Luftschicht

Die Luftschichtdicke muss mindestens 60 mm betragen und darf bei Verwendung von Drahtankern, die in Form und Maßen DIN EN 1996-2 entsprechen, höchstens 150 mm dick sein (Bild 9). Die Luftschichtdicke darf bis auf 40 mm vermindert werden, wenn der Fugenmörtel mindestens an einer Hohlraumseite abgestrichen wird. Sie darf nicht durch Mörtelbrücken unterbrochen werden und ist durch geeignete Maßnahmen gegen herabfallenden Mörtel zu schützen.

Die Dicke der Luftschicht und der Schalenzwischenraum sind als Planungsmaß festgelegt. Abweichungen vom Planungsmaß sind in den durch DIN 18202 bestimmten Grenzen zulässig.

Die Außenschale darf oberhalb von Abdichtungen mit Entwässerungsöffnungen oder Lüftungsöffnungen (z.B. offene Stoßfugen) versehen werden. Dies gilt auch für Brüstungsbereiche der Außenschale. Eine Vorgabe für die Größe und Anzahl der Öffnungen ist in DIN EN 1996-2/NA nicht enthalten.

3.5.4 Wärmedämmung

Unabhängig von der Konstruktionsart (mit Luftschicht und Wärmedämmung oder mit Wärmedämmstoffen vollständig ausgefüllter Schalenzwischenraum) sind entweder Wärmedämmstoffe des Anwendungstyps WZ nach DIN 4108-10 oder solche mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung zu verwenden.

Bei *zweischaligen Außenwänden mit Wärmedämmung und Luftschicht* darf die Luftschicht nicht durch Unebenheit der Wärmedämmschicht eingeeengt werden.

Dämmstoffplatten oder -matten sind ausreichend zu fixieren, so dass eine gleichmäßige Schichtdicke sichergestellt ist. Platten oder Matten aus Mineralwolle sind so dicht zu stoßen und Platten aus Schaumkunststoffen so auszubilden und zu verlegen (Stufenfalz, Nut und Feder oder versetzte Lagen), dass ein Wasserdurchtritt sowie Wärmeverluste dauerhaft verhindert werden.

Bei lose eingebrachten Wärmedämmstoffen – wie z. B. Mineralwollegranulat, Polystyrolschaumstoff-Partikeln oder Perliten – ist darauf zu achten, dass der Dämmstoff den Hohlraum vollständig ausfüllt und ausreichend verdichtet ist, um nachträgliche Setzung zu verhindern.

Aufgrund des geringen Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit erweisen sich Dämmplatten aus Phenolharz-Hartschaum als wärmeschutztechnisch besonders günstig.

3.5.5 KS-Verblendschale

Das Verblendmauerwerk aus Kalksandstein-Verblendern ist Witterungsschutz und Gestaltungselement zugleich.

Die Außenschale wird aus frostwiderstandsfähigen KS-Verblendern hergestellt. Als Mauerwerksverband ist ein Läuferverband mit halbsteiniger Überdeckung zu empfehlen, da auf diese Weise die Zugfestigkeit der Verblendschale erhöht wird.

Die Verfugung der KS-Verblender soll kantenbündig mit der Steinoberfläche, z.B. als konkav zurückliegender Fugenglattstrich, oder als nachträgliche Verfugung ausgeführt werden (Bild 12), so dass ein sich bei Schlagregen bildender Wasserfilm auf der Oberfläche ungehindert abfließen kann.

Bei Ausführung mit nachträglicher Verfugung ist beim Angebot darauf hinzuweisen, dass damit von der Standardausführung nach VOB DIN 18330 abgewichen wird.

Nach [10] bietet der Fugenglattstrich aufgrund der geringeren Anfälligkeit gegenüber Verarbeitungsfehlern im Vergleich zu einer nachträglichen Verfugung eine höhere Schlagregensicherheit. Durch das Glätten wird die Verfugung verdichtet und damit die mögliche Wasseraufnahme im Bereich der Fuge reduziert. Verblendschalen mit Dicken < 105 mm sind mit Fugenglattstrich auszuführen.

Die Verwendung von Werkfertigmörtel ist zu empfehlen, da dessen Wasserrückhaltevermögen werkseitig auf die Saugfähigkeit der KS-Verblender eingestellt werden kann und damit eine haftschlüssige Verbindung zwischen Stein und Mörtel gewährleistet ist.

Die Lieferform Werk trockenmörtel ist dem Baustellenmörtel aus den nachfolgend genannten Gründen in jedem Falle vorzuziehen:

- Gleich bleibend hohe Qualität und Sicherheit durch Gewährleistung einer genaueren Dosierung der Mörtel-ausgangsstoffe und damit einfache Handhabung auf der Baustelle
- Abstimmung auf das Saugverhalten der KS-Verblender und damit höhere Sicherheit gegen „Mörtelverbrennen“
- Höhere Mörtel-Haftscherfestigkeit: hoher und schneller Haftverbund
- Einfachere Logistik durch gleichzeitige Lieferung von Steinen und Mörtel

3.5.6 Verputzte Vormauerschale

Alternativ zum Verblendmauerwerk kann bei zweischaligem Mauerwerk eine verputzte Vormauerschale ausgeführt werden. Da der außen liegende Putz die Wandkonstruktion vor Schlagregen schützt, werden keine Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit der Vormauersteine gestellt.

Beim Verputzen der nicht tragenden Vormauerschale von zweischaligen Außenwänden (Bild 13) sind die im Vergleich zu dem üblicherweise belasteten Mauerwerk größeren Verformungen des Putzgrundes zu beachten.

Vormauerschalen sind vertikal nicht, z.B. durch eine Geschosdecke, belastet, so dass thermische und hygrische Beanspruchungen zu schädlichen Verformungen führen können. Der Putzmörtel muss diese Verformungen schadensfrei aufnehmen können. Besonders geeignet sind deshalb Putzmörtel bzw. Putze mit niedrigem Zug-Elastizitätsmodul, hoher Zugbruchdehnung und Zug-Relaxation (hoher Spannungsabbau). In Frage kommen dafür Leichtputzmörtel nach DIN EN 998-1 bzw. DIN V 18550, auch mit Faserbewehrung.

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

3.6 Eigenschaften

3.6.1 Standsicherheit

Aufgrund der hohen Druckfestigkeit der Kalksandsteine kann die tragende Innen-

schale sehr schlank ausgeführt werden. Die Dicke beträgt nach DIN EN 1996-1-1/NA mindestens 11,5 cm.

Die Verblendschale hat nur ihre Eigenlast aufzunehmen und muss eine Dicke von mindestens 9 cm aufweisen. Dünne Außenschalen sind Bekleidungen und nach DIN 18515 auszuführen und nachzuweisen.

Sind größere Tür- und Fensteröffnungen zu überbrücken oder befinden sich mehrere Öffnungen mit schmalen verbleibenden Pfeilern in der Außenwand, muss die Auflagerpressung unterhalb der Stürze in der Verblendschale nachgewiesen werden. Infolge der Verankerung in der Tragschale durch Luftschtanker sind beim statischen Nachweis keine Abminderungen wegen Knickgefahr zu berücksichtigen. Nur bei schmalen Pfeilern zwischen zwei Öffnungen ist ein Nachweis

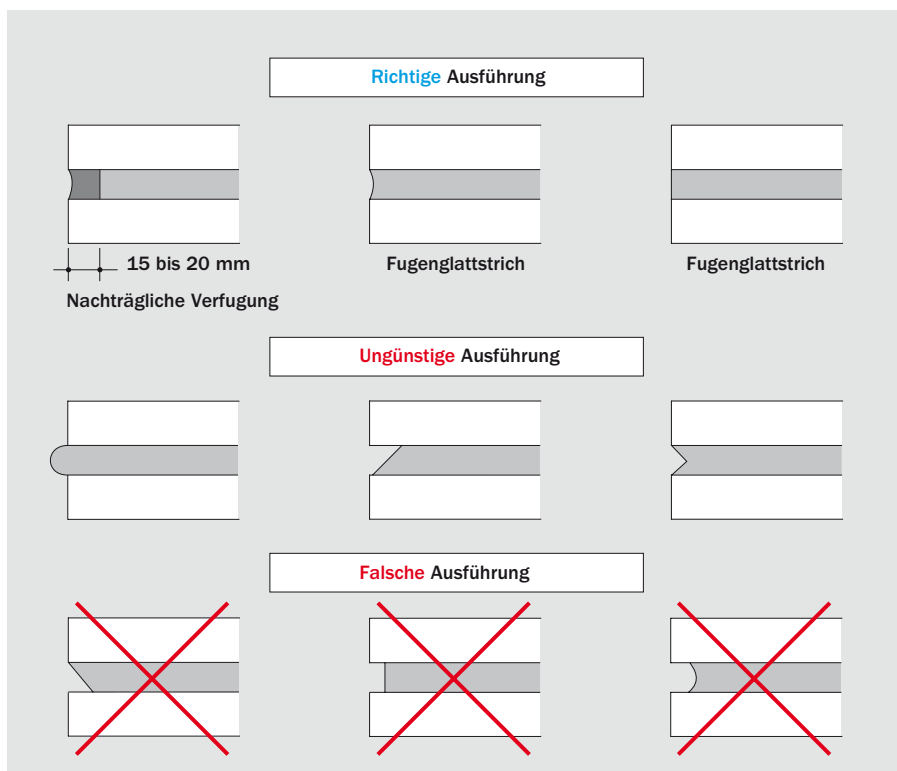


Bild 12: Fugenausbildung bei Sichtmauerwerk

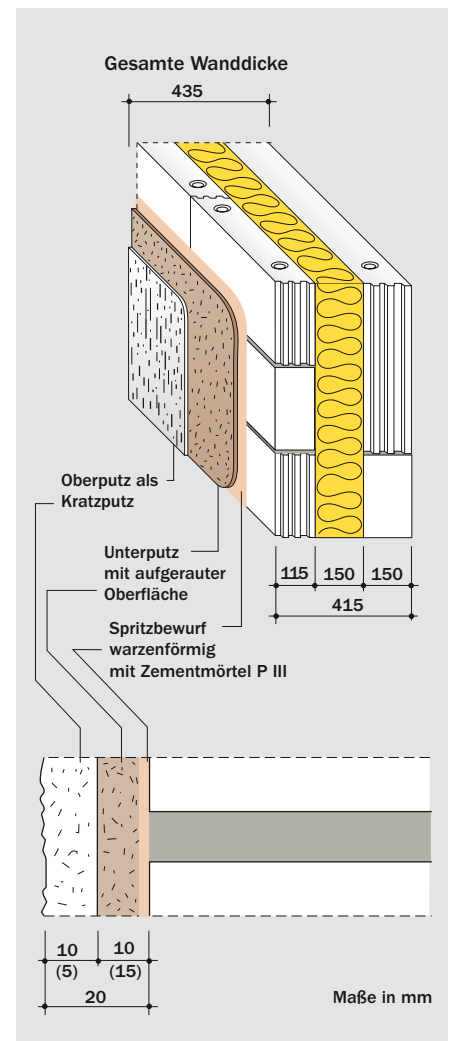


Bild 13: Verputzte Vormauerschale

unter Berücksichtigung der Schlankheit h/d (Öffnungshöhe zu Verblendschalendicke) notwendig.

Die Aufnahme der Windsog- bzw. Winddruckkräfte ist durch die Anordnung der Anker ohne weiteren Nachweis gewährleistet.

Zur Begrenzung der Zwängungsspannungen muss die Höhe der Vormauerschale begrenzt werden, so dass nach DIN EN 1996-2/NA folgende Abfangungen erforderlich werden (Tafel 6 und Bild 14):

- Außenschalen mit einer Dicke $t = 11,5 \text{ cm}$
Sollten in Höhenabständen von 12 m abgefangen werden. Sie dürfen bis zu 2,5 cm über ihr Auflager überstehen. Werden sie alle 2 Geschosse abgefangen oder sind sie nicht höher als 2 Geschosse dürfen sie bis zu 3,8 cm über ihr Auflager überstehen.
- Außenschalen mit Dicken von $t \geq 10,5 \text{ cm}$ bis $t < 11,5 \text{ cm}$
Dürfen nicht höher als 25 m über Gelände geführt werden und sind in Höhenabständen von ca. 6 m abzufangen. Bei Gebäuden mit bis zu 2 Vollgeschossen darf ein Giebel dreieck bis 4 m Höhe ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden. Sie dürfen bis zu 1,5 cm über ihr Auflager überstehen.
- Außenschalen mit Dicken von $t \geq 9,0 \text{ cm}$ bis $t < 10,5 \text{ cm}$
Dürfen nicht höher als 20 m über Gelände geführt werden und sind in Höhenabständen von ca. 6 m abzufangen. Bei Gebäuden mit bis zu 2 Vollgeschossen darf ein Giebel dreieck bis 4 m Höhe ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden. Sie dürfen bis zu 1,5 cm über ihr Auflager überstehen.

Für Abfangungen wird eine Vielzahl von Standardkonstruktionen – teilweise mit typengeprüfter statischer Berechnung – von verschiedenen Herstellern angeboten (Bild 15). Wegen der Vielfalt möglicher Varianten werden Abfangungen in zunehmendem Maße durch spezialisierte Ingenieurabteilungen bei den Herstellerfirmen objektbezogen bemessen und komplett mit dem erforderlichen Montagezubehör angeboten. Die Verankerung der Abfangungen an der Innenschale erfolgt mit zugelassenen Schwerlastdübeln oder Ankerschienen – vorzugsweise im Bereich der Decken oder Betonstützen und Querwände.

Tafel 6: Höhenabstand der Abfangung von Verblendschalen

Dicke der Außenschale	Maximale Höhe über Gelände	Maximaler Überstand über Auflager	Höhenabstand der Abfangung
$9,0 \text{ cm} \leq d < 10,5 \text{ cm}$	$\leq 20,0 \text{ m}$	$\leq 1,5 \text{ cm}$	$\leq \text{ca. } 6,0 \text{ m}$
$10,5 \text{ cm} \leq d < 11,5 \text{ cm}$	$\leq 25,0 \text{ m}$	$\leq 1,5 \text{ cm}$	$\leq \text{ca. } 6,0 \text{ m}$
$d = 11,5 \text{ cm}$	unbegrenzt	$\leq 3,8 \text{ cm} \approx d/3$	$\leq 2 \text{ Geschosse}$
$d = 11,5 \text{ cm}$	unbegrenzt	$\leq 2,5 \text{ cm}$	$\leq \text{ca. } 12,0 \text{ m}$

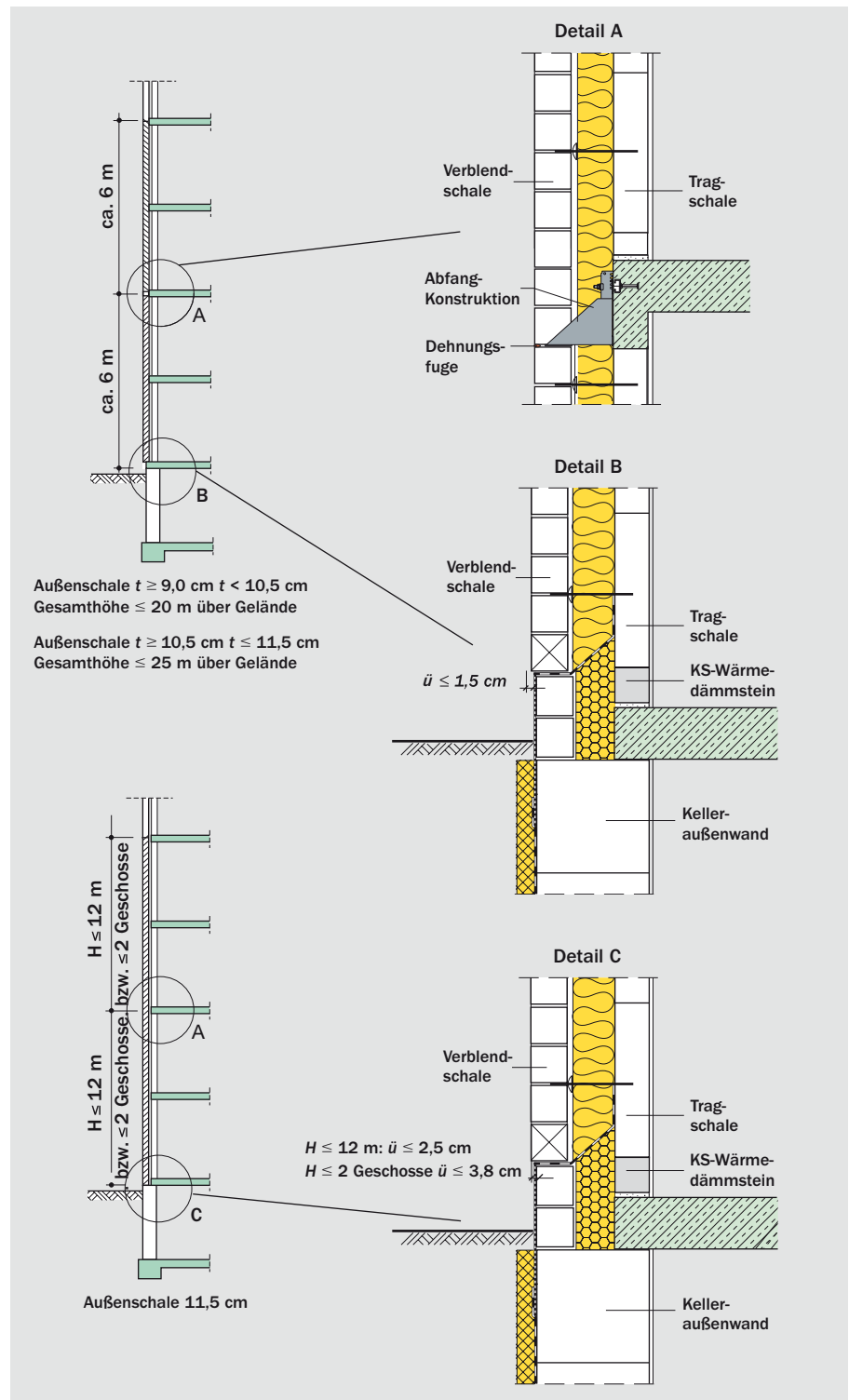


Bild 14: Randbedingungen zur Ausführung von zweischaligen Außenwänden nach DIN EN 1996-2/NA

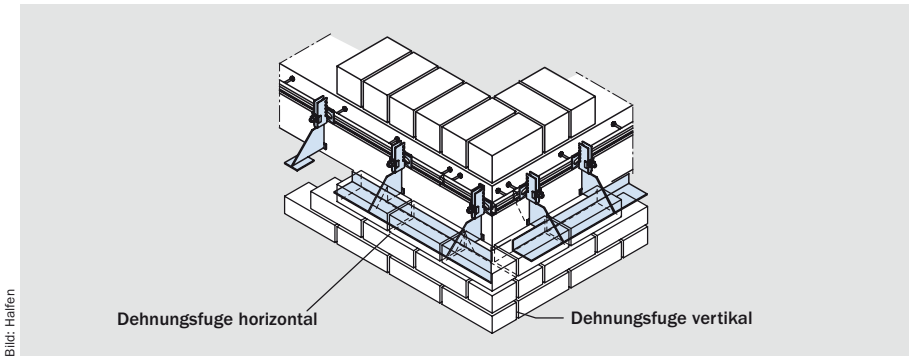


Bild 15: Abfangkonstruktion für Eckbereich mit höhenverstellbaren Konsolankern

Zur Reduzierung der Zwängungsspannungen bzw. der Rissgefährdung aus hygrothermischen Einwirkungen wird die Anordnung von Dehnungsfugen in den KS-Verblendschalen erforderlich (siehe Abschnitt 3.7).

3.6.2 Brandschutz

Aufgrund der Nichtbrennbarkeit von Kalksandstein (Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-1 bzw. DIN EN 13501-1) weist zweischaliges KS-Mauerwerk die bekanntermaßen sehr guten brandschutztechnischen Eigenschaften auf, sofern im Schalenzwischenraum auch nichtbrennbare Dämmstoffe verwendet werden. Bei brennbaren Dämmstoffen im Schalenzwischenraum sind ggf. Einschränkungen zu beachten.

Spritzbare Fugendichtstoffe oder imprägnierte Fugendichtungsbänder, die jeweils in Baustoffklasse B1 (DIN 4102-1) angeboten werden, sowie Dämmstoffe der Baustoffklassen B1 oder B2 (DIN 4102-1) im Schalenzwischenraum haben keinen abmindernden Einfluss auf die brandschutztechnische Einstufung der tragenden Hintermauerschale.

3.6.3 Wärmeschutz

Die Außenschale darf oberhalb von Abdichtungen mit Entwässerungsöffnungen oder Lüftungsöffnungen versehen werden. Dies gilt auch für Brüstungsbereiche.

Nach DIN EN ISO 6946 sind die Luftschichten bei zweischaligen Konstruktionen mit Luftschicht je nach Größe der

Lüftungsöffnungen in „schwach belüftete“ bzw. „stark belüftete“ Luftschichten eingeteilt. Bei bisher üblichen Größen der Lüftungsöffnungen (d.h. nach DIN 1053-1) ergaben sich meist „stark belüftete“ Luftschichten. In diesen Fällen ist der Wärmedurchlasswiderstand der äußeren Schale nicht mit anzusetzen. Für den Wärmeübergangswiderstand außen darf der gleiche Wert wie für den inneren Wärmeübergangswiderstand (im Allgemeinen 0,13 m²·K/W) angesetzt werden. Bei zweischaliger Konstruktion mit vollständiger Ausfüllung des Schalenzwischenraums mit Dämmstoffen ist der äußere Wärmeübergangswiderstand mit 0,04 m²·K/W anzusetzen.

Um besonders hochwärmedämmende Konstruktionen – z.B. für den Passivhausstandard – zu erzielen, wird die Verwendung von Dämmstoffen mit geringer Wärmeleitfähigkeit (z. B. Phenolharz-Hartschaum oder EPS-Hartschaum) und/oder von zugelassenen Ankern empfohlen, die Dämmstoffdicken bis 200 mm ermöglichen (siehe Tafeln 2, 4, 5). Durch eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) sind bei der Verwendung bestimmter Anker einzelner Hersteller auch Schalenabstände > 20 cm ausführbar.

Im Hinblick auf den Wärmeschutz stellen Konsolanker bei Durchdringung der Dämmstoffschicht Wärmebrücken dar, de-

Tafel 7: U-Werte von zweischaligen KS-Außenwänden mit Wärmedämmung bzw. mit Wärmedämmung und Luftschicht

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m ² ·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Wärmedämmung Typ WZ nach DIN 4108-10 1 cm Fingerspalt, R = 0,15 11,5 cm ³⁾ KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0) ¹⁾
	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 ²⁾	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18 ²⁾	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20 ²⁾	0,10	0,11	0,15	0,16	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand (tragende Wand), RDK 1,8 ¹⁾ Wärmedämmstoff Typ WZ nach DIN 4108-10 Luftschicht ≥ 4 cm nach DIN EN 1996-2/NA (Mörtel auf einer Hohlraumseite abgestrichen) 11,5 cm ³⁾ KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0) ¹⁾
	46,0	12 ²⁾	0,17	0,18	0,24	0,26	

Als Dämmung können unter Berücksichtigung der stofflichen Eigenschaften und in Abhängigkeit von der Konstruktion alle genormten oder bauaufsichtlich zugelassenen Dämmstoffe verwendet werden, z.B. Hartschaumplatten, Mineralwolleplatten.

¹⁾ Bei anderen Dicken oder Steinrohdklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

²⁾ Bei Verwendung von bauaufsichtlich zugelassenen Ankern mit Schalenabstand ≤ 20 cm

³⁾ 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA

ren Einfluss anhand des punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten χ (chi) in Abhängigkeit von den baukonstruktiven Gegebenheiten konkret zu ermitteln ist. Durch komplexe Wärmebrückenberechnungen konnte nachgewiesen werden, dass sich dieser Einfluss durch die Optimierung der Formgebung der Konsolanker deutlich verringern lässt.

Für den sommerlichen Wärmeschutz wirkt die tragende Innenschale als speicherfähige Masse, da sie über die Wärmedämmung vom Außenklima weitgehend abgekoppelt ist. Durch instationäre Wärmestromberechnungen sowie praktische Messungen wurde nachgewiesen, dass die gelegentlich geäußerte Vermutung nicht zutrifft, dass bei Konstruktionen mit einer vollständigen Ausfüllung des Schalenzwischenraumes mit Wärmedämmstoffen ein Wärmestau in der Vorsatzschale entstehen würde. Die Temperaturunterschiede zwischen hinterlüfteten und nicht hinterlüfteten Außenschalen sind sowohl im Sommer wie auch im Winter bei ansonsten gleichen Randbedingungen gering. Vielmehr wird die sommerliche Erwärmung durch die Absorption der Sonnenstrahlung und damit durch die Farbe der Fassade bestimmt. Helle Fassaden – wie sie bei KS-Verblendmauerwerk gegeben sind – wirken sich dabei besonders günstig aus, weil sie ein hohes Rückstrahlvermögen (Albedo) aufweisen.

3.6.4 Schallschutz

Die massiven Innen- und Außenschalen aus Kalksandstein bieten aufgrund der schallschutztechnisch weichen Kopplung beider Schalen einen besonders guten Schutz gegen Außenlärm.

Die Direktdämmung $R_{Dd,w}$ der Wand mit Verblendschale kann aus dem bewerteten Schalldämm-Maß R_w der Summe der flächenbezogenen Massen der beiden Schalen und dem bewerteten Luftschallverbesserungsmaß ΔR_w der Verblendschale nach folgender Beziehung ermittelt werden:

$$R_{Dd,w} = R_w + \Delta R_{Dd,w}$$

Bei zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht ohne oder mit Wärmedämmung aus Mineralwolle ergibt sich eine Verbesserung des Schalldämm-Maßes um $\Delta R_{Dd,w} = 5$ dB. Wenn die flächenbezogene Masse der an die Innenschale der Außenwand anschließenden Trennwände mehr als 50 % der flächenbezogenen Masse dieser Innenschale beträgt, darf das Schalldämm-Maß mit $\Delta R_{Dd,w}$ um 8 dB erhöht werden.

Bei zweischaligem Mauerwerk mit Wärmedämmung aus Hartschaumstoffen ergibt sich eine Verringerung um $\Delta R_{Dd,w} = -2$ dB.

Für die Betrachtung des Schallschutzes innerhalb des Gebäudes (Schalllängsleitung) wird nur die innere Schale bei der Berechnung in Ansatz gebracht.

3.6.5 Feuchteschutz und Witterungsschutz

Nach DIN 4108-3 kann auf einen dampfdiffusionstechnischen Nachweis bei zweischaligem Mauerwerk mit Wärmedämmung mit oder ohne Luftschicht verzichtet werden.

Feuchtigkeit, die durch Schlagregenbeanspruchung in die äußere Zone der Verblendschale eindringt, wird durch die Kapillarität des Baustoffes verteilt und bei trockenem Wetter durch Diffusionsvorgänge wieder an die Außenluft abgegeben. Zur Erhöhung der Schlagregensicherheit ist ggf. eine dampfdiffusionsoffene hydrophobierende Beschichtung auf die Verblendschale aufzubringen. Letztere wirkt gleichzeitig der örtlich vorhandenen Veralgungsgefahr entgegen – z.B. bei Standorten mit hohem Baumbestand.

In Außenschalen dürfen glasierte Ziegel oder Steine mit Oberflächenbeschichtungen nur verwendet werden, wenn deren Frostwiderstandsfähigkeit unter erhöhten Beanspruchungen geprüft wurde, z.B. KS-Verblender nach DIN V 106.

Um hinter die Verblendschale ggf. gelangende Feuchtigkeit aus der Konstruktion ableiten zu können, dürfen in der Verblendschale oben und unten Lüftungs- bzw. Entwässerungsöffnungen angeordnet werden. Das gilt auch für Brüstungsbereiche sowie für die Bereiche über Türen oder Fenstern.

Die Fläche der Lüftungs- bzw. Entwässerungsöffnungen wird nicht in DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-2 oder den Nationalen Anhängen geregelt. Nach DIN 1053-1 sollten diese Öffnungen (bezogen auf eine Wandfläche von 20 m²) aufweisen

- eine Fläche von 7.500 mm² bei zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht mit oder ohne Wärmedämmung sowie
- eine Fläche von 5.000 mm² bei zweischaligem Mauerwerk mit Wärmedämmung ohne Luftschicht.

3.6.6 Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

Die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von zweischaligen KS-Außenwänden ist im Zusammenhang mit den genannten Eigenschaften im besonderen Maße gegeben durch

- die Dehnungsfugenausbildung in der Verblendschale, mit der Zwangsbeanspruchungen aus hygrothermischer Einwirkung minimiert werden,
- die Verwendung von KS-Verblendern, die die Frostwiderstandsfähigkeit der Außenschale gewährleisten und
- die massive KS-Außenschale, mit der eine robuste stoßunempfindliche Konstruktion verwirklicht wird.

3.6.7 Wirtschaftlichkeit

Mit den baustofflichen und baukonstruktiven Eigenschaften ergeben sich über die gesamte Lebensdauer nur geringe Wartungs- und Instandhaltungsaufwendungen, so dass zweischalige KS-Außenwände mit den Möglichkeiten zur kostengünstigen Erstellung von hochdämmenden, schlanken und dauerhaften Konstruktionen ein wirtschaftliches Konstruktionsprinzip darstellen.

3.7 Dehnungsfugen

3.7.1 Senkrechte Dehnungsfugen

Senkrechte Dehnungsfugen in KS-Verblendschalen und verputzten Vormauerschalen sind zur Begrenzung von Zwangsbeanspruchungen zu planen:

- bei langen Mauerwerksscheiben im Abstand von 6 bis 8 m,



Bild 16: Ausführung einer Dehnungsfuge an einer Gebäudekante mit spritzbarem Fugendichtstoff

Berechnung der rissfreien Wandlänge

Die rissfreie Wandlänge l_r und damit der entsprechend erforderliche Dehnungsfugenabstand kann wie folgt ermittelt werden [12, 13]:

$$l_r \leq -\ln \left(1 - \frac{\beta_{z,mw}}{E_{z,mw} \cdot \text{ges } \varepsilon \cdot R} \right) \cdot \frac{h_{mw}}{0,23} \quad (1)$$

mit

- $\beta_{z,mw}$ Mauerwerkzugfestigkeit Richtung Wandlänge
- $E_{z,mw}$ Zug-Elastizitätsmodul Richtung Wandlänge
- $\text{ges } \varepsilon$ Gesamte Verformungen (Dehnungen) infolge Schwinden ε_s und Temperaturänderung ε_T
- R Behinderungsgrad am Wandfuß (vollständige Behinderung bei $R = 1$)
- h_{mw} Wandhöhe

Die Gleichung (1) gilt bis zu einem Verhältniswert $l_r/h_{mw} \leq 5$. Über diesem Verhältniswert wirkt sich eine zunehmende Wandlänge unter sonst gleichen Bedingungen nicht mehr spannungserhöhend aus.

Geht man, wie in [14], von einer „zulässigen“ Zugspannung $\max \sigma_z \approx 0,7 \cdot \beta_z$ aus (was für die Beurteilung der Gebrauchsfähigkeit zulässig erscheint), so ergibt sich der Verhältniswert $\beta_{z,mw}/E_{z,mw}$ für Kalksandstein-Mauerwerk in grober Näherung zu rd. $1/23.000$. Wird dieser in die Gleichung eingesetzt, so erhält man:

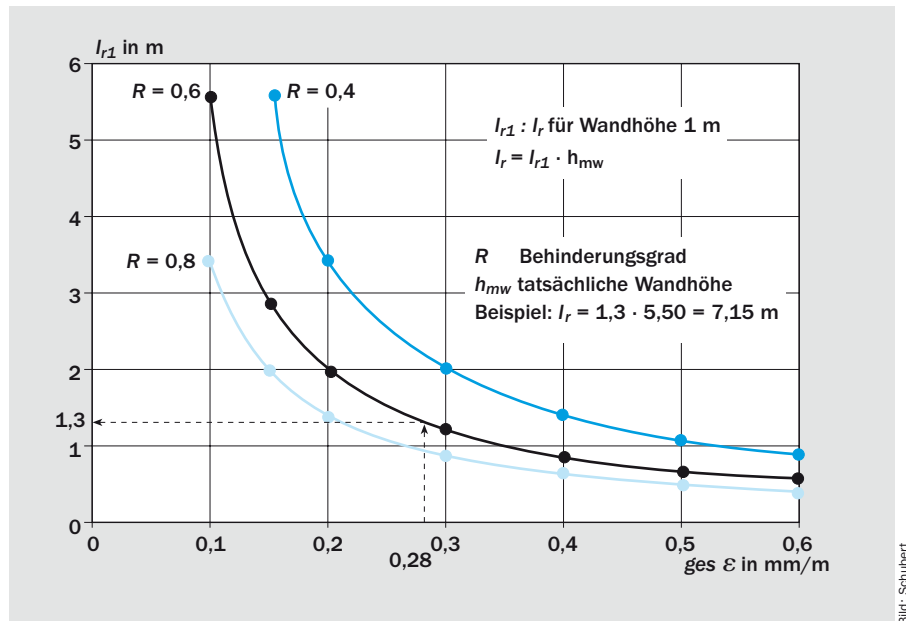
$$l_r \leq -\ln \left(1 - \frac{1}{23.000 \cdot \text{ges } \varepsilon \cdot R} \right) \cdot \frac{h_{mw}}{0,23} \quad (2)$$

bzw.

$$l_r \leq -\ln (1 - \alpha) \cdot \frac{h_{mw}}{0,23} \quad (3)$$

Ist in der Gleichung $\alpha \geq 1$, so ist in der betrachteten Wand nicht mit Rissen zu rechnen. Bei α -Werten < 1 ergibt sich die rissfreie Wandlänge aus der Gleichung. Wie ersichtlich, nimmt die rissfreie Wandlänge zu, wenn die Gesamtdehnung infolge Schwinden und Temperaturabnahme sowie der Behinderungsgrad kleiner werden und sich die Wandhöhe vergrößert.

Bei üblicher Wandlagerung der Verblendschale im Fußpunktbereich auf einer Papplage kann der Behinderungsgrad R in etwa zu 0,6 angenommen werden. Er lässt sich verringern durch Anordnung von Zwischenschichten mit geringer Gleitreibung (z.B. zwei Papplagen mit geringem



Rissfreie Wandlänge für eine 1 m hohe Wand l_{r1} in Abhängigkeit von der Gesamtdehnung $\text{ges } \varepsilon$ und dem Behinderungsgrad R

Reibungsbeiwert auf ebener Auflagerfläche). Jedoch ist zu beachten, dass die Standsicherheit der Vormauerschale nicht beeinträchtigt wird („Abrutschgefahr“).

Die rissfreie Wandlänge bzw. der Dehnungsfugenabstand können auch unter Bezug auf Gleichung (2) als Diagramm dargestellt werden. Aus dem Diagramm lässt sich in einfacher Weise mit der vorhandenen Gesamtdehnung und dem angenommenen Behinderungsgrad die rissfreie Wandlänge für eine (normierte) Wandhöhe von 1 m entnehmen. Diese muss dann mit der tatsächlichen Wandhöhe multipliziert werden, um die rissfreie Wandlänge zu erhalten.

Im Allgemeinen wird ein Dehnungsfugenabstand bei Verblendschalen aus KS-

Mauerwerk von 6 bis 8 m empfohlen [15, 16], wobei der untere Wert für ungünstig exponierte Bauwerke mit einer Wärmedämmung ohne Luftschicht (früher: „Kerndämmung“), die geringfügig höhere Temperaturunterschiede in der Verblendschale aufweisen, angesetzt werden sollte.

Rechenbeispiel (siehe Diagramm)
Verblendschale aus KS Vb 20, NM IIa;
Wandhöhe $h_{mw} = 5,50$ m

Annahmen:
Schwinddehnung $\varepsilon_s = 0,20$ mm/m

Temperaturdehnung bei Abkühlen (gegenüber Herstelltemperatur)
 $\Delta_T = 10$ K
 $\varepsilon_T = 8 \cdot 10^{-3}$ mm/m
 $= 0,08$ mm/m

Behinderungsgrad am Wandfuß
 $R = 0,6$

Rissfreie Wandlänge:
 $l_r \leq -\ln \left(1 - \frac{1}{23 \cdot 10^3 \cdot 0,28 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6} \right) \cdot \frac{5,50}{0,23}$
 $l_r \leq 7,16$ m

Behinderungsgrad R

R	Bereich Wand-Auflager (Fundament, Decke)
0,4...0,6	2 Trennlagen übereinander (z.B. Bitumenpappe)
> 0,6...0,8	1 Trennlage
> 0,8...1,0	keine Trennlage; Mörtelschicht

Bild 17: Berechnungsverfahren für die Rissesicherheit bzw. für die rissfreie Wandlänge bei zweischaligen Außenwänden mit Verblendschale nach Schubert [11]

- im Bereich von Gebäudeecken oder -kanten,
- bei großen Fenster- und Türöffnungen in Verlängerung der senkrechten Leibungen.

Die dehnungsfugenfreie Wandlänge kann nach Schubert (vgl. Bild 17) [11] in Abhängigkeit von folgenden Parametern bemessen werden:

- Mauerwerkszugfestigkeit in Richtung der Wandlänge
- Zug-Elastizitätsmodul in Richtung der Wandlänge
- Schwindmaß und Temperaturlängenänderung
- Wandhöhe der Verblendschale
- Behinderungsgrad am Wandfuß der Verblendschale

Bei Gebäuden mit Verblendschalen, die über mehrere Geschosse hindurchgehen, ist auf eine ungehinderte Verformungsmöglichkeit der Verblendschale in ihrer ganzen Höhe zu achten. So sind z.B. unterhalb von auskragenden Balkonplatten ausreichend dimensionierte Fugen anzuordnen. Gleiches gilt für Anschlüsse an angrenzende Bauteile – z.B. im Leibungsbereich – oder andere Durchdringungen. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Verblendschale unterhalb von Zwischenabfangungen genügend Ausdehnungsspielraum nach oben hat, damit die Abfangkonsolen die Temperatur- oder Feuchte-dehnung nicht behindern.

Bei der Ausführung von Dehnungsfugen haben sich folgende Varianten bewährt:

- offene Vertikalfugen und
- geschlossene Fugen
 - mit Fugendichtstoff nach DIN 18540,
 - mit imprägnierten Fugendichtungsbändern aus Schaumkunststoff nach DIN 18542 sowie
 - mit Abdeckprofilen.

3.7.2 Offene Vertikalfugen

Vertikale Dehnungsfugen können als offene Fuge ausgeführt werden, wenn bei Konstruktionen mit Wärmedämmung ein Dämmstoff aus Platten oder Matten (Anwendungstyp WZ nach DIN 4108-10 oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zu-

lassung) eingesetzt wird. Die zulässige Fugenbreite wird dabei auf 15 mm begrenzt.

3.7.3 Fugendichtstoffe

Die Abdichtung von Außenwandfugen mit spritzbarem Fugendichtstoff (Bild 18) ist in DIN 18540 geregelt. Als Materialien haben sich ein- und zweikomponentige Systeme aus Polysulfid, Silikon-Kautschuk, Polyurethan oder Acryldispersion bewährt.

Soweit erforderlich, sind (systemgebunden) Primer oder Sperrgrund zu verwenden. Der Dichtstoff, der in vielen RAL-Farben angeboten wird, ist in der Regel nicht überstreichfähig.

Der Dichtstoff weist eine maximale Dehnfähigkeit von 25 % bezogen auf die Fugenbreite auf. Die Fugen sind entsprechend zu dimensionieren.

Der Untergrund muss fest, trocken, staubfrei und frei von Verunreinigungen oder beeinträchtigenden Beschichtungen sein. Die Einbautemperatur muss über +5 °C und unter +40 °C liegen. In die Fuge wird zunächst ein runder weichelastischer geschlossenzelliger Schaumstoff als Hinterfüllschnur (z.B. Polyethylenschnur) eingebracht. Anschließend wird der Dichtstoff entweder per Hand oder mit Druckluftpistole eingespritzt. Dabei ist auf eine blasenfreie Verarbeitung sowie einen guten Kontakt zu den Fugenflanken zu achten. Der frische Dichtstoff wird anschließend mit einem in Seifenwasser angefeuchteten Fugholz, Fugeisen oder dem Finger in leicht konkaver Form ausgebildet. Die konkave Form stellt sicher, dass einer großen Haftfläche zum Untergrund ein dehnweicher Mittelteil gegenübersteht. Dabei ist die Dichtstoffdicke in Abhängigkeit von der Fugenbreite entsprechend DIN 18540 festzulegen.

Neben DIN 18540 sind die Herstellerrichtlinien zu beachten.

3.7.4 Fugendichtungsbänder

Die vorkomprimierten, imprägnierten Fugendichtungsbänder aus Schaumstoffen (Bild 19) sind in DIN 18542 geregelt.

In Abhängigkeit vom gewählten Dichtungsband beträgt die maximale Dehnung 30 bis 50 % bezogen auf die Fugenbreite. An den Untergrund werden geringere Anforderungen als beim Einsatz von Fugendichtstoffen gestellt. Der Untergrund muss nur grob von Bauschmutz sowie von Mörtel gereinigt werden. Das vorkomprimierte Dich-

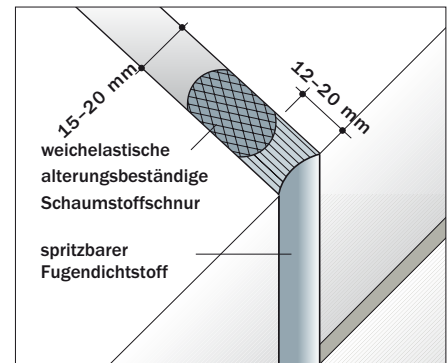


Bild 18: Dehnungsfuge mit spritzbarem Fugendichtstoff

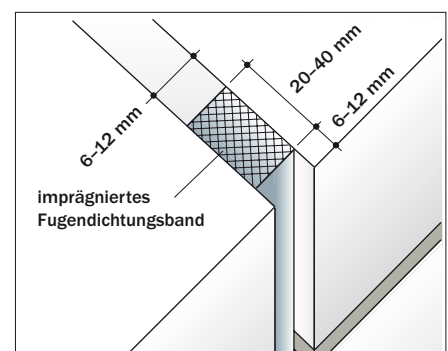


Bild 19: Dehnungsfuge mit imprägniertem Fugendichtungsband aus Schaumstoff

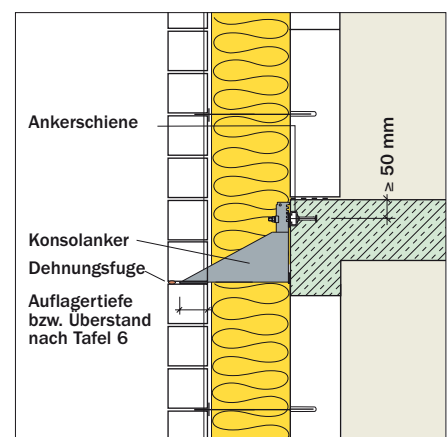


Bild 20: Zwischenabfangung

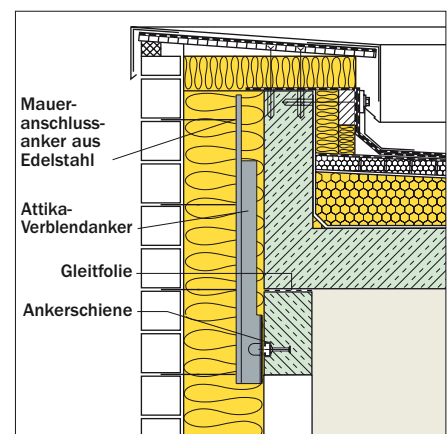
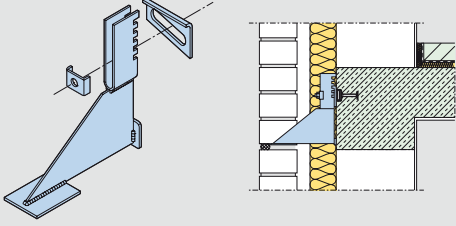
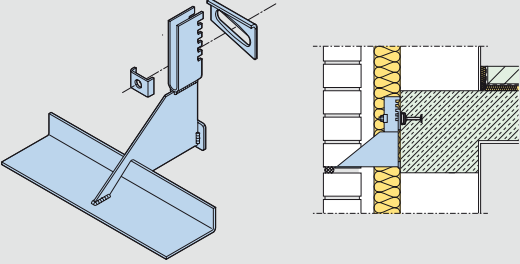
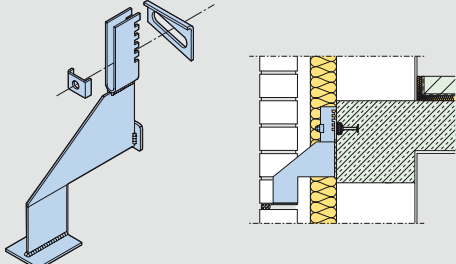
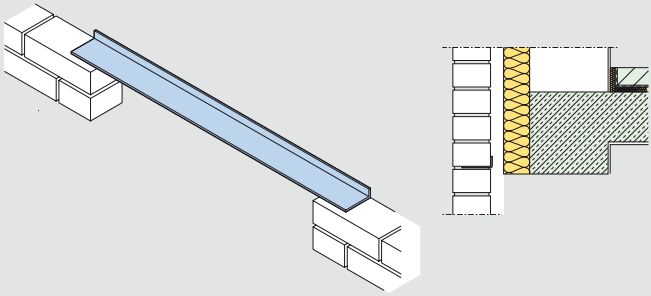


Bild 21: Attikaanschluss

Verankerungen für Verblendmauerwerk	Einsatzbereich
<p>Einzelkonsole</p> 	<p>Höhenjustierbare Abfangung von geschlossenen Wandflächen</p>
<p>Winkelkonsole</p> 	<p>Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen</p>
<p>Einzelkonsolanker mit Höhenversatz</p> 	<p>Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen mit Höhenversatz</p>
<p>Auflagerwinkel</p> 	<p>Einfache Abfangung über Öffnungen, ohne Verschluss des Schalenraums</p>

tungsband wird in die Fuge eingeschoben und zunächst entweder durch eine selbstklebende Beschichtung oder mit Hilfe von Holzkeilen oder Ähnlichem in seiner Lage gesichert, bis sich durch die Dekompression ein ausreichender Anpressdruck an die Fugenflanken einstellt.

Fugendichtungsbander erweisen sich als wartungsfreundlich – sie können ggf. auch leicht ausgetauscht werden.

3.7.5 Abdeckprofile

Zum optischen Verschluss von Fugen sind auch Abdeckprofile geeignet, die in die Fuge eingeklemmt oder eingeklebt werden. Bei eingeklemmten Abdeckprofilen muss die vorgegebene Pressung ausreichen, um ein Herausfallen des Profils bei Vergrößerung der Fuge oder Kontraktion des Profils zu verhindern – z.B. infolge Temperaturabnahme.

3.8 Details

3.8.1 Abfangungen

Abfangungen sollen im Allgemeinen nicht sichtbar sein. Die erforderlichen Konsolanker dürfen die Hinterlüftung der Verblendung nicht oder nur unwesentlich behindern. Für die Überbrückung von Fenstern oder Türen können Stürze verschiedener Ausführungen passend zum Sichtmauerwerk in die Fassade eingegliedert werden. Das ist auch über weiten Öffnungen möglich. Alternativ zu den häufig verwendeten Fertigteilstürzen können z.B. für verdeckte Sturzabfangungen mit Roll- und Grenadierschicht spezielle Rollschichthalter mit Längsbewehrung eingesetzt werden, die mit den Konsolankern verbunden werden.

3.8.2 Lüftungs- und Entwässerungsöffnungen

Eventuelle Lüftungs- bzw. Entwässerungsöffnungen in der Verblendschale werden entweder in Form von offenen Stoßfugen oder mit Kunststoff-Formteilen ausgeführt.

Bei einer lose eingebrachten Dämmung (Schüttung) kann durch nicht rostende Lochgitter sichergestellt werden, dass diese Dämmstoffe nicht ausrieseln können.

Bei sachgerecht verputzten Vormauerschalen von zweischaligem Mauerwerk kann (und sollte) auf Entwässerungsöffnungen verzichtet werden, da der Außenputz einen ausreichenden Schlagregenschutz sicherstellt.

Bild: Hallen

Bild 22: Übersicht unterschiedlicher Abfangkonstruktionen

3.8.3 Fußpunktausbildung

Der Fußpunkt von zweischaligem Mauerwerk ist sorgfältig zu planen und auszuführen. Dabei sind folgende Hinweise und Empfehlungen zu beachten (Bild 23):

Wärmedämmung

Zur wirksamen Reduzierung von Wärmebrücken wird in DIN 4108, Beiblatt 2 [4] empfohlen, die Wärmedämmung von der Oberkante der Kellerdecke 30 cm (z.B. 18 cm Decke + eine Mauerwerksschicht mit ca. 12,5 cm Höhe) nach unten zu führen. Dies führt zur ausmittigen Lasteinleitung der Normalkraft. Alternativ zum Herabführen der Wärmedämmung kann oberhalb der Stahlbetondecke ein wärmetechnisch optimierter Kalksandstein mit $\lambda \leq 0,33 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ eingesetzt werden. Die Wärmedämmung ist in jedem Fall bis zur Deckenunterkante, also bis auf die Kellerwand herabzuführen. Zusätzlich zur Exzentrizität der Tragschale wirkt an diesem Knotenpunkt die Ausmitte aus der Auflagerung der Kellerdecke. Zur Begrenzung der Ausmitte empfiehlt es sich, die Deckenauflagerung mit Hilfe eines weichen Zentrierstreifens, z.B. aus Polystyrol (2 cm · 2 cm) oder eines flächigen Zentrierlagers auszuführen. Die Aufnahme des Biegemoments im Auflagerbereich ist nachzuweisen und die Kellerdecke entsprechend zu bewehren.

Unterhalb der Abdichtungsbahn ist im Schalenzwischenraum eine abgechränkte Hartschaumplatte einzustellen, die als Rücklage für die Abdichtung dient.

Bei beheizten Kellern ist eine außen liegende Perimeterdämmung so weit wie möglich hochzuführen, zu befestigen (z.B. flächige Verklebung der oberen Platte) und vor Beschädigungen zu schützen. Es empfiehlt sich, die Perimeter-Dämmplatten am oberen Ende abzuschrägen und ca. 5 bis 10 cm unter Gelände enden zu lassen. Ein Überlappungsbereich von außen liegender Perimeterdämmung und Wärmedämmung im Schalenraum von ca. 10 cm ist zu empfehlen.

Abdichtung

Die Abdichtungsbahn ist im Schalenzwischenraum mit Gefälle nach außen zu verlegen, an der Tragschale hochzuführen und zu befestigen. Die Befestigung an der Tragschale (ca. 30 cm über Gelände) erfolgt in der Re-

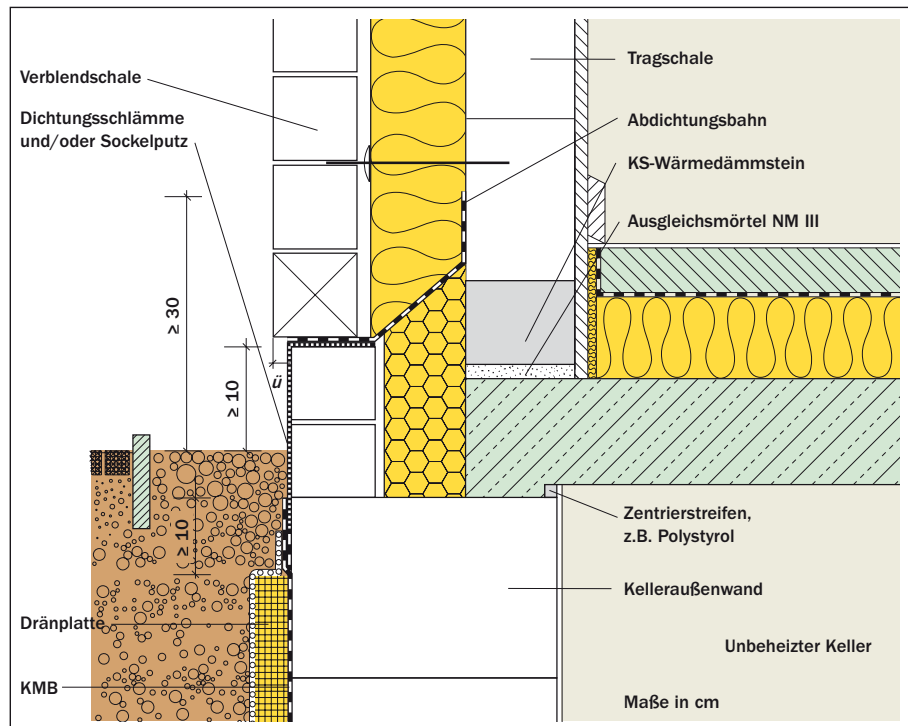


Bild 23: Beispiel für Fußpunktausbildung

gel durch Ankleben z.B. mit Montagekleber oder durch punktuellen Andübeln von Klemmleistenstücken. Dies ist völlig ausreichend, da die Abdichtungsbahn nach Montage der Dämmstoffplatten in der Lage fixiert ist. Eine Abdichtung nach Art der Dachdecker (Flachdachabdichtung) ist weder erforderlich, sinnvoll noch wirtschaftlich. Zudem wird der Wärmeschutz verringert, da bei solch dick auftragenden Befestigungen die Wärmedämmung entsprechend ausgespart werden müsste. Ebenfalls abzulehnen ist das Einbinden der Abdichtungsbahn in die Tragschale. Bei Plansteinmauerwerk mit Dünnbettmörtel, insbesondere bei großformatigen Steinen mit Schichthöhen $\geq 50 \text{ cm}$, ist dies baupraktisch nicht durchführbar. Zudem wirkt die Abdichtungsbahn als Trennschicht und stört den Haftverbund.

Die Aufstandsfläche der Verblendschale ist so auszubilden, dass ein Abrutschen der Verblendschale sicher auszuschließen ist. Die erste Ankerlage ist so tief wie möglich anzuordnen. Als Abdichtungsbahn im Schalenraum dürfen nach DIN 18195-4 (in Verbindung mit DIN V 20000–202) nur folgende Bahnen eingesetzt werden:

- Bitumen-Dachbahnen mit Rohfilzeinlage nach DIN EN 13969 (R 500)
- Bitumen-Dachdichtungsbahnen nach DIN EN 13969 (G 200DD)
- Kunststoff- und Elastomerbahnen nach DIN 18195-2, Tabelle 4 (d.h. Bahnen nach DIN EN 13967 und DIN EN 14909):
 - ECB-Bahnen (bitumenverträglich)
 - PIB-Bahnen (bitumenverträglich)
 - PVC-P-Bahnen (nicht bitumenverträglich)
 - PVC-P-Bahnen (bitumenverträglich)
 - EVA-Bahnen (bitumenverträglich)
 - EPDM-Bahnen (bitumenverträglich)
 - FPO-Bahnen (bitumenverträglich)

Die Abdichtungsbahn ist bis zur Vorderkante der Verblendschale zu führen. Dies wird in der Praxis meist nicht ausgeführt, da die schwarzen Abdichtungsbahnen optisch störend sind. Bewährt hat es sich, die Abdichtungsbahn auf eine rissüberbrückende mineralische Dichtungsschlämme (mit allgemeinem bauaufsichtlichen Prüfzeugnis (abP)) aufzulegen und ca. 2 cm vor der Vorderkante der Verblendschale enden zu lassen. Mit der mineralischen Dichtungsschlämme (MDS), die über die komplette Dicke der Verblendschale gezogen wird, wird die Abdichtung des Schalenraums mit der Vertikalabdichtung (nach DIN 18195) verbunden.

Dabei ist ein Überlappungsbereich von ca. 10 cm einzuhalten [17]. Zur Haftverbesserung (z.B. im Übergang zu einer kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtung (KMB) oder ggf. eines Sockelputzes) ist das Absanden der Dichtungsschlämme im noch frischen Zustand zu empfehlen.

Sockel

- Grundsätzlich ist die Ausbildung eines wasserabweisenden Sockels mit wasserabweisenden Sockelputzen oder Dichtungsschlämmen zu empfehlen. Der Sockelbereich ist einer erhöhten Spritzwasserbeanspruchung ausgesetzt und mindestens 10 cm über Gelände zu führen. Bei entsprechender Einfärbung (Pigmentierung) des Putzes bzw. der Dichtungsschlämme sind Eindunklungen weniger störend, die sich aufgrund der erhöhten Feuchtebeanspruchung ergeben.
- Um die Höhe des Spritzwasserbereichs weitestgehend auf den Sockel beschränken zu können, ist es sinnvoll, einen Kiesstreifen (ca. 50 cm breit und 20 cm tief) vor dem Verblendmauerwerk anzuordnen. Harte Beläge (z.B. Gehwegpflaster) aber auch Erdreich oder Rasen sollten aufgrund höherer Reflexion des Niederschlags und damit verbundener Verschmutzung nicht direkt an den Sockelbereich anschließen. Ein Herabführen der Verblendschale bis unter Gelände ist zwar möglich, da aber hierbei mit erhöhter Verschmutzung und erhöhter Frostbeanspruchung zu rechnen ist, sollte dies sorgfältig geplant werden.

- **Unbedingt zu vermeiden ist der Kontakt des Mauerwerks mit Tausalzen, da hier die Struktur geschädigt wird.**

Entwässerung

- Falls bei Konstruktionen mit Luftschicht Entwässerungsöffnungen am Fußpunkt gleichzeitig als Lüftungsöffnungen dienen, sind sie mindestens 10 cm über Gelände anzuordnen.
- Die Entwässerungsöffnungen sind im Regelfall offene (unvermörtelte) Stoßfugen, die oberhalb der Abdichtung des Schalenzwischenraums angeordnet werden. Es wird empfohlen, alle Entwässerungsöffnungen in der untersten Schicht anzuordnen.
- In der Praxis ist festzustellen, dass bei sachgerecht ausgeführten Verblend-

schalen keine Laufspuren an den Entwässerungsöffnungen auftreten.

- Bei verputzten Vormauerschalen sind Entwässerungsöffnungen nicht erforderlich. Sie sind sogar schädlich, da bei dieser Variante nicht frostwiderstandsfähige Steine eingesetzt werden dürfen und im Bereich der Entwässerungsöffnungen mit einer erhöhten Frostbelastung zu rechnen wäre.

- Nach DIN 18195-4 ist die Entwässerung unterhalb Gelände möglich, wenn sie in eine versickerungsfähige Verfüllung erfolgt und die Stöße der Bahnen verklebt sind. Mit einer höheren Durchfeuchtung der unteren Schichten des Verblendmauerwerks ist dabei zu rechnen. Erhöhte Frostbeanspruchung sowie optische Beeinträchtigungen können die Folge sein.



Bild 24: KS-Konstruktionen sind individuell auf die geforderten Anforderungen einstellbar.

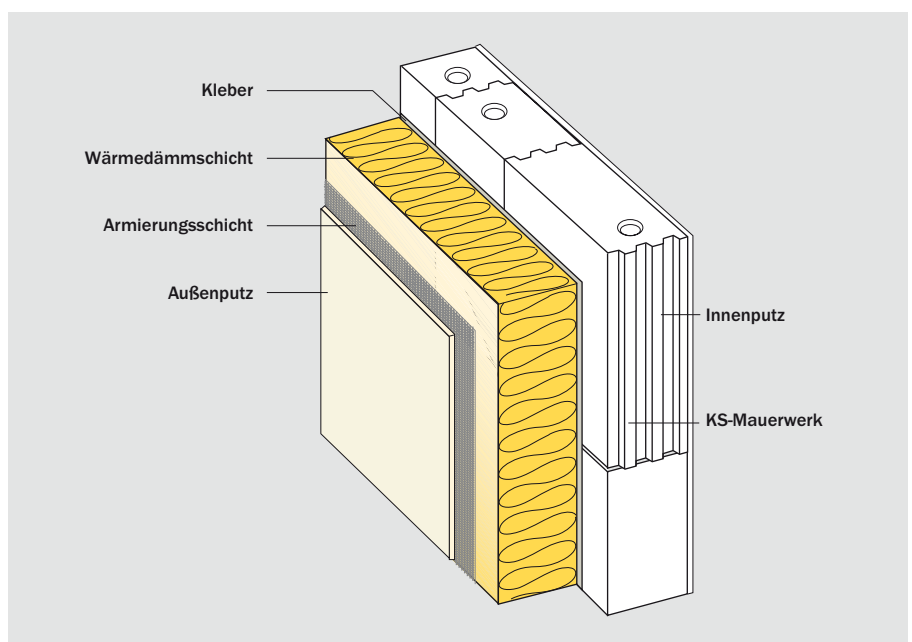


Bild 25: Wandaufbau KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem

4. EINSCHALIGES KS-MAUERWERK MIT WÄRMEDÄMMUNG

4.1 Konstruktionsprinzip

Aufgrund der hohen Druckfestigkeit können die tragenden KS-Wände sehr schlank ausgeführt werden, so dass sich ein deutlicher Nutzflächengewinn ergibt. Durch die hohe Rohdichte sind gleichzeitig der Schallschutz sowie der sommerliche Wärmeschutz gewährleistet.

Durch die Wärmedämmung werden nicht nur die Wärmeverluste und damit die Betriebskosten reduziert, sondern auch ein Beitrag zur zukünftigen Versorgungssicherheit mit Energie sowie zur Emissionsminderung und damit zum praktizierten Umweltschutz geliefert.

4.2 KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem

4.2.1 Systemübersicht

Wie die Übersicht der derzeit marktüblichen Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) in Bild 26 zeigt, werden die Systeme u.a. nach den Verankerungsvarianten wie folgt differenziert:

- ausschließlich teil- bis vollflächig verklebte WDVS (Bild 27),
- verklebte und verdübelte WDVS (Bild 28),
- ausschließlich verdübelte WDVS (ggf. mit konstruktiver Zusatzverklebung),
- mechanisch befestigte WDVS (mit Schienenbefestigung).

4.2.2 Entwicklung

Bereits in den 50er Jahren wurden erste Wärmedämm-Verbundsysteme entwickelt [18]. Seit mehr als 40 Jahren wird die Weiterentwicklung derartiger Systeme auf der Basis von expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) in großem Umfang eingesetzt. Seit Mitte der 70er Jahre kamen WDVS mit Mineralfaserplatten und mineralischen Dickputzsystemen zur Anwendung.

Aktuell werden jährlich mehr als 40 Mio. m² WDVS ausgeführt [19]. Sie werden für den Neubau sowie insbesondere im Bereich der Sanierung und Modernisierung eingesetzt.

Untersuchungen nach [20] zum Langzeitverhalten von ausgeführten WDVS im Alter zwischen 19 und 35 Jahren zeigten

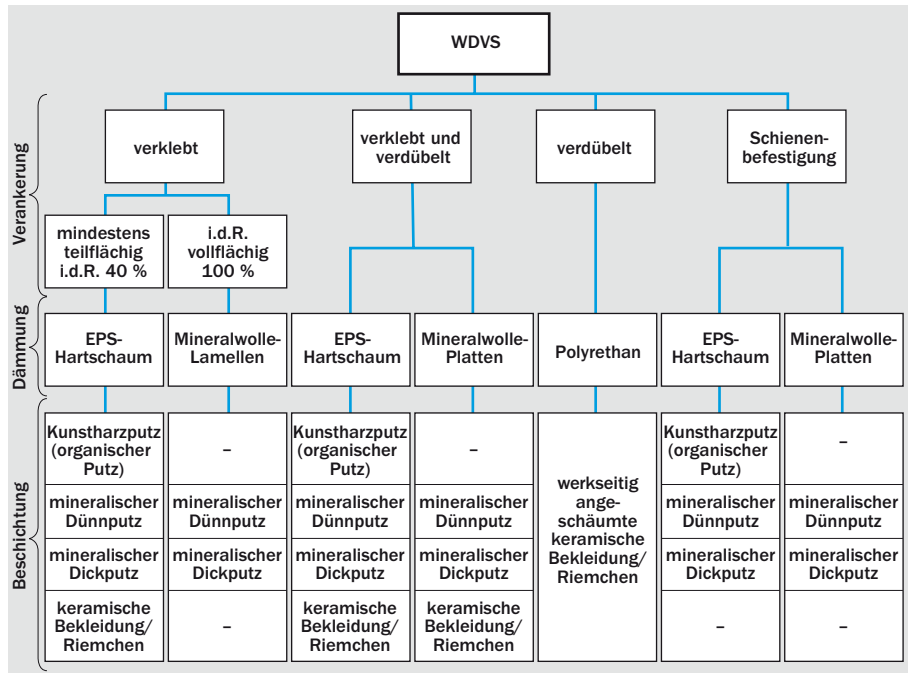


Bild 26: Übersicht der marktüblichen Wärmedämm-Verbundsysteme

im Vergleich zu Wänden mit Putz nach DIN 18550

- eine geringere Schadenshäufigkeit,
- einen vergleichbaren Wartungsaufwand und Wartungshäufigkeit,
- eine entsprechend ausreichende Dauerhaftigkeit.

4.2.3 Baurechtliche Regelung

Wärmedämm-Verbundsysteme werden in der Bauregelliste B, Teil 1 [21] als „Bauprodukt“ im Geltungsbereich der Leitlinien für Europäische Technische Zulassungen (ETAG, European Technical Approval Guideline) geführt. In die Bauregelliste B werden die Bauprodukte und Bauprodukte aufgenommen, die nach Vorschriften der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union und der

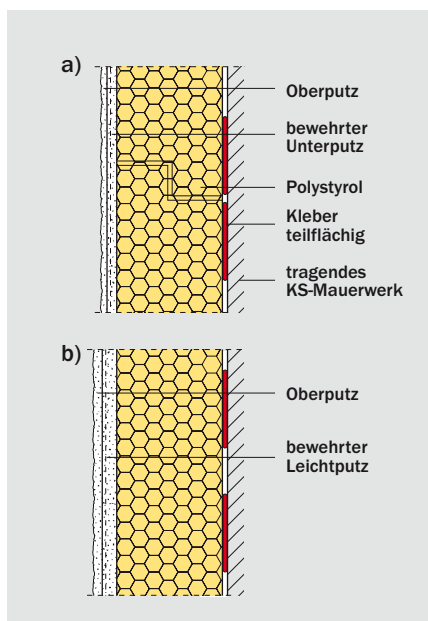


Bild 27: Teilflächig verklebtes WDVS mit EPS-Hartschaum

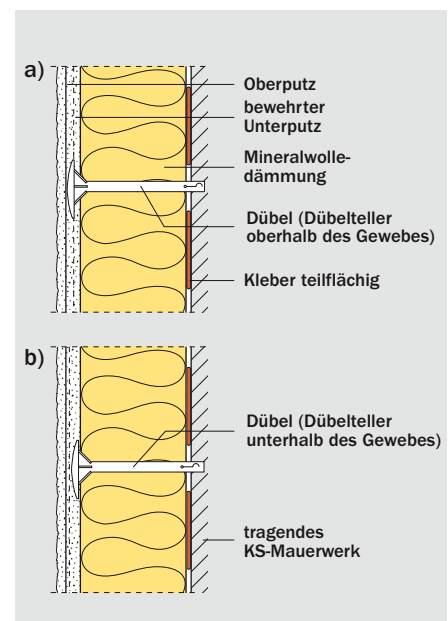


Bild 28: WDVS mit teilflächig verklebten sowie verdübelten Mineralwolleplatten



Bild 29: Mehrfamilienhaus aus KS-Mauerwerk mit WDVS aus dem Jahr 1968

Vertragsstaaten in den Verkehr gebracht und gehandelt werden dürfen.

Mit den Leitlinien werden in Abhängigkeit vom Verwendungszweck Anforderungen (in der Regel in Form von Klassen und Leistungsstufen) festgelegt, die von den Bauprodukten und Bausätzen erfüllt sein müssen. Welche Klasse oder Leistungsstufe erreicht wird, geht aus der jeweils erteilten *Europäischen Technischen Zulassung* (ETA, European Technical Approval) hervor. Für *Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht* existiert die ETAG 004 [22], die die Grundlage für die technische Beurteilung der Brauchbarkeit im Rahmen des Zulassungsverfahrens darstellt. Mit den europäischen technischen Zulassungen ist zunächst nur das Inverkehrbringen und Handeln der Bauprodukte und Bausätze geregelt. Für die Verwendung (in Deutschland) ist die Liste der technischen Baubestimmungen [23] mit dem Teil II zu beachten, da hier die erforderlichen Anwendungsbedingungen und Nachweise definiert sind:

- Im Hinblick auf die *Standstabilität und Gebrauchstauglichkeit* werden WDVS nach ETAG 004 in zwei Gruppen unterteilt. Für die Gruppe I ist die Anwendung mit [23] konkret geregelt. WDVS der Gruppe II und WDVS der Gruppe I, die von den Anwendungsregeln abweichen, bedürfen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ).

- Für den *Brandschutz* muss die Eignung von WDVS, die unter Verwendung von brennbaren Dämmstoffen als schwerentflammbar eingestuft werden sollen, durch eine abZ erbracht werden.
- Bestehen Anforderungen an den *Schallschutz* gegen Außenlärm, muss die Festlegung des Rechenwertes des bewerteten Schalldämm-Maßes durch eine abZ erfolgen.
- Im Hinblick auf den *Wärmeschutz* sind für Dämmstoffe nach harmonisierten europäischen Normen die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit nach DIN 4108-4 zu berücksichtigen.

In Ergänzung zur aktuellen bauaufsichtlichen Regelung sind die folgenden Normen zu nennen:

- Die nationale Norm DIN 18345 als Teil der VOB – Teil C regelt die Ausführung und gibt Hinweise für das Erstellen von Leistungsbeschreibungen.
- DIN EN ISO 9229 [24] beinhaltet weder Anforderungen noch Bemessungsgrundlagen, sondern dient vielmehr der Begriffsbestimmung und ist wie die zurückgezogene Vornorm DIN V 18559 für baupraktische Belange ohne Bedeutung [18].

- Die nationale Norm DIN 55699 [25] beinhaltet Verarbeitungshinweise.
- Mit der DIN EN 13499 [26] und DIN EN 13500 [27] als europäische Normen, die den Status einer deutschen Norm haben, werden Wärmedämm-Verbundsysteme aus expandiertem Polystyrol bzw. aus Mineralwolle geregelt. Durch das zuständige technische Komitee CEN/TC88 wurde die Mandatierung beantragt, um diese Normen zukünftig in europäisch harmonisierte Normen zu überführen.

Vor diesem Hintergrund sind für die Verwendung von Wärmedämm-Verbundsystemen derzeit in der Regel noch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen bestimmend.

Da die Eigenschaften von WDVS wesentlich durch die Abstimmung der Materialkomponenten – wie z.B. der Kombination von Dämmung und Putzsystem oder Putzmatrix und Gewebeeinlage – definiert werden, dürfen nur systemkonforme Materialien verwendet werden. Der Austausch einzelner Komponenten oder die Kombinationen einzelner Komponenten unterschiedlicher Hersteller sind unzulässig. Insofern sind die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen als „System-Zulassungen“ zu verstehen.

4.2.4 Komponenten Tragender Untergrund

Der Untergrund für WDVS muss tragfähig (standsicher), trocken, staub- und fettfrei sowie ausreichend eben sein.

Wände aus KS-Mauerwerk gelten ohne weiteren Nachweis auch für ausschließlich verklebte WDVS als ausreichend tragfähig. Beim Bauen im Bestand ist bei der Verwendung von ausschließlich verklebten Systemen durch stichprobenartige Haftzugversuche nachzuweisen, dass die Wandoberfläche eine Abreißfestigkeit von mindestens 0,08 N/mm² (80 kN/m²) aufweist.

An die erforderliche Ebenheit e des Untergrundes sind – bezogen auf eine Messlänge von 1 m – folgende Anforderungen zu stellen:

- Verklebte Systeme: $e \leq 1,0 \text{ cm}$
- Verklebte und verdübelte Systeme: $e \leq 2,0 \text{ cm}$
- Mechanisch befestigte Systeme (Schienenbefestigung): $e \leq 3,0 \text{ cm}$

Bei fachgerecht ausgeführtem KS-Mauerwerk werden stets die höchsten Anforderungen an die Ebenheit – nämlich die für die Verwendung von ausschließlich verklebten WDVS – problemlos eingehalten.

Verankerung

Ausschließlich verklebte WDVS mit EPS-Hartschaumplatten werden teil- oder vollflächig verklebt. Bei der teilflächigen Verklebung erfolgt der Kleberauftrag entweder mit einem Flächenanteil von ca. 40 % nach der Wulst-Punkt-Methode (Bild 30) auf der Dämmplattenrückseite oder mit einem Flächenanteil von ca. 60 % durch ein maschinelles, mäanderförmiges Aufspritzen des Klebemörtels (Bild 31) auf den tragenden Untergrund.

Bei ebenen Untergründen ist bei einer Vielzahl dieser Systeme auch eine vollflächige Verklebung im Kambett zulässig. (Anmerkung: Im Hinblick auf die Gewährleistung der angestrebten Klebefläche zeigt sich die Wulst-Punkt-Methode oder der mäanderförmige Auftrag gegenüber der Kambett-Methode als sicherer ausführbar.)

Ausschließlich verklebte WDVS mit Mineralwolle-Lamellen werden in der Regel vollflächig (100 %) verklebt. Dabei ist der Klebemörtel ausreichend in die Dämmplattenrückseite einzumassieren, um einen hinreichenden Verbund zum hydrophobierten Dämmstoff zu erzielen. Zunehmend werden vorbeschichtete Lamellen angeboten, die dann auch für eine teilflächige Verklebung – z.B. mit maschinellem, mäanderförmigem Klebemörtelauftrag ($\geq 50\%$) auf den tragenden Untergrund – zugelassen werden. Im Windlastbereich

über 20 m wird zumindest im Randbereich – teilweise auch im Flächenbereich – eine zusätzliche Verdübelung erforderlich.

Bei verklebten und verdübelten Systemen richtet sich die Anzahl der erforderlichen Dübel u.a. nach der Materialgüte der Wandbaustoffe. Hier erweist sich KS-Mauerwerk als besonders tragfähiger Untergrund.

Im Hinblick auf die Windsogbeanspruchung ist darüber hinaus der Dübelkopfdurchzug durch den Dämmstoff bemessungsrelevant. Maßgebend für den Dübelkopfdurchzug sind neben der Art und der Dicke des Dämmstoffes der Durchmesser und insbesondere die Lage des Dübeltellers. Umschließt der Dübelteller das Bewehrungsgewebe des Putzes, wird ein höherer Durchzugswiderstand erzielt als bei Anordnung der Dübelteller unterhalb des Gewebes direkt auf der Dämmstoffoberfläche. Hieraus ergibt sich für den Nachweis der Standsicherheit die WDVS-Versagenslast nach europäischer Zulassung sowie der abgeleitete Bemessungswert des WDVS-Widerstandes oder die WDVS-Lastklasse nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.

Im Vergleich zu rein verklebten Systemen ist die Verarbeitung von zusätzlich verdübelten Systemen arbeits- und damit lohnkostenintensiver. Aufgrund der hohen Tragfähigkeit und Ebenheit von KS-Mauerwerk wird weder eine zusätzliche Verdübelung von EPS-Systemen noch die Ausführung von Schienensystemen erforderlich. Es können somit rein verklebte WDVS mit EPS-Hartschaumplatten oder Mineralwolle-Lamellen empfohlen werden.

Wärmedämmung

Als Dämmstoffe kommen vorwiegend zur Anwendung:

- EPS-Hartschaumplatten
- Mineralwolle-Dämmplatten
- Mineralwolle-Lamellen

Weitere Zulassungen liegen z.B. vor für:

- Mineralschaum-Dämmplatten
- Phenolharz-Dämmplatten
- Verbunddämmplatten aus Mineralschaum und Mineralwolle-Lamellen

Unabhängig vom Materialtyp sind die Dämmstoffplatten dicht gestoßen im Verband zu verlegen (Bild 32). Dies gilt auch für Bauwerkskanten, an denen eine verzahnte Verlegung auszuführen ist. Stoßfugen im Bereich der Ecken von Wandöffnungen sind unzulässig (Bild 33).

In Ausnahmefällen nicht dicht gestoßene Fugen sind nachträglich materialgleich vollständig zu verfüllen.

Die anwendungsbezogenen Anforderungen sind in DIN 4108-10 für das Anwendungsgebiet WAP (Außendämmung der Wand unter Putz) geregelt.

Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit sind in DIN 4108-4 aufgeführt. Darüber hinaus wurden vielfach allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Dämmstoffe erwirkt, die deutlich günstigere Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

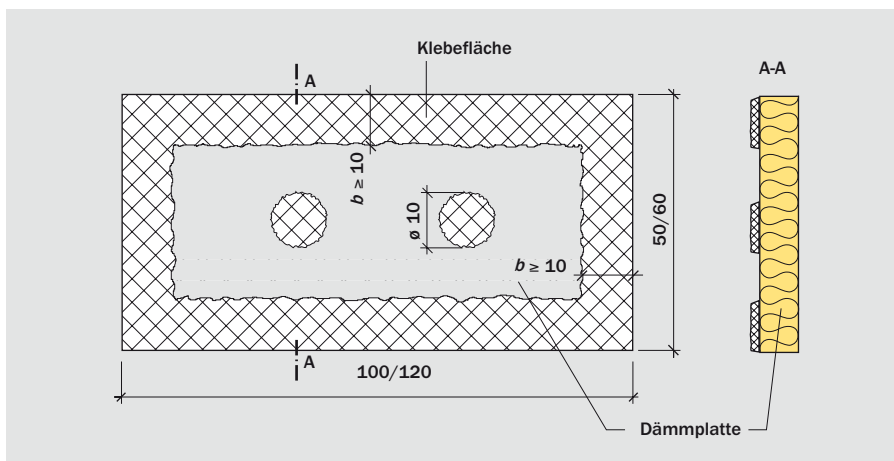


Bild 30: Teilflächige Verklebung nach der Wulst-Punkt-Methode

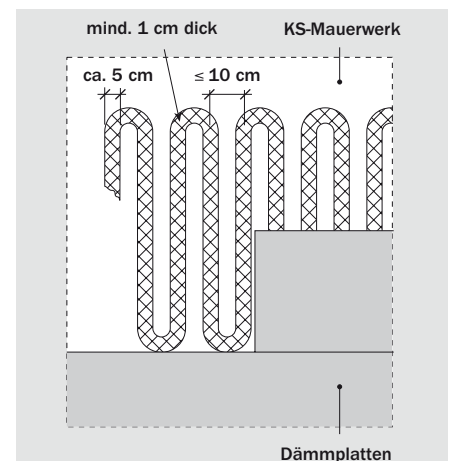


Bild 31: Teilflächiger maschineller Kleberauftrag

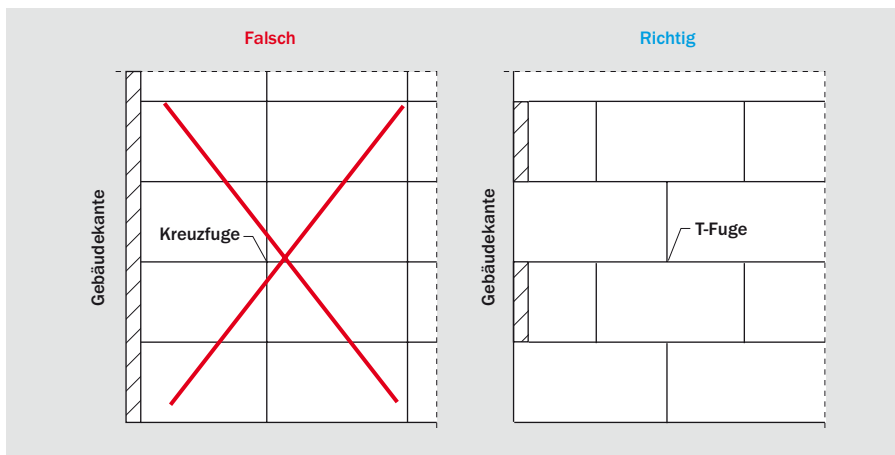


Bild 32: Verlegung von WDVS-Dämmplatten im Verband bzw. mit Verzahnung

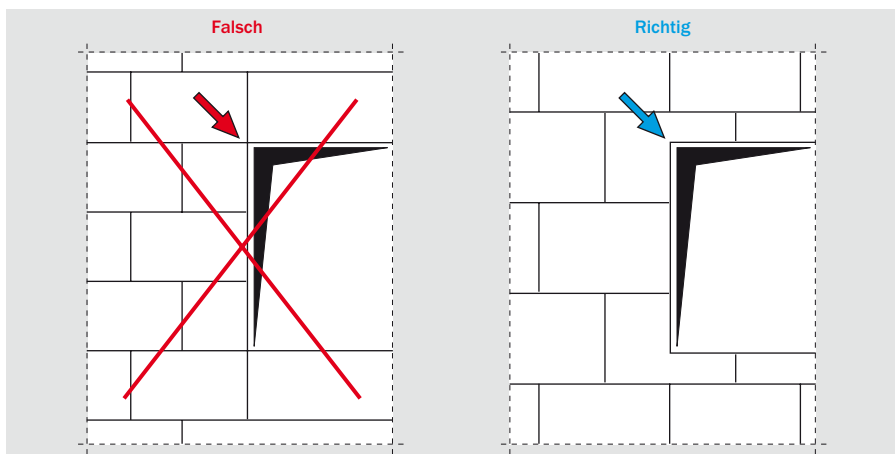


Bild 33: Stoßfugenfreie Verlegung von WDVS-Dämmplatten im Bereich von Wandöffnungsecken

EPS-Hartschaumplatten

Die Eigenschaften von Dämmplatten aus expandiertem Polystyrol-Partikelschaum (EPS) sind in DIN EN 13163 spezifiziert [28]. Bei geklebtem WDVS werden Platten mit einer maximalen Plattendicke von 400 mm verwendet. Die Mindestquerzugfestigkeit, die nach DIN EN 1607 geprüft wird, muss 100 kPa (0,10 N/mm², Typ TR 100 nach DIN 4108-10) betragen. Bei Systemen mit Schienenbefestigung werden Dämmplatten mit einer maximalen Plattendicke von 200 mm verwendet, die eine Mindestquerzugfestigkeit von 150 kPa (0,15 N/mm², Typ TR 150 nach DIN 4108-10) aufweisen müssen.

In brandschutztechnischer Hinsicht ist die Äquivalenz zwischen der europäischen Klassifizierung und den bauaufsichtlichen Anforderungen zu überprüfen. Bei zusätzlich mit einem Ü-Zeichen versehenen Produkten sind die Brandschutzklassen sowohl nach DIN 4102 bzw. der bauauf-

sichtlichen Anforderung als auch nach der europäischen Klassifizierung angegeben.

Des Weiteren sind Dämmplatten aus zusätzlich elastifiziertem EPS zu nennen, die bauaufsichtlich zugelassen sind. Diese Dämmplatten dürfen bei sämtlichen WDVS, die mit angeklebten oder mit angeübelteten und angeklebten Dämmplatten aus Polystyrol-Partikelschaum bauaufsichtlich zugelassen sind, verwendet werden, ohne dass eine explizite Nennung dieses Materials in den jeweiligen WDVS-Zulassungen erforderlich ist. Der Anwendungsbereich sowie andere Regelungen in den jeweiligen System-Zulassungen sind zu beachten.

Elastifizierte EPS-Dämmplatten weisen eine geringere Steifigkeit auf, so dass sich eine Verbesserung der schallschutztechnischen Eigenschaften ergeben kann. Der Nachweis ist in Abhängigkeit vom Schalldämm-Maß der Massivwand und der Re-

sonanzfrequenz der gesamten Wand einschließlich WDVS zu führen. Gleichzeitig ist jedoch auf die gegenüber dem üblichen Polystyrol-Partikelschaum geringere Mindestquerzugfestigkeit von 80 kPa hinzuweisen.

Eine Weiterentwicklung sind darüber hinaus EPS-Dämmplatten, die durch den Zusatz von Graphit- oder Aluminiumpartikeln eine geringere Wärmestrahlungsübertragung im Zwickelbereich der Polystyrolkugeln aufweisen. Hierdurch wird der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit auf 0,032 W/(m·K) reduziert.

Mineralwolle-Dämmplatten

Dämmplatten aus Mineralwolle mit liegender Faser sind in DIN EN 13162 [29] geregelt und müssen darüber hinaus aus Brandschutzgründen der Baustoffklasse A nach DIN 4102-1 oder der europäischen Klasse A1 oder A2-s₁,d₀ nach DIN EN 13501-1 [30] entsprechen. Bei verklebten und verdübelten WDVS beträgt die Mindestquerzugfestigkeit zwischen 5 kPa (TR 5, früher Anwendungstyp WV) und 14 kPa (TR 14, früher Anwendungstyp HD). Es sind derzeit maximale Plattendicken bis 300 mm zugelassen.

Mineralwolle-Lamellen

Dämmplatten aus Mineralwolle-Lamellen mit stehender Faser müssen ebenfalls nichtbrennbar (A nach DIN 4102-1 oder A1 oder A2-s₁,d₀ nach DIN EN 13501-1) sein und DIN EN 13162 [29] entsprechen. Wie bereits beschrieben, werden auch beschichtete Dämmplatten angeboten. Bei ausschließlich verklebten WDVS wird eine Mindestquerzugfestigkeit von 80 kPa (TR 80) gefordert. Es sind maximale Dicken bis 200 mm zugelassen.

Mineralschaum-Dämmplatten, die vorwiegend aus einer hochaufgeschäumten Calciumsilikatmischung bestehen, müssen in der gesamten Masse hydrophobiert sein. Die Mindestquerzugfestigkeit beträgt 80 kPa.

Mit *Phenolharz-Dämmplatten* nach DIN EN 13166 als vergleichsweise neue Entwicklung kann der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit auf bis zu 0,022 W/(m·K) reduziert werden. Die Mindestquerzugfestigkeit beträgt 80 kPa.

Mineralschaum-Mineralwollelamellen-Verbundplatten bestehen aus Mineralschaumplatten, die werkseitig mit Mineralwolle-Lamellen verklebt werden. Die Mineralwolle-Lamellen können dabei unbeschichtet,

einseitig beschichtet oder beidseitig beschichtet sein. Die Mindestquerkzugfestigkeit muss 80 kPa betragen.

Zu WDVS sowohl mit Mineralschaum-Dämmplatten, Phenolharz-Dämmplatten und Mineralschaum-Mineralwollelamellen-Verbundplatten als auch mit PUR-Platten liegen derzeit nur wenige praktische Langzeiterfahrungen vor.

Ergänzend ist anzumerken, dass sich die für die Dämmstoffe gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung geforderte Mindestquerkzugfestigkeit auf jeden Einzelwert der Prüfung bezieht und nicht auf den Mittelwert wie in den diesbezüglichen europäischen Dämmstoffnormen.

4.2.5 Putzsysteme

Bei den Putzsystemen – bestehend aus Unterputz mit Bewehrungsgewebeeinlage und Oberputz – wird u.a. unterschieden nach:

- Material
 - Kunstharzputze
 - mineralische Putze (in der Regel kunststoffmodifiziert)
- Dicke
 - Dünnputze
 - Dickputze

Das Putzmaterial hat insbesondere Einfluss auf den (klimabedingten) Feuchteschutz und den Witterungsschutz. Hier ergeben sich häufig gegenläufige Tendenzen. Ein in dampfdiffusionstechnischer Hinsicht günstiges Putzsystem mit geringer wasserdampfdiffusionsäquivalenter Luftschichtdicke s_d weist in der Regel eine höhere Wasseraufnahme w auf und umgekehrt.

Zur Differenzierung zwischen Dünn- und Dickputzsystemen ist anzumerken, dass eine scharfe Abgrenzung nicht möglich ist. Die Putzdicke hat insbesondere bei verklebten und verdübelten WDVS mit Dämmstoffen aus Mineralwolle erheblichen Einfluss auf den Schallschutz.

Das Bewehrungsgewebe (Glasgewebe) hat – vergleichbar mit der Stahlbewehrung im Stahlbeton – u.a. die Funktion, die in jedem mineralischen Baustoff auftretenden Rissbreiten auf ein unschädliches Maß zu beschränken.

Bei der Verarbeitung ist zu beachten, dass das Gewebe glatt und faltenfrei sowie ohne Hohllagen zu verlegen ist und nicht geknickt werden darf. Das Gewebe soll etwa

im äußeren Drittelpunkt der Unterputzdicke angeordnet werden. Die Gewebebahnen sind mit einer Überlappungsbreite $\bar{u} \geq 100$ mm auszuführen. Im Bereich von Fenster- bzw. Türöffnungen sind die Öffnungsecken mit diagonal ausgerichteten, ausreichend großen (ca. 400 mm/200 mm) Gewebestreifen zusätzlich zu bewehren (Bild 34).

4.2.6 Systemeigenschaften

Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit wird für den in der Zulassung beschriebenen Anwendungsbereich bereits im Rahmen des Zulassungsverfahrens erbracht. Unter anderem ergeben sich hieraus die Anforderungen an

- den Untergrund (Beschaffenheit, Abreißfestigkeit, Ebenheit, etc.),

- die Verankerung (Befestigungsart, Verklebungsanteil, Anzahl der Dübel, etc.),
- die WDVS-Komponenten (Querkzugfestigkeit, Abreißfestigkeit, etc.).

Brandschutz

WDVS mit Dämmstoffen aus EPS-Hartschaum, PF-Hartschaum oder PUR-Hartschaum sind im eingebauten Zustand bei Einhaltung bestimmter konstruktiver Regeln schwerentflammbar (DIN 4102 B1) und dürfen nur bis zur Hochhausgrenze (Fußboden des höchstgelegenen Aufenthaltsraums ≤ 22 m über Geländeoberkante) verwendet werden.

Bei Gebäuden, die direkt an Nachbargebäude angrenzen, ist ein Streifen $b \geq 1$ m im Bereich der Haustrennwand aus nicht-

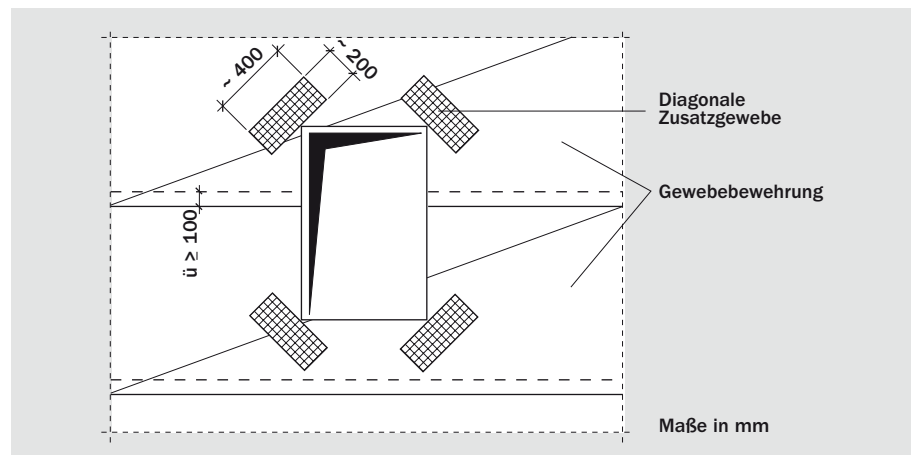


Bild 34: Erforderliche Überlappung der Glasgewebebewehrung sowie diagonale Zusatzbewehrung im Eckbereich von Wandöffnungen

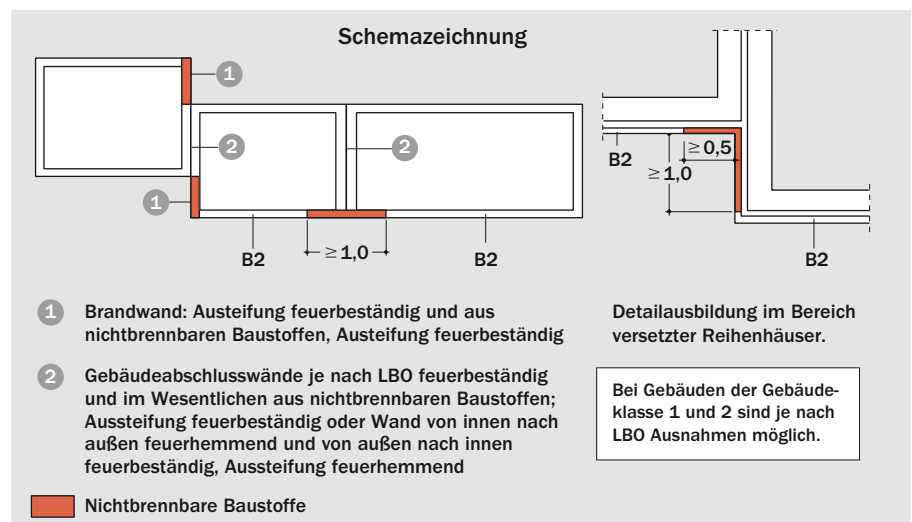


Bild 35: Zusätzliche Brandschutzmaßnahmen im Bereich von Gebäudegrenzen nach [31]

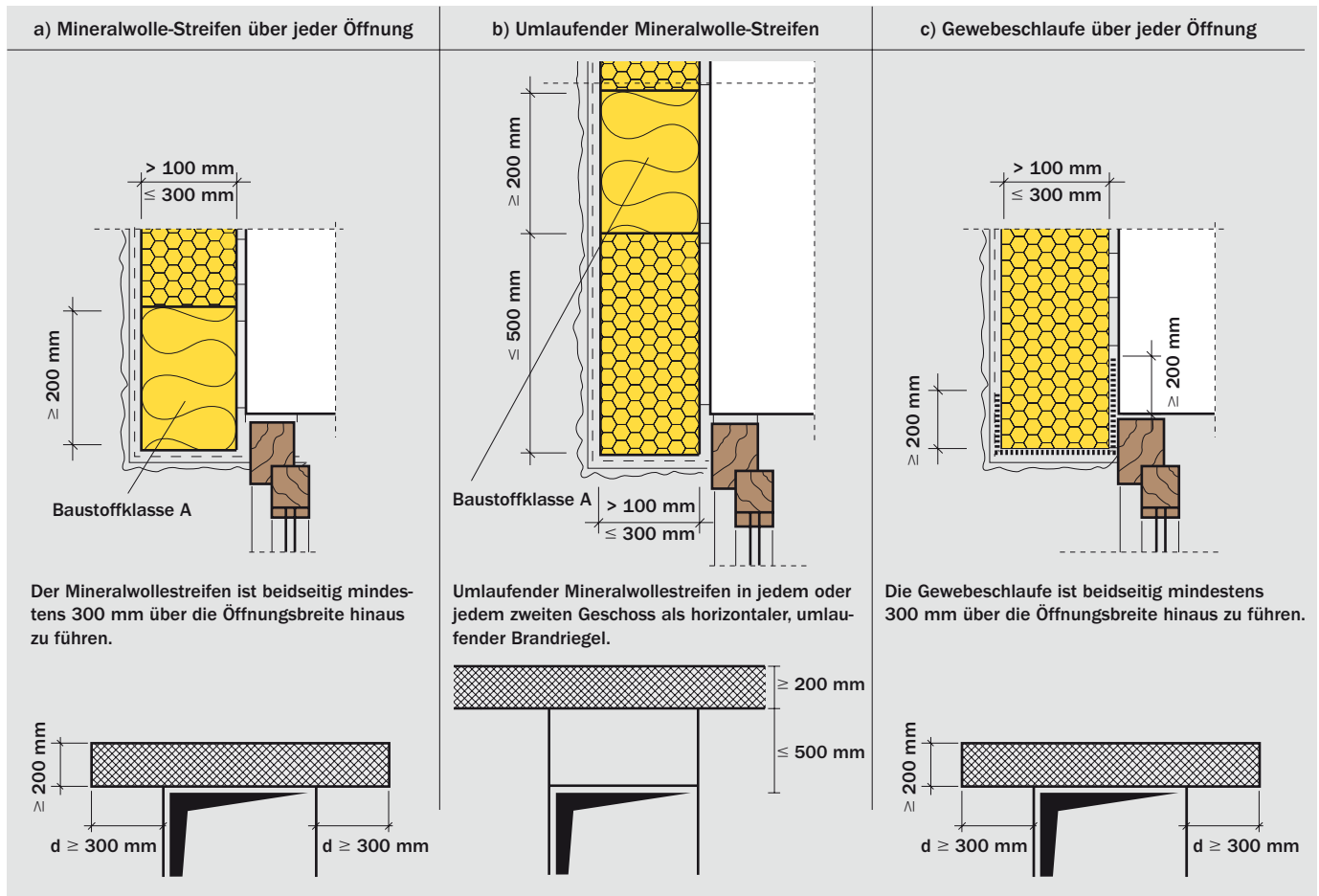


Bild 36: Varianten unterschiedlicher brandschutztechnischer Zusatzmaßnahmen nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen im Bereich von Öffnungen bei WDVS aus EPS-Hartschaumplatten mit Dämmstoffdicken über 100 mm

brennbarem Material (Baustoffklassen A1 und A2 nach DIN 4102-1 oder europäische Klassen A1 und A2-s₁,d₀ nach DIN EN 13501-1) anzuordnen, um im Falle eines Brandes einen Brandüberschlag von einem Gebäude auf das Nachbargebäude zu vermeiden (Bild 35).

Bei Verwendung von EPS-Dämmplatten mit Dämmstoffdicken über 100 mm bis 300 mm muss oberhalb jeder Fenster- oder Türöffnung im Sturzbereich ein mindestens 200 mm hoher Dämmstreifen aus nichtbrennbaren Mineralwolle-Lamellen angeordnet werden, um im Brandfall ein (abtropfendes) Schmelzen des Polystyrols zu verhindern. Der Dämmstreifen ist beidseitig mit mindestens 300 mm über die Leibung zu führen (Bild 36a).

Auf diese Sturzausbildung darf verzichtet werden, wenn in (mindestens) jedem zweiten Geschoss ein horizontal um das Gebäude umlaufender Brandriegel aus 200 mm hohen und nichtbrennbaren Mineralwolle-Lamellen angeordnet wird (Bild 36b).

Darüber hinaus wird in einzelnen Zulassungen für WDVS eine gleichwertige Alternativlösung angegeben, die im Rahmen von Sonderprüfungen für Systeme mit speziellen EPS-Dämmplatten (z.B. WAP/WDV-Dämmplatten aus Neopor®) nachgewiesen wurden. Bei diesen Systemen stellt die Ausführung einer zusätzlich vorgelegten Gewebeschaule entsprechend Bild 36c eine gleichwertige Lösung dar.

WDVS mit EPS-Dämmplatten über 300 mm sind normalentflammbar. Mit mineralischen Putzen wird jedoch eine Klassifizierung als schwerentflammbar möglich, wenn Öffnungen mit im Sturz- und Leibungsbereich umlaufenden nichtbrennbaren Mineralwolle-Lamellen größerer Höhe (300 mm bis 400 mm) ausgeführt werden.

WDVS mit Mineralwolle- oder Mineralwolle-Dämmplatten sind im eingebauten Zustand der Baustoffklasse A2 zuzuordnen und können somit über die Hochhausgrenze hinausgehend bis zu einer Gebäudehöhe von 100 m (diese Hö-

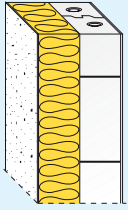
henbegrenzung ergibt sich aus der Windbeanspruchung) eingesetzt werden.

Wärmeschutz

Die Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz sind mit WDVS problemlos erfüllbar, da Dämmstoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit beziehungsweise mit Dicken bis zu 400 mm derzeit bereits zugelassen sind.

Bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwandkonstruktion ist bei verdübelten WDVS ggf. der punktuelle Wärmebrückeneinfluss der Dübel zu berücksichtigen. Dieses ist bei hoher Dübelanzahl oder bei der Verwendung von thermisch ungünstigen Dübeltypen der Fall. Thermisch günstige Dübel zeichnen sich durch einen geringen Wärmeverlustkoeffizienten χ (chi) aus, der den Dübel-Zulassungen entnommen werden kann. Der diesbezügliche Nachweis muss nach dem in den jeweiligen WDVS-Zulassungen angegebenen Algorithmus erbracht werden. In Tafel 9 wird – in Abhängigkeit vom Wärme-

Tafel 8: U-Werte von einschaligen KS-Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystem

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m ² ·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Wärmedämmstoff nach Zulassung ~ 1 cm Außenputz (λ = 0,70 W/(m·K))
	34,5	15	0,14	0,15	0,20	0,22	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	44,5	25	0,09	0,09	0,12	0,13	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	

Als Dämmung können unter Berücksichtigung der stofflichen Eigenschaften und in Abhängigkeit von der Konstruktion alle genormten oder bauaufsichtlich zugelassenen Dämmstoffe verwendet werden, z.B. Hartschaumplatten, Mineralwolleplatten.

¹⁾ Bei anderen Dicken oder Steinrohrichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

verlustkoeffizienten der Dübel und von der Dämmstoffdicke – die Dübelanzahl angeben, ab der ein Nachweis des Wärmebrückeneinflusses erforderlich wird. Bei üblichen Systemen ist dieser Einfluss von vernachlässigbarer Größenordnung (d.h. < 3 % nach DIN EN ISO 6946).

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes von Wohn- und Nichtwohngebäuden ist nach der Energieeinsparverordnung EnEV in Abhängigkeit von der Fläche und Orientierung der Fenster erforderlich und mit dem in DIN 4108-2 beschriebenen Verfahren zu führen. Ziel der Anforderungen ist es, durch geeignete bauliche Maßnahmen – wie z.B. durch eine schwere Bauart mit einer hohen speicherfähigen Masse – unzumutbare Temperaturen zu vermeiden und damit auf eine aktive Kühlung (Klimatisierung) verzichten zu können. Aufgrund der hohen Wärmespeicherfähigkeit von KS-Konstruktionen werden darüber hinaus häufig auch aufwendige Sonnenschutzvorrichtungen entbehrlich.

Schallschutz

Bei einer Außenwand mit WDVS handelt es sich um einen 2-Massen-Schwinger (Masse 1 = Putzsystem; Masse 2 = tragende Wandkonstruktion), dessen Massen über eine Feder (Wärmedämmung, Verdübelung) miteinander gekoppelt sind. Deshalb ist beim Nachweis des Schallschutzes gegen Außenlärm der Einfluss der Resonanzfrequenz bei der Ermittlung des vorhandenen Schalldämm-Maßes zu berücksichtigen.

Hieraus können sich bei bestimmten WDVS (steife Verankerung, steife Wärmedämmung oder leichte Putzsysteme) Einbrüche im frequenzabhängigen Schalldämm-Maß infolge Resonanz ergeben, die durch einen Korrekturwert als Abminderung berücksichtigt werden müssen. Durch die Verwendung von z.B. elastifizierten EPS-Dämmplatten kann bei größerer Dämmstoffdicke wiederum eine deutliche Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes erzielt werden.

Die Korrekturwerte sind bei aktueller bauaufsichtlicher Zulassung mit einem differenzierten Berechnungsverfahren zu bestimmen. Dabei wird sowohl das Schalldämm-Maß der Massivwand ohne WDVS als auch die Resonanzfrequenz in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse des WDVS-Putzes und der dynamischen Steifigkeit der WDVS-Dämmung sowie die Art der Verankerung berücksichtigt (Tafel 10).

Das WDVS hat keinen Einfluss auf die horizontale oder vertikale Schalllängsleitung im Gebäude. Es wird nur die Hintermauerschale aus Kalksandstein berücksichtigt.

Feuchteschutz

Der Nachweis des Tauwasserschutzes nach DIN 4108-3 wird bei der Verwendung von WDVS – insbesondere auf KS-Mauerwerk – erfüllt.

Bei WDVS mit Polystyrol-Partikelschaum können dampfdiffusionsdichtere (organisch gebundene) Putzsysteme angewendet werden, da der Polystyrol-Dämmstoff eine 20- bis 50-fach größere Dampfdiffusionswiderstandszahl gegenüber Mineralwolle-Dämmstoffen aufweist. Bei Systemen mit Mineralwolle-Dämmstoffen kommen in der Regel diffusionsoffene (mineralisch gebundene) Putzsysteme zur Anwendung.

Um Missverständnissen vorzubeugen: Außenwände mit oder ohne WDVS „atmen“ nicht. Bei üblichen Gebäude- und Bauteilabmessungen ist die infolge Lüftung (mit der aus hygienischen Gründen erforderlichen Mindestluftwechselzahl)

Tafel 9: Dübelanzahl n je m², ab der eine rechnerische Berücksichtigung des punktuellen Wärmebrückeneinflusses erforderlich ist (Regelung in WDVS-Zulassung)

χ _p [W/K]	60 ≤ d ≤ 100 [mm]	100 < d ≤ 150 [mm]	d > 150 [mm]
0,008	n ≥ 4	n ≥ 4	n ≥ 4
0,006	n ≥ 5	n ≥ 4	n ≥ 4
0,004	n ≥ 7	n ≥ 5	n ≥ 4
0,003	n ≥ 9	n ≥ 7	n ≥ 5
0,002	n ≥ 13	n ≥ 9	n ≥ 7
0,001	n ≥ 17 ¹⁾	n ≥ 17 ¹⁾	n ≥ 13

¹⁾ Maximale Dübelanzahl ohne gegenseitige Beeinflussung

Tafel 10: Korrekturwerte für das bewertete Schalldämm-Maß bei Verwendung eines KS-Mauerwerks mit WDVS – Beispiel (WDVS auf 17,5 cm KS-Außenwand, RDK 1,8)¹⁾

		WDVS			
		ausschließlich verklebt Klebeflächenanteil		verklebt und verdübelt Klebeflächenanteil	
		40 %	60 %	40 %	60 %
Dynamische Steifigkeit der Dämmstoffplatten $s' = 5 \text{ MN/m}^3$ (z.B. Mineralwolleplatten)	Dünnputz (10 kg/m ²)	+3 dB	+2 dB	0 dB	-1 dB
	Dickputz (20 kg/m ²)	+8 dB	+7 dB	+3 dB	+2 dB
Dynamische Steifigkeit der Dämmstoffplatten $s' = 20 \text{ MN/m}^3$ (z.B. EPS-Hartschaum- platten)	Dünnputz (10 kg/m ²)	-5 dB	-6 dB	-5 dB	-6 dB
	Dickputz (20 kg/m ²)	0 dB	-1 dB	-2 dB	-3 dB

¹⁾ Die konkret anzusetzenden Korrekturwerte sind gemäß der abZ des gewählten WDVS zu bestimmen.

abgeführte Feuchtigkeitsmenge gegenüber der auf dem Wege der Dampfdiffusion durch eine Außenwandkonstruktion transportierten Wassermenge etwa 100-fach größer [9].

Witterungsschutz

Die Anforderungen an WDVS im Hinblick auf die Schlagregenbeanspruchung können – in Abhängigkeit von den regionalen klimatischen Bedingungen, der örtlichen Lage oder der Gebäudeart – in Anlehnung an DIN 4108-3 eingeordnet werden.

Für hohe Beanspruchungsgruppen sind wasserhemmende bzw. wasserabweisende Putzsysteme zu verwenden. Für wasserabweisende Putzsysteme werden folgende Anforderungen gestellt:

- Wasseraufnahmekoeffizient:
 $w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
- Dampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke: $s_d \leq 2,0 \text{ m}$
- Begrenzung des Produkts $w \cdot s_d$:
 $w \cdot s_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$

Die diesbezüglichen Angaben können den Zulassungen entnommen werden. WDVS-Putze erfüllen in der Regel auch die Anforderungen in der höchsten Schlagregenbeanspruchungsgruppe III nach DIN 4108-3.

Gebrauchstauglichkeit

Um die Gebrauchstauglichkeit der WDVS nachzuweisen, wird im Rahmen des Zulassungsverfahrens eine Vielzahl von Prüfungen an den Komponenten und am Ge-

samtsystem zum Einfluss klimatisch bedingter Einwirkungen durchgeführt. Dabei ist insbesondere die Bauteilprüfung nach ETAG 004 zu nennen, bei der eine Prüfwand (Fläche $\geq 6 \text{ m}^2$ mit Fensteröffnung) einer definierten hygrothermischen Beanspruchung durch Simulation von Klima-Wechselzyklen ausgesetzt wird (Temperaturbereich von +70 °C bis -20 °C sowie Beregnung). Anschließend wird die Prüfwand visuell auf Putzablösungen bzw. -rissbildungen untersucht und die Haftzugfestigkeit zwischen dem Unterputz und dem Dämmstoff ermittelt.

Stoßfestigkeit

Häufig wird zusätzlich die Stoßfestigkeit nach ISO 7892 überprüft und entsprechend den angegebenen Beanspruchungsgruppen bzw. Nutzungskategorien eingestuft:

- Gruppe I: Leicht zugänglicher Bereich in Erdbodennähe ohne Schutz gegen Stöße mit harten Gegenständen (jedoch ohne anormal hohe Beanspruchung).
- Gruppe II: Bereich mit Stößeinwirkung aus geworfenen oder gestoßenen Gegenständen, im Regelfall unter 5 m Gebäudehöhe.
- Gruppe III: Bereich, in dem eine Stößeinwirkung unwahrscheinlich ist, im Regelfall über 5 m Gebäudehöhe (jedoch sollte im Bereich von Balkonen die Beanspruchungsgruppe II zugrunde gelegt werden).

Diese Ergebnisse werden in den europäischen Zulassungen angegeben, nicht jedoch in den nationalen Zulassungen und sind ggf. beim Anbieter gesondert zu erfragen.

In besonders stoßgefährdeten Bereichen, wie z.B. Hofdurchfahrten, kann die Stoßfestigkeit durch die Anordnung einer zweiten Glasgewebewehrung erhöht werden.

Veralgung

Durch konstruktive Maßnahmen, wie z.B. durch

- einen ausreichenden Dachüberstand,
- die Anordnung von Tropfkanten und
- die Verhinderung von stehendem Wasser in Nischen und Rillen.

kann die Feuchtbeanspruchung und damit die Algengefährdung deutlich reduziert werden.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik lässt sich das Algen- bzw. Flechtenwachstum am wirkungsvollsten vermeiden, indem dem Putz Biozide beigefügt werden. Um auf den Einsatz von Bioziden verzichten zu können, werden aktuell folgende alternative Lösungsansätze zur Vermeidung einer Veralgung untersucht:

- Einfärbung der Oberflächen mit dunklen Farben zur Erhöhung der Strahlungsenergiegewinne bei gleichzeitiger Erhöhung der Speichermasse bzw. der spezifischen Wärmespeicherkapazität (ggf. unter Nutzung latent wärmespeichernder Systeme)
- Putze bzw. Beschichtungssysteme mit mikroglatte hydrophober Oberfläche (z.B. durch hydrophobierend wirkende wasserdampfdiffusionsoffene Silikonharz-Beschichtungen mit „Lotus-Effekt“) zur Minderung der Feuchtigkeitsaufnahme und einer möglichen Verschmutzung. Über die Langzeitwirksamkeit von Systemen mit diesem Abperleffekt von Niederschlagswasser gibt es zurzeit noch wenig gesicherte Erkenntnisse.
- Infrarotreflektierende Beschichtungen, die durch eine geringere langwellige Emission die Strahlungswärmeabgabe in den Nachthimmel reduzieren und damit die Gefahr der Unterkühlung vermindern

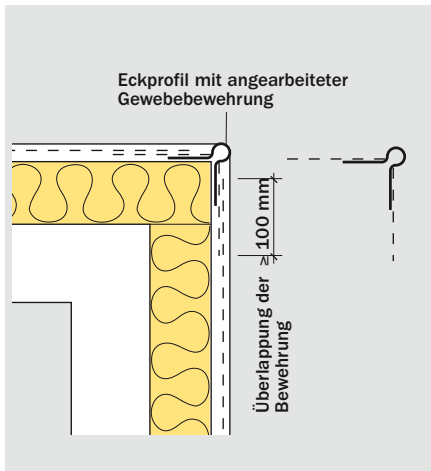


Bild 37: Kantenprofil mit werkseitig angearbeiteter Gewebestreifen

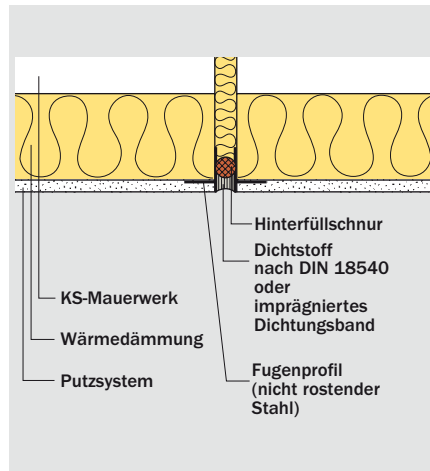


Bild 38: Dehnungsfugenausbildung mit Dichtstoff

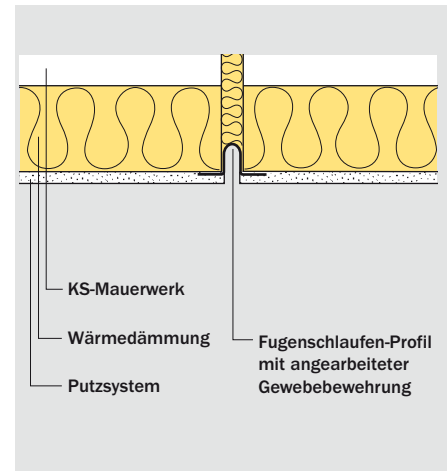


Bild 39: Dehnungsfugenausbildung mit Dehnungsfugenprofil

Gestaltung

Insbesondere bei Dickputzsystemen wird die gesamte Strukturvielfalt traditioneller Putzsysteme – vom Glattputz bis zum Rau- oder Kratzputz – angeboten. Bei der Verwendung von Glattputzen ist darauf hinzuweisen, dass bei gleicher Rissbreite Rissbildungen häufiger als optisch störend empfunden werden als bei rauerer Putzstrukturen und sich Gerüstlagen eher abzeichnen.

Die große Palette der Farbvielfalt wird entweder mit einem durchpigmentierten Oberputz oder mit zusätzlichen Farbbeschichtungen erzielt. Um temperaturbedingte Zwängungsspannungen zu begrenzen, sollte der Hellbezugswert der Oberflächen 20 nicht unterschreiten (möglichst helle Oberflächen) und in den Flächen nicht zu stark differieren.

Neue Entwicklungen beinhalten die genannten Putze und Beschichtungen mit mikroglatte hydrophober Oberfläche, weitere Gestaltungsmöglichkeiten ergeben sich mit keramischen Bekleidungen oder Naturwerksteinbekleidungen.

4.2.7 Details

Für Gebäudeecken und Kanten von Fenster- bzw. Türleibungen können Eckschutzgewebe oder Eckschutzprofile (Winkel aus Kunststoff oder korrosionsbeständigem Metall mit/ohne Gewebestreifen) verwendet werden (Bild 37).

Gebäudedehnungsfugen in der tragenden Konstruktion sind im WDVS durchgehend aufzunehmen (Bilder 38 und 39).

Im Bereich von Anschlüssen an angrenzende Bauteile – wie z.B. beim Blendrahmenanschluss – sind entweder spezielle, durch die Systemhersteller angebotene Profile zu verwenden oder es ist der Dämmstoff mit einem Fugendichtungsband zu hinterlegen und der Putz mit einem Kellenschnitt sauber zu trennen. Fenstersohlbänke sind darüber hinaus mit einer seitlichen Aufkantung sowie Unterschnitt im Leibungsbereich des WDVS anzuschließen. Dabei ist insbesondere bei Aluminium-Sohlblechen auf eine Schiebestoßausbildung zu achten, um eine zwängungsfreie Verformungsmöglichkeit zu gewährleisten.

In Form von Verarbeitungsrichtlinien, technischen Merkblättern etc. werden durch die Systemanbieter eine Vielzahl bewährter Konstruktionsdetails herausgegeben, die über die Angaben in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen hinausgehen.

Des Weiteren ist – im Hinblick auf die Vermeidung von Wärmebrücken – auf Blatt 2 zu DIN 4108 und die wärmeschutztechnisch optimierten KS-Details zu verweisen [32].



Bild 40: Vorgehängte Außenwandbekleidungen bieten interessante Gestaltungsmöglichkeiten.

4.3 Kalksandstein mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung

4.3.1 Konstruktionsprinzip

Hinterlüftete Außenwandbekleidungen (vorgehängte hinterlüftete Fassaden) bestehen im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten (Bild 41), die konstruktiv aufeinander abgestimmt sind:

- Tragender Untergrund
- Verankerungselemente
- Unterkonstruktion und Verbindungselemente
- Wärmedämmung
- Hinterlüftungsraum
- Befestigungselemente
- Bekleidungselemente

Über die Vorteile anderer außengedämmter Konstruktionen hinausgehend sind hinterlüftete Außenwandbekleidungen insbesondere für das gute dampfdiffusionstechnische Verhalten sowie die Gestaltungsvielfalt durch die verschiedenartigsten Materialien der Bekleidung bekannt.

Ein wesentliches Konstruktionsprinzip der hinterlüfteten Außenwandbekleidung besteht in den zwängungsfreien Verformungsmöglichkeiten sowohl der Unterkonstruktion als auch der Bekleidungselemente durch die Anordnung von Fest- und Gleitpunkten.

4.3.2 Entwicklung

Hinterlüftete Außenwandbekleidungen sind in Form von kleinformatigen Schiefer- oder Holzschindel-Bekleidungen bereits seit dem Mittelalter bekannt. Zeugen dieser Bauweise finden wir beispielsweise in der Eifel, im Harz, in Thüringen und in Sachsen. Dabei sind bis heute die Deckungsbilder, wie die „Deutsche Deckung“, die „Wabendeckung“ oder die „Schablonendeckung“, traditionell überliefert.

Insbesondere bei Gebäuden mit hohem Gestaltungswert gewinnen vorgehängte hinterlüftete Fassaden zunehmend an Bedeutung.

4.3.3 Baurechtliche Regelung

Die hinterlüftete Außenwandbekleidung ist ein mit der tragenden Wand mechanisch verbundenes System, dessen einzelne Bauprodukte unter Berücksichtigung der Vorgaben der DIN 18516-1 [33] und nach



Bild 42: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern kombiniert mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade

den in der Bauregelliste [21] bekannt gemachten technischen Regeln zu verwenden sind.

Bei Bekleidungselementen wird unterschieden zwischen:

- Großformatig – nach DIN 18516-1 mit Nachweis der Verwendbarkeit nach den technischen Regeln der Bauregelliste A, Teil 1 und bei wesentlicher Abweichung durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder nach Bauregelliste B, Teil 1 unter Berücksichtigung der Liste der Technischen Baubestimmungen, Teil II [23], d.h. in der Regel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Kleinformatig – (bis 0,4 m² Fläche und bis 5,0 kg Eigenlast) nach Bauregelliste C, 2.1 und nicht Gegenstand der DIN 18516-1
- Brettformatig – (bis 0,3 m Breite und mit Unterstützungsabständen durch die Unterkonstruktion bis 0,8 m) nach Bauregelliste C, 2.1 und nicht Gegenstand der DIN 18516-1

Die Unterkonstruktion als statisches Bindeglied zwischen Verankerungsgrund und Bekleidungselement bedarf eines Verwendbarkeitsnachweises nach den tech-

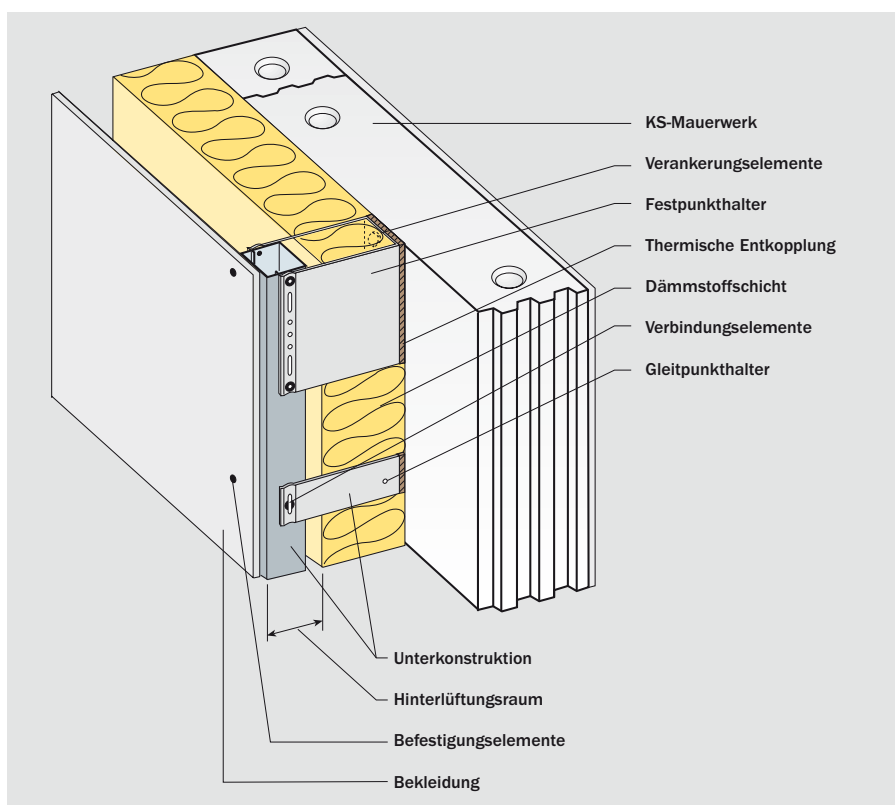


Bild 41: Konstruktionselemente von vorgehängten hinterlüfteten Außenwandbekleidungen

nischen Regeln der Bauregelliste A, Teil 1 bzw. der Bauregelliste B, Teil 1 sowie ggf. durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Für niet- und schraubenartige Verbindungen und Befestigungen erfolgt der Verwendbarkeitsnachweis gemäß Bauregelliste A, Teil 2, lfd. Nr. 2.17 durch allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse (abP). Alle anderen Verbindungs- oder Befestigungsarten bedürfen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung.

Für Verankerungselemente (überwiegend Dübel) sind allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen erforderlich. Ausgenommen sind die in DIN 18516-3 geregelten Verankerungselemente für Bekleidungen aus Naturwerkstein.

Dämmstoffe sind entsprechend den technischen Regeln der Bauregelliste B, Teil 1 zu verwenden.

Die erforderlichen Einzelnachweise (zur Standsicherheit, zum Brandschutz etc.) sind für die hinterlüftete Außenwandbekleidung jeweils objektbezogen auf Grundlage der DIN 18516-1 zu führen.

**4.3.4 Komponenten
Tragender Untergrund**

Der tragende Untergrund dient der Verankerung der Unterkonstruktion. In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der Verankerungselemente (Dübel) ist der zulässige Verankerungsgrund mit Angabe der zulässigen Dübelkräfte für jeden Dübeltyp angegeben. Wände aus KS-Mauerwerk erweisen sich dabei wegen der hohen Festigkeit als sehr guter Verankerungsgrund und führen damit zu wirtschaftlich günstigen Systemlösungen.

An die Ebenheit des Untergrunds werden bei hinterlüfteten Außenwandbekleidungen deutlich geringere Anforderungen als bei Wärmedämm-Verbundsystemen gestellt, da durch die Verankerungselemente und die Unterkonstruktion auch ein größerer Toleranzausgleich einfach möglich ist. Ein Vorteil, der wegen der handwerklich leicht zu gewährleistenden Ebenheit von Kalksandstein-Mauerwerk nicht ausgenutzt werden muss.

Verankerungselemente

Verankerungselemente sind Teile, die die Unterkonstruktion in der Wand mechanisch verankern. Sofern keine Unterkonstruktion erforderlich ist (wie z.B. bei Bekleidungen aus Naturwerkstein mit ein-

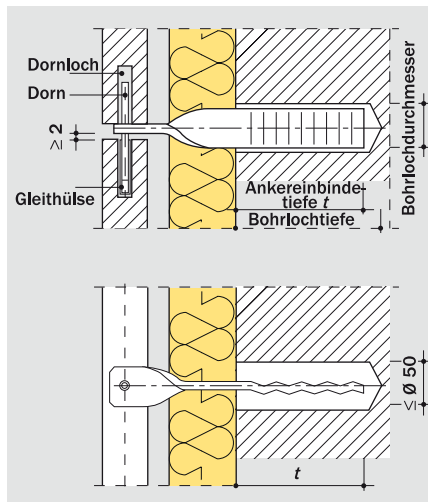


Bild 43: Direkte Verankerung von Naturwerksteinbekleidungen, Beispiel

gemörtelten Trag- und Halteankern nach DIN 18516-3), werden die Bekleidungs-elemente unmittelbar in der Wand verankert (Bild 43).

Die Verankerungselemente bestehen in der Regel aus einer bauaufsichtlich zugelassenen Dübel/Schraubenkombination. Die Dübel können aus Kunststoff oder Edelstahl gefertigt sein. Zulässig ist auch der Einsatz von Injektionsankern.

Zur Minimierung des Einflusses von punktuellen Wärmebrücken im Bereich der Verankerung ist zwischen Wandhaltern und Verankerungsgrund eine thermische Trennung zwingend vorzusehen (Bilder 41 und 44).

Wärmedämmung

Die Wärmedämmung muss – bei in der Regel geschossübergreifendem Hinterlüftungsraum – aus nichtbrennbaren Dämm-

stoffen bestehen. Überwiegend werden unkaschierte oder vlieskaschierte Dämmplatten aus Mineralwolle mit Wärmeleitfähigkeiten zwischen 0,032 W/(m·K) und 0,040 W/(m·K) verwendet. Sie müssen dem Anwendungstyp WAB nach DIN 4108-10 entsprechen und durchgehend wasserabweisend ausgerüstet sein.

Eine werkseitige Kaschierung der Dämmstoffplatten mit einem diffusionsoffenen Glasvlies dient zum einen als zusätzlicher Witterungsschutz während der Bauphase, zum anderen wird durch ein schwarzes Glasvlies erreicht, dass bei Bekleidungen mit offenen Fugen der Dämmstoff optisch nicht erkennbar ist.

Die Verlegung der Dämmstoffplatten erfolgt grundsätzlich dicht gestossen im Verband (Bild 45). Dabei muss die Wärmedämmung auch an angrenzende Bauteile und insbesondere an die Unterkonstruktion dicht angepasst werden, um Wärmebrücken zu vermeiden. Die Dämmstoffplatten sind hohlraumfrei zum Untergrund zu verlegen, um eine Hinterströmung durch die kalte Außenluft zu verhindern.

Die Mineralwolle-Dämmplatten werden überwiegend mechanisch mit Dämmstoffhaltern aus Kunststoff befestigt. Dabei sind im Mittel fünf Dämmstoffhalter pro m² entsprechend Bild 45 zu setzen. Um eine unzulässige Komprimierung der Dämmstoffdicke am Befestigungspunkt zu verhindern, sind vorzugsweise Dämmstoffhalter mit Tiefenanschlag einzusetzen (Bild 46).

Alternativ können Mineralwolle-Dämmplatten bei ausreichend tragfähigem Untergrund auch mit Bauklebern vollflächig fixiert werden. Die Abreißfestigkeit muss in diesem Fall mindestens 0,01 N/mm²

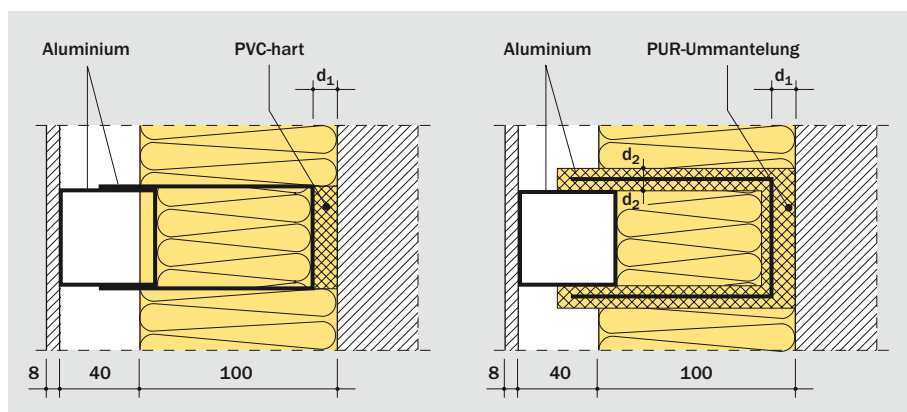


Bild 44: Maßnahmen zur Minimierung des Wärmebrückeneinflusses von Wandhaltern (aus [34])

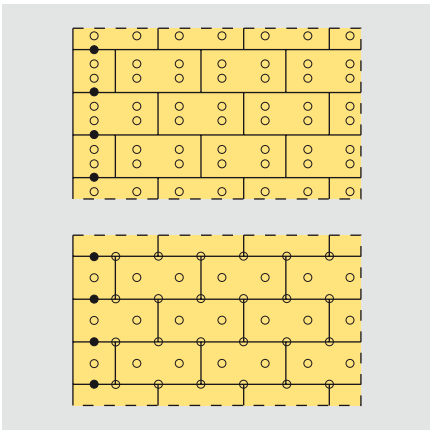


Bild 45: Anordnung von Dämmstoffhaltern

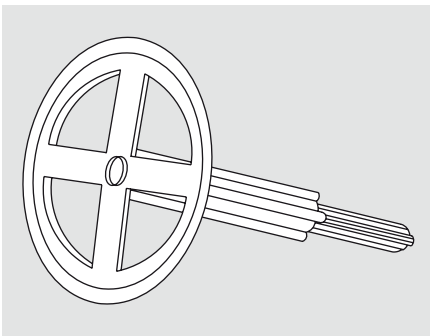


Bild 46: Dämmstoffhalter mit Tiefenanschlag

betragen. Bei geringerer Abreißfestigkeit ist eine ausschließliche Verklebung unzulässig.

In geringerem Umfang kamen früher auch Polystyrol-Dämmplatten (EPS-Dämmplatten) zur Anwendung. Da diese Dämmplatten grundsätzlich nur schwer entflammbar sind, ist die Verwendung bei hinterlüfteten Außenwandbekleidungen nicht mehr zulässig.

Bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwandkonstruktion ist der Einfluss der punktuellen Wärmebrücken im Bereich der Verankerung zu berücksichtigen [35]. Dieser Einfluss kann durch eine thermische Trennung mit wärmedämmender Unterlagscheibe aus geschlossenzelligem PVC-hart oder durch eine – selten angewandte – PUR-Ummantelung der Wandhalter (Bild 44) minimiert werden.

Neue Entwicklungen von Vakuum-Dämmstoff-Paneelen (VIP) die eine äußerst geringe Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_R = 0,006 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ aufweisen, werden zukünftig zu einer weiteren Reduzierung der

Konstruktionsdicke und damit zu einem Nutzflächengewinn führen.

Unterkonstruktion und Verbindungselemente

Die Unterkonstruktion ist das statische Bindeglied zwischen Bekleidung und tragendem Untergrund. Sie ist standsicher mit dem Bauwerk verbunden und überträgt alle auftretenden Belastungen aus Eigenlast, Windsog und Winddruck.

Unterkonstruktionen werden aus Metall (in der Regel Aluminium oder in seltenen Fällen Edelstahl) oder aus Holz hergestellt.

Wesentliches Konstruktionsprinzip von Metall-Unterkonstruktionen ist die zwangsfreie Verformungsmöglichkeit der Tragprofile, die durch die Ausbildung von Fest- und Gleitpunkten gewährleistet wird. Die Verwendung von nietartigen Verbindungen ist zu empfehlen, da sich damit Gleitpunkte nachprüfbar setzen lassen. Bild 47 zeigt eine Metall-Unterkonstruktion mit unterschiedlich gestalteten Wandhaltern, eine weitere Ausführungsvariante ist die Montage der Tragprofile mit Hilfe von Abstandsdübeln entsprechend Bild 48.

Bei Holz-Unterkonstruktionen werden sowohl Zweifach- als auch Dreifachlatten ausgeführt (vgl. Bild 49). Für die Verbindungen werden in der Regel Holzschrauben verwendet.

Die Unterkonstruktion wird für den Grenzfallzustand der Tragfähigkeit in Abhängigkeit vom Verankerungsgrund, von der gewählten Bekleidung und ihren Formaten und von den zu erwartenden Lasten bemessen.

Bekleidungselemente

Als Bekleidungselemente werden eine Vielzahl von Werkstoffen angeboten, die in ihren gebräuchlichsten Anwendungen in Tafel 11 zusammengestellt sind.

Befestigungselemente

Die Befestigung der Bekleidungselemente erfolgt in Abhängigkeit vom Baustoff und vom Format.

Holzbekleidungen werden u.a. als Holzschalungen ausgeführt. Übliche Schalungsarten sind dabei die Deckel-, Stülp- oder Profiltrettschalung (Bilder 51 bis 53 aus [36]), die mit Schraubnägeln aus nicht rostendem Stahl zu befestigen sind.

Kleinformatige Bekleidungen aus Schiefer- oder Faserzementplatten werden ins-

besondere in traditionellen Deckungsbildern mit Schraubnägeln oder Schrauben befestigt (Bild 50). Weitere Varianten er-

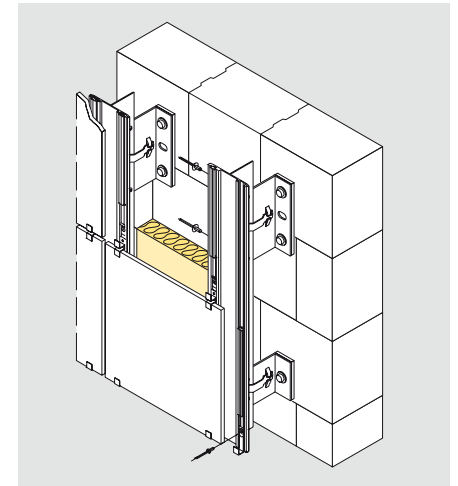


Bild 47: Aluminium-Unterkonstruktion mit Wandhaltern

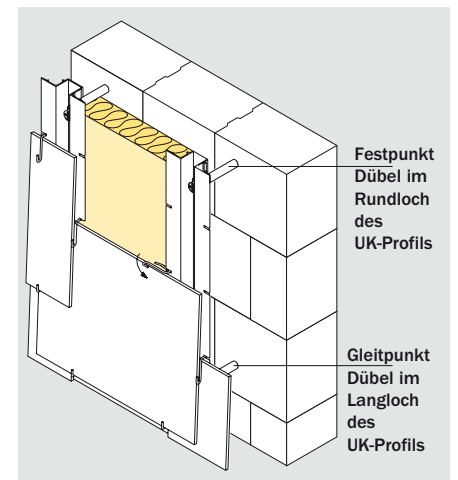


Bild 48: Aluminium-Unterkonstruktion mit Abstandsdübeln

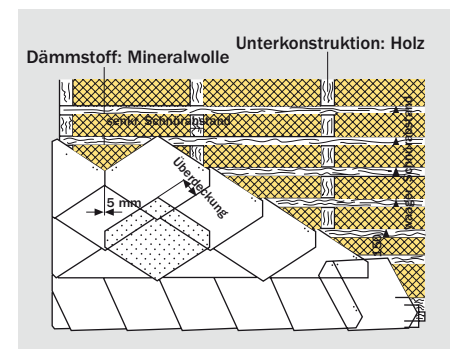


Bild 49: Holz-Unterkonstruktion, hier: Zweifachlattung mit kleinformatiger Bekleidung in Rhombus-Schablonen-Deckung

Tafel 11: Bekleidungsmaterialien

Werkstoff der Bekleidung	Kleinformatige Anwendung	Großformatige Anwendung	Brettformatige Anwendung
Aluminium	X	X	–
Aluminiumverbundplatten	–	X	–
Kupfer	X	X	–
Titanzink walzblank oder vorbewittert	X	X	–
Naturwerksteinplatten	–	X	–
Schieferplatten	X	–	–
Keramikplatten	X	X	–
Tonstrangplatten	X	X	X
Faserzementplatten	X	X	X
Faserzement-Wellplatten	–	X	–
Holzzementplatten	–	X	X
Harzkompositplatten, faserverstärkt	X	X	X
Hochdruck-Schichtpressstoffplatten	X	X	X
Verbundelemente	–	X	–

geben sich mit unterschiedlichen Hakenbefestigungen (Bild 53).

Großformatige Bekleidungen – z.B. aus Faserzement – können sichtbar (u.a. mit Nieten, Bild 54) oder nicht sichtbar (mit Hinterschnittankern, Bild 55) befestigt werden. Zur zwängungsfreien Befestigung mit Nieten erfolgen die Bohrungen zunächst in den Faserzementtafeln und anschließend mit einer Bohrlehre in der Unterkonstruktion. Durch die Bohrlehre wird ein zentrischer Sitz des Niets im größeren Bohrloch der Faserzementtafel und damit eine zwängungsfreie Aufnahme der hygromischen Verformungen gewährleistet. Bei Verwendung von Hinterschnittankern werden die erforderlichen Gleitpunkte durch eine justierbare und in Plattenebene zweiachsig zwängungsfreie Verbindung z.B. zwischen Agraffen und Tragprofilen ausgebildet.

Großformatige Faserzement-Wellplatten können in vertikaler oder horizontaler Verlegung durch Holzschrauben mit Pilzdichtungen an Holzunterkonstruktionen befestigt werden (Bilder 56 und 57).

Die Befestigung von klein- oder brettformatigen Tonstrangplatten erfolgt mit besonderen Plattenhaltern auf einer systemgebundenen Unterkonstruktion (Bild 58).

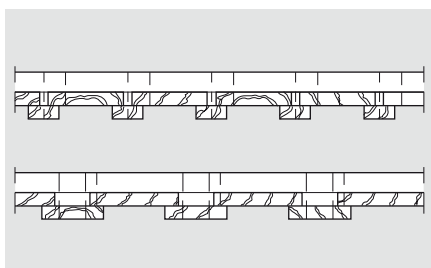


Bild 50: Deckelschalung

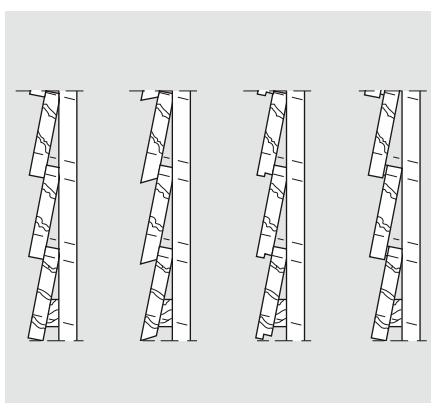


Bild 51: Stülpschalung

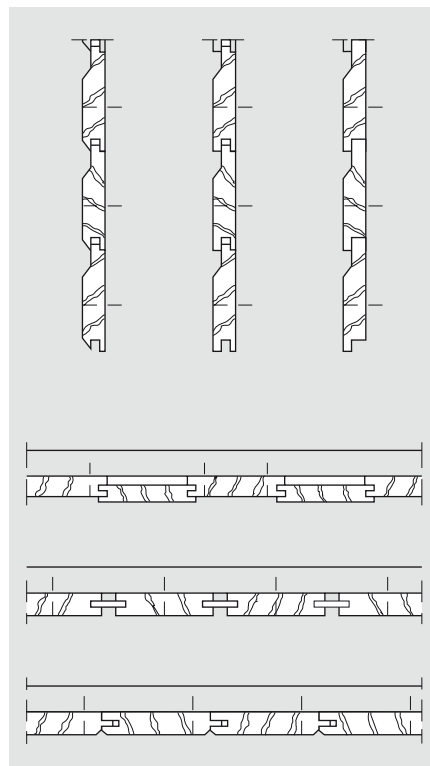


Bild 52: Profilbrettschalung

Naturwerksteinbekleidungen nach DIN 18516-3 werden in der Regel ohne Unterkonstruktion mit eingemörtelten Trag- und Halteankern direkt verankert (Bild 43). Dabei wird die Eigenlast der Platte durch die eingemörtelten Ankerdorne am unteren Plattenende aufgenommen. Die Ankerdorne am oberen Plattenende dienen zur anteiligen Windsog- und Winddrucksicherung und bieten durch den zusätzlichen Einbau von Gleithülsen eine ausreichende zwängungsfreie Verformungsmöglichkeit der Naturwerksteinplatte bei hygromischen Wechselbeanspruchungen. Alternativ können vorgefertigte Verankerungssysteme mit Dübeln verwendet werden.

Bei Naturwerksteinbekleidungen nach DIN 18516-3 mit Unterkonstruktion werden sowohl sichtbare Befestigungen mit Schrauben (Bild 59) als auch nicht sichtbare Befestigungen mit Nutlagerung (Bild 60) eingesetzt. Mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung können abweichend Hinterschnittanker – bei dann möglichen geringeren Dicken der Naturwerksteinplatten – verwendet werden. Mit diesen Hinterschnittankern werden rückseitig Agraffen befestigt (Bild 61), die in

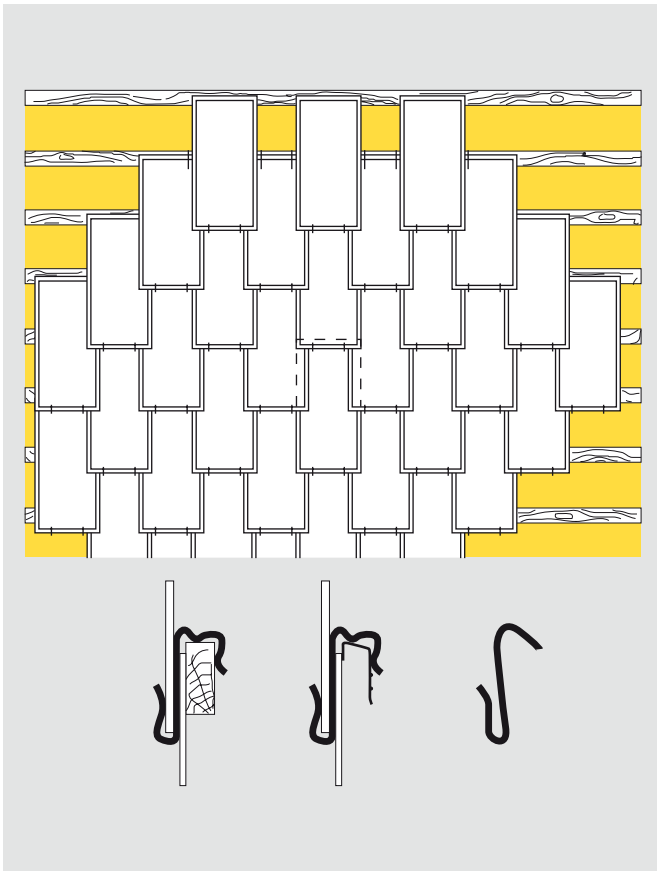


Bild 53: Hakenbefestigung von kleinformatiger Bekleidung

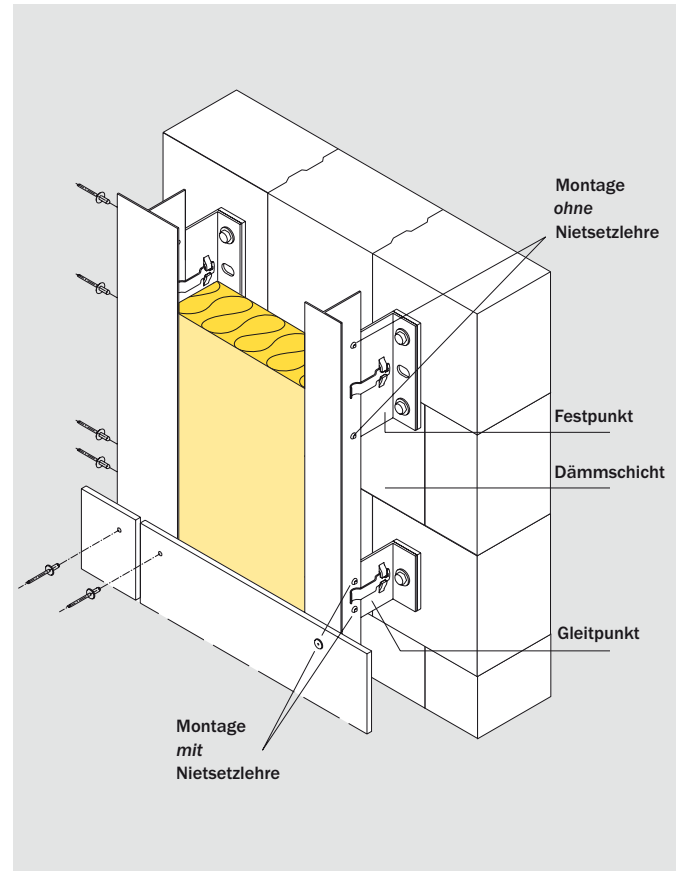


Bild 54: Sichtbare Nietbefestigung von großformatiger Bekleidung

die Tragprofile der Unterkonstruktion eingehängt werden.

Eine entsprechende nicht sichtbare Befestigung wird auch für großformatige keramische Bekleidungen angeboten, bei denen z.B. entsprechende keramische Befestigungspunkte auf der Rückseite aufgesintert sind. Eine häufig eingesetzte Ausführungsvariante ist die sichtbare Befestigung der keramischen Bekleidung mit Klammern.

Metallbekleidungen, die in der Regel kassettensförmig profiliert (Bild 62) sind, um ihre Steifigkeit zu erhöhen, werden mit Nieten oder häufig auch hängend befestigt. Dabei werden sowohl sichtbare als auch nicht sichtbare Varianten (Bild 63) angeboten. Die oberen Befestigungspunkte dienen zur Aufnahme der Eigenlast sowie der anteiligen Windlasten, die unteren nur zur Aufnahme der anteiligen Windbelastung. Durch die hängende Befestigung ist eine zwangungsfreie Verformungsmöglichkeit der Kassettenelemente gewährleistet. Um eine störende Geräuschentwicklung infolge Reibung bei Temperaturlängenänderungen zu vermeiden, sind die Einhänge-

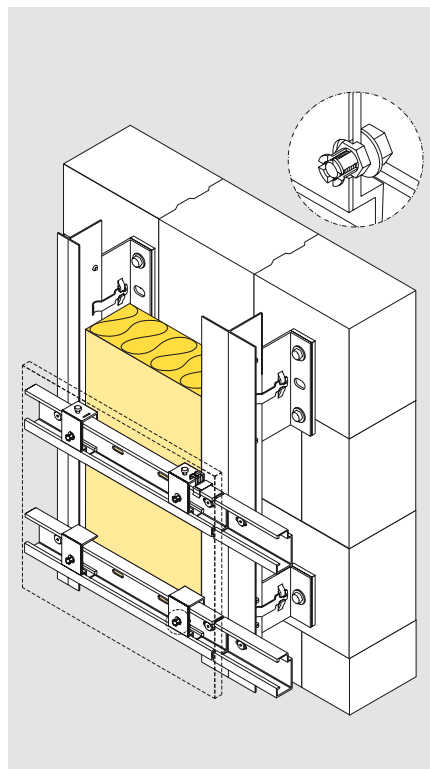


Bild 55: Nicht sichtbare Befestigung von großformatiger Bekleidung mit Hinterschnittdübeln

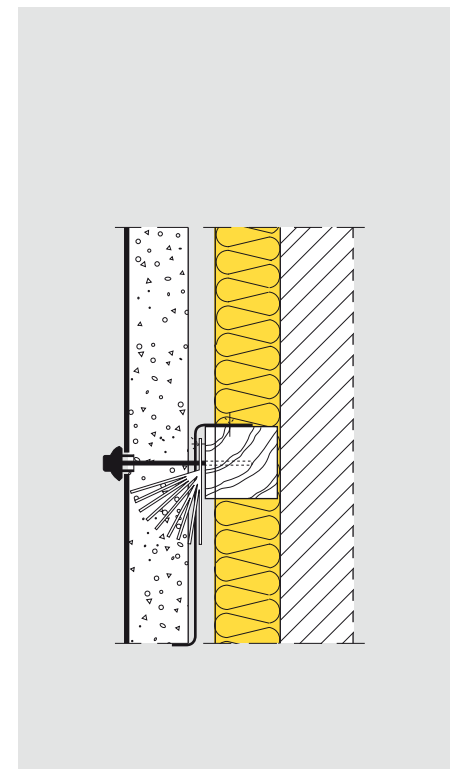


Bild 56: Vertikale Verlegung von Faserzement-Wellplatten

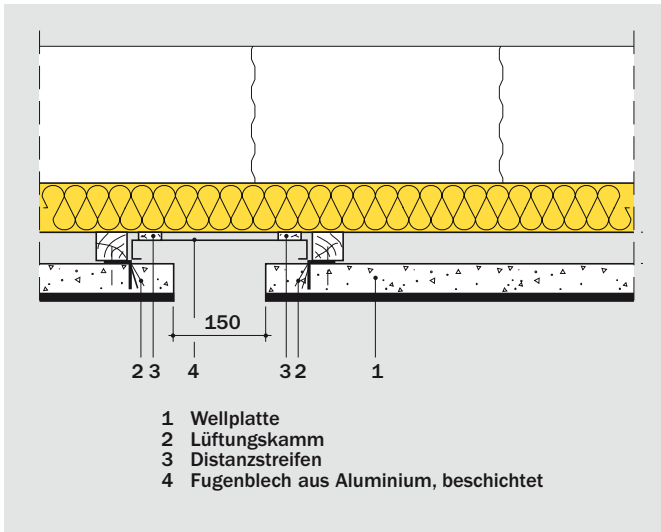


Bild 57: Horizontale Verlegung von Faserzement-Wellplatten

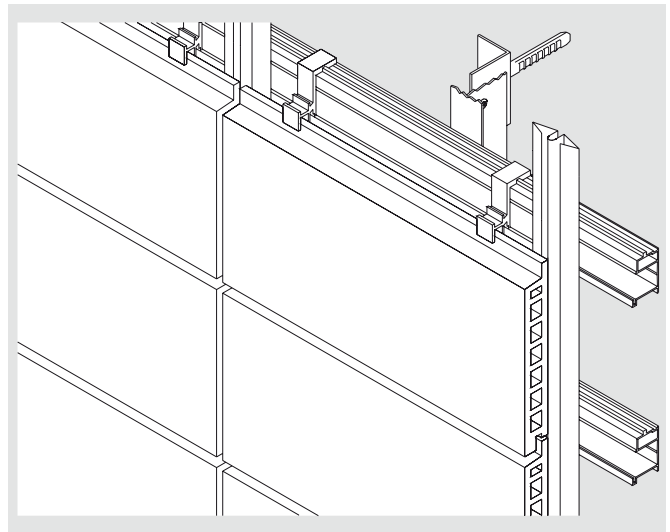


Bild 58: Befestigung von Tonstrangplatten

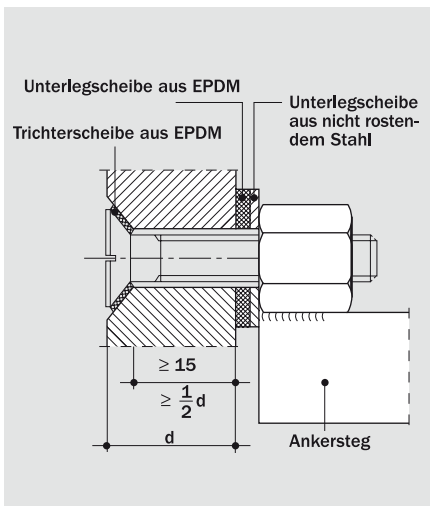


Bild 59: Sichtbare Schraubbefestigung von Naturwerksteinbekleidungen

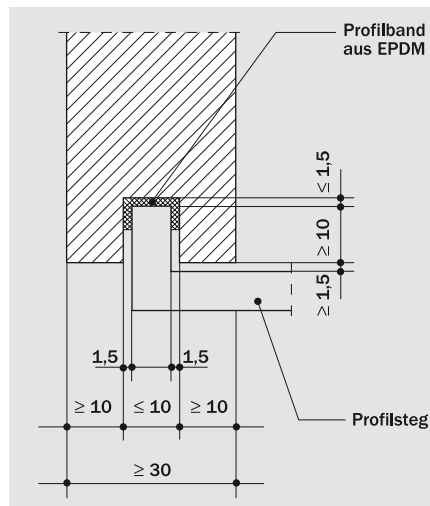


Bild 60: Nicht sichtbare Befestigung mit Profilstegen

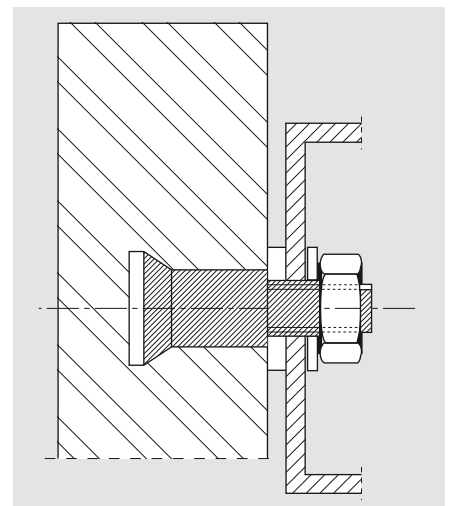


Bild 61: Nicht sichtbare Befestigung in den Bekleidungsplatten mit Hinterschnittdübeln

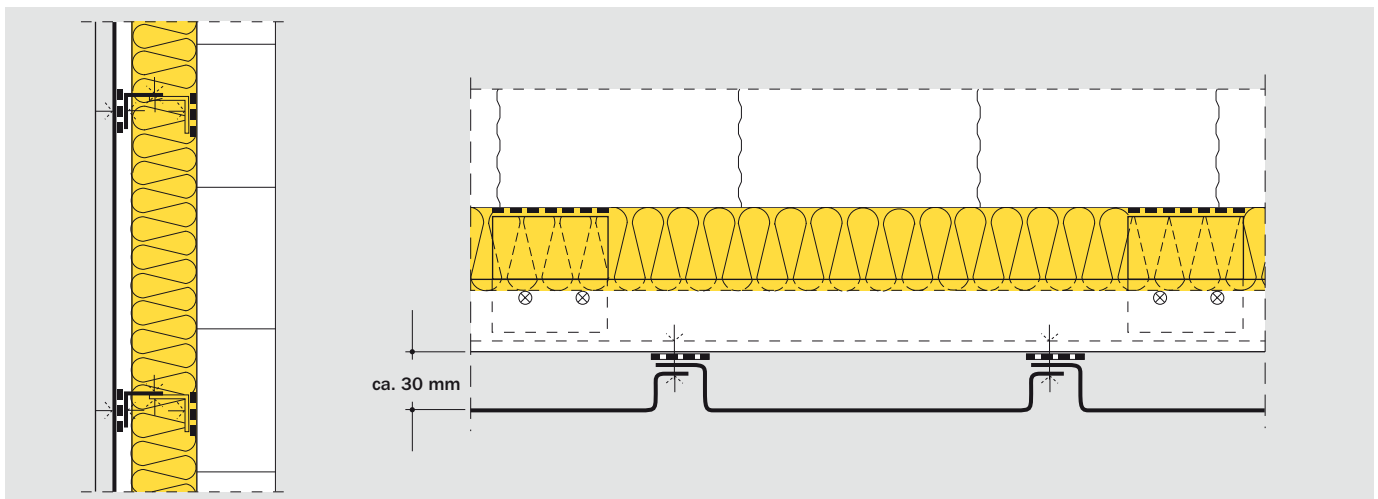


Bild 62: Aluminium-Kassetten mit Nietbefestigung

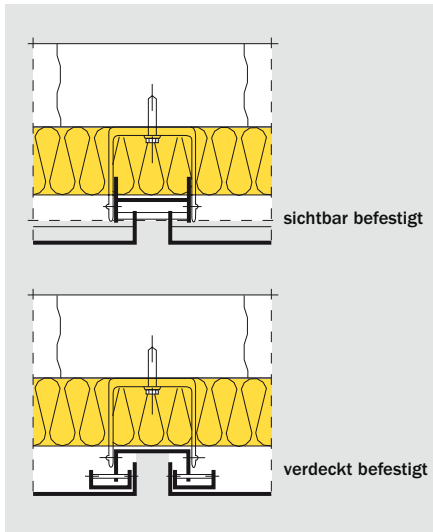


Bild 63: Aluminium-Kassetten mit hängender Befestigung

bolzen mit einer Kunststoffbeschichtung auszuführen.

Darüber hinaus werden Befestigungsvarianten angeboten, die gleichzeitig bestimmende Gestaltungselemente der Fassaden sein können (Bild 63).

4.3.5 Eigenschaften

Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit wird entsprechend den oben genannten Baubestimmungen erbracht. Für die Unterkonstruktion wird eine objektbezogene Bemessung erforderlich. Diese bieten Systemanbieter von Unterkonstruktionen vielfach als Serviceleistungen an.

Bei großformatigen Bekleidungselementen mit statisch unbestimmter Lagerung ist bei der Biegebemessung das Steifigkeitsverhältnis zwischen Bekleidung und Unterkonstruktion zu berücksichtigen. Die Kräfte in den Befestigungen sind ebenfalls unter Berücksichtigung der Steifigkeit der Unterkonstruktion zu ermitteln.

Untersuchungen im Windkanal und am Bauwerk zeigten, dass auf den Ansatz erhöhter Wind-Soglasten im Randbereich verzichtet werden kann, wenn eine dauerhafte vertikale Windsperre im Bereich der Gebäudekanten (Bild 64) angeordnet wird und die Außenwandbekleidung eine ausreichende Durchlässigkeit aufweist. Eine diesbezügliche Regelung wurde bei Begrenzung der Luftschichtdicke in die DIN EN 1991-1-4 und den zugehörigen Nationalen Anhang aufgenommen.

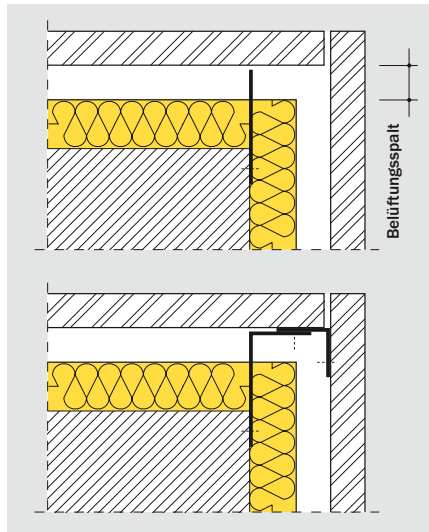


Bild 64: Vertikale Windsperre im Bereich von Gebäudekanten zur Reduzierung der Wind-soglasten im Randbereich [34]

Eine Zwangsbeanspruchung aus behinderter hygrothermischer Verformung wird durch das Konstruktionsprinzip der zwängungsfreien Verformung mittels Fest- und Gleitpunkten ausgeschlossen.

Brandschutz

An die Baustoffklassen der Einzelkomponenten werden die Anforderungen nach Tafel 12 gestellt.

Nach der Musterliste der Technischen Baubestimmungen sind als Anforderung an die Gesamtkonstruktion nach DIN 18516-1 in jedem zweiten Geschoss horizontale Brandsperren im Hinterlüftungsraum anzuordnen, die über mindestens 30 Minuten ausreichend formstabil sein müssen.

Die Brandsperren sind zwischen dem tragenden Untergrund und den Bekleidungselementen einzubauen. Bei außenliegender Wärmedämmung genügt der Einbau zwischen den Dämmstoffplatten und der Bekleidung, wenn der Dämmstoff im Brandfall formstabil ist und einen Schmelzpunkt von > 1.000 °C aufweist. Die Größe der Öffnungen in den Brandsperren ist auf 100 cm²/(lfd. m) Wand zu begrenzen. Die Öffnungen können als gleichmäßig verteilte Einzelöffnungen oder als durchgehender Spalt angeordnet werden.

Horizontale Brandsperren sind nicht erforderlich

- bei Außenwänden ohne Öffnungen,
- wenn durch die Fensteranordnung eine Brandausbreitung im Hinterlüftungsraum ausgeschlossen ist (z.B. bei durchgehenden Fensterbändern),
- bei Verwendung von nichtbrennbaren Baustoffen, wenn der Hinterlüftungsraum im Bereich der Leibung von Öffnungen umlaufend im Brandfall über mindestens 30 Minuten formstabil verschlossen ist.

Zudem darf der Hinterlüftungsraum nicht über eine Brandwand geführt werden, als vertikale Brandsperre ist der Hinterlüftungsraum mindestens in Brandwanddicke mit einem im Brandfall formstabilen Dämmstoff mit einem Schmelzpunkt von > 1.000 °C zu schließen.

Die Anforderungen gelten vor dem Hintergrund der jeweiligen Gebäudeklassifizierung nach Landesbauordnung.

Tafel 12: Brandschutzanforderungen an die Komponenten von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen

Bauteil	Erforderliche Baustoffklasse (nach DIN 4102)		
	Gebäudeklassen 1 bis 3	Gebäudeklassen 4 und 5	Hochhäuser
Bekleidung	B2	B1	A
Unterkonstruktion	B2	B1 (B2 ¹⁾)	A
Wärmedämmung	A ²⁾	A ²⁾	A ²⁾
Halterungen	A ³⁾	A ³⁾	A ³⁾

¹⁾ Die Verwendung von B2-Baustoffen ist zulässig, wenn die Brandausbreitung „ausreichend lang begrenzt ist“ (z.B. für stabförmige Unterkonstruktionen bei einem Abstand ≤ 4 cm zwischen Bekleidung und Wärmedämmung sowie einer Abschottung der Fenster- und Türleibungen mit A-Baustoffen).

²⁾ Gilt nicht für Halteelemente von Dämmstoffschichten

³⁾ Gilt nicht für bauaufsichtlich zugelassene Dübel (Verankerungselemente)

Brandschutztechnische Untersuchungen zeigen, dass die Dämmstoffhalter aus Kunststoff im Brandfall zu einer nur geringen Energiefreisetzung führen und zu keiner Brandausbreitung beitragen. Deshalb wird für Dämmstoffhalter nicht die Baustoffklasse A nach DIN 4102 [2] gefordert.

Wärmeschutz

Bei hinterlüfteten Außenwandbekleidungen können sämtliche – auch zukünftige – Anforderungen an den Wärmeschutz in besonderer Weise erfüllt werden, da durch die Dimensionierung der Verankerungselemente jede beliebige Wärmedämmstoffdicke eingesetzt werden kann.

Im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz erweisen sich KS-Außenwände mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen aufgrund der Hinterlüftung, der außen liegenden Wärmedämmung und der innen liegenden hohen speicherfähigen Masse als besonders günstig. Nach Auswertung aktueller Untersuchungen erscheint perspektivisch zudem die Nutzung der im Hinterlüftungsraum anfallenden Wärme zur energetischen Optimierung möglich (Tafel 13).

Schallschutz

Umfangreiche Eignungsprüfungen an Außenwandssystemen mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden zeigen, dass mit größer werdenden Dicken der Wärmedämmung und mit wachsender Masse der vorgehängten Fassade die Schalldämmung gegen Außenlärm steigt.

In Tafel 14 sind die Untersuchungsergebnisse unterschiedlicher Fassadenbekleidungen auf einem 24 cm dicken Kalksandstein-Mauerwerk (einseitig verputzt) angegeben, das ohne zusätzliche Bekleidung ein Schalldämm-Maß von $R_w = 54$ dB aufweist.

Es zeigt sich, dass sich eine Verbesserung des Schalldämm-Maßes zwischen 6 und 12 dB ergibt. In keinem Fall wurde eine Verschlechterung des Schalldämm-Maßes festgestellt.

Bei Berechnung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung im Gebäude wird der Einfluss der Fassadenbekleidung vernachlässigt, es wird nur die Hintermauerschale aus Kalksandstein berücksichtigt.

Feuchteschutz

Außenwandkonstruktionen mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden erweisen sich im Hinblick auf den Tauwasserschutz als besonders günstig, da der Dampfdiffusionswiderstand nach außen abnimmt und die das Bauteil durchdringende Feuchtigkeit im Hinterlüftungsraum durch die vorbeistreichende Luft schadensfrei abgeführt werden kann. Auch im Hinblick auf die Austrocknung von Baufeuchte sind hinterlüftete Bekleidungen besonders positiv zu bewerten.

Nach DIN 18516-1 ist eine Mindestbreite des Hinterlüftungsraums von 2 cm ausreichend, die örtlich auf 5 mm reduziert werden darf. Bei der Ausbildung von offenen Fugen zwischen den Bekleidungselementen sollte jedoch eine Mindestbreite von 4 cm eingehalten werden.

An Kopf- und Fußpunkten der hinterlüfteten Fassade sind Be- und Entlüftungsöffnungen von 50 cm^2 je m Fassadenlänge anzuordnen. Diese können – und sollten – zusätzlich mit so genannten Insektengitter oder Ähnlichem gesichert werden.

Witterungsschutz

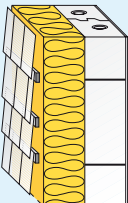
Der Witterungsschutz wird durch die Bekleidung und die Hinterlüftung gewährleistet, so dass die in geringem Umfang hinter ein Bekleidungselement eindringende Niederschlagsmenge keinen schädigenden Einfluss ausüben kann.

Bei kleinformatigen Bekleidungselementen erfolgt der Witterungsschutz im Bereich der Fugen durch die notwendige Überdeckung (Bild 65). Bei großformatigen Bekleidungselementen können offene Fugen ausgeführt werden, wenn die Fugenbreite zwischen den Bekleidungselementen ≤ 10 mm und der Abstand der Außenwandbekleidung zur Wärmedämmung ≥ 40 mm ist (Bild 66). Die in den Hinterlüftungsraum eindringende Niederschlagsmenge ist dann von vernachlässigbarer Größenordnung. Bei Einsatz von hydrophobierten Mineralwolle-Dämmstoffen wird lediglich ein 3 bis 4 cm breiter Streifen im Fugenbereich bis zu einer Tiefe von ca. 1 mm durchfeuchtet. Diese Durchfeuchtung wird nach Beendigung der Regenphase durch die Hinterlüftung in kurzer Zeit nach außen abgeführt, so dass der Dämmstoff trocknet.

Gebrauchstauglichkeit

Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit der Systeme werden insbesondere bei den Bekleidungselementen und ihrer Be-

Tafel 13: U-Werte von einschaligen KS-Außenwänden mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m ² ·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	31,5	10	–	–	0,28	0,30	Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung 1 cm Innenputz ($\lambda = 0,70 \text{ W/(m·K)}$) 17,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff Typ WAB nach DIN 4108-10 2 cm Hinterlüftung Fassadenbekleidung (Dicke nach Art der Bekleidung)
	33,5	12	–	–	0,24	0,26	
	37,5	16	–	–	0,18	0,20	
	41,5	20	–	–	0,15	0,16	
	46,5	25	–	–	0,12	0,13	
	51,5	30	–	–	0,10	0,11	

Als Dämmung können unter Berücksichtigung der stofflichen Eigenschaften und in Abhängigkeit von der Konstruktion alle genormten oder bauaufsichtlich zugelassenen Dämmstoffe verwendet werden, z.B. Hartschaumplatten, Mineralwolleplatten.

¹⁾ Bei anderen Dicken oder Steinrohrichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

Tafel 14: Untersuchungsergebnisse der Schalldämmung vorgehängter hinterlüfteter Fassaden nach DIN 52210, Prüfstand 52210-P-W nach [37] (Grundkonstruktion: 24 cm Kalksandstein, RDK 2,0 mit $R_w = 54$ dB), einseitig verputzt

Nr.	Fassadenbekleidung		Fugen		Unter-konstruktion		Mineralwolle-dämmung		$R_{w,P}$ [dB]
	Material	Formate [mm]	offen	geschl.	Alu	Holz	6 cm	12 cm	
1	Faserzement, 4,5 mm	600 x 300	X		X		X		62
2			X		X			X	64
3	Faserzement, 8 mm	2.500 x 1.110	X		X		X		62
4				X	X			X	62
5	Aluminium-Sandwich, 4 mm	2.513 x 1.120	X		X		X		62
6			X		X			X	62
7	Keramik, 8 mm	592 x 592	X		X		X		60
8			X		X			X	63
9	Tonstrang-platten	200 x 390		X	X		X ¹⁾		64
10	Aluminium, bandbeschich-tet, 2 mm	630 x 4.480		X	X			X	66
11		1.228 x 4.480		X	X			X	64

¹⁾ 8 cm Dämmstoffdicke

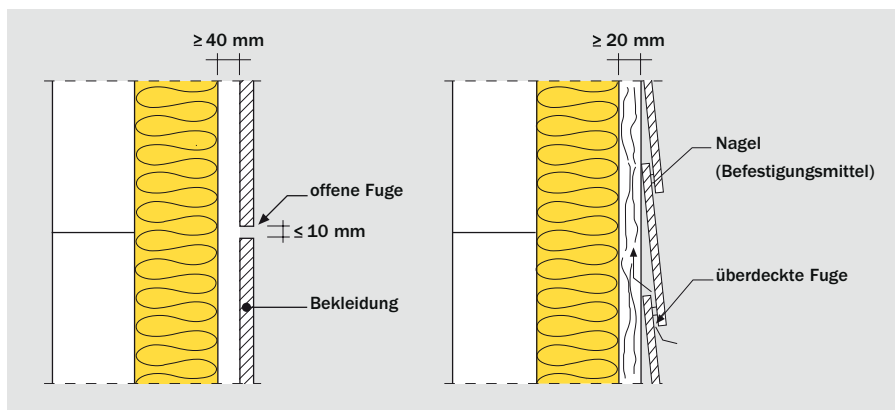


Bild 65: Fugenausbildung bei hinterlüfteten Bekleidungen (aus [34])

festigung umfassende Untersuchungen zum Einfluss der klimatisch bedingten Einwirkungen durchgeführt, so in den Zulassungsverfahren z.B. bei Faserzementtafeln nach harmonisierter europäischer Normung.

Angaben zum Schutz der Baustoffe und Bauteile (vornehmlich bezogen auf Metall und Holz) enthält die DIN 18516-1.

Vorgehängte hinterlüftete Außenwandbekleidungen können entsprechend der örtlichen Beanspruchung abgestimmt gewählt werden, so dass auch ein sehr hoher Widerstand gegenüber Stößen mit harten oder weichen Gegenständen gewährleistet ist. Im Hinblick auf Vandalismusschäden, z.B. in Form von Graffiti, ist auf [38] zu verweisen.

Gestaltung

Durch die Material- und Formvielfalt der Bekleidungs-elemente und ihrer Befestigung werden die großen Gestaltungsmöglichkeiten von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen bestimmt. Zunehmend werden auch Kombinationen mit Wärmedämm-Verbundsystemen oder mit zweischaligem Mauerwerk angewandt.

Darüber hinaus bieten hinterlüftete Außenwandbekleidungen als Systemlösung die Möglichkeit, andere Elemente in der Fassade zu integrieren. So können z.B. Photovoltaik- oder Solarthermie-Module harmonisch eingepasst werden. Darüber hinaus können auch nicht sichtbare Blitzschutz-einrichtungen (unter Nutzung der vorhandenen Metall-Unterkonstruktion) ausgeführt werden [39].

Ist der Einsatz von Photovoltaik- oder Solarthermie-Modulen geplant, ist die Verwendbarkeit z.B. als großformatiges Bekleidungs-element durch eine bauaufsichtliche Zulassung (oder eine Zustimmung im Einzelfall) nachzuweisen.

4.3.6 Wirtschaftlichkeit

Trotz höherer Investitionskosten erweisen sich vorgehängte hinterlüftete Fassaden aufgrund der hohen Dauerhaftigkeit, der geringen Wartungsintensität und der Möglichkeit ggf. einzelne Elemente einfach auszutauschen, als eine langfristig wirtschaftliche Lösung. Durch die Demontierbarkeit ist zusätzlich eine einfache Trennung der Materialien im Hinblick auf eine Wiederverwertung oder -verwendung gewährleistet.



Fotos: Eternit

Bild 66: VHF mit großformatigen Faserzementplatten

5. EINSCHALIGES KS-MAUERWERK OHNE WÄRMEDÄMMUNG

5.1 Konstruktionsübersicht

Bei Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen oder Bauwerken ohne Anforderungen an den Wärmeschutz – wie z.B. Wirtschafts- und Industriegebäude oder landwirtschaftliche Bauten – können einschalige KS-Außenwände ohne Wärmedämmung eingesetzt werden. Einschalige Außenwände ohne Wärmedämmung haben neben den Anforderungen an die Standsicherheit insbesondere die Funktion des Witterungsschutzes. Dabei kann zwischen folgenden Konstruktionen unterschieden werden:

- Verputztes einschaliges KS-Mauerwerk
- Unverputztes einschaliges KS-Verblendmauerwerk)

5.2 Eigenschaften

Bei *verputzten einschaligen KS-Außenwänden* können Kalksandsteine nach DIN V 106 verwendet werden, da der Witterungsschutz durch den Außenputz erfüllt wird. Der Außenputz ist bei hoher Schlagregenbeanspruchung wasserabweisend einzustellen.

Bei *einschaligem KS-Verblendmauerwerk* (Bild 67) wird der Witterungsschutz durch die außen liegende Steinreihe und die Schalenfuge bestimmt. Nach DIN EN 1996-1-1/NA muss jede Mauerschicht mindestens zwei Steinreihen gleicher Höhe aufweisen, zwischen denen eine durchgehende, schichtweise versetzte, hohlraumfrei vermörtelte, 20 mm dicke Längsfuge (Schalenfuge) verläuft. Die Mindestwanddicke beträgt 310 mm. Alle Fugen müssen vollfugig und kraftschlüssig vermörtelt werden. Die äußere Steinreihe ist aus frostwiderstandsfähigen KS-Verblendern auszuführen.

Bei einschaligem Verblendmauerwerk gehört die Verblendung zum tragenden Querschnitt. Nach DIN EN 1996-1-1/NA ergibt sich die zulässige Beanspruchung aus der im Querschnitt verwendeten niedrigsten Steindruckfestigkeitsklasse.

Bezüglich der Ausführung der Verfugung ist auf Bild 12 zu verweisen. Die Verfugung sollte als Fugenglattstrich oder als nachträgliche Verfugung kantenbündig mit der KS-Verblender-Oberfläche ausgeführt werden.

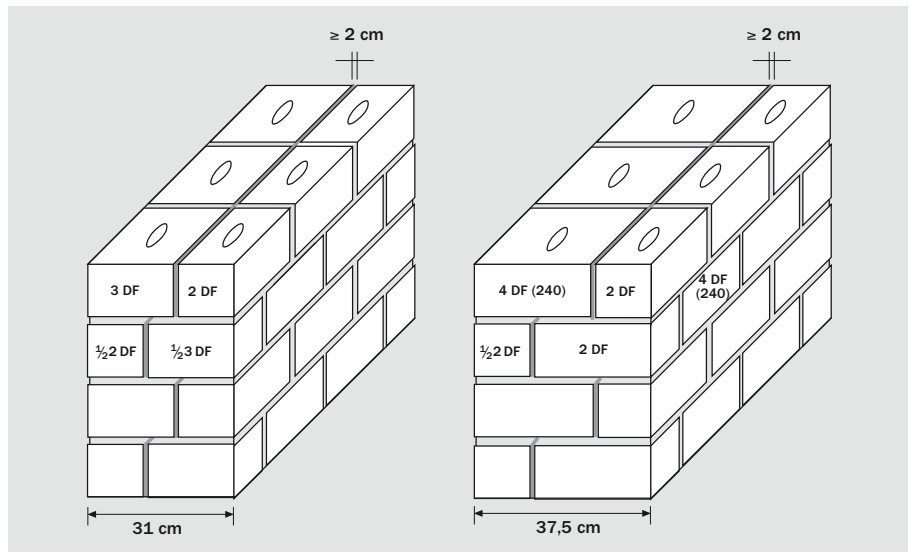


Bild 67: Ausführungsbeispiele für einschaliges Verblendmauerwerk

5.3 Anwendungsbereiche

5.3.1 Wirtschaftsbauten

Für Wirtschaftsbauten wie Industriehallen, Werkstattgebäude usw. eignen sich Kalksandsteine besonders gut (Tafel 15).

Kalksandsteine sind

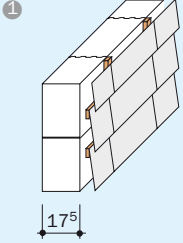
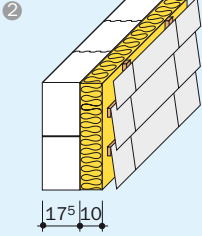
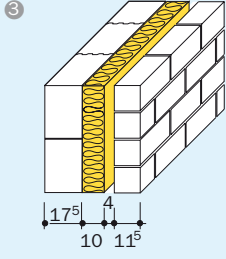
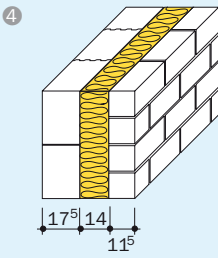
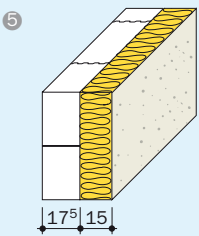
- robust, dauerhaft beständig und widerstandsfähig auch gegen mechanische Beanspruchungen im Industriebereich,
- wegen ihrer hohen Steindruckfestigkeitsklassen von üblicherweise 12 oder 20 für hochbelastbares Mauerwerk geeignet,

- hart (widerstandsfähige Oberfläche) und wegen ihrer hohen Maßgenauigkeit und ihrer planebenen Oberflächen für sichtbar bleibendes Mauerwerk außen und innen anwendbar,
- nichtbrennbar – Baustoffklasse A nach DIN 4102 bzw. europäische Klasse A1 oder A2-s₁,d₀ nach DIN EN 13501-1 – und erfüllen damit auch hohe Brandchutzanforderungen in wirtschaftlichen Wanddicken,
- vorzüglich schalldämmend bei hohen Steinrohdichteklassen (z.B. RDK 2,0).



Bild 68: Werkstattgebäude in Hilpolstein

Tafel 15: KS-Außenwandkonstruktionen für Wirtschaftsbauten, Beispiele

	Konstruktion	Anwendungsbereich
	<p>Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Bekleidung</p> <p>innen: KS-Sichtmauerwerk (RDK 2,0), gestrichen, Fugen raumseitig winddicht verspachtelt außen: hinterlüftete Bekleidung</p> <p>$U = 2,39 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Unbeheizte Gebäude, z.B. landwirtschaftliche Gebäude mit Außenklimabedingungen, die Fassadenbekleidung aus Holzschindeln, Faserzementplatten, Leichtmetallplatten o.Ä. bietet viele Möglichkeiten einer modernen Fassadengestaltung.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Hoher Regenschutz ● Hoher Schallschutz
	<p>Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Bekleidung und Wärmedämmung</p> <p>innen: KS-Sichtmauerwerk (RDK 2,0), gestrichen, Fugen raumseitig winddicht verspachtelt Dämmschicht λ 035 außen: hinterlüftete Bekleidung</p> <p>$U = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Niedrig beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Werkstattgebäude, Produktionsstätten, Verkaufsmärkte</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Wärmeschutz ● Hoher Regenschutz ● Hoher Schallschutz
	<p>Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht</p> <p>innen: KS-Mauerwerk (RDK 2,0), gestrichen, Fugen raumseitig winddicht verspachtelt Dämmschicht λ 035 Luftschicht $\geq 4 \text{ cm}$ (stark belüftet) außen: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern (RDK 2,0), imprägniert</p> <p>$U = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Niedrig beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Werkstattgebäude, Produktionsstätten, Verkaufsmärkte</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Wärmeschutz ● Hoher Regenschutz ● Hoher Schallschutz ● Robuste Wandoberflächen
	<p>Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung</p> <p>innen: KS-Mauerwerk (RDK 2,0), verputzt Dämmschicht λ 035 außen: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern (RDK 2,0), imprägniert</p> <p>$U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Gebäude mit hohen Innentemperaturen, vorzugsweise Büro- und Verwaltungsgebäude, landwirtschaftliche Gebäude mit hohen Innentemperaturen (z.B. Schweineställe)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Hoher Wärmeschutz ● Hoher Regenschutz ● Hoher Schallschutz ● Robuste Wandoberflächen
	<p>Einschalige KS-Außenwand mit WDVS</p> <p>innen: KS-Mauerwerk (RDK 2,0), verputzt außen: WDVS mit Putzbeschichtung λ 032</p> <p>$U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$</p>	<p>Beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Gebäude mit hohen Innentemperaturen, vorzugsweise Büro- und Verwaltungsgebäude, landwirtschaftliche Gebäude mit hohen Innentemperaturen (z.B. Schweineställe)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Hoher Wärmeschutz ● Hoher Regenschutz ● Hoher Schallschutz

Eine Variante des Sichtmauerwerks für den Bereich der Industrie- und Wirtschaftsgebäude sind einschalige Außenwände aus robusten Kalksandsteinen. Für diese Außenwände können Blocksteine oder Plansteine verwendet werden. Diese Mauerwerksfassade ist besonders bei Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen zu empfehlen, die in wettergeschützten Lagen mit geringer Schlagregenbeanspruchung errichtet werden und konstruktiv mit einem Witterungsschutz versehen sind, z.B. mit auskragendem Gesims, Vordach usw. (Bild 68).

Sichtmauerwerk und sichtbar bleibendes Mauerwerk sind keine Industrieprodukte. Der optische Reiz liegt in der handwerksgerechten Verarbeitung. Nicht die Beschaffenheit der einzelnen Steine entscheidet, sondern die ästhetische Gesamtwirkung der Fläche. Die Anforderungen an das Erscheinungsbild sind deshalb vom Planer eindeutig zu definieren.

5.3.2 Landwirtschaftliche Bauten

Wände von Ställen (und in geringerem Umfang auch anderen landwirtschaftlichen Bauten) unterliegen erheblichen Anforderungen hinsichtlich ihrer Belastbarkeit und Dauerhaftigkeit.

Mechanische Belastbarkeit

Der starke Bewegungsdrang der Tiere setzt mechanisch belastbare Baustoffe voraus, die in der Lage sind, statische und insbesondere dynamische Beanspruchungen aufzunehmen. Das betrifft z.B. Schweineställe oder Pferdeställe, in denen die Wandflächen durch größere harte Stöße, z.B. durch Hufschlag, punktuell hoch beansprucht werden.

Diesen Anforderungen werden Wände aus KS-Mauerwerk durch ihre hohe Festigkeit in hohem Maße gerecht. Aufgrund der glatten Oberflächen der KS-Steine sind zudem Verletzungen der Tiere, die bei rauem Mauerwerk auftreten können, nicht zu erwarten.

Verputztes KS-Mauerwerk bietet hervorragenden Schutz vor Ankauen bzw. Befressen durch alle Tiere, insbesondere Rinder, Pferde und Schweine.

Beständigkeit bei Reinigung, Verwendung von Anstrichen und Beschichtungen

Von großer Bedeutung für die Tierhaltung ist die Stallhygiene sowohl durch ein gutes Stallklima als auch durch die erforderliche Reinhaltung. Stetig wiederkehrende Reinigung und Desinfektion sind ausschlaggebend für die Gesundheit der Tiere. Hierfür sind glatte Wandflächen notwendig, die auch einer wiederholten Einwirkung von Wasser und Desinfektionsmitteln ohne Schäden widerstehen und unempfindlich sind gegen die ständige Belastung durch die in der Stallluft enthaltenen Gase (NH_3 , H_2S , CO_2) in Verbindung mit Staub und hoher (Luft-) Feuchte.

Das KS-Mauerwerk ist ein hervorragender Untergrund für Anstriche, Beschichtungen oder Fliesen. Die Wände sind so leichter zu reinigen und zu desinfizieren. Bei Anstrichen müssen die Fugenbereiche zwischen den Steinen sauber ausgebildet und glatt gestrichen sein. Zur besseren Reinigung kann unverputztes KS-Mauerwerk auch mit einem elastischen Abdichtungssystem versehen werden. Verschiedene Hersteller von bauchemischen Produkten bieten hier erprobte Lösungen an.

In Schweineställen sollten die Wände stets bis zu einer Höhe von ca. 1,25 m durch Anstriche oder Beschichtungen geschützt werden. Die Stoffe müssen toxisch



Bild 69: KS-Mauerwerk ist auch in Pferdeställen gut einsetzbar – die hellen robusten Oberflächen schaffen für Mensch und Tier eine freundliche Raumatmosphäre.



Bild 70: Beschichtetes bzw. gestrichenes KS-Mauerwerk erleichtert die Reinigung.

unbedenklich sein. Das ist durch Prüfzeugnisse der Hersteller nachzuweisen. Bei der Reinigung der Wände ist darauf zu achten, dass Anstriche bzw. Beschichtungen nicht in Folge ungeeigneter Düseneinstellung oder eines zu hohen Drucks des Hochdruckreinigers abgelöst werden.

Chemische Beständigkeit

KS-Mauerwerk ist weitgehend beständig gegen Gülle, z.B. aus der Schweinemast. In umfangreichen praxisnahen Untersuchungen der Kalksandstein-Industrie wurde die hohe Beständigkeit von Kalksandstein gegenüber Düngemitteln und aggressiven Medien nachgewiesen, wie sie in der Landwirtschaft vorkommen. Die Ergebnisse stimmen mit den Erfahrungen aus dem jahrzehntelangen Praxiseinsatz von KS-Wänden in der Landwirtschaft sehr gut überein.

Anforderungen bei der Lagerung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten

Bei der Lagerung und dem Umschlagen von landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Jauche, Gülle und Silagesickersäften sind einzuhalten:

- das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [40],
- die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS) und die diesbezüglichen Verwaltungs- und Ausführungsvorschriften der Bundesländer.

Gemäß den Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes müssen Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Silagesickersäften (JGS-Anlagen) so beschaffen sein, dass der bestmögliche Schutz der Gewässer vor Verunreinigung oder sonstiger nachteiliger Veränderung ihrer Eigenschaften erreicht wird. Dies gilt für den Bau und die Unterhaltung dieser Anlagen gleichermaßen.

Grundsätzlich ist in Bereichen, die im Geltungsbereich des WHG liegen, die Abdichtung von KS-Mauerwerk mit geeigneten bauchemischen Produkten erforderlich.

Stallklima

Das Klima in geschlossenen Ställen mit steuerbaren raumklimatischen Anlagen – Schweineställe für Mast und Ferkelerzeugung, Geflügelställe für Mast und Eierproduktion – wird durch eine Reihe von Einflussfaktoren bestimmt, u.a. durch:

- Temperatur und relative Feuchte der Außen- und Innenluft
- Wärmeleistung und Wasserdampfabgabe der Tiere
- Regelung der Lüftung
- Wärmeschutz der Außenwände und des Daches

Die schweren KS-Wände haben stabilisierenden Einfluss auf das Raumklima und dämpfen Wärme- und Feuchteschwankungen. Das ist besonders im Sommer von Bedeutung: Die hohe Wärmespeicherefähigkeit der KS-Innenwände wirkt wie eine natürliche Klimaanlage.

Für Stallgebäude mit hohen relativen Luftfeuchten im Innern sind hochgedämmte KS-Außenwandkonstruktionen (Kalksandstein mit WDVS oder mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade sowie zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung, besonders geeignet.

Brandschutz von Ställen

Der Brandschutz spielt bei landwirtschaftlichen Bauten eine große Rolle, zumal die Tiere selbst im Brandfall ihre gewohnte Umgebung nicht verlassen. Die Kalksandsteine sind nichtbrennbar und sind der Baustoffklasse A1 nach DIN 4102 bzw. der europäischen Klasse A1 oder A2-s₁,d₀ nach DIN EN 13501-1 zuzuordnen. Kalksandsteinwände bieten hohen Brandschutz.



Bild 71: Rohbau eines Maststalls



Bild 72: Einschalige KS-Außenwand bei einem Reitstall

6. FREI STEHENDE KS-WÄNDE

Frei stehende Wände werden weder seitlich durch Querwände oder Stützen, noch oben durch anschließende Decken- oder Ringbalken gehalten. Dies trifft z.B. für Einfriedungen und Brüstungen zu.

6.1 Standsicherheit

Zur Ermittlung der Horizontal- und Eigenlasten ist DIN EN 1991-1-4/NA [41] zu beachten. Bei den Windlastannahmen ist die Windlastzone, die Geländekategorie und die Höhenlage der Bauteile über Gelände zu beachten.

Zulässige Höhen frei stehender KS-Wände der Steinrohdichte 2,0 kg/(dm³) ohne Aussteifung und ohne Auflast sind danach wie folgt: Für die Windzone 2, welche die Windzone 1 auf der sicheren Seite mit

abdeckt, ergibt sich nach [42] bei Verwendung von KS-Blocksteinen mit Schichtmaßhöhe 25 cm folgende zulässige Anzahl von Steinschichten:

- Wanddicke 17,5 cm: 1 Steinschicht
- Wanddicke 24 cm: 2 Steinschichten
- Wanddicke 30 cm: 3 Steinschichten
- Wanddicke 36,5 cm: 5 Steinschichten

Die Angaben gelten für eine Kronenhöhe der Wände bis zu maximal 8 m über Geländeoberkante.

Sollen frei stehende Mauerwerkswände höher gemauert werden, sind diese Wände durch Pfeiler und ggf. zusätzlich durch biegesteife Querriegel auszusteiern. Ohne



Bild 73: Frei stehende KS-Wand mit Aussteifungen

Tafel 16: Aussteifung frei stehender Wände aus KS mit bzw. ohne oberen Querriegel bei einer Höhe über Gelände von 0 bis 8 m¹⁾

Wanddicke <i>d</i> [cm]	Wandhöhe <i>h</i> [m]	Empfohlener Abstand <i>a</i> [m]	Aussteifungspfeiler	
			Stahlprofil (statisch erforderlich) ³⁾	Stahlbeton- querschnitt <i>b/d</i> 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

Riegel gilt die Wand als dreiseitig gehalten. Mit einem zusätzlichen biegesteifen Querriegel als Wandkrone kann von einer vierseitigen Halterung ausgegangen werden. Zur Aussteifung eignen sich Stahlprofile oder Stahlbetonpfeiler. Damit werden die in Tafel 16 angegebenen Wandhöhen ausführbar.

6.2 Gebrauchstauglichkeit

Zur Minimierung der Rissgefährdung aus hygrothermischer Zwangsbeanspruchung sollten die Einzelwandlängen frei stehender Wände (ohne zusätzliche Aussteifung) 6 bis 8 m nicht überschreiten.

6.3 Witterungsschutz

Für unverputzte frei stehende Wände sind KS-Verblender zu wählen.

Frei stehende Wände müssen an der Mauerkrone gegen Regenwasser geschützt werden. Hierfür eignen sich Natursteinplatten, Mauerabdeckungen aus vorgefertigten Aluminiumprofilen, Betonfertigteile, Dachziegel etc. Dabei ist auf einen ausreichenden Überstand sowie die Ausbildung von Abtropfkanten (Bild 73) zu achten.

Rollschichten aus Mauerwerk haben sich als obere Abdeckung von frei stehenden Wänden nicht bewährt, da insbesondere der Fugenmörtel durch die starke Regenbeanspruchung in der Dauerhaftigkeit gefährdet ist.

LITERATUR

- [1] ARGEBAU (Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Bundesländer): Musterbauordnung (MBO) von Nov. 2002 (zuletzt geändert durch Beschluss vom Oktober 2008)
- [2] DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
- [3] Institut für Bautechnik: Richtlinien für die Verwendung brennbarer Baustoffe im Hochbau (RbBH). Berlin 1978
- [4] DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
- [5] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007 (zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 29. April 2009)
- [6] DIN 4109 Schallschutz im Hochbau
- [7] Kück, U.; Nowrousian, M.; Hoff, B.; Engh, I.: Schimmelpilze – Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2009
- [8] Umweltbundesamt (Hrsg.): Schimmel im Haus – Ursachen, Wirkungen, Abhilfe. Berlin 2012
- [9] Deutsche Energie Agentur (Hrsg.): Gesund Wohnen. Gut gelüftet. Schlau geheizt. Berlin 2010
- [10] Klaas, H.; Schulz, E.: Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk. In: Schadenfreies Bauen, Band 13, 2. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2002
- [11] Schubert, P.: Verformung und Rissicherheit. Erschienen im Fachbuch „KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung“, Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, 6. Auflage, Hannover 2014
- [12] Schubert, P.: Formänderungen von Mauersteinen, Mauer Mörtel und Mauerwerk. In: Mauerwerk-Kalender 17, S. 623–637, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1992
- [13] Mann, W.; Zahn, J.: Murfor®; Bewehrtes Mauerwerk zur Lastabtragung und zur konstruktiven Rissesicherung – ein Leitfaden für die Praxis. N. V. Beckaert S. A., Zwevegem/Belgien 1991
- [14] Schubert, P.: Zur rißfreien Wandlänge von nichttragenden Mauerwerkswänden. In: Mauerwerk-Kalender 13, S. 473–488, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1988
- [15] Schubert, P.: Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerksbauten. In: Mauerwerk-Kalender 21, S. 621–651, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1996
- [16] Kasten, D.; Schubert, P.: Verblendschalen aus Kalksandsteinen – Beanspruchung, rißfreie Wandlänge, Hinweise zur Ausführung. In: Bautechnik 62 (1985), Nr. 3, S. 86–94
- [17] Deutsche Bauchemie e.V.: Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (KMB) – erdberührte Bauteile –. 3. Ausgabe, Mai 2010
- [18] Cziesielski, E.; Vogdt, F. U.: Schäden am Wärmedämm-Verbundsystemen. In: „Schadenfreies Bauen“, Band 20, 2. überarbeitete u. erweiterte Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2007
- [19] www.baulinks.de (ARCHmatic – Alfons Oebbecke): Absatzzahlen des Fachverbandes Wärmedämm-Verbundsysteme für 2011 positiv. Redaktionsbeitrag vom 19.03.2012
- [20] Fraunhofer Institut für Bauphysik: Langzeitverhalten von Wärmedämmverbundsystemen. Kurzmittteilung Nr. 461, 2005, Verfasser: H. Künzel, H. M. Künzel, K. Sedlbauer
- [21] Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C; Ausgabe 2012/1. DIBT Mitteilungen 26.03.2012
- [22] Leitlinie für die europäische technische Zulassung (European Technical Approval Guideline – ETAG) 004 für außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht
- [23] Liste der Technischen Baubestimmungen, Teil II, Anwendungsregelungen für Bauprodukte und Bausätze nach europäischen technischen Zulassungen und harmonisierten Normen nach der Bauproduktenrichtlinie; Ausgabe Februar 2012. DIBT Mitteilungen 26.10.2012
- [24] DIN EN ISO 9229:2007-11, Wärmedämmung; Begriffe
- [25] DIN 55699:2005-06, Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen
- [26] DIN EN 13499:2003-12, Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol, Spezifikation
- [27] DIN EN 13500:2003-12, Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle, Spezifikation
- [28] DIN EN 13163:2001-10, Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS), Spezifikation
- [29] DIN EN 13162:2001-10, Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW), Spezifikation
- [30] DIN EN 13501:2002-06, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
- [31] Hahn, C.: Brandschutz. Erschienen im Fachbuch „KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung“, Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, 6. Auflage, Hannover 2014
- [32] KALKSANDSTEIN – Detailsammlung. Bezug über KS-Homepage
- [33] DIN 18516 Außenwandbekleidungen, hinterlüftet
- [34] Cziesielski, E.; Schrepfer, T.: Hinterlüftete Außenwandkonstruktionen und Wärmedämmverbundsysteme. In: Betonkalender 1998, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998
- [35] FVHF – Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängten hinterlüftete Fassaden e.V.: Richtlinie – Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, Ausgabe 1998
- [36] Dierks, K. u.a.: Baukonstruktion. 2. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf 1990
- [37] FVHF – Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängten hinterlüftete Fassaden e.V.: FVHF-Focus Nr. 4: Die Schalldämmung mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden
- [38] WTA Merkblatt 2-5-97 D: Anti-Graffiti-Systeme, Ausgabe Februar 1998
- [39] FVHF – Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängten hinterlüftete Fassaden e.V.: FVHF-Focus Nr. 14: Hochwirksamer Gebäudeblitzschutz mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden
- [40] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 31.07.2009 (zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 9 des Gesetzes vom 24.02.2012)
- [41] DIN EN 1991-1-4/NA:2012-10 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten
- [42] Graubner, C.A.; Schmitt, M.: Tragverhalten freistehender windbeanspruchter Mauerwerkswände aus Kalksandstein nach DIN EN 1996/NA; Gutachten 120243 von 06/2013

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 V 106 [2] zu verwenden und zwar

- bei Schornsteinköpfen, Kellereingangsmauern, Stütz- und Gartenmauern, stark strukturiertem Mauerwerk und ähnlichen Anwendungsbereichen, KS-Verblender (KS Vb),
- für zweischaliges Mauerwerk mit oder ohne Wärmedämmung mit außenseitiger Beschichtung der Außenschale KS-Verblender (KS Vb),

- für zweischaliges Mauerwerk mit oder ohne Wärmedämmung ohne außenseitige Beschichtung oder Imprägnierung der Außenschale KS-Verblender (KS Vb) oder KS-Vormauersteine (KS Vm),
- für einschaliges Außensichtmauerwerk mit außenseitiger Beschichtung der Außenschale KS-Verblender (KS Vb),
- für einschaliges Außensichtmauerwerk ohne außenseitige Beschichtung der Außenschale KS-Verblender (KS Vb) oder KS-Vormauersteine (KS Vm).

Innensichtmauerwerk

Für Innensichtmauerwerk spielt die Frostwiderstandsfähigkeit der Steine im Allgemeinen keine Rolle. Spezielle Verblendsteine für Innensichtmauerwerk gibt es nicht, so dass hier im Einzelfall zu entscheiden ist, ob KS-Verblender, KS-Vormauersteine oder „normale“ Kalksandsteine – letztere bei geringeren optischen Anforderungen – zur Anwendung kommen.

1. PLANUNG UND AUSSCHREIBUNG

Der Begriff *Sichtmauerwerk* ist nicht eindeutig definiert, und es kann sehr Unter-

schiedliches darunter verstanden werden. Einheitliche Kriterien für das optische Erscheinungsbild von Sichtmauerwerk gibt es nicht. Um Missverständnissen zwischen Planern, Bauunternehmern und Bauherren vorzubeugen, muss daher die erwartete Leistung – das Sichtmauerwerk – in der Leistungsbeschreibung möglichst vollständig und eindeutig beschrieben werden.

Die *konstruktive Ausführung* von Mauerwerk ist in Normen, Richtlinien und Merkblättern eindeutig beschrieben.

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. Festgelegt sind:

- Die Soll-Dicken der Fugen mit Stoßfugen = 1 cm und Lagerfugen = 1,2 cm
- 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 normales Mauerwerk, das verputzt wird. Sie sagen jedoch wenig über das optische Erscheinungsbild aus. Von der Tradition her gibt es weiterhin Regeln und Festlegungen bei den Mauerverbänden, z.B. bei Läuferverband, Kreuzverband oder Blockverband.

Tafel 1: Außen- und Innensichtmauerwerk – Unterschiede

Außensichtmauerwerk	Innensichtmauerwerk
Verblendmauerwerk von ein- und zweischaligen Außenwänden	Innensichtmauerwerk mit hohen optischen Anforderungen
Verblendmauerwerk für Industriebauten und Bauten in der Landwirtschaft	Sichtbar belassenes Innenmauerwerk mit geringen optischen Anforderungen, z.B. in untergeordneten Räumen



Bild 1: KS-Außensichtmauerwerk



Bild 2: Innensichtmauerwerk aus KS-Verblendern

Foto: Atelier Kinold

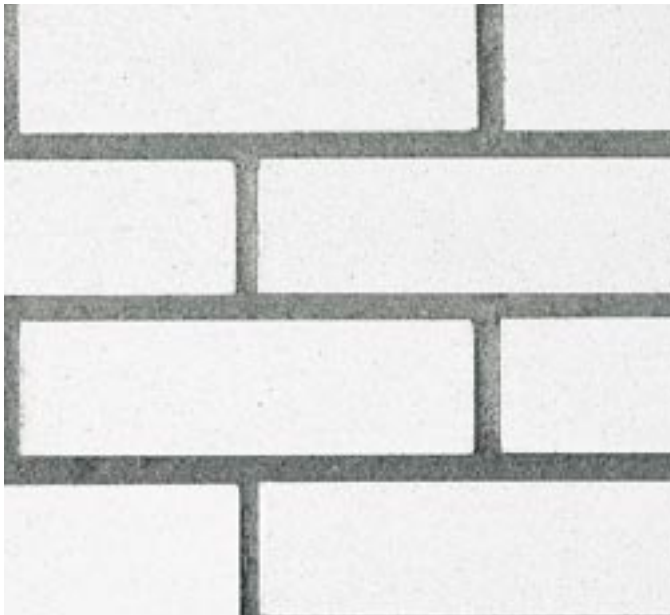


Bild 3: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern im Format NF



Bild 4: Sichtmauerwerk aus bruchrauen KS-Verblendern, Format NF



Bild 5: Sichtmauerwerk aus bossierten KS-Verblendern, Format NF, weißer Fugenmörtel



Bild 6: Sichtmauerwerk aus KS-Fasensteinen, außen in Verblenderqualität und mit vermörtelten Stoßfugen

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); KS Vm nur ohne Beschichtung bzw. Imprägnierung	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 in Tafel 3 zusammengestellt und werden nachfolgend näher erläutert.

2.1 Steinart und Steinformat

Für Sichtmauerwerk sind hochwertige Verblendsteine 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.

Tafel 3: Einflüsse auf die Gestaltung des Sichtmauerwerks

- Steinart und Steinformat
- Steinoberfläche
- Mauerverband
- Verfugung
- Oberflächenbehandlung

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.

KS-Vormauersteine und KS-Verblender 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.

Verblendsteine 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 müssen daher der Mauerverband, die Eckausbildungen sowie das Einpassen der Tür- und Fensteröffnungen in den Verband geplant werden.

2.2 Steinoberfläche

Durch die Wahl der Steinoberfläche – glatt oder strukturiert (bruchrau, bossiert oder gefast) – lassen sich sehr unterschiedliche gestalterische Wirkungen erreichen.

2.3 Mauerverband

Sichtmauerwerk von Verblendschalen oder Ein-Stein-Mauerwerk mit einer Steinreihe je Schicht wird meist im Läuferverband ausgeführt. Zur Verbesserung der Rissesicherheit ist ein Mauerverband mit halbsteiniger Überdeckung einem Verband mit viertelsteiniger Überdeckung vorzuziehen.



Bild 7: Innensichtmauerwerk aus KS-Fasensteinen, weiß gestrichen



Bild 8: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern im Format 2 DF, farblos imprägniert, Mauerverband mit viertelsteiniger Überdeckung



Bild 9: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern im Format 2 DF, farblos imprägniert, Mauerverband mit halbsteiniger Überdeckung

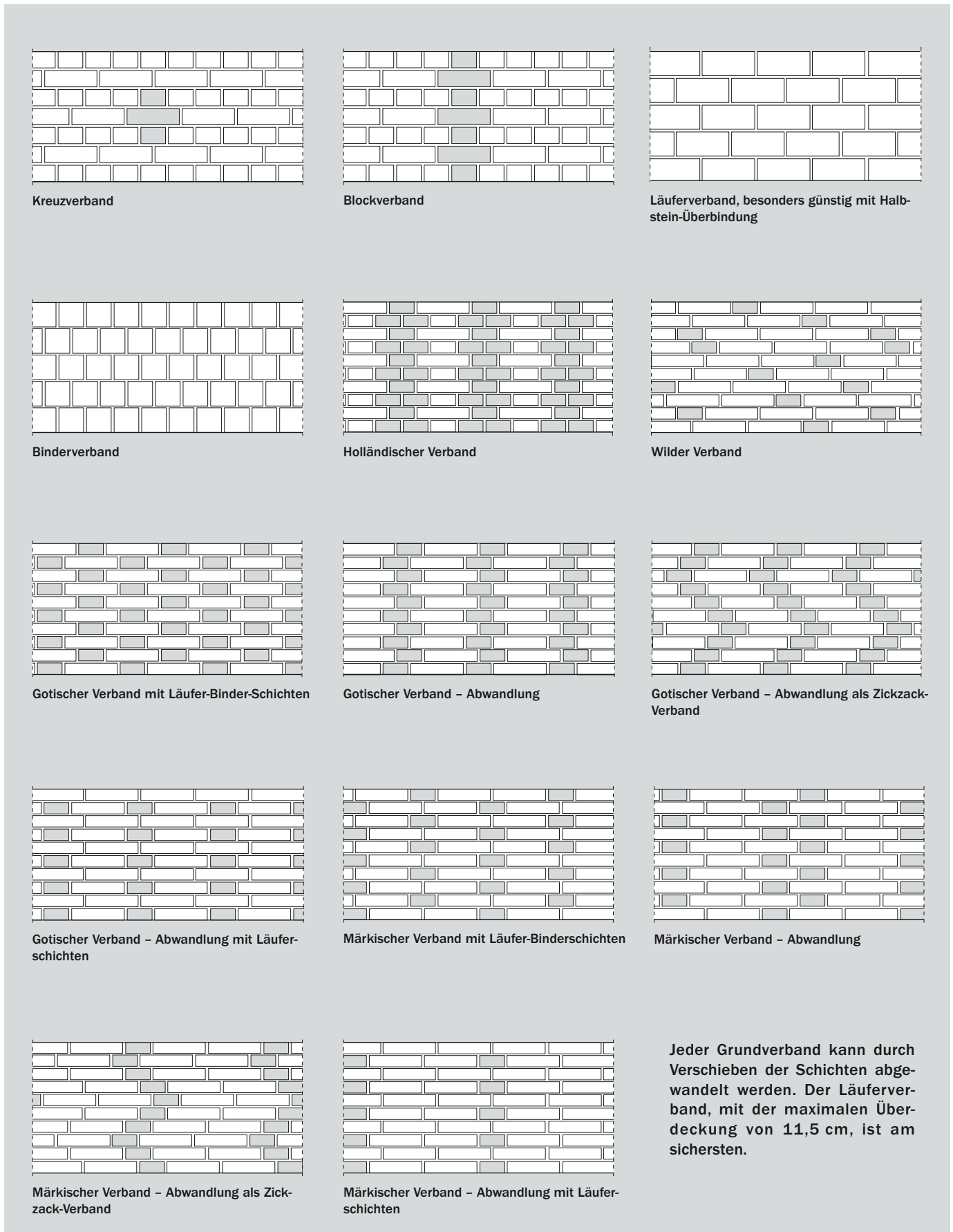


Bild 10: Mauerverbände für Sicht- und Verblendmauerwerk, Beispiele



Bild 11: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern, farblos imprägniert, abgetreppter Sockelanschluss bei einem Gebäude in Hanglage



Bild 12: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern im Format 2 DF, weiß gestrichen

2.4 Verfugung

Die Art der Verfugung hat ebenfalls großen Einfluss auf das Erscheinungsbild.

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 wir-

kendes Sichtmauerwerk. Steine und Fugen treten in der Fläche optisch stark zurück. Bei dunklem Fugenmörtel und hellen Steinen sind die einzelnen Steine und Schichten deutlicher abzulesen. Außenschalen mit Dicken von < 105 mm müssen nach DIN EN 1996-2/NA nur 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.

2.4.3 Geschlämmtes Mauerwerk

Geschlammtes Mauerwerk wird häufig bei Kellermauerwerk, in Nebenräumen oder bei Industriebauten als preisgünstige Form des Sichtmauerwerks (sichtbar belastetes 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 sollte.

2.5 Oberflächenbehandlung

Sichtmauerwerk kann aus optischen Gründen farblos imprägniert oder mit einem deckenden Anstrich versehen werden.

Eine *farblose Imprägnierung* verändert das Erscheinungsbild des Sichtmauerwerks nicht, sie bewirkt jedoch einen gewissen Selbstreinigungseffekt und wirkt insbesondere bei Verblendsteinen mit strukturierten Oberflächen einer Verschmutzung entgegen. Nach Regen trocknet das Sichtmauerwerk an der Oberfläche gleichmäßig und schnell ab, unterschiedliche Feuchtigkeit tritt optisch nicht in Erscheinung.

Bei *deckenden Anstrichen* wirkt das Sichtmauerwerk flächig. Der Kontrast zwischen Steinen und Fugen tritt in der Fläche deutlich zurück. Leichte Verschmutzungen beim Erstellen des Sichtmauerwerks oder Unregelmäßigkeiten der Verfugung sind weniger augenfällig.

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.

Für Außensichtmauerwerk sind frostwiderstandsfähige KS-Verblender und KS-Vormauersteine nach DIN V 106 und Werk-Trockenmörtel zu verwenden.

Für Innensichtmauerwerk ohne Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit ist im Einzelfall zu entscheiden, ob bei hohen optischen Anforderungen KS-Verblender, KS-Vormauersteine oder bei geringeren optischen Anforderungen „normale“ Kalksandsteine nach DIN V 106 zur Anwendung kommen. Beispiel: Kellermauerwerk, Industrie- und Wirtschaftsbauten.

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.

KS-Vormauersteine und KS-Verblender haben im Allgemeinen herstellungsbedingt jeweils nur eine kantensaubere Kopf- und Läuferseite. Das ist beim Vermauern durch entsprechendes Drehen der Steine zu berücksichtigen. Bei erhöhten Anforderungen, z.B. bei beidseitigem Ein-Stein-Sichtmauerwerk, kann es erforderlich sein, auf der Baustelle eine gewisse Anzahl von Verblendern auszusortieren.

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.

3. ANLIEFERUNG DER VERBLENDER

Die Verblender werden im Allgemeinen mit Folien geschützt und auf Paletten angeliefert. Das gewährleistet eine schonende Behandlung beim Be- und Entladen und schützt die Steinpakete vor Verschmutzung. Der Transport zur Baustelle erfolgt mit Kranfahrzeugen.

Die Entladestellen auf der Baustelle sind so vorzubereiten, dass die angelieferten Steine auf einem befestigten ebenen Untergrund abgesetzt werden können. Für den Weitertransport auf der Baustelle sind Krangreifer zu empfehlen.

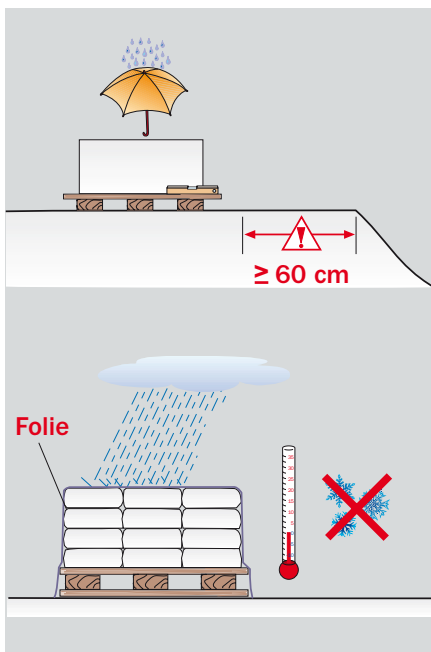


Bild 13: Die Lagerung von Steinen und Mörtel erfolgt witterungsgeschützt auf tragfähigem, ebenem Untergrund.

4. 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.

Die Lieferform Werk-Trockenmörtel ist dem Baustellenmörtel aus den nachfolgend genannten Gründen in jedem Falle vorzuziehen:

- Gleich bleibend hohe Qualität und Sicherheit durch Gewährleistung einer genaueren Dosierung der Mörtelausgangsstoffe und damit einfache Handhabung auf der Baustelle
- Abstimmung auf das Saugverhalten der Kalksandstein-Verblender und damit höhere Sicherheit gegen Mörtelverbrennen
- Höhere Mörtel-Festigkeit: hoher und schneller Haftverbund
- Einfachere Logistik durch gleichzeitige Lieferung von Steinen und Mörtel

4.1 Nachträgliche Verfugung

Seit der Ausgabe 2006 der VOB/C ATV DIN 18330 stellt die Ausführung mit Fu-

genglattstrich die Regelausführung dar. 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 ist die Fuge mindestens 1,5 cm tief und flankensauber beim Aufmauern „auszukratzen“.

Das Auskratzen der Fugen mit dem Fugeisen ist zwar übliche Mauerwerkspraxis, empfehlenswert ist jedoch das Auskratzen der Fugen mit einem Holzbrettchen, Bild 14. So werden Beschädigungen an den Steinkanten vermieden und gleichmäßige Auskratztiefen erreicht.

Der Fugenmörtel wird in einem späteren Arbeitsgang hohlraumfrei so eingebracht, dass die Fugen mit der Vorderkante der Steine bzw. des Mauerwerks bündig abschließen.

4.1.1 Ausführung

Die Fugen des Sichtmauerwerks werden gesäubert und gründlich 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.

Das frische Sichtmauerwerk ist vor starkem Regen und starker Sonneneinstrahlung zu schützen und bei sommerlicher trockener Witterung mit Wasser zu besprühen. Es ist darauf zu achten, dass der Fugenmörtel nicht über die Verblendsteine gewischt wird.

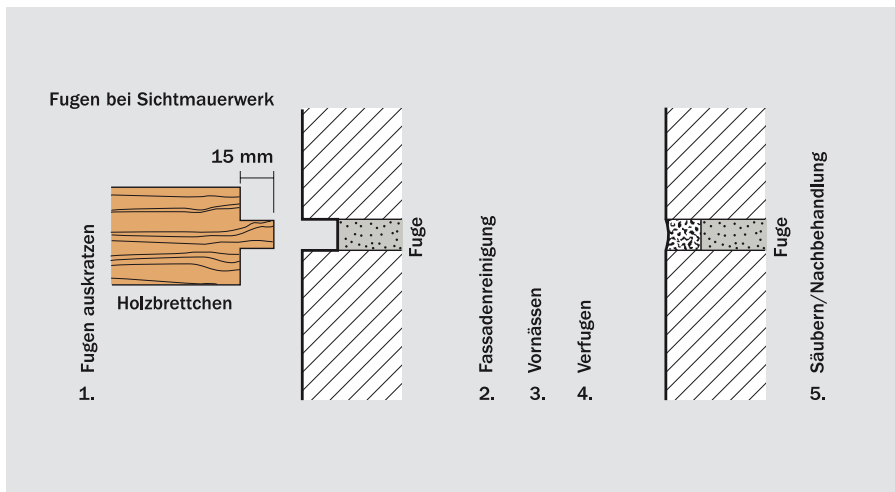


Bild 14: Nachträgliche Verfugung



Bild 15: Nachträgliche Verfugung

Foto: quickmix

4.1.2 Nachbehandlung

Um ein gleichmäßiges Fugenbild zu erzielen, sollte die nachträgliche Verfugung nur bei günstiger trockener Witterung ausgeführt werden. 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.

4.2 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 herunterlaufen und diese verschmutzen. Gut bewährt haben sich die auf KS-Sichtmauerwerk eingestellten Werk-Trockenmörtel.

4.2.1 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.



Bild 16: Fugenglattstrich

4.2.2 Nachbehandlung

Das frische Sichtmauerwerk muss vor starkem Regen und starker Sonnenein-

strahlung geschützt werden und ist bei sommerlicher, trockener Witterung mit Wasser zu besprühen.

Sichtmauerwerk unterliegt rohstoffbedingt gewissen farblichen Schwankungen. Handwerksgerecht erstelltes Sichtmauerwerk lebt von diesen kleinen Unregelmäßigkeiten und sollte z.B. nicht mit einer Fliesenbekleidung verglichen werden.

Die konstruktive Ausführung von Mauerwerk ist in Normen, Richtlinien und Merkblättern eindeutig beschrieben. Für die gestalterische Erscheinungsform von Mauerwerks-Sichtflächen gibt es jedoch keine verbindlichen Regeln.

Die Anforderungen, die an das Erscheinungsbild des Sichtmauerwerks gestellt werden, sind daher im Voraus vom Planer so eindeutig zu beschreiben, dass die ausgeschriebene Leistung sicher kalkuliert, ausgeführt und abgenommen werden kann.

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.

Bei der Beurteilung von Sichtmauerwerk spielt ein angemessener Betrachtungsabstand eine Rolle, weiterhin die Größe und die gestalterische Gesamtwirkung der Sichtmauerwerksfläche.

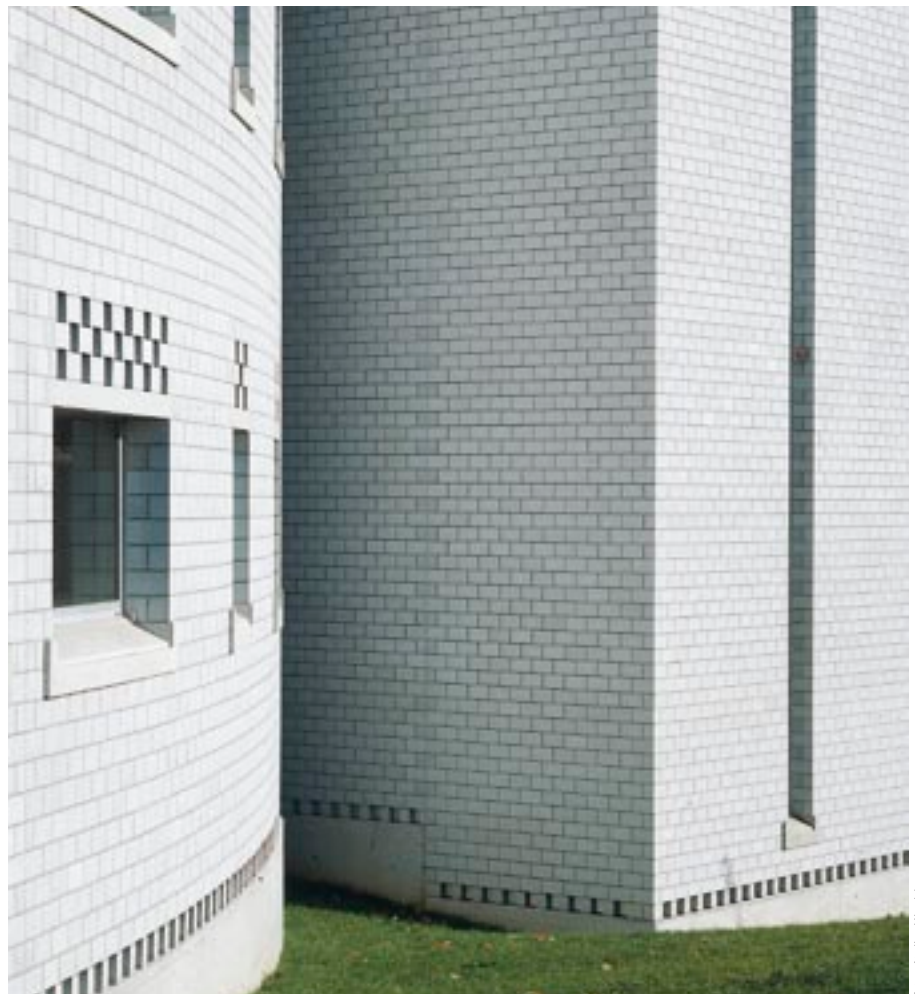


Bild 17: Strenge geometrische Gliederung der Baukörper durch KS-Außensichtmauerwerk



Bild 18: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern im Format 2 DF, farblos imprägniert

5. ABNAHME UND BEURTEILUNG VON KS-SICHTMAUERWERK

5.1 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. Danach kann die erbrachte Leistung nach Fertigstellung vom Planer und vom Bauherrn weitgehend 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.

5.2 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 m² große Sichtmauerwerksfläche als Musterfläche zu verwenden und zu vereinbaren.

Nur mit Hilfe einer solchen Musterfläche können Verblender, Mauerverband und Verfüguung eindeutig festgelegt und abgestimmt sowie gegebenenfalls 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.

5.3 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.

5.4 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.

6. ELEKTROINSTALLATION BEI KS-INNENSICHTMAUERWERK

Die Ausführung der Elektroinstallation erfordert bei Innensichtmauerwerk eine gewisse Vorplanung, um möglichst günstige Leitungsführungen zu erreichen; dann lässt sie sich jedoch ohne Schwierigkeiten durchführen. Bei der Verlegung sind die VDE-Bestimmungen – z.B. VDE 0100 – zu beachten.

Vorzugsweise sollte bei Innensichtmauerwerk die Elektroinstallation mit Kunststoffmantelleitungen NYM erfolgen. Vor dem Verlegen der Leitungen sollten die Rohbauarbeiten abgeschlossen sein, so dass sich die Handwerker – Maurer und Elektriker – nicht gegenseitig behindern.

Die Zuleitungen vom Zählerkasten bzw. vom Stromkreisverteiler werden auf der Rohbetondecke verlegt. Dabei werden die Leitungen durch Installationsrohre – z.B. Kunststoffpanzerrohr – oder etwa 2 cm hohe Kanäle aus Kunststoffen zweckmäßigerweise vor Beschädigungen geschützt. Die Kanäle und Installationsrohre werden durch geschüttete oder weich federnde Dämmungen überdeckt.

Die NYM-Leitungen werden z.B. in Türleibungen bis auf die Höhe der Steckdosen oder Schalter hochgeführt und durch eine Horizontalbohrung zu den Schalterdosen geführt. Die Leitungen sind im Endzustand später durch Türfutter und Bekleidungen abgedeckt.

Zuleitungen zu Schaltern oder Steckdosen, die sich nicht im Bereich einer Türöffnung befinden, erfolgen durch Einlegen der Leitungen in die Mörtelfugen im Verlauf des Mauerverbandes. Die Fugen bleiben hierfür etwa 25 mm tief ausgekratzt und werden nach dem Verlegen der Leitungen mit Fugenmörtel geschlossen.

Ähnlich wird bei Wänden verfahren, die einseitig verflies sind. Die Elt-Leitungen werden auf der später verfliesenen Seite – bei geklebten Fliesen im Verlauf der Fugen – verlegt und zu den Steckdosen und Schaltern durch die Wand geführt.

Bewährt haben sich außerdem bei Büro-, Verwaltungs- und Industriebauten u.a. Stahl-Türzargen mit Kabelkanal und Auslässen für Schalter und Steckdosen sowie auch sichtbare Leitungsführungen mit oder ohne Kunststoffkanäle.

Eine weitere Möglichkeit ist das Einmauern von Installationsrohren (leicht oder mittelschwer) in mindestens 24 cm dicke Wände und das anschließende Einziehen der NYM-Leitungen.

Bei Lampenanschlüssen an Sichtbetondecken werden Elt-Leitungen auf der Rohdecke verlegt und entweder durch ein einbetoniertes Installationsrohr oder durch ein Bohrloch – von unten gebohrt – durch die Decke zum Lampenanschluss geführt.

Grundsätzlich sind für Elt-Installationen bei Sichtmauerwerk nur Schalter-Klemmdosen zu verwenden. Diese sind tiefer als übliche Klemmdosen und ermöglichen das Verklemmen der Leitungen. Das Ausbohren bzw. Ausfräsen für die Schalter- und Steckdosen erfolgt durch übliche Dosen-senker. Es können aber auch spezielle KS-Steckdosen-Steine verwendet werden, die sich in den Verband harmonisch einfügen.



Bild 19: Innensichtmauerwerk aus KS-Steinen im Format 2 DF, Installationen freiliegend



Bild 20: Innensichtmauerwerk aus KS-Fasensteinen, Installationen verdeckt in Kanälen

7. 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 ordnungsgemäß abgeleitet wird und nicht in größeren Mengen in die Wandkonstruktion eindringen kann. Bei frostbeanspruchten und beschichteten bzw. imprägnierten KS-Außenschalen sind KS-Verblender (KS-Vb) zu verwenden.

Kalksandsteine haben die Eigenschaft, Feuchtigkeit kapillar zu leiten. Horizontale und gering geneigte Mauerwerksflächen sollten daher mit wasserundurchlässigen Materialien abgedeckt werden, 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.

7.1 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 Mauerwerkstruktur zu überdecken.

Die Mörtelfugen treten optisch in der Fläche zurück. Farbige Beschichtungen sind im Prinzip auch möglich, jedoch ist bei dunklen Beschichtungen zu beachten,



Bild 21: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern, farblos imprägniert, Gebäudetrennfuge in einem Pfeiler

dass sich besonnte Flächen stärker aufheizen und es dadurch zu größeren Verformungen kommt.

Farblose Imprägnierungen sind nicht filmbildend und belassen dem Mauerwerk das natürliche Aussehen der Steine und der Mörtelfugen. Nach Beregnung trocknet imprägniertes Verblendmauerwerk schnell und gleichmäßig an der Oberfläche ab und bleibt hell.

7.2 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 Verblendmauerwerks entgegengewirkt werden. Beschichtungen und Imprägnierungen vermindern die Feuchtigkeitsaufnahme des Verblendmauerwerks bei Regen und Schlagregen erheblich. Staubpartikel 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.

Bei deckenden Beschichtungen muss der Untergrund einwandfrei sein.

Die außen auf das Verblendmauerwerk aufgetragenen 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 der Beschichtungen und Imprägnierungen setzt voraus

- die richtigen Baustoffe (frostwiderstandsfähige Kalksandsteine),
- auf Kalksandstein abgestimmten Mörtel,
- technisch und bauphysikalisch einwandfreie Konstruktionen,
- ausreichende Dachüberstände,
- handwerksgerechte Anschlüsse,
- für KS-Verblendmauerwerk geeignete Beschichtungssysteme.

7.3 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.

7.4 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.
- **Wasserdampfdurchlässigkeit und 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.



Bild 22: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern, farblos imprägniert, mit hellem Fugenmörtel

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.

Kennwerte für die Austrocknungsbehinderung des Mauerwerks durch Beschichtungen oder Imprägnierungen sind

- Wasserdampfdurchlässigkeit und
- Austrocknungsbehinderung.

7.4.1 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.

\leq	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.

Auch bei einer Wiederholungsbeschichtung sollte $s_d \leq 0,40$ m sein.

7.4.2 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 wasserdampfdurchlässiger 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.

Beispiel

Die Austrocknungskurve Bild 23 der Steinprobe mit der Beschichtung A4 ist nahezu deckungsgleich mit der Kurve der Steinprobe ohne Beschichtung. Diese Beschichtung behindert die Austrocknung nicht. Bei der Beschichtung A5 dagegen verläuft die Austrocknungskurve sehr flach und die Austrocknungsbehinderung ist so stark, dass der eingangs beschriebene „kritische Feuchtegehalt“ (80 %) nicht einmal bei Beendigung der Messungen nach 160 Tagen unterschritten wurde.

Übertragen auf die Praxis bedeutet das, dass Sichtmauerwerk, das z.B. im Herbst nach einer längeren Regenperiode durchfeuchtet wird und mit dieser Beschichtung versehen ist, in den regenfreien Zeiten nicht austrocknet. Die Beschichtung schließt die Feuchtigkeit ein. Bei wiederholter Beregnung kann sich der Feuchtegehalt „aufschaukeln“, in Extremfällen sogar bis zur vollständigen Sättigung des Verblendmauerwerks. Zu Beginn der Frostperiode ist dadurch das Mauerwerk erhöhter Frostbeanspruchung ausgesetzt.

Bei günstigen Beschichtungen dagegen trocknet das Mauerwerk in den regenfreien Zeiten rasch wieder so weit aus, dass der kritische Feuchtegehalt unterschritten wird und damit die Frostbeanspruchung in der Frostperiode deutlich geringer ist.

7.5 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, Fugenabriss 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.

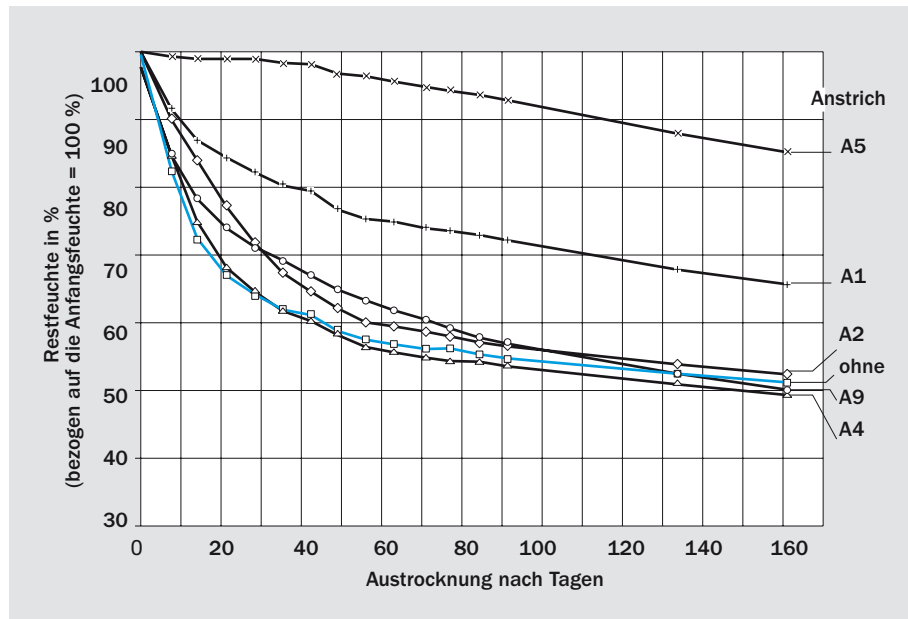


Bild 23: Austrocknung durch Beschichtungen, Klima: 4 °C/70 % rel. Feuchte (A1 = Acryl-Siloxanfarbe, A2 und A4 = Dispersions-Silikatfarbe, A5 = Polymerisatharzfärbung, A9 = Acrylat)

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.

7.6 Verarbeitung

7.6.1 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. 500 bis 800 cm³/m² 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 wässrigen Imprägnierungen notwendig, um Laufspuren zu vermeiden. Auf Imprägnierungen können zu einem späteren Zeitpunkt auch Beschichtungen aufgebracht werden. Hierbei ist jedoch auf Systemverträglichkeit zu achten.

7.6.2 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.

Außerdem sollten sie frühestens drei Monate nach Fertigstellung des Verblendmauerwerks aufgebracht werden, wenn das Mauerwerk genügend ausgetrocknet ist, nicht mehr mit Setzungen oder Verformungen zu rechnen ist und die Hersteller nicht andere, weitergehende Angaben machen.

8. 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.

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.

8.1 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.

8.2 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 25: Reinigungseffekt, Beispiel Reinigung mit Schleifpapier, Körnung 140

Die Dampfstrahlreinigung hat sich bei größeren Flächen sowie bei Verblendmauerwerk aus bruchrauen oder bossierten Steinen gut bewährt.

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.

8.3 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, sofern es nicht deckend gestrichen wird.



Bild 24: Reinigung mit Hochdruckreiniger

Foto: Kärcher

Tafel 4: Reinigungsmethoden

Art der Reinigung	Geeignet für	Ausführung	Ergebnis
Reinigung mit Schleifpapier	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
Porenbetonstück	Verschmutzungen auf kleineren bis mittelgroßen Flächen, jedoch nicht für fett- und ölhaltige Ablagerungen sowie Sprühlack	Beim Schleifen von Hand wird der Porenbeton zermahlen, der entstehende Staub kann anschließend abgefegt werden.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt, glatte Steinoberflächen
Dampfstrahlreinigung	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 Wasserdampfstrahl nicht die Steinoberflächen oder die Fugen beschädigt. Die Reinigungsintensität ist vorab an einer Probe- fläche zu testen.	Gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt
Reinigung mit Tensidlösung (z.B. Alkutex Schmutzlöser)	fett- und ölhaltige Ablagerungen und Verschmutzungen	Auftragen des Reinigers mit der Wurzelbürste, gründlich nachspülen mit Wasser. Bei der Reinigung großer Flächen ist das Schmutzwasser aufzufangen.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis, auch bei älteren Ablagerungen
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 großer Flächen ist das Schmutzwasser aufzufangen.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis, auch bei älteren Ablagerungen
Schwache Säurekombination (z.B. Alkutex Combi WR)	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 Probe- fläche zu testen.	Gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt
Steinreiniger auf Basis organischer Ameisensäure (z.B. ASO Steinreiniger)	(bedingt) die Reinigung kalkhaltiger Ablagerungen und Verschmutzungen	Verdünnung mit Wasser 1:3, Auftragen mit der Wurzelbürste Die Reinigungsintensität ist vorab an einer Probe- fläche zu testen.	Das Mittel kann den Fugenmörtel anlösen. Ein so entstehender Schleier ist durch Abspülen mit Wasser nicht mehr zu entfernen.
Anti-Graffiti-Beschichtung (z.B. Funcosil Graffiti-Schutz)	den Schutz von Flächen, z.B. Wänden	Die Beschichtung kann mit einer Rolle aufgetragen werden. Es wird eine Trennschicht gebildet, die das Eindringen von Farbpigmenten in den Untergrund verhindert. Diese Schicht wird zusammen mit der aufgesprühten Farbe mit einem Heißwasser-Hochdruckreiniger bzw. mit einem Dampfstrahlgerät abgespült. Zu beachten ist: Durch die Hochdruckreinigung können die Mörtelfugen beschädigt werden. Die Intensität der Reinigung sollte daher an einer Probe- fläche getestet werden. Bei einer Hochdruckreinigung mit kaltem Wasser ist das Ergebnis unbefriedigend. Nach der Reinigung ist das Sichtmauerwerk wieder mit Anti-Graffiti-Beschichtung zu schützen.	Die aufgesprühte Farbe lässt sich im Allgemeinen vollständig entfernen.

Da chemische Reinigungsmittel die Oberfläche der Steine aufräumen 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.

8.4 Algen- oder Moosbelag

Tritt z.B. nach langen Schlechtwetterperioden auf KS-Verblendmauerwerk ein störender grünlicher Belag aus Algen oder Moosen auf, kann dieser mit einem Algen tötenden Mittel 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.

9. ERNEUERUNG VON BESCHICHTUNGEN UND IMPRÄGNIERUNGEN

Hochwertige Beschichtungen und Imprägnierungen behalten ihre Funktion und optische Wirkung über einen langen Zeitraum.

9.1 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.

9.2 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.



Bild 26: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern, farblos imprägniert



Bild 27: Innensichtmauerwerk aus KS-Steinen

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 V 106:2005-10 Kalksandsteine mit besonderen Eigenschaften (Vornorm)
- [3] DIN 18330:2010-04 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Mauerarbeiten
- [4] DIN 18299:2010-04 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art



Bild 28: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern, farblos imprägniert, im Industriebau

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 einschalig oder mehrschalig, verputzt oder unverputzt, mit zusätzlicher

Wärmedämmung, mit vorgehängter Fassade u.a. 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 6, 7 und 11) nicht überschritten werden.

Nicht tragende KS-Innenwände werden in Wohngebäuden sowie in Stahl- und Stahlbetonskelettbauten als Zwischen- oder Ausfachungswände ausgeführt. Sie werden weiterhin 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.

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 m ² 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 $h_u = 238$ oder 248 mm, mit Stoßfugenvermörtelung, NM III						
Wanddicke $t^2)$ [mm]	Erhöhte Größtwerte ¹⁾ der Ausfachungsfläche A_w [m ²] 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

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 oder 248 mm (KS-Blocksteine und KS-Hohlsteine (auch als Plansteine)) und einem Überbindemaß von $l_{ol} \geq 0,4 \cdot h_u$ vermauert mit Normalmauermörtel NM III und Stoßfugenvermörtelung, überschritten werden. Die Steine sind vorzunassen.

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.

Das Berechnungsmodell benötigt als Eingangsgrößen zur Bestimmung der auf-

nehmbaren Beanspruchung von Ausfachungswänden lediglich die Biegezugfestigkeiten des Mauerwerks senkrecht und parallel zur Lagerfuge. Für den eigentlichen Nachweis auf Grundlage des Teilsicherheitskonzeptes 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 Y_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:

$$A_w = t^2 \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{1}{w_d} \cdot Y_w \quad (2.1)$$

mit

A_w	Ausfachungsfläche
t	Wanddicke
f_{tk1}	Vertikale Biegezugfestigkeit
f_{tk2}	Horizontale Biegezugfestigkeit
μ_t	Biegezugverhältnis: $\mu_t = f_{tk1}/f_{tk2}$
Y_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

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 m ² 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.

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:

$$W_d = \gamma_Q \cdot c_{pe,10} \cdot q_p = 1,5 \cdot 0,8 \cdot q_p \quad (2.2)$$

- 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 Ausfachungsflächen noch mit dem Faktor $4/3$ erhöht werden (siehe Tafel 4).

$$\text{zul } A_W = A_{W0} \cdot k_{wd} \quad (2.3)$$

- 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

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	$10 \text{ m} < h \leq 18$ m	$18 \text{ m} < h \leq 25$ 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]).

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.

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 oberem 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 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.

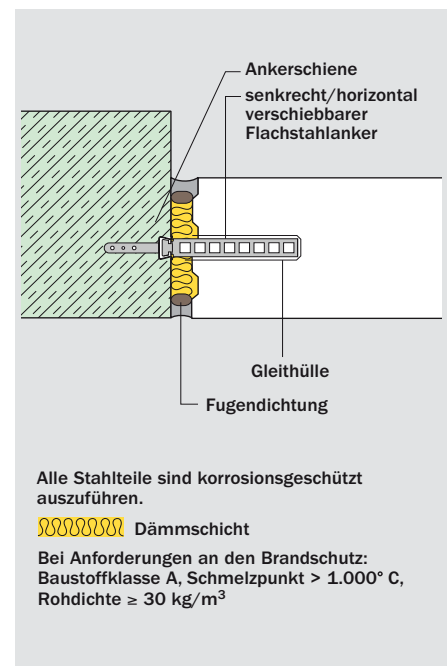


Bild 1: Beispiel für einen gelenkigen Wandanschluss an eine Stahlbetonstütze mit Ankerschienen bei Verwendung von Normalmörtel

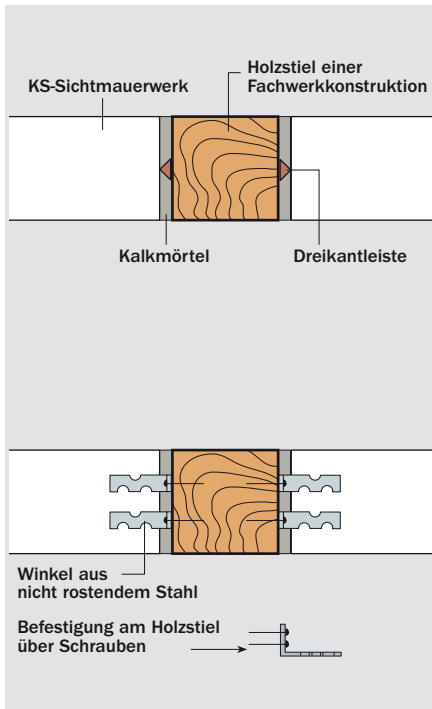


Bild 2: Wandanschluss von KS-Sichtmauerwerk an eine Holzfachwerkkonstruktion

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 korrosionsschutzter 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 m² 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 z.B. von Dachpappe oder Folie 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,

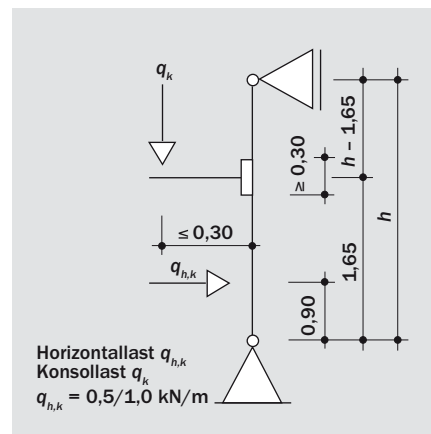


Bild 3: Statische Belastungen nach DIN 4103-1 [3]

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.
- 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 $q_{n,k}$ nach Abschnitt 3.1.2 aufnehmen, die 0,9 m über dem Fußpunkt der Wand angreift.

Nicht tragende innere Trennwände sind auch mit Wanddicken $t < 115$ mm zulässig. Hierfür werden spezielle Kalksandsteinprodukte angeboten (Bild 4). Die

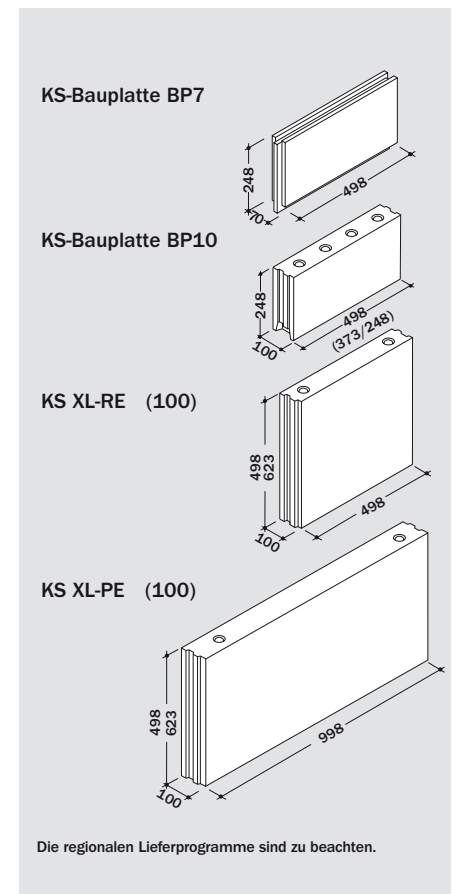


Bild 4: Produkte für nicht tragende Wände < 115 mm

Tafel 5: Technische Daten für nicht tragende KS-Wände mit Linienlasten $\leq 5 \text{ kN/m}$

	Eigenschaft	Einheit				
	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 ($\leq 5 \text{ kN/m}$)	[m]				
	mit Dünnlagenputz ($d = 2 \cdot \text{ca. } 5 \text{ mm}$)		3,45	3,70	3,25	2,85
	mit beidseitigem Putz ($d = 2 \cdot 10 \text{ mm}$)		3,10	3,30	2,95	2,65
	Zuschlag zur Verkehrslast der Decke nach DIN EN 1991-1-1/NA	[kN/m ²]	1,2	1,2	1,2	1,2
Schallschutz ¹⁾	Bewertetes Direktschalldämm-Maß R_w nach E DIN 4109-2:2013	[dB]				
	mit Dünnlagenputz ($d = 2 \cdot \text{ca. } 5 \text{ mm}$)		44	42	44	46
	mit beidseitigem Putz ($d = 2 \cdot 10 \text{ mm}$)		45	43	45	47
Brandschutz	Feuerwiderstandsklasse nach DIN EN 1996-1-2/NA					
	mit Dünnlagenputz ($d = 2 \cdot \text{ca. } 5 \text{ mm}$)		EI 60	EI 90	EI 90	EI 120
	mit beidseitigem Putz ($d = 2 \cdot 10 \text{ mm}$)		EI 90	EI 90	EI 90	EI 120

¹⁾ Die Ermittlung der Wandflächengewichte bzw. flächenbezogenen Masse der Wände ist unterschiedlich in DIN 1991-1-1/NA und DIN 4109.

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.

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 ($> 5 \text{ kN/m}$) müssen gemäß DIN EN 1991-1-1/NA [11] als Linienlasten in der statischen Berechnung der Decken 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-, Krankenzimmer und ähnlich genutzte Räume einschließlich der Flure:

$$q_{h1,k} = 0,5 \text{ kN/m}$$

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 $\geq 1,00 \text{ m}$:

$$q_{h2,k} = 1,0 \text{ kN/m}$$

3.1.3 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 $h > 6 \text{ m}$ ist stets ein statischer Nachweis erforderlich. Freie Wandlängen $l > 12 \text{ m}$ sollten vermieden werden [14]. Bei Verwendung von Kalksandsteinen mit Wanddicken $t < 115 \text{ mm}$ ist Mörtelgruppe III oder Dünnbettmörtel erforderlich; bei $t \geq 115 \text{ mm}$ genügt Mörtelgruppe IIa.

Die in den Tafeln 6 und 7 aufgeführten Grenzmaße gelten für ein Überbindemaß $l_{ol} \geq 0,4 \cdot h_w$, da ein kreuzweiser Abtrag der auf die nicht tragende Wand wirkenden horizontalen Linienlast vorausgesetzt wird.

Bei KS-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel ist eine Stoßfugenvermörtelung nicht erforderlich [16].

Bei KS-Mauerwerk mit Normalmauermörtel darf 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 Verwendung von Tafel 7 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.













Der Planer muss entscheiden, ob die in den Tafeln 6 und 7 angegebenen Grenzlängen tatsächlich ausgenutzt werden. Bei Wandhöhen > 4,50 m wird empfohlen, solche Wände durch horizontale Traglelemente zu unterteilen (z.B. horizontale Riegel aus ausbetonierten KS -U-Schalen mit Bewehrung). Insbesondere bei Wandlängen > 6 m ist die Rissesicherheit 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 6 und 7 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

Tafel 6: 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 	1	2,5	3	5	7	10	12	12
		3	3,5	5,5	7,5			
ohne Auflast 	2	3,5	4	6	8	12	12	12
		4	–	6,5	8,5			
Vierseitige Halterung 	1	4,5	–	7	9	12	12	12
		> 4,5 – 6	–	–	–			
mit Auflast ¹⁾ 	2	2,5	1,5	3	5	12	12	12
		3	2	3,5	5,5			
Dreiseitige Halterung 	1	3,5	2,5	6	8	5	8	12
		4	–	6,5	9			
ohne Auflast 	2	4,5	–	7	9,5	6	12	12
		> 4,5 – 6	–	–	–			
Dreiseitige Halterung 	1	2,5	1,5	2,5	3,5	5	8	12
		3	1,75	2,75	3,75			
mit Auflast ¹⁾ 	2	3,5	0,75	1,5	2,5	6	8	12
		4	–	1,75	2,75			
Dreiseitige Halterung 	1	4,5	–	4,25	4,5	6	8	10
		> 4,5 – 6	–	–	–			
mit Auflast ¹⁾ 	2	2,5	1,25	2,75	4	6	8	12
		3	1,5	3	4,25			
Dreiseitige Halterung 	1	3,5	–	3,25	4,5	6	8	12
		4	–	3,5	4,75			
mit Auflast ¹⁾ 	2	4,5	–	3,75	5	8	12	12
		> 4,5 – 6	–	–	–			

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.

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.

Tafel 7: 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]						
	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		
	ohne Auflast	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			

Die Stoßfugen sind generell zu vermörteln. Für Wanddicken ≤ 100 mm ist Normalmauermörtel der NM III (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel zu verwenden. Bei Wand-

dicken ≥ 115 mm ist Normalmauermörtel mindestens der NM IIa (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel zu verwenden.

¹⁾ Die obere Halterung kann durch einen Ringbalken hergestellt werden. In diesem Fall gelten die Werte der Tafel 6.

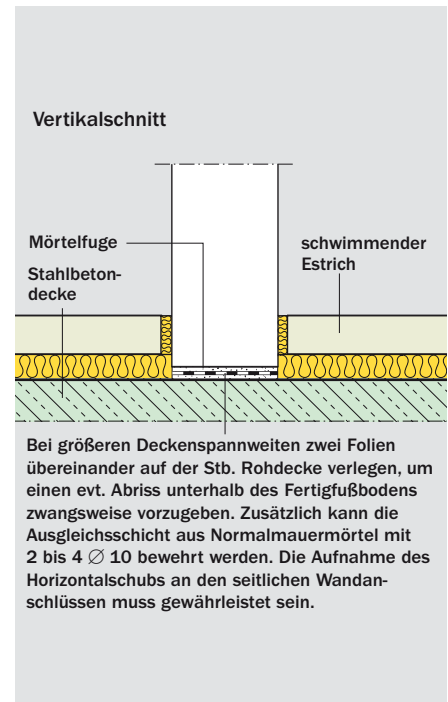


Bild 5: Wandanschluss im Fußpunkt (starr oder gleitend)

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.

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 6 oder 11 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 Regelfall 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 6, 7 und 11 eingehalten sind, ist die Aufnahme der Belastungen durch die Anschlüsse nachzuweisen. Sofern es sich um bewehrte Anschlüsse handelt, 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 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

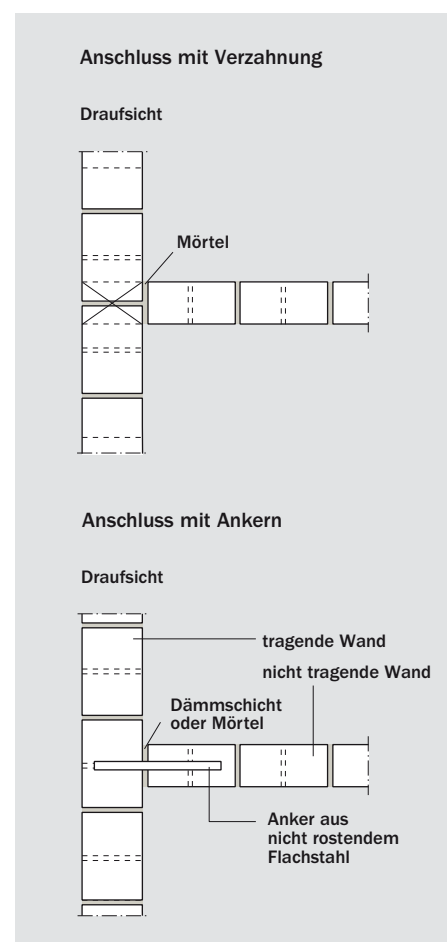


Bild 6: Wandanschlüsse seitlich (starr)

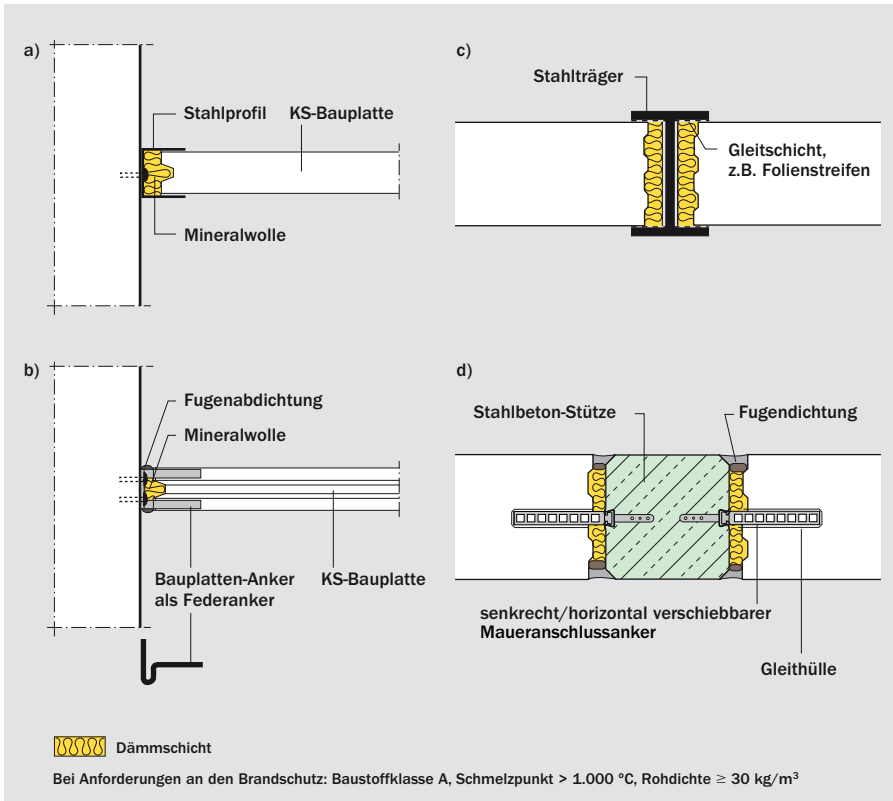


Bild 7: Seitliche Wandanschlüsse (gleitend)

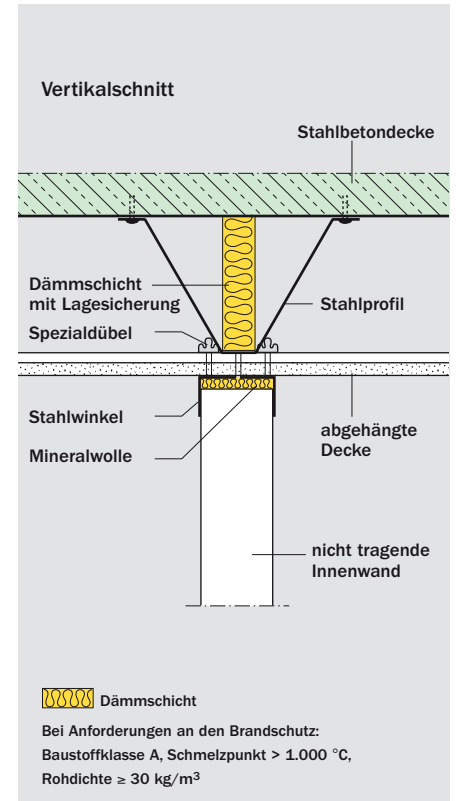


Bild 9: Deckenanschluss an abgehängte Decke

beschränkt. Die Anschlussfugen zwischen Innenwänden und angrenzenden Bauteilen sind mit Mörtel, Mineralwolle o.Ä. auszufüllen, um die schall- und brandschutztechnischen Anforderungen zu erfüllen.

3.3.3 Gleitender Anschluss

Gleitende Anschlüsse sind insbesondere dann auszuführen, wenn mit unplanmäßigen Krafteinleitungen in die nicht tra-

genden 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, 8 und 9). Bei Anschlussfugen, 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.

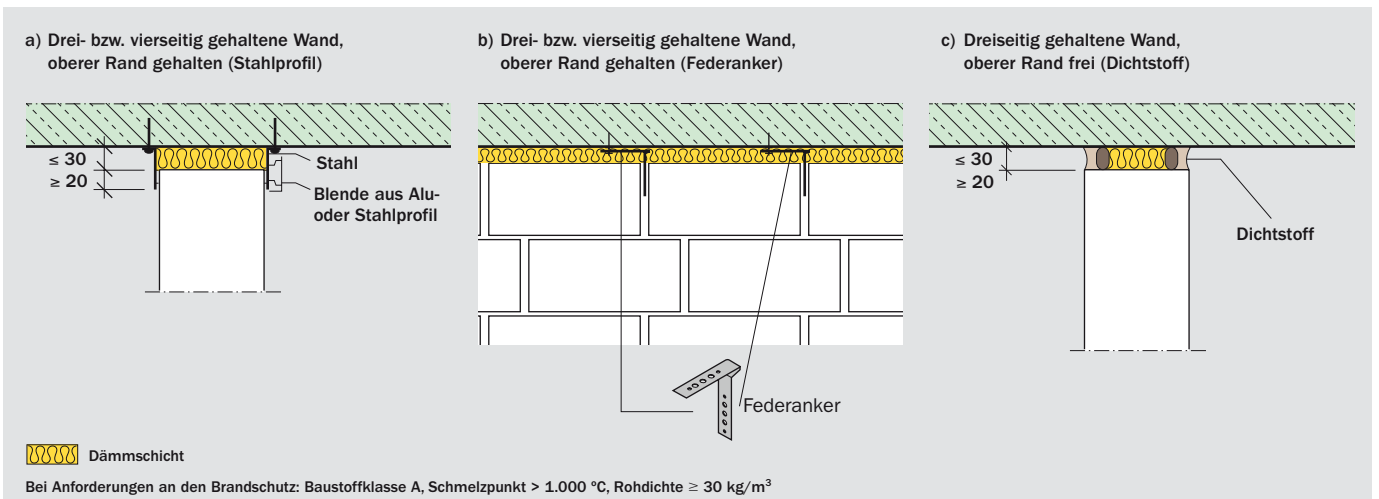


Bild 8: Deckenanschlüsse (gleitend)

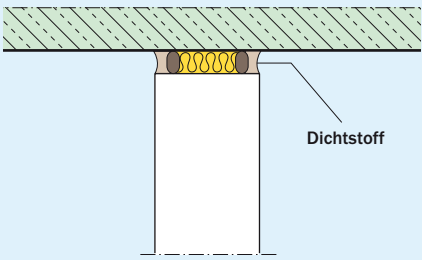
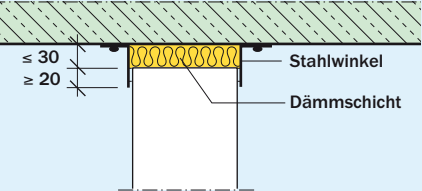
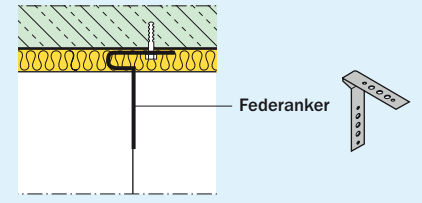
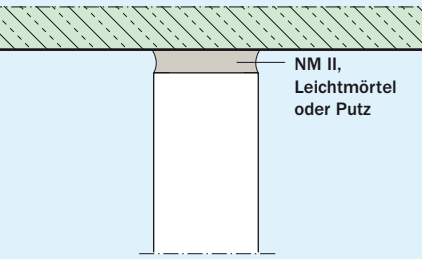
Tafel 8: Seitliche Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge ≤ 30 mm	Statik	Schallschutz	Brandschutz ¹⁾
<p>Anschlüsse im eigenen Wohnbereich</p> <p>Mauerwerk mit NM oder DM</p> <p>Stumpfstoßanker T = 0,75</p> <p>Mörtelgruppen: NM II bis NM III Dünnbettmörtel</p>	<p>Starr gehalten</p> <p>durch Maueranker und vollflächig vermörtelte Anschlussfuge mit NM oder DM</p>	<p>Schalltechnisch biegesteif und dicht</p> <p>Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten oder nicht vollflächiger Vermörtelung ist ggf. eine Entkopplung und Undichtigkeit anzunehmen.</p>	<p>Anschlussfuge voll vermörtelt mit NM oder DM</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
<p>Anschlüsse im eigenen Wohnbereich</p> <p>Mauerwerk mit NM oder DM</p> <p>Dämmschicht</p> <p>Zweitelliger Anker, z.B. System Halfen für Normalmauer- oder Dünnbettmörtel</p> <p>Vermörtelung oder elastische Fugendichtmasse nach DIN 52460</p>	<p>Gelenkig gehalten</p> <p>durch in Ankerschiene eingelegte Maueranker</p>	<p>Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt</p> <p>bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenprägnierter Wollfilzplatte²⁾</p> <p>Schalltechnisch dicht</p> <p>mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
<p>Anschlüsse im eigenen Wohnbereich</p> <p>Bewegliche Maueranker für DM-Mauerwerk</p> <p>Wandanker beweglich</p> <p>Halteanker beweglich</p>	<p>Starr gehalten</p> <p>durch Wandanker</p> <p>Gelenkig gehalten</p> <p>durch Halteanker</p>	<p>Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt</p> <p>bei Halteankern und Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenprägnierter Wollfilzplatte²⁾</p> <p>Schalltechnisch dicht</p> <p>mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
<p>Anschlüsse an Wohnungstrennwand</p> <p>Wohnungstrennwand</p> <p>Stumpfstoßanker</p> <p>Nicht tragende Innenwand Flächenbezogene Masse < 200 kg/m²</p>	<p>Gelenkig gehalten</p> <p>durch Mauerwerksanker und nachgiebiger Füllung mit Mineralfaserstreifen des Stumpfstoßanschlusses</p>	<p>Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt</p> <p>bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenprägnierter Wollfilzplatte²⁾</p> <p>Schalltechnisch dicht</p> <p>mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>

¹⁾ Die Klassifizierung des Wandanschlusses entspricht der Klassifizierung der Wand, wenn die angegebenen Bedingungen eingehalten werden. Nicht tragende raumabschließende Wände nach DIN 4102: F (X) bzw. nach DIN EN 13501-2: EI (X)

²⁾ Der Putz ist bei entkoppelten Anschlüssen mit einem Kellenschnitt zu trennen und nachträglich z.B. mit Acryl zu schließen.

Tafel 9: Obere Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge ≤ 30 mm	Statik	Schallschutz	Brandschutz ¹⁾
 <p>Dichtstoff</p>	<p>Oberer Rand nicht gehalten</p> <p>die Wand ist 3-seitig zu halten</p>	<p>Schalltechnisch entkoppelt und dicht</p> <p>mit beidseitigem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht in nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p> <p>Die Fugen müssen dicht ausgestopft werden. Für F 30 mind. 50 mm; für F 60 mind. 60 mm und für F 90 und „Brandwände“ mind. 100 mm Breite der jeweiligen Wanddicke.</p>
 <p>Stahlwinkel Dämmschicht</p> <p>≤ 30 ≥ 20</p>	<p>Oberer Rand gehalten</p> <p>die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand</p>	<p>Schalltechnisch entkoppelt und nicht dicht</p> <p>Als trennendes Bauteil nur geeignet mit zusätzlichem Fugendichtstoff in der Anschlussfuge</p>	<p>Dämmschicht in nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
 <p>Federanker</p> <p>Die Stoßfugen mit Federanker sind zu vermörteln.</p>	<p>Oberer Rand gehalten</p> <p>die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand</p>	<p>Schalltechnisch entkoppelt und dicht</p> <p>mit beidseitigem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
 <p>NM II, Leichtmörtel oder Putz</p>	<p>Oberer Rand gehalten</p> <p>mit Auflast infolge Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecke²⁾</p> <p>die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand</p> <p>Anschlussfuge vollständig durch NM II, Leichtmörtel oder Putz ausgefüllt.</p>	<p>Schalltechnisch biegesteif und dicht</p> <p>Bei Wänden mit Schallschutzanforderungen sollte diese Ausführungsvariante gewählt werden.</p>	<p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>

¹⁾ Nicht tragende raumabschließende Wände nach DIN 4102: F (X) bzw. nach DIN EN 13501-2: EI (X)

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. Bitumenpappe, PE-Folie, o.Ä.) 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 vermörteln, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

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.

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:

$$\frac{l_f}{d} \leq K^2 \cdot \frac{150}{l_f} \text{ bzw. } d \geq \frac{l_f^2}{K^2 \cdot 150} \tag{3.1}$$

- mit
- l_f Stützweite der Decke in m
- d Statische Höhe des biegebeanspruchten Bauteils in m
- K Beiwert zur Berücksichtigung der verschiedenen statischen Systeme nach Tafel 10

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 Stahlbetondecke 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 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 Ausschulfristen und sorgfältige Nachbehandlung des Betons nach DIN EN 1992-1-1/NA [18]. Bei kurzen Ausschulfristen sind wirksame Notstützen zu setzen.
- Nicht tragende Innenwände möglichst spät, d.h. nach Fertigstellung des Rohbaus, aufmauern und ggf. verputzen. Um feuchtebedingte Verformungen gering zu halten, sollten auf der Bau-

stelle 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. Es ist abzuwägen, ob die Wandscheibe durch Einlage von zwei Folien von der Geschossdecke abzutrennen ist. Die Aufnahme des Horizontalschubs an den seitlichen Wandanschlüssen muss gewährleistet sein.
- Bei großen Deckenstützweiten können weitere Maßnahmen, z.B. eine Bewehrung der Wand zur Erhöhung der Rissicherheit, 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 Schlitten sind die Angaben in DIN EN 1996-1-1/NA [1] zu beachten.
- Die Schlittentiefe 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.
- Schlitz 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 Schlitz problemlos mit Putz schließen.

3.6 Nicht tragende Innenwände aus BP7 KS-Bauplatten

Schlanker 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

Tafel 10: Beiwert K in Abhängigkeit der statischen Systeme nach DIN EN 1992-1-1/NA [18]

Statisches System	K
Frei drehbar gelagerter Einfeldträger; gelenkig gelagerte einachsige oder zweiachsige gespannte Platte	1,0
Endfeld eines Durchlaufträgers oder einer einachsigen gespannten durchlaufenden Platte; Endfeld einer zweiachsigen gespannten Platte, die kontinuierlich über einer längeren Seite durchläuft	1,3
Mittelfeld eines Balkens oder einer einachsigen oder zweiachsigen 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 zweiachsige 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.	



Bild 10: Pass-Stücke werden vor Ort hergestellt.



Bild 11: Die erste Steinreihe wird in Normalmauermörtel versetzt.



Bild 12: Die Stoßfugen werden bei 7 cm dicken Bauplatten vermörtelt.

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 (Bilder 10, 11, 12).

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.

$$l_{max} = \frac{1}{q_{h,d}} \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{t^2}{h} \cdot Y_w \quad (3.2)$$

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 6 und 7 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 11 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 Verkehrs-

Tafel 11: Erhöhte Wandlängen nicht tragender Innenwände aus KS-Bauplatten BP7

Wanddicke $t = 70$ mm, Überbindemaß $l_{ol}/h_u \geq 0,2$, Dünnbettmörtel, mit Stoßfugenvermörtelung			
Einbaubereich	Wandhöhe [m]	Zulässige Wandlänge [m]	
		4-seitig gehalten, seitlich gelenkig gelagert	3-seitig gehalten, seitlich gelenkig gelagert; freier seitlicher Rand
1 0,5 kN/m	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

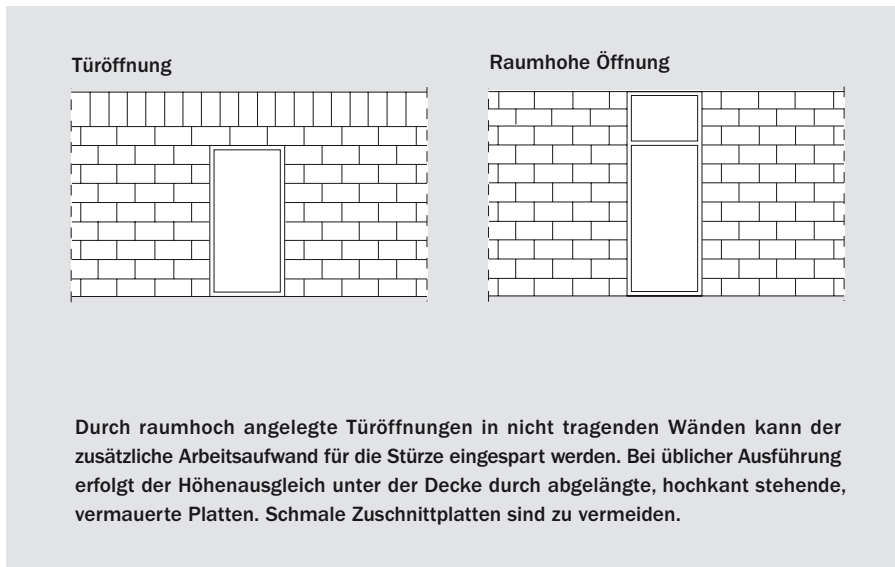


Bild 13: Türöffnungen

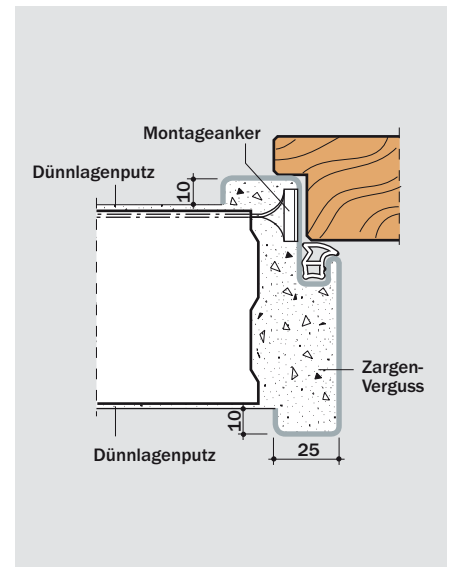


Bild 14: Türzargenausbildung Beispiel

last bei der Deckendimensionierung berücksichtigt werden können.

- Hohe Steinrohddichte, dadurch Direkt-schalldämm-Maß R_w von 46 dB bei 7 cm Dicke (RDk 2,0 zzgl. $2 \cdot 10$ 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. 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.



Bild 15: Im Innenbereich sind Kalksandsteinwände mit Sichtmauerwerk Gestaltungselement.

LITERATUR

- [1] DIN EN 1996-1-1:2010-12 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.
- [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.
- [3] DIN 4103-1:1984-07 Nichttragende innere Trennwände, Anforderungen, Nachweise
- [4] Kirtschig, K.: Gutachtliche Stellungnahme zur Größe der Ausfachungsflächen von nichttragenden Außenwänden unter Verwendung von großformatigen Kalksandsteinen. Hannover Juli 1993
- [5] Richter, L.: Tragfähigkeit nichttragender Wände aus Mauerwerk, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2009
- [6] Graubner, C.-A.; Richter, L.: Nichttragende 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.: Nichttragende 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
- [13] Kirtschig, K.: Gutachtliche Stellungnahmen zur Tragfähigkeit von nichttragenden 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 Mauerwerksbau e.V.: Nichttragende innere Trennwände aus Mauerwerk; Berlin, 4. Auflage 2008
- [16] Kirtschig, K.: Gutachten zu nichttragenden, 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 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:2011-01.
- [19] Mann, W.; Zahn, J.: Bewehrtes Mauerwerk zur Lastabtragung und zur konstruktiven Rissesicherung, N. V. Beckaert S. A., 1996
- [20] Graubner, C.-A.; Brehm, E., Schmitt, M.: Bericht – Nichttragende Innenwände aus Kalksandstein – Wandbauplatten KS P7; Frankfurt, 2011

1. MAUERMÖRTEL

1.1 Definition, Aufgaben

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

Mauermörtel werden zur Herstellung der Lager-, Stoß- und Längsfugen im Mauerwerk sowie zum nachträglichen Verfugen verwendet. Wesentliche Aufgaben des Mauermörtels sind der Ausgleich der Maßtoleranzen der Mauersteine, deren kraftschlüssige Verbindung und ein funktionsgerechter Fugenabschluss bei Sichtmauerwerk.

1.2 Technische Regelwerke

Mauermörtel sind in DIN EN 998-2 [1] genormt. Bis 2004 war DIN 1053-1, Anhang A [2] zu beachten. Um Mauermörtel nach DIN EN 998-2 für Mauerwerk nach der Normenreihe DIN EN 1996/NA [3] verwenden zu können, müssen bestimmte Anwendungsregeln befolgt werden. Diese enthält die deutsche Anwendungsnorm DIN V 20000-412 [4]. Die DIN EN 998-2 beinhaltet jedoch nicht alle Anforderungen für die Verwendung von Mauermörteln in Deutschland. Deshalb wurde eine zusätzliche Norm – die so genannte „Restnorm“ DIN V 18580 [5] – erarbeitet, um Mauermörtel wie bisher verwenden zu können. Mauermörtel kann somit entweder nach DIN EN 998-2 zusammen mit der Anwendungsnorm (CE-gekennzeichnet) oder nach DIN EN 998-2 zusammen mit der Restnorm (CE-, Ü-Kennzeichen) für Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA verwendet werden. DIN V 18580 ersetzt in Verbindung mit DIN EN 998-2 den Anhang von DIN 1053-1 mit den bisherigen Bestimmungen über Mörtelbestandteile,

Mörtelzusammensetzung, Mörtelarten, Lieferformen und Anforderungen, Bild 1. Ihre Anwendung wird deshalb empfohlen und nachfolgend zugrunde gelegt.

1.3 Lieferformen

Zu unterscheiden sind:

Werkmörtel

Werkmörtel sind im Mörtelwerk oder außerhalb unter werkmäßigen Bedingungen aus Ausgangsstoffen nach DIN V 18580/DIN EN 998-2 zusammengesetzte Mörtelmischungen.

Der Werkmörtelanteil beträgt heute etwa 80 bis 90 %. Durch die werkmäßige Herstellung ist eine hohe Gleichmäßigkeit der Eigenschaftswerte erreichbar und ist auch eine gezielte Optimierung für den jeweiligen Anwendungsfall möglich. Bei Werkmörteln gibt es 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 oder in Säcken auf die Baustelle geliefert.
- **Werk-Vormörtel**
Ein Gemisch aus Zuschlägen und Kalk sowie ggf. weiteren Zusätzen. Auf der Baustelle werden Zement (nach Herstellerangabe) und Wasser zugegeben. Werk-Vormörtel ist vor allem in Norddeutschland verbreitet.
- **Werk-Frischmörtel**
Gebrauchsfertiger Mörtel in verarbeitbarer Konsistenz, der in Fahrmischern auf die Baustelle geliefert, dort in

Mörtelkübeln entladen wird und in der Regel 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.

Baustellenmörtel

Baustellenmörtel wird auf der Baustelle aus den angelieferten, trocken sowie sauber zu lagernden Ausgangsstoffen hergestellt. Er darf nur als Normalmauermörtel hergestellt werden, siehe Abschnitt 1.4. Die Ausgangsstoffe müssen mit Waagen oder Zumesbehältern abgemessen werden. Wird die Mörtelzusammensetzung nach Tafel 1 eingehalten, sind keine weiteren Nachweise erforderlich. Andernfalls und stets bei Normalmauermörtel der Gruppe IIIa ist eine Erstprüfung mit dem Mörtel durchzuführen und es sind die Anforderungen der DIN V 18580 einzuhalten.

1.4 Mörtelarten

In DIN V 18580/DIN EN 998-2 werden drei Mörtelarten unterschieden:

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

Normalmauermörtel (NM) sind Baustellen- oder Werkmörtel aus Gesteinskörnungen mit in der Regel dichtem Gefüge und einer Trockenrohichte $\rho_d \geq 1.500 \text{ kg/m}^3$. Normalmauermörtel können als Rezeptmörtel (ohne Zusätze) nach Tafel 1 hergestellt werden. Wegen der großen, langjährigen Erfahrung mit diesen Mörteln sind weniger Eigenschaftsnachweise erforderlich. Sobald bei Rezeptmörteln Zusätze verwendet werden, müssen Eignungsprüfungen durchgeführt werden.

Die Normalmauermörtel werden nach steigender Mindestdruckfestigkeit in die Gruppen I, II, IIa, III und IIIa eingeteilt. Normalmauermörtel der Gruppe I ist für tragendes Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA nicht zulässig.

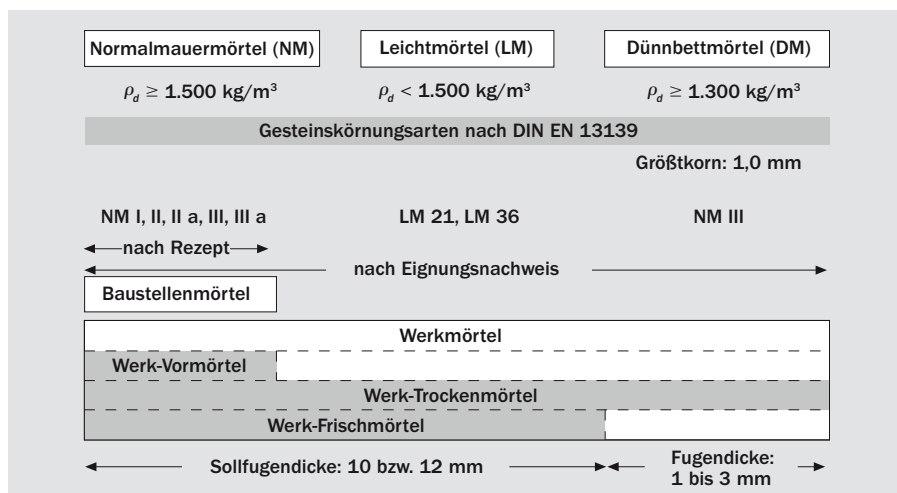


Bild 1: Merkmale von Mauermörteln

Dünnbettmörtel (DM) sind Werk-Trockenmörtel aus Gesteinskörnungen mit in der Regel dichtem Gefüge und einem Größtkorn von 1,0 mm. Sie werden der NM III zugeordnet. Die Trockenrohddichte liegt im Allgemeinen über 1.500 kg/m³.

Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt, bei der Herstellung von Plansteinmauerwerk Dünnbettmörtel mit Zertifikat nach Bild 2 zu verwenden. Die vom Dünnbettmörtel-Hersteller empfohlene Zahnschiene, üblicherweise auf dem Mörtelsack abgebildet, ist zu verwenden.

Leichtmörtel (LM) sind Werk-Trocken- oder Werk-Frischmörtel mit leichten Gesteinskörnungen (Leichtzuschlägen) ggf. auch mit Anteilen von Gesteinskörnungen mit dichtem Gefüge. Die Trockenrohddichte der Leichtmörtel muss kleiner als 1.500 kg/m³ sein. Sie werden nach der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10, tr}$ in die Gruppen LM 21 ($\lambda_{10, tr} = 0,21 \text{ W}/(m \cdot K)$) und LM 36 ($\lambda_{10, tr} = 0,36 \text{ W}/(m \cdot K)$) eingeteilt. Die beiden Gruppen unterscheiden sich zudem nach Trockenrohddichte ($\rho_d \leq 700$ bzw. $1.000 \text{ kg}/m^3$) und Querdehnungsmodul.

1.5 Anforderungen

Anforderungen an Mauermörtel in DIN V 18580/DIN EN 998-2 sind in Tafel 2 zusammengestellt. Sie müssen zusammen mit weiteren Anforderungen im Rahmen einer Erstprüfung und der werkeigenen Produktionskontrolle (WPK) nachgewiesen werden. Dadurch werden – sachgerechte Verarbeitung vorausgesetzt – die angestrebten Mörtel Eigenschaften im Mauerwerk gewährleistet. Von besonderer Bedeutung für die Mauerwerksfestigkeit sind die Druck- und Haftscherfestigkeit des Mauermörtels. Die Druckfestigkeit des Mörtels im Mauerwerk kann sehr wesentlich durch den Steinkontakt (Absaugen von Mörtelwasser) beeinflusst werden. Daher muss bei NM und LM auch eine bestimmte Fugendruckfestigkeit nachgewiesen werden. Bei DM ist der Einfluss der Mörteldruckfestigkeit auf die Mauerwerksdruckfestigkeit wegen der dünnen Fuge nicht wirksam. Für den Verbund der Mauersteine und damit für die Zug-, Biegezug- und Schubbeanspruchbarkeit des Mauerwerks ist eine ausreichende Haftscherfestigkeit zwischen Mauermörtel und Mauerstein erforderlich. Sie kann derzeit sowohl mit dem bisherigen deutschen als auch mit einem europäischen Prüfverfahren nachgewiesen werden.

Tafel 1: Rezeptmörtel (Normalmauermörtel); Zusammensetzung und Mischungsverhältnis in Raumteilen (aus DIN V 18580 Anhang A)

Mörtelgruppe	Mörtelklasse nach DIN EN 998-2	Luftkalk		Hydraulischer Kalk (HL2)	Hochhydraulischer Kalk (HL5), Putz- und Mauerbinder (MC5)	Zement	Sand ¹⁾ aus natürlichem Gestein
		Kalkteig	Kalkhydrat				
I	M1	1	–	–	–	–	4
		–	1	–	–	–	3
		–	–	1	–	–	3
		–	–	–	1	–	4,5
II	M2,5	1,5	–	–	–	1	8
		–	2	–	–	1	8
		–	–	2	–	1	8
		–	–	–	1	–	3
IIa	M5	–	1	–	–	1	6
		–	–	–	2	1	8
III	M10	–	–	–	–	1	4

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



Bild 2: Beispiel-Zertifikat für regelmäßig güteüberwachte KS-Dünnbettmörtel

Tafel 2: Anforderungen an Mauermörtel (außer Rezeptmörtel)¹⁾ nach DIN V 18580 bzw. DIN EN 998-2

Prüfgröße Prüfnorm	Kurz- zeichen	Normalmauer- mörtel (NM)				Leichtmauer- mörtel (LM)		Dünnbett- mörtel (DM)	
		Mörtelgruppe nach DIN V 18580							
		II	IIa	III	IIIa	LM21	LM36	DM	
		Mörtelklasse nach DIN EN 998-2							
		M2,5	M5	M10	M20	M5	M5	M10	
Druckfestigkeit DIN EN 1015-11	β_D [N/mm ²]	2,5	5	10	20	5	5	10	
Fugendruckfestigkeit DIN 18555-9	$\beta_{D,F}$ [N/mm ²]								
Verfahren I	$\beta_{D,FI}$	1,25	2,5	5,0	10,0		2,5	–	
Verfahren II	$\beta_{D,FII}$	2,5	5,0	10,0	20,0		5,0	–	
Verfahren III	$\beta_{D,FIII}$	1,75	3,5	7,0	14,0		3,5	–	
Druckfestigkeit bei Feuchtlagerung nach (DIN 18555-3)	$\beta_{D,f}$ [N/mm ²]	–	–	–	–		–	≥ 70 % vom Istwert β_D	
Verbundfestigkeit Charakteristische Anfangsscher- festigkeit (Haftscherfestigkeit) ²⁾ DIN EN 1052-3	f_{vko} [N/mm ²]	0,04	0,08	0,10	0,12		0,08	0,20	
Haftscherfestigkeit (Mittelwert) DIN 18555-5	β_{HS} [N/mm ²]	0,10	0,20	0,25	0,30		0,20	0,50	
Trockenrohddichte ³⁾ DIN EN 1015-10	ρ_d [kg/m ³]	≥ 1500					≤ 700	≤ 1.000	–
		–					max. Abweichung +10 % vom Istwert		–
Querdehnungsmodul DIN 18555-4	E_q [N/mm ²]	–					≥ 7.500	≥ 15.000	–
Längsdehnungsmodul DIN 18555-4	E_l [N/mm ²]	–					≥ 2.000	≥ 3.000	–
Wärmeleitfähigkeit DIN EN 1745	$\lambda_{10,tr}$ [W/(m · K)]	–					≤ 0,18 ⁴⁾	≤ 0,27 ⁴⁾	–
Verarbeitbarkeitszeit DIN EN 1015-9	t_v [h]	–					–	–	≥ 4
Korrigierbarkeitszeit DIN EN 1015-9	t_k [min]	–					–	–	≥ 7

Prüfalter für Festmörtel Eigenschaften: 28 d; Festigkeiten: Mindestwerte; Normalmauermörtel NMI (M1): Keine Anforderungen

- ¹⁾ Für diese gelten die Anforderungen als erfüllt.
- ²⁾ Prüfung darf ohne Vorbelastung an 5 Prüfkörpern erfolgen: $f_{vko} = 0,8 \cdot f_{vo}$
- ³⁾ Der ρ_d -Wert bei Erstprüfung ist mit ±10 % Grenzabweichung einzuhalten.
- ⁴⁾ Bei Nachweis $\lambda_{10,tr}$ nach DIN EN 1745 wenn $\rho_d > 700$ bzw. > 1.000 kg/m³



Bild 3: Mischen von Dünnbettmörtel



Bild 4: Mörtelauftrag mit Mörtelschlitten



Bild 5: Versetzen von Plansteinen in Dünnbettmörtel

Mit zunehmender Verformungsfähigkeit der Mauermörtel in der Lagerfuge quer zur vertikalen Belastung des Mauerwerks verringert sich die Mauerwerksdruckfestigkeit. Deshalb wird eine gewisse „Mindeststeifigkeit“ des Mörtels verlangt, die durch einen ausreichend hohen Querdehnungsmodul nachzuweisen ist.

Bei Dünnbettmörtel besteht wegen der dünnen Fuge die Gefahr, dass von den Mauersteinen zuviel Mörtelwasser abgesaugt wird. Um das zu vermeiden, müssen die Dünnbettmörtel ein hohes Wasserrückhaltevermögen aufweisen. Zur Gewährleistung ausreichend langer Verarbeitbarkeitszeit eines angerührten Gebindes (Sack) und genügender Zeit, um den Mauerstein nach dem Mörtelauftrag in die richtige Position zu bringen (Korrigierbarkeitszeit), sind entsprechende Mindestzeiten für Dünnbettmörtel nachzuweisen, siehe Tafel 2 und Bilder 3 bis 5.

1.6 Allgemeine Anwendung

Die für Mauermörtel geltenden Anwendungsbereiche sind in Tafel 3 aufgeführt. Die Verwendung von Normalmauermörtel der Gruppe I ist nach DIN EN 1996-1-1/NA unzulässig. Die Gruppen III und IIIa weisen eine sehr hohe Festigkeit auf und sollten daher für Außenschalen (Verblendschalen) von zweischaligem Mauerwerk nicht eingesetzt werden. Für die meisten Anwendungsfälle ist NM IIa am besten geeignet.

Außer Normalmauermörtel darf auch Dünnbettmörtel in der Außenschale von zweischaligem Mauerwerk verwendet werden. Für diese Bauart sind Luftschichtanker mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) zu verwenden.

Bei Anwendung von NM und LM beträgt die Sollfugendicke nach DIN EN 1996-1-1/NA 12 mm für die Lagerfuge und 10 mm für die (planmäßig vermörtelte) Stoßfuge. Die Anwendung von Dünnbettmörtel setzt eine entsprechend geringe Maßtoleranz der Mauersteine in der Steinhöhe von ±1,0 mm voraus. Die Dicke der Lager- und Stoßfugen muss nach DIN EN 1996-1-1/NA zwischen 1 und 3 mm betragen.

Die von der Kalksandstein-Industrie empfohlene Lagerfugendicke von 2 mm bei Dünnbettmörtel ist vorteilhaft für Verarbeitung und Verbund. Um dies zu erreichen, muss der Dünnbettmörtel optimiert werden – z.B. durch Zuschlag mit Korngrößen > 1 mm. Hierzu sind allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen erforderlich.

Tafel 3: Empfohlene Anwendungen von Mauermörtel

Anwendungsbereich	Normalmauermörtel (NM)		Leichtmörtel (LM)	Dünnbettmörtel (DM)
	II/IIa	III/IIIa		
Gewölbe	zulässig	zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
Kellermauerwerk	zulässig	zulässig	zulässig	zulässig
> 2 Vollgeschosse	zulässig	zulässig	zulässig	zulässig
Wanddicke < 240 mm ¹⁾	zulässig	zulässig	zulässig	zulässig
Nicht tragende Außenschale von zweischaligen Außenwänden				
– Verblendschale	zulässig	nicht zulässig ²⁾	nicht zulässig	zulässig
– geputzte Vormauerschale	zulässig	nicht zulässig ²⁾	zulässig	zulässig
Sichtmauerwerk, außen mit Fugenglattstrich	zulässig	zulässig	nicht zulässig	zulässig
Ungünstige Witterungsbedingungen (Nässe, niedrige Temperaturen)	zulässig	zulässig	zulässig	zulässig
Mauersteine mit einer Maßabweichung in der Höhe von mehr als 1,0 mm	zulässig	zulässig	zulässig	nicht zulässig

¹⁾ Bei zweischaligen Wänden mit oder ohne durchgehende Luftschicht gilt als Wanddicke die Dicke der Innenschale.

²⁾ Außer nachträglichem Verfugen und für Mauerwerkbereiche mit statischer Bewehrung

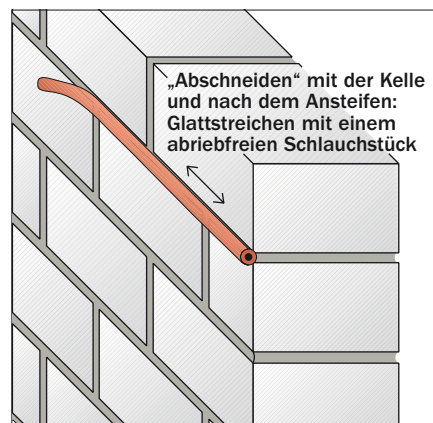


Bild 6: Fugenglattstrich

1.7 Mörtel für Sichtmauerwerk

Kalksandstein-Sichtmauerwerk mit Normalmauermörtel soll mit Mörtel der Gruppe IIa in einem Arbeitsgang mit Fugenglattstrich hergestellt werden (Bild 6), da so am ehesten die vollständige Vermörtelung der Mörtelfugen sichergestellt wird.

Es kann auch das nachträgliche Verfugen angewendet werden. Dazu wird der Fugenmörtel kurze Zeit nach dem Vermauern an der Außenseite ca. 15 mm tief ausgekratzt. Der Hohlraum wird nachträglich mit dem erdfeuchten bis schwach plastischen Fugenmörtel fachgerecht geschlossen, Bild 7.

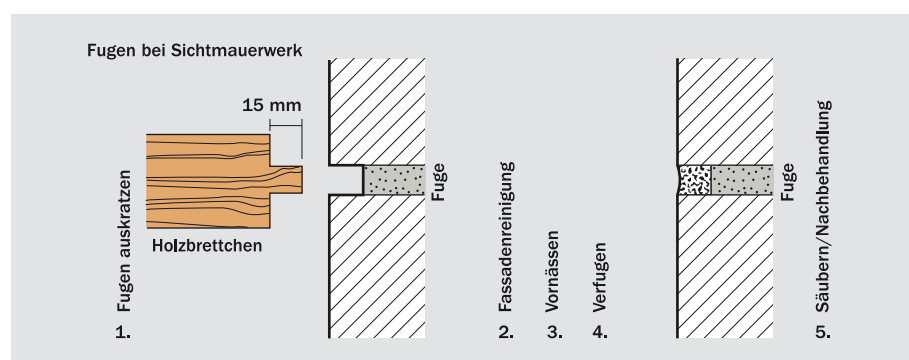


Bild 7: Nachträgliche Verfugung

Die Form der Mörtelfuge darf den Abfluss von Niederschlagswasser nicht behindern, Bild 8.

Bei Verblendschalen hat der Mauermörtel die Aufgabe, gemeinsam mit dem Mauerstein eine geschlossene Fläche zu bilden, die den Witterungsbeanspruchungen widersteht. Für diesen Zweck muss der Mauermörtel gut am Stein haften. Andernfalls bilden sich Spalten zwischen Stein und Fugenmörtel, so genannte Blattkapillaren, die das Eindringen von Niederschlagswasser in das Mauerwerk fördern und damit seine 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, gesteuert. Die Produktempfehlungen des Mörtelherstellers müssen beachtet werden.

Für Sichtmauerwerk, vor allem für Verblendmauerwerk, sollte Werk-Trockenmörtel wegen der gleichmäßigen und ggf. besonders auf den Anwendungsfall abgestimmten Zusammensetzung gewählt werden.

Der Mauermörtel in Verblendschalen muss ausreichend druckfest und gleichzeitig genügend verformungsfähig sein. Da Verblendschalen nicht vertikal belastet sind, sind Verformungen – z.B. infolge Temperaturänderung – größer als in belastetem Mauerwerk. Die Formänderungen führen in der Regel auch zu Zugdehnungen, die von Mauersteinen und Fugenmörtel aufgenommen werden müssen. Verformbare Mauermörtel mit geringem Elastizitätsmodul wirken sich günstig auf die Rissicherheit aus. Der Mörtel muss andererseits ausreichend fest und beständig gegen Witterungsbeanspruchung sein, insbesondere gegen Frosteinwirkung. Daher werden im Allgemeinen Mauermörtel der Mörtelgruppe MG IIa empfohlen. Mauern bei Frost bedarf der Zustimmung des Bauherrn (VOB/C-ATV: DIN 18330, Absatz 3.1.2) [6].

Werk-Trockenmörtel können eingefärbt werden und ermöglichen damit die gezielte Herstellung eines gewünschten Erscheinungsbildes der Verblendschale.

Für besonders durch Schlagregen beanspruchtes Mauerwerk können die Mörtel, ähnlich wie Putze, hydrophobiert werden. Dazu werden den Mörteln hydrophobie-

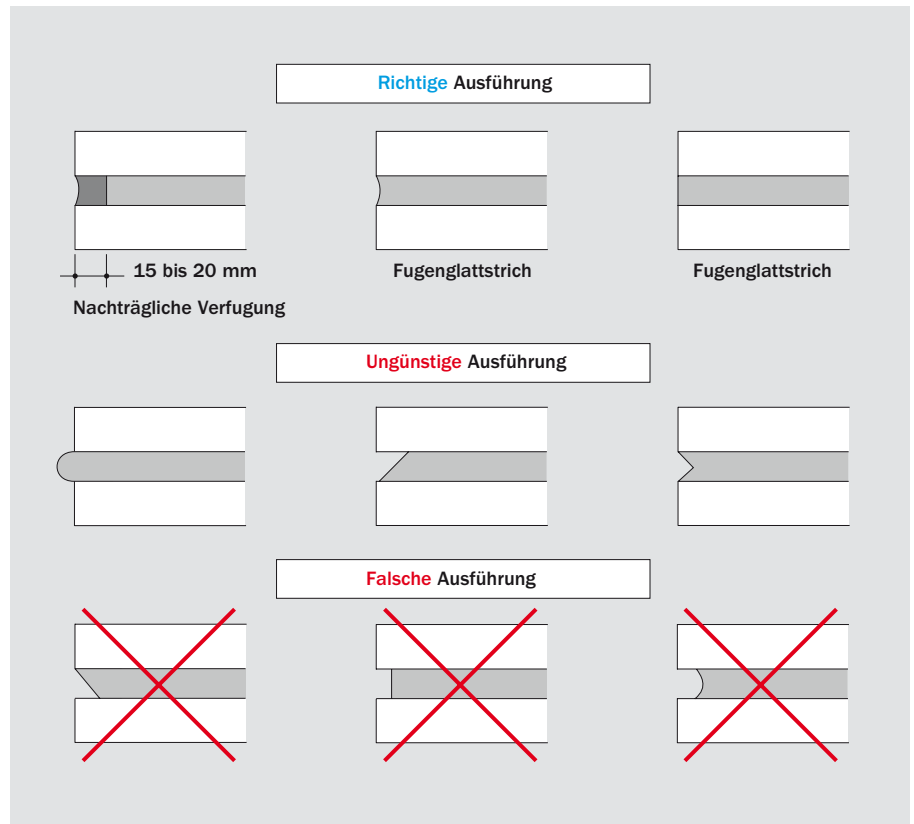


Bild 8: Fugenausbildung bei Sichtmauerwerk

Von der Mörtel- und der Kalksandsteinindustrie gemeinsam empfohlene Mörtel für Verblendschalen, sind das Ergebnis der technischen Weiterentwicklung. Die Lieferform Werk-Trockenmörtel ist dem Baustellenmörtel aus den nachfolgend genannten Gründen in jedem Falle vorzuziehen:

- Gleich bleibend hohe Qualität und Sicherheit durch Gewährleistung einer genaueren Dosierung der Mörtelausgangsstoffe und damit einfache Handhabung auf der Baustelle
- Abstimmung auf das Saugverhalten der Kalksandstein-Verblender und damit höhere Sicherheit gegen „Mörtelverbrennen“
- Höhere Mörtel-Haftscherfestigkeit: hoher und schneller Haftverbund

rende Zusätze, wie z.B. Stearine, zuge-mischt.

Werkseitig hydrophobierte Kalksandstein-Verblender sind mit hierfür geeigneten Mörteln zu verarbeiten.

1.8 Bauseitige Lagerung, Mörtelilos

Mauermörtel, die als Sackware angeliefert werden, sind sicher geschützt vor Witterungseinflüssen und Bodenfeuchtigkeit trocken zu lagern, Bild 9.

Bei Frischmörtel ist der Mörtel in den Mörtelkübeln wirksam vor Beregnung und Verdunstung zu schützen.



Bild 9: Der Werk-Trockenmörtel ist vor Witterungseinflüssen zu schützen.

Bei der Anlieferung der Mörtel im Silo sind die Hinweise des Mörtelherstellers zur Aufstellung der Silos zu beachten [7]. Insbesondere muss der Stellplatz für das Transportsilo standsicher sein. In Abstimmung mit der Bau-Berufsgenossenschaft ist vereinbart, dass der Besteller des Mörtels für den sicheren Stellplatz verantwortlich ist. Wesentliche Kriterien für einen standsicheren Stellplatz sind ein tragfähiger Untergrund und ein ausreichender Sicherheitsabstand zu Böschungen. Für die Silostellung ist zudem der Mindestabstand zu Strom führenden Freileitungen zu beachten. Da das Silo auch in Zeiten angeliefert wird, in denen die Baustelle nicht besetzt ist, muss der Standplatz eindeutig markiert sein.

1.9 Kennzeichnung des Mauermörtels

Mauermörtel nach DIN EN 998-2 werden mit dem CE-Kennzeichen versehen (siehe Bild 2). Entsprechen diese Mörtel außerdem der DIN V 18580, erhalten sie zusätzlich ein entsprechendes Ü-Zeichen, das gesondert am Produkt angebracht wird. Es wird empfohlen, nur Mauermörtel zu verwenden, die zusätzlich ein Ü-Zeichen tragen, weil die Tragfähigkeit des Mauerwerks dann deutlich höher ausgenutzt werden kann.

Ist ein Mauermörtel nur mit einer CE-Kennzeichnung versehen, so sind für die Herstellung von Mauerwerk mit diesem Mörtel zusätzlich die Anwendungsregeln der DIN V 20000-412 zu beachten.

Die Bezeichnung der Mörtel erfolgt nach DIN EN 998-2. Zusätzlich ist der Mörtel mit Bezug auf DIN V 18550 mit der Angabe der Mörtelart und Mörtelgruppe zu bezeichnen.

Beispiele für die Bezeichnung nach DIN V 18580 sind

- für Dünnbettmörtel DIN V 18580 – DM,
- für Normalmauermörtel DIN V 18580 – NM IIa.

Mauermörtel, die das CE-Zeichen nach DIN EN 998-2 und das Ü-Zeichen nach DIN V 18580 tragen, erfüllen die gleichen Anforderungen, die früher von Mauermörteln mit Ü-Zeichen nach DIN 1053-1 erfüllt wurden. Die Anwendung von Mauermörteln ohne Ü-Zeichen nach DIN V 18580 ist nicht zu empfehlen, weil die Tragfähigkeit von Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA damit nicht ausgenutzt werden kann.

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, Zuschlag, 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 V 18550 [8] für Außen-, Innen- und Leichtputze (außen) tabelliert. In den Tabellen 4 und 5 sind Mörtelgruppen und zuzuordnende Druckfestigkeitskategorien aufgeführt. Putz erreicht seine endgültigen Eigenschaften erst durch Verfestigung am Bauteil.

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

Einlagig aufgetragene Putze sind in der Regel Untergründe zur weiteren Bearbeitung. Bei höheren Anforderungen sind auf den Grundputz z.B. zusätzliche Wandbeläge (Vliese, Gewebeta-peten) oder fachgerecht aufgebaute Beschichtungen nach DIN 18363 mit Grundierung, (Gewebe-, Vlies-) Spachtelung und Beschichtung bzw. Anstrich aufzubringen. Soll die Wandfläche nur angestrichen werden, so sind erhöhte Anforderungen (z.B. Qualitätsstufe Q 3 nach DIN 18550: Anhang B) zu stellen. In Abstimmung mit dem Bauherren ist frühzeitig ein abgestimmtes Oberflächensystem (Grundputz, Beschichtung, Wandbeläge) festzulegen und auszu-schreiben.

Aufgaben von Putzen/Putzsystemen:

- Schaffung von ebenen Oberflächen als Sichtflächen oder Untergrund für Anstriche, Tapeten, Beschichtungen
- Beständigkeit gegen langfristig einwirkende Feuchtigkeit in Innenräumen (Innenwand- und Deckenputze in Feuchträumen)
- Ausreichende mechanische Beanspruchbarkeit bzw. Abriebfestigkeit (z.B. Sockelputz, Treppenhauswände, Außenwandputz als Träger von

CE	
0778	
Mörtel GmbH Musterstraße 1 D-12345 Musterstadt	
13 Nr. AAA-PPP-6793-NM	
EN 998-2 :2010 Normalmauermörtel (G)	
Normalmauermörtel nach Eignungsprüfung zur Verwendung in Wänden, Pfeilern und Trennwänden aus Mauerwerk (Innen- und Außenbauteile), die Anforderungen an die Standsicherheit unterliegen.	
Druckfestigkeit:	M 5
Verbundfestigkeit:	Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit): 0,15 N/mm ² (Tabellenwert)
Chloridgehalt:	≤ 0,1 M.-%
Brandverhalten:	A 1
Wasseraufnahme:	≤ 0,40 kg/(m ² ·min ^{0,5})
Wasserdampfdurchlässigkeit:	15/35 (Tabellenwert)
Wärmeleitfähigkeit:	$\lambda_{10, dry, mat} \leq 0,82 \text{ W/(m·K)}$ für P=50% $\lambda_{10, dry, mat} \leq 0,89 \text{ W/(m·K)}$ für P=90% (Tabellenwerte)
Dauerhaftigkeit: (Frostwiderstand)	Aufgrund vorliegender Erfahrungen bei sachgerechter Anwendung geeignet für stark angreifende Umgebung nach EN 998-2 Anhang B
Gefährliche Substanzen:	NPD

Bild 10: Beispiel für CE-Kennzeichnung nach Bauproduktenverordnung 2012

Tafel 4: Putzmörtelgruppen

a) Putz mit mineralischen Bindemitteln (mineralische Putze) – DIN V 18550		
Putzmörtelgruppe	Bindemittelart bzw. Mörtelart	
P I	Luftkalkmörtel, Wasserkalkmörtel, Mörtel mit hydraulischem Kalk	
P II	Kalkzementmörtel, Mörtel mit hochhydraulischem Kalk oder mit Putz- und Mauerbinder	
P III	Zementmörtel mit oder ohne Zusatz von Kalkhydrat	
P IV	Gipsmörtel und gipshaltige Mörtel	
b) Putz mit organischen Bindemitteln (Kunstharzputze) – DIN 18558		
Putzmörtelgruppe	Typ Beschichtungsstoff	Anwendung
P Org 1	Beschichtungen mit putzartigem Aussehen	Außen- und Innenputz
P Org 2		Innenputz

Tafel 5: Klassifizierung der Eigenschaften von Fest-Putzmörtel – DIN EN 998-1

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

Beschichtungen – z.B. Kellerwandputze – oder mit erhöhter mechanischer Beanspruchung)

- Witterungsschutz, vor allem Feuchteschutz (Regenschutz)
- Ästhetisch ansprechende Oberflächenausbildung (z.B. Struktur, Farbe)

2.2 Technische Regelwerke

Mineralische Putzmörtel nach DIN EN 998-1 [9] 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, so darf er mit einer CE-Kennzeichnung versehen und verwendet werden.

DIN V 18550 [8] enthält die handwerklichen Ausführungsregeln und die anerkannten Regeln der Technik für das Verputzen.

Für die Planung und Ausführung von Putzarbeiten wurden auch europäische Normen erarbeitet, DIN EN 13914-1 für Außenputz [10] und DIN EN 13914-2 für Innenputz [11]. Beide Normen ersetzen jedoch nicht die DIN V 18550, die in Deutschland maßgeblich ist. Liegt den Bauleistungen die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) zugrunde, so schreibt die darin verankerte und für Putzarbeiten geltende DIN 18350 ohnehin die Anwendung der DIN V 18550 vor [12].

Entspricht der Putzmörtel DIN EN 998-1, so darf er mit einer CE-Kennzeichnung versehen und verwendet werden.

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 erlaubt die gezielte Zusammensetzung der Putzmörtel auf besondere Bedingungen des Putzgrundes oder der Verarbeitung. Deshalb empfiehlt sich die vorzugsweise Anwendung von Werkputzmörteln. Werkputzmörtel wird

als Werk-trockenmörtel fertig auf die Baustelle geliefert. Dort wird er durch Zugabe von Wasser und Mischen auf eine Verarbeitungs-Konsistenz gebracht. Als Werk-frischmörtel wird er fertig gemischt auf die Baustelle gebracht. Er ist ohne weitere Arbeitsschritte sofort verarbeitbar.

Putzmörtel können im Sonderfall auch wie folgt geliefert bzw. bereit gestellt 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 Lieferwerkes zugegeben werden.

- **Baustellenmörtel**
Putzmörtel, die auf der Baustelle zusammengesetzt und gemischt werden.

Werk- und Baustellenmörtel sind nicht zu empfehlen.

Die Putzmörtel werden als Sack- oder Silo-ware auf die Baustelle geliefert. Zur Aufstellung der Baustellensilos sind die Hinweise der Mörtelhersteller zu beachten, siehe Abschnitt 1.8.

2.4 Einteilung der Putze

2.4.1 Eigenschaften/Verwendungszweck

Nach den Eigenschaften und/oder dem Verwendungszweck lassen sich die Putzmörtel wie folgt unterscheiden:

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

Die Kurzzeichen beziehen sich auf die englische Bezeichnung.

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 1168 (Baugipse). Die Putze werden in DIN V 18550 nach Mörtelart (Bindemittelart) in Putzmörtelgruppen – wie bisher – eingeteilt, jedoch ohne die bisherigen Anforderungen an die Druckfestigkeit, Tafel 4. Diese ist mit anderen Eigenschaften in DIN EN 998-1 nach Kategorien klassifiziert, Tafel 5.

- Putze mit organischen Bindemitteln (Kunstharzputze). Für diese sind Beschichtungen mit putzartigem Aussehen nach DIN 18558 zu verwenden. Sie werden in die Typen
 - P Org 1 – Anwendung als Außen- und Innenputze und
 - P Org 2 – Anwendung als Innenputz unterschieden.

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.

Wasser hemmende, Wasser abweisende Putze/Putzsysteme für Anforderungen nach DIN 4108-3 (Schlagregenschutz)

Das Putzsystem muss nach DIN V 18550 aufgebaut sein. Die den Regenschutz im Wesentlichen bewirkende(n) Putzlage(n) muss/müssen der folgenden Anforderung bei Prüfung nach DIN V 18550, Anhang A genügen.

- Wasser hemmende Putzsysteme
 $0,5 < w < 2,0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
- Wasser abweisende Putzsysteme
 $w \cdot s_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$
 $w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ – siehe [8]
 $s_d \leq 2,0 \text{ m}$

mit	
w	Wasseraufnahmekoeffizient [kg/(m ² · h ^{0,5})]
s _d	Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke [m]

Mit diesen Anforderungen wird sichergestellt, dass eingedrungenes Wasser durch Diffusion wieder entweichen kann. Die Anforderung gilt für Putzsysteme; bei zweilagigem Außenputz also für das System aus Unter- und Oberputz.

Außensockelputz

Außensockelputze müssen ausreichend fest, Wasser abweisend und widerstands-

fähig gegen kombinierte Einwirkung von Feuchte und Frost sein, z.B. mineralische Putze Kategorie CS IV. Auf leichteren und weicheren Wandbaustoffen (Steine der Festigkeitsklasse ≤ C8) sollten jedoch Außensockelputze (Unterputze) der Kategorie CS III nach DIN EN 998-1 (Druckfestigkeit 3,5 bis 7,5 N/mm²) mit hydraulischen Bindemitteln aufgebracht werden. Die Druckfestigkeit mineralischer Oberputze soll mindestens 2,5 N/mm² betragen. Organische Oberputze müssen der Mörtelgruppe P Org 1 entsprechen.

Bei Wärmedämm-Verbundsystemen sind für den armierten Unterputz bzw. die Armierungsschicht die systemzugehörigen Komponenten (Mörtel, Gewebe) zu verwenden.

Im Sockelbereich können für den Oberputz sowohl organisch gebundene Putze, z.B. Kunstharzputze nach DIN 18558, als auch mineralische Putze eingesetzt werden. Mineralische Putze auf Wärmedämmplatten werden nach dem heutigen Stand der Technik in Anlehnung an DIN V 18550 in der Mörtelgruppe P II (Mindestdruckfestigkeit 2,5 N/mm²) ausgeführt [13].

Kellerwandaußenputz

Kellerwandaußenputze 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.

Sockelputze sowie Kellerwandaußenputze sind im erdberührten Bereich immer abzudichten. Der Putz dient als Träger der vertikalen Abdichtung [8].

Wärmedämmputz/-putzsysteme

Wärmedämmputzsysteme werden zur Verbesserung der Wärmedämmung von einschaligen Außenwänden eingesetzt. Sie sind in DIN V 18550 genormt und bestehen aus einem wärmedämmenden Unterputz (Wärmedämmputz) mit leichten wärmedämmenden Zuschlägen, z.B. expandiertes Polystyrol, und einem Wasser abweisendem Oberputz. Der Wärmedämmputz muss einen Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit von höchstens 0,2 W/(m·K) aufweisen. Die Putzdicke muss mindestens 20 mm und soll in der Regel höchstens 100 mm betragen.

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

Die Dicke dieser Putze richtet sich nach den jeweiligen Anforderungen.

Akustikputz

Akustikputze sind sehr hohlraumreich und absorbieren Schallenergie. Sie reduzieren die Schallreflexion und den Schallpegel und verkürzen die Nachhallzeit. Die Putze werden nach Schallabsorptionsklassen eingeteilt (siehe [8]).

Brandschutzputz

Übliche Gips- und Kalkzementputze verlängern die Feuerwiderstandsdauer von Mauerwerk und anderen Bauteilen. Brandschutzputze werden speziell für den Brandschutz von Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen entwickelt und enthalten Vermiculite (Blähglimmer) als Zuschlag. Zu Anforderungen an Putz als Brandschutzbekleidung siehe DIN 4102.

Strahlenschutzputz

Strahlenschutzputz enthält Baryt als Zuschlagkomponente und erhöht die Strahlungsabschirmung.

Magnetputz

Magnetputze bestehen aus acrylharzgebundenen Metallsanden und werden als Unter- oder Dekorputz in Büroräumen eingesetzt.

Sanierputz

Sanierputzmörtel sind Mörtel mit hoher Porosität und geringem Wasserdampfdiffusionswiderstand sowie verminderter kapillarer Leichtfähigkeit. Sie werden zur Sanierung von feuchtem, salzbelastetem Mauerwerk eingesetzt. Hinweise für bestimmte Sanierputzsysteme enthält das WTA-Merkblatt „Sanierputzsysteme“ [14].

Dünnlagenputz

Dünnlagenputzmörtel besteht aus mineralischen Bindemitteln, ggf. mit organischen Zusätzen zur Verbesserung der Dehnfähigkeit. Das Wasserrückhaltevermögen und die Haftungseigenschaften sind auf die jeweilige Putzdicke abgestimmt. Die Putzmörtel werden als Innenputz angewendet. 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.

Dünnlagenputze sind Bekleidungen ohne die Möglichkeit eines Ebenheitsausgleichs zwischen Untergrund und Bekleidung. Damit wird von der Annahme der fortschreitenden Genauigkeit mit dem Ausbau abgewichen, wie sie der DIN 18202 [16] zugrunde liegt. In diesem Fall reichen die üblicherweise vom Rohbauer geschuldeten Ebenheitsanforderungen (DIN 18202, Tabelle 3, Zeile 5: $\Delta e \leq 5$ mm bei 10 cm Messpunkt-Abstand) nicht aus. Dies gilt sinngemäß auch für Fliesenbekleidungen im Dünnbettverfahren. Die Anforderungen an die fertige (verputzte) Wand sind dann bereits an die rohe Wand (Mauerwerk) zu stellen: $\Delta e \leq 3$ mm bei 10 cm Messpunkt-Abstand [17]. Fachgerecht hergestelltes KS-Plansteinmauerwerk erfüllt diese Voraussetzung.

Die geringen Putzdicken müssen jedoch bereits bei der Planung berücksichtigt werden. Sonderbauteile wie Rollladenkästen, Stürze oder Türzargen, aber auch z.B. die Fensterleibung, Bild 11, müssen wie alle weiteren Fertigwanddicken Einbauteile auf die dünnere geputzte 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 auf die geringen Putzdicken abzustimmen.

Mit Dünnlagenputzen wird ein Beitrag zum kostengünstigen Bauen geleistet (geringe

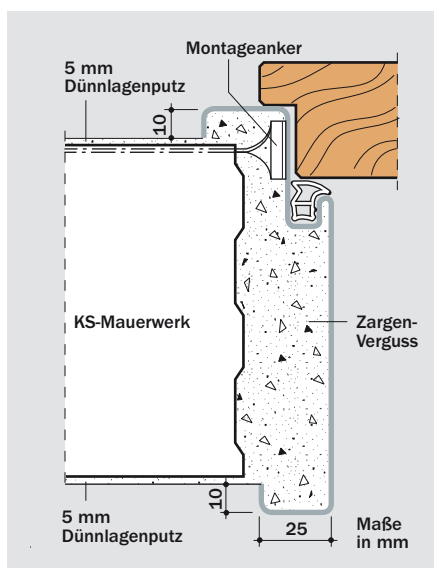


Bild 11: Dünnlagenputz; beispielhafte Ausbildung der Türzarge

Herstellkosten für den Innenputz, Wohnflächengewinn), ohne die statischen und bauphysikalischen Eigenschaften der Wand zu beeinträchtigen. Müssen Dünnlagenputze in größeren als den planmäßigen Putzdicken aufgetragen werden, entfällt dieser Vorteil.

2.5 Putzgrund

Der Putzgrund Kalksandstein-Mauerwerk muss den Ausführungsregeln der DIN EN 1996-1-1/NA und den Anforderungen der DIN V 18550 genügen, die wichtigsten sind nachfolgend aufgeführt.

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.

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

DIN V 18550

Der Putzgrund muss ebenflächig, tragfähig, ausreichend formstabil, staubfrei und frei von Verunreinigungen sowie frostfrei sein.

Diese Anforderungen werden von fach- und regelgerechtem Kalksandstein-Mauerwerk erfüllt.

2.6 Ausführung von Putz

2.6.1 Prüfen und Vorbereiten des Putzgrundes

Für eine gute und dauerhafte Haftung des Putzes auf dem Putzgrund ist dessen Beschaffenheit von wesentlichem Einfluss. Diese ist deshalb zu prüfen und zu dokumentieren, siehe DIN V 18550.

Vor dem Beginn der Putzarbeiten muss der Auftragnehmer der Putzarbeiten im Zuge der Wahrnehmung der Prüf- und Hinweispflicht den Putzgrund gemäß VOB/C-ATV: DIN 18350 [18] prüfen. Bedenken müssen ggf. angemeldet werden. Die Prüfungen sind im gewerbeüblichen Rahmen vorzunehmen. Der Auftragnehmer kann davon ausgehen, dass ordnungsgemäß nach

DIN EN 1996-1-1/NA hergestelltes Mauerwerk den Anforderungen genügt.

Der Putzgrund muss eben, staubfrei und frei von losen, die Putzhaftung beeinträchtigenden Bestandteilen sein. Die Ebenheitsanforderungen der DIN 18202, das heißt eine Ebenheit ≤ 5 mm bei 10 cm Messpunkt-Abstand 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].

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

Wichtige Prüfungen betreffen die Saugfähigkeit, den Feuchtezustand und die Putzgrundtemperatur. Auf nasse Wandflächen darf nicht geputzt werden. Auf augenscheinlich feuchtes Kalksandstein-Mauerwerk mit ausreichender Saugfähigkeit kann geputzt werden. Im Zweifelsfall ist eine Probefläche anzulegen.

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

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

Bei baustellengemischten Putzmörteln ist ein Spritzbewurf mit Zementmörtel P III erforderlich.

Abweichend von der Putzgrundvorbehandlung für Innenputze nach DIN V 18550 erfordert der Putzgrund für Dünnlagenputze eine größere Sorgfalt. So müssen überstehende Fugenmörtel oder von Betondecken ablaufende Zementsteinläufer, so genannte Betonnasen, entfernt werden.

Bei Dünnlagenputzen sind Ausbrüche aus dem Stein und eingezogene Fugen vor dem Putzauftrag fachgerecht zu schließen [15]. Schlitze für Elektro- oder Sanitärleitungen müssen ebenfalls vorab mit Mörtel verschlossen werden. Dabei ist auf die notwendige Trocknungszeit zu achten.

Bei Materialwechsel im Putzgrund müssen Putzbewehrungen eingearbeitet werden. Die Leibungen von Fenstern und Türen sind vor dem Verputzen der Wandflächen herzustellen.

Werden Glattstriche an den Leibungen für den Einbau von Fenstern gefordert, so sind dies nach VOB/C:ATV DIN 18330 [18] besondere Leistungen und daher besonders zu beschreiben.

2.6.2 Allgemeine Ausführungsregeln

Die wichtigsten Ausführungsregeln enthält DIN V 18550, Abschnitt 9.3, siehe Bild 12:

„Der Mörtel für die einzelnen Putzlagen ist von Hand oder mit einer Maschine möglichst gleichmäßig dick aufzubringen und ebenflächig 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.

Mineralische Putze sind vor zu schneller Austrocknung zu schützen und nötigenfalls durch Benetzen mit Wasser feucht zu halten, damit sie nicht zu schnell austrocknen.

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

Zur Verhinderung schädlicher Risse im Putz, z.B. bei Inhomogenitäten des Putzgrundes, oder lokal begrenzter möglicher Rissbildungen mit relativ geringen Rissbreiten (Fensterdecken) können Putzbewehrungen, z.B. Gewebe aus mineralischen Fasern oder Kunststofffasern beitragen. Sie sollen alkalibeständig und ausreichend steif sein, um entstehende Zugspannungen sofort aufnehmen und verteilen zu können, so dass sich viele kleine kaum sichtbare, unschädliche Risse bilden. Die Bewehrungen sind straff und faltenfrei im Allgemeinen in der oberen Hälfte der Putzlage möglichst oberflächennah anzuordnen. Konstruktionsbedingte Rissbildungen



(z.B. infolge Deckendurchbiegung) können durch Putzbewehrungen nicht verhindert werden.

2.6.3 Innenputze

Die Putzmörtel müssen DIN EN 998-1, DIN EN 13279 (Gips-Putztrockenmörtel) bzw. DIN 18558 (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.

Bei Innenwandputzen aus mineralischen Bindemitteln für übliche Anforderungen (z.B. Träger von Tapeten, Anstrichen) müssen die Putzmörtel der Kategorie CS II oder DIN EN 13279 entsprechen. Bevorzugt werden gips- oder anhydritgebundene Putze angewendet. Bei Putzsystemen nach DIN V 18550, Tabelle 3, ist kein Nachweis erforderlich. Innenwandputze für Feuchträume müssen langfristig gegen Feuchte beständig sein. Deshalb dürfen Putzsysteme aus Gips-Putztrockenmörtel nach DIN EN 13279 nicht verwendet werden. Häusliche Küchen und Bäder sind nach DIN V 18550 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



Bild 12: Arbeitsschritte beim Verputzen einer Wand; a: Abspachteln der Stoß- und Lagerfugen bei Dünnlagenputz; b: Auftrag des Putzmörtels; c: Glätten des Putzes

fachgerecht abzudichten. Wird zusätzlich eine rückseitige Durchfeuchtung des Putzes vom Putzgrund her ausgeschlossen, so ist in diesen Fällen auch Gipsputz anwendbar.

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

- Allgemein: 15 mm/10 mm
- Einlagig, Werk-Trockenmörtel: 10 mm/5 mm
- Dünnlagenputz: 5 mm/3 mm

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

Innenputze werden in einem Arbeitsgang aufgebracht. Zweischichtiges Verputzen mit Gipsputzmörteln ist nicht zu empfehlen, da durch Kristallisation der ersten Putzschicht die Haftung 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. Soll die Wandfläche nur angestrichen werden, wird empfohlen, neben anderen Maßnahmen den Putz in zwei Schichten aufzutragen. Die Angaben der Putzhersteller sind zu beachten.

Haarrisse infolge nicht völlig vermeidbarer Putzgrundverformungen können von Dünnlagenputzen wegen der geringen Putzdicke nicht ohne Weiteres überbrückt werden. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn auf eine Tapete bzw. ein strukturloses Malervlies, die bereits in gewissem Maße rissüberbrückend wirken, verzichtet werden soll und durch eine glatte, gestrichene Putzoberfläche ersetzt wird.

Die gewünschte Oberflächenbeschaffenheit muss bei der Planung beschrieben werden. Dazu werden in DIN V 18550, Anhang B, vier Qualitätsstufen Q1 bis Q4 angegeben.

Bei einlagigen Putzen nach DIN V 18550: 2005-04 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 der DIN

V 18550 sollten (bei Verzicht auf Tapeten) ohnehin mit zweilagigem Putz ausgeführt werden. Die zweite Putzlage ist deutlich später als die erste Putzlage aufzubringen. Bei Gipsputzen ist immer Rücksprache mit dem Putzhersteller aufzunehmen.

2.6.4 Außenputze

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

Sie stellen gleichzeitig die sichtbare Außenfläche dar und sollen den Anforderungen des Bauherrn an Farbe und Oberflächenstruktur 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 Putzgrundvorbereitung aufgebracht werden. Allgemein anerkannte Regel der Technik ist es, den Unterputz in zwei Arbeitsgängen – frisch in frisch – aufzubringen.

Bei farbigen Edelputzen – mit Ausnahme der Putzweise Kratzputz – muss 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). Diese bestehen aus Wärmedämmstoffschicht(en), Unterputz mit Armierungsgewebe und Außenputz, Bild 13.

WDVS dürfen nur verwendet werden, wenn sie bauaufsichtlich zugelassen sind. In der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) sind die einzelnen Systemkomponenten, so auch der Putz, genau beschrieben. Von der abZ darf nicht abgewichen werden, z.B. durch Austausch des Außenputzes. Da diese Außenputze und auch ihre Verarbeitung in der abZ festgelegt sind, wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

Für den Sockelbereich gelten besondere Anforderungen, siehe 2.4.3.

Beim Verputzen von zweischaligem Kalksandstein-Mauerwerk, Bild 14, sind die im Vergleich zu dem üblicherweise belasteten Mauerwerk größeren Verformungen des Putzgrundes zu beachten. Verblendscha-

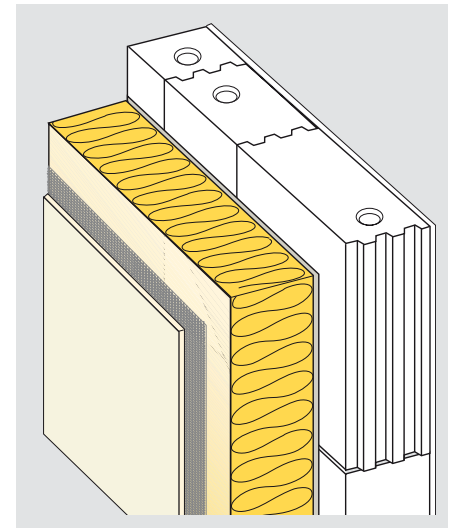


Bild 13: Kalksandstein-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)

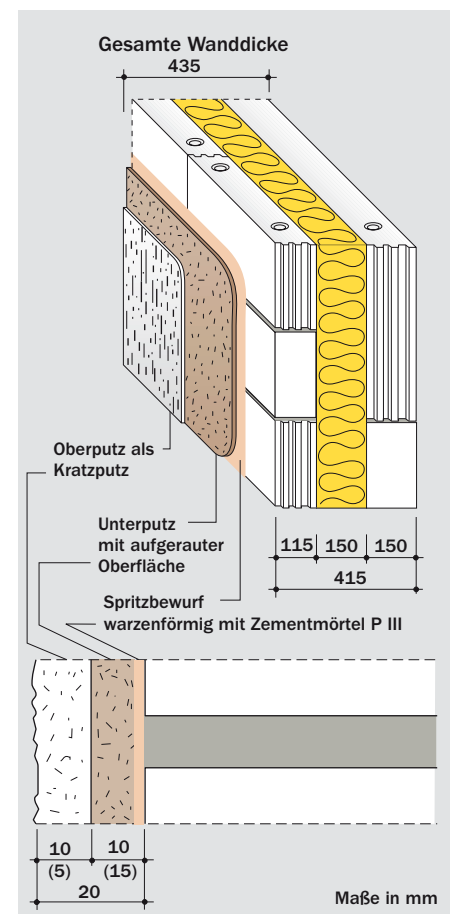


Bild 14: Geputzte Außenschale (Vormauerschale) von zweischaligem Außenmauerwerk – empfohlener Putz: Leichtputz (DIN V 18550)

len sind nicht vertikal, z.B. durch eine Geschossdecke, belastet, so dass thermische und hygri-sche Beanspruchungen zu schädlichen Verformungen führen können. Der Putzmörtel muss diese Verformungen schadensfrei aufnehmen können. Besonders geeignet sind deshalb Putzmörtel bzw. Putze mit niedrigem Zug-Elastizitätsmodul, hoher Zugbruchdehnung und Zug-Relaxation (hoher Spannungsabbau). Infrage kommen dafür Leichtputze nach DIN V 18550, auch mit Faserbewehrung.

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

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 angeklebt 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 18157:1979-07 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. Im Zweifelsfall ist eine Wartezeit nach DIN 18157 von sechs Monaten einzuhalten. Die Einschränkung der DIN 18157 auf die hydraulisch gebundene Putze P II und P III als Untergrund für Fliesenbeläge ist nach neuen Erkenntnissen überholt. Im Bereich häuslicher Feuchträume, wie z.B. in Bädern und Küchen, können Fliesen auch auf Gipsputz verlegt werden.

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 18352:1998-05

Bei der Fliesenverlegung im Dickbettverfahren werden die Fliesen in ein 10 bis

15 mm dickes Mörtelbett gelegt. Als Ansetzmörtel ist ein zementgebundener Putzmörtel, in der Regel ein Mörtel der Mörtelgruppe III zu verwenden. 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 P III nach DIN V 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 unterscheidet zwei Verfahren:

- Floating-Verfahren
Der hydraulisch erhärtende Dünnbettmörtel wird in zwei Arbeitsgängen auf das KS-Mauerwerk aufgebracht. Im ersten Arbeitsgang wird mit einer Glättkelle eine dünne Schicht des Dünnbettmörtels auf das Mauerwerk aufgezogen. Auf die frische Schicht wird im zweiten Arbeitsgang der Dünnbettmörtel in der für die Abkämmung erforderlichen Menge aufgetragen und mit einem Zahnpachtel abgekämmt. Die Fliesen müssen in das frische Mörtelbett eingeschoben und angeklopft werden, bevor der Dünnbettmörtel eine Haut bildet.
- Buttering-Verfahren
Der hydraulisch erhärtende Dünnbettmörtel wird auf die Rückseite der Fliese in der erforderlichen Menge gleichmäßig aufgetragen und vor der Hautbildung auf das KS-Mauerwerk angesetzt. Das Buttering-Verfahren wird bei ungleichmäßiger Dicke der Fliesen bevorzugt.

Beide Verfahren können auch kombiniert werden, indem der Dünnbettmörtel 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 2010-12

- [2] DIN 1053-1:1996-11 Mauerwerk – Teil 1: Berechnung und Ausführung
- [3] DIN EN 1996-1-1:2010:12 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.
- [4] DIN V 20000-412:2004-03 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 412: Regeln für die Verwendung von Mauermörtel nach DIN EN 998-2:2003-09 (Vornorm)
- [5] DIN V 18580:2007-03 Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften (Vornorm)
- [6] DIN 18330:2006-10 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Mauerarbeiten
- [7] Merkblatt Aufstellbedingungen für Transportsilos. Industrieverband Werk-trockenmörtel e.V., Duisburg
- [8] DIN V 18550:2005-04 Putz und Putzsysteme – Ausführung (Vornorm)
- [9] DIN EN 998-1:2003-09 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel; Deutsche Fassung 2010-12
- [10] DIN EN 13914-1:2005-06 Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 1: Außenputz
- [11] DIN EN 13914-2:2005-07 Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 2: Planung und wesentliche Grundsätze für Innenputz
- [12] Leitlinien für das Verputzen von Mauerwerk und Beton. Industrieverband Werkmörtel e.V. April 2007
- [13] Merkblatt: Wärmedämm-Verbundsysteme im Sockel- und erdberührten Bereich 10/2000; Herausgeber GTA – Gemeinsamer Technischer Ausschuss der Verbände
- [14] WTA-Merkblatt 2-9-04/D Sanierputzsysteme, Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., München
- [15] Merkblatt Dünnlagenputz im Innenbereich. Hrsg.: Deutscher Stuckgewerbebund u.a., Berlin 09/2012
- [16] DIN 18202:2013-04 Toleranzen im Hochbau – Bauwerke
- [17] Ertl, R.: Toleranzen im Hochbau – Kommentar zur DIN 18202. Verlag Rudolf Müller, Köln 2006
- [18] DIN 18350:2006-10 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Putz- und Stuckarbeiten

1. ALLGEMEINES

Die Bedeutung nachträglicher Befestigungen mit Dübeln nimmt im Bauwesen stetig zu. Die Anwendungen für ihren Einsatz sind sehr vielfältig. Einrichtungsgegenstände wie z.B. Hängeschränke, Regale, Spiegel, Bilder oder Lampen (Bild 1) werden in der Regel mit Dübeln befestigt.

Typische Anwendungen sind aber auch Fassadenunterkonstruktionen, Vordächer, Markisen, Rohrleitungen (Bild 2), Lüftungskanäle, Kabeltrassen oder abgehängte Decken.

Mauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen ist für nachträgliche Befestigungen mit Dübeln sehr gut geeignet, da die hohen Druckfestigkeiten der Mauerwerkssteine hohe Haltewerte garantieren. So können Kunststoffdübel aus Polyamid in Kalksand-Vollsteinen unter Zuglast und Querbeklastung vergleichbare Tragfähigkeiten wie in Normalbeton geringer Festigkeiten erreichen.



Bild 1: Befestigung von Feuerlöschern

Bild: Adolf Würth GmbH & Co. KG



Bild 2: Rohrbefestigung

Bild: Adolf Würth GmbH & Co. KG

In Kalksand-Lochsteinen ist wegen der hohen Festigkeit der Steinstege ebenfalls mit relativ großen Traglasten zu rechnen. In diesen Fällen hängt die Tragfähigkeit jedoch wesentlich von der Anzahl der vom Dübel aktivierten Steinstege sowie der Dicke des Außenstegs ab.

In den folgenden Abschnitten werden die für Befestigungen in Kalksandstein geeigneten Dübelssysteme beschrieben, ihre Anwendungsbedingungen zusammengestellt und das Wirkprinzip erklärt.

2. DÜBELSYSTEME

Für nachträgliche Befestigungen an KS-Vollsteinen (Lochanteil < 15 %) oder KS-Lochsteinen (Lochanteil > 15 %) eignen sich Kunststoffdübel und Injektionssysteme mit oder ohne Siebhülse.

Kunststoffdübel werden auch für Verankerungen von Vorsatzschalen bei zweischaligem Mauerwerk eingesetzt [1]. Der Vorteil von Kunststoffdübeln gegenüber Injektionssystemen ist die einfachere Montage (Bild 3). Vorteile der Injektionssysteme sind die in der Regel höheren Tragfähigkeiten und die Anwendung als Einzelbefestigung.

2.1 Kunststoffdübel

Kunststoffdübel bestehen aus einer Dübelhülse und einer Schraube als Spreizelement. Man unterscheidet allgemein bauaufsichtlich bzw. europäisch technisch zugelassene und nicht zugelassene Dübel. Die Dübelhülsen bauaufsichtlich zugelassener Kunststoffdübel bestehen meist aus Polyamid (PA). Die vom Hersteller mitgelieferte Schraube bildet zusammen mit der Dübelhülse eine Befestigungseinheit und darf in keinem Fall ausgetauscht werden. Länge und Geometrie von Schraube und Kunststoffhülse sind exakt aufeinander abgestimmt, um ein optimales Spreizverhalten bei der Montage zu gewährleisten. Die Dübelhülse besitzt einen Kragen, der die Solleinbaulage gewährleistet und verhindert, dass der Dübel bei der Montage in das Bohrloch hineinrutscht.

Für die Hülsen nicht bauaufsichtlich zugelassener Kunststoffdübel werden neben Polyamid auch andere Kunststoffe wie z.B. Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE) verwendet. Als Spreizelement können – je nach Herstellerempfehlung – Holzschrauben oder Spanplattenschrauben verwendet werden.

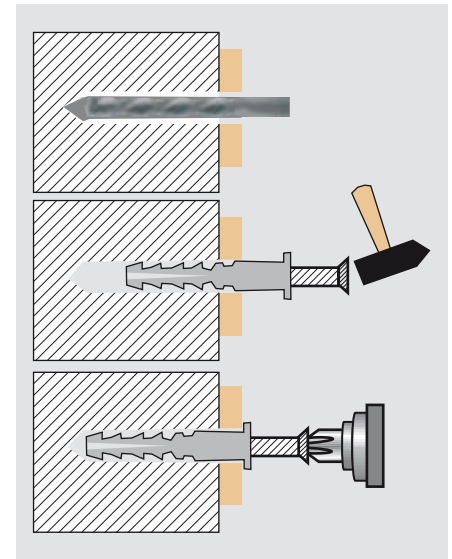


Bild 3: Montage eines Kunststoffdübels

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 Bauteil hindurch gesteckt und die Schraube von Hand oder mit Hilfe eines Elektroschraubers eingeschraubt, bis der Schraubenkopf auf dem Bauteil 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, da in diesem Fall ein sicherer Halt nicht mehr gewährleistet werden kann.

In Vollsteinen werden Zuglasten ausschließlich durch Reibung zwischen Dübelhülse und Bohrlochwand übertragen. In Lochsteinen können Reibungskräfte nur im Bereich der angeschnittenen Stege übertragen werden. Zusätzlich wird ein Teil der aufgebrachten Zuglast durch die mechanische Verzahnung zwischen der Dübelhülse und den durchbohrten Steinstege übertragen.

2.2 Verbunddübel

Injektionsdübel (Verbunddübel) bestehen aus einem Befestigungsteil (Gewindestange oder einer Innengewindehülse) und dem Injektionsmörtel. Der Mörtel wird

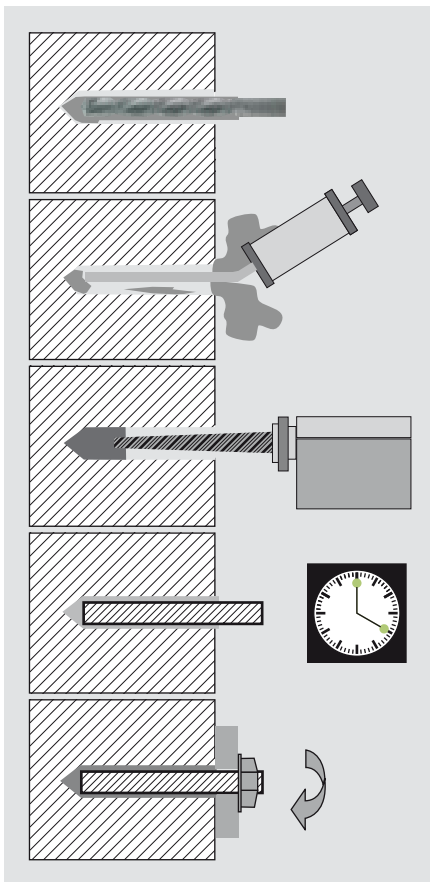


Bild 4: Montage eines Injektionsdübels als Vorsteckmontage

in der Regel in Kartuschen (Mörtel und Härter) geliefert. Als Bindemittel kommen Kunstharze oder eine Mischung aus Kunstharz und Zement (Hybridsysteme) zur Anwendung.

Für Lochsteine sind Kunststoff- oder Metallsiebhülsen notwendig, um die erforderliche Mörtelmenge in KS-Lochsteinen zu begrenzen, so dass nicht der gesamte Hohlraum mit Mörtel gefüllt werden muss. Bild 4 zeigt beispielhaft die Vorsteckmontage eines Injektionsdübels. In der Kartusche sind das Harz und der Härter stets in getrennten Kammern und in einem für die jeweilige Mörtelart speziellen Mengenverhältnis enthalten.

Der Mörtel wird mit Hilfe eines Auspressgeräts in das Bohrloch injiziert. Dabei werden Harz und Härter in einem festen Mischungsverhältnis ausgepresst und in einer Mischwendel, dem so genannten Statikmischer, an der Spitze der Kartusche vollständig miteinander vermischt. Die ersten Hübe beim Auspressen sind zu verwerfen, da das vorgegebene Mischungsverhältnis noch nicht eingehalten

ist. Der Härter und das Harz vermischen sich in der Mischwendel und härten dort aus, z.B. während einer Arbeitspause. Die Kartusche kann dann nach Aufsetzen einer neuen Mischwendel weiterverwendet werden, wobei wieder die ersten Hübe beim Auspressen zu verwerfen sind.

Nach dem Injizieren der erforderlichen Mörtelmenge wird das Befestigungsteil 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 abhängig von der Umgebungs- und Verankerungsgrundtemperatur. Je höher diese ist, desto kürzer ist die Aushärtezeit.

Um in Lochsteinen die Mörtelmenge zu begrenzen, müssen in der Regel bei zugelassenen Systemen Siebhülsen verwendet werden. Beim Einpressen dringt der Injektionsmörtel durch die Maschen der Siebhülse und passt sich dem Hohlraum im Mauerwerk an. Die Siebhülse bildet mit dem Mörtel und der Ankerstange eine Einheit und darf nicht durch eine andere Siebhülse ausgetauscht werden, da die Maschengröße und Mörtelzähigkeit aufeinander abgestimmt sind. So wird die erforderliche Mörtelmenge auf ein Minimum begrenzt und dennoch eine hohe Tragfähigkeit gewährleistet (Bild 5).

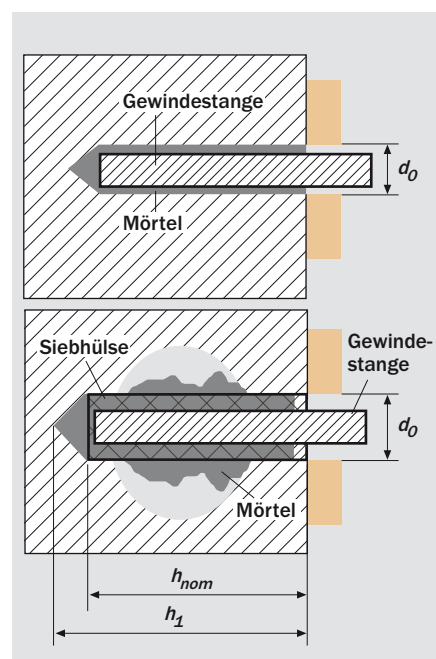


Bild 5: Injektionsdübel in KS-Vollstein und KS-Lochstein

Injektionsdübel werden in der Regel in Vorsteckmontage verwendet. Hierbei werden zuerst die Dübel gesetzt und anschließend, nach Ablauf der Aushärtezeit des Injektionsmörtels, das Anbauteil befestigt (s. Bild 4). Bei größeren Anbauteilen mit mehreren Befestigungspunkten wie z.B. Holzbalken kann dies aufgrund unvermeidlicher Toleranzen der Lage der Bohrlöcher problematisch sein.

Abhilfe bieten zugelassene Injektions-Durchsteckankerhülsen, die in Durchsteckmontage verwendet werden können und hinsichtlich unterschiedlicher Anbauteildicken flexibel sind.

Injektionsdübel tragen in Kalksand-Lochsteinen die Lasten überwiegend durch die mechanische Verzahnung des Mörtels mit dem Mauerwerk in den Untergrund ab (s. Bild 5). Werden beim Bohren keine Hohlräume angeschnitten, werden die Lasten – wie in Vollsteinen – nur durch die Klebwirkung (Verbund) zwischen Mörtel und Bohrlochwand in den Mauerwerksverband abgetragen.

2.3 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 ihre Brauchbarkeit durch eine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder eine europäisch technische Zulassung (ETA) nachgewiesen ist. Alternativ kann die Brauchbarkeit auch durch eine Zustimmung im Einzelfall geregelt werden.

Es ist unumstritten, dass Befestigungen von Fassadenunterkonstruktionen, Verankerungen von Feuerlöschleitungen und Sprinklersystemen oder von abgehängten Decken als sicherheitsrelevant einzustufen sind. Demgegenüber werden Befestigungen von Einrichtungsgegenständen (z.B. Hängeschränke, Regale, Lampen, Bilder) oder von Installationsleitungen (Wasser, Sanitär, 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, z.B. beim Herabfallen eines Küchenschanks auf ein Kleinkind. Im Zweifelsfall sollten auch für diese Anwendungen zugelassene Systeme verwendet werden. Ansonsten können solche Dübel nach handwerklichen Regeln ausgewählt und eingesetzt werden.

Neben den seit vielen Jahren bekannten Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (abZ) sind für Kunststoffdübel und Verbunddübel auch europäische technische Zulassungen (ETA) verfügbar. Im Zuge der europäischen Harmonisierung werden die deutschen Zulassungen (abZ) daher sukzessive durch die europäisch-technischen Zulassungen (ETA) ersetzt. Die europäisch-technischen Zulassungen sind dabei über die Liste der Technischen Baubestimmungen Teil II [2] bzw. über die Bauregelliste Teil B [3] geregelt.

Deutsche und europäische Zulassungen für Kunststoffdübel und Injektionsdübel unterscheiden sich in drei Punkten deutlich:

- im Bemessungskonzept,
- im zulässigen Anwendungsbereich,
- in der Definition des Verankerungsgrunds.

Deutsche Zulassungen beruhen auf dem Bemessungskonzept zulässiger Lasten, d.h., es wird nachgewiesen, dass die zu befestigende Last F nicht größer ist als der zulässige Wert F_{zul} .

Demgegenüber basiert das europäische Konzept auf Teilsicherheitsbeiwerten. Bei diesem ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der Einwirkung E_d geringer ist als der Bemessungswert des Widerstandes R_d .

Das europäische Konzept kann auf das deutsche zurückgeführt werden. Der im europäischen Nachweis verwendete Bemessungswert der Einwirkungen E_d entspricht der um den Lastteilsicherheitsbeiwert γ_F vergrößerten zu befestigenden Last F . Der Bemessungswert des Widerstandes R_d errechnet sich aus dem charakteristischen Widerstand F_{Rk} des Dübels geteilt durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M für das Material. Damit ergibt sich:

$$\begin{aligned} \text{Für Europa:} \quad S_d &\leq R_d \\ F \cdot \gamma_F &\leq F_{Rk} / \gamma_M \\ F &\leq F_{Rk} / (\gamma_F \cdot \gamma_M) \end{aligned}$$

$$\text{Für Deutschland: } F \leq F_{Rk} / \gamma = zul F$$

Die Werte für F_{Rk} und γ_M sind vom Verankerungsgrund bzw. dem Dübelssystem selbst abhängig und in der Zulassung angegeben. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_F hängt von der Art der Belastung ab und beträgt $\gamma_F = 1,35$ für ständige Lasten bzw. $\gamma_F = 1,50$ für veränderliche Lasten.

Weiterhin unterscheiden sich, vor allem bei Kunststoffdübeln, deutsche und europäische Zulassungen in der Definition des Anwendungsbereichs. Nach deutschen Zulassungen ist die Anwendung von Kunststoffdübeln auf Mehrfachbefestigungen von Fassadenbekleidungen beschränkt. In europäischen Zulassungen entfällt zwar die Beschränkung auf Fassadenbekleidungen, allerdings ist die Anwendung nur für so genannte redundante Systeme, also Mehrfachbefestigungen, erlaubt.

Mehrfachbefestigungen liegen definitionsgemäß dann vor, wenn im Falle des Versagens oder aufgrund einer großen Verschiebung der Befestigung die Last durch benachbarte Befestigungen aufgenommen werden kann.

Laut europäischer Definition ist diese Lastumlagerung automatisch und ohne zusätzliche Nachweise gewährleistet, wenn die beiden 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.
- Der verwendete Dübel muss eine Zulassung für Mehrfachbefestigungen besitzen.

Bei einer Vergrößerung der Anzahl der Befestigungspunkte von drei auf vier (oder mehr) darf der Bemessungswert der Einwirkungen vergrößert werden und beträgt maximal 4,5 kN.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen deutschen und europäischen Zulassungen für Kunststoff- und Injektionsdübel liegt in der Definition der Steine. Während deutsche Zulassungen für den Verankerungsgrund auf die jeweilige Norm verweisen, z.B. für KS-Vollsteine und KS-Lochsteine auf DIN V 106, ist dies aus europäischer Sicht nicht mehr ohne weiteres möglich.

In Europa existiert eine große Vielfalt an Mauerwerksbaustoffen, Steinformaten und Lochbildern.

Da in den europäischen Normen für Mauerwerkslochsteine in der Regel keine detaillierten Angaben über das Lochbild gemacht werden, können keine allgemeinen Angaben zur Tragfähigkeit für z.B. Kalksandlochsteine mehr gemacht werden. In den europäischen Zulassungen sind daher alle Voll- und Lochsteine detailliert beschrieben, für die der jeweilige Dübel zugelassen ist. Die angegebenen Werte bei Lochsteinen gelten daher auch nur für die Steine, die in der Zulassung beschrieben und aufgeführt sind. Dies betrifft vor allem die Angaben hinsichtlich des Formats, der Druckfestigkeit und des Lochbildes (d.h. Größe und Verteilung der Hohlräume).

3. DÜBEL FÜR SICHERHEITSRELEVANTE BEFESTIGUNGEN

3.1 Kunststoffdübel mit deutscher Zulassung

In Tafel 1 sind stellvertretend für die Vielzahl zugelassener Kunststoffdübel typische Montagekennwerte und Lasten zusammengestellt. Die zulässigen Lasten in KS-Lochsteinen gelten nur, wenn die Bohrlöcher im Drehgang ohne Hammerwirkung erstellt werden. 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 6).

Bedingt dadurch steht im Bereich der Stege weniger Steinmaterial zum Verankern des Dübels zur Verfügung. Der erforderliche Randabstand hängt davon ab, ob eine Auflast vorhanden ist oder nicht. Ist eine Auflast vorhanden, kann der Randabstand gegenüber einer Anwendung ohne Auflast vermindert werden, da die Auflast ein Ausbrechen des Mauerwerks zum freien Rand hin erschwert oder verhindert. Die Höhe der erforderlichen Auflast ist in der Zulassung allerdings nicht geregelt.



Bild 6: Unterschiedliche Vorschädigung durch Hammer- und Drehbohren auf der Rückseite

Tafel 1: Typische Kennwerte von Kunststoffdübeln mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)

KS-Vollsteine						
Dübelbezeichnung	fischer SXR		Hilti HRD-U		Würth W-UR	
Dübelgröße	8	10	10	14	8	10
Bohrlochdurchmesser d_o [mm]	8	10	10	14	8	10
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	60	60	80	85	80	80
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	50	70	70	70	70
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	8,5	10,5	10,5	14,5	8,5	10,5
Mindestbauteildicke	115	115	115	115	115	115
Minimaler Achsabstand KS-Vollsteine [mm]	100	100	100	250	100	100
Minimaler Randabstand KS-Vollsteine [mm]	250	250	250	400	250	250
Zulässige Last in KS-Vollsteinen [kN]	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6
KS-Lochsteine						
Dübelbezeichnung	fischer SXR		Hilti HRD		Würth W-UR	
Dübelgröße	8 ¹⁾	10	10	14	8 ¹⁾	10
Bohrlochdurchmesser d_o [mm]	8	10	10	14	8	10
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	60	60	80	85	80	80
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	50	70	70	70	70
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	8,5	10,5	10,5	14,5	8,5	10,5
Mindestbauteildicke	115	115	115	115	115	115
Minimaler Achsabstand KS-Lochsteine [mm]	100	100	100	250	100	100
Minimaler Randabstand KS-Lochsteine [mm]	250	250	250	400	250	250
Zulässige Last in KS-Lochsteinen [kN]	–	0,4	0,4	0,6	–	0,4

¹⁾ Dübel haben keine abZ.

Als Anhaltspunkt kann der Wert angenommen werden, der sich aus dem Randabstand ohne Auflast bestimmen lässt. Dieser Randabstand a_r beträgt nach Zulassung z.B. bei Dübeln mit einem Durchmesser von 10 mm $a_r = 25$ cm. Das bedeutet, dass das Gewicht von 25 cm Mauerwerk als Auflast für ausreichend angesehen wird.

Neben den Angaben in Tafel 1 verlangt die Zulassung noch die Einhaltung einer Reihe weiterer Bedingungen. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Eine ständig wirkende Zuglast (z.B. infolge Eigenlasten) ist nur als Schrägzuglast zulässig, die mit der Dübelachse einen Winkel von mindestens 10° bilden muss.

- Bei Anwendungen in Lochsteinen darf die Verankerungstiefe nur überschritten werden, wenn der Einfluss des Tiefersetzens auf die zulässige Last durch Versuche am Bauwerk überprüft wird.
- Der Abstand der Dübel zu Stoßfugen muss mindestens 30 mm betragen.

Kann die Lage von Stoßfugen z.B. wegen eines Putzes oder einer Wärmedämmung nicht bestimmt werden, dann ist die zulässige Last der Dübel zu halbieren, sofern keine Lastumlagerung auf mindestens zwei benachbarte Befestigungspunkte möglich ist.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

3.2 Kunststoffdübel mit europäischer Zulassung (ETA)

In Tafel 2 sind die wichtigsten Montagekennwerte und Lasten von typischen Kunststoffdübeln mit europäischer Zulassung nach ETAG 020 [4] beispielhaft genannt.

Die Lastwerte in Tafel 2 gelten auch dann, wenn die Bohrlöcher im Hammerbohrverfahren erstellt werden und Hammerbohren als Bohrverfahren in der ETA zugelassen ist. Drehbohren, wie in der deutschen Zulassung verlangt, ist nicht mehr vorgeschrieben.

Außerdem werden in der europäischen Zulassung erstmals Temperaturbereiche angegeben: Der untere Wert entspricht der Langzeit- und der obere der Kurzzeit-Temperatur. Weiterhin sind nach europäischer Zulassung ständig wirkende Zuglasten erlaubt. Die Forderung nach einem Winkel zwischen Last und Dübelachse von mindestens 10° , wie sie noch in deutschen Zulassungen erhoben wird, entfällt.

Neben den Angaben in Tafel 2 verlangt die Zulassung noch die Einhaltung einer Reihe weiterer Bedingungen. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Mörtelklasse M 2,5 nach DIN EN 998-2 bzw. Mörtelgruppe II nach DIN V 18580 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 in Tafel 2 angegebene Verankerungstiefe eingehalten werden. Ist das nicht möglich, dürfen ebenfalls 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

Tafel 2: Typische Kennwerte von Kunststoffdübeln mit europäisch technischer Zulassung (ETA)

KS-Vollsteine mit Dübeln nach ETA						
Dübelbezeichnung	fischer SXR		Hilti HRD		Würth W-UR	
Dübelgröße	8	10	8	10	8	10
Bohrlochdurchmesser d_o [mm]	8	10	8	10	8	10
Bohrlochtiefe h_x [mm]	60	60	60	60/80	80	80
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	50	50	50/70	70	70
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	8,5	10,5	8,5	11	8,5	10,5
Mindestbauteildicke	100	100	115	115	s. Stein	s. Stein
Minimaler Achsabstand KS-Vollsteine [mm]	250	250	250	250	250	250
Minimaler Randabstand KS-Vollsteine [mm]	100	100	100	100	50	50
Minimaler Abstand von Dübelgruppen senkrecht zum Rand [mm]	100	100	200	200	100	100
minimaler Abstand von Dübelgruppen parallel zum Rand [mm]	100	100	400	400	100	100
Temperaturbereich	50 °C/80 °C		50 °C/80 °C		50 °C/80 °C	
Steindruckfestigkeitsklasse	≥ 10	≥ 20	≥ 10	≥ 20	≥ 10	≥ 20
Steinbezeichnung	KS-Vollstein nach DIN V 106/EN 771-2		KS-Vollstein nach DIN V 106/EN 771-2		KS-Vollstein nach DIN V 106/EN 771-2	
Charakteristische Last in KS-Vollsteinen [kN]	2,0	2,5	2	3	1,5	3,5
KS-Lochsteine mit Dübeln nach ETA						
Dübelbezeichnung	fischer SXR		Hilti HRD		Würth W-UR	
Dübelgröße	8	10	8	10	8	10
Bohrlochdurchmesser d_o [mm]	8	10	8	10	8	10
Bohrlochtiefe h_x [mm]	60	60	60	60/80	60	80
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	50	50	50/70	50 ¹⁾ /70	70
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	8,5	10,5	8,5	11	8,5	10,5
Mindestbauteildicke	100	100	110	100/120	115	115
Minimaler Achsabstand KS-Lochsteine [mm]	250	250	250	250	250	250
Minimaler Randabstand KS-Lochsteine [mm]	100	100	100	100	100	100
Minimaler Abstand von Dübelgruppen senkrecht zum Rand [mm]	100	100	200	200	100	100
Minimaler Abstand von Dübelgruppen parallel zum Rand [mm]	100	100	400	400	100	100
Temperaturbereich	50 °C/80 °C		50 °C/80 °C		50 °C/80 °C	
Steinbild						
Minimale Außenstegdicke	24		20		16	
Steindruckfestigkeitsklasse	≥ 8	≥ 12	≥ 12	-	≥ 6	≥ 16
Steinbezeichnung	KS-Lochstein nach DIN V 106/EN 771-2		KS-Lochstein nach DIN V 106/EN 771-2		KS-Lochstein nach DIN V 106/EN 771-2	
Charakteristische Last in KS-Lochsteinen [kN]	0,5	2	0,75	-	0,5/1,2	2,5
Steinbild						
Minimale Außenstegdicke	23,5		23		16	
Steindruckfestigkeitsklasse	≥ 6	≥ 6	≥ 12	≥ 16	≥ 8	≥ 16
Steinbezeichnung	KS-Lochstein nach DIN V 106/EN 771-2		KS-Lochstein nach DIN V 106/EN 771-2		KS-Lochstein nach DIN V 106/EN 771-2	
Charakteristische Last in KS-Lochsteinen [kN]	1,2	1,5	1,5	2,5	0,6	1,5

1) Die Verankerungstiefe darf ohne Baustellenversuche bis 70 mm erhöht werden.

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} nach Tafel 2 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 Tafel 2 auch zu den Stoßfugen eingehalten wird. Ist das nicht der Fall, muss die charakteristische Tragfähigkeit halbiert werden.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

3.3 Injektionsdübel mit deutscher Zulassung

Im Gegensatz zu Kunststoffdübeln dürfen Injektionsdübel in Kalksandsteinen als Einzelbefestigungen verwendet werden. Dies bedeutet, dass die gesamte Last mit nur einem Dübel oder einer Dübelgruppe in den Ankergrund eingeleitet werden darf.

In Tafel 3 sind die wichtigsten Montagekennwerte und Lasten für Injektionsdübel in Kalksand-Vollsteinen bzw. Kalksand-Lochsteinen gemäß deutscher Zulassung zusammengefasst. Wie bei Kunststoffdübeln hängt der erforderliche Randabstand auch bei Injektionsdübeln davon ab, ob eine Auflast vorhanden ist. Es gelten entsprechend die Ausführungen für Kunststoffdübel.

Weiterhin dürfen die geringen Randabstände nur dann angesetzt werden, wenn keine Querlast in Richtung des freien Mauerwerkstrands vorhanden ist. Diese Einschränkung ist notwendig, da die Tragfähigkeit von Mauerwerksträndern bei einer Belastung in Richtung des freien Rands relativ gering ist. Üblicherweise versagen die Befestigungen durch Ausbrechen der randnahen Steinreihe. Erst bei größeren Randabständen wird dies aufgrund des zusätzlichen Gewichts der Steine verhindert.

Tafel 3: Typische Kennwerte von Injektionsdübeln mit abZ

KS-Vollsteine						
Dübelbezeichnung	fischer FIS A		Hilti HY 70		Würth WIT AS	
Dübelgröße	M10	M12	M8	M10	M8	M12
Bohrlochdurchmesser d_o [mm]	12	14	10	12	10	14
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	80	80	85	85	100	100
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	75	75	80	80	93	93
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	12	14	9	12	9	14
Mindestbauteildicke	110	110	110	110	110	100
Minimaler Einzeldübelabstand KS-Vollsteine [mm]	250	250	250	250	250	250
Minimaler Achsabstand Dübelgruppe KS-Vollsteine [mm]	100	100	100	100	100	100
Minimaler Randabstand KS-Vollsteine [mm]	250	250	200	200	250	250
Zulässige Last in KS-Vollsteinen [kN] \geq KS 12	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
KS-Lochsteine						
Dübelbezeichnung	fischer FIS HK		Hilti HY 70		Würth WIT SH	
Dübelgröße	HK 12	HK 16	M8	M10	M8	M12
Bohrlochdurchmesser d_o [mm]	12	16	16	18	18	18
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	55	90	95	95	100	100
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	85	80	80	93	93
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	7	9	9	12	9	14
Mindestbauteildicke	90	110	110	110	110	100
Minimaler Einzeldübelabstand KS-Lochsteine [mm]	250	250	250	250	250	250
Minimaler Achsabstand Dübelgruppe KS-Lochsteine [mm]	100	100	100	100	100	100
Minimaler Randabstand KS-Lochsteine [mm]	200	200	200	200	200	200
Zulässige Last in KS-Lochsteinen [kN] \geq KS L 12	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Neben den Angaben in Tafel 3 verlangt die deutsche Zulassung noch die Einhaltung einer Reihe weiterer Bedingungen. 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.
- Die Temperatur im Bereich der Vermörtelung darf 50 °C langfristig bzw. 80 °C kurzfristig nicht überschreiten.
- Bis zur Lastaufbringung sind bestimmte Wartezeiten einzuhalten, die von der

Temperatur im Ankergrund und vom Mörtelsystem abhängen. Detaillierte Angaben sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

- Die Tragfähigkeit von Injektionsdübeln ist an jeweils 3 % der Anzahl der in ein Bauteil gesetzten Dübel – mindestens jedoch an zwei Dübeln je Größe – durch eine Probebelastung zu kontrollieren. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn unter der Probebelastung bis zum 1,3-fachen der zulässigen Last keine sichtbare Verschiebung auftritt.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

3.4 Injektionsdübel mit europäischer Zulassung (ETA)

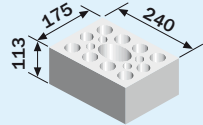
In Tafel 4 sind die wichtigsten Montagekennwerte und Lasten von Injektionsdübeln mit europäisch technischer Zulassung nach ETAG 029 [5] beispielhaft zusammengestellt.

Die Lasten gelten je nachdem für Drehbohren oder Hammerbohren, abhängig davon, welches Verfahren für den Injektionsdübel zugelassen wurde. Wird vom zugelassenen Bohrverfahren abgewichen, können Versuche am Bauwerk durchgeführt werden, um den charakteristischen Widerstand F_{Rk} zu ermitteln. Theoretisch ist die maximale Last eines Einzeldübel oder einer Dübelgruppe nicht mehr begrenzt, da alle auftretenden Versagensarten berechnet oder in Versuchen abgeprüft werden. Diejenige Versagensart, die den geringsten charakteristischen Widerstand aufweist, wird für die Bemessung maßgebend. In den europäisch technischen Zulassungen sind jeweils die zulässigen Temperaturbereiche für die Anwendung der Dübel angegeben, so dass die Temperaturbeschränkung nicht mehr vorhanden ist. Auch die vorgeschriebene Probelastung von 3 % der gesetzten Dübel entfällt, da die Anwendung nur noch in Voll- und Lochsteine zugelassen ist, die in der ETA aufgeführt sind. Diese Vorgehensweise ist analog zu der bei Kunststoffdübeln mit europäisch technischer Zulassung.

Neben den Angaben in Tafel 4 verlangt die Zulassung die Einhaltung noch einer Reihe weiterer Bedingungen. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Mörtelklasse M 2,5 nach DIN EN 998-2 bzw. Mörtelgruppe II nach DIN V 18580 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 Format, Druckfestigkeit 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.

Tafel 4: Typische Kennwerte von Injektionsdübeln mit europäisch technischer Zulassung (ETA)

KS-Vollsteine mit Dübeln nach ETA		
Dübelbezeichnung	fischer FIS V	
Dübelgröße	M10	M12
Siebhülse	nein	nein
Bohrlochdurchmesser d_o [mm]	12	14
Bohrlochtiefe h_z [mm]	50–100	50–100
Verankerungstiefe $h_{nom,min}$ [mm]	50	50
Verankerungstiefe $h_{nom,max}$ [mm]	100	100
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm] (Durchsteckmontage)	14	16
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm] (Vorsteckmontage)	12	14
Installationsdrehmoment T_{inst} [N/mm ²]	4	4
Mindestbauteildicke	s. Stein	s. Stein
Minimaler Achsabstand KS-Vollsteine [mm]	80	80
Minimaler Randabstand KS-Vollsteine [mm]	100	120
Minimaler Abstand von Dübelgruppen [mm]	240	240
Temperaturbereich	72 °C/120 °C	
Steindruckfestigkeitsklasse	≥ 10	≥ 10
Steinbezeichnung	KS-Vollstein nach DIN V 106/EN 771-2	
Charakteristische Last in KS-Vollsteinen [kN]	1,2	1,5
KS-Lochsteine mit Dübeln nach ETA		
Dübelbezeichnung	fischer FIS V	
Dübelgröße	16 x 85 M8/M10	20 x 130 M12/M16
Siebhülse	ja	ja
Bohrlochdurchmesser d_o [mm]	16	20
Bohrlochtiefe h_z [mm]	95	140
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	85	130
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm] (Vorsteckmontage)	12	14
Installationsdrehmoment T_{inst} [N/mm ²]	4	4
Mindestbauteildicke	s. Stein	s. Stein
Minimaler Achsabstand KS-Lochsteine [mm]	80	80
Minimaler Randabstand KS-Lochsteine [mm]	100	120
Minimaler Abstand von Dübelgruppen [mm]	240	240
Temperaturbereich	72 °C/120 °C	
Steinbild		
Steindruckfestigkeitsklasse	≥ 12	≥ 20
Steinbezeichnung	KS-Lochstein nach DIN V 106/EN 771-2	
Charakteristische Last in KS-Lochsteinen [kN] ¹⁾	2,0	4,0

¹⁾ Die Dübel in Lochsteinen und Vollsteinen sind nicht vergleichbar. Bei Lochsteinen ist der Bohrlochdurchmesser wegen des Einsatzes einer Siebhülse größer. Damit steigt die Verankerungstiefe und die aufnehmbare Last.

- Der Gewindedurchmesser der Ankerstange muss mindestens 6 mm betragen.
- Die Verankerungstiefe muss mindestens 50 mm betragen.
- Das KS-Mauerwerk muss mindestens 100 mm stark sein.

Der Fugeneinfluss ist wie folgt zu berücksichtigen:

Sind die Fugen des Mauerwerks nicht sichtbar, z.B. bei einer verputzten 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 Mauerwerksfugen planmäßig mit Mörtel verfüllt sind oder
- der minimale Randabstand c_{min} zu den Stoßfugen eingehalten wird.

In allen anderen Fällen sind die Tragfähigkeiten ebenfalls auf 75 % zu reduzieren.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

3.5 Checkliste für Verankerungen in Kalksandstein-Mauerwerk

Für die richtige Auswahl einer Befestigung werden die wichtigsten Punkte in Bild 7 als Checkliste dargestellt. Diese Liste sollte als Hilfsmittel verstanden werden, die je nach Gegebenheiten vor Ort angepasst werden muss.

4. DÜBEL OHNE ZULASSUNG

In nicht sicherheitsrelevanten Anwendungsfällen wie z.B. Befestigungen von Einrichtungsgegenständen in Privathäusern (Hängeschränke, Regale, Lampen, Bilder) wird keine Zulassung verlangt. Die Dübel werden nach handwerklichen Regeln ausgewählt und eingesetzt. Für diese Anwendungen können selbstverständlich auch die im Abschnitt 3 aufgeführten Kunststoff- und Injektionsdübel verwendet werden, es stehen aber auch einfachere Dübel zur Verfügung. Die Vielfalt der auf dem Markt erhältlichen Dübel ist sehr groß. Detaillierte Informationen sind beim jeweiligen Dübelhersteller zu erfragen.

- Es liegt eine untergeordnete Verankerung vor.
Wenn **NEIN** → Nur zugelassene Dübel dürfen verwendet werden.
- Mindestens Mörtelklasse M 2,5 bzw. NM II vorhanden.
Wenn **NEIN** → Anwendung liegt außerhalb der Zulassung.
- Mauerwerk ist mindestens 100 mm stark.
Wenn **NEIN** → Anwendung liegt außerhalb der Zulassung.
- Stoßfugen sind vermörtelt oder verklebt.
Wenn **NEIN** → Abminderung der Tragfähigkeit (s. Abschnitte 3.3 bzw. 3.4).
- Minimale Steindruckfestigkeit lt. Zulassung ist vorhanden.
Wenn **NEIN** → Baustellenversuche notwendig.
- Minimales Steinformat lt. Zulassung ist vorhanden.
Wenn **NEIN** → Baustellenversuche notwendig.
- Anwendung nur im trockenen Innenraum
Wenn **NEIN** → Korrosionsbeständige Dübel sind zu verwenden.
- Das vorhandene Lochbild entspricht den Zulassungsangaben.
Wenn **NEIN** → Baustellenversuche notwendig.
- Die minimalen Rand- und Achsabstände entsprechen den Zulassungsangaben.
Wenn **NEIN** → Baustellenversuche notwendig.
- Die minimale Verankerungstiefe lt. Zulassung ist eingehalten.
Wenn **NEIN** → Anwendung liegt außerhalb der Zulassung (Baustellenversuche und Zustimmung im Einzelfall möglich).
- Kunststoffdübel: Anforderungen an die Redundanz (s. Abschnitt 2.3) sind eingehalten.
Wenn **NEIN** → Anwendung liegt außerhalb der Zulassung.
- Verbunddübel: Zulässiger Temperaturbereich wird eingehalten.
Wenn **NEIN** → Anwendung liegt außerhalb der Zulassung.

Bild 7: Checkliste für Verankerungen in Kalksandstein-Mauerwerk

5. MÖRTELANKERSYSTEME

Nach DIN 18516 Teil 3 dürfen bei Fassaden aus Naturwerkstein auch eingemörtelte Verankerungen verwendet werden. Die erforderliche Dicke der tragenden KS-Außenwand muss mindestens 24 cm bzw. mindestens die 1,5-fache Einbindetiefe des Mörtelankers betragen. Die Steindruckfestigkeitsklasse der Steine der Tragschale (Voll- oder Lochsteine) beträgt mindestens 12. Die Ankerabstände haben weiterhin mehr als 300 mm zu betragen, wobei das Mauerwerk in mindestens der Mörtelgruppe II ausgeführt werden muss. Nach einem Gutachten [6] von Professor Kirtschig kann von dem in DIN 18516 Teil 3 angegebenen Format (maximal 2 DF) abgewichen werden, wenn das Mauerwerk mit Stoßfugenvermörtelung ausgeführt und nur ein Mörtelanker je Stein gesetzt wird. Dies gilt sowohl für KS -R-Blocksteine wie auch für KS -LR-Hohlblocksteine.

Die Ausführung von Fassadenbekleidungen aus Natursteinplatten setzt eine fachgerechte Planung voraus. Jede Platte wird im Regelfall an vier Punkten befestigt. Vor dem Bohren der Ankerlöcher ist die Wärmedämmung auszuschneiden, nach dem Einmörteln der Anker das ausgeschnit-

tene Stück wieder einzukleben. Die Vermörtelung der Anker ist mit Mörtel NM III vorzunehmen.

LITERATUR

- [1] Vogdt, F. U.: Außenwände. Erschienen im Fachbuch „KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung“, Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, 6. Auflage, Hannover 2014.
- [2] Liste der Technischen Baubestimmungen, Teil 2, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin 2011
- [3] Bauregelliste, Teil B, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin 2010
- [4] Europäische Organisation für Technische Zulassungen: ETAG 020, Plastic Anchors for multiple use in Concrete and Masonry for non-structural Applications, Brüssel 2006.
- [5] Europäische Organisation für Technische Zulassungen: ETAG 029, Metal Injection Anchors for use in Masonry, Brüssel 2010.
- [6] Kirtschig, K.: Gutachten zu nicht tragenden, unter Verwendung von Dünnbettmörteln hergestellten KS-Innenwänden mit nicht vermörtelten Stoßfugen vom 27.4.1998.

1. EINFÜHRUNG UND STAND DER NORMUNG

1.1 Geschichtliche Entwicklung von Kalksandstein-Mauerwerk

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 Mauerwerk im römischen Reich zudem zur Überspannung von Öffnungen oder Räumen erfolgreich eingesetzt, wenn der resultierende Bogenschub von angrenzenden Bauteilen aufgenommen werden konnte.

Bis Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde Mauerwerk hauptsächlich aus klein- und mittelformatigen Steinen hergestellt, welche mit Normalmauermörtel (mittlere Schichtdicke 12 mm) vermauert wurden. Aufgrund der hohen Maßhaltigkeit und der geschlossenen Steinoberseite der industriell hergestellten Kalksandsteine sowie der Weiterentwicklung der Mauermörtel konnte bereits 1973 erstmals die Anwendung von Kalksandsteinen in Verbindung mit Dünnbettmörtel (mittlere Schichtdicke 2 mm) an einem 10-geschossigen Wohngebäude erprobt werden. Um die Erstellung von Mauerwerkswänden zu beschleunigen, wurde damals wie heute auf die Stoßfugenvermörtelung weitgehend verzichtet. Zusätzlich wurde für den Anschluss von Querwänden erstmals die Stumpfstoßtechnik angewendet. Durch die Verwendung von großformatigen Kalksandsteinen (KS XL), die mit Hilfe von Veretzgeräten vermauert werden, konnte die Bauzeit erheblich verringert werden. Damit wurde den steigenden Lohnkosten entgegengewirkt und durch die resultierende körperliche Entlastung des Maurers zur Humanisierung der Mauerarbeiten beigetragen. Heutzutage sind Kalksandsteine in einer großen Vielzahl an Formaten erhältlich.

1.2 Stand der Normung

Während die Sicherstellung der Tragfähigkeit von Mauerwerksgebäuden in der Antike und im Mittelalter empirisch auf dem Erfahrungsschatz des Baumeisters beruhte, stehen heutzutage verschiedene Regelwerke zur Berechnung und Ausführung von Mauerwerk zur Verfügung.

1.2.1 DIN 1053

Bereits in der ersten Fassung von DIN 1053 im Jahre 1937 waren Tabellen zur Bestim-

mung der Druckfestigkeit von Mauerwerk in Abhängigkeit üblicher Steindruckfestigkeiten und Mörtelgruppen enthalten, wobei die maximal zulässige Wandschlankheit (Wandhöhe h / Wanddicke d) auf 12 begrenzt war. Die zulässigen Schubspannungen wurden generell auf 1/10 der Mauerwerksdruckfestigkeit bzw. maximal $0,1 \text{ N/mm}^2$ begrenzt. Der erste Schritt in Richtung einer ingenieurmäßigen Betrachtung von Mauerwerk wurde 1965 mit der Einführung der SIA 113 in der Schweiz vollzogen. Damit stand erstmals eine Norm zur Berechnung von hoch belastetem Mauerwerk auf Grundlage der technischen Biegelehre zur Verfügung. Dadurch wurde dem Trend zur Reduzierung der Wanddicke und zur effizienteren Ausnutzung der Potenziale von industriell gefertigten Kalksandsteinen Rechnung getragen.

In Deutschland wurde der Standsicherheitsnachweis von Mauerwerk mit Hilfe von Tabellenwerken nach der Überarbeitung von DIN 1053 in den Jahren 1952, 1962 und 1974 beibehalten. Allerdings wurde in der Fassung von 1974 die Mauerwerksdruckfestigkeit tabellarisch in Abhängigkeit von einer Ersatzwandschlankheit definiert. Die maximal zulässige Wandschlankheit betrug $h/d = 20$, wobei ausmittigt belastete Wände nur bis zu einer Schlankheit von maximal 14 ausgeführt werden durften. Motiviert durch den Erfolg der SIA 113 in der Schweiz wurde in Deutschland ab 1975 die ingenieurmäßige Berechnung von tragendem Mauerwerk weiter vorangetrieben, um die Tragfähigkeit von Mauerwerk – insbesondere von Kalk-

sandsteinen – besser ausnutzen zu können. Auf Basis intensiver Forschungsarbeiten von Gremmel [1], Kirtschig [2] und Mann/Müller [3] stand mit Einführung von DIN 1053-2 im Jahre 1984 erstmals eine Norm zur genaueren Bemessung von Mauerwerk zur Verfügung. DIN 1053-2 enthielt erstmals ein Berechnungsmodell zur Bestimmung der Wandtragfähigkeit unter Berücksichtigung der Wandschlankheit (h/d) sowie des nicht linearen Verhaltens von Mauerwerk. Darüber hinaus stand jetzt ein Modell zur Ermittlung der Schubfestigkeit unter Berücksichtigung der Steinzug- und Steindruckfestigkeit zur Verfügung. Allerdings erwiesen sich die in DIN 1053-2 angegebenen genaueren Berechnungsansätze für viele Praxisfälle als relativ kompliziert. Daher wurde DIN 1053-2 nur sehr eingeschränkt angewendet. Der Nachweis von Rezeptmauerwerk erfolgte in vielen Fällen nach wie vor stark vereinfacht mit Hilfe von Tabellen auf Basis von DIN 1053-1, was eine unwirtschaftliche Ausnutzung von Mauerwerk zur Folge hatte. Mit Einführung der 1990 überarbeiteten DIN 1053-1 zur Berechnung und Ausführung von Rezeptmauerwerk wurde deshalb ein vereinfachtes Berechnungsverfahren auf Grundlage des Teil 2 von DIN 1053 von 1984 erarbeitet und damit eine rationellere Bemessung von typischen Mauerwerksbauteilen auf Basis von zulässigen Spannungen ermöglicht. Die Ermittlung der zulässigen Spannungen erfolgte dabei mit Hilfe von Abminderungsfaktoren, die den Einfluss der Wandschlankheit und der exzentrischen Lasteinleitung infolge einer Verdrehung von aufgelegten Stahl-



Bild 1: Kalksandsteine sind nicht nur Tragelement, sondern auch Gestaltungselement.

betondecken berücksichtigten. 1984 erschien auch DIN 1053-3 zur Berechnung von bewehrtem Mauerwerk auf Basis der Stahlbetonnorm DIN 1045 aus dem Jahre 1978.

Im Jahr 1996 wurden die Teile 1 und 2 von DIN 1053 in einer gemeinsamen Norm zusammengefasst. Seither galt DIN 1053-1 [4] sowohl für Rezeptmauerwerk als auch für Mauerwerk nach Eignungsprüfung. Darüber hinaus enthielt DIN 1053-1 wichtige Anforderungen für die Ausführung von Mauerwerk. DIN 1053-2 [5] regelte seitdem lediglich die Festlegung von Mauerwerksdruckfestigkeiten auf Basis von Eignungsprüfungen. DIN 1053-2 wurde bauaufsichtlich nicht eingeführt, hatte baupraktisch keine Bedeutung und wurde daher zwischenzeitlich auch zurückgezogen. Im Rahmen der damaligen Überarbeitung von DIN 1053-1 wurden die Bemessungsverfahren dem neuesten Erkenntnisstand angepasst. Bereits mit der Ausgabe 1990 wurde das Anwendungsgebiet auf Mauerwerk mit Dünnbettmörtel erweitert. Für die Mehrzahl der einfachen Gebäude aus Mauerwerk konnte unter Beachtung gewisser Anwendungsgrenzen der statische Nachweis mit Hilfe eines vereinfachten Berechnungsverfahrens durch die Einhaltung zulässiger Spannungen erfolgen. Bei abweichenden Bedingungen oder zur rationelleren Bemessung von Mauerwerk war es nunmehr möglich, einzelne Bauteile mit Hilfe eines „genaueren Berechnungsverfahrens“ nachzuweisen, wobei die Ausnutzung von plastischen Tragfähigkeitsreserven bei exzentrischer Druckbeanspruchung seit 1996 durch eine Erhöhung der maximal zulässigen Randspannung um den Faktor 4/3 gestattet wird. Die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Mauerwerksgebäuden wurde durch einen globalen Sicherheitsbeiwert von $\gamma_{gl} = 2,0$ gewährleistet, der im vereinfachten Berechnungsverfahren bereits in den angegebenen zulässigen Spannungen enthalten war. DIN 1053-1 galt nicht für die Bemessung von großformatigen Kalksandsteinen (KS XL) mit Schichthöhen > 250 mm. Für die Anwendung von KS XL (Schichthöhen bis 650 mm) waren daher bislang die Angaben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) zu beachten.

1.2.2 Eurocode 6

Seit etwa 30 Jahren wird auf europäischer Ebene intensiv an einem einheitlichen Regelwerk, dem so genannten „Eurocode“, zur Berechnung von Bauwerken gearbeitet. Dieser soll für die verschiedenen Bau-

weisen und Baustoffe eine einheitliche Normung in Europa gewährleisten und eine länderübergreifende Planung ermöglichen. Eine wesentliche Neuerung der Eurocodes besteht in der Anwendung des Baustoff übergreifenden Sicherheitskonzepts auf der Grundlage von Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungs- und der Widerstandsseite. Das semiprobabilistische Teilsicherheitskonzept soll ein möglichst gleichmäßiges Zuverlässigkeitsniveau der Baukonstruktionen gewährleisten. Der statische Nachweis wird im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State) durch die Gegenüberstellung einwirkender und widerstehender Schnittgrößen anstelle zulässiger Spannungen geführt.

Die geltende Fassung des Eurocode 6 „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ wurde im Dezember 2010 veröffentlicht. Teil 1-1 (DIN EN 1996-1-1 [6]) enthält die entsprechenden Regelungen für die Berechnung von Mauerwerksgebäuden, welche – dem deutschen Sprachgebrauch folgend – in dieser Veröffentlichung unter dem Begriff „genaueres Berechnungsverfahren“ zusammengefasst werden. Der Nachweis von Mauerwerk mit vereinfachten Berechnungsverfahren ist in Teil 3 (DIN EN 1996-3 [7]) geregelt. Weiterhin liegen die Teile 1-2 (DIN EN 1996-1-2 [8] – Tragwerksbemessung für den Brandfall) und Teil 2 (DIN EN 1996-2 [9] – Planung, Auswahl

der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk) vor.

Eine Besonderheit der Eurocodes besteht darin, dass jedes Land spezielle national festzulegende Parameter (NDP) sowie nicht widersprechende zusätzliche Regeln (NCI) eigenverantwortlich in einem Nationalen Anhang (NA) definieren kann. Dies betrifft z.B. die anzusetzenden Sicherheitsbeiwerte. Die Nationalen Anhänge zu den Teilen 1-1, 2 und 3 des Eurocode 6 wurden im Januar 2012 veröffentlicht und zusammen mit den entsprechenden Teilen des Eurocodes am 1. Juli 2012 bauaufsichtlich eingeführt. Hierbei kommt es zunächst zu einer Übergangsphase, in der beide Normen (EC 6 und DIN 1053-1) gleichwertig verwendet werden können. Hintergrund ist, dass vor einer Zurückziehung von DIN 1053-1 zunächst auch eine Reihe von Zulassungen auf die Bemessung nach Eurocode 6 umgestellt werden muss.

Im Zuge der Erarbeitung der Eurocodes (EN) erfolgte auch eine Überarbeitung der Baustoff übergreifenden Einwirkungsnormen. Die entsprechenden Regelungen, z.B. zur Berechnung von Wind- und Nutzlasten, sind ebenfalls am 1. Juli 2012 bauaufsichtlich eingeführt worden. In Tafel 1 sind die wesentlichen, ab 2007 gültigen Normen für den Standsicherheitsnachweis von Mauerwerksgebäuden zusammengestellt.

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 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
	DIN 4103-1	Nicht tragende Wände

Neuheiten bei der Bemessung nach Eurocode 6:

- Im Eurocode 6 erfolgt die Nachweisführung auf Grundlage eines semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts (siehe Abschnitt 2.1).
- Im Gegensatz zu den nationalen Vorgängernormen wird für den Nachweis auf Querschnittsebene ein starr-plastisches Materialverhalten zu Grunde gelegt.
- Der Eurocode 6 beinhaltet nunmehr erstmals Regeln für die Bemessung von Mauerwerk aus großformatigen Steinen (KS XL). Hierbei sind auch verminderte Überbindemaße l_{ol} bis zur 0,2-fachen Steinhöhe h_u erlaubt.
- Auch bei Mauerwerk mit KS XL ist eine Ausführung mit Stoßfugenvermörtelung rechnerisch ansetzbar.
- Im vereinfachten Berechnungsverfahren kann eine Teilauflagerung der Decke auf der Wand und somit eine Lastexzentrizität berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 5.1).
- Die Schnittgrößenermittlung bei horizontal beanspruchten Wandscheiben muss nicht zwingend nach dem Kragarmmodell erfolgen. Erstmals wurde daher ein Modell unter Berücksichtigung der günstigen Wirkung einer Einspannung der Wände in die Geschossdecken angegeben.
- Bei Einhaltung der Randbedingungen des vereinfachten Berechnungsverfahrens ist ein Querkraftnachweis in Platten- und Scheibenrichtung nicht erforderlich (siehe Abschnitt 5.1 sowie Abschnitt 5.5). Daher enthält das vereinfachte Berechnungsverfahren hierzu auch keine Regelungen. Vielmehr wird – falls ein rechnerischer Nachweis der Gebäudeaussteifung erforderlich ist – auf das genauere Berechnungsverfahren in DIN EN 1996-1-1/NA verwiesen.
- Der Eurocode 6 enthält neue Nachweisgleichungen für den Nachweis von Einzellasten und bei Teilflächenpressung (siehe Abschnitt 7).

Tafel 2: Wichtige Steinarten und -bezeichnungen nach DIN V 106 bzw. DIN EN 771-2/ DIN V 20000-402

a) Kalksandsteine: Lochanteil ≤ 15 % der Lagerfläche			
Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
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 Einhaltung geringerer Grenzabmaße der Höhe*) ($\Delta h = \pm 1,0 \text{ mm}$) 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-Raster-elemente ¹⁾	KS XL-RE	≥ 50 ≤ 62,5	Wie Zeile 3; Lieferung von Regelementen der Länge 498 mm sowie Ergänzungselementen der Längen 373 mm und 248 mm
6 KS XL-Plan-elemente ¹⁾	KS XL-PE	≥ 50 ≤ 65	Wie Zeile 3; Lieferung von werkseitig vorkonfektionierten Wandbausätzen mit Regelementen der Länge 998 mm
7 KS -E-Steine	KS -E KS XL-E	≤ 25 = 50	Wie Zeilen 3 und 5, jedoch mit durchgehenden Installationskanälen
b) Kalksandsteine: Lochanteil > 15 % der Lagerfläche			
Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
8 KS-Lochsteine	KS L	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
9 KS -R-Hohlblocksteine	KS L-R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 8, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen.
10 KS-Plansteine KS -R-Plansteine	KS L P KS L-R P	≤ 25	Wie Zeile 9, aufgrund Einhaltung geringerer Grenzabmaße der Höhe*) ($\Delta h = \pm 1,0 \text{ mm}$) zum Versetzen in Dünnbettmörtel
c) Frostwiderstandsfähige Kalksandsteine ²⁾			
Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
11 KS-Vormauersteine	KS Vm oder KS Vm L	≤ 25	KS-Vormauersteine sind Mauersteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 10, die frostwiderstandsfähig sind (mindestens 25-facher Frost-Tau-Wechsel).
12 KS-Verblender ²⁾	KS Vb oder KS Vb L	≤ 25	KS-Verblender sind Mauersteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 16 mit geringeren Grenzabmaßen der Höhe*) als Zeile 11 und erhöhter Frostwiderstandsfähigkeit (mindestens 50-facher Frost-Tau-Wechsel), die mit ausgewählten Rohstoffen hergestellt werden.

*) Maßtoleranzen
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.

- Der Eurocode 6 regelt grundsätzlich zwar auch die Bemessung von bewehrtem Mauerwerk, in Deutschland ist jedoch nur eine stark eingeschränkte Anwendung der zugehörigen Regelungen 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.

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.

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
- KS-Verblendern: ≥ 16

In der Praxis werden im Wesentlichen die Steindruckfestigkeitsklassen (SFK) 12 und 20 verwendet.

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 V 106 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.

Tafel 3: Übliche Steindruckfestigkeitsklassen (SFK) von Kalksandstein

Steedruckfestigkeitsklasse (SFK) ¹⁾	10 ²⁾	12	16 ²⁾	20	28 ²⁾
Mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm ²]	12,5	15,0	20,0	25,0	35,0

¹⁾ Entspricht auch dem kleinsten zulässigen Einzelwert der jeweiligen SFK ²⁾ Nur auf Anfrage regional lieferbar

Tafel 4: Übliche Steinrohdichteklassen (RDK) von Kalksandstein

Steinrohdichteklasse (RDK) ¹⁾	1,2 ²⁾	1,4	1,6 ²⁾	1,8	2,0	2,2 ²⁾
Klassengrenzen ³⁾ in kg/dm ³	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 Steinrohdichteklassen werden jeweils ohne Bezeichnung (Einheit) angegeben. ²⁾ Nur auf Anfrage regional lieferbar
³⁾ Einzelwerte dürfen darunter liegen.

Tafel 5: Stoßfugenausbildung von KS-Mauerwerkswänden

Stoßfugenausbildung – Anforderungen	Schemaskizze (Aufsicht auf Steinlage)
1 Ebene Stoßfugenausbildung ● Steine knirsch verlegt	
● Gesamte Stoßfuge vollfächig vermörtelt Stoßfugenbreite: 10 mm	
2 Stoßfugenausbildung mit Mörteltaschen ● Steine knirsch verlegt, Mörteltasche mit Mörtel gefüllt	
● Steinflanken vermörtelt	
3 Stoßfugenausbildung mit Nut-Feder-System ● Steine knirsch verlegt	
● Steinrandbereiche vermörtelt	
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.

In der Praxis werden im Wesentlichen die Steinrohdichteklassen (RDK) 1,4 – 1,8 – 2,0 verwendet.

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
= $n \cdot 12,5$ cm (mit n = ganzzahliger Wert)

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).

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.

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 ($I_{ol} < 0,4 \cdot h_u$) sind für Wände aus großformatigen Kalksandsteinen (KS XL) mit Dünnbettmörtel nach dem Eurocode 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 Mörtelgruppen (nach den Anwendungsnormen DIN V 18580 und DIN V 20000-412) und Mörtelklassen (nach DIN EN 998-2) 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 verarbei-

Tafel 6: Bezeichnungen von Dünnbettmörtel nach DIN EN 998-2 und zusätzliche Anforderungen nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412

Dünnbettmörtel nach DIN EN 998-2	Zusätzliche Anforderungen an Dünnbettmörtel (DM) nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412	
Dünnbettmörtel (T)	Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) ¹⁾ [N/mm ²]	Mindesthaftscherfestigkeit (Mittelwert) ²⁾ [N/mm ²]
M10	0,20	0,50

¹⁾ maßgebende Verbundfestigkeit = charakteristische Anfangsscherfestigkeit · 1,2, geprüft nach DIN EN 1052-3

²⁾ maßgebende Verbundfestigkeit = Haftscherfestigkeit (Mittelwert) · 1,2, geprüft nach DIN 18555-5

tet werden. Aus wirtschaftlicher Sicht (einfache Disposition und keine Verwechslungsgefahr) ist die Beschränkung auf einen Mörtel sinnvoll.

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 Planelementmauerwerk 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 V 18580 bzw. DIN V 20000-412 werden folgende Anforderungen an Dünnbettmörtel gestellt:

- Größtkorn der Zuschläge ≤ 1,0 mm
- Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) ≥ 0,20 N/mm² und Mindesthaftscherfestigkeit (Mittelwert) ≥ 0,50 N/mm² (Tafel 6)
- Trockenrohichte ≥ 1.500 kg/m³
- Korrigierbarkeitszeit ≥ 7 Minuten
- Verarbeitungszeit ≥ 4 Stunden



Bild 2: Werk-Trockenmörtel ist vor Witterungseinflüssen zu schützen.

- Der Festigkeitsabfall nach Feuchtlagerung darf 30 % nicht überschreiten.

Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt, bei der Herstellung von KS-Planstein- und KS-Planelement-Mauerwerk ausschließlich Dünnbettmörtel mit Zertifikat zu verwenden. Die vom Dünnbettmörtel-Hersteller empfohlene Zahnschiene, üblicherweise auf dem Mörtelsack abgebildet, ist zu verwenden.

Normalmauermörtel

Die Trockenrohichte von Normalmauermörtel beträgt mindestens 1.500 kg/m³. In Abhängigkeit der Druck- und Haftscherfestigkeit werden Normalmauermörtel in Mörtelgruppen (nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412) oder Mörtelklassen (nach DIN EN 998-2) unterschieden (Tafel 7).

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 ($0,2 \leq I_{ol}/h_u < 0,4$) vermauert werden (siehe Abschnitt 9.3).

1.3.8 Tragendes und nicht tragendes Mauerwerk

Tragendes Mauerwerk wird gemäß DIN EN 1996-1-1/NA als Mauerwerk defi-

Tafel 7: Bezeichnungen von Normalmauermörtel nach DIN EN 998-2 und zusätzliche Anforderungen nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412

Mörtelgruppen nach DIN V 18580 DIN V 20000-412	Mörtelklassen nach DIN EN 998-2	Mörtelgruppen nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412, zusätzliche Anforderungen				
		Fugendruckfestigkeit ¹⁾ nach Verfahren			Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) ²⁾ [N/mm ²]	Mindesthaftschersfestigkeit (Mittelwert) ³⁾ [N/mm ²]
Normalmauermörtel (NM)	Normalmauermörtel (G)	I	II	III		
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
NM II	M 2,5	1,25	2,5	1,75	0,04	0,10
NM IIa	M 5	2,5	5,0	3,5	0,08	0,20
NM III	M 10	5,0	10,0	7,0	0,10	0,25
NM IIIa	M 20	10,0	20,0	14,0	0,12	0,30

¹⁾ Prüfung der Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 mit KS-Referenzsteinen

²⁾ maßgebende Verbundfestigkeit = charakteristische Anfangsscherfestigkeit · 1,2, geprüft nach DIN EN 1052-3

³⁾ maßgebende Verbundfestigkeit = Haftscherfestigkeit (Mittelwert) · 1,2, geprüft nach DIN 18555-5

niert, 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 auszustreifende 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.

Auszustreifende 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 Tragwiderstands 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 *semiprobabilistisch* 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 Bauteilnutzung (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 Wertes mit einem Kombinationsbeiwert ψ . Genauere Angaben finden sich in DIN EN 1990/NA.

1.4 Tragverhalten von Bauteilen aus Kalksandstein-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 Schlitz- 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 wer-

den 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 Teilsicherheitskonzeptes ($E_d \leq R_d$)

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 Tragwerkes und einem Berechnungsverfahren, das mit der Beschreibung der Einwirkungen und der Modellierung des Tragwerks konsistent ist, beschrieben. 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 Ausstattung 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)

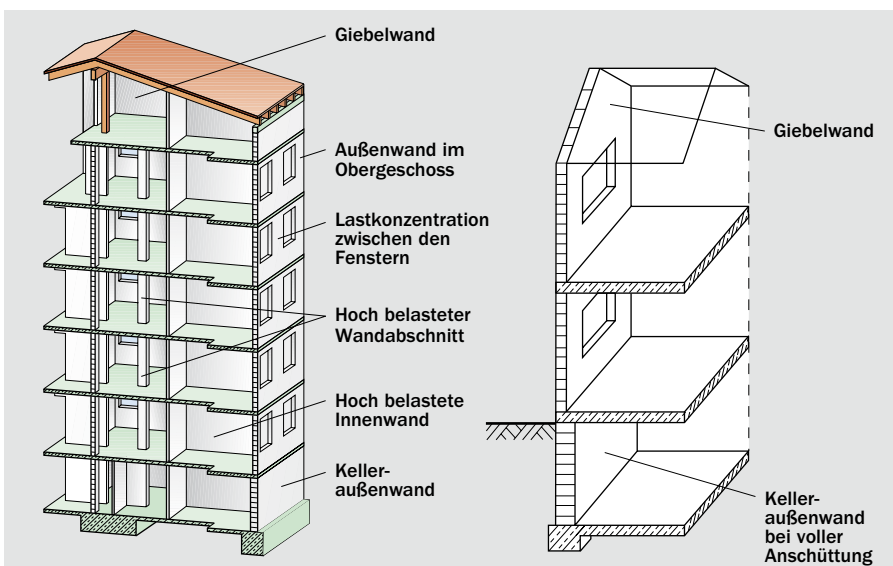


Bild 3: Wichtige Bauteile und wesentliche Nachweisstellen im Mauerwerksbau

- 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:

$$E_d \leq R_d \quad (2.1)$$

Da die Streuungen der Einwirkungen und des Widerstands 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 verschiedenen 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 zu Grunde. 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 Trag-

fähigkeit lässt sich Gleichung (2.2) folgendermaßen formulieren:

$$\gamma_F \cdot E_k \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (2.2)$$

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:

$$g_{k,Decke} = 25 \cdot h_{Decke} + 1,5 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2.3)$$

mit h_{Decke} = Deckendicke [m]

Das Flächengewicht von Mauerwerkswänden aus Kalksandsteinen kann in Abhängigkeit von der Steinrohichte und der Wanddicke Tafel 8 und für das Putzgewicht Tafel 9 entnommen werden.

2.2.2 Nutzlasten

Nutzlasten auf Stahlbetondecken stellen im Mauerwerksbau die wichtigsten 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 10 entnommen werden.

In gewöhnlichen Wohnungs- und Bürogebäuden können die veränderlichen Las-

Tafel 8: Nach DIN EN 1991-1-1/NA anzusetzende Wandflächengewichte von KS-Wänden mit Normalmauer- und Dünnbettmörtel¹⁾

Steinroh-dichteklasse (RDK) ¹⁾	Wichte [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	–	–	1,84	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

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 9: 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

ten 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.

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 5).

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 [13]. Die Berechnung dieses Zuschlages erfolgt dabei nach folgender Beziehung:

$$\Delta q_k = 2 \cdot n \cdot f \cdot h \cdot \frac{g}{l_f} \quad [kN/m^2] \quad (2.4)$$

mit

- n* Einflussfaktor für die Anzahl und Stellung der Wände gemäß Bild 4
- f* Faktor für das statische System gemäß Tafel 11
- h* Wandhöhe
- g* Wandeigengewicht einschließlich Putz
- l_f* Stützweite 4,00 m ≤ *l_f* ≤ 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.

Tafel 10: Wesentliche charakteristische Werte für Nutzlasten gemäß DIN EN 1991-1-1/NA

Nutzung	Kategorie	<i>q_k</i> [kN/m ²]
Wohnräume und Flure mit ausreichender Querverteilung	A2	1,5
Wohnräume und Flure ohne ausreichende Querverteilung	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 Gesamtwandgewicht ≤ 3,0 kN/m Wandlänge (einschließlich Putz)	–	0,8
Trennwandzuschlag bei einem Wandgewicht ≤ 5,0 kN/m Wandlänge (einschließlich Putz)	–	1,2

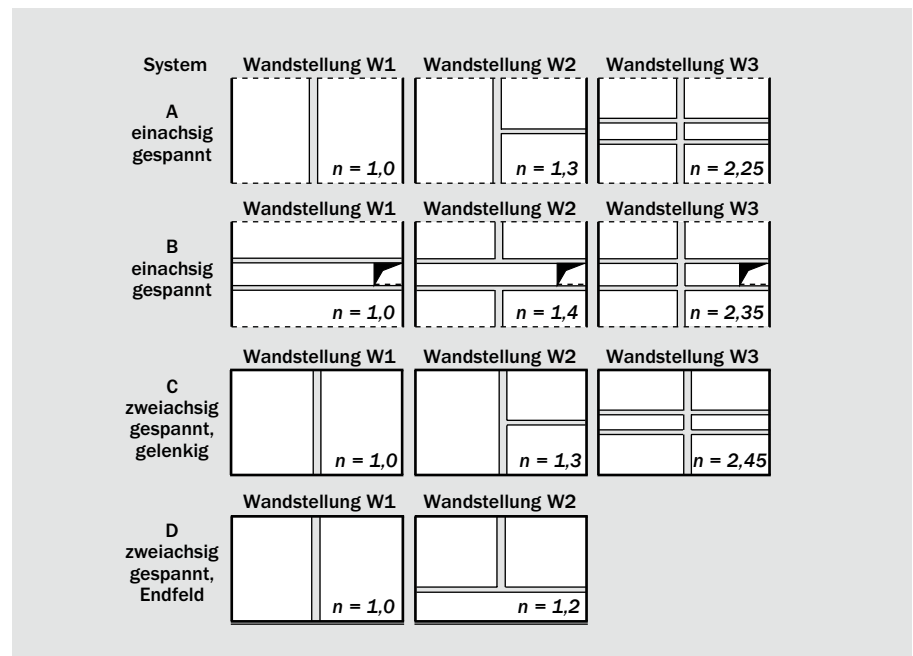


Bild 4: Einflussfaktor *n* für Anzahl und Stellung der Trennwände

Tafel 11: Faktor *f* für das statische System

Faktor <i>f</i> [-]	Lagerung	Einspannung
1,0	einachsig gespannte Platte	gelenkig gelagert
1,4	zweiachsig gespannte Platte ($\frac{l_x}{l_y} = 1,0$)	allseitig gelenkig
1,3	zweiachsig gespannte Platte ($\frac{l_x}{l_y} = 1,5$)	allseitig gelenkig
1,6	zweiachsig gespannte Platte ($\frac{l_x}{l_y} = 1,0$)	einseitig eingespannt
1,45	zweiachsig gespannte Platte ($\frac{l_x}{l_y} = 1,5$)	einseitig eingespannt

Zwischenwerte können interpoliert werden.

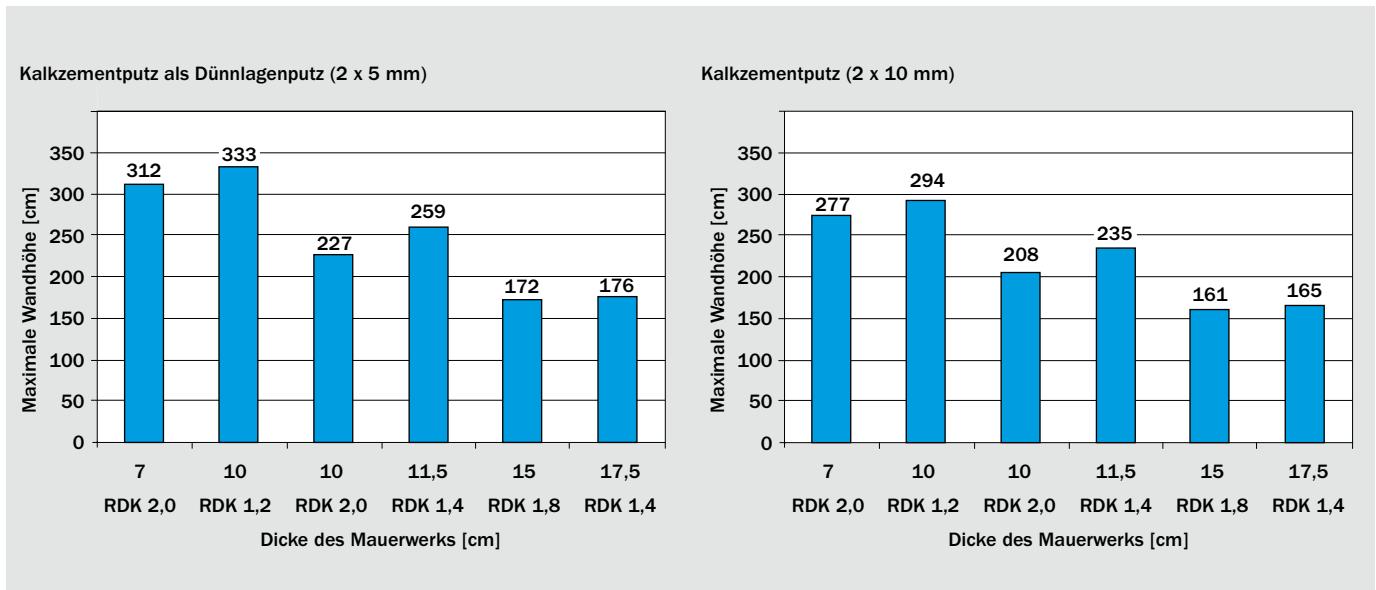


Bild 5: Grenzhöhen typischer nicht tragender KS-Wandkonstruktionen mit Dünnbettmörtel bei einem zulässigen Gesamtgewicht von max. 5 kN/m

2.3 Bemessungswert der Einwirkungen und zugehörige Einwirkungskombinationen

Der Bemessungswert einer Einwirkung ergibt sich aus der Multiplikation des charakteristischen Wertes 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 Bemessungswertes der einwirkenden Normalkraft N_{Ed} .

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot \sum N_{Gk} + 1,5 \cdot \sum N_{Qk} \quad (2.5)$$

In Hochbauten mit Stahlbetondecken und einer charakteristischen Nutzlast von $q_k \leq 3,0 \text{ kN/m}^2$, 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:

$$N_{Ed} = 1,40 \cdot \left[\sum N_{Gk} + \sum N_{Qk} \right] \quad (2.6)$$

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 Einwirkungskombinationen beim Nachweis der Gebäudeaussteifung folgende Lastkombination analysiert werden:

$$\begin{aligned} \min N_{Ed} &= 1,0 \cdot \sum N_{Gk} \\ \text{in Verbindung mit} \\ \max M_{Ed} &= 1,0 \cdot M_{Gk} + 1,5 \cdot M_{Qk} \quad (2.7) \end{aligned}$$

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 [11] anzusetzen (siehe hierzu auch [12]).

Tafel 12 zeigt zusammenfassend die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite.

Tafel 12: 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	$\gamma_{Q,sup} = 1,50$	$\gamma_{Q,inf} = 0,00$	$\gamma_{QA} = 1,00$

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:

$$R_d = R \left[\zeta \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}; \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \right] \quad (2.8)$$

Die anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte zur Berechnung des Bemessungswertes des Tragwiderstandes sind in Tafel 13 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:

$$f_d = \zeta \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (2.9)$$

Tafel 13: 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

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:

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \tag{2.10}$$

Der charakteristische Wert der Schubfestigkeit f_{vk} hängt von der Beanspruchungsart (Platten- oder Scheibenbeanspruchung) ab und kann Abschnitt 3.6 entnommen werden.

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 Querspannungen 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 Querspannungen, welche bei Erreichen der Grenzlaster zum Mauerwerksversagen führen. Diese Querspannungen 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 behin-

dert. Aus dieser Tatsache resultiert eine dreidimensionale Druckbeanspruchung im Mörtel, während der Stein auf Druck und Zug beansprucht wird (siehe Bild 6).

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 Mindestwertes 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 Steinarten, 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.

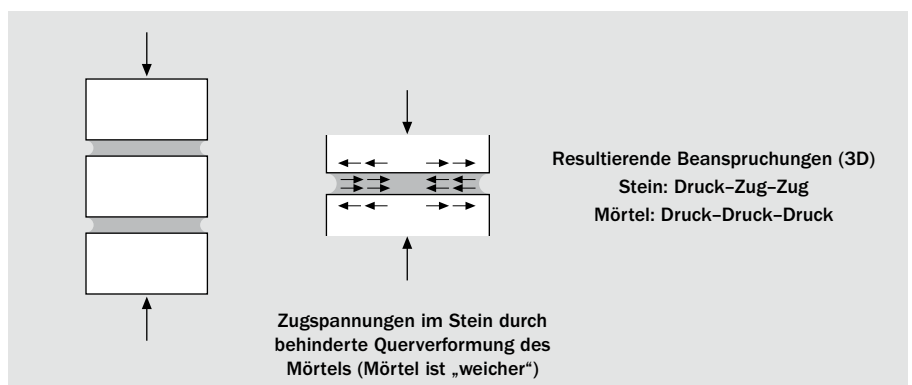


Bild 6: Zweidimensionale Darstellung des Versagensmechanismus von Mauerwerk unter Druckbeanspruchung

Für Mauerwerk mit Normalmauermörtel gilt:

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (3.1)$$

Für Mauerwerk mit Leichtmörtel bzw. Dünnbettmörtel ist die Mauerwerksdruckfestigkeit unabhängig von der Mörtelfestigkeit und ergibt sich daher zu:

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \quad (3.2)$$

Die in DIN EN 1996-3/NA tabellierten Werte wurden so justiert, dass sich stets die identische Druckfestigkeit wie bei einer Ermittlung 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 14 bis 16 entnommen werden.

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 Planenelementen 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 $f_{xk1} = 0,2 \text{ N/mm}^2$ zugrunde gelegt werden. Bei Versagen der Wand darf es dann jedoch nicht zu einem größeren Einsturz oder zum Stabilitätsverlust des ganzen Tragwerkes kommen.

Bei der Bestimmung des charakteristischen Wertes 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_{vko} (auch als Anfangsscherfestigkeit bezeichnet), der Reibungsbeiwert $\mu = 0,6$, 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):

$$f_{xk2} = (f_{vko} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd}) \cdot \frac{l_{ol}}{h_u} \leq f_{xk2,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{bt,cal} \\ 0,7 \text{ [N/mm}^2\text{]} \end{array} \right. \quad (3.3)$$

Der Maximalwert der charakteristischen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen $f_{xk2,max}$ kann Tafel 17 entnommen werden. Die Bestimmung des Bemessungswertes der Biegezugfestigkeit erfolgt unter Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwertes γ_M nach Tafel 13. Der Ansatz eines Dauerstandsfaktors ist in diesem Fall nicht erforderlich.

Tafel 14: Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Loch- und -Hohlblocksteinen mit Normalmauermörtel

KS L/KS L-R Steindruckfestigkeitsklasse	Mörtelgruppe			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
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	Mörtelgruppe			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
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: Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und KS XL mit Dünnbettmörtel

Dünnbettmörtel DM Steindruckfestigkeitsklasse	Planelemente		Plansteine	
	KS XL	KS XL-E	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 Lochung
 KS P: KS-Planstein mit einem Lochanteil ≤ 15 %
 KS L-P: KS-Planstein mit einem Lochanteil > 15 %
¹⁾ Auf Anfrage regional lieferbar

Tafel 17: 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/mm ²]	12,5	15	20	25	35	
Maximalwert der charakteristischen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen $f_{xk2,max}$ [N/mm ²]	Hohlblocksteine	0,125	0,150	0,200	0,250	0,350
	Hochlochsteine und Steine mit Grifföffnungen oder Griffaschen	0,163	0,195	0,260	0,325	0,455
	Vollsteine ohne Grifflöcher oder Griffaschen	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 7).

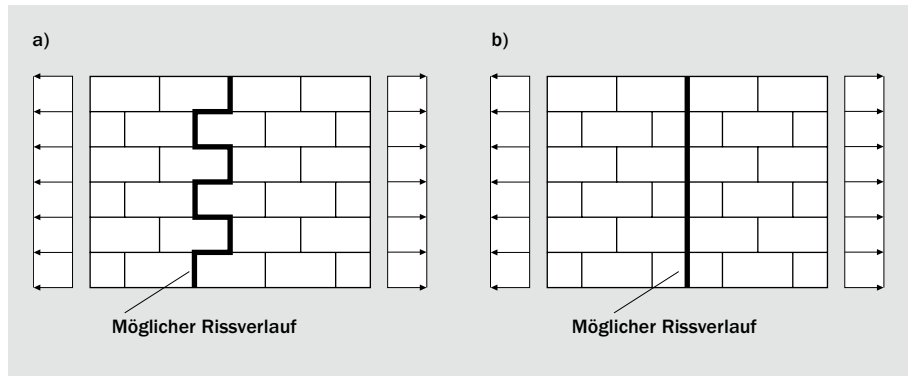


Bild 7: Zugbeanspruchung von Mauerwerk parallel zur Lagerfuge:
a) Versagen infolge Überschreitung der Reibungskraft, b) Steinzugversagen

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 Klebewirkung zwischen Steinen und Mörtel, die zu einer Querkrafttragfähigkeit des Querschnitts auch ohne vorhandene vertikale Auflast führt. Für die damalige Bemessung nach DIN 1053-1 wurde dieser Materialkennwert zur Erfassung in der Bemessung nicht explizit berücksichtigter Einflüsse (z.B. Steindreher bei Scheibenschubbeanspruchung) modifiziert und als so genannter Rechenwert der Haftscherfestigkeit (β_{RHS} bzw. σ_{OHS}) angegeben. In DIN EN 1996-1-1/NA wird die Haftscherfestigkeit mit f_{vk0} bezeichnet. Dementsprechend stellen die Haftscherfestigkeiten f_{vk0} nach Tafel 18 bereits modifizierte Rechenwerte der Anfangsscherfestigkeit dar. Damit ergeben sich hinsichtlich der Schubfestigkeit von Mauerwerk keine Änderungen gegenüber DIN 1053-1.

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 Kellerwän-

Tafel 18: Haftscherfestigkeit f_{vk0} von Mauerwerk ohne Auflast nach DIN EN 1996-1-1/NA

f_{vk0} [N/mm ²]				
Normalmauermörtel mit einer Festigkeit f_m [N/mm ²]				Dünnbettmörtel (Lagerfugendicke 1 mm bis 3 mm)
NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa	
2,5	5,0	10,0	20,0	0,22
0,08	0,18	0,22	0,26	

den 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_{vt} aus nachfolgenden Beziehungen:

$$f_{vk} = \min \{ f_{vt1}; f_{vt2} \} \tag{3.4}$$

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 8). 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 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:

$$f_{vt1} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{Dd} \tag{3.5}$$

Bei unvermörtelten Stoßfugen:

$$f_{vt1} = 0,5 \cdot f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{Dd} \tag{3.6}$$

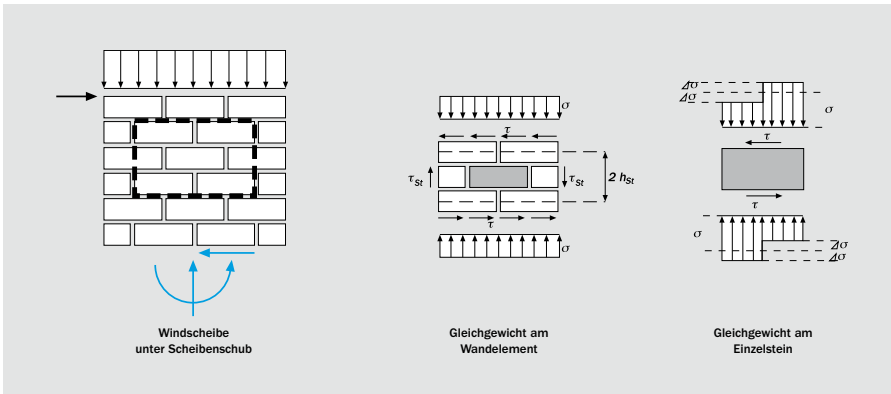


Bild 8: Zur Berechnung der Schubfestigkeit unter Scheibenbeanspruchung nach Mann/Müller [3]

weis unter Plattenschubbeanspruchung unberücksichtigt bleiben können. Zur Ermittlung der Schubfestigkeit findet daher lediglich das Kriterium Reibungsveragen 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:

Steinzugversagen

Die charakteristische Schubfestigkeit von Mauerwerk bei Steinzugversagen (gilt für vermörtelte und unvermörtelte Stoßfugen) ergibt sich zu:

$$f_{vt2} = 0,45 \cdot f_{bt,cal} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{bt,cal}}} \quad (3.7)$$

mit

- f_{vk0} Haftscherfestigkeit nach Tafel 18
- $f_{bt,cal}$ Charakteristische Steinzugfestigkeit (Tafel 19)
- $f_{bt,cal} = 0,020 \cdot f_{st}$ für Hohlblocksteine
- $f_{bt,cal} = 0,026 \cdot f_{st}$ für Hochlochsteine und Steine mit Grifflöchern oder Griffaschen
- $f_{bt,cal} = 0,032 \cdot f_{st}$ für Vollsteine der Höhe ≥ 248 mm ohne Grifflöcher oder Griffaschen
- f_{st} Umgerechnete mittlere Steindruckfestigkeit (Tafel 3) in N/mm^2

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 $\sigma_{Dd} = N_{Ed} / A$

$A = t \cdot l_{c,lin}$
überdrückte Querschnittsfläche

$$l_{c,lin} = \frac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_w}{l}\right) \cdot l \leq l$$

überdrückte Wandlänge

$e_w = M_{Ed} / N_{Ed}$; die Exzentrizität in Wandlängsrichtung

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_{vt1} und f_{vt2} 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 Nach-

- Vermörtelte Stoßfugen:

$$f_{vt1} = f_{vk0} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd} \quad (3.8)$$

- Unvermörtelten Stoßfugen:

$$f_{vt1} = \frac{2}{3} \cdot f_{vk0} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd} \quad (3.9)$$

Bei Plattenschub ist eine Betrachtung des Steinzugversagens (f_{vt2}) nicht erforderlich.

3.7 Verformungseigenschaften

Zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden aus Mauerwerk werden die zugehörigen Verformungseigenschaften

Tafel 19: 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/mm^2]	12,5	15,0	20,0	25,0	35,0	
Rechnerische Steinzugfestigkeit $f_{bt,cal}$	Hohlblocksteine	0,25	0,30	0,40	0,50	0,70
	Hochlochsteine und Steine mit Grifföffnungen oder Griffaschen	0,32	0,39	0,52	0,65	0,91
	Vollsteine ohne Grifflöcher oder Griffaschen	0,40	0,48	0,64	0,80	1,12

Tafel 20: Verformungskennwerte von Kalksandstein-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/mm^2]	
Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich
1,5	1,0–2,0	-0,2	-0,3 – -0,1	8	7–9	$950 \cdot f_k$	$800–1250 \cdot f_k$

¹⁾ Endkriechzahl $\varphi_\infty = \epsilon_{cs} / \epsilon_{eh}$ mit ϵ_{cs} als Endkriechmaß und $\epsilon_{eh} = \sigma / E$

²⁾ Endwert der Feuchtedehnung ist bei Stauchung negativ und bei Dehnung positiv angegeben.

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 voll-plastischen Materialverhalten für alle Stein- und Mörtelarten ausgegangen. Der 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 20 zusammengefasst.

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 Gesamtbauwerkes gewährleis-

tet 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 10).

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 9 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 (Abschnitt 5.5.3) 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

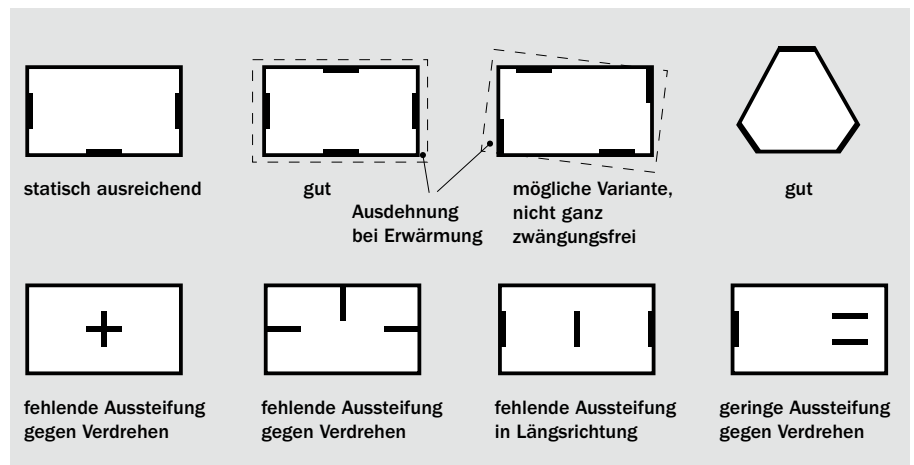


Bild 9: Günstige und ungünstige Anordnung von Wandscheiben im Grundriss (nach [14])

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.

$$h_{tot} \cdot \sqrt{\frac{N_{Ed}}{EI}} \begin{cases} \leq 0,2 + 0,1 \cdot n & \text{für } n < 4 \\ \leq 0,6 & \text{für } n \geq 4 \end{cases} \quad (4.1)$$

mit
 h_{tot} Gesamthöhe des Tragwerkes 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 Pappen und Folien bei KS-Mauerwerk am Wandkopf unter den Decken nicht erforder-

lich. Lediglich bei Deckenauflägern 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 Verbindung 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 11).

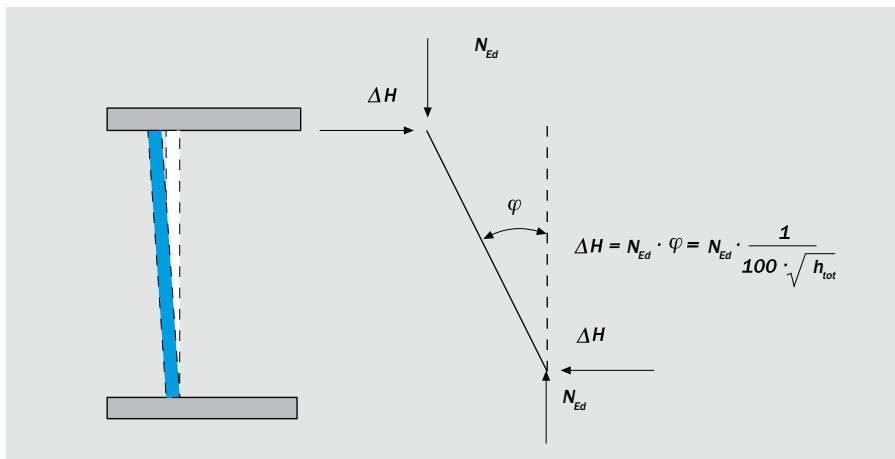


Bild 10: Lotabweichung für den Nachweis der Gebäudeaussteifung

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.

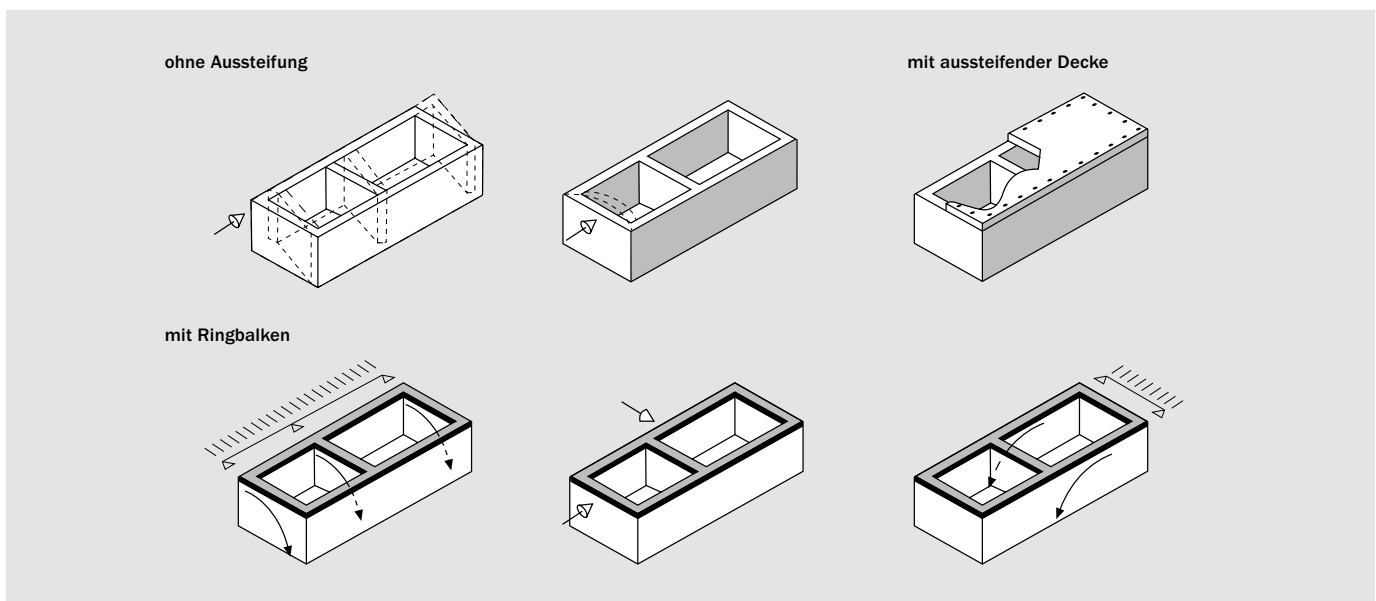


Bild 11: Formstabilität durch Anordnung von Ringbalken (nach [15])

Kalksandstein-Wände werden im Regelfall zweiseitig gehalten bemessen. Nur bei sehr ungünstigen Lastfällen ist ggf. der Ansatz weiterer (seitlicher) Halterungen erforderlich.

- Wandlänge $l_w \geq 1/5 \cdot h$ (h = lichte Geschosshöhe)
- Mindestdicke der aussteifenden Wände $1/3$ der Dicke der auszusteienden Wand, mindestens aber 11,5 cm
- Im Bereich von Tür- und Fensteröffnungen gelten für die Länge der aussteifenden Wände die Bedingungen nach Bild 13 c, d

Überschreiten die Abstände der aussteifenden Querwände ein gewisses Maß, so geht ihre aussteifende Wirkung verloren. Daher ist eine Begrenzung dieser Abstände zur Sicherstellung einer zweiachsigen Tragwirkung erforderlich (siehe Bild 12 sowie Bild 18):

- $b' \leq 15 \cdot t$ bei dreiseitig gehaltenen Wänden
- $b \leq 30 \cdot t$ bei vierseitig gehaltenen Wänden

Die aussteifenden Wände müssen darüber hinaus folgende Anforderungen erfüllen (Bild 13):

Sollen Wände durch Querwände aussteift 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 Maß-

nahmen ist z.B. der Wandanschluss in Stumpfstoßtechnik zu verstehen.

Stumpf gestoßene Wände sind als zweiseitig gehalten zu bemessen. Falls in Ausnahmefällen die auszusteiende Wand drei- oder vierseitig gehalten bemessen werden soll, ist die in Bild 14 angegebene Regelausführung zu beachten. 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.

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 16).

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 Berechnungsverfahrens nicht eingehalten sind, zum anderen können teilweise erheblich höhere rechnerische Tragfä-

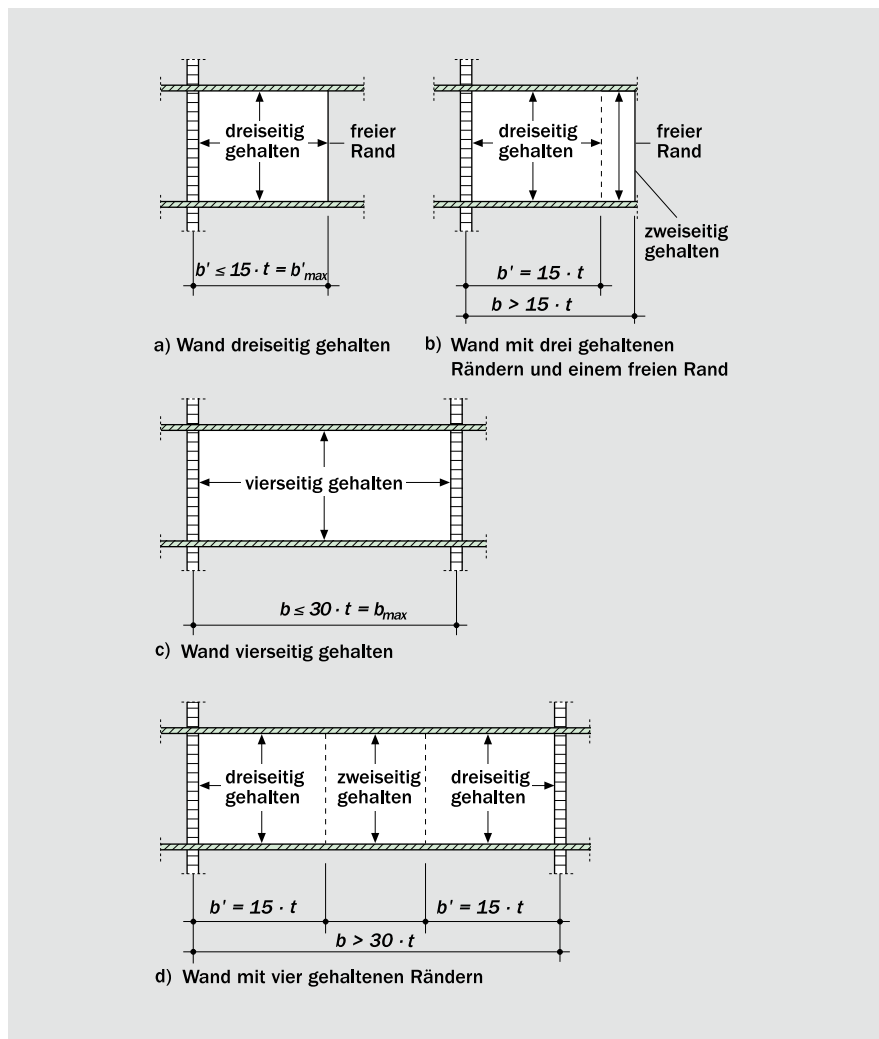


Bild 12: Einfluss der Wandbreite auf die Halterung

tragfähigkeit 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 21 sind eingehalten (siehe auch Bild 15).

- Gebäudehöhe über Gelände $h_m \leq 20$ m; Diese Einschränkung ist erforderlich, um im Normalfall auf genauere Nachweise zur Gebäudeaussteifung verzichten zu können. Als 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_{oi} 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_{oi} auch $0,2 \cdot h_u$, mindestens aber 125 mm betragen.

- Die Deckenaufлагertiefe a muss mindestens die halbe Wanddicke ($t/2$), jedoch mehr als 100 mm betragen. Bei einer Wanddicke $t \geq 365$ mm darf die Mindestdeckenaufлагertiefe auf $0,45 \cdot t$ reduziert werden.

- Für den Nachweis von Kellerwänden gelten die Voraussetzungen nach Abschnitt 8.1.

- Freistehende Wände sind nach DIN EN 1996-1-1/NA nachzuweisen

Der übliche Mauerwerksbau im Hochbau wird in aller Regel innerhalb des genannten Anwendungsbereiches des vereinfachten Berechnungsverfahrens liegen.

Es gelten darüber hinaus die Einschränkungen bezüglich der Gebäudehöhe, der Deckenstützweite und der Schlankheit (siehe Abschnitt 5.2).

5.2 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 Geschosdecken 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:

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h \quad (5.1)$$

mit

h_{ef} Knicklänge
 h Lichte Geschosshöhe
 ρ_2 Abminderungsbeiwert nach Tafel 22

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t} \text{ Schlankheit} \quad (5.2)$$

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 17).

Bei Wänden, die nur oben und unten (z.B. durch Ringbalken mit ausreichender Steifigkeit oder Holzbalkendecken) horizontal gehalten sind 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 12 und Bild 18). Für großformatige Kalksandsteine mit reduzierten Überbindemaßen ($l_{oi} < 0,4 \cdot h_u$) 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 $l_{oi}/h_u \geq 0,4$ dürfen die Anpassungsfaktoren $\alpha_3 = \alpha_4 = 1,0$ angesetzt werden.

Tafel 21: Anwendungsgrenzen für das vereinfachte Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA

Bauteil		Voraussetzungen			
		Wanddicke <i>t</i>	Lichte Wandhöhe <i>h</i>	Aufliegende Decke	
				Stützweite <i>l_f</i>	Nutzlast ¹⁾ <i>q_k</i>
		[mm]	[m]	[m]	[kN/m ²]
1	Tragende Innenwände	≥ 115	≤ 2,75	≤ 6,00	≤ 5
2		< 240			
3	Tragende Außenwände und zweischalige Haustrennwände	≥ 115 ²⁾	≤ 2,75	≤ 6,00	≤ 3
4		< 150 ²⁾			
5		≥ 150			
6		< 175			≤ 5
5		≥ 175			
6		< 240			
6		≥ 240	≤ 12 · <i>t</i>		

Für dreiseitig gehaltene Wände gilt:

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\alpha_3 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot b'}\right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \geq 0,3 \cdot h \quad (5.3)$$

Für vierseitig gehaltene Wände gilt:

Für $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} \leq 1$

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\alpha_4 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{b}\right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \quad (5.4)$$

Für $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} > 1$

$$h_{ef} = \alpha_4 \cdot \frac{b}{2} \quad (5.5)$$

mit

b, b' Abstand des freien Randes von der Mitte der aussteifenden Wand bzw. Mittenabstand der aussteifenden Wand nach Bild 18. Ist die Wand im Bereich des mittleren Drittels der Wandhöhe durch vertikale Schlitzte der Aussparungen geschwächt, so ist für *t* die Restwanddicke einzusetzen oder ein freier Rand anzunehmen. Unabhängig von der Lage eines ver-

¹⁾ Einschließlich Zuschlag für nicht tragende innere Trennwände

²⁾ 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

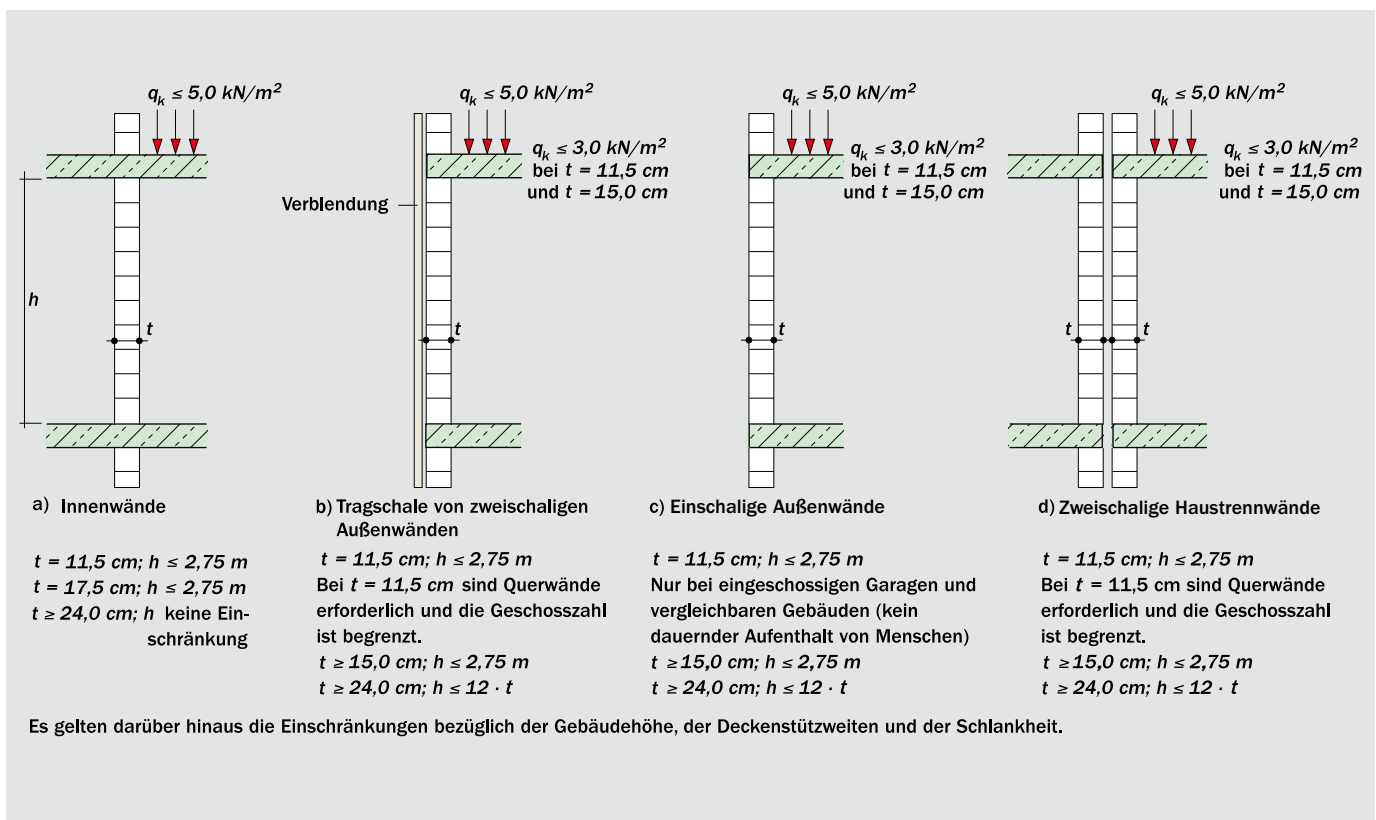


Bild 15: Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens gemäß DIN EN 1996-3/NA [7]

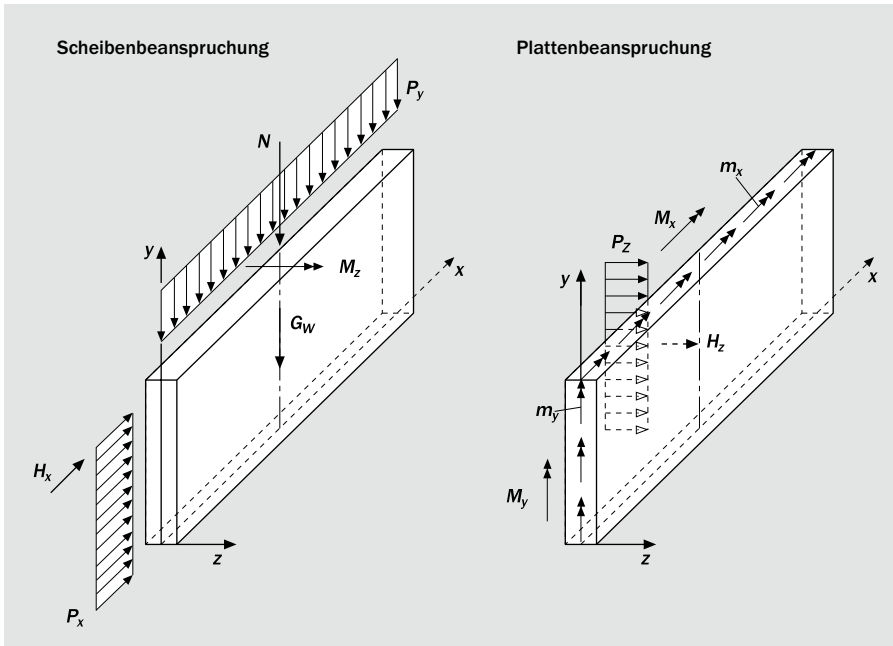


Bild 16: Beanspruchung von Mauerwerkswänden

tikalen 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

5.3 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:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \tag{5.6}$$

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 Sicherheitskonzeptes. Im Allgemeinen genügt der Ansatz:

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot \sum N_{Gk} + 1,5 \cdot \sum N_{Qk} \tag{5.7}$$

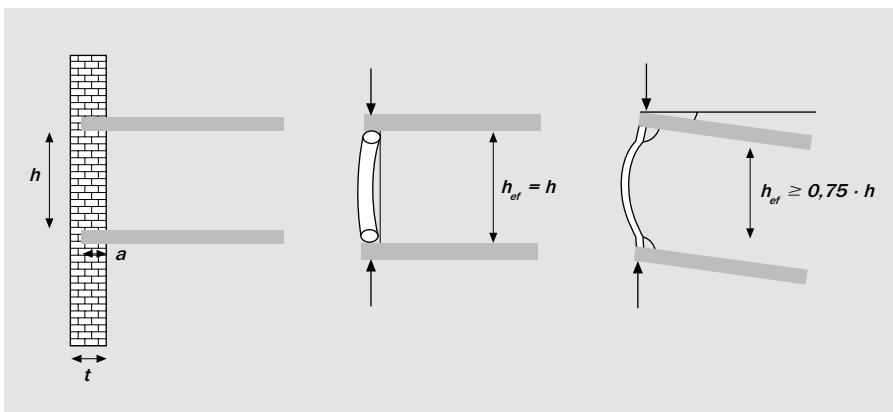


Bild 17: Einspannung von Geschossdecken und deren Auswirkung auf die Knicklänge

Tafel 22: Abminderungsbeiwert ρ_2 zur Ermittlung der Knicklänge h_{ef} für 2-seitig gehaltene Wände

Wanddicke t [mm]	Abminderungsbeiwert ρ_2 [-]	Mindestauflagertiefe a [mm]
≤ 175	0,75	$a = t$
$175 < t \leq 250$	0,90	$a = t$
> 250	1,00	$a \geq 175$

Noch weiter vereinfachend darf in Hochbauten mit Decken aus Stahlbeton, die mit charakteristischen Nutzlasten von maximal 3,0 kN/m² belastet sind, angesetzt werden:

$$N_{Ed} = 1,4 \cdot (N_{Gk} + N_{Qk}) \tag{5.8}$$

5.4 Ermittlung des Tragwiderstandes (Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft)

5.4.1 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 :

$$N_{Rd} = \Phi \cdot A \cdot f_d \tag{5.9}$$

mit

f_d Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks nach Abschnitt 2.4. Bei Wandquerschnitten kleiner als 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 5.4.2 oder 5.4.3

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 Decken-

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

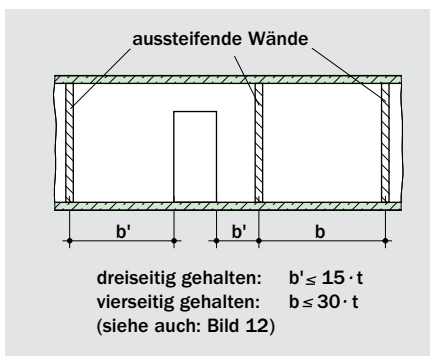


Bild 18: Abstände der aussteifenden Wände bei drei- und vierseitig gehaltenen Wänden

einspannungen 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.

5.4.2 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 bei voll aufliegender Decke:

$$\Phi = \begin{cases} 0,70 & \text{für } \lambda \leq 10 \\ 0,50 & \text{für } 10 < \lambda \leq 18 \\ 0,36 & \text{für } 18 < \lambda \leq 21 \end{cases}$$

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 21 ohnehin eingehalten. Nur bei Außenwänden mit $t \geq 24$ cm ist die Geschosshöhe zusätzlich zu überprüfen.)

5.4.3 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 zentralen 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:

$$\Phi_1 = 1,6 - \frac{l_f}{6} \leq 0,9 \cdot \frac{a}{t} \tag{5.11}$$

mit

l_f Stützweite der Decke, bei zweiachsig gespannten Decken ist l_f die kürzere der beiden Stützweiten

a/t Verhältnis von Deckenauflagertiefe zur Dicke der Wand; bei KS-Mauer-

werk mit voll aufliegender Decke ist $a/t = 1,0$

Bei Decken über dem obersten Geschoss (Dachdecken) mit geringen Auflasten gilt $\Phi_1 = 0,333$.

Wird die Traglastminderung infolge Deckenverdrehung durch konstruktive Maßnahmen, z.B. Zentrierleisten mittig unter dem Deckenaufleger, 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 19.

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 20 zeigt den Verlauf der Traglastminderung von Mauerwerkswänden in Abhängigkeit der Schlankheit.

5.5 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 Aussteifungs-

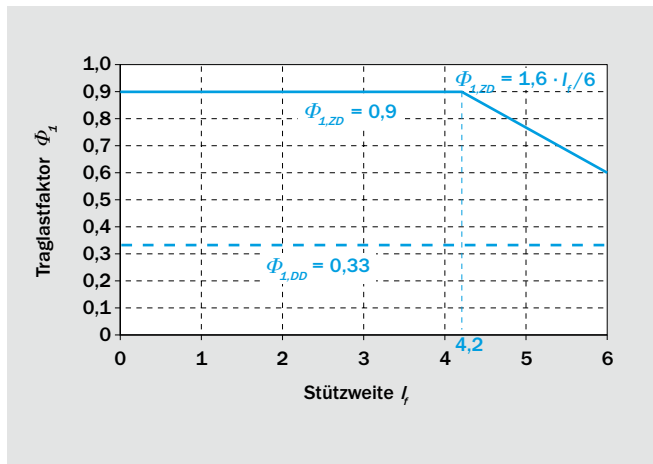


Bild 19: Traglastfaktor ϕ_1 für Zwischendecken (ZD) und Dachdecken (DD) in Abhängigkeit von der Deckenstützweite

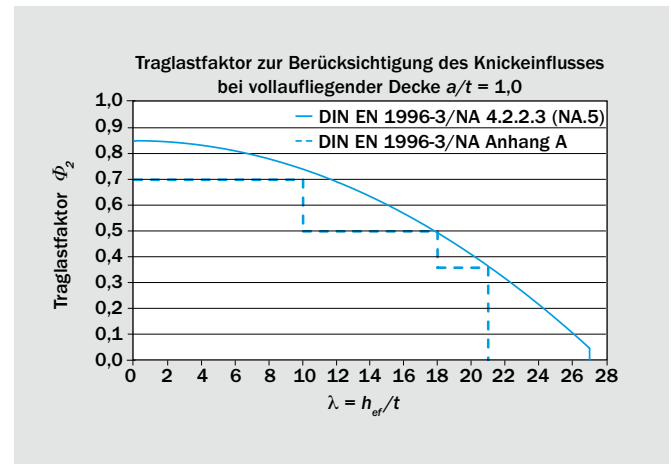


Bild 20: Traglastfaktor ϕ_2 in Abhängigkeit von der Schlankheit (h_{ef}/t) und der Deckenauflagertiefe a

nachweises 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.

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 (s. Abschnitt 7)

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 Lastausmitteln 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 Bemessungswertes 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 Kragarm-

modell zu Grunde liegenden Annahmen verzichtet wird. Bei der Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit einer Mauerwerkscheibe 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 linear-elastischen Materialverhaltens eingehalten sind. Diese sind weiterführender Literatur zu entnehmen.

7. 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 Spannungszustands 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 ($I_{ol} < 0,4 \cdot h_u$) 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.

8. BEMESSUNG VON KELLERWÄNDEN UND WEITEREN BAUTEILEN

8.1 Kelleraußenwände

8.1.1 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 Arbeitsraumes begonnen wird.

Aufgrund der vielfach geringen Auflast und der kleinen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk senkrecht zur Lagerfuge ist ein einachsiger Lastabtrag über Biegung mit Normkraft 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.

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 24 entnommen werden.

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 Abstützung der Wand für den Bauzustand auszuführen.

Erfolgt der Nachweis der Kellerwand vereinfacht nach DIN EN 1996-3/NA ist sicherzustellen, dass bei der Verfüllung und Verdichtung des Arbeitsraumes 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
- Wirtiefe ≤ 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 zu führen. Weiterhin darf die Verfüllung des Arbeitsraumes 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.

8.1.2 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 [16] (Bild 21):

- Wanddicke $t \geq 24$ cm (In DIN EN 1996-3/NA wird die Mindestwanddicke mit 20 cm angegeben. Dieser Wert wird im DIN-Handbuch und in der nächsten Überarbeitung des Nationalen Anhangs korrigiert.)

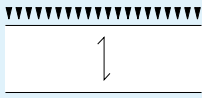
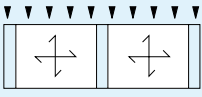
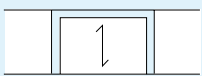
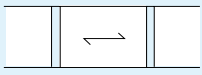
- Lichte Höhe der Kellerwand $h \leq 2,60$ m
- Die Kellerdecke wirkt als Scheibe und kann die aus dem Erddruck resultierenden Kräfte aufnehmen.
- Im Einflussbereich des Erddruckes auf die Kellerwand beträgt der charakteristische Wert q_k der Verkehrslast auf der Geländeoberfläche nicht mehr als 5 kN/m^2 und es ist keine Einzellast $> 15 \text{ kN}$ im Abstand von weniger als $1,5 \text{ m}$ 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 Arbeitsraumes sind die Vorgaben aus DIN EN 1996-2/NA, Anhang E (3) einzuhalten (siehe Abschnitt 8.1.1)

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:

$$N_{Ed,min} \geq \frac{\gamma_e \cdot h \cdot h_e^2 \cdot b_c}{\beta \cdot t} \quad \text{in [kN]} \quad (8.1)$$

- 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

Tafel 24: Lastabtragungssysteme bei Kellerwänden

Statisches System	Erforderliche Auflast am Wandkopf	Bemerkungen
1) 	Hoch	Einachsige, lotrechte Lastabtragung
2) 	Mittel	Zweiachsige Lastabtragung (nur bei $l_{ol} \geq 0,4 \cdot h_u$)
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.

$N_{Ed,min}$ 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:

$$\beta = \begin{cases} 20 & \text{für } b_c \geq 2h \\ 60 - 20 \cdot b_c / h & \text{für } h < b_c < 2 \cdot h \\ 40 & \text{für } b_c \leq h \end{cases}$$

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:

$$N_{Ed,max} \leq \frac{t \cdot f_d \cdot b_c}{3} \quad \text{in [kN]} \quad (8.2)$$

mit f_d siehe Abschnitt 3, Tafel 16

Der vereinfachten Berechnungsmethode wurde ein Erddruckbeiwert von $\leq 1/3$ 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 22 bis 24).

8.2 Vorgefertigte Stürze

8.2.1 KS-Flachstürze nach Zulassung
 Flachstürze dienen zur Überspannung von kleinen Öffnungen (z.B. Fenster etc.) in Wänden und bestehen aus einem vorge-

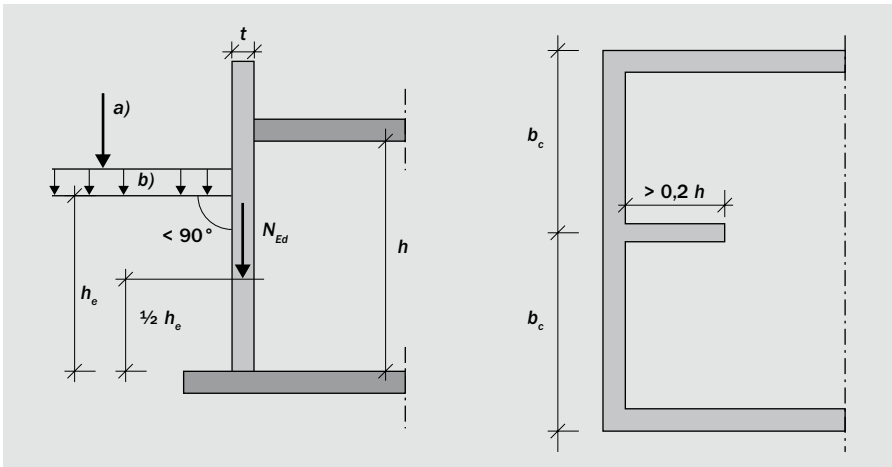


Bild 21: Nachweis von Kellerwänden nach DIN EN 1996-3/NA
 a) Keine Einzellast $\geq 15 \text{ kN}$ näher als 1,5 m an der Wand, gemessen in horizontaler Richtung
 b) Charakteristische Verkehrslast auf der Geländeoberfläche $\leq 5 \text{ kN/m}^2$

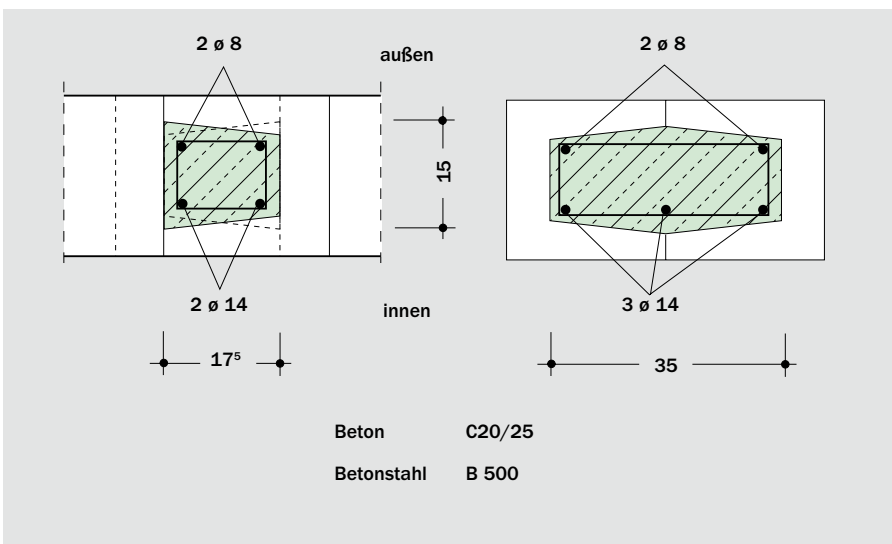


Bild 22: Aussteifende Stahlbetonstützen in 24 cm dicken Kelleraußenwänden unter Verwendung von KS-U-Schalen

fertigten Zuggurt und einer örtlich hergestellten Druckzone aus Mauerwerk oder Beton. Oberhalb des Flachsturzes bildet sich ein Druckbogen aus (Bild 25). Der Bogenschub wird durch die im Flachsturz liegende Bewehrung (Zuggurt) aufgenommen.

Konstruktive Hinweise

Flachstürze dürfen nur als Einfeldträger mit einer Stützweite $l \leq 3 \text{ m}$ (Bild 26) 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 27). 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 ($h \leq 12,5 \text{ cm}$) 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 $\text{Ø } 8 \text{ mm}$ 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.

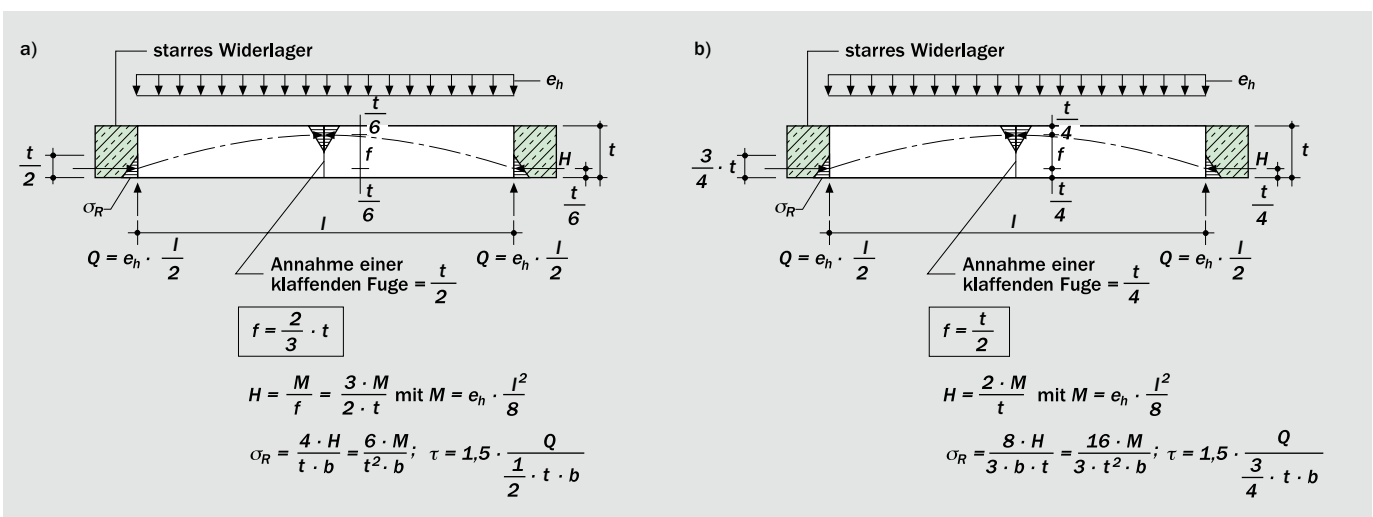


Bild 23: Bogen bei einem Stich von a) $f = 2/3 \cdot t$ und b) $f = 1/2 \cdot t$

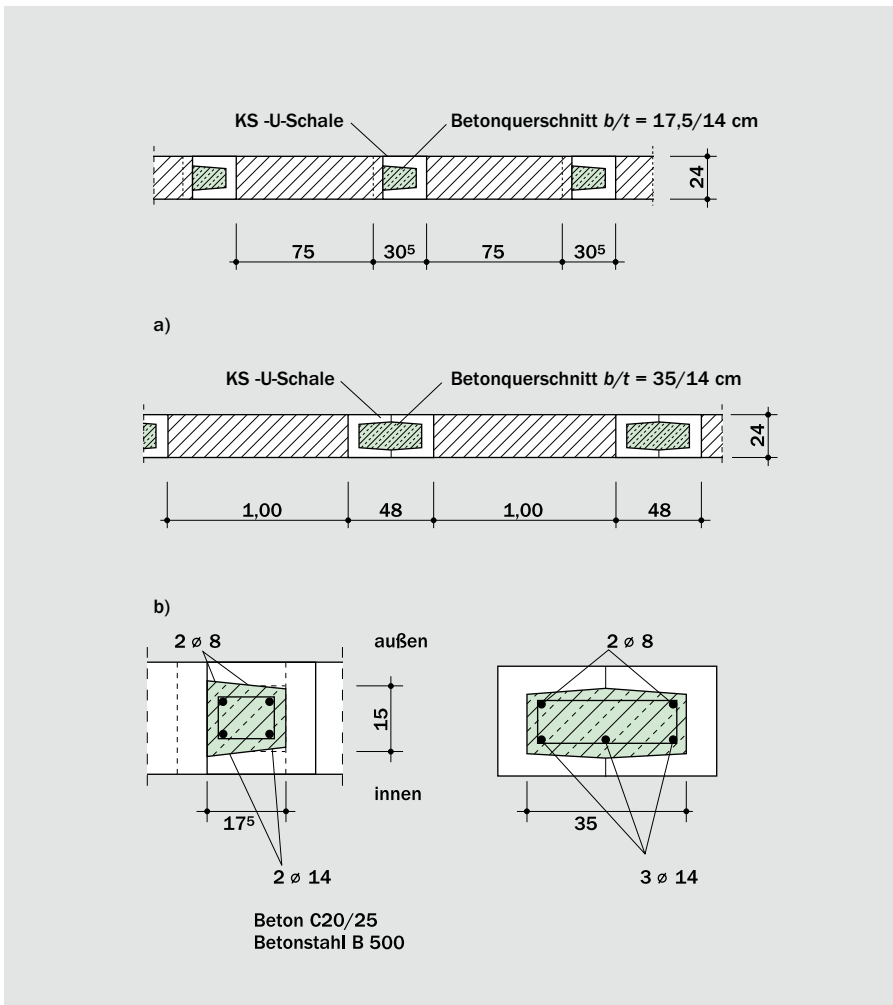


Bild 24: Aussteifende Stahlbetonstützen unter Verwendung von KS -U-Schalen

Die Auflagertiefe von Flachstützen auf dem Mauerwerk muss mindestens 11,5 cm betragen. Die Auflagerpressungen sind nachzuweisen. Die Oberseite von Flachstützen 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:

$$\text{vorh. } q_{Ed} \leq \text{zul. } q_{Ed} \tag{8.3}$$

Streng genommen ist die Anwendung der Bemessungstafeln für Flachstützen nur für eine Gleichstreckenlast zulässig. Sie kann jedoch auch für eine dreieckförmige Belastung bei Ausbildung eines Druckbogens gemäß Bild 27 herangezogen werden, wenn man $\text{vorh. } q_{Ed}$ aus den einwirkenden Lasten zurückrechnet:

$$\text{vorh. } q_{Ed} =$$

$$\frac{(G_{k,Decke} + G_{k,Wand}) \cdot \gamma_G + Q_{k,Decke} \cdot \gamma_Q}{l_{ef}} \tag{8.4}$$

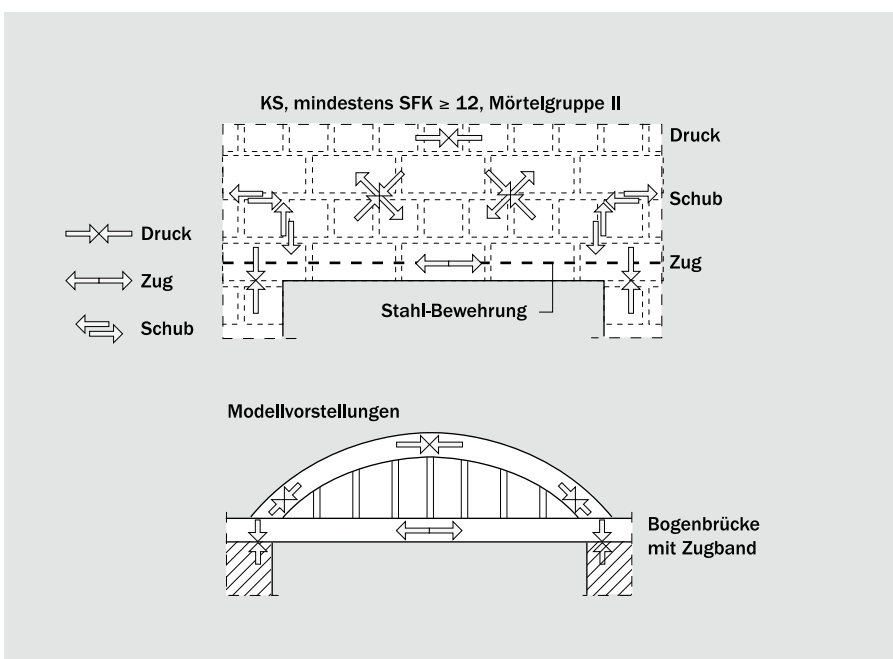


Bild 25: Tragwirkung eines Flachsturzes

Bemessung von vor Ort hergestellten Stützen

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.

8.2.2 KS-Fertigteilstütze nach Zulassung

Als Alternative zu Flachstützen kommen im Hintermauerbereich KS-Fertigteilstütze zur Anwendung, deren Nennlängen zwischen 1 m und 2 m liegen. Bei diesen Stützen ist im Vergleich zu den Flachstützen die Übermauerung aus KS XL (Druckzone mit vermörtelter Stoßfuge) Bestandteil des Sturzes.

Die KS-Fertigteilstütze werden 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

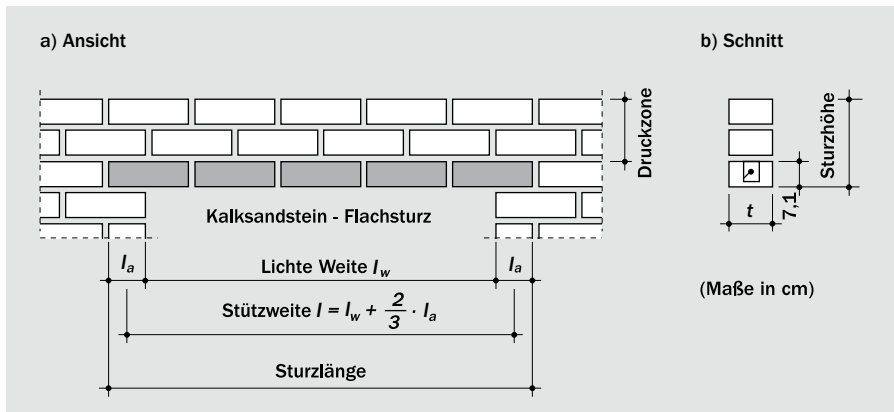


Bild 26: Bezeichnung bei Flachstürzen

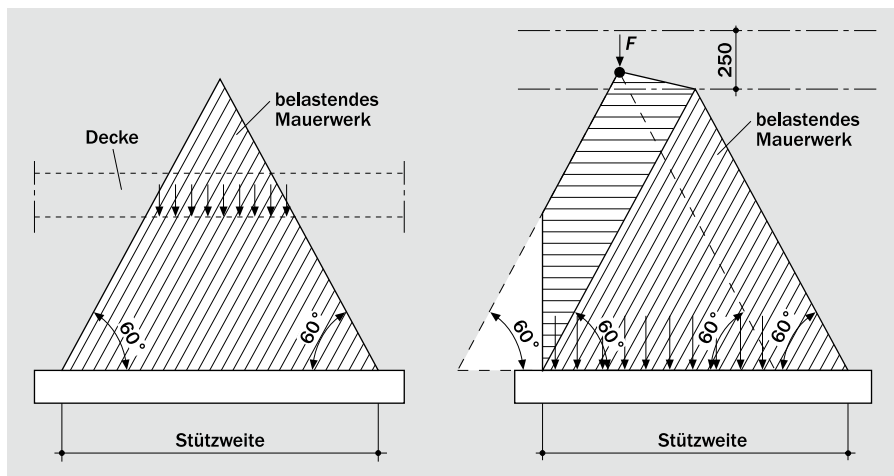


Bild 27: Ermittlung der Belastung von Flachstürzen für $l_{ol} \geq 0,4 \cdot h_u$

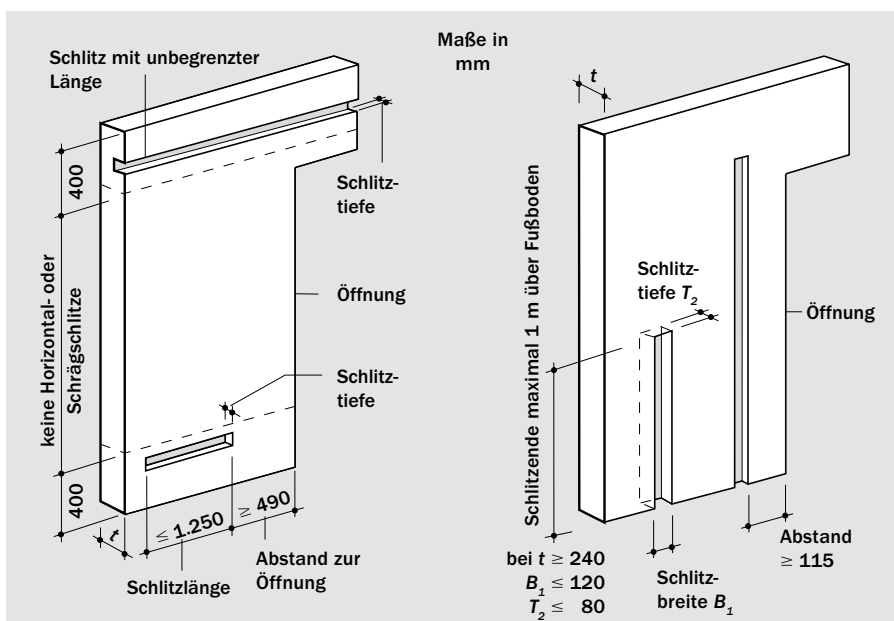


Bild 28: Nachträglich hergestellte horizontale und schräge Schlitze (links); nachträglich hergestellte vertikale Schlitz- und Aussparungen (rechts)

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.

9. BAULICHE DURCHBILDUNG

9.1 Vorbemerkungen

Die bauliche Durchbildung ist in DIN EN 1996-1-1/NA [6] geregelt, wohingegen in DIN EN 1996-2/NA [9] Angaben zur Ausführung gemacht werden. Teilweise überschneiden sich die Regelungen aber auch, so dass in jedem Fall beide Normteile zu beachten sind.

9.2 Schlitze und Aussparungen

Als Schlitze werden längliche Einschnitte in flächigen Bauteilen verstanden (Bild 28). 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 25, Spalte 4 und ein Mindestabstand nach Spalte 6 eingehalten werden. Die Festlegungen gelten nur für tragende Wände. Schlitze und Aus-

Tafel 25: Zulässige Größe $t_{ch,v}$ vertikaler Schlitzte und Aussparungen ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA

1	2	3	4	5	6	7
Wanddicke [mm]	Nachträglich hergestellte Schlitzte und Aussparungen ¹⁾		Mit der Errichtung des Mauerwerks hergestellte Schlitzte und Aussparungen			
	Maximale Tiefe ²⁾ $t_{ch,v}$ [mm]	Maximale Breite (Einzelschlitz) ³⁾ [mm]	Verbleibende Mindestwanddicke [mm]	Maximale Breite ³⁾ [mm]	Mindestabstand der Schlitzte und Aussparungen	
					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 Schlitzte und Aussparungen von Öffnungen

²⁾ Schlitzte, 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 Schlitzten 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.

sparungen in Schornsteinwangen sind unzulässig. Längere horizontale Schlitzte am Wandkopf sollten zur Vermeidung von Rissbildung und Abplatzungen nicht unmittelbar unter dem Deckenaufleger angeordnet werden, dürfen aber nur 40 cm unterhalb Wandkopf und 40 cm oberhalb Wandfuß angeordnet werden. Alle übrigen Schlitzte und Aussparungen sind bei der Bemessung des Mauerwerks zu berücksichtigen.

Horizontale und schräge Schlitzte 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 rechnerisch höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes entstehen. Generell sind horizontale und schräge Schlitzte in den Installationszonen nach DIN 18015-3 anzuordnen. Die Tafel 26 enthält entsprechende Grenzwerte für $t_{ch,h}$. Sofern die Schlitztiefen die in Tafel 26 angegebenen Werte überschreiten, sollte die Tragfähigkeit auf Druck, Schub und Biegung mit dem infolge der horizontalen und schrägen Schlitzte reduzierten Mauerwerksquerschnitt rechnerisch überprüft werden.

Tafel 26: Zulässige Größe $t_{ch,h}$ horizontaler und schräger Schlitzte ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA

Wanddicke [mm]	Maximale Schlitztiefe $t_{ch,h}$ ¹⁾ [mm]	
	Unbeschränkte Länge ²⁾	Länge ≤ 1250 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 Schlitzte 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 Schlitzte mit jeweils 10 mm Tiefe ausgeführt werden.

³⁾ Mindestabstand in Längsrichtung von Öffnungen ≥ 490 mm, vom nächsten Horizontalschlitz zweifache Schlitzlänge

9.3 Überbindemaß

Die Forderung nach der Einhaltung des Überbindemaßes (Tafel 27) wird durch die Ausführung des Mauerwerks im Verband gewährleistet, wenn die Stoß- und Längsfugen übereinander liegender Schichten mindestens mit dem Überbindemaß $l_{oi} ≥ 0,4 \cdot h_u$ bzw. $l_{oi} ≥ 45$ mm (der größere Wert ist maßgebend) angeordnet wer-

den (Bild 29). Das Überbindemaß l_{oi} darf bei Elementmauerwerk bis auf $0,2 \cdot h_u$ bzw. $l_{oi} ≥ 125$ 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

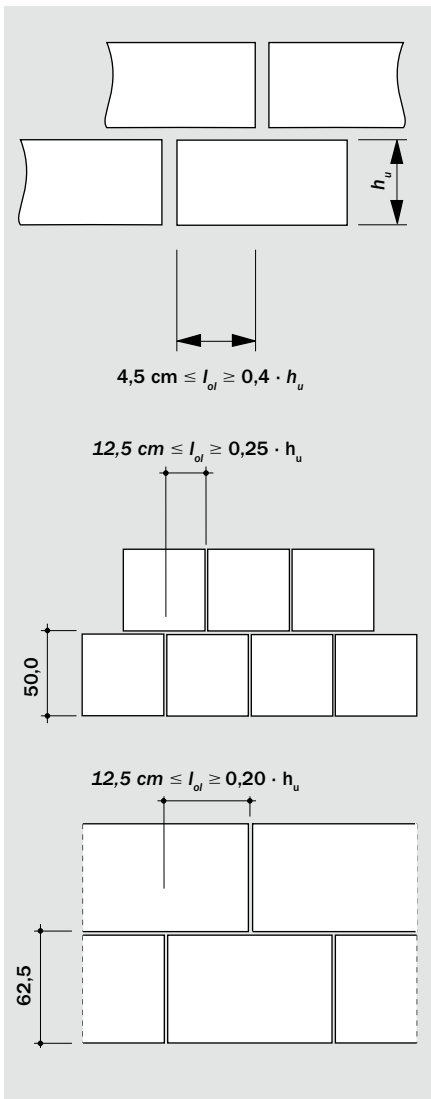
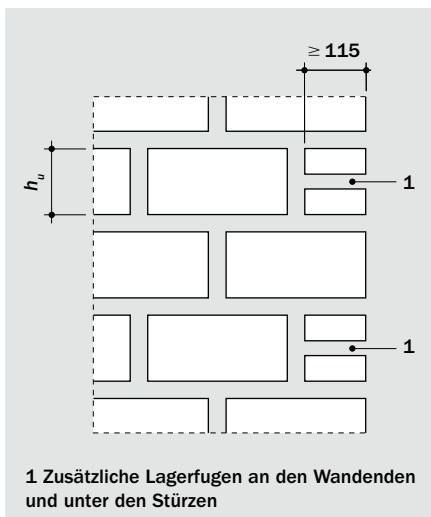


Bild 29: Mindestüberbindemaß I_{ol} nach DIN EN 1996-1-1/NA



1 Zusätzliche Lagerfugen an den Wandenden und unter den Stürzen

Bild 30: Zusätzliche Lagerfugen an den Wandenden

Tafel 27: Überbindemaß I_{ol} in Abhängigkeit von der Steinhöhe

Steinhöhe h_u [cm]	Regelfall $I_{ol} = 0,4 \cdot \text{Steinhöhe [cm]}$	Mindestüberbindemaß $I_{ol} \geq$ [cm]
< 11,3	5	4,5
11,3/ 12,3	5	$0,4 \cdot \text{Steinhöhe} \triangleq 5$
23,8/ 24,8	10	$0,4 \cdot \text{Steinhöhe} \triangleq 10$
49,8	20	$0,25 \cdot \text{Steinhöhe} \triangleq 12,5$
62,3	25	$0,2 \cdot \text{Steinhöhe} \triangleq 12,5$

erforderliche Überbindemaß ist einzuhalten und durch die Bauleitung zu kontrollieren. Gerade in Bereichen 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 27).
- Bei drei- bzw. vierseitiger Halterung der Wand müssen bei der Ermittlung der Knicklänge die Anpassungsfaktoren α_3 und α_4 berücksichtigt werden.

9.4 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 30) 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 Aufstandsfläche 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 Ausführungs-

regeln hinsichtlich der Anordnung von Passelementen und Ausgleichsschichten zu beachten. Anderenfalls gelten die Festigkeiten von Plansteinmauerwerk. 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, wenn in der jeweiligen Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung der Kalksand-Wärmedämmsteine die Verwendung bei Elementmauerwerk zugelassen ist. 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.

9.5 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.

Bei Verbandsmauerwerk ist das Überbindemaß nicht nur in Wandlängsrichtung, sondern auch im Wandquerschnitt einzuhalten. In der Praxis sind hier oftmals Fehler festzustellen.

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 Plansteinmauerwerks.

9.6 Deckenaufleger

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 $l_r > 6$ m) oder führen die Lastexzentrizitäten zu großen Traglastminderungen (z.B. bei der obersten Geschossdecke), können entsprechend Bild 31 oder Bild 34 konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung des Deckenauflegers 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 34b 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.

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 34a).
- 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 31).
- 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 34b).

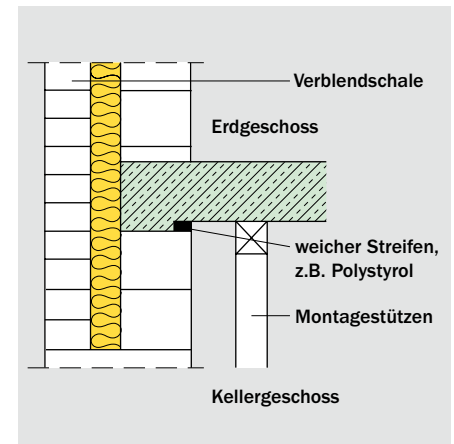


Bild 31: Zentrierung mit weicher Platte

- 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.

9.7 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 32). Ringanker sind also im Wesentlichen Zugglieder (Bild 33).

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.

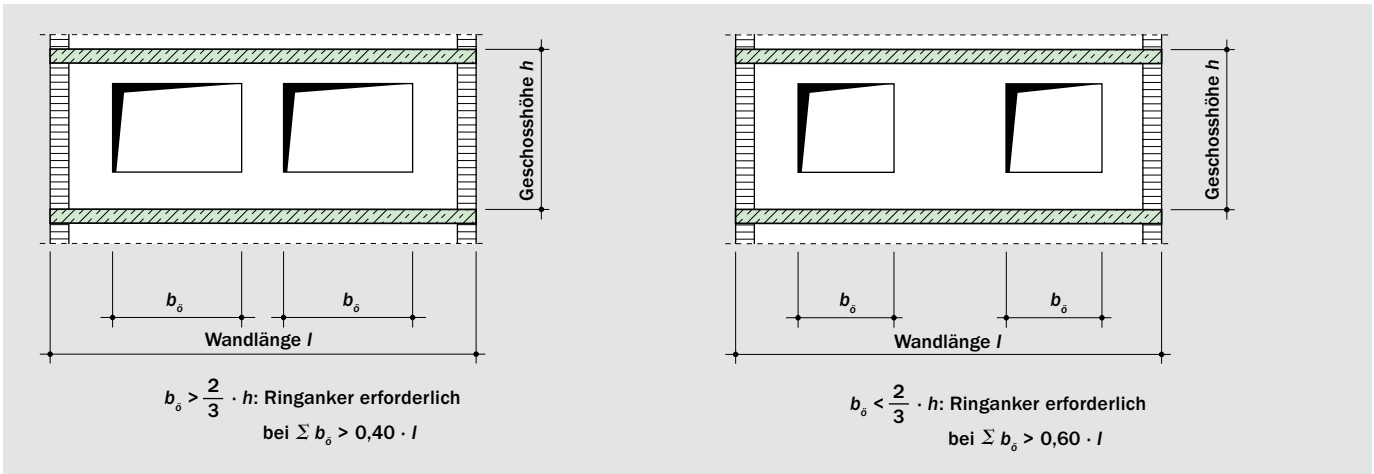


Bild 32: Kriterien für die Anordnung von Ringankern in tragenden und aussteifenden Wänden mit Öffnungen

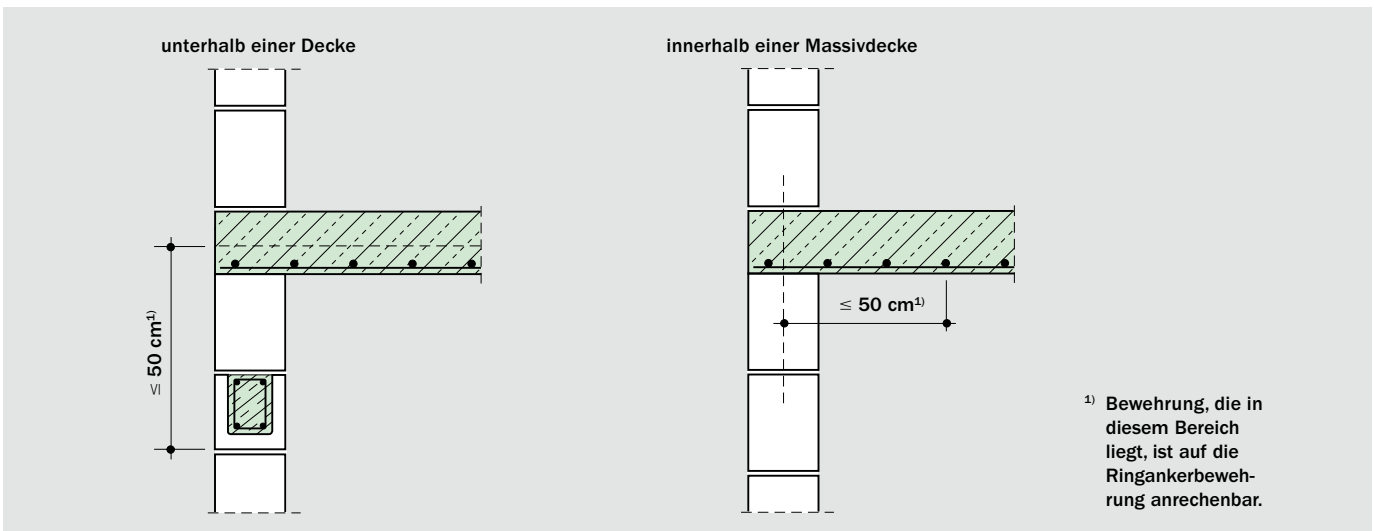


Bild 33: Ausbildung von Ringankern

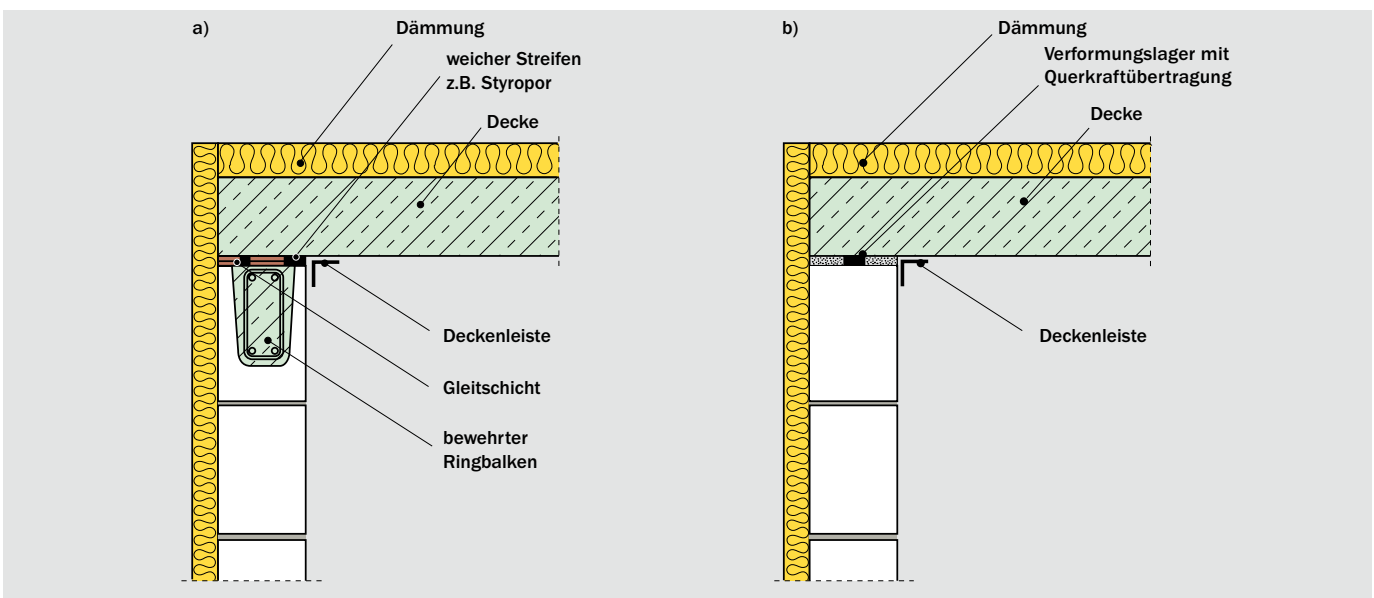


Bild 34: Konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung der Deckenauflegerkraft am Beispiel der Außenwand unter einer Dachdecke
 a) Gleitlager mit eingelegetem Styropor-Randstreifen an der Wandinnenseite, b) Verformungslager mit Zentrierstreifen zwischen Wand und Decke

9.7.1 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 $N_{Ed} = 45 \text{ kN}$ zu dimensionieren bzw. mit einer Mindestquerschnittsfläche von $a_s = 150 \text{ mm}^2$ (oder $2 \emptyset 10$) 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 33). Ringanker können auch aus bewehrtem Mauerwerk oder mit so genannten Mauerwerksschalen hergestellt werden, wenn die entsprechenden Zugkräfte aufgenommen werden.

9.7.2 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 Deckenauflegern von Decken (Bild 34a)

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 auszusteienden 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 34b 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 [17] 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.

9.8 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.

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 NM III dient primär zum Ausgleich von Unebenheiten der Rohdecke, zur Höhenanpassung der aufzumauernden Wandscheibe an das Baurichtmaß sowie zur Erstellung 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 Gruppe III auszuführen, um die entsprechende Druckfestigkeit für Elementmauerwerk ansetzen zu dürfen.

9.9 Stumpfstoßtechnik

Der KS-Stumpfstoß, ohne den Bauablauf störende Verzahnung der Wände, eröffnet für Planung und Ausführung Freiräume – auch bei Anwendung von mechanischen Versetzgeräten (Bilder 35 bis 40). Diese Bauweise hat sich seit mehr als 30 Jahren bewährt. Aus baupraktischen Gründen wird daher auch bei statisch angesetzter zweiseitiger Halterung empfohlen, konstruktiv Edelstahl-Flachanker in die Lagerfugen einzulegen. Die Anschlussfu-



Bild 35: Mörtelbett mit Edelstahl-Flachanker



Bild 36: Abgewinkelte Edelstahl-Flachanker (Bauphase) in Achse der anschließenden Wand

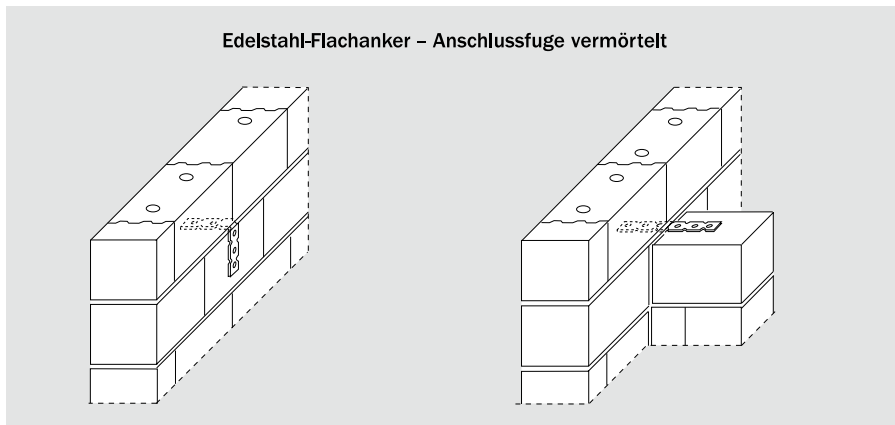


Bild 37: Anwendung von Edelstahl-Flachankern bei der KS-Stumpfstoßtechnik

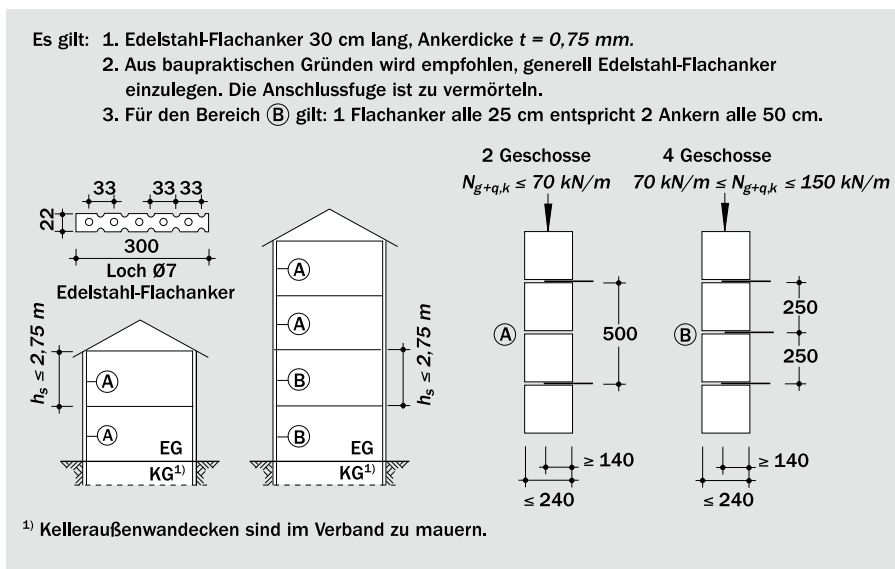


Bild 38: KS-Stumpfstoßtechnik, Regelausführung bei Annahme einer drei- oder vierseitigen Halterung der tragenden Wand (Schichthöhe $\leq 25 \text{ cm}$) [3]

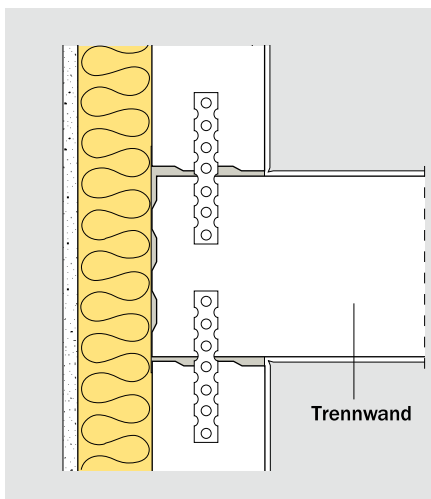


Bild 39: Stumpfstoßtechnik mit durchlaufender Trennwand

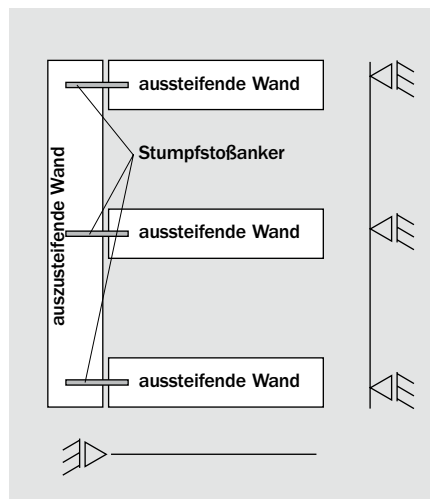


Bild 40: Prinzipielle Anordnung von aussteifender und auszusteiender Wand bei Anwendung des Stumpfstoßes

gen sind aus schalltechnischen Gründen zu vermörteln.

9.9.1 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.

9.9.2 Vorteile der Stumpfstoßtechnik:

- Stumpfstoß ist zwischen allen Wänden möglich (einfacher Bauablauf).
- Mehr Bewegungsspielraum und Lagerfläche auf der Geschosdecke.
- Vereinfachter Einsatz von mechanischen Vernetzhilfen und Gerüsten.

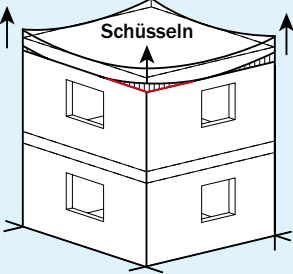
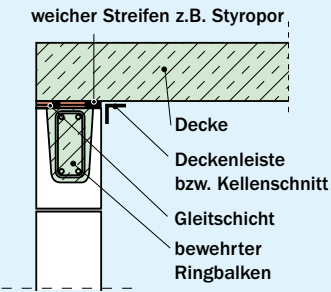
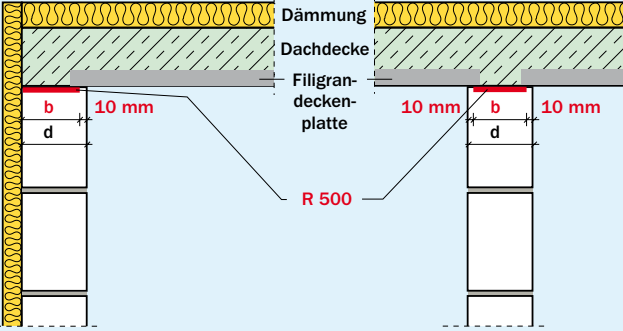
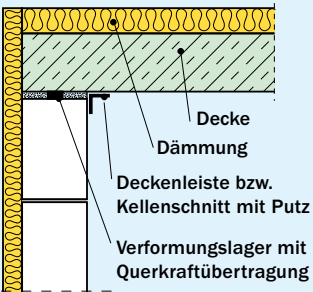
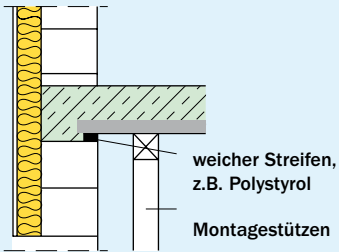
Die liegende Verzahnung bedeutet in vielen Fällen eine Behinderung beim Aufmauern der Wände, bei der Bereitstellung der Materialien und beim Aufstellen der Gerüste. Stumpf gestoßene Wände vermeiden diese Nachteile.

10. EMPFEHLUNGEN FÜR 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.

Empfehlungen für Deckenaufleger sind Tafel 28 zu entnehmen.

Tafel 28: Empfehlungen für Deckenaufleger

Deckenaufleger	Beschreibung	Maßnahme
<p>Schüsseln</p> 	<p>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.</p>	<p>Einbau von Trennschichten</p> <p>Verwendung einer besandeten Bitumendachbahn R 500 mit Rohfilzeinlage, Dicke = 3 mm, nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202</p> <p>Einbau über Eck, Länge ca. 1,50 m in beide Richtungen</p>
<p>Temperaturschwankungen</p> 	<p>Ungedämmte Dachdecken dehnen und verkürzen sich in Folge von Temperaturschwankungen. Gering belastetes Mauerwerk kann diese eingeleiteten Verformungen häufig nicht rissfrei aufnehmen.</p>	<p>Einbau von Gleitschichten bzw. Gleitlagern</p> <p>Einbau der Gleitschichten bzw. -lager zwischen Dachdecke und Wand</p> <p>Zur oberen Halterung der Wand sind bewehrte Ringbalken erforderlich.</p>
<p>Schwinden</p> 	<p>Die Austrocknung von bindemittelgebundenen Baustoffen (z.B. Beton, Mauerwerk) führt zu Schwindverkürzungen.</p>	<p>Einbau von Trennschichten</p> <p>Verwendung einer besandeten Bitumendachbahn R 500 mit Rohfilzeinlage, Dicke = 3 mm, nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202</p> <p>Einbau wie folgt: Breite (b) kleiner als Wanddicke (d), und zwar bei – Außenwänden ca. 10 mm, – Innenwänden beidseitig je ca. 10 mm</p> <p>Die Anordnung eines Ringbalkens ist nicht erforderlich.</p>
<p>Schwinden und Zentrieren</p> 	<p>Schwindverformungen und zu große Deckendurchbiegungen können gleichzeitig auftreten. Durch diese Einwirkungen auf Außenwände sind Rissbildungen bzw. Kantenabplatzungen auf der Wandinnenseite möglich.</p>	<p>Einbau von Verformungslagern</p> <p>Verwendung von Verformungslagern mit Querkraftübertragung zur Zentrierung und gleichzeitiger Aufnahme von Längenverformungen (ca. ±10 mm) (z.B. von Calenberg Ingenieure oder Speba)</p> <p>Ein Ringbalken auf dem Mauerwerk ist nicht erforderlich.</p>
<p>Konstruktives Zentrieren</p>  <p>Zentrierungen sind immer am Wandkopf, nie am Wandfuß anzuordnen.</p>	<p>Größere Deckendurchbiegungen bzw. Auflagerverdrehungen führen zu Lastexzentrizitäten (Traglastminderungen).</p> <p>Bei Stützweiten > 6 m darf mit Zentrierung das vereinfachte Bemessungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA angewendet werden.</p>	<p>Einlage von weichen Streifen</p> <p>Verwendung von weichen Streifen z.B. aus Polystyrol oder Mineralwolle</p> <p>Einbau: Schalung bzw. Filigrandeckenplatten in der Höhe um die Dicke des Streifens (ca. 5 mm) durch Montagstützen anheben</p> <p>Zentrieren auch bei schlanken Decken ist zu empfehlen.</p>

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 1053-1:1996 Mauerwerk. Berechnung und Ausführung
- [5] DIN 1053-2:1996-11 Mauerwerk, Teil 2: Mauerwerksfestigkeitsklassen aufgrund von Eignungsprüfungen
- [6] DIN EN 1996-1-1:2010-12: 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
- [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:2012-01
- [8] DIN EN 1996-1-2:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall; in Verbindung mit: DIN EN 1996-1-2/NA:2012
- [9] 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
- [10] DIN 4172:2006-08 Maßordnung im Hochbau
- [11] DIN EN 1990:2010-12 Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung mit DIN EN 1990/NA:2010-12
- [12] Graubner, C.-A.; Brehm, E.: Analyse der maßgebenden Einwirkungskombinationen zur rationalen Bemessung von unbewehrten Bauteilen im üblichen Hochbau. Forschungsbericht F06-7-2009, BBR, Berlin 2009
- [13] Roeser, W.; Gusia, W.: Gutachten Deckenzuschläge für nicht tragende Wände aus Kalksandstein, Aachen 2005
- [14] Steinle, A.; Hahn, V.: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1995
- [15] Leicher, G. W.: Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Werner Verlag, Düsseldorf 2002
- [16] Graubner, C.-A.; Spengler, M.: Vereinfachter Nachweis von erddruckbelasteten Kellerwänden. Forschungsbericht DGfM Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau, Berlin 2006
- [17] DIN 18530:1987-03: Massive Deckenkonstruktionen für Dächer. Planung und Ausführung

Architekt und Tragwerksplaner sind gehalten, auf ausreichende Rissesicherheit von Bauteilen und Bauwerken zu achten. Risse lassen sich in vielen Fällen vermeiden, wenn das unterschiedliche Verformungsverhalten von verschiedenem Mauerwerk und Beton und die daraus möglicherweise entstehende Rissgefahr bereits in der Planungsphase beurteilt und berücksichtigt werden. Zur Beurteilung der Rissesicherheit von Mauerwerk stehen heute geeignete Näherungsverfahren zur Verfügung, siehe auch [1]. Sie lassen sich für bestimmte Fälle ohne besondere Schwierigkeiten anwenden. Gegebenenfalls empfiehlt sich eine spezielle Fachbeurteilung.

1. DAS ENTSTEHEN VON SPANNUNGEN UND RISSEN

Formänderungen, die sich ohne Behinderung einstellen können, rufen keine Spannung hervor. Ein homogener, reibungsfrei gelagerter Körper, der einer gleichmäßigen Dehnung unterworfen ist, kann sich völlig spannungsfrei verformen. In der Praxis wird sich ein Bauteil in der Regel nicht behinderungsfrei verformen können, weil es mit Nachbarbauteilen verbunden ist. Verformen sich die beiden miteinander verbundenen 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 – außen stärker als im Kern. Die dadurch entstehenden Spannungen werden dann als Eigenspannung bezeichnet (Bild 1). Beim Mauerwerk tritt dieser Fall vor allem bei dickeren Wänden (Pfeilern) ein, 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.

Die Größe der entstehenden Spannung wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Größe der Formänderungen, den Behinderungs-, Einspannungsgrad bzw. die Steifigkeitsverhältnisse der miteinander verbundenen Bauteile, den Elastizitäts- oder Schubmodul und den Spannungsabbau infolge Relaxation. Relaxation ist der zeitabhängige Spannungsabbau bei konstanter Dehnung. Beispielsweise wird in einem

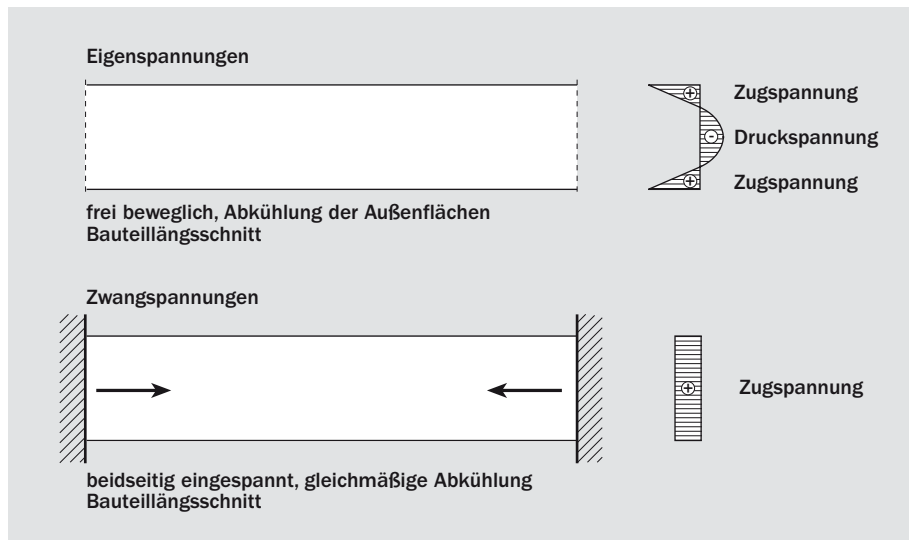


Bild 1: Eigen- und Zwangsspannungen

Bauteil eine Ausgangsspannung durch konstante Temperaturdehnung hervorgerufen. Diese Ausgangsspannung verringert sich infolge Relaxation (innerer Spannungsabbau) nach einer gewissen Zeit auf eine wesentlich geringere Endspannung. Kritisch und besonders rissgefährlich sind Zugspannungen oder Scher- bzw. Schubspannungen, weil die Zugfestigkeit und die Schubbeanspruchbarkeit von Mauerwerk vergleichsweise gering sind.

Risse entstehen dann, wenn die Spannung die entsprechende Festigkeit überschreitet bzw. die vorhandene Dehnung größer als die Bruchdehnung wird.

2. FORMÄNDERUNGEN

2.1 Allgemeines

Eine Übersicht über die Formänderungen, die bei Mauerwerk auftreten können, gibt Bild 2.

Der Oberbegriff Dehnung umfasst Verkürzungen und Verlängerungen als bezogene Längenänderung – Einheit: mm/m – das heißt z.B. 0,3 mm Längenänderung je Meter Bauteillänge.

Rechenwerte, d.h. im Allgemeinen zutreffende Formänderungswerte, sowie Angaben zum Bereich möglicher Kleinst-

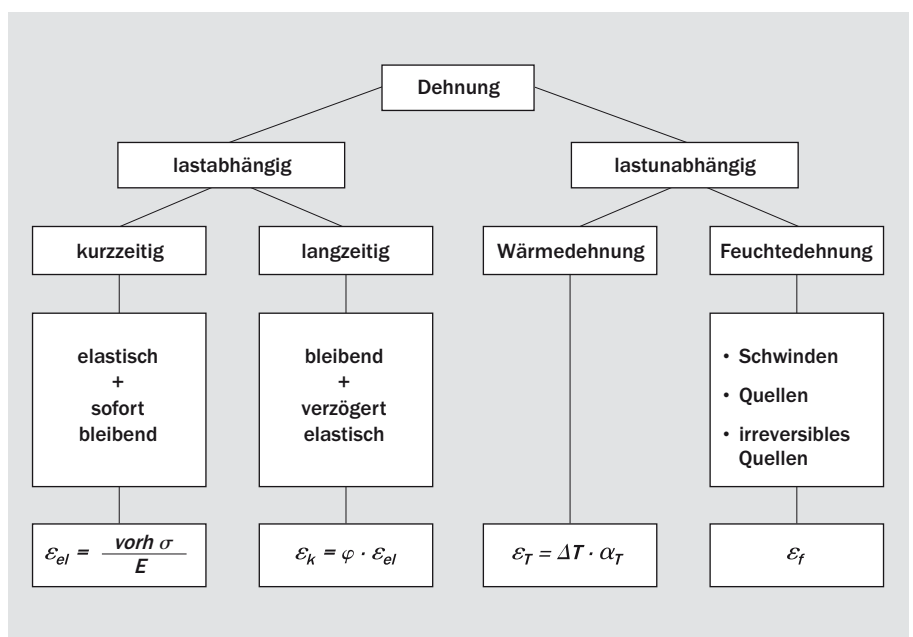


Bild 2: Formänderungen von Mauerwerk

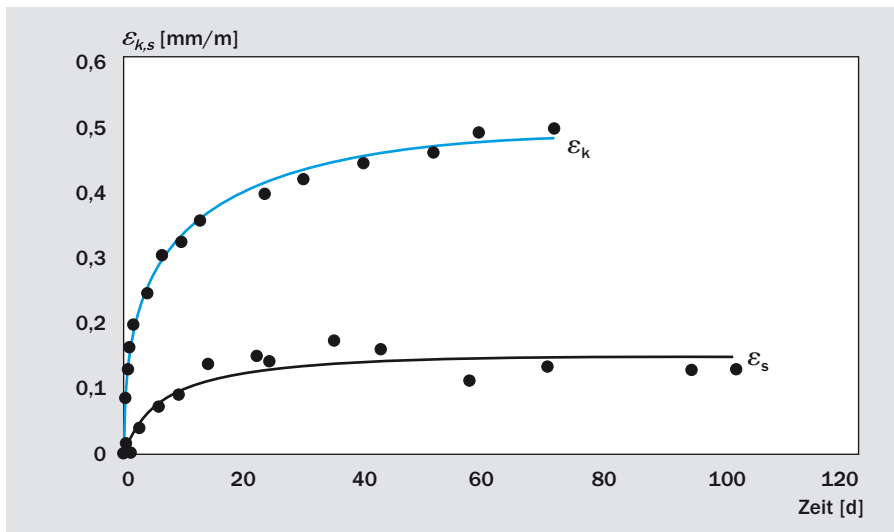


Bild 3: Zeitlicher Verlauf von Schwind- (ϵ_s) und Kriechdehnung (ϵ_k) bei Mauerwerk, konstantes Lagerungsklima

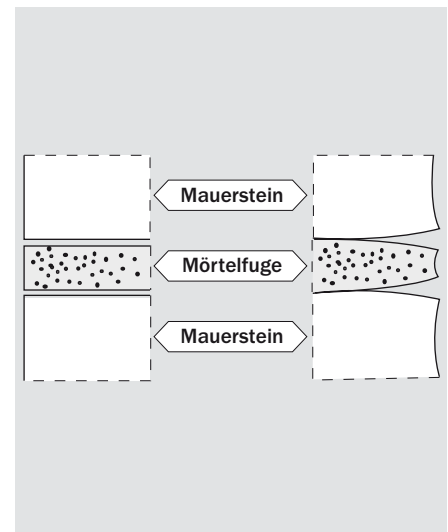


Bild 4: Rissbildung durch Randschwinden von Stein und Mörtel

oder Größtwerte finden sich in DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.13 [2] und einem ständigen, jährlich aktualisierten Beitrag im Mauerwerk-Kalender [3]. Die Formänderungswerte für Schwinden, Quellen und Kriechen sind Endwerte. Im Mauerwerk-Kalender 2002 [4] werden die Formänderungen von Mauerwerk sowie entsprechende Prüfverfahren ausführlich behandelt.

2.2 Feuchtedehnung

Als Schwinden und Quellen werden Volumen- bzw. Längenänderungen bzw. Dehnungen von Mauerwerk und Mauerwerkbaustoffen infolge Feuchtigkeitsabgabe bzw. -aufnahme bezeichnet. Dabei wird vom erhärteten Zustand (Mauersteine) bzw. einer gewissen Anfangserhärtung (Mauermörtel) ausgegangen. Schwinden und Quellen sind physikalische Vorgänge und teilweise umkehrbar. Das Schwinden von Kalksandstein ist nahezu vollständig umkehrbar. Das Schwinden ist wesentlich bedeutungsvoller als das Quellen, weil es

im Allgemeinen mit rissgefährlichen Zugspannungen verbunden ist. Hygrisches Schwinden und hygrisches Quellen, also durch Wasserabgabe bzw. -aufnahme, treten bei allen Mauersteinen – bei Mauerziegeln nur in sehr geringem Maße – sowie bei Mauermörteln auf. Bei Mauerziegeln kann eine Volumengrößerung infolge molekularer Wasserbindung eintreten, die als irreversibles Quellen bezeichnet wird und die bei üblichen Klimabedingungen nicht umkehrbar ist. Das irreversible Quellen hängt vor allem von der Rohstoffzusammensetzung und von den Brennbedingungen ab und kommt deshalb nicht bei allen Mauerziegeln vor.

Der zeitliche Verlauf des Schwindens (Bild 3) wird beeinflusst durch die Mauerwerkart, den Anfangsfeuchtegehalt der Mauersteine beim Vermauern, das Schwindklima (relative Luftfeuchte (RF), Luftbewegung) und die Bauteilgröße. Das Schwinden beschleunigt sich mit abnehmender relativer Luftfeuchte und

mit zunehmender Luftbewegung. Es verläuft bei Mauerwerk aus Leichtbeton- und Porenbetonsteinen langsamer als bei KS-Mauerwerk. 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.

Das Schwinden ist bei annähernd konstantem Schwindklima nach etwa drei Jahren weitgehend beendet. Anhaltskurven zum Schwindverlauf sind in [4] angegeben.

Die Tafel 1 enthält experimentell ermittelte Endwerte nach [3], [4] für verschiedenes Mauerwerk als Rechenwerte sowie zusätzlich Mittelwerte, Wertebereich und soweit möglich 10%- und 90%-Quantile. Diese bedeuten, dass mit 90%iger Ausagesicherheit nur 10 % bzw. 90 % aller denkbaren Endschwindwerte unter bzw. über dem Quantilwert liegen. Mit den

Tafel 1: Feuchtedehnung von Mauerwerk: rechnerische Endwerte in mm/m (Schwinden $\epsilon_{s,zst}$, Vorzeichen: Minus; Irreversibles Quellen $\epsilon_{q,zst}$, Quellen $\epsilon_{q,zst}$, Vorzeichen: Plus)

Mauersteine		Rechenwert [mm/m]	Wertebereich [mm/m]	Mittelwert [mm/m]	Quantilen [mm/m]	
Steinsorte	DIN				10 %	90 %
(Mz), HLz	105	0	-0,2 bis +0,4	-	-	
KS, KS L	106	-0,2	0,01 bis -0,29 ¹⁾	-0,16	-	-0,42
			0,13 bis -0,42 ²⁾	-0,26	-0,07	-0,46
Hbl	18151	-0,4	-0,23 bis -0,57	-0,41	-0,24	-0,58
V, Vbl	18152					
(Hbn)	18153	-0,2	-0,1 bis -0,3	-	-	-
PP	4165	-0,2	+0,2 bis -0,2	-	-	-

¹⁾ Herstellfeuchte Steine

²⁾ In Wasser vorgelagerte Steine

() Wenige Versuchswerte

Tafel 2: 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.

Quantilwerten können somit statistisch abgesicherte Grenzwertbetrachtungen angestellt werden.

Die Endschwindwerte gelten für Mauerwerk mit Normalmauermörtel, näherungsweise auch für Mauerwerk mit Leicht- oder Dünnbettmörtel.

Der beim Wertebereich für Mauerziegel angegebene Quelldehnungswert entspricht dem in der Regel möglichen irreversiblen Quellen.

Formänderungswerte sind auch in DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.13 angegeben (siehe Tafel 2).

2.3 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 Wärmedehnungskoeffizienten α_T in 10⁻⁶/K:

$$\epsilon_T = \Delta T \cdot \alpha_T$$

Der Koeffizient α_T muss versuchsmäßig bestimmt werden und kann näherungsweise im Temperaturbereich von -20 °C bis +80 °C als konstant angenommen werden.

Rechenwerte und Wertebereiche für den Wärmedehnungskoeffizienten α_T sind in Tafel 2 angegeben. Die zur Berechnung der Wärmedehnung erforderliche Temperaturdifferenz ΔT muss für den jeweiligen Anwendungs- bzw. Betrachtungsfall festgelegt werden. Als Bezugstemperatur wird zumeist

Tafel 3: Kriechdehnung von Mauerwerk; rechnerische Endwerte der Kriechzahl φ_∞ [3, 4]

Mauersteine		Mörtel	Rechenwert	Wertebereich	Mittelwert	Quantil	
Mauersteinart	DIN					10 %	90 %
Mauerziegel	105-100	NM	1,0	0,5 bis 1,5	-	-	-
		LM	2,0	1,0 bis 3,0			
	V 105-6	DM	0,5	-			
Kalksandsteine	V 106	NM, DM	1,5	0,8 bis 2,0	1,2	0,6	1,8
Porenbetonsteine	V 4165-100	DM	0,5	0,2 bis 2,7	-	-	-
Leichtbetonsteine	V 18151-100	NM, LM,	2,0	0,8 bis 2,8	1,9	0,9	2,8
	V 18152-100	DM					
Betonsteine	V 18153-100	NM, DM	1,0	-	-	-	-

die geschätzte Herstelltemperatur des Bauteils bzw. der Bauteile gewählt.

2.4 Elastische Dehnung

Die bei kurzzeitiger Lasteinwirkung auftretende Dehnung wird beim Mauerwerk, wie auch bei Beton, mit elastischer Dehnung ϵ_{el} bezeichnet. Dies trifft bei Mauerwerk nur näherungsweise zu, da die Dehnung bei der ersten Belastung ermittelt wird und sie somit auch geringe bleibende Dehnungsanteile enthält, also etwas größer als die rein elastische Dehnung ist.

2.5 Kriechen

Die Formänderung durch langzeitige Lasteinwirkung wird als Kriechen bezeichnet. Im Allgemeinen wird unter Kriechen die Formänderung – Verkürzung – in Lastrichtung verstanden. Die Kriechzahl φ ist der Verhältniswert von Kriechdehnung $\epsilon_{k,t}$ zur elastischen Dehnung ϵ_{el} . Die Kriechzahl ist im Gebrauchsspannungsbereich näherungsweise konstant und damit spannungsunabhängig. Das Kriechen ist überwiegend irreversibel.

Wesentliche Einflüsse auf den zeitlichen Verlauf des Kriechens sind die Mauerwerkart, der Anfangsfeuchtegehalt der Mauersteine, der Mörtel- bzw. Steinanteil, das Belastungsalter und ggf. die Höhe der Kriechspannung, wenn diese über der Gebrauchsspannung liegt. 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.

Endkriechzahlen φ_∞ von Mauerwerk enthält die Tafel 3. In der Tafel sind analog zur Endschwinddehnung Rechenwert, Mittelwert, Wertebereich und Quantilwerte angegeben. Die Endkriechzahlen gelten für Mauerwerk mit Normalmauermörtel. Näherungsweise können sie für Dünnbett-Mauerwerk und – wenn der Mörtelanteil im Mauerwerk nicht hoch ist – auch für Mauerwerk mit Leichtmörtel angenommen werden, siehe aber auch Tafel 2.

3. VERFORMUNGSFÄLLE, RISSSESICHERHEIT

3.1 Allgemeines

Aufgrund des derzeitigen Kenntnisstandes über das Verformungsverhalten von Mauerwerk und die aus den behinderten Formänderungen entstehenden Spannungen lassen sich verschiedene Fälle von Bauteilkombinationen hinsichtlich ihrer Rissesicherheit beurteilen. Es muss jedoch besonders darauf hingewiesen werden, dass die verfügbaren und nachfolgend beschriebenen quantitativen Beurteilungsverfahren nur näherungsweise zutreffende Aussagen liefern können. Dies 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 Einspannungsgrad bzw. die Größe der Formänderungsbehinderung durch die Verbindung mit benachbarten Bauteilen. Die Betrachtung der Rissesicherheit mit den verfügbaren Rechenverfahren führt jedoch zweifelsfrei zu realistischeren und sichereren Ergebnissen als eine rein gefühlsmäßige Betrachtung. Empfehlenswert ist vor Anwendung der Rechenverfahren eine gründliche qualitative Vorabbeurteilung des Gesamtbauwerks hinsichtlich möglicher Problemfälle. Dies bedarf entsprechender Kenntnisse und Erfahrungen. Nach dieser Vorabbeurteilung sollten wahrscheinliche Problemfälle hinsichtlich der Rissesicherheit mit den angegebenen Rechenverfahren beurteilt werden, soweit diese auf den jeweiligen Fall anwendbar sind.

Am bedeutungsvollsten für die Rissesicherheit ist die Feuchtedehnung und von dieser wiederum Schwinden und irreversibles Quellen. Kriechen und Wärmedehnung beeinflussen die Rissesicherheit in vielen Fällen nur wenig.

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass Kalksandsteine nach dem Härtevorgang im Autoklaven und Abkühlen an Luft ohne besondere Vorlagerung und Vorbehandlung verarbeitet werden können.

3.2 Grundsätzliche Beurteilungskriterien für Rissesicherheit

Das wichtigste Kriterium für Rissesicherheit ist der Unterschied der Formänderungen zwischen zwei miteinander verbundenen Bauteilen oder innerhalb eines Bauteilquerschnitts. Dieser Form-

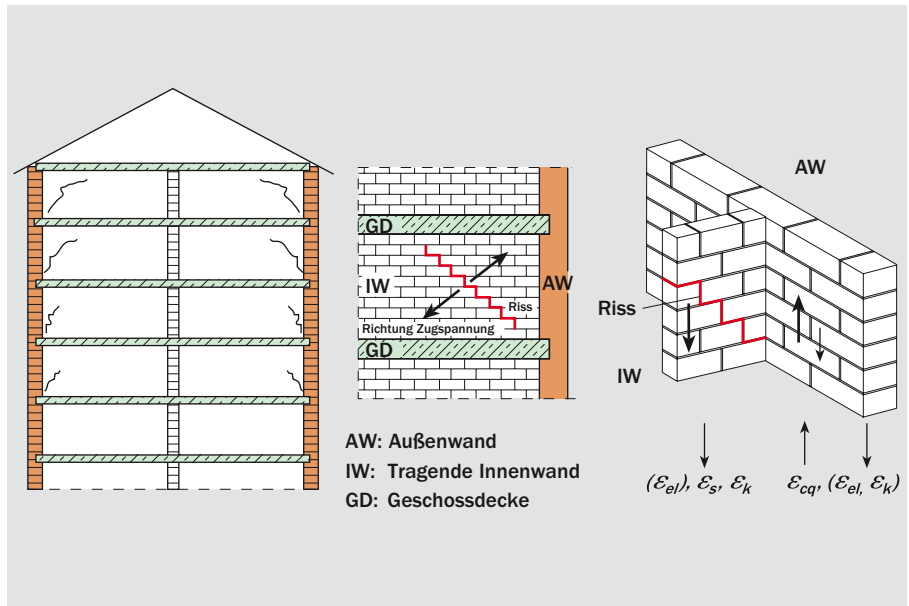


Bild 5: Risse durch Formänderungsunterschiede in vertikaler Richtung; Verformungsfall V1: Innenwand verkürzt sich gegenüber Außenwand

änderungs- bzw. Dehnungsunterschied $\Delta\varepsilon$ wird aus der Formänderungsdifferenz der gedanklich getrennten Bauteile ermittelt.

Beispiel: KS-Verblendschale auf Kelleraußenmauerwerk; Annahme Schwinden Verblendschale $\varepsilon_{s,v} = -0,3$ mm/m, Kelleraußenwand $\varepsilon_{s,k} = -0,1$ mm/m $\rightarrow \Delta\varepsilon = -0,3$ mm/m - (-0,1 mm/m) = -0,2 mm/m.

Mit Hilfe von $\Delta\varepsilon$ zwischen miteinander verbundenen Bauteilen kann die Rissesicherheit nach Tafel 4 grob beurteilt werden.

Die Aussagesicherheit wird wesentlich davon bestimmt, wie zutreffend die Formänderungswerte (Schwinden, irreversibles Quellen) für das jeweilige Bauobjekt sind. Genauere Beurteilungsverfahren existieren für die nachfolgenden Verformungsfälle.

3.3 Miteinander verbundene Außen- und Innenwände

(1) Verformungsfall, Rissgefahr

Zwischen 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 im Regelfall, vor allem dann, wenn aussteifende Querwände und die auszusteiende Wand im Verband hergestellt werden, nicht

Tafel 4: Beurteilung der Rissesicherheit von miteinander verbundenen Bauteilen

$\Delta\varepsilon$ [mm/m]	Rissesicherheit
$\leq 0,2$	ja; bei Verformungsfall V2: $\Delta\varepsilon \leq 0,1$ – siehe 3.3
0,2 bis 0,4	fraglich, \rightarrow rechnerische Beurteilung
$> 0,4$	nein; ggf. rechnerische Beurteilung

möglich. 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. Kriechen und Wärmedehnung sind in der Regel ohne wesentlichen Einfluss auf die Rissesicherheit. Große Temperaturunterschiede im – maßgebenden – Kernbereich der Außenwände treten wegen der heute erforderlichen hohen Wärmedämmung nicht mehr auf. Die Größe der entstehenden Spannungen bzw. die Rissgefahr 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.

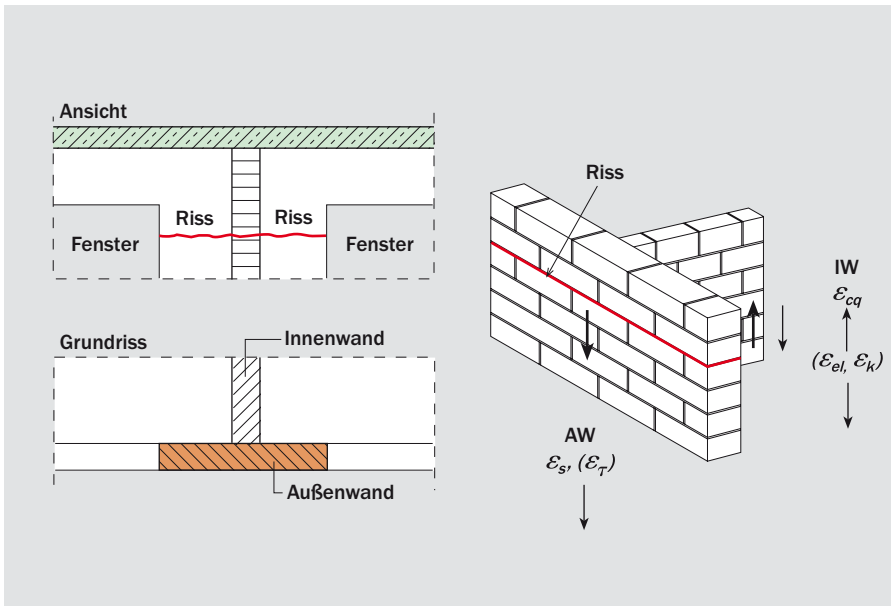


Bild 6: Risse durch Formänderungsunterschiede in vertikaler Richtung; Verformungsfall V2: Außenwand verkürzt sich gegenüber Innenwand

Grundsätzlich sind zwei verschiedene Verformungsfälle (V) zu unterscheiden:

V1: Die Innenwand verkürzt sich stärker als die Außenwand

Dies ist der Fall bei stark 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).

Problematische, rissgefährdete Mauerwerk-Kombinationen können sein: Außenwände in Leichtziegelmauerwerk, Innenwände in Kalksandstein- bzw. Leichtbetonsteinmauerwerk (Leichtbetonvollsteine).

V2: Die Außenwand verkürzt sich gegenüber der Innenwand

Dies ist der Fall, wenn die Innenwand nur wenig schwindet, ggf. sogar quillt (Mauerziegel) und die Außenwand dagegen sehr stark schwindet (Bild 6).

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 gefördert werden durch Deckendurchbiegung und andere exzentrische Lasteinwirkungen.

Problematische, rissgefährliche Mauerwerk-Kombinationen können sein: Außenwände in Leichtbetonsteinmauerwerk, Innenwände in Ziegelmauerwerk.

(2) Rechnerische Beurteilung

Die rechnerische Beurteilung der Rissesicherheit erfolgt nach einem Verfahren, das unter Anwendung der Finite-Elemente-Methode entwickelt wurde. Es ist in [6] beschrieben. Bei diesem wird die Querwand (Innenwand) über alle Geschosse als isotrope Scheibe betrachtet. Der Einfluss der Stahlbetondecken wird vernachlässigt und es wird linear elastisches Materialverhalten vorausgesetzt (Zustand I, ungerissenes Mauerwerk).

Erwartungsgemäß ergibt sich als für die Rissgefahr wesentliche Formänderung die Feuchtedehnung (Schwinden, irreversible Quellen). Der Einfluss von unterschiedlichen Kriechdehnungen in Innen- und Außenwänden kann vernachlässigt werden. Wesentliche temperaturbedingte Verformungsunterschiede sind – wie bereits zuvor erwähnt – wegen der hohen Wärmedämmung der Außenwände nicht zu erwarten.

Es erscheint durchaus akzeptabel, Risse geringer Breite bis zu etwa 0,2 mm zuzulassen. Dann gelten allerdings nicht mehr die Voraussetzungen des Rechenverfahrens: Zustand I und linear elastisches Verhalten. Die sich daraus ergebenden Auswirkungen lassen sich derzeit noch nicht ausreichend genau quantifizieren. Zu beachten ist auch, dass die Werte für den E-Modul und φ_∞ (Tafeln 2, 4 und 6) sehr stark streuen können (Streubereich etwa $\pm 50\%$).

Für die praktische Anwendung wird folgende Verfahrensweise empfohlen:

- **Verformungsfall V1**
Grobe Abschätzung der Rissesicherheit ohne Berechnung (siehe auch 3.2).

Im Allgemeinen ergibt sich keine Rissgefahr, wenn der Unterschied der Verformungen von Innen- und Außenwand aus Schwinden und irreversiblen Quellen (Werte aus Tafel 1 bzw. 2) nicht größer als 0,2 mm/m ist.

Bei Verbindung von Innen- und Außenwand mittels Stumpfstoßtechnik ist ein größerer rissfreier Verformungsunterschied zu erwarten. Genauere Untersuchungen dazu liegen bisher nicht vor. Anhaltswert ist 0,3 mm/m.

- **Verformungsfall V2**
Grobe Abschätzung der Rissesicherheit ohne Berechnung.

Im Allgemeinen ergibt sich keine Rissgefahr, wenn $\Delta\epsilon_0$ aus Schwinden und irreversiblen Quellen nicht größer als 0,1 mm/m ist.

Der rechnerische Nachweis der Rissesicherheit erfolgt analog wie im Verformungsfall V1, jedoch ist zul $\Delta\epsilon = 0,1$ mm/m zu wählen.

(3) Rechnerischer Nachweis der Rissesicherheit

Der Nachweis erfolgt durch Beurteilung der Rissesicherheit im Stadium Zustand I mit dem Ansatz

$$\Delta\epsilon_w = \Delta\epsilon_0 \cdot \alpha_k \cdot \alpha_R \leq \Delta\epsilon_{zul}$$

$$\Delta\epsilon_{zul}: 0,2 \text{ mm/m (V1) bzw. } 0,1 \text{ mm/m (V2)}$$

im Einzelnen wie folgt:

- ① Ermittlung von $\Delta\epsilon_0$ für Schwinden und irreversible Quellen (Tafeln 1 und 2; [2, 3])
- ② Bestimmung des Steifigkeitsverhältnisses Innenwand–Außenwand

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad (1)$$

mit

$$k_1 = E_I / E_A \text{ (E-Modul Mauerwerk Innen- und Außenwand)}$$

$$k_2 = A_I / A_A = (d_I \cdot l_I) / (d_A \cdot l_A) \quad (1a)$$

Wandquerschnittsflächen A_I, A_A bzw. Wanddicken d und Wandlängen l ; die wirksame Wandlänge l_I kann näherungsweise maximal zu 3 m angenommen werden.

$$k_3 = (1 + 0,8 \cdot \varphi_{\infty,A}) / (1 + 0,8 \cdot \varphi_{\infty,I}) \quad (1b)$$

Einfluss der Relaxation, Endkriechzahlen $\varphi_{\infty,A}, \varphi_{\infty,I}$ von Außen- und Innenwand.

Die k_1 - und k_3 -Werte wurden für verschiedene Kombinationen von KS-Mauerwerk mit anderem Mauerwerk unter Bezug auf eigene Auswertungen [3] ermittelt. Sie sind in den Tafeln 5 und 6 zusammengestellt.

③ Ermittlung des Abminderungsbeiwertes α_k (Tafel 7)

④ Ansatz der Spannungsminderung durch Relaxation (α_R)

Der α_R -Wert ist derzeit noch nicht ausreichend genau und sicher durch Untersuchungen belegt. Unter Bezug auf bisherige Untersuchungsergebnisse wird $\alpha_R = 0,7$ angesetzt.

⑤ Vergleich maßgebender (wirksamer) Formänderungsunterschied $\Delta \varepsilon_w$ mit dem jeweils zulässigen $\Delta \varepsilon_{zul}$.

(4) Rechenbeispiel

Innenwand:
KS 12, DM, $l_I = 7,0$ m (wirksame Länge: 3,0 m), $d_I = 0,175$ m

Außenwand:
HLz 6, DM, $l_A = 1,0$ m (Pfeiler), $d_A = 0,365$ m

Feuchtedehnung:
Innenwand $\varepsilon_{S\infty} = -0,2$ mm/m
Außenwand $\varepsilon_{cq} = +0,1$ mm/m (irreversibles Quellen)

$$\textcircled{1} \quad \Delta \varepsilon_0 = \varepsilon_{cq} - \varepsilon_{S\infty}$$

$$\rightarrow \Delta \varepsilon_0 = 0,3 \text{ mm/m}$$

Tafel 5: Verhältniswert k_1/E_A ; Bezug: Tabelle 9a aus [3]

Innenwand		Außenwand								
Kalksandstein (Anhaltswerte)		HLz-DM			PP-DM			LB(Vbl, Hbl)-NM, LM, DM		
		Steindruckfestigkeitsklasse $\beta_{N,st}$								
$\beta_{N,st}$	Mörtel	6	8	12	2	4	6	2	4	6
12	IIa	1,2	1,0	0,7	4,5	2,5	1,7	2,5	1,4	1,0
	DM	2,0	1,6	1,1	7,3	4,0	2,8	4,0	2,3	1,6
16	IIa	1,5	1,2	0,8	5,4	3,0	2,1	3,0	1,7	1,2
	DM	2,2	1,8	1,2	8,2	4,5	3,1	4,5	2,6	1,8
20	IIa	1,8	1,4	1,0	6,5	3,6	2,5	3,6	2,0	1,4
	DM	2,5	2,0	1,3	9,1	5,0	3,4	5,0	2,8	2,0
28	IIa	2,3	1,9	1,2	8,4	4,6	3,2	4,6	2,6	1,9
	DM	3,0	2,4	1,6	10,9	6,0	4,1	6,0	3,4	2,4

Tafel 6: Verhältniswert $k_3 = (1 + 0,8 \cdot \varphi_{\infty,A}) / (1 + 0,8 \cdot \varphi_{\infty,I})$

Kennwerte	Innenwand KS-NM/DM	Außenwand		
		HLz-DM	PP-DM	LB (Vbl, Hbl)-NM, LM, DM
φ_{∞} (Rechenwert)	1,5	0,5	0,5	2,0
φ_{∞} (Wertebereich)	0,8 bis 2,0	–	0,5 bis 2,5	0,8 bis 3,2
k_3 (Bezug Rechenwerte φ_{∞})	–	0,6	0,6	1,2

② Steifigkeitsverhältniswert k

$$k_1 = E_I / E_A = 2,0 \text{ (Tafel 5)}$$

$$k_2 = \frac{d_I \cdot l_I}{d_A \cdot l_A} = \frac{0,175 \cdot 3,0}{0,365 \cdot 1,0} = 1,44$$

$$k_3 = \frac{1 + 0,8 \cdot \varphi_{\infty,A}}{1 + 0,8 \cdot \varphi_{\infty,I}} = 0,6 \text{ (Tafel 6, letzte Zeile)}$$

$$k = 2,0 \cdot 1,44 \cdot 0,6 = 1,73$$

③ Abminderungsbeiwert

$\alpha_k = 0,59$ (aus Tafel 7, für $k = 1,73$ interpoliert)

④ Berechnung des wirksamen Dehnungsunterschiedes

$$\Delta \varepsilon_w = \Delta \varepsilon_0 \cdot \alpha_k \cdot \alpha_R$$

$$\Delta \varepsilon_w = 0,3 \cdot 0,59 \cdot 0,7 = 0,12$$

⑤ Vergleich wirksamer Dehnungsunterschied $\Delta \varepsilon_w$ mit zulässigem Dehnungsunterschied $\Delta \varepsilon_{zul}$

$$\Delta \varepsilon_w = 0,12 \text{ mm/m} < \Delta \varepsilon_{zul} = 0,2 \text{ mm/m}$$

Danach ist nicht mit Rissen zu rechnen.

Bei Feuchtedehnungswerten von $\varepsilon_s = -0,3$ mm/m und $\varepsilon_{cq} = +0,3$ mm/m und einer Innenwanddicke $d_I = 115$ mm ergibt sich bei ansonsten unveränderten Werten des Rechenbeispiels:

$$\Delta \varepsilon_w = 0,28 \text{ mm/m} > \Delta \varepsilon_{zul} = 0,2 \text{ mm/m.}$$

D. h. in diesem Fall ist mit Rissen zu rechnen.

(5) Maßnahmen zur Erhöhung der Rissesicherheit

● Wahl von Mauerwerk-Kombinationen mit ausreichend geringem Formänderungsunterschied $\Delta \varepsilon_0$.

● Wahl – soweit möglich – günstiger Steifigkeitsverhältnisse von Innen- und Außenwand. Im Fall V1 sollen die Innenwand möglichst steif (hoher E-Modul, großer wirksamer Wandquerschnitt) und die Außenwand möglichst weich sein → die Innenwand zwingt der Außenwand rissunwirksam einen hohen Anteil ihrer Verformung (Verkürzung) auf. Für den Fall V2 gilt das Umgekehrte.

Tafel 7: Abminderungsfaktor α_k in Abhängigkeit vom Steifigkeitsverhältniswert k

α_k	k
0,45	4,0
0,50	3,0
0,55	2,0
0,70	1,0
0,80	0,5

Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

- Gleiche Setzungen des Baugrundes unter dem Baukörper. Dies kann erreicht werden, indem die Fundamentflächen unter dem Gesichtspunkt des Setzungsverhaltens und nicht für eine konstante Bodenpressung festgelegt werden; ggf. ist ein Baugrundsachverständiger einzuschalten.
- Rissbreiten beschränkende, Risse verteilende Bewehrung im obersten Geschoss im außenwandnahen Bereich der Innenwand [6].
- Stumpfstoßtechnik; durch die in vertikaler Richtung relativ weiche Verankerung wird eine weniger behinderte Verformung von Innen- und Außenwand erreicht. Dies kann durch Papplagen zwischen Unterseite Geschossdecke und Innenwand noch weiter begünstigt werden (Bild 7). Allerdings wird durch solche Maßnahmen auch der Einfluss des Steifigkeitsverhältnisses verringert, das zuvor beschriebene Rechenverfahren lässt sich deshalb nicht ohne weiteres anwenden. Eine quantitative zutreffende und versuchsmäßig abgesicherte Bewertung dieser unterschiedlichen Einflüsse in ihrer Auswirkung auf die Rissesicherheit ist derzeit noch nicht möglich.

Die Stumpfstoßtechnik ist aber zweifellos empfehlenswert, um die Rissgefahr zu verringern. Näherungsweise kann davon ausgegangen werden, dass Verformungsunterschiede $\Delta \varepsilon_0$ zwischen Innen- und Außenwand (aus Schwinden, irreversiblen Quellen) von 0,3 bis 0,4 mm/m ohne schädliche Risse im Mauerwerk aufgenommen werden können.

Dies gilt prinzipiell auch für die in schallschutztechnischer Hinsicht optimierte Stumpfstoßausführung zwischen Gebäudetrennwand und Außenwänden: Die Gebäudetrennwand wird bis zur Außenfläche der Außenwand durchgeführt, die Außenwand wird an die Gebäudetrennwand mittels Stumpfstoßverbindung angeschlossen.

Allerdings werden die Verbindungsanker infolge möglichem Schwinden der Gebäudelängswand in Horizontalrichtung durch entsprechende Querkraft senkrecht zur Längsachse der Anker beansprucht. Dies kann u.U. zu Rissbildungen im Bereich der Stumpfstoßfuge führen. Da die Außenwand in der Regel als Wärmedämm-Verbundsystem

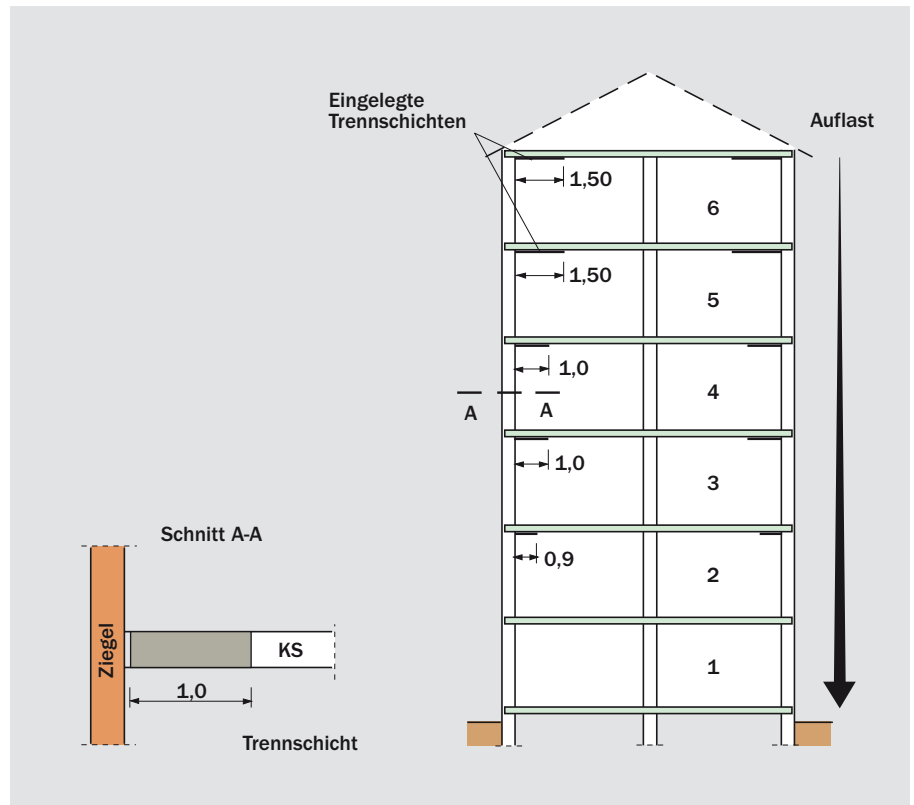


Bild 7: Stumpfstoßtechnik; eingelegte Trennschichten in der Innenwand

tem oder zweischaliges Mauerwerk ausgeführt wird, ist eine eventuelle Rissbildung im Außenbereich der Stumpfstoßfuge bedeutungslos. Beim Stoß der verputzten Wände ist ein Kellenschnitt zu empfehlen.

3.4 Nicht tragende Trennwände

(1) Verformungsfall, Rissgefahr

Die Durchbiegung von Geschossdecken kann in nicht tragenden Trennwänden Schub- und Zugspannungen hervorrufen. Dabei kann die Durchbiegung der oberen Decke zu einer zusätzlichen Belastung der Trennwand führen, wenn deren oberer Wandrand nicht ausreichend von der Decke getrennt ist. Bedingt durch die Zugspannungen können horizontale Risse zwischen Wand und Decke im unteren Auflagerbereich (Abreißen der Wand von der Decke) sowie vertikale und schräg verlaufende Risse in der Mauerwerkwand auftreten (Bild 8). Derartige Risse werden nicht durch fehlerhaftes Mauerwerk verursacht, sondern entstehen meist aufgrund fehlender bzw. unzureichender Durchbiegungsbemessung der Decken.

Entsprechend DIN EN 1992-1-1/NA (NCI zu 7.4.2(2)) [7] ist der Nachweis zu führen, dass die Deckendurchbiegung $l/500$ nicht überschreitet – siehe hierzu [8, 9 und 10].

Rissbildungen können in längeren nicht tragenden Trennwänden auch durch Schwinden in Wandlängsrichtung entstehen.

(2) Rechnerische Beurteilung

Die rechnerische Abschätzung der Biegezugbeanspruchung der Mauerwerkwand ohne und mit zusätzlicher Auflast aus der oberen Decke ist möglich [6]. Da aber in der Regel die Beanspruchbarkeit des Mauerwerks für diesen Fall bislang nicht bekannt ist, lässt sich die Rissesicherheit quantitativ nicht beurteilen.

Die Rissesicherheit bzw. rissfreie Wandlänge infolge Schwinden in Wandlängsrichtung kann wie in Abschnitt 3.5 (2) beurteilt werden. Da es sich um innere Trennwände handelt, entfällt – zumindest bei Wohngebäuden – im Allgemeinen eine zusätzliche temperaturbedingte Verformung. Ein Rechenbeispiel dazu ist unter (3) aufgeführt.

(3) Rechenbeispiel

Nicht tragende innere Trennwand aus KS-Plansteinmauerwerk mit Dünnbettmörtel;
Wandhöhe h_w : 3,50 m;
Wand seitlich horizontal verschiebbar gehalten, oben verformbar gehalten, unten auf Zwischenfolie.

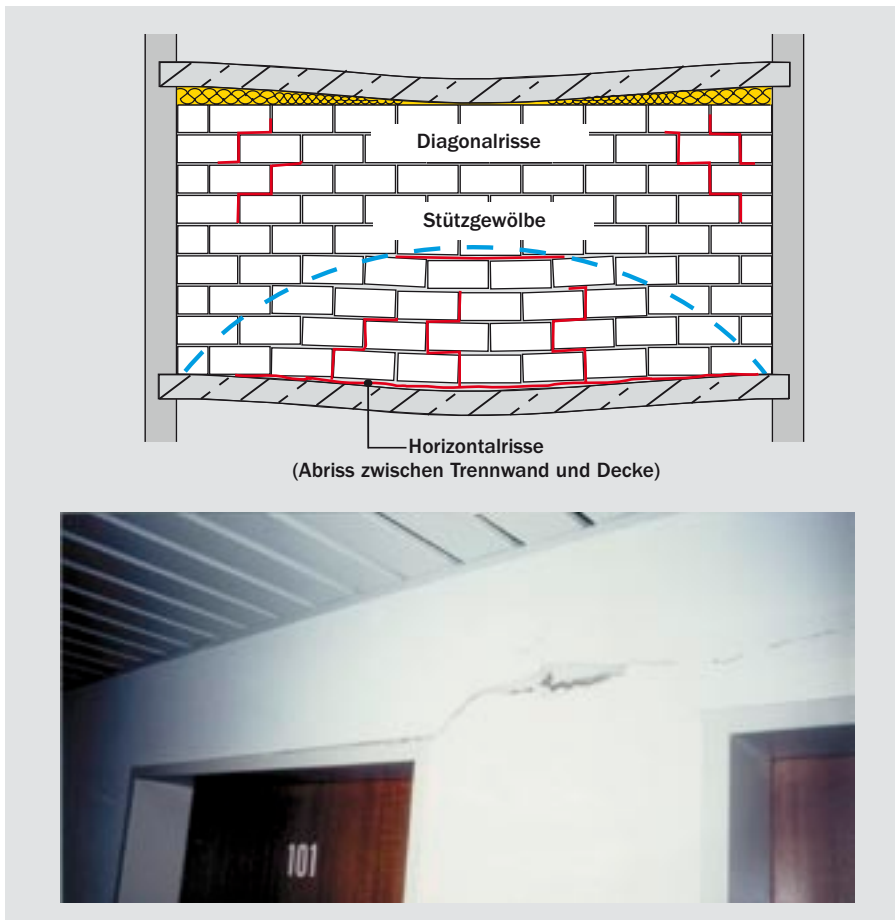


Bild 8: Risse in nicht tragenden Trennwänden infolge Durchbiegung der Geschossdecke

Annahme: Schwinddehnung $\epsilon_s = 0,2 \text{ mm/m}$
Behinderungsgrad (unten) $R = 0,6$

Rissfreie Wandlänge (siehe auch Abschnitt 3.5 (3)):

$$l_r \leq -\ln\left(1 - \frac{1}{20 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6}\right) \cdot \frac{3,50}{0,23}$$

$$l_r \leq 8,20 \text{ m}$$

Für eine 2,50 m hohe Wand ergibt sich $l_r \leq 5,85 \text{ m}$.

Bei einer seitlich kraftschlüssig angebundenen Trennwand auf Trennschicht gilt unabhängig von der Wandlänge in guter Näherung

$$\sigma_z = E_z \cdot \epsilon \cdot \Psi$$

Ψ : Relaxationszahl, Annahme: $\Psi = 0,7$

$E_{z,mw}$: Zugelastizitätsmodul Richtung Wandlänge

Die Zugspannung σ_z muss kleiner als die Zugfestigkeit des Mauerwerks $\beta_{z,mw}$ sein,

um Risse zu vermeiden. Mit $\beta_{z,mw}/E_{z,mw} = 1/20.000$ (siehe Tafel 9) und $\epsilon_s = 0,2 \text{ mm/m}$ ergibt sich

$$\begin{aligned} \sigma_z/E_z &= \epsilon \cdot 0,7 < \beta_{z,mw}/E_{z,mw} \\ &= 1/20.000 \\ &= 0,05 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\epsilon \cdot 0,7 = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 = 0,14 \cdot 10^{-3}$$

$$0,14 \cdot 10^{-3} > 0,05 \cdot 10^{-3} \rightarrow \text{D. h. es entstehen Risse.}$$

Wegen der vergleichsweise hohen Rissgefahr sollten die Trennwände seitlich so gehalten werden, dass sie sich horizontal unbehindert verformen können.

Tafel 8: Behinderungsgrad R

R	Bereich Wand-Auflager (Fundament, Decke)
0,4 bis 0,6	2 Trennlagen übereinander (z.B. Bitumenpappe)
> 0,6 bis 0,8	1 Trennlage
> 0,8 bis 1,0	keine Trennlage; Mörtelschicht / Dichtschlämme

(4) Maßnahmen zur Erhöhung der Rissesicherheit

Folgende rissesicherheitserhöhende Maßnahmen werden empfohlen:

- Deckendurchbiegung begrenzen: Deckenbiegungsbemessung nach DIN EN 1992-1-1/NA [7]
- Spätes Errichten der nicht tragenden Trennwand: Damit ein möglichst hoher Anteil der Deckendurchbiegung bereits aufgetreten ist und somit nicht risserzeugend wirkt.
- Nicht tragende Trennwand am Wandfuß von der unteren Geschossdecke trennen: Durch Anordnung von geeigneten Trennschichten, z.B. Folien, wird erreicht, dass der horizontale Abriss zwischen Wand und Decke an einer unsichtbaren Stelle fixiert wird.
- Ausreichende Verformungsmöglichkeit der nicht tragenden Trennwand im oberen Wandbereich: Dazu sind zwischen oberer Geschossdecke und Wandkopf ausreichend verformungsfähige Zwischenschichten in genügender Dicke anzuordnen, vor allem bei Wandlängen über etwa 5 m. Eine ausreichende Verformungsmöglichkeit der vertikalen Wandanschlüsse kann durch die Verwendung von beweglichen Wandanschlussankern verbessert werden.
- Möglichst geringes Schwinden: Vermeiden bauseitiger Durchfeuchtung, Vermauern lufttrockener Kalksandsteine, dadurch geringes Schwinden
- Bewehrung der Lagerfugen: 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 [6].

Tafel 9: Gerundete Verhältniszwerte $\beta_{z,mw}/E_{z,mw}$ für Mauerwerk aus Normalmauermörtel nach [3]

Mauerstein	$\beta_{z,mw}/E_{z,mw}$
Kalksandsteine	1/20.000
Mauerziegel	1/8.500
Leichtbetonsteine	1/10.500
Porenbetonsteine	1/13.000

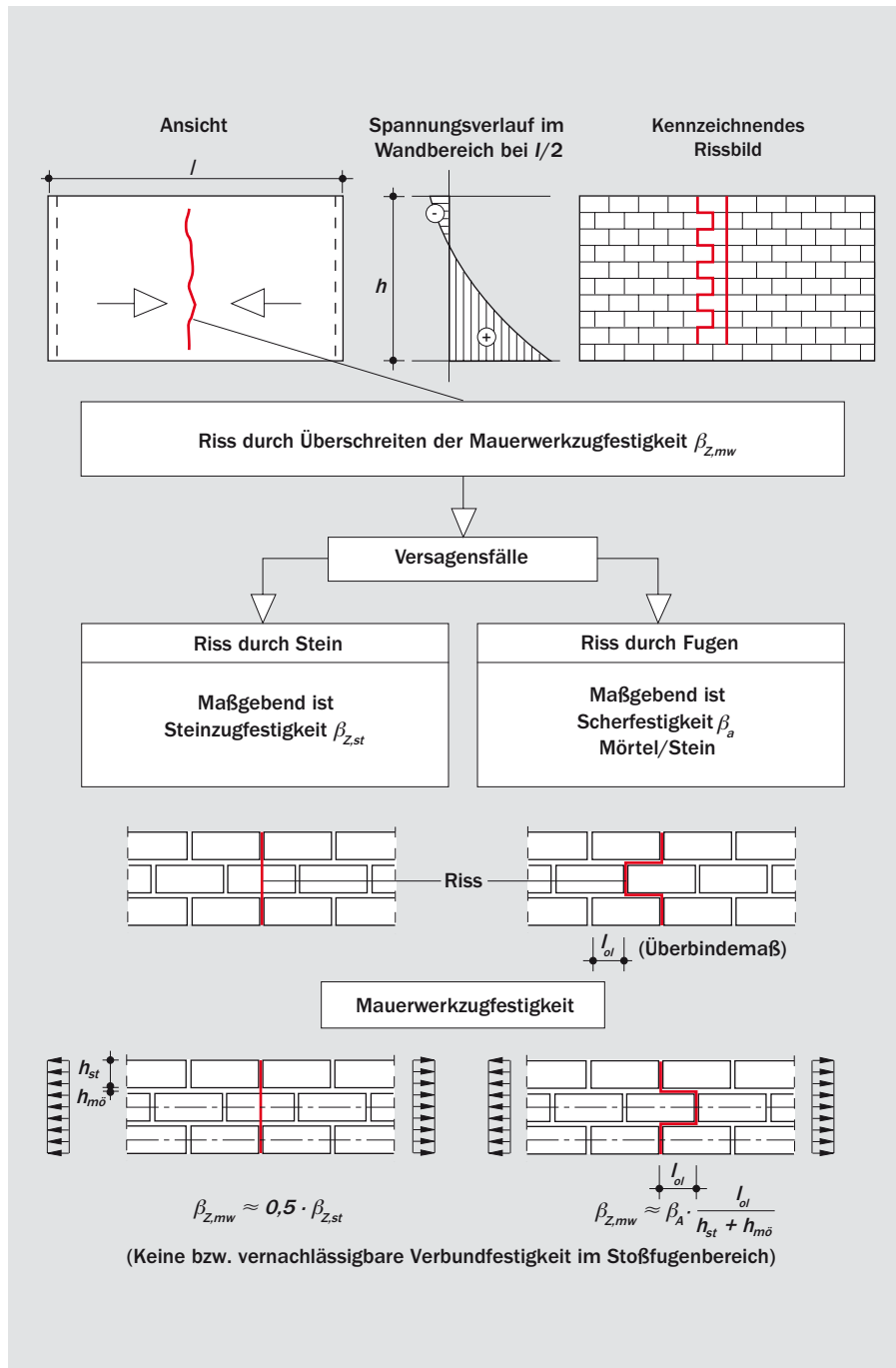


Bild 9: Verformungsfall Horizontalspannungen, Wand unten aufgelagert

3.5 Zweischalige Außenwände mit Verblendschale

(1) Verformungsfall, Rissgefahr

Bei zweischaligen Außenwänden mit Luftschicht ohne und mit Wärmedämmung treten in der Regel sehr unterschiedliche Verformungen der beiden Mauerwerkschalen 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 (Verblendschale) ist unmittelbar den klimatischen Einflüssen, d.h. Temperatur- und Feuchteänderungen ausgesetzt. Die Verblendschale sollte sich deshalb weitgehend unbehindert von der Innenschale bewegen können. Die aus Standsicherheitsgründen notwendige Verankerung zwischen den beiden Schalen mit Draht- oder Dübelankern ist in Rich-

tung Wandhöhe und -länge so weich, 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 (Bild 9) 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 – Abkühlung), dem Zug-E-Modul des Mauerwerks parallel zu den Lagerfugen, dem Behinderungsgrad (im Auflagerbereich, im Bereich der Wandränder) sowie dem Spannungsabbau durch Relaxation.

Durch ein einfaches Berechnungsverfahren, das theoretisch und versuchsmäßig ausreichend begründet ist, können die rissfreie Wandlänge bzw. der Dehnungsfugenabstand von Verblendschalen mit guter Genauigkeit berechnet werden. Die Rechenergebnisse stimmen mit den Praxiserfahrungen zufrieden stellend überein.

Die Anordnung vertikaler Dehnungsfugen zeigt Bild 10. Die vertikalen Dehnungsfugen sollten in der Regel an den Gebäudeecken angeordnet werden. Ist dies aus ästhetischen Gründen unerwünscht (Eckverband als wesentliches Stilelement im Mauerwerkbau), so können auch statt einer Dehnungsfuge in der Außenecke zwei Dehnungsfugen im Abstand von jeweils etwa maximal 2 m bzw. halbem Dehnungsfugenabstand von der Ecke angeordnet werden. Bei Ausbildung der Dehnungsfugen ist auf deren ausreichende Breite (≥ 10 mm) zu achten, da nur etwa ein Viertel der Fugenbreite dauernd wirksam ist.

Unabhängig davon ist jedoch unbedingt dafür zu sorgen, dass sich die Verblendschalen auch in vertikaler Richtung zwängungsfrei verformen können. Dazu sind entsprechende horizontale Dehnungsfugen anzuordnen, die bei mehrgeschossigen Bauten unterhalb der notwendigen Abfangkonstruktion für die Verblendschale vorzusehen sind (Bild 11).

Das nachfolgend beschriebene Berechnungsverfahren für die Rissesicherheit bzw. für die rissfreie Wandlänge kann auch für leichte Trennwände und Ausfachungen angewendet werden.

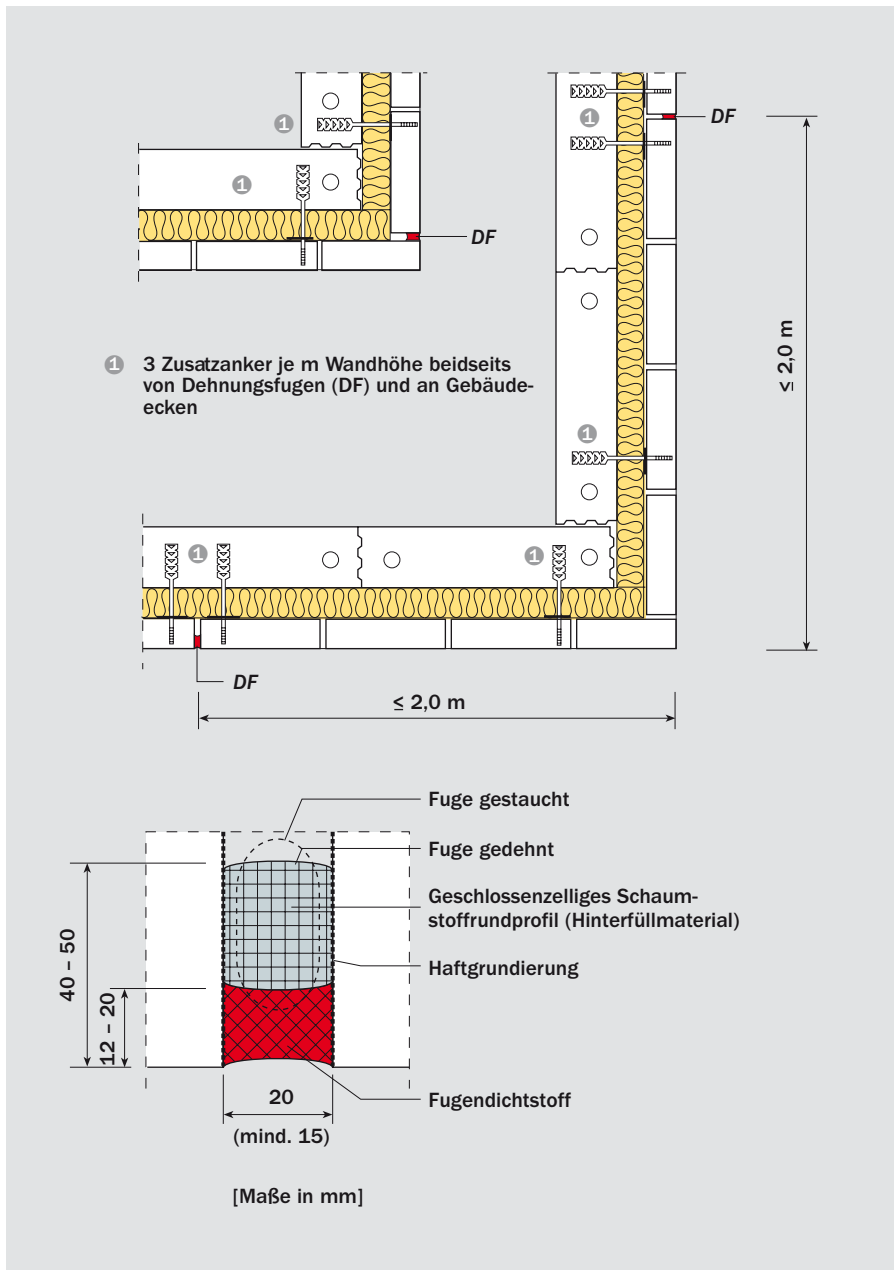


Bild 10: Verblendschalen; vertikale Dehnungsfugen (DF) an den Gebäudeecken

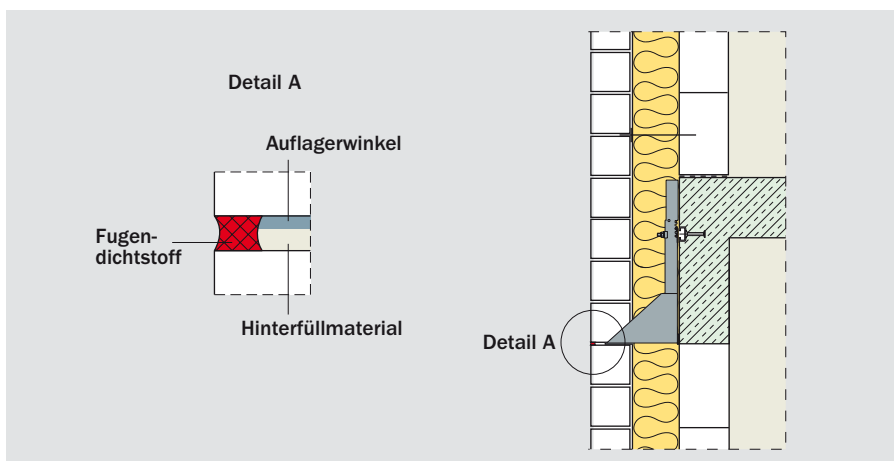


Bild 11: Verblendschalen; horizontale Dehnungsfugen

(2) Rechnerische Beurteilung

Die rissfreie Wandlänge l_r bzw. der Dehnungsfugenabstand können wie folgt errechnet werden [5, 11]:

$$l_r \leq -\ln \left(1 - \frac{\beta_{Z,mw}}{E_{Z,mw} \cdot \text{ges } \varepsilon \cdot R} \right) \cdot \frac{h_{mw}}{0,23} \quad (2)$$

- mit
- $\beta_{Z,mw}$ Mauerwerkzugfestigkeit Richtung Wandlänge
- $E_{Z,mw}$ Zug-Elastizitätsmodul Richtung Wandlänge
- ges ε Gesamte Verformungen (Dehnungen) infolge Schwinden ε_S und Temperaturänderung ε_T
- R Behinderungsgrad (am Wandfuß; vollständige Behinderung bei $R = 1,0$)
- h_{mw} Wandhöhe

Die Gleichung (2) gilt bis zu einem Verhältniswert $l_r/h_{mw} \leq 5$. Über diesem Verhältniswert wirkt sich eine zunehmende Wandlänge unter sonst gleichen Bedingungen nicht mehr spannungserhöhend aus.

Geht man, wie in [11] von einer „zulässigen“ Zugspannung $\max \sigma_z \approx 0,7 \cdot \max \sigma_z(\beta_z)$ aus – was für die Beurteilung der Gebrauchsfähigkeit zulässig erscheint –, so ergeben sich unter Berücksichtigung der vorliegenden Versuchsergebnisse, siehe auch [3], näherungsweise die Verhältniswerte $\beta_{Z,mw}/E_{Z,mw}$ in Tafel 9. Wird $\beta_{Z,mw}/E_{Z,mw}$ für Kalksandstein-Mauerwerk in die Gleichung eingesetzt, so erhält man:

$$l_r \leq -\ln \left(1 - \frac{1}{20.000 \cdot \text{ges } \varepsilon \cdot R} \right) \cdot \frac{h_{mw}}{0,23} \quad (2a)$$

bzw.

$$l_r \leq -\ln (1 - \alpha) \cdot \frac{h_{mw}}{0,23} \quad (2b)$$

Ist in der Gleichung $\alpha \geq 1$, so ist in der betrachteten Wand nicht mit Rissen zu rechnen. Bei α -Werten < 1 ergibt sich die rissfreie Wandlänge aus der Gleichung. Wie ersichtlich, nimmt die rissfreie Wandlänge zu, wenn die Gesamtdehnung infolge Schwinden und Temperaturabnahme sowie der Behinderungsgrad kleiner werden und sich die Wandhöhe vergrößert.

Bei üblicher Wandlagerung der Verblendschale im Fußpunktbereich auf einer Papplage kann der Behinderungsgrad R in etwa zu 0,6 angenommen werden.

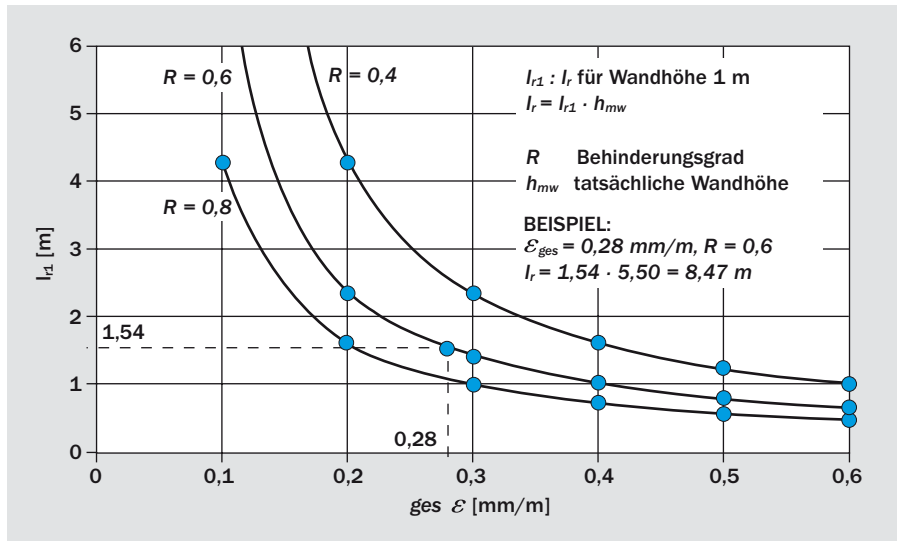


Bild 12: Rissfreie Wandlänge für eine 1 m hohe Wand l_{r1} in Abhängigkeit von der Gesamtdehnung ϵ_{ges} und dem Behinderungsgrad R

Er lässt sich verringern durch Anordnung von Zwischenschichten mit geringer Gleitreibung (z.B. zwei Papplagen mit geringem Reibungsbeiwert auf ebener Auflagerfläche), siehe Tafel 8. Zu beachten ist dabei, dass die Standsicherheit der Verblendschale nicht beeinträchtigt wird („Abrutschgefahr“).

Die rissfreie Wandlänge bzw. der Dehnungsfugenabstand können auch unter Bezug auf Gleichung (2a) als Diagramm dargestellt werden (Bild 12). Aus dem Diagramm lässt sich in einfacher Weise mit der vorhandenen Gesamtdehnung und dem angenommenen Behinderungsgrad die rissfreie Wandlänge für eine Standardwandhöhe von 1 m entnehmen. Diese muss dann mit der tatsächlichen Wandhöhe multipliziert werden, um die rissfreie Wandlänge zu erhalten.

Im Allgemeinen wird ein Dehnungsfugenabstand bei Verblendschalen aus KS-Mauerwerk von 6 bis 8 m empfohlen [2, 5, 12], wobei der niedrigere Wert für ungünstig exponierte Bauwerke und Mauerwerk



Bild 13: Lagern von Steinen mit Schutz gegen Niederschlag

mit Wärmedämmung, ohne Luftschicht (größere Temperaturunterschiede in der Verblendschale) angesetzt werden sollte.

(3) Rechenbeispiel (siehe Bild 12)
 Verblendschale aus KS Vb 20, NM IIa;
 Wandhöhe $h_{mw} = 5,50 \text{ m}$.

Annahmen: Schwinddehnung
 $\epsilon_s = 0,2 \text{ mm/m}$,

Abkühlen (gegenüber Herstelltemperatur)
 $\Delta T = 10 \text{ K}$

$$\epsilon_T = \Delta T \cdot \alpha_T$$

$$\epsilon_T = 10 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 10 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m} = 0,08 \text{ mm/m}$$

$$\epsilon_{ges} = 0,2 + 0,08 = 0,28 \text{ mm/m}$$

$$R = 0,6$$

Rissfreie Wandlänge [m]:

$$l_r \leq -\ln\left(1 - \frac{1}{20 \cdot 10^3 \cdot 0,28 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6}\right) \cdot \frac{5,50}{0,23}$$

$$l_r \leq 8,45 \text{ m}$$

(4) Maßnahmen zur Erhöhung der Rissesicherheit von nicht tragendem Mauerwerk, insbesondere Verblendmauerwerk
 Möglichkeiten zur Erhöhung der Rissesicherheit bzw. zur Vergrößerung des Dehnungsfugenabstandes sind:

- Geringe Schwinddehnung der Mauersteine nach dem Einbau: Das Schwinden der Steine nach dem Vermauern kann z.B. auch dadurch

verringert werden, dass der Feuchtegehalt der Steine beim Herstellen des Mauerwerks niedrig ist. Die Steine sollen deshalb auch besonders während der Lagerung gegen Feuchteaufnahme (Niederschlag) geschützt werden, Bild 13.

Der Schutz vor Niederschlagswasser (z.B. durch Folien) – mit dem üblicherweise gerechnet werden muss – und dessen Beseitigung ist nach VOB-C: ATV DIN 15299, Abschnitt 4.1 eine Nebenleistung und damit vom Maurer auszuführen.

Stark Wasser saugende Mauersteine sind ggf. vor dem Vermauern vorzunässen (Bild 14). Das Vornässen soll nur kurzzeitig und oberflächlich unmittelbar vor dem Vermörteln erfolgen.

- Vollfugiges, hohlraumfreies Vermörteln:
 Dadurch werden der Haftverbund zwischen Stein und Mörtel und die Haftscherfestigkeit verbessert. Um dies zu erreichen, soll der Mörtel gut verarbeitbar sein („sämig“, kein zu schnelles Ansteifen) und auch wenig schwinden. Gleichzeitig soll eine möglichst hohe Verformbarkeit im Fugenbereich angestrebt werden. Dies lässt sich am ehesten durch Verwendung von Mörteln der Gruppen II und IIa nach DIN 20000-412 bzw. DIN V 18580 gewährleisten. Mörtel der Gruppen III und IIIa lassen sich in der Regel schlechter verarbeiten und ergeben aufgrund ihrer hohen Festigkeiten einen steifen und spröden Mauermörtel in der Fuge (Fugenmörtel). Sie sind deshalb nach DIN EN 1996-1-1/NA als Fugenmörtel für Verblendmauerwerk nicht zulässig. Als Verfugmörtel zum nachträglichen Verfugen dürfen sie verwendet werden.



Bild 14: Bei sehr trockenen Steinen sind diese vorzunässen.

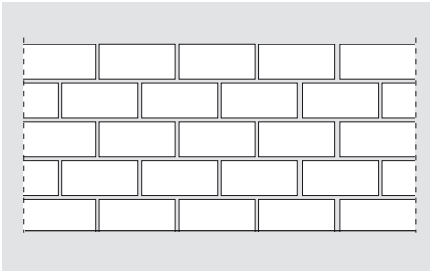


Bild 15: Läuferverband, besonders günstig mit halbsteiniger Überbindung

- Große Überbindelängen:
Von Bedeutung für die Zugbeanspruchbarkeit und damit auch für die Rissesicherheit der Verblendschale ist der Mauerwerkverband. Eine halbsteinige Überbindung (Bild 15) ist stets zu empfehlen, weil sie die größtmögliche Scherkraft übertragende Fläche zwischen Stein und Lagerfugenmörtel ergibt. Kürzere Überbindemaße sind meist risseempfindlicher.
- Trennschichten am Wandfuß:
Geringe Verformungsbehinderung am Wandfuß, ausreichende Verformungsmöglichkeiten am Wandkopf und den seitlichen Bauteilrändern. Die Verformungsbehinderung am Wandfuß kann durch Anordnung von Trennschichten mit geringem Reibungsbeiwert verkleinert werden (Tafel 8).
- Herstellen der Verblendschalen bei günstiger Außentemperatur:
Soweit möglich, sollen die Verblendschalen bei niedriger Außentemperatur hergestellt werden. Dadurch werden die jahreszeitlich bedingte Abkühlung unter die Herstelltemperatur und damit die zugspannungserzeugenden Temperaturverformungen klein gehalten. Gleichzeitig verringert sich im Allgemeinen auch die Gefahr einer zu schnellen und zu starken Austrocknung. Durch diese kann ein zu hohes Anfangsschwinden im äußeren Mörtel-Stein-Bereich hervorgerufen werden, was den Haftverbund zwischen Mörtel und Stein und damit auch die Zugbeanspruchbarkeit des Mauerwerks beeinträchtigt.
- Schutz vor ungünstigen Witterungseinflüssen:
Nach dem Herstellen sollen die Verblendschalen zumindest bis zum Alter von einer Woche vor Regen (Schlagregen), zu schnellem und zu starkem Austrocknen ausreichend geschützt werden. Dies kann z.B. durch Abdecken mit Folien erfolgen, Bild 16.

Frühzeitiges starkes Durchfeuchten der Mauerwerkswände vergrößert das spätere Schwinden bei Austrocknung.

- Bewehrung der Lagerfugen:
Durch eine in den Lagerfugen angeordnete konstruktive Bewehrung (z.B. Bewehrungselemente) können schädliche, größere Risse vermieden und dadurch längere Wände ohne Dehnungsfugen ausgeführt werden (Bild 17). Die Bewehrung wirkt Risse verteilend bzw. Rissbreiten beschränkend.

Die ohne Dehnungsfugen ausführbare Wandlänge hängt im Wesentlichen von der Zugfestigkeit und Geometrie der Mauerwerkswand sowie von Anordnung und Gehalt der Bewehrung ab. Der erforderliche Bewehrungsanteil für eine angestrebte maximale Rissbreite kann rechnerisch ermittelt werden [13, 14].

- Konstruktive Bewehrung:
Anordnung von Bewehrung in den Lagerfugen besonders rissgefährdeter Bereiche, z.B. Brüstungen (Bild 18).
- Großer Verhältniswert Wandhöhe zu Wandlänge:
Soweit möglich, sollten lange Wände mit geringer Wandhöhe vermieden werden, weil in diesem Falle die größten Zugspannungen auftreten.
- Anordnung von Dehnungsfugen (Bild 10):
Die notwendigen Abstände für Dehnungsfugen ergeben sich aus der Berechnung der rissfreien Wandlänge bzw. den empfohlenen Wandlängen. Dehnungsfugen sollten ggf. auch in besonders rissgefährdeten Bereichen, z.B. im Bereich von Öffnungen, einseitig oder zweiseitig angeordnet werden (Bild 18).

Durch den Einbau von geschosshohen Fenster- und Türelementen, die konsequent durch senkrechte Anschlussfugen von der Außenschale getrennt sind, lassen sich konstruktive Mehrarbeiten vermeiden.

Nach DIN EN 1996-1-1/NA Abschnitt 8.5.2.2 sind zusätzliche Anker an beiden Rändern der Dehnungsfugen anzuordnen. Durch die Anordnung der Dehnungsfugen nach Bild 10 entfällt möglicherweise eine sonst erforderliche Dehnungsfuge im dazwischen liegenden Wandbereich.

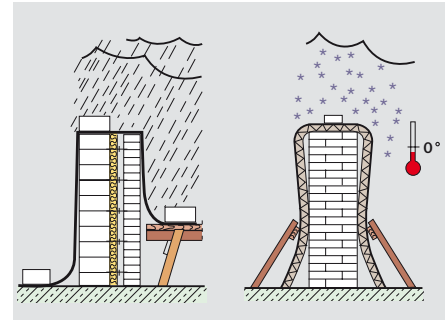


Bild 16: Frisches KS-Mauerwerk ist vor Regen und Frost zu schützen.

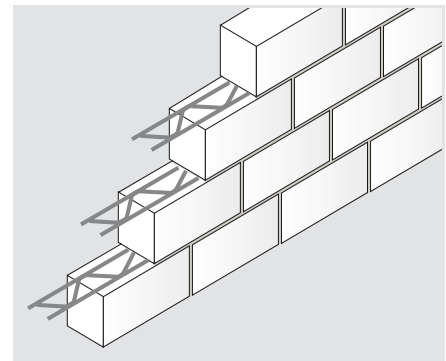


Bild 17: Lagerfugenbewehrung zur konstruktiven Rissesicherung in Normalmauermörtel

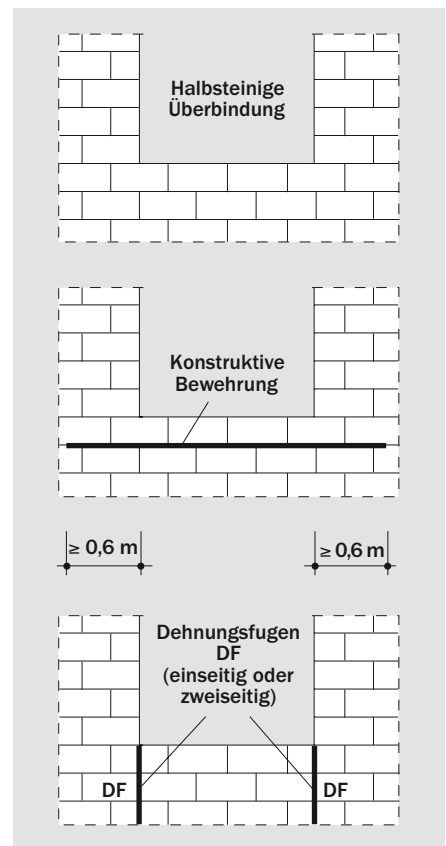


Bild 18: Brüstungsbereiche; Rissvermeidung bei Verblendschalen

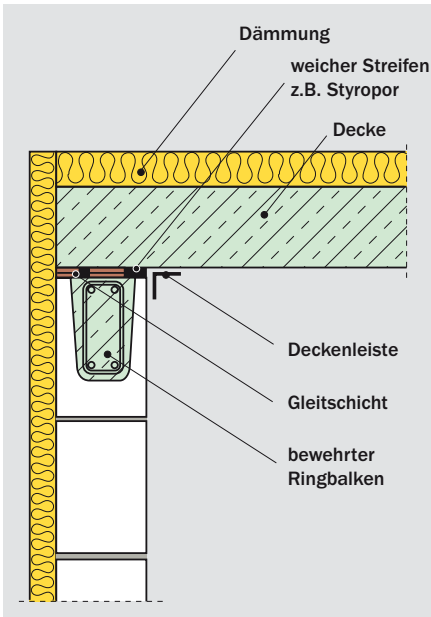


Bild 19: Konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung der Deckenauflagerkraft am Beispiel der Außenwand unter einer Dachdecke – Gleitlager mit eingelegtem Styropor-Randstreifen an der Wandinnenseite

3.6 Gebäudetrennfugen

Die Fugenabstände sind im Bauwerk so zu wählen, dass in den einzelnen Bauteilen keine Schäden durch Zwangsspannungen entstehen können. Dies ist im Einzelfall zu beurteilen. Besteht Rissgefahr, sollten Gebäudetrennfugen angeordnet werden, um die Verformungen möglichst spannungsfrei aufnehmen zu können. Bei langen Gebäuden – ab etwa 20 m – oder sehr unterschiedlichen Gebäudeteilen kann Rissgefahr durch Zwangsspannungen infolge unterschiedlicher behinderter Formänderungen entstehen, z.B. Schwinden und ggf. Temperaturänderungen der Baustoffe (Beton und Mauerwerk).

Die Gebäudetrennfugen sind konsequent durch Baukörper und Wandbekleidungen bis zur Oberkante des Fundamentes zu führen (siehe auch [15]).

3.7 Verformungen der Dachdecke

Unterschiedliche Verformungen zwischen den tragenden Wänden und der Dachdecke bewirken Zwängungen, die oft zu Rissen in den Wänden, selten aber zu Schäden in der Decke selbst führen. Diese Verformungsunterschiede entstehen durch unterschiedliche Temperaturen und unterschiedliches Schwinden von Dachdecke und der darunter liegenden Decke sowie zwischen Dachdecke und Mauerwerkswänden. Nach DIN 18530:1987-03 und [16] kann rechnerisch abgeschätzt werden, in welchen

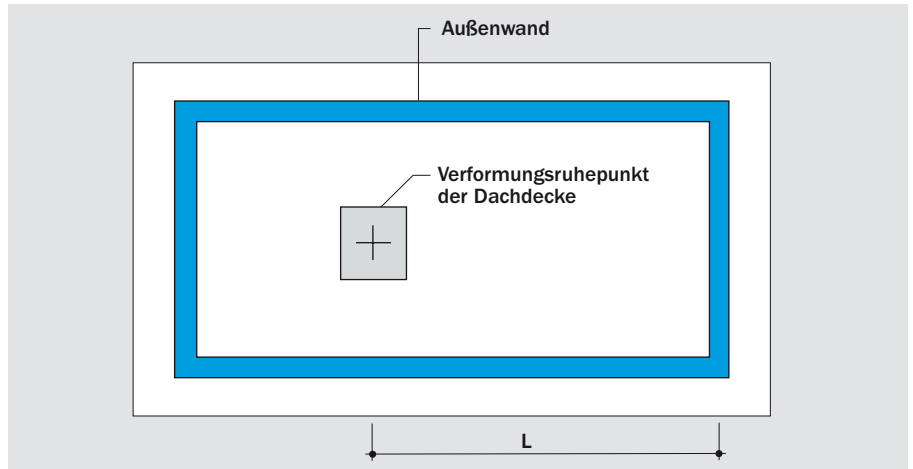


Bild 20: Maßgebliche Verschiebelänge; Dach-Draufsicht

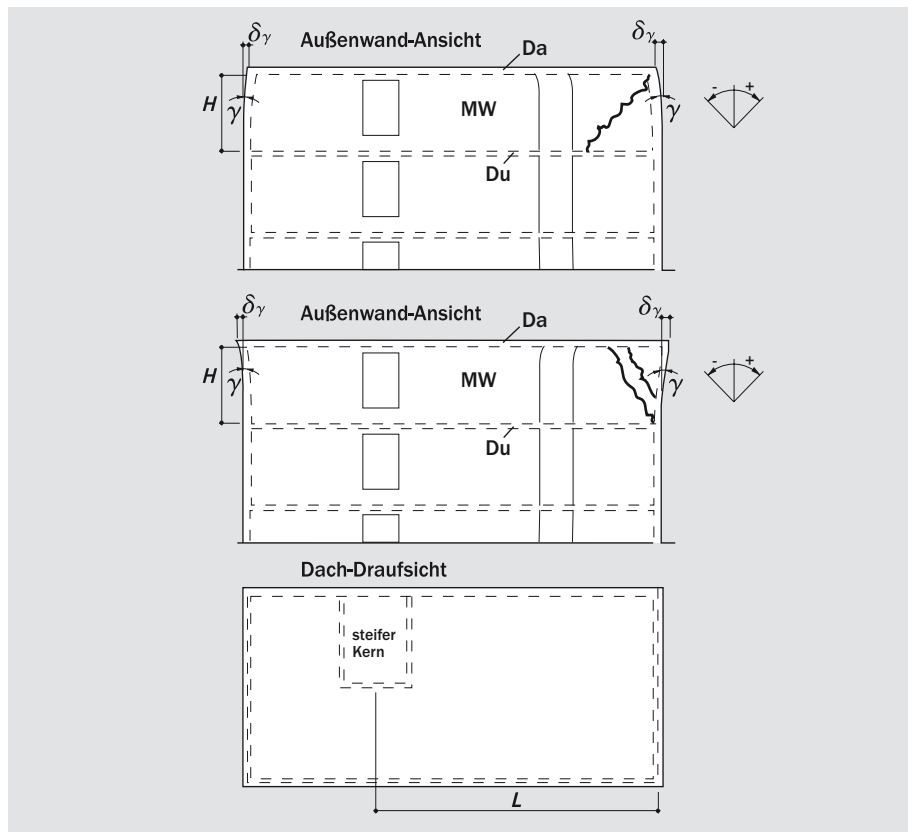


Bild 21: Verformung bei unterschiedlicher Temperatur von Dachdecke und Unterkonstruktion (Ansicht Außenwand). Da = Dachdecke, Du = Decke unter Da, MW = Mauerwerkswand.

Fällen (Dachmaße, Baustoffeigenschaften, Formänderungen) Rissgefahr besteht. Ist mit Rissen zu rechnen, so sind Dehnungsfugen anzuordnen, oder die Dachdecke ist 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 19) bewusst auf eine Schubübertragung verzichtet wird. Aus diesem Grunde sind die oberen Wandenden unterhalb der Gleitfuge durch Ringbalken zu halten. Ringbalken können auch als bewehrtes Mauerwerk bemessen werden. Dafür ist im Allgemeinen eine abZ erforderlich.

Diese Wandkopfhalterungen nehmen die noch verbleibenden Reibungskräfte aus der Dachdecke und die Wandlasten, die auf die Außenwände des Gebäudes wirken, auf. Sie sind statisch nachzuweisen. Falls Schwindverformungen, Temperaturverformungen 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 22).

Im Fall einer starren Verbindung zwischen Wänden und Dachdecke (Kalt- oder Warmdach) können unterschiedliche Temperatur- und Feuchtedehnungen der Baustoffe rissgefährliche Spannungen in der Wand hervorrufen.

Zur Beurteilung, ob Wände Verformungen ohne Schaden aufnehmen können, sind vor allem die Bewegungen der Dachdecke in Richtung der Wandebene von Bedeutung. Bewegungen senkrecht zur Wandebene führen in den Wänden selten zu Schäden, weil Mauerwerkswände in vertikaler Richtung (senkrecht zur Wandebene) nur eine geringe Biegesteifigkeit besitzen.

Nach DIN 18530 darf die Dachdecke auf Mauerwerk bei mehrgeschossigen Gebäuden mit einer maßgeblichen Ver-

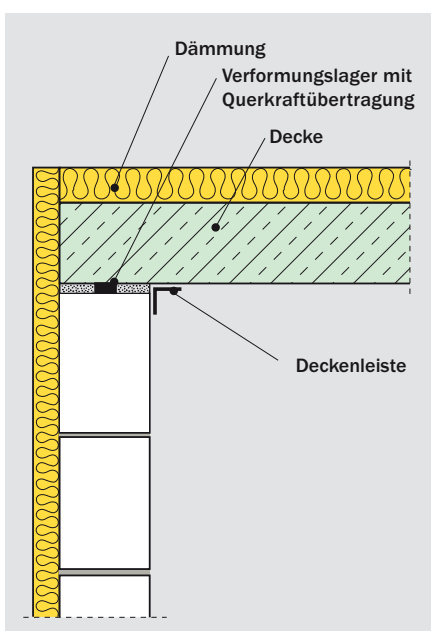


Bild 22: Konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung der Deckenauflagerkraft am Beispiel der Außenwand unter einer Dachdecke – Verformungslager mit Zentrierstreifen zwischen Wand und Decke



Bild 23: Sichtmauerwerk setzt in Verbindung mit modernen Fensterelementen Akzente.

schiebelänge $l \leq 6$ m ohne Nachweis unverschieblich gelagert werden (Bild 20).

Bei mehrgeschossigen Gebäuden mit $l > 6$ m und bei eingeschossigen Gebäuden muss, falls keine verschiebliche Lagerung vorgesehen ist, ein Nachweis der Unschädlichkeit der Verformung geführt werden.

Bei dieser Untersuchung sind die zu erwartenden unbehinderten Verformungen mit den ohne Schaden aufnehmbaren Verformungen zu vergleichen. Maßgebend sind die Dehnungsdifferenz δ_ϵ zwischen Wand und Decke in mm/m und der Verschiebewinkel γ der Wand im Bogenmaß, der am Wandende durch unterschiedliche Längenänderung der Dachdecke und der darunter liegenden Geschosdecke hervorgerufen wird (Bild 21). DIN 18530 begrenzt die zulässigen Werte für δ_ϵ und γ . Bei fester Auflagerung der Dachdecke dürfen folgende Werte nicht überschritten werden:

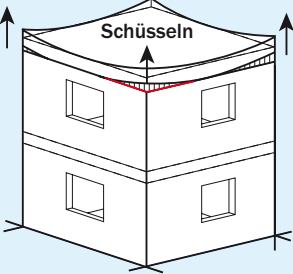
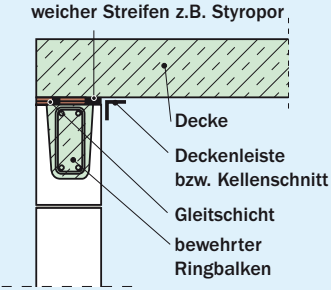
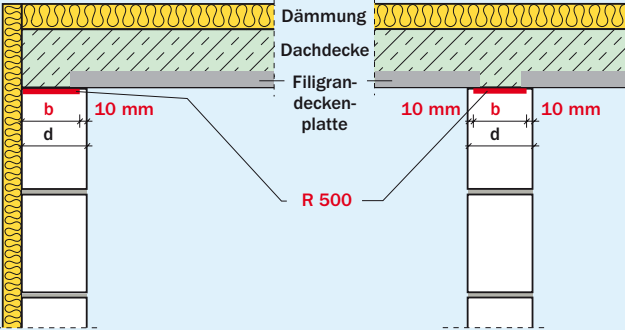
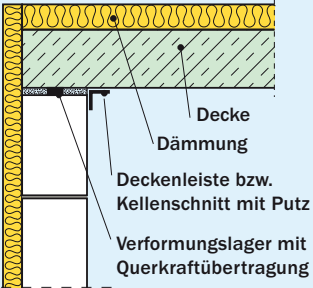
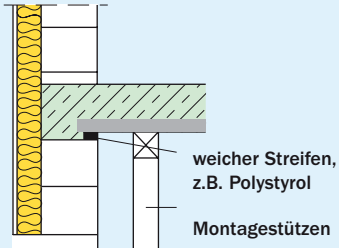
- Dehnungsdifferenz δ_ϵ
 $-0,4$ mm/m Verkürzung bzw.
 $+0,2$ mm/m Verlängerung
- Verschiebewinkel $\gamma = \Delta/l/h$
 $-\frac{1}{2.500}$ bis $+\frac{1}{2.500}$

Für die Ausbildung des Wandkopfes werden weiterhin 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 19).
- 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.
- 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.

Die Thematik wird ausführlich mit Rechenbeispielen in [16] behandelt. Für die Ausbildung der Deckenauflager gibt Tafel 10 Hinweise.

Tafel 10: Empfehlungen für Deckenaufleger

Deckenaufleger	Beschreibung	Maßnahme
<p>Schüsseln</p> 	<p>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.</p>	<p>Einbau von Trennschichten</p> <p>Verwendung einer besandeten Bitumendachbahn R 500 mit Rohfilzeinlage, Dicke = 3 mm, nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202</p> <p>Einbau über Eck, Länge ca. 1,50 m in beide Richtungen</p>
<p>Temperaturschwankungen</p> 	<p>Ungedämmte Dachdecken dehnen und verkürzen sich in Folge von Temperaturschwankungen. Gering belastetes Mauerwerk kann diese eingeleiteten Verformungen häufig nicht rissefrei aufnehmen.</p>	<p>Einbau von Gleitschichten bzw. Gleitlagern</p> <p>Einbau der Gleitschichten bzw. -lager zwischen Dachdecke und Wand</p> <p>Zur oberen Halterung der Wand sind bewehrte Ringbalken erforderlich.</p>
<p>Schwinden</p> 	<p>Die Austrocknung von bindemittelgebundenen Baustoffen (z.B. Beton, Mauerwerk) führt zu Schwindverkürzungen.</p>	<p>Einbau von Trennschichten</p> <p>Verwendung einer besandeten Bitumendachbahn R 500 mit Rohfilzeinlage, Dicke = 3 mm, nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202</p> <p>Einbau wie folgt: Breite (b) kleiner als Wanddicke (d), und zwar bei – Außenwänden ca. 10 mm, – Innenwänden beidseitig je ca. 10 mm</p> <p>Die Anordnung eines Ringbalkens ist nicht erforderlich.</p>
<p>Schwinden und Zentrieren</p> 	<p>Schwindverformungen und zu große Deckendurchbiegungen können gleichzeitig auftreten. Durch diese Einwirkungen auf Außenwände sind Rissbildungen bzw. Kantenabplatzungen auf der Wandinnenseite möglich.</p>	<p>Einbau von Verformungslagern</p> <p>Verwendung von Verformungslagern mit Querkraftübertragung zur Zentrierung und gleichzeitiger Aufnahme von Längenverformungen (ca. ±10 mm) (z.B. von Calenberg Ingenieure oder Speba)</p> <p>Ein Ringbalken auf dem Mauerwerk ist nicht erforderlich.</p>
<p>Konstruktives Zentrieren</p>  <p>Zentrierungen sind immer am Wandkopf, nie am Wandfuß anzuordnen.</p>	<p>Größere Deckendurchbiegungen bzw. Auflagerverdrehungen führen zu Lastexzentrizitäten (Traglastminderungen).</p> <p>Bei Stützweiten > 6 m darf mit Zentrierung das vereinfachte Bemessungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA angewendet werden.</p>	<p>Einlage von weichen Streifen</p> <p>Verwendung von weichen Streifen z.B. aus Polystyrol oder Mineralwolle</p> <p>Einbau: Schalung bzw. Filigrandeckenplatten in der Höhe um die Dicke des Streifens (ca. 5 mm) durch Montagestützen anheben</p> <p>Zentrieren auch bei schlanken Decken ist zu empfehlen.</p>

LITERATUR

- [1] Schubert, P.: Mauerwerk – Risse und Ausführungsmängel vermeiden und instandsetzen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2. Auflage 2009
- [2] DIN EN 1996-1-1:2010-12 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
- [3] Schubert, P.: Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Mauersteinen, Mauer- mörtel und Putzen. – In: Mauerwerk- Kalender 35 (2010), S: 3–25, Verlag Ernst & Sohn, Berlin.
- [4] Schubert, P.: Schadensfreies Konstruieren mit Mauerwerk, Teil 1: Formänderungen. – In: Mauerwerk-Kalender 27 (2002), S. 313–331, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [5] Schubert, P.: Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerksbauten. – In: Mauerwerk-Kalender 21 (1996), S. 621–651, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [6] Mann, W.; Zahn, J.: Murfor® ; Bewehrtes Mauerwerk zur Lastabtragung und zur konstruktiven Rissesicherung – ein Leitfaden für die Praxis. N. V. BEKAERT S. A., Zwevegem/Belgien 1991
- [7] DIN EN 1992-1-1/NA: 2013-04: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [8] Ingenieurbüro Hegger: Deckenzuschlag für schwere nicht tragende Wände aus Kalksandstein, Gutachten vom 25.11.2005
- [9] Hegger, J.; Roeser, W.; Gusia, W.: Ansonsten blieb sie ungerissen, Deutsches Ingenieurblatt, Heft 1–2/2005
- [10] Hegger, J.; Roeser, W.; Gusia, W.: Pauschaler Zuschlag – Ein neues Bemessungskonzept für schwere unbelastete Trennwände
- [11] Schubert, P.: Zur rißfreien Wandlänge von nichttragenden Mauerwerkswänden. – In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 473–488, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [12] Kasten, D.; Schubert, P.: Verblendschalen aus Kalksandsteinen – Beanspruchung, rißfreie Wandlänge, Hinweise zur Ausführung. – In: Bautechnik 62 (1985), Nr. 3, S. 86–94
- [13] Meyer, U.: Zur Rißbreitenbeschränkung durch Lagerfugenbewehrung in Mauerwerkbauteilen. – In: Aachener Beiträge zur Bauforschung des ibac, Band 6, Verlag der Augustinus Buchhandlung, Aachen 1996 (D 81/Diss. RWTH Aachen)
- [14] Schubert, P.: Vermeiden von schädlichen Rissen. – In: Mauerwerksbau- Praxis, Bauwerk-Verlag, Berlin 2007, S. 213–237
- [15] Spezielle Anwendungsbereiche. Erschienen im Fachbuch „KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung“, 6. Auflage. Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2014
- [16] Pfefferkorn, W.; Klaas, H.: Rißschäden an Mauerwerk. – In: Schadenfreies Bauen, Band 7, 3., überarb. Auflage, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 1996

Notwendigkeit der Abdichtung

Kalksandstein-Mauerwerk ist grundsätzlich feuchtebeständig. Es benötigt daher nicht zwingend in allen Beanspruchungssituationen durch flüssiges Wasser eine schützende, wasserdichte Schicht – d.h. eine Abdichtung.

So kann der Schlagregenschutz von Außenwänden durch das Mauerwerk selbst erbracht werden, z.B. bei zweischaligem Verblendmauerwerk.

Auch im Hinblick auf die erdberührten Wände ist hervorzuheben, dass grundsätzlich nicht alle Mauerwerksbauteile durch Abdichtungen geschützt werden müssen. So bleiben ständig durchfeuchtete, von Erdreich umgebene Grundmauern in der Regel voll funktionsfähig.

Auch die durch Sickerwasser beanspruchten Wandflächen von Feucht- und Nassräumen benötigen nicht zwingend eine hautförmige Abdichtung, solange neben dem KS-Mauerwerk auch die übrigen Materialien des Wandquerschnitts, z.B. ein Unterputz, feuchtebeständig sind und die Wasserbelastung so gering ist, dass ggf. vom Querschnitt aufgenommenes Wasser wieder austrocknen kann.

Die allgemeine Entwicklung im modernen Hochbau läuft aber auf eine hochwertige Nutzung von Kellerräumen mit erhöhten Anforderungen an die Trockenheit der Bauteiloberflächen und der Raumluft hinaus. Solche Nutzungen benötigen Bauwerksabdichtungen an den erdberührten Bauteilen. Ebenso werden in Wohnzugsbadezimmern immer häufiger niveaugleiche Duschen eingebaut. Damit wird die Feuchtebeanspruchung der Bodenfläche erheblich größer: Abdichtungsmaßnahmen werden erforderlich.

Bauwerksabdichtungen sind demnach notwendig, wenn:

- nur durch die Abdichtung die beabsichtigte Nutzung der Räume im Gebäudeinneren ermöglicht wird oder
- die Bauteile selbst durch Abdichtung vor Schäden geschützt werden müssen.

Im Folgenden wird die Abdichtung von erdberührten Bauteilen und Nassräumen im KS-Mauerwerksbau abgehandelt.

Regelwerke

Diese Abdichtungsaufgaben sind im Wesentlichen in DIN 18195 – Bauwerksab-

dichtungen – genormt. In den Teilen 1 bis 3 dieses Regelwerks werden die für alle Abdichtungsaufgaben gemeinsam geltenden Festlegungen getroffen: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten in Teil 1 [1]; Stoffe in Teil 2 [2] sowie Anforderungen an den Untergrund und Verarbeitung der Stoffe in Teil 3 [3]. Die Stoffnorm muss dabei gemeinsam mit DIN V 20000-202 [4] gelesen werden, da dort zusätzliche Anforderungen an die europäisch geregelten Abdichtungsprodukte zur nationalen Anwendung festgelegt werden. Dies gilt auch für die in eigenen europäischen Stoffnormen geregelten Mauersperrbahnen.

Teil 4 [5] beschreibt die Ausführungsregeln für Abdichtungen gegen Bodenfeuchtigkeit (Kapillarwasser, Haftwasser) und nicht stauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden, Teil 5 [6] die Ausführungsregeln für Abdichtungen gegen nicht drückendes Wasser in Nassräumen, Teil 6 [7] die Regeln für Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser. Für alle Abdichtungssituationen sind gemeinsam Detaillösungen für Bewegungsfugen im Teil 8 [9] und für Durchdringungen und Anschlüsse im Teil 9 [10] beschrieben und in einem Bleiblatz [11] skizzenhaft dargestellt. Schutzmaßnahmen sind schließlich in Teil 10 [12] genauer angesprochen.

DIN 18195 enthält aber nicht alle gebräuchlichen Abdichtungsverfahren. So

erstreckt sich der Geltungsbereich dieser Norm z.B. nicht auf wasserundurchlässige Bauteile aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand, die im Mauerwerksbau z.B. meist für die erdberührten Bodenplatten verwendet werden.

Für die Betonbauteile ist die WU-Richtlinie [13, 14] als maßgebliches Regelwerk zu verwenden.

In DIN 18195 sind die flüssigen Abdichtungssysteme nicht durchgängig geregelt. Teil 2, Stoffe, legt zwar Stoffanforderungen für mineralische Dichtungsschlämmen (MDS), Flüssigkunststoffe (FLK) und flüssig zu verarbeitende Abdichtungsstoffe im Verbund mit Fliesen und Platten (AIV) fest, die Verarbeitungs- und Konstruktionsregeln wurden aber nur für Becken und Behälter (Abdichtungen gegen von innen drückendes Wasser) in Teil 7 [8] beschrieben. Eine vollständige Normung der flüssigen Abdichtungssysteme wird erst in den kommenden Jahren – unter Aufgabe der alten Normenstruktur – für die erdberührten Bauteile in einer neuen DIN 18533 und für Nassräume in einer neuen DIN 18534 erfolgen. In der Übergangsphase, in der Flüssigsysteme zwar als bewährt gelten können, aber noch nicht abschließend genormt sind, empfiehlt sich zur Vermeidung von Mangelstreitigkeiten die Anwendung flüssiger Systeme nur nach ausdrücklicher Vereinbarung mit dem Bauherrn.



Bild 1: Kellerwände aus KS-Mauerwerk mit kunststoffmodifizierter Bitumendickbeschichtung (KMB)

Zur Planung und Ausführung von flexiblen Dichtungsschlämmen liegt eine Richtlinie [15] vor.

Für die mäßig beanspruchten Nassräume des Wohnungsbaus haben sich zur Abdichtung unmittelbar unter dem Fliesenbelag flüssig zu verarbeitende Abdichtungsstoffe (AIV) durchgesetzt, die nach den Leitlinien für Europäische Technische Zulassungen (ETAG 022) [16] geprüft sein müssen und deren Verarbeitung in einem Merkblatt [17] des Zentralverbands des Deutschen Baugewerbes festgelegt wird.

Bauwerksabdichtungen sind häufig nach ihrem Einbau für eine Wartung oder Erneuerung nur schwer zugänglich. Die gesamten Regeln der Abdichtungstechnik zielen daher insbesondere für den erdberührten Bereich auf eine hohe Zuverlässigkeit und die langfristige Gebrauchstauglichkeit ab. Dies erklärt die erhöhten Anforderungen z.B. an die Stoffe im Hinblick auf Rissüberbrückungseigenschaften, die erhöhten Anforderungen an Schichtdicken und Lagenzahl, die Sicherheitszuschläge an Randaufkantungen, den relativ hohen Aufwand im Bereich von Verwahrungen und weitere erhöhte Anforderungen an die Qualität des Untergrundes, die Kontrolle und den Schutz der Abdichtungen.

Planung der Abdichtung

Schadensuntersuchungen an Bauwerksabdichtungen zeigen, dass Mängel bei der Ausführung der Abdichtungen zwar eine häufige Schadensursache darstellen – fast ebenso bedeutsam sind aber Mängel bei der Planung des abzudichtenden Bauwerks. Stark verwinkelte Untergründe, häufige Materialwechsel, die ungünstige Lage von Dehnungsfugen und Durchdringungen sind wesentliche Ursachen für nicht dauerhaft funktionsfähige Abdichtungen. DIN 18195 stellt daher allen weiteren Regelungen folgenden Grundsatz voran:

„Wirkung und Bestand einer Bauwerksabdichtung hängen nicht nur von ihrer fachgerechten Planung und Ausführung ab, sondern auch von der abdichtungstechnisch zweckmäßigen Planung, Dimensionierung und Ausführung des Bauwerks und seiner Teile, auf die die Abdichtung aufgebracht wird. Die Normen der Reihe DIN 18195 wenden sich daher nicht nur an den Abdichtungsfachmann, sondern auch an all diejenigen, die für die Gesamtplanung und Ausführung des Bauwerks verantwortlich sind, denn Wirkung und Bestand der Bauwerksabdichtung hängen von der gemeinsamen Arbeit aller Beteiligten ab.“

1. ABDICHTUNG ERDBERÜHRTER BAUTEILE

Voruntersuchungen

Grundsätzlich kann auf eine Untersuchung der Wasserbeanspruchung der erdberührten Bauteile einer konkreten Bauaufgabe ganz verzichtet werden, wenn von vornherein gegen die höchste denkbare Wasserbeanspruchung – also Druckwasser – abgedichtet wird. Da Baugrundsituationen ohne Druckwasserbeanspruchung in Deutschland vorherrschen, würde dies meist zu unwirtschaftlichen Ergebnissen führen, da bei Eintauchtiefen über ca. 1 m und bei geringer Bauwerksauflast nicht nur der erhöhte Abdichtungsaufwand, sondern vor allem der aufzunehmende hydrostatische Druck des ungünstigstenfalls bis zur Geländeoberfläche anstehenden Wassers aufwändige Konstruktionen zur Folge hat. Zur Bestimmung der angemessenen Abdichtungsart und auch zur Klärung der Frage, ob die Boden- und Wandbauteile gegen Wasserdruck bemessen werden müssen, ist daher die Feststellung der Bodenart, der Geländeform und des Bemessungswasserstandes am geplanten Bauwerksstandort unerlässlich.

In der Regel sollte die Klärung dieser Frage einem Baugrundfachmann überlassen werden. Nur bei einfachen Bauaufgaben in gut bekannten Baugebieten kann darauf verzichtet werden. DIN 4020 [18] spricht in solchen Fällen von der „geotechnischen Kategorie 1“ und gibt genauere Hinweise. Architekten und Ingenieure sollten sich klar machen, dass Schäden in Folge von unterlassenen Baugrunderkundungen haftungsrechtlich meist als Planungsmangel gewertet werden.

1.1 Beanspruchungsarten

Zur Auslegung des Bauwerks und der Bauwerksabdichtung ist als erstes zu klären, ob mit Druckwasser aus Grund- oder Hochwasser zu rechnen sein wird, ob die erdberührten Bauteile also unter oder über dem Bemessungswasserstand liegen. Einmalige kurzzeitige Beobachtungen aus Baugrunderkundungen geben nur bei sehr eindeutigen Situationen eine verlässliche Beurteilungsgrundlage, z.B. bei einem sehr weit unter der Gebäudesohle liegenden Grundwasserspiegel. Je nach geologischer Situation und Dichte der Pegelmessstellen und ihrer Lage zum Bauplatz können die häufig langfristigen Messungen der Wasser- und Abfallwirtschaftsämter brauchbare Informationen liefern. In Gebieten mit langjährigem Baubestand können die Erfahrungen an der Nachbarbebauung sehr hilfreich sein.

1.1.1 Bodenfeuchtigkeit und nicht stauendes Sickerwasser

Die geringste Wassereinwirkung auf erdberührte Bauteile aus Bodenfeuchtigkeit und nicht stauendem Sickerwasser liegt nur vor, wenn das Gelände über dem Bemessungswasserstand liegt und der Baugrund – und auch das Verfüllmaterial des Arbeitsraumes – aus stark durchlässigem Boden (DIN 18195 gibt einen Durchlässigkeitsbeiwert $> 10^{-4} \text{m/s an}$) besteht. Davon kann bei Sand und Kies ausgegangen werden. Weiterhin ist von dieser geringen Wasserbeanspruchung der erdberührten Bauteile auszugehen, wenn bei wenig durchlässigen Böden (z.B. Lehm, Schluff, Ton) durch eine funktionsfähige Dränung für die Ableitung des sonst möglichen Stauwassers gesorgt wird.

Auf eine genauere Untersuchung der Wasserdurchlässigkeit des anstehenden Bodens kann verzichtet werden, wenn grundsätzlich eine Dränung vorgesehen wird. Wirtschaftlicher ist meist jedoch auch hier, zunächst die Bodenart genauer zu bestimmen, um dann über die Notwendigkeit von Dränmaßnahmen zu entscheiden. Dauerhaft funktionsfähige Dränanlagen sind nämlich mit relativ großem Aufwand verbunden.

1.1.2 Druckwasser aus Stauwasser

Ermittelt bei einem über dem Bemessungswasserstand zu errichtenden Gebäude die Baugrunderkundung einen gering durchlässigen Boden (Wasserdurchlässigkeitsbeiwert $< 10^{-4} \text{m/s}$) und soll trotzdem auf eine Dränung verzichtet werden, da z.B. eine behördlich zugelassene Vorflut nicht verfügbar ist, so ist vor den erdberührten Bauteilen mit Stauwasser zu rechnen. Es ist nämlich nicht sicher möglich, die Baugrubenverfüllung so verdichtet einzubringen, dass sie die Lagerungsdichte des ungestört anstehenden Bodens erreicht. Es muss mit Hohlräumen gerechnet werden, in denen sich z.B. nach intensiven Regenfällen Stauwasser im ehemaligen Arbeitsraum bildet, das die erdberührten Bauteile als Druckwasser beansprucht. Die Abdichtungsmaßnahmen gegen diese Beanspruchungsform sind daher – ebenso wie die Druckwasserbelastung aus Grundwasser – in DIN 18195-6 geregelt.

Bei Gebäuden, deren Sohle mindestens 30 cm über dem höchsten Bemessungswasserstand liegt, und bei Gründungstiefen bis 3 m unter Geländeroberkante können nach DIN 18195, Teil 1 und 6, aber einfachere Druckwasser haltende Abdichtungen verwendet werden, als bei

Beanspruchungen aus Grundwasser. Dieser Regelung liegt die Erfahrung zugrunde, dass Stauwasserbeanspruchungen meist nur kurzfristig auftreten und daher hier eher mit einem geringeren Zuverlässigkeitsgrad konstruiert werden kann.

DIN 18195 ordnet im Teil 6 auch Baugrundsituationen mit „Schichtenwasser“ der höheren Druckwasserbeanspruchungsklasse zu. Eine solche Differenzierung der Wasserbeanspruchung nach der Entstehungsart von Druckwasser ist grundsätzlich nicht sinnvoll, da die physikalischen Eigenschaften der Abdichtung nicht von der Entstehungsart der Wasserbeanspruchung abhängen. Im Einzelfall mag gerechtfertigt sein, bei Schichten mit hoher ständiger Wasserzuführung von der höheren Beanspruchung auszugehen, bei geschichtetem Baugrund ist aber auch in Standardfällen mit der Zuleitung des Sickerwassers auf wasserundurchlässigeren Schichten zu rechnen, ohne dass von einer dauernden Extrembeanspruchung auszugehen ist.

1.1.3 Druckwasser aus Grund- oder Hochwasser

Wegen der meist nur ungenauen Abschätzungsmöglichkeiten des höchsten Bemessungswasserstandes sieht DIN 18195 grundsätzlich einen Sicherheitszuschlag von 30 cm zum ermittelten Bemessungswasserstand vor, bis zu dem mindestens druckwasserhaltend abgedichtet werden muss.

Auf hoch beanspruchte, wasserdruckhaltende, mit Bahnen abgedichtete Wannenkonstruktionen, wie sie in Teil 6 von DIN 18195 genauer beschrieben werden, soll im Weiteren nur kurz eingegangen werden. In solchen Situationen werden zur Aufnahme des Wasserdrucks in der Regel wasserundurchlässige Wannen aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand realisiert (Tafel 1).

1.2 Dränmaßnahmen

1.2.1 Wasserbeanspruchung bei Dränmaßnahmen

Im Gegensatz zu früheren Fassungen der Teile 4 und 5 von DIN 18195 sieht die Norm seit 2000 bei der Ausführung von Dränmaßnahmen im wenig durchlässigen Baugrund den gleichen Abdichtungsaufwand wie bei stark wasserundurchlässigem Baugrund vor – die Beanspruchung ist nämlich in beiden Fällen gleich (Bild 2).

Dies setzt allerdings voraus, dass die Dränmaßnahmen mit hoher Zuverlässig-

keit arbeiten und in allen Teilen den Anforderungen von DIN 4095 [19] entsprechen (Bild 3).

Dränmaßnahmen bestehen grundsätzlich aus Flächendränmaßnahmen vor den zu schützenden Wand- und ggf. Bodenplatt-

Tafel 1: Zuordnung von Beanspruchungsarten und Abdichtungssystemen

1	Bauteilart, Wasserart, Einbausituation		Art der Wassereinwirkung	Abdichtungssystem
2	Erdberührte Wände und Bodenplatten oberhalb des Bemessungswasserstandes, Kapillarwasser, Haftwasser, Sickerwasser	Stark durchlässiger Boden ($k > 10^{-4}$ m/s)	Bodenfeuchtigkeit und nichtstauendes Sickerwasser	KMB; einlagige Dichtungsbahnen nach DIN 18195-4; flexible Dichtungsschlämmen ²⁾
3		Wenig durchlässiger Boden ($k \leq 10^{-4}$ m/s)		
4		Mit Dränung ¹⁾	Aufstauendes Sickerwasser	KMB, ein-/zweilagige Dichtungsbahnen nach DIN 18195-6, Abschnitt 9 ³⁾
		Ohne Dränung		
5	Erdberührte Wände und Bodenplatten unterhalb des Bemessungswasserstandes		Drückendes Wasser	Ein-/mehrlagige Dichtungsbahnen nach DIN 18195-6, Abschnitt 8

¹⁾ Dränung nach DIN 4095
²⁾ Ausführung gemäß Richtlinie, mit Besteller vereinbaren!
³⁾ Bis zu Tiefen von 3 m unter Geländeoberkante, sonst Zeile 5

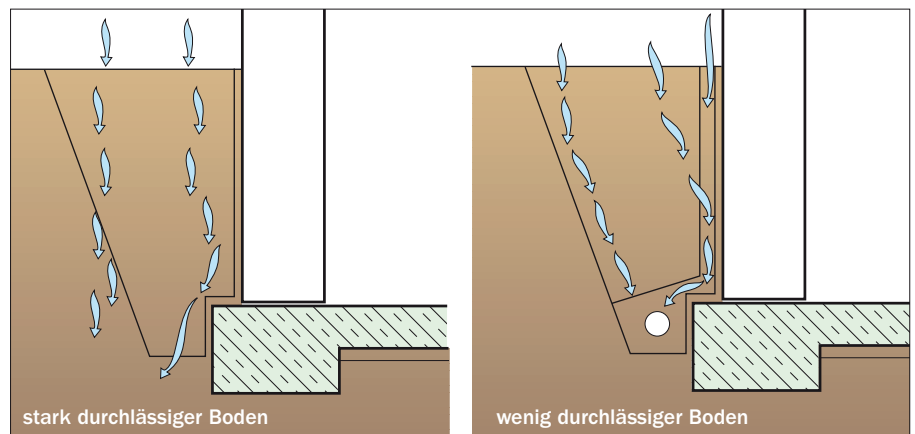


Bild 2: Die Wasserbeanspruchung durch Sickerwasser ist bei stark durchlässigen Böden (links) und bei wenig durchlässigen Böden mit Drainage (rechts) gleich

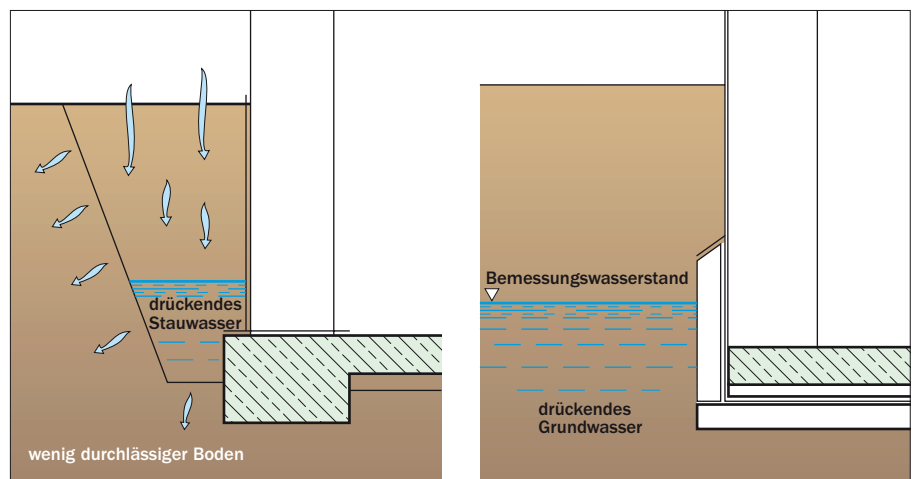


Bild 3: Situationen mit Druckwasserbeanspruchung der erdberührten Bauteile: Baugrund gering wasserundurchlässig (links); Gebäudesohle liegt unterhalb des Bemessungswasserstandes (rechts).

tenbauteilen, aus Dränleitungen, die das in die Flächendrainschichten sickernde Wasser sammeln, aus Kontrollvorrichtungen und einer Vorflut, die das anfallende Wasser ableitet.

Bevor eine Dränung im Detail geplant wird, sollte zunächst geklärt werden, ob überhaupt eine Vorflut zur Verfügung steht. In den meisten Gemeinden ist es unzulässig, Dränwasser in das öffentliche Abwassersystem einzuleiten. Daher sind Dränungen in vielen Bausituationen nicht realisierbar.

1.2.2 Flächendränmaßnahmen

Eine Flächendränung unter der Bodenplatte kann in der Praxis sehr häufig entfallen, wenn die Streifenfundamente der Außenwände unmittelbar im gewachsenen bindigen Bodenmaterial gegründet werden und wenn nicht mit von unten zudringendem Schichtenwasser gerechnet werden muss.

Dränmaßnahmen vor Kelleraußenwänden müssen daher nicht zwingend mit Dränmaßnahmen unter der Bodenplatte kombiniert werden.

Die Dränschicht vor den erdberührten Kelleraußenwänden muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Sie muss in der Lage sein, das anfallende Wasser aufzunehmen.
- Sie darf sich durch Bodenfeinteile nicht zusetzen.
- Sie darf unter der Last des seitlichen Erddrucks und auch üblicher Verkehrslasten auf der Geländeoberfläche nicht soweit deformiert werden, dass ihre Funktionsfähigkeit nicht mehr gegeben ist.

Grundsätzlich können als Dränschichten Schüttungen verwendet werden (üblich sind Mischfilterschüttungen, z.B. aus Kiessand (Körnung 0-32, Sieblinie B32) nach DIN 1045). DIN 18195 fordert allerdings kategorisch Schutzschichten vor der Abdichtung. Bei der Verwendung von Schüttungen als Dränschicht sind daher unmittelbar vor der Abdichtung zunächst Schutzschichten aufzustellen. Baupraktisch werden diese dann meist aus Perimeterdämmplatten bestehen.

Da Dränschichten in der Regel zugleich die Funktion einer Schutzschicht für die

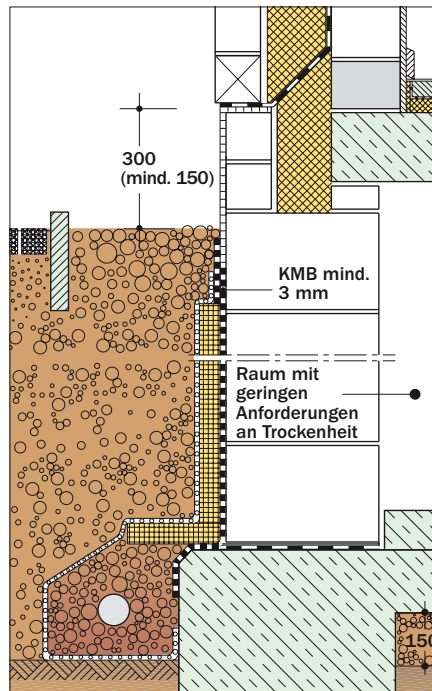


Bild 4: Schnitt durch die Kelleraußenwand eines gedrännten Gebäudes; Abdichtung mit KMB

Abdichtung der Kelleraußenwand übernehmen sollen und daher unmittelbar vor der Abdichtung angeordnet werden, müssen sie weiterhin so beschaffen sein, dass sie die Abdichtung nicht beschädigen. Die Flächendrainschichten bestehen in der Regel aus matten- oder plattenförmigen Bauteilen (Bild 4), ggf. aber auch aus Dränsteinen. Bei letzteren ist das Beschädigungsrisiko für die Abdichtung zu beachten und ggf. eine Schutzlage, z.B. ein Vlies, zwischenschalten. Häufig sind die Dränschichten selbst nicht filterfest – sie sind dann mit Geotextilbahnen abzudecken.

Bei Kalksandstein-Kelleraußenwänden mit Wärmeschutzanforderungen werden in der Regel Perimeterdämmschichten eingebaut, die die Funktion der Dämmschicht, der Schutzschicht und – bei besonderer Profilierung und Abdeckung – der Dränschicht und Filterschicht übernehmen können.

1.2.3 Dränleitungen

Als Ringdränleitung werden im Regelfall rundum gelochte Rohre (\varnothing 100 mm) verwendet. Es sollten nicht die für die landwirtschaftliche Dränung vorgesehenen Endlosdränschläuche eingebaut werden, da diese nicht mit einem kontinuierlichen Gefälle verlegt werden können, sondern in der Regel in Teilabschnitten ein deutliches Gegengefälle aufweisen. DIN 4095 sieht ein Mindestgefälle von nur 0,5 % vor [19].

Das Dränrohr kann seine Schutzfunktion nur erfüllen, wenn es tiefer als die zu schützenden Kellerbauteile liegt. Die Rohrsohle sollte am Hochpunkt mindestens 0,2 m unter der Oberfläche der Rohbodenplatte liegen. Um Setzungsschäden zu vermeiden, darf der Rohrgraben andererseits nicht tiefer als die Fundamentsohle liegen, es sei denn, der Rohrgraben liegt außerhalb des Druckausbreitungsbereichs der Fundamente.

Das Ringdränrohr wird meist in Grobkies (z.B. 8/16) verlegt. Auch diese Kiespackung ist gegen den anstehenden Boden filterfest auszubilden. Dazu wird ein Filtervlies verwendet, das an die Filtervlies-schichten der Flächendränung anschließt. Es ist falsch, das Dränrohr unmittelbar in Vliese einzuwickeln, da diese sich mit der Zeit zusetzen können. Dann kann das Dränwasser nicht mehr aus der Dränschicht in das Dränrohr gelangen.

1.2.4 Kontrollschächte und Vorflut

Bei Richtungswechseln – also in der Regel an den Gebäudeecken – und bei Dränlängen über 50 m, sind Kontroll- und Spülmöglichkeiten vorzusehen, die in der Regel aus PVC-Standrohren bestehen (der geringe Platzbedarf moderner Kontroll- und Spülgeräte macht es nicht mehr erforderlich, Standrohre von 30 cm \varnothing einzubauen – es reichen auch 10 cm \varnothing).

Die Übergabestelle zur Vorflut ist in der Regel als Schacht (\varnothing 100 cm) auszubilden, der zugleich als Zugangsstelle zur Wartung des Dränsystems dient. In Bezug auf den Feuchtigkeitsschutz ist es am günstigsten, wenn dieser Schacht außerhalb des Gebäudes liegt, da dann Funktionsstörungen nicht sofort zu Kellerüberflutungen führen. Baupraktisch wird der Schacht aber häufig als Revisionsschacht innerhalb des Gebäudes angeordnet. Grundsätzlich ist auf die Rückstausicherheit des Dränsystems zu achten. Dies gilt erst recht bei innenliegenden Revisionsschächten. Dazu sind Rückstauklappen und ggf. Pumpensümpfe mit Hebeanlagen vorzusehen.

1.3 Abdichtungen gegen Bodenfeuchtigkeit und nicht stauendes Sickerwasser

1.3.1 Abdichtung der Bodenplatten

Mauerwerkswandkonstruktionen werden in der Regel entweder auf einer Fundamentplatte aus Stahlbeton oder Streifenfundamenten mit darüber durchlaufender „nicht statisch bewehrter“ Bodenplatte aufgemauert. Wird die Bodenplatte gemäß WU-Richtlinie als wasserundurchlässiges Bauteil konzipiert und ausgeführt, so sind

grundsätzlich keine weiteren Abdichtungsmaßnahmen auf der Bodenfläche erforderlich. Auch bei Bodenplatten, die nicht aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand bestehen und auch sonst nicht nach der WU-Richtlinie bemessen sind, reicht nach DIN 18195-4 bei derartigen Nutzungssituationen eine kapillar brechende Schüttung ($k > 10^{-4}$ m/s) mit einer Dicke von mindestens 150 mm aus.

In Aufenthaltsräumen und auch in Lageräumen für feuchtigkeitsempfindliche Güter sieht die Abdichtungsnorm auf Bodenplatten, die nicht die Eigenschaften eines wasserdurchlässigen Betonbauteils besitzen, grundsätzlich bahnenförmige Abdichtungen als einlagige Bitumenbahnen, Selbstklebebitumendichtungsbahnen, Kunststoff- und Elastomerdichtungsbahnen oder auch spachtelbare Stoffe wie kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen (KMB) oder Asphaltmastix vor. Auch Bitumenbahnen dürfen in dieser Situation lose oder nur punktweise verklebt eingebaut werden. Die Mindesttrockenschichtdicke von KMB muss 3 mm betragen, die Dicke von Asphaltmastix im Mittel 10 mm.

Nach dem in der WU-Richtlinie dargestellten und durch Untersuchung älterer Praxisbeispiele [20] belegten Kenntnisstand findet in WU-Betonbauteilen kein bis zur Innenseite reichender Kapillartransport statt.

Bei wasserundurchlässigen Bodenplatten nach WU-Richtlinie ist daher eine Querschnittsabdichtung der aufgehenden Innen- und Außenwände aus Kalksandstein-Mauerwerk nicht erforderlich.

Bei nicht oberseitig abgedichteten Betonbodenplatten mit oder ohne WU-Eigenschaften können besonders in den ersten Jahren der Standzeit Probleme aufgrund der Baufeuchte des Betons bei feuchteempfindlichen Oberbelägen – insbesondere Holzfußböden, z.B. Parkett – auftreten, wenn diese vom Nutzer oberseitig mit dampfdichten Schichten abgedeckt werden. Es kommt dann durch Wasserdampfdiffusion zu hohen Luftfeuchten unter dem dampfdichten Oberbelag, dies hat eine hohe Sorptionsfeuchte im Holz, Quellerscheinungen und sogar Zerstörungen des Fußbodens wie das Hochgehen des Parketts zur Folge.

Sollen auch derartige, selten vorkommende Nutzungssituationen mit Sicherheit schadensfrei möglich sein, so sind auf der

Bodenplatte wasserdampfdiffusionshemmende Schichten aufzubringen.

Da bei Immobilien die zukünftigen Bodenbeläge nicht sicher bekannt sind, sollte zum Schutz der Oberbeläge vor Baufeuchte und zur Reduzierung eines möglichen Schimmelrisikos im Bodenquerschnitt daher grundsätzlich eine ausreichend dampfsperrende Schicht oberhalb der Bodenplatte eingebaut werden. In der Regel reichen PE-Folien, lose mit überlappten Stößen verlegt, aus.

1.3.2 Querschnittsabdichtungen

Muss die Fläche einer Bodenplatte nach DIN 18195, Teil 4 abgedichtet werden, so sind zur Verbindung zwischen Bodenplatten- und Kelleraußenwandabdichtung und zum Schutz aufgehender Mauerwerkswände gegen aufsteigende Feuchtigkeit waagerechte Abdichtungen in oder unter den Wänden (Querschnittsabdichtungen) vorzusehen.

Im Gegensatz zu älteren Abdichtungsregeln ist seit 2000 in DIN 18195-4 in Mauerwerkswänden nur eine funktionstüchtige Querschnittsabdichtung vorzusehen, die in der Regel unmittelbar auf der bis zur Fundamentaußenkante durchlaufenden Bodenplatte verlegt wird.

Grundsätzlich ist die Höhenlage der Querschnittsabdichtung aber nicht mehr genormt, wichtig ist nur, dass aufsteigende Feuchtigkeit nicht auftreten kann und die äußere Wandabdichtung sowie – falls vorhanden – die Fußbodenabdichtung an die Querschnittsabdichtung herangeführt bzw. mit ihr verklebt werden kann.

Bahnenförmige Querschnittsabdichtungen

Außenwände, insbesondere Erddruck belastete Kellerwände, müssen senkrechte, zur Wandfläche einwirkende Kräfte aufnehmen können. Daher dürfen Querschnittsabdichtungen keine Gleitschichten darstellen. Insofern sind vollflächig aufgeklebte Bahnen und solche mit werkseitig aufgetragenen Klebeschichten (Schweißbahnen und Selbstklebebahnen) ungeeignet. Bewährt haben sich Bitumendachbahnen mit Rohfilzeinlage (R 500) [2]. Die alleinige Nennung der G 200 DD für diesen Anwendungszweck in DIN 18336 [2.1] hat nur ausschreibungstechnische Gründe.

Es sind auch die anderen, in Teil 4 von DIN 181954 unter Verweis auf Teil 2 für

diesen Zweck aufgeführten Bahnen uneingeschränkt geeignet, soweit sie die Anforderungen an die Haftscherfestigkeit erfüllen.

Seit Jahren werden Mauersperrbahnen als Querschnittsabdichtung verwendet, die hinsichtlich des Werkstoffs und der Bahndicke erheblich von den in DIN 18195 genormten Bahnen abweichen. Die Prüfkriterien sind in den europäischen Stoffnormen DIN EN 14909 [22] und 14967 [23] festgelegt. Die Anwendungsnorm DIN V 20000-202 stellt schärfere Anforderungen und behält z.B. hinsichtlich der Mindestdicke die bisherigen Anforderungen aus DIN 18195 bei. Querschnittsabdichtungen müssen ihre Dichtigkeit und ihr Perforationsverhalten über die gesamte Standzeit des Gebäudes gewährleisten. Außerdem ist vor allem die Machbarkeit eines dichten Anschlusses an die Flächenabdichtung von Boden und Wand ein entscheidendes Auswahlkriterium. Zurzeit sollten von DIN 18195 und DIN V 20000-202 abweichende Mauersperrbahnen daher nur mit abP und nach sorgfältiger Prüfung der deklarierten Eigenschaften und mit ausdrücklicher Zustimmung des Auftraggebers eingebaut werden.

Die Auflagerfläche der Bahnen ist so abzugleichen, dass eine waagerechte Fläche ohne für die Bahnen schädliche Unebenheiten entsteht. Die Bahnen dürfen nicht flächig auf Stoß aufgeklebt werden. Die Lagen müssen sich mindestens 20 cm überdecken und können an den Überdeckungen verklebt werden. Bei zweischaligem Mauerwerk und Entwässerung unterhalb der Geländeoberfläche müssen die Stöße der Bahnen verklebt werden, weil hier mit einer Sickerwasserbeanspruchung gerechnet werden muss.

Schlämmen als Querschnittsabdichtung

Ebenfalls seit Jahrzehnten verwendete, ab 2009 für die Behälterabdichtung in Teil 2 und 7 von DIN 18195 genormte flüssige Abdichtungsstoffe stellen mineralische Dichtungsschlämmen (MDS) dar. Durch die Entwicklung der so genannten „rissüberbrückenden Dichtungsschlämmen“ hat ein Hauptproblem dieser Stoffe – die Rissanfälligkeit – an Bedeutung verloren. Allerdings ist die Rissüberbrückung nur bis zu Rissweitenänderungen von 0,2 bis 0,4 mm gegeben. Der Untergrund ist also so zu bemessen, dass nach dem Auftrag keine Riss- oder Fugenaufklaffung über 0,2 mm mehr erfolgt.

Querschnittsabdichtungen aus Schlämmen sichern die volle Haftscherfestigkeit der Lagerfugen von Mauerwerkskonstruktionen. Wie bei allen anderen flüssigen Dichtungsmaterialien ist ihre Wirksamkeit jedoch in höherem Maß von der handwerklichen Ausführungsorgfalt abhängig als bei Dichtungsbahnen. Auch eine Kontrolle der Vollständigkeit ist schwieriger als bei Bahnen. Die Verwendung von Querschnittsabdichtungen aus rissüberbrückenden MDS ist zusammenfassend in zwei Fällen sinnvoll:

- wenn der Haftscherfestigkeit der Lagerfugen eine große Bedeutung zukommt – also bei Kellerwänden mit geringer vertikaler Auflast,
- wenn die senkrechte Wandabdichtung zumindest als Untergrundvorbehandlung auch mit mineralischen Dichtungsschlämmen hergestellt wurde und so eine homogenere Verbindung zwischen Querschnitts- und Wandabdichtung möglich ist.

Zur Reduzierung der Fehlstellengefahr sind ein mindestens zweilagiger Auftrag und eine Mindestdicke von 2 mm erforderlich. Die Verwendung zweifarbiger Gebinde erleichtert dabei die Kontrolle.

MDS sollten nur unmittelbar auf der Bodenplatte aufgebracht werden, also *unter* dem Mauerwerk liegen. In einer Lagerfuge kann nämlich eine ausreichend gleichmäßige Schichtdicke nicht sicher erreicht werden. Weitere Einzelheiten zur Verarbeitung können der Richtlinie [15] entnommen werden.

Detailausbildung

Soll die Querschnittsabdichtung an bahnenförmige Boden- bzw. Wandabdichtungen anschließen, so ist es sinnvoll, die Abdichtung jeweils ca. 10 cm über die Wandoberfläche hinausragen zu lassen und den Abdichtungsrand überlappend mit den flächigen Bahnenabdichtungen zu verkleben. Eine solche überlappende Verklebung ist aber nicht zwingend erforderlich, wenn arbeitstechnische Gründe diese erschweren.

Liegt die Querschnittsabdichtung nicht in der Ebene des Fundamentabsatzes, sondern in einer Lagerfuge der Wandfläche, so ist es bei der in diesem Abschnitt behandelten geringen Wasserbeanspruchung ausreichend, wenn die Querschnittsabdichtung so wandoberflächenbündig verlegt bzw. besser abgeschnitten wird, dass die

Wandabdichtung an den Rand der Querschnittsabdichtung „herangeführt“ werden kann. Bei Putzoberflächen ist darauf zu achten, dass die Querschnittsabdichtung bis zur Außenoberfläche des Putzes reicht, da es sonst zu Feuchtebrücken im Bereich des Putzes kommen kann.

Querschnittsabdichtung bei Innenwänden

Innenwände stehen meist auf durchbetonierten Bodenplatten. Der Abdichtungsaufwand an der Aufstandsfläche ist wesentlich von den Eigenschaften der Bodenplatte und der Feuchtigkeitsempfindlichkeit der aufstehenden und aufliegenden Bauteile abhängig. Bei Bodenplatten ohne WU-Eigenschaften sowie bei feuchteempfindlichen aufgehenden Bauteilen ist eine einlagige Bahnenabdichtung erforderlich, die auch unter den Innenwänden durchläuft.

Bei WU-Bodenplatten sind nach neueren Erkenntnissen und der WU-Richtlinie nur die aufgehenden Bauteile gegen Baufeuchte aus der Bodenplatte zu schützen. Bei nicht feuchteempfindlichen Wandbaustoffen wie Kalksandstein kann dann eine Querschnittsabdichtung entfallen.

1.3.3 Abdichtung von Außenwandflächen mit Bitumenheißaufstrichen

Für den Grundmauerschutz nicht unterkellert Gebäude können Heißbitumenaufstriche verwendet werden, die aus einem kaltflüssigen Voranstrich und mindestens zwei heißflüssigen Deckaufstrichen herzu-

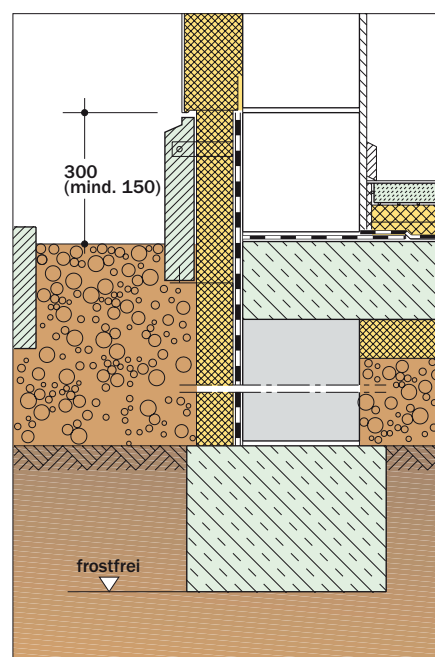


Bild 5: Sockel eines nicht unterkellerten Gebäudes; Abdichtung mit Heißaufstrich oder KMB

stellen sind. Die Endschichtdicke muss im Mittel 2,5 mm betragen, an der ungünstigsten Stelle darf sie nicht geringer als 1,5 mm sein (Bild 5).

1.3.4 Abdichtung von Außenwandflächen mit kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (KMB)

Stoffe

Bei kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (Kurzbezeichnung: KMB) handelt es sich um kunststoffmodifizierte, ein- oder zweikomponentige Massen auf der Basis von Bitumenemulsionen, die einen Bindemittelgehalt von mindestens 35 M.-% aufweisen müssen. Die Materialeigenschaften müssen den Anforderungsprofilen von DIN 18195-2 entsprechen.

Aus der Bitumenemulsion (einem System aus den beiden nicht mischbaren Flüssigkeiten Wasser und Bitumen, bei dem das Bitumen mit Hilfe von Emulgatoren in Form kleiner Tröpfchen im Wasser verteilt schwimmt) entsteht ein wasserundurchlässiger Bitumenfilm auf der Bauteiloberfläche, nachdem u.a. das Wasser der Emulsion an den Untergrund abgegeben wird bzw. verdunstet. Wichtig für den Anwender ist die Erkenntnis, dass das Abbinden (Brechen) der Emulsion deutlich vom Feuchtegehalt des Untergrundes und den Austrocknungsbedingungen abhängig ist, die Durchrocknungsdauer je nach Art des Untergrundes und den Klimabedingungen also deutlich variieren kann.

Untergrund

Kalksandstein-Mauerwerk ist als Untergrund für KMB sehr gut geeignet. Unterputze und egalisierende Kratzspachtelungen sind in der Regel nicht erforderlich.

Die allgemeinen Anforderungen an die Untergründe von Abdichtungen wie Frostfreiheit und Oberflächentrockenheit müssen erfüllt werden.

Selbstverständlich ist es, dass nicht verschlossene Vertiefungen über 5 mm Tiefe (z.B. Mörteltaschen) sowie über 5 mm breit aufklaffende Stoß- und Lagerfugen sowie Ausbrüche mit Mörtel zu schließen sind.

Kanten müssen vor dem Auftrag gefast werden, Kehlen sollten gerundet sein. Dies kann jedoch auch – insbesondere bei zweikomponentigen Bitumendickbeschichtungen – durch die Dickbeschichtung selbst erfolgen. In der Regel sind KMB

auf einem durch Voranstrich vorbereiteten Untergrund aufzubringen.

Die lückenlos das zu schützende Bauwerk umschließende Abdichtungswanne wird am unteren Wandanschluss durch die Querschnittsabdichtung und die anschließende, senkrechte Wandabdichtung gebildet. Der horizontal über den Bodenplattenabsatz bis auf die Stirnseite weitergeführten Abdichtungszone kommt daher nur noch eine untergeordnete Abdichtungsfunktion zu. Angesichts des damit verbundenen, relativ großen Aufwands ist es daher nicht unbedingt erforderlich, die Bodenplattenaußenkante zu brechen, wenn die KMB auf der Absatzoberfläche vollflächig haftend ausgeführt wurde. Bei Bahnenabdichtungen und selbstverständlich bei Beanspruchungen aus stauendem Sickerwasser sollte allerdings auf die gebrochenen Kante auch an dieser Stelle nicht verzichtet werden.

Verarbeitung

Die KMB ist in mindestens zwei Arbeitsgängen aufzubringen. Der Auftrag kann beim Lastfall Bodenfeuchtigkeit frisch auf frisch erfolgen, die Trockenschichtdicke muss mindestens 3 mm betragen. Die dazu erforderliche Nass-Schichtdicke muss vom Hersteller angegeben werden. Diese sollte an keiner Stelle um mehr als 100 % überschritten werden, da sonst Durchtrochnungsprobleme entstehen.

Die Schichtdickenkontrolle hat im frischen Zustand durch Messung der Nass-Schichtdicke (mindestens 20 Messungen je Ausführungsobjekt bzw. mindestens 20 Messungen je 100 m²) zu erfolgen. Die Hersteller bieten dazu einfache Messlehren an. Einzelheiten und Protokoll-Muster enthält die KMB-Richtlinie [24].

Bis zum Erreichen der Regenfestigkeit muss die Fläche vor Regeneinwirkung geschützt werden. Wasserbelastung und Frosteinwirkung sind bis zur Durchtrochnung der Beschichtung möglichst anzuschließen.

Da Schutzschichten erst aufgestellt werden dürfen, wenn die KMB ausreichend durchgetrocknet ist, muss die Durchtrochnung überprüft werden. Aus den o.a. Gründen kann dazu kein fester Zeitraum vorgegeben werden, deshalb geschieht dies am besten an einer Referenzprobe mit Hilfe des Keilschnittverfahrens. Als Referenzprobe am Objekt sollte ein unverbaute Mauerstein verwendet werden, der möglichst unter gleichen Klimabedingungen, z.B. in der Baugrube, gelagert wurde.

Die durchgetrocknete Schicht ist grundsätzlich durch eine Schutzschicht gegen mechanische Beschädigung zu schützen. Diese kann z.B. aus den Dämmplatten einer Perimeterdämmung bestehen (Bild 6).

1.3.5 Bahnenförmige Wandabdichtungen

Insbesondere wenn die Wartezeiten bis zur Durchtrochnung von KMB oder die Frost- und Niederschlagsempfindlichkeit des frisch verarbeiteten Materials im Bauablauf Schwierigkeiten erzeugen könnten, sind bahnenförmige Abdichtungen auch bei der geringen Belastungsklasse aus Bodenfeuchtigkeit sinnvoll. DIN 18195 führt dazu auch Kaltselbstklebebahnen auf.

1.3.6 Details

Anschluss Kellerwand – Kellerboden

Wird die Querschnittsabdichtung unmittelbar auf der Bodenplatte angeordnet und weist diese einen außenseitigen Absatz auf, so sollte bei bahnenförmigen Wandabdichtungen die Querschnittsabdichtung ca. 10 cm weit auf den Absatz reichen und mit der Wandabdichtung überlappend ver-

klebt werden. Wegen des Beschädigungsrisikos hohl liegender Bahnenkehlen ist die Bahn in der Kehle z.B. über einen Dreieckskeil (Dämmstoff) zu führen [25].

Wandabdichtungen sollen grundsätzlich bis ca. 10 cm auf die Stirnfläche der Bodenplatte heruntergeführt werden, um einer Unterläufigkeit der Querschnittsabdichtung entgegenzuwirken.

Bei zweikomponentigen kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen ist es sinnvoll, die Querschnittsabdichtung etwa an der außenseitigen Wandoberfläche abzuschneiden und die Dickbeschichtung mit einer aus dem Dickbeschichtungsmaterial bestehenden Hohlkehle bis auf die Bodenplattenvorderkante zu führen (Bild 7).

Hersteller von einkomponentigen KMB empfehlen folgende Lösung: Nach einer Grundierung (Verkieselung) der Bodenplatte werden als Querschnittsabdichtung bis zur Fundamentvorderkante ausgeführt (Bild 8). Ebenso wird der Wanduntergrund im Kehlbereich nach einer Grundierung mit

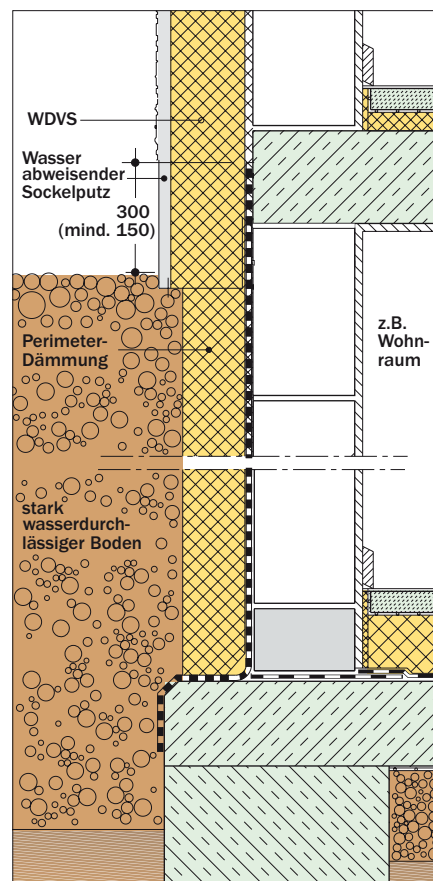


Bild 6: Unterkellertes Gebäude mit Wohnraum im Untergeschoss; Wärmeschutz mit Perimeterdämmung; Abdichtung durch KMB

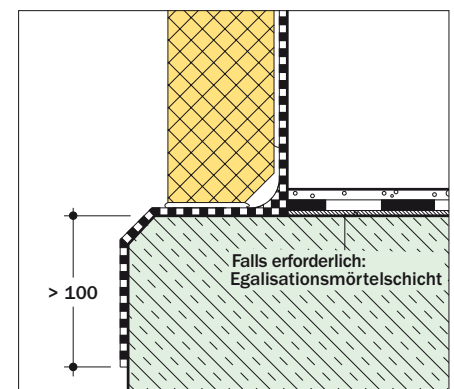


Bild 7: Anschluss einer zweikomponentigen KMB-Abdichtung am Bodenplattenabsatz; bahnenförmige Querschnittsabdichtung

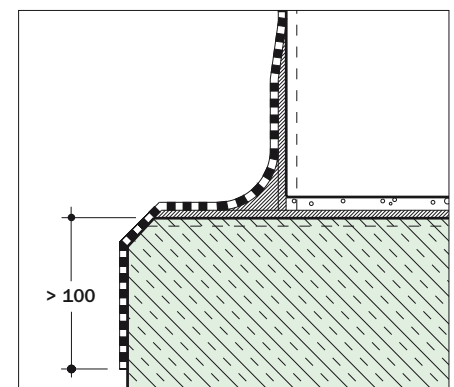


Bild 8: Anschluss einer einkomponentigen KMB-Abdichtung am Bodenplattenabsatz, Querschnittsabdichtung und Untergrundvorbehandlung mit rissüberbrückender MDS

einer Schlämme vorbehandelt. Anschließend kann dann eine Hohlkehle, z.B. aus Sperrmörtel, aufgetragen werden. Darüber wird die Wandabdichtung aus KMB in gleichbleibender Schichtdicke und damit ohne Durchrocknungsprobleme bis auf die Bodenplattenstirnseite geführt. Positiv sind an dieser Variante folgende Aspekte: Man erreicht durch die verschiedenen Arbeitsgänge vor dem Aufbringen der KMB einen gesäuberten, verfestigten, geebneten und tragfähigen Untergrund. Viele Fehlerquellen bei der sonst häufig vernachlässigten Untergrundvorbehandlung werden dadurch klein gehalten. Die dichtenden mineralischen Untergründe im Kehlenbereich machen im Übrigen diese Ausführungsform besonders unempfindlich gegen Hinterfeuchten durch Tagwasser, das während der Bauzeit vom Kellerinnenraum her eindringen kann.

Innenseitig sollte die auf der Bodenplatte angeordnete Querschnittsabdichtung grundsätzlich bei hochwertiger Innenraumnutzung über die Wandoberfläche, ca. 10 cm vorstehen (ggf. während der Bauzeit durch Bohlen gegen Beschädigung schützen), um eine verklebbare Überlappung zur Abdichtung der Bodenplatte zu erreichen. Die gleiche Anschlussausbildung ist auch bei aufstehenden Innenwänden zu empfehlen. Solange sichergestellt ist, dass lediglich eine Bemessung aus Bodenfeuchte und nicht stauendem Sickerwasser zu erwarten ist, kommt diesem Überlappungsanschluss allerdings keine wesentliche Schutzfunktion zu.

Sockel

Zur leichteren Anpassung an die Geländeungenauigkeiten im Sockelbereich sollte die Wandabdichtung so geplant werden,

dass der obere Rand ca. 30 cm über Gelände liegt (Nennmaß), im ausgeführten Zustand können aber auch noch 15 cm als mangelfrei gelten. Hinter Verblendschalen, Fassadenbekleidungen oder Wärmedämmverbundsystem-Fassaden ist eine solche Aufkantungshöhe in der Regel auch unproblematisch ausführbar.

An Hauseingängen und an Gartenterrassentüren und -fenstern sind in der Regel besondere Maßnahmen erforderlich, da hier häufig eine 15 cm hohe Sockelabdichtung (z.B. bei behindertengerechten Türen) nicht realisierbar oder nicht erwünscht ist. Die ganz allgemeine Forderung, dass das anschließende Gelände kein unmittelbar bis zum Sockel reichendes Gefälle zum Haus hin aufweisen sollte, gilt natürlich bei niedrigen Sockelhöhen an den Bauwerksöffnungen in verstärktem Maße.

DIN 18195 führt in Teil 9 als „besondere Maßnahme“ den Schutz der Schwelle vor Spritz- und Oberflächenwasser durch Gitteroste und den Schutz vor unmittelbarer, starker Schlagregenbeanspruchung z.B. durch Vordächer auf und empfiehlt die Ausführung dichter Anflanschkonstruktionen für den Abdichtungsrand oder die Führung der Kellerwandabdichtung bis hinter die Schwellenkonstruktion.

Bei der Ausführung von verputzten Sockeln sind im sichtbaren Bereich über der Geländeoberfläche die für die erdberührte Kellerwand üblichen Abdichtungsstoffe weder technisch praktikabel noch optisch erwünscht. Nach DIN 18195-4 darf die Abdichtung bei Sockelputz daher etwa in Höhe Oberkante Gelände enden, wenn im weiter aufgehenden Bereich „ausreichend wasserabweisende“ Bauteile verwendet

werden. Damit sind wasserabweisende, spezielle Sockelputze, MDS oder Beschichtungen gemeint. Dabei sind zwei Problemstellen zu beachten:

- Zwischen dem verputzten Sockel und dem oberen Rand der erdberührten Wandabdichtung darf keine Lücke entstehen. Als bewährt kann hier die Anordnung eines 20 bis 30 cm breiten Dichtungsschlammstreifens gelten, der zur besseren Haftung des Putzes in frischem Zustand mit Quarzsand abgesehen wird. Darüber werden dann der Sockelputz und die Wandabdichtung aufgebracht.
- Auch wasserabweisende Putze können in der Haftzone zum Unterputz bzw. zum Untergrund Wasser saugen und störende, eingedunkelte Kränze bilden. Daher sollte der Putz bis unmittelbar zur Geländeoberfläche durch einen weiteren Schlamm- oder KMB-Auftrag abdichtend beschichtet und durch eine Schutzlage (Noppenbahn) vor dem unmittelbaren Kontakt mit feuchtem Füllmaterial geschützt werden. Handelt es sich um einen Leichtputz, so wird diese zusätzliche Abdichtung des Putzes im erdberührten Bereich nach DIN V 18550 [26], Tabelle 5, ausdrücklich gefordert.

Um Schäden im Sockelsichtmauerwerk von Verblendmauerwerk zu vermeiden, müssen Steinmaterial und Mörtelfugen in der Sockelzone nicht saugfähig ausgeführt werden – gleichgültig, ob die Querschnittsabdichtung nun 30 cm hoch oder auf Geländeniveau liegt. Bei KS-Mauerwerk empfiehlt sich daher auch bei zweischaligem Verblendmauerwerk ein verputzter Sockel (s. Bild 4).



Bild 9: Herstellen der Hohlkehle, Querschnittsabdichtung mit Dichtschlämme



Bild 10: Aufziehen der kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtung mit der Glättkelle



Bild 11: Glattziehen der Hohlkehle mit der Zungenkelle

Durchdringungen und Bewegungsfugen bei der Abdichtung mit KMB

Bei den üblicherweise bei Bodenfeuchtigkeit ausgeführten Abdichtungen aus kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen kann die KMB hohlkehlenartig an die Durchdringung herangearbeitet werden.

Die Abdichtung von Bewegungsfugen (z.B. Haustrennfugen) erfolgt mit bitumenverträglichen Streifen aus Kunststoff-Dichtungsbahnen, die eine Vlies- oder Gewebekaschierung zum Einbetten in die kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtung besitzen (Bilder 9 bis 11). Die Abdichtung der Überlappungen dieser Bahnenstreifen muss entsprechend der jeweiligen Füge-technik des verwendeten Kunststoff-Dichtungsmaterials ausgeführt werden.

1.4 Abdichtungen gegen aufstauendes Sickerwasser

Bei sorgfältiger Ausführung sind wannenförmig die Bodenplatte und die erdberührten Wandflächen umschließende einlagige Bahnenabdichtungen und kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen auch bei Druckwasserbeanspruchung dicht. Sie können durch ihre Rissüberbrückungseigenschaft von 5 mm (Bahnen) bzw. 2 mm (KMB) auch die bei mangelfrei konstruierten Bauwerken noch zu erwartenden Rissbildungen des Untergrundes aufnehmen. DIN 18195-6 sieht seit 2000 für den Druckwasserlastfall „aufstauendes Sickerwasser“ vereinfachte wannenförmige Abdichtungen vor. Deren Anwendung ist auf eine Gründungstiefe von maximal 3 m unter Gelände und einen Mindestabstand von 30 cm zwischen Bemessungswasserstand und Gebäudesohle beschränkt.

1.4.1 Abdichtungen mit KMB

Sollen KMB als Druckwasser haltende Abdichtung bei Stauwasser angewendet werden (Bilder 12 und 13), so sind folgende zusätzliche Anforderungen zu erfüllen:

- Der Auftrag muss zweilagig sein. Die zweite Lage darf erst aufgebracht werden, wenn die erste so weit durchgetrocknet ist, dass sie durch den zweiten Arbeitsgang nicht mehr beschädigt wird.
- In die KMB ist eine Verstärkungseinlage einzuarbeiten.
- Die Mindesttrockenschichtdicke muss 4 mm betragen.
- Nass-Schichtdickenkontrollen (Anzahl, Lage, Ergebnis) sowie die Durchtrocknungsprüfung sind zu dokumentieren.

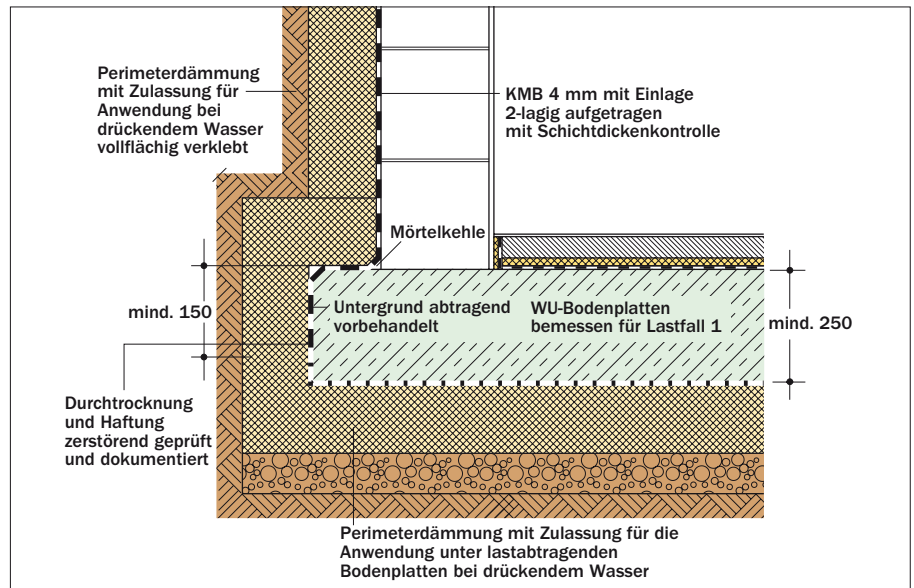


Bild 12: Übergang zwischen Wandabdichtung aus KMB und WU-Beton-Bodenplatte bei stauendem Sickerwasser

- Als Schutzschichten sollen vorzugsweise Perimeterdämmplatten oder Dränplatten mit abdichtungsseitiger Gleitfolie verwendet werden.

Ergänzend ist folgendes zu beachten:

Bei Druckwasserbelastungen muss deutlich sorgfältiger gearbeitet werden als bei der geringeren Beanspruchung durch Bodenfeuchtigkeit und nicht stauendes Sickerwasser, da selbst kleine Fehlstellen bei Druckwasser erhebliche Durchfeuchtungsfolgen haben können. Da gerade im Falle der meist nur selten auftretenden vorübergehenden Stauwasserbelastung Fehlstellen häufig erst lange nach Fertigstellung und Bezug des Gebäudes bemerkbar werden, ist die Zuverlässigkeit und Sorgfalt der ausführenden Handwerker von großer Bedeutung. Es sollte daher Wert gelegt werden, dass die ausführenden Firmen spezielle Fachkenntnisse über die Druckwasser haltende Abdichtung mit KMB besitzen. Es sollte also bei der Ausschreibung gefordert werden, dass die Verarbeiter entsprechende Lehrgänge besucht haben und über Erfahrung verfügen.

Wenn auch die o.a. Dokumentationspflichten beim Ausführenden liegen, so sollte bei der Bauleitung doch besonders auf die Einhaltung dieser Prüfvorschriften geachtet werden.

Durchdringungen sind mit Los- und Festflanschkonstruktionen auszuführen. Dabei sind vorgefertigte Einbauteile, z.B. aus bitumenverträglichen Kunststoffdichtungsbahnen, zu verwenden, die im

Anschlussbereich zur kunststoffmodifizierten Dickbeschichtung eine Vlies- oder Gewebekaschierung zum Einbetten in die KMB besitzen, im Klemmbereich aber unkaschiert sind.

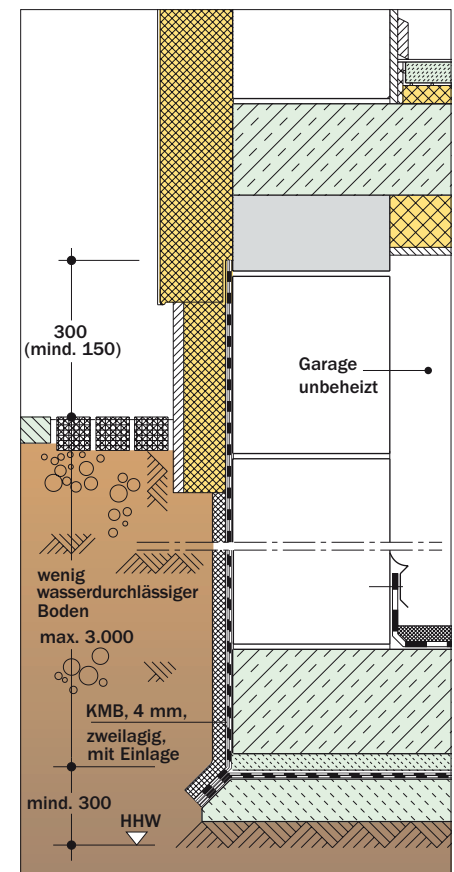


Bild 13: Abdichtung gegen stauendes Sickerwasser mit KMB

Mit KMB können auch druckwasserhaltende Wannen realisiert werden, indem auf eine Magerbetonschicht unter der Bodenplatte und an den erdberührten Wänden 4 mm dicke, gewebearmierte KMB aufgetragen werden. Der Übergang wird dann z.B. als rückläufiger Stoß ausgebildet (s. Bild 13). Besonders aufgrund der Wetterabhängigkeit des schadenfreien Einbaus der horizontalen Abdichtungsflächen werden Bodenplatten aber selten mit KMB abgedichtet.

Weit verbreitet, bewährt und seit 2010 in DIN 18195, Teil 9, genormt ist es, die mit KMB abgedichtete Mauerwerkswand an eine Druckwasser haltende Stahlbetonbodenplatte anzuschließen, die nach den Regeln der WU-Richtlinie geplant und ausgeführt wurde (s. Bild 12). Es handelt sich dann um einen Übergang, bei dem die adhäsive Verbindung zwischen KMB und Beton dauerhaft dicht bleiben muss.

Die zu diesem Zweck vorgesehenen Abdichtungsstoffe benötigen ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP), das nach den Prüfgrundsätzen „PG-ÜBB“ ausgestellt wurde. Die dem Prüfzeugnis beigefügten Verarbeitungsregeln des Abdichtungsherstellers sind zu beachten.

Folgende Vorgehensweise ist notwendig:

- Der Arbeitsraum vor dem Bodenplattenabsatz muss durchgängig frei zugänglich sein.
- Die Betonoberfläche des Absatzes muss mechanisch abtragend (z.B. durch Fräsen) völlig von losen Bestandteilen befreit werden.
- Die Kehle am Plattenabsatz ist grundsätzlich mit Mörtel (nicht mit KMB) zu runden, die Bodenplattenkante ist zu brechen.
- Vor dem Grundieren ist der so vorbereitete Bodenplattenabsatz abzunehmen und die Abnahme zu protokollieren.
- Die KMB ist zweilagig mit Verstärkungslage auszuführen, die erste Lage ist ca. 10 cm, die zweite Lage ca. 15 cm tief auf die Bodenplattenstirnseite zu führen.
- Nach positiver Durchrocknungsprüfung ist auf allen Gebäudeseiten die Haftung der Beschichtung am Untergrund der Bodenplattenstirnseite zu

prüfen und das Ergebnis zu protokollieren.

- Auf den Schutz der fertiggestellten Abdichtung ist im Fundamentabsatzbereich besonders zu achten.

1.4.2 Bahnenförmige Abdichtungen

Einlagige Bahnenabdichtungen sind bei aufstauendem Sickerwasser wie folgt anzuwenden (Bild 14):

- Polymerbitumenschweißbahnen sind auf dem mit Voranstrich versehenen Mauerwerksuntergrund im Schweißverfahren einzubauen.
- Kunststoff- und Elastomerdichtungsbahnen (bitumenverträglich) sind nach Voranstrich auf den Untergrund vollflächig aufzukleben.
- Die Längs- und Quernähte sind – je nach Werkstoffart – mit Quellschweißmittel oder Warmgas zu verschweißen.

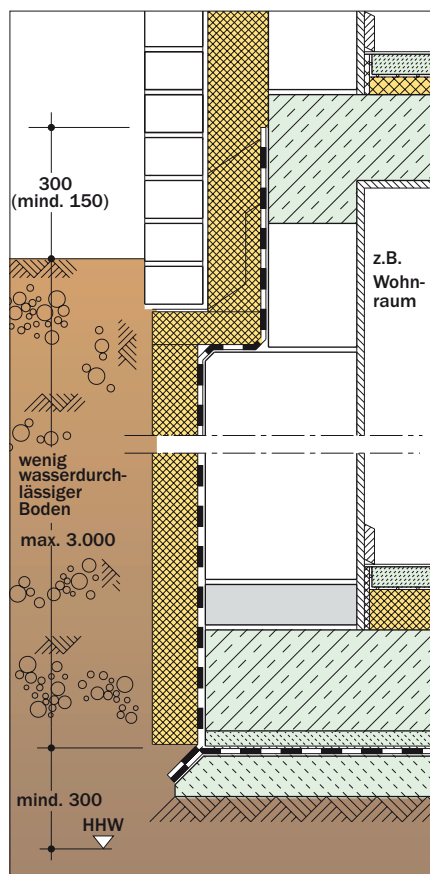


Bild 14: Abdichtung gegen stauendes Sickerwasser mit einlagiger Bahnenabdichtung

Die übrigen in DIN 18195 aufgeführten Bitumen- und Polymerbitumenbahnen sind zweilagig auszubilden und bei oberen Lagen aus Bitumendichtungs- und Dachdichtungsbahnen mit einem Deckaufstrich zu versehen.

Selbstklebebahnen sind für diesen Beanspruchungsfall *nicht* vorgesehen.

Für bahnenförmige Wandabdichtungen sieht DIN 18195 Teil 9 am Übergang zur druckwasserhaltenden Bodenplatte Einbauteile vor. Insbesondere einbetonierte Fugenbänder (z.B. aus PVC), an denen PVC-Bahnen angeschweißt werden können, sind gut praktikabel.

Auch die bahnenförmigen Abdichtungen sind mit Schutzschichten, vorzugsweise Perimeterdämmplatten oder Dränplatten mit abdichtungsseitiger Gleitfolie zu versehen.

1.4.3 Anordnung der Abdichtung auf der Bodenplatte

Grundsätzlich sind Abdichtungen gegen drückendes Wasser auf der wasserzugewandten Seite der Bodenplatte, d.h. unterseitig anzuordnen, damit der auf die Abdichtung einwirkende Wasserdruck von der Bodenplatte aufgenommen werden kann. Dies macht die Herstellung der Bodenabdichtung aufwendig, da ein geeigneter Unterbeton vor der Verlegung der Abdichtung und eine Schutzschicht auf der Abdichtung vor dem Betonieren der eigentlichen Bodenplatte erforderlich werden. Da Bodenplatten mit einfacher Geometrie und reibungsarmer Lagerung auf dem Untergrund auch mit geringem Bewehrungsaufwand weitgehend rissfrei realisierbar sind und daher *nicht* mit durch Risse dringendem Druckwasser unmittelbar unter der Abdichtung gerechnet werden muss, ist eine vollflächige Verklebung der Bahnenabdichtung *auf* der Bodenplatte vertretbar und insbesondere dann wirtschaftlich, wenn zum Schutz vor Baufeuchte ohnehin als oberseitige diffusionshemmende Abdeckung eine Dichtungsbahn verwendet werden soll.

1.5 Abdichtung gegen drückendes Wasser

Zur Abdichtung gegen drückendes Wasser sind unabhängig von Gründungstiefe, Eintauchtiefe und Bodenart grundsätzlich mehrlagige Bahnenabdichtungen vorzusehen. Die Randbedingungen, unter denen bei aufstauendem Sickerwasser mit geringerem Aufwand abgedichtet werden kann, wurden bereits beschrieben.

Über die Einzelheiten zur von der jeweiligen Bahnenart abhängigen Lagenzahl – insbesondere bei nackten Bitumenbahnen und nackten Bitumenbahnen und Metallbändern – soll hier nicht im Detail eingegangen werden. Die Regelungen sind in DIN 18195-6 zu finden.

Im Mauerwerksbau ist diese Abdichtungsform aufgrund der aufzunehmenden Wasserdrücke und des sonstigen Aufwands zur Herstellung einer „schwarzen“ Wanne bau praktisch auf Fälle mit geringer Eintauchtiefe des Gebäudes unter dem Bemessungswasserstand beschränkt (Bild 15). Im Regelfall werden bei solchen Beanspruchungssituationen sonst wasserundurchlässige Wannen aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand realisiert.

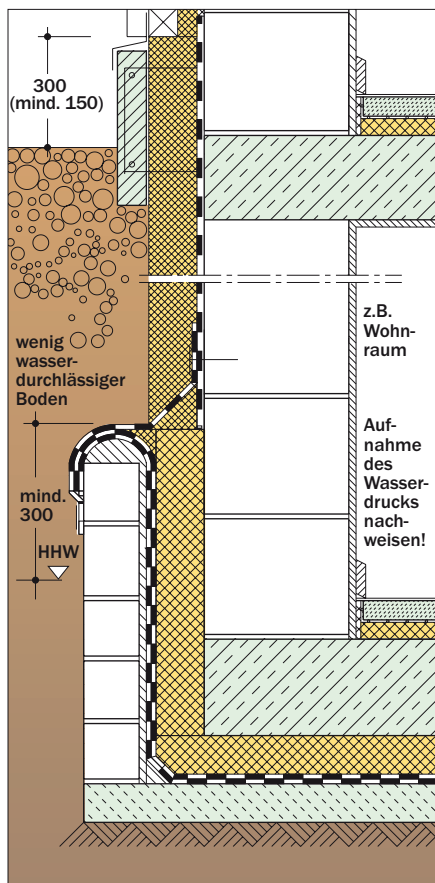


Bild 15: Grundwasserwannen eines gemauerten Kellers mit geringer Eintauchtiefe unter dem Bemessungswasserstand

2. ABDICHTUNG VON BADEZIMMERN

2.1 Beanspruchungssituationen

DIN 18195-1 definiert einen Nassraum wie folgt:

„Innenraum, in dem nutzungsbedingt Wasser in solchen Mengen anfällt, dass zu seiner Ableitung eine Fußbodenentwässerung erforderlich ist. Bäder im Wohnungsbau ohne Bodenablauf zählen nicht zu den Nassräumen.“

Wohnungsbadezimmer mit niveaugleichen Duschen zählen damit zu den Nassräumen, Wohnungsbadezimmer mit Badewannen und normalen Duschtassen nur dann, wenn zusätzlich ein Fußbodenablauf eingebaut wird. Damit wird der Erfahrung Rechnung getragen, dass Fußbodeneinläufe als Ausguss benutzt werden und damit die Beanspruchung erzeugen, gegen die man dann auch abdichten muss.

DIN 18195-5 zählt Nassräume des Wohnungsbaus zu den „mäßig beanspruchten Flächen“. Als „hoch beanspruchte Flächen“ gelten u.a. „die durch Brauch- oder Reinigungswasser stark beanspruchten Fußboden- und Wandflächen in Nassräumen, wie Umgänge in Schwimmbädern, öffentliche Duschen, gewerbliche Küchen u.a. gewerbliche Nutzungen“. Auf hoch beanspruchte Nassräume wird hier nicht weiter eingegangen.

DIN 18195 übergeht Wohnungsbadezimmer ohne Bodeneinlauf nicht völlig, sondern weist darauf hin, dass bei „feuchtigkeitsempfindlichen Umfassungsbauteilen“ (z.B. Holzbau, Trockenbau, Gipsbaustoffen) auf einen „Schutz gegen Feuchtigkeit“

besonders geachtet werden muss. Damit ergaben sich bei Wohnungsbadezimmern drei Situationen, die hinsichtlich der Abdichtungstechnik bzw. des Feuchtigkeitsschutzes unterschiedlich zu behandeln sind (Tafel 2):

- Mäßig beanspruchte Nassräume = Badezimmer mit Bodenablauf
- Feuchtebelastete Wand- und Bodenflächen mit feuchteempfindlichen Untergründen in Badezimmern ohne Bodenablauf
- Sonstige Badezimmer ohne Bodenablauf

Im Zuge der Erarbeitung europäischer Prüffregeln für Verbundabdichtungen in der ETAG 022 wurden die in DIN 18195 vorgenommenen Klassifizierungen der Nassraumbeanspruchungen nicht übernommen.

Da die neue Stoffnorm DIN 18195, Teil 2 [2], bereits flüssig aufzubringende Abdichtungen im Verbund mit Fliesen (AIV) regelt, ist absehbar, dass eine völlige Neufassung der Konstruktionsnorm für die Abdichtung von Nassräumen (DIN 18534) die europäische Beanspruchungsklassifizierung übernehmen wird, die auch bereits in den Ausführungsregeln des Fliesenlegerhandwerks [17] enthalten sind. Für die hier behandelten Wohnungsbadezimmer bedeutet dies folgendes:

- Badezimmer zählen unabhängig vom Vorhandensein eines Abflaufs zu den Nassräumen.

Tafel 2: Feuchteschutzsituationen bei Wohnungsbadezimmern nach DIN 18195-1:2011-12

Situation	Kategorie nach DIN 18195-5:2000-08	Abdichtungssystem
Wohnungsbad mit Bodeneinlauf ¹⁾	Nassraum, mäßig beansprucht	Einlagige Bahnenabdichtung, spachtelbare Verbundabdichtung ²⁾
Wohnungsbad ohne Einlauf, feuchteempfindliche Untergründe ³⁾	Kein Nassraum, aber „Schutz gegen Feuchtigkeit“ erforderlich	Spachtelbare Verbundabdichtung
Wohnungsbad ohne Einlauf, keine feuchteempfindlichen Untergründe	Kein Nassraum, keine Anforderung	Keine Abdichtung ⁴⁾

¹⁾ Z.B. mit niveaugleicher Dusche; Holzwerkstoffe und Fließestriche auf Calciumsulfatbasis als Untergrund ungeeignet

²⁾ Mit Eignungsnachweis

³⁾ Z.B. Gipsputz, -karton oder Fließestriche auf Calciumsulfatbasis. Holzwerkstoffe sind als Fliesenuntergrund in Feuchträumen ungeeignet

⁴⁾ Setzt funktionsfähige Dichtstoffanschlussfugen voraus – bei Dreiecksfugen: spachtelbare Verbundabdichtung, Fugenfolienstreifen zumindest im Bereich der Anschlüsse erforderlich

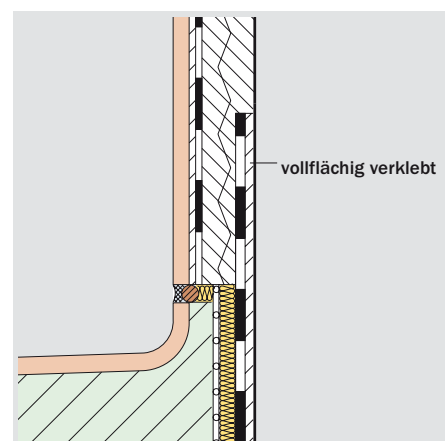
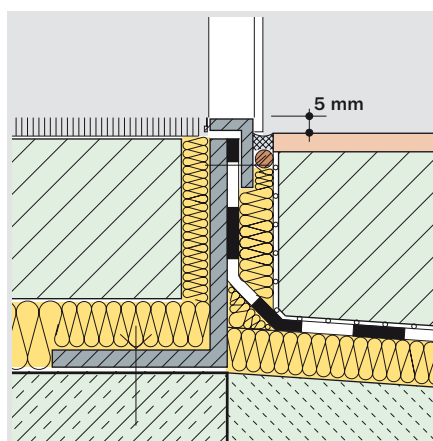
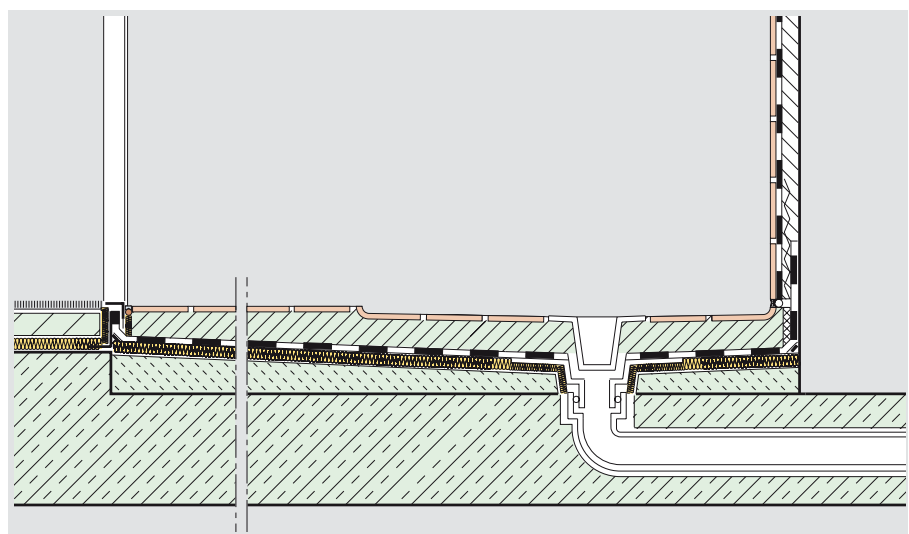
- Es sind „direkt beanspruchte“ und „indirekt beanspruchte“ Flächen zu unterscheiden.
- Als direkt beansprucht gelten Wandflächen, die im unmittelbaren Spritzbereich der Badewanne und Dusche liegen.
- Als direkt beansprucht gelten Bodenflächen, soweit sie unmittelbar vor der Dusch- bzw. Badewanne liegen – es sei denn, dass durch einen wirksamen Spritzwasserschutz im geschlossenen Zustand keine nennenswerte Wassermenge auf den Boden gelangt. Vorhänge zählen nicht zu den zuverlässig wirksamen Spritzwasserschutzmaßnahmen.
- Bei Fußböden mit Bodenablauf gilt die gesamte Bodenfläche, die durch den Bodenablauf erfasst wird, als direkt beanspruchte Fläche.
- Direkt beanspruchte Flächen in Badezimmern sind als „mäßig beansprucht“ (Beanspruchungsklasse A0) einzustufen. Sie können mit einlagigen Bahnenabdichtungen oder durch die europäische geregelten Flüssigabdichtungen mit oder ohne Fliesenverbund geschützt werden.
- Bei nicht feuchtigkeitsempfindlichen Wanduntergründen kann auch im direkt beanspruchten Bereich die Abdichtung ganz entfallen oder es können Anstriche ausgeführt werden, wenn sichergestellt ist, dass ggf. in kleineren Mengen eindringende Feuchtigkeit nicht zu Schäden führen kann.
- Alle übrigen Flächen des Badezimmers gelten als indirekt beansprucht. Sie sind der Beanspruchungsklasse 0 (geringe Beanspruchung) zuzuordnen und benötigen grundsätzlich keine Abdichtung. Sie können selbstverständlich optional abgedichtet werden (Tafel 3).

Der Vergleich der derzeitigen und zukünftigen Regeln zeigt, dass lediglich hinsichtlich der Abdichtung direkt beanspruchter Fußbodenflächen ohne Ablauf eine Änderung zu beachten ist: Diese sind nach der Neuregelung auch bei nicht feuchteempfindlichem Untergrund durch AIV zu schützen. Kritische Anmerkungen zum Sinn dieser Änderung finden sich in [27].

Tafel 3: Feuchteschutzsituationen bei Wohnungsbadezimmern nach [17]

Badezimmer = mäßig wasserbeanspruchter Nassraum			
Bauteil	Kategorie	Feuchteempfindlichkeit des Untergrundes	Abdichtungssystem
Wandfläche im Bereich von Dusche oder Badewanne ²⁾	Direkt wasserbeanspruchte Wandfläche	Hoch ¹⁾	Flüssigabdichtung im Verbund (AIV) (einlagige Bahnenabdichtung)
		Gering	Kann bei speicherfähigem Untergrund und sorgfältiger Anschlussabdichtung entfallen; sonst AIV
Bodenflächen ³⁾ mit Ablauf; Bodenflächen ³⁾ vor Duschen/Wannen ohne wirksamen Spritzwasserschutz ⁴⁾	Direkt wasserbeanspruchte Fußbodenfläche	Hoch ¹⁾ / Gering	Einlagige Bahnenabdichtung; Flüssigabdichtung im Verbund (AIV)
Sonstige Wand- und Bodenflächen	Indirekt wasserbeanspruchte Fläche	Hoch ¹⁾ / Gering	Keine Abdichtung

¹⁾ Gipsputz, Gipskarton; Fließestrich auf Calciumsulfatbasis; Holzwerkstoffe sind als Untergründe ungeeignet.
²⁾ Bei fehlendem Spritzwasserschutz: Bereich 30 cm breiter als die Wanne/Dusche
³⁾ Einschließlich der Wandanschlüsse
⁴⁾ Vorhänge sind kein „wirksamer Spritzwasserschutz“.



Bilder 16 bis 18: Bahnenförmige Abdichtung eines Wohnungsbadedes mit niveaugleicher Dusche

2.2 Abdichtung direkt beanspruchter Flächen

2.2.1 Abdichtung des Fußbodens

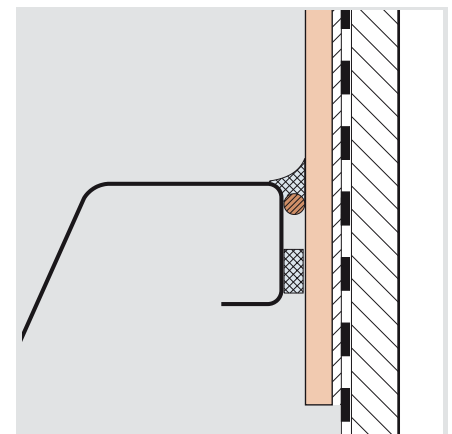
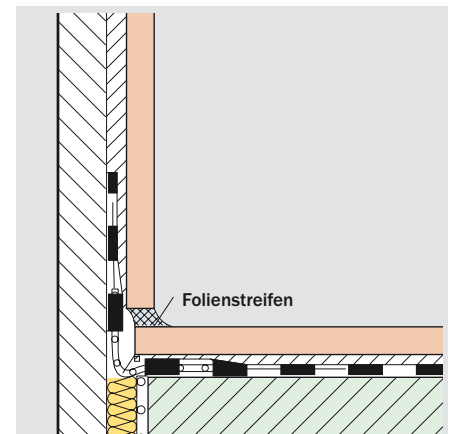
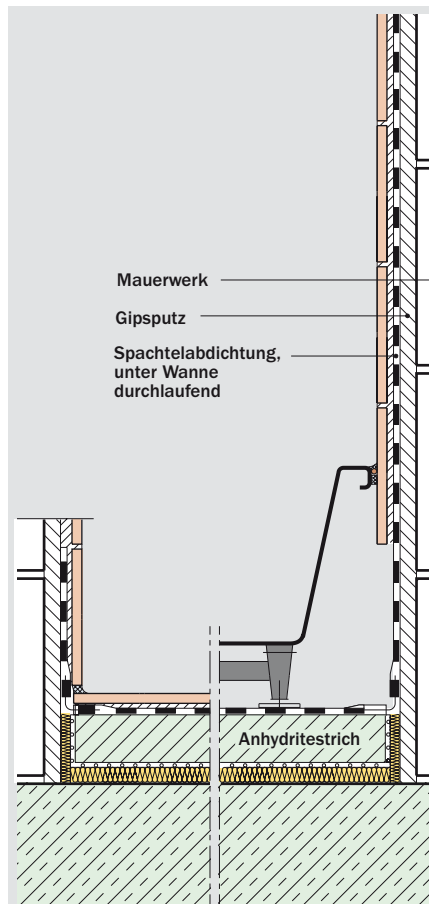
Im Fußbodenbereich sind unter schwimmenden Estrichen einlagige Bahnenabdichtungen in der Fläche gut ausführbar. So ist auch der Anschluss an den Ablauf einfach zu realisieren. Die bahnenförmige Abdichtung des Fußbodens, wie sie in den Bildern 16 bis 18 dargestellt ist, weist allerdings zwei Schwierigkeiten auf:

- Nach DIN 18195 Teil 5 und Teil 9 müsste die Aufkantung des Abdichtungsrandes 15 cm über Oberkante Belag geführt werden. Da die Wandverfliesungen im Dünnbett unmittelbar auf dem Wanduntergrund üblich ist, muss dann bereits im Rohbau ein Rücksprung im Wanduntergrund eingeplant werden, um die Abdichtung aufkanten zu können. Dieser ist insbesondere bei dünneren Trennwänden nur schwer realisierbar und insgesamt aufwendig.
- Der zweite Nachteil betrifft den Sachverhalt, dass die Abdichtung erst wirksam wird, wenn das Spritz- und Nutzwasser bereits durch die Belagschichten gedrungen ist und sich im Estrichuntergrund sammelt. Insbesondere bei mangelhafter Gefällegebung der Abdichtungsoberfläche kann dies zu sehr unhygienischen Ansammlungen von Schmutzwasser im schwimmenden Estrich führen.

Daher werden meist bei bahnenförmigen Abdichtungen unter den Estrichen zusätzlich dann doch noch Abdichtungen im Verbund mit Belägen (AIV) ausgeführt, um das Schmutzwasser am Eindringen in den Untergrund zu hindern. Dann ist der Schritt nicht mehr weit, die Abdichtungslage im Fliesenverbund so sorgfältig zu planen und auszuführen, dass man auf die Bahnen ganz verzichten kann.

2.2.2 Abdichtung der Wandflächen

Grundsätzlich ist es sehr aufwendig, an senkrechten Flächen bahnenförmige Abdichtungen unter Fliesenbelägen anzuordnen. Dies war wohl der wesentliche Grund, warum vor der gebrauchstauglichen Entwicklung von spachtelbaren Verbundabdichtungen im Duschbereich von Wohnbädern allgemein keinerlei Schutzmaßnahmen üblich waren. Ggf. über die Fliesenfugen eindringendes Spritzwasser wurde nach dem Prinzip der Wasserspeicherung und Verdunstung in der Regel schadlos aufgenommen.



Bilder 19 bis 21: Verbundabdichtung im Wohnungsbad im direkt beanspruchten Bereich, hier mit feuchteempfindlichen Untergründen (Gipsputz; Calciumsulfatestrich)

Bei feuchtigkeitsempfindlichen Untergründen, wie Gipsputzen oder Calciumsulfatestrichen, ist in Wohnbadezimmern eine Abdichtung im Verbund mit dem Belag als Minimalmaßnahme auszuführen. Die Putznorm DIN 18550 [26] deutet schon seit 1985 diese Notwendigkeit an, wenn sie im Zusammenhang der Anwendung von Gipsputzen schreibt: „Wandbekleidungen und Beläge auf dem Putz, wie keramische Fliesen, die einer direkten Wasserbelastung, z.B. in Duschkabinen und im Wannenbereich, ausgesetzt sind, können besondere Maßnahmen erforderlich machen.“

Während DIN 18195 als flüssig zu verarbeitende Abdichtungsstoffe im Verbund mit Fliesen und Platten (AIV) lediglich rissüberbrückende mineralische Dichtschlämme (MDS) und Reaktionsharze regelt, sieht das Merkblatt für die hier näher behandelten, direkt mäßig beanspruchten Wand- und Bodenflächen auch Polymerdispersionen vor. Hinsichtlich der Verarbeitungsdetails wird auf dieses Merkblatt verwiesen.

Solange die Untergründe der Wände nicht feuchtigkeitsempfindlich sind, z.B. aus KS-Mauerwerk oder Kalkzementputz bestehen, ist prinzipiell keine Abdichtung erforderlich.

Aufgrund von Estrichverwölbungen und der üblicherweise nur sehr geringen Dichtstofffugenbreiten am Fußbodenrand können besonders die Randfugen von Zementestrichen aufreißen. Deshalb ist es empfehlenswert, zumindest die Randfugenbereiche des Estrichs und die Eckfugen im Duschbereich unter den Dichtstofffasen mit Folienstreifen und spachtelbaren Abdichtungen abzudichten. Dann ist es aber nur noch ein kleiner Schritt, auch bei feuchtigkeitsunempfindlichen Untergründen die Fußbodenfläche und die wenigen Quadratmeter Wandflächen des unmittelbar spritzwasserbelasteten Duschbereichs mit spachtelbaren Abdichtungen zu schützen. Angesichts des geringen Mehraufwands wird sich diese Ausführungsform als übliche Lösung für das Wohnungsbad in Zukunft durchsetzen (Bilder 19 bis 21).

2.2.3 Detailausbildung

Nur wenn der Wannenschluss an die aufgehenden Bauteile eine dauerhafte Dichtfunktion erwarten lässt – davon ist am ehesten bei aufgekanteten Wannenträndern auszugehen, die leider nur in sehr geringem Umfang in Deutschland angeboten und angewendet werden – kann man auf einen Feuchtigkeitsschutz unter der Wanne verzichten. Besser ist es jedoch auch hier, grundsätzlich die spachtelbare Abdichtung unter dem Wannbereich durchzuziehen. Selbst wenn eine solche Abdichtung unter der Wanne ausgeführt ist, kann man die Abdichtung des Wannentrandes aber nicht völlig vernachlässigen. Hier sollte mindestens ein vorkomprimiertes Dichtband zusätzlich zur Dichtstoffphase angebracht werden.

Neben den Wannendetails kommt selbstverständlich der Abdichtung der Rohrdurchführungen der Duschen eine wesentliche Aufgabe zu, da diese unmittelbar spritzwasserbelastet sind.

An allen Fugen des Untergrundes, bei denen mit Bewegungen zu rechnen ist, müssen nicht nur die Belagsfugen, sondern auch die Verbundabdichtung dehnfähig ausgebildet werden. Dies betrifft vor allem die Randfugen schwimmender Estriche sowie die senkrechten Eckfugen aufgehender Wände – soweit dort (z.B. durch Wechsel des Wandmaterials) Bewegungen zu erwarten sind. Eckfugen im Verband gemauerter Wände benötigen also keine Dehnungsfugengestaltung im Belag. Im Bewegungsfugenbereich werden unter der Dichtstoffuge im Belag Folienstreifen mit Vliesrändern in die spachtelbare Abdichtung eingearbeitet.

LITERATUR

- [1] DIN 18195-1:2011-12: Bauwerksabdichtungen, Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten
- [2] DIN 18195-2:2009-04 Bauwerksabdichtungen, Stoffe
- [3] DIN 18195-3:2011-12: Bauwerksabdichtungen, Anforderungen an den Untergrund und Verarbeitung der Stoffe
- [4] DIN V 20000-202:2007-12 Anwendung von Produkten in Bauwerken – Anwendungsnorm für Abdichtungsbahnen nach Europäischen Produktnormen zur Verwendung in Bauwerksabdichtungen
- [5] DIN 18195-4:2011-12: Abdichtungen gegen Bodenfeuchtigkeit (Kapillarwasser, Haftwasser) und nicht stauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden; Bemessung und Ausführung
- [6] DIN 18195-5:2011-12 Abdichtungen gegen nicht drückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen; Bemessung und Ausführung
- [7] DIN 18195-6:2011-12: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser; Bemessung und Ausführung
- [8] DIN 18195-07:2009-07 Bauwerksabdichtungen, Abdichtungen gegen von innen drückendes Wasser, Bemessung und Ausführung
- [9] DIN 18195-8:2011-12 Bauwerksabdichtungen, Abdichtungen über Bewegungsfugen
- [10] DIN 18195-9:2010-05 Bauwerksabdichtungen, Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse
- [11] DIN 18195 Beiblatt 1:2011-03 Bauwerksabdichtungen, Beispiele für die Anordnung der Abdichtung
- [12] DIN 18195-10:2011-12 Bauwerksabdichtungen, Schutzschichten und Schutzmaßnahmen
- [13] DAfStb-Richtlinie: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), Hrsg.: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 11/2003
- [14] Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie; Heft 555 Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, Berlin 7/2006
- [15] Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen erdberührter Bauteile mit flexiblen Dichtschlämmen; Hrsg.: Deutsche Bauchemie, 2. Auflage, Frankfurt 4/2006.
- [16] ETAG 022 Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Abdichtungen für Wände und Böden in Nassräumen, Teil 1: Flüssig aufzubringende Abdichtungen mit oder ohne Nutzschiicht, 2007
- [17] Merkblatt Hinweise für die Ausführung von flüssig zu verarbeitenden Verbundabdichtungen mit Bekleidungen und Belägen aus Fliesen und Platten für den Innen- und Außenbereich. Fachverband Deutsche Fliesengewerbe im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, Berlin 1/2010
- [18] DIN 4020:2003-09 Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
- [19] DIN 4095:1990-06 Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen, Planung, Bemessung und Ausführung
- [20] Oswald, R.; Wilmes, K.; Kottjé, J.: Weiße Wannen – hochwertig genutzt, Stuttgart 2007
- [21] DIN 18336:2010-04 VOB Teil C Abdichtungsarbeiten
- [22] DIN EN 14909:2006-06 Abdichtungsbahnen – Kunststoff- und Elastomer-Mauersperrbahnen – Definition und Eigenschaften
- [23] DIN EN 14967:2006-08 Abdichtungsbahnen – Bitumen-Mauersperrbahnen – Definition und Eigenschaften
- [24] Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (KMB) – erdberührte Bauteile, Hrsg.: Deutsche Bauchemie, 3. Ausgabe, Frankfurt 5/2010
- [25] Oswald, R.: Schwachstellen – Hohlkehlen bei der Kellerabdichtung, in db, Heft 11/1999
- [26] DIN V 18550:2005-04 Putze und Putzsysteme – Ausführungen
- [27] Oswald, R.: Flüssig gegen Nass – Flüssigabdichtungen in Nassräumen, in db, Heft 11/2007

1. ÜBERBLICK

Der Wärmeschutz von Gebäuden verdient aus vielfältigen Gründen besondere Beachtung. Ein energieeffizientes Haus benötigt im Vergleich mit einem unsanierten Altbau bis zu 80 % weniger Energie und spart damit seinen Bewohnern viel Geld. Wird weniger Energie verbraucht, entstehen weniger CO₂ und andere schädliche Emissionen wie Ruß und Feinstaub. Wärmeschutz ist hier gleichzeitig auch Klimaschutz und hilft, die Energiesparziele der Bundesregierung zu erreichen. Energieeffiziente Gebäude verbrauchen wenig, sind jedoch höchst behaglich und bieten ein gutes Wohnklima. Für Heizwärme und Warmwasserbereitung wird in Deutschland etwa ein Drittel der insgesamt verbrauchten Energie in Wohngebäuden aufgewendet (Bild 1). Die Haushalte sind damit ein wichtiger Sektor hinsichtlich Energieeinsparung und Emissionsverminderung. Dabei ist es besonders wichtig, gleichzeitig mit der Verbesserung des Wärmeschutzes und der Energieeffizienz auch die Behaglichkeit und den Nutzwert für die Bewohner zu steigern. Außerdem ist sicherzustellen, dass die Gebäude auch in Zukunft energie- und kostensparend genutzt werden können.

Eine Anzahl von DIN-Normen, die teilweise bauaufsichtlich eingeführt sind, sowie die Energieeinsparverordnung (EnEV) stellen ein einzuhaltendes Mindestniveau des baulichen Wärmeschutzes und der Energieeinsparung in Gebäuden sicher. Empfehlenswert ist es aber, deutlich über diese Mindestanforderungen hinauszugehen, um „zukunfts-taugliche“ Gebäude auf hohem Effizienzniveau zu realisieren.

Die energiesparrechtlichen Mindestanforderungen an den Wärmeschutz und die

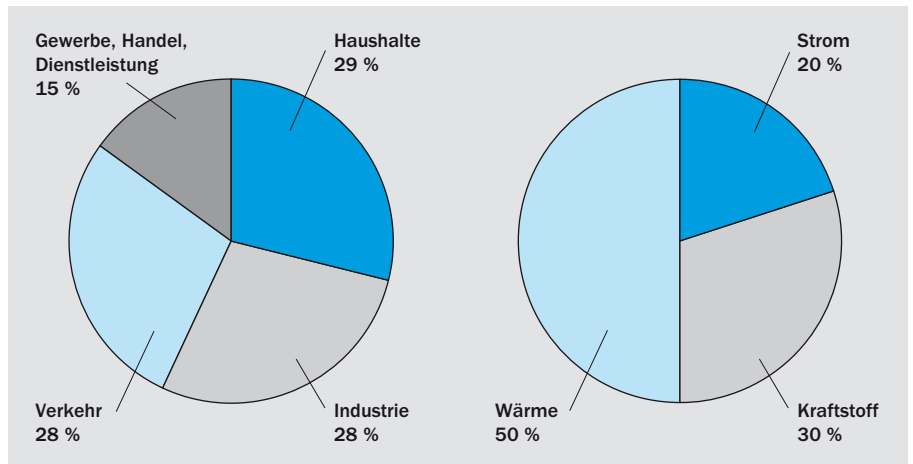


Bild 1: Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Deutschland nach Sektoren 2012 und Aufschlüsselung der eingesetzten Energie [1]

Energieeinsparung in Gebäuden, die in der Energieeinsparverordnung verankert sind, beziehen sich auf das Gebäude als Ganzes (Gebäudehülle + Anlagentechnik). Nur bei der Sanierung einzelner Bauteile werden noch bauteilbezogene Anforderungen gestellt. Die Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung werden von Hauser/Maas dargestellt [2].

Im Gegensatz zum Gesamtkonzept der EnEV bezieht sich der bauliche Wärmeschutz auf einzelne Bauteile (Wände, Decken, Fenster, Boden, Dach etc.) und ist in erster Linie hygienisch begründet. Hier geht es um die Vermeidung von Tauwasser und Schimmelpilzwachstum im Gebäudeinneren. Der geforderte bauliche Mindestwärmeschutz wird, zumindest bei den flächigen Außenbauteilen, meist deutlich übertroffen, weil die Bauteile sonst nicht den heutigen Ansprüchen an die Energieeinsparung, dem modernen Komfortbedürfnis und der aktuell üblichen Bauqualität genügen würden.

2. NORMENWERK ZUM BAULICHEN WÄRMESCHUTZ

Die wichtigsten deutschen Normenreihen zum baulichen Wärme- und Feuchteschutz und zur Energieeinsparung in Gebäuden sind die Normenreihen DIN 4108 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden“ und DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“.

Die einzelnen Teile der Normenreihe DIN 4108 konzentrieren sich auf verschiedene bauphysikalische Aspekte der Gebäudehülle und legen dafür Grundlagen und Anforderungswerte fest. Die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz von Bauteilen und im Bereich von Wärmebrücken finden sich in DIN 4108-2, ebenso die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sowie ein zugehöriges vereinfachtes Nachweisverfahren. DIN 4108-3 der Norm behandelt den klimabedingten Feuchteschutz (das so genannte „Glaser“-Verfahren; mit den zugehörigen Anforderungen und Randbedingungen). DIN 4108-4 der Norm tabelliert wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte für die Berechnungen. DIN V 4108-6 stellt, zusammen mit DIN V 4701-10 und deren Beiblatt 1, ein alternatives energetisches Bewertungsverfahren für Wohngebäude zur Verfügung. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle (Anforderungen und Ausführungshinweise) regelt DIN 4108-7. Der DIN-Fachbericht 4108-8 erläutert verschiedene Aspekte und Zusammenhänge zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in Wohngebäuden. DIN 4108-10 legt die je nach Anwendungstyp von Dämmstoffen erforderlichen Eigenschaftswerte der Dämmstoffe fest. Der geplante Teil 11 der



Bild 2: Kompakte Gebäudeformen sind energetisch vorteilhaft.

Quelle: BMWI/2012

Normenreihe DIN 4108 beschreibt Anforderungen an bauliche Klebebänder und Klebemassen. Grundlegende bauphysikalische Berechnungsverfahren z.B. zum Wärmedurchgangskoeffizienten, für zwei- und dreidimensionale Wärmebrückenberechnungen etc., sowie weitere wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte sind inzwischen in internationalen Normen verankert, die als DIN EN ISO oder DIN EN vom DIN übernommen sind, z.B. mit den Nummern 6946, 10211, 10456, 13370, 13789).

Die Teile der deutschen Normenreihe DIN V 18599 beschäftigen sich mit der energetischen Bewertung des gesamten Gebäudes, von den Grundlagen und der Beschreibung des Rechengangs in Teil 1 über die energetische Bewertung der Gebäudehülle in Teil 2, der Heizungs-, Warmwasser-, Lüftungs- und Klimatechnik sowie der Beleuchtung in den Teilen 3 bis 9 sowie 11. Teil 10 der Normenreihe legt die anzusetzenden Nutzungsprofile für Gebäude und Anlagentechnik fest.

Die frühere inhaltliche und begriffliche Konzentration im Normenwerk auf den Wärmeverlust im Winter ist inzwischen ersetzt durch den allgemeinen Bezug auf Wärmetransport oder Wärmetransfer, um die Normen auch für den sommerlichen Wärmeeintrag anwenden zu können. Formulierungen, Formelzeichen und viele Gleichungen gelten dann sowohl für winterliche Wärmeaussträge als auch für sommerliche Wärmeeinträge. In der Normenreihe DIN V 18599 werden (erwünschte und unerwünschte) Wärmeeinträge in den Raum als Wärmequellen, (erwünschte und unerwünschte) Wärmeaussträge aus dem Raum als Wärmesenken bezeichnet, um eine wertungsfreie, durchgehend logische Begrifflichkeit zu gewährleisten. Erwünschte Wärmequellen sind z.B.: im Winter Heizung, Sonnenschein durch Fenster, sowie innere Abwärme. Unerwünschte Wärmequellen können z.B. sein: Wärmeverlust von Warmwasser- und Heizungsleitungen, und im Sommer solarer Energieeintrag durch Fenster, Freisetzung von innerer Abwärme, sowie Wärmeeintrag durch Bauteile und Lüftung, wenn es draußen wärmer ist als im Raum. Erwünschte Wärmesenken sind z.B. im Sommer die Wärmeabfuhr durch Kühldecke und Klimaanlage, sowie der Wärmeeintrag durch Bauteile und Lüftung, wenn es im Raum wärmer ist als draußen. Unerwünschte Wärmesenken sind z.B. im Winter Wärmeverluste durch Bauteile und Lüftung, sowie das Aufwärmen von Kaltwasserleitungen.

Die wichtigsten Normen und physikalischen Größen rund um bauliche Wärmedämmung und klimabedingten Feuchteschutz in Gebäuden mit Formelzeichen und Einheiten sind in den Tafeln A1 und A2 im Anhang zusammengestellt.

2.1 Definitionen zur thermischen Hüllfläche und zu beheizten Räumen

Für den Wärmeschutz sind nur die wärmeübertragenden Bauteile der Gebäudehülle relevant. Das umfasst alle Innen- und Außenbauteile, die das beheizte Gebäudevolumen gegen die Außenluft oder gegen unbeheizte Dachböden und Keller, Garagen, unbeheizte Anbauten etc. abgrenzen. Die thermische Gebäudehülle umgibt das beheizte Gebäudevolumen lückenlos (Ausnahme: Haustrennwände und -decken zwischen gleichartig beheizten Bereichen werden nicht berücksichtigt).

Alle beheizbaren Räume, auch wenn sie tatsächlich nur gelegentlich oder gar nicht beheizt werden, wie Gästezimmer, Hobbyraum etc., zählen nach DIN 4108-2 zum beheizten Bereich. Die Einstufung „beheizt“ gilt immer dann, wenn im betrachteten Raum eine Heizeinrichtung oder eine Heizfläche eingebaut ist oder eine Beheizung über Raumverbund möglich ist. Als Raumverbund definiert DIN 4108-2 einen offenen Verbund der aneinandergrenzenden Räume, z.B. bei zum Wohnbereich offenen Treppenträumen und Treppengängen. Offenstehende (und erst recht geschlossene) Türen zählen ausdrücklich nicht als Raumverbund. Vollständig innenliegende Räume (innenliegende Abstellkammer, innenliegendes WC etc.) sind über die Bauteile, die sie vom beheizten Bereich trennen, indirekt beheizt und zählen ebenfalls zum beheizten Volumen. Die Norm begründet dies mit den sich für diese Räume einstellenden Temperaturen, die sich an die der umgebenden Räume anpassen. Ein zum Wohnbereich abgeschlossenes Treppenhaus ohne Heizkörper kann wahlweise als indirekt beheizt (über die umschließenden Bauteile – dann gehört es zum beheizten Bereich) oder als nicht beheizt (dann liegt es außerhalb der thermischen Hülle) eingestuft werden. Hat das Treppenhaus einen Heizkörper, dann zählt es zum beheizten Bereich. Anbauten und vorgelagerte Räume, die weder direkt noch über Raumverbund beheizt werden können, wie z.B. Garage, Schuppen, nicht beheizbarer Glasvorbau (durch Türen vom beheizten Gebäudevolumen getrennt), sind „nicht beheizt“ und liegen außerhalb der thermischen Hüllfläche. Die Überlegungen zur thermischen Gebäudehülle

gelten in gleicher Weise für die Hüllfläche, die im Sommer einen gekühlten Bereich gegen Außenluft bzw. gegen angrenzende, nicht gekühlte Bereiche abgrenzt.

3. VON DER WÄRMELEITFÄHIGKEIT ZUM U-WERT

In diesem Abschnitt werden die relevanten Größen rund um die Wärmedämmung von Bauteilen beschrieben. Die international normierte Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) in DIN EN ISO 6946 wird in einem Beispiel dargestellt. Für U- und ψ -Werte (Psi-Wert, linearer Wärmedurchgangskoeffizient) anderer spezieller Bauteile, wie z.B. Fenster, Vorhangfassaden und Wärmebrücken existieren ebenfalls genauere Berechnungsverfahren (DIN EN ISO 10211 bzw. DIN EN ISO 10077). In der Energieeinsparverordnung (EnEV) werden diese Normen als Berechnungsvorschrift in Bezug genommen. Alle wärmetechnischen Kennwerte für EnEV-Nachweise sind hiernach zu führen. Abweichungen von diesen Berechnungsvorschriften stellen einen Planungsfehler dar. Die Ermittlung der wärmetechnischen Kennwerte wird im Rahmen der Prüfung der Förderanträge bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) untersucht.

3.1 Wärmestrom, Widerstand, U-Wert

Der stationäre Wärmedurchgang (Transmission) durch ein einschichtiges Bauteil besteht aus drei Phasen (Bild 3):

- Wärmeübergang aus der Raumluft (mittels Luftströmung und Wärmeleitung) und von den umgebenden Bauteiloberflächen (mittels Wärmestrahlung zwischen den umgebenden Raumoberflächen und der betrachteten Fläche),
- Wärmetransport durch die Baustoffschicht selbst (zusammengefasst als Wärmeleitung) und
- Wärmeübergang (Wärmeabgabe) von der Außenoberfläche an die Außenluft, wiederum mittels Konvektion, Wärmeleitung und Wärmestrahlung.

In allen Phasen wird der Wärme, also der Energie, ein gewisser Widerstand entgegengesetzt, den sie überwinden muss: den Wärmeübergangswiderstand auf der Innenseite (R_{si}), den Wärmedurchlasswiderstand der Baustoffschicht (R_i), den Wärmeübergangswiderstand auf der Außenseite (R_{se}). Es handelt sich um eine Reihenschaltung von Widerständen. Wie beim elektrischen Strom ist der Gesamtwiderstand die Sum-

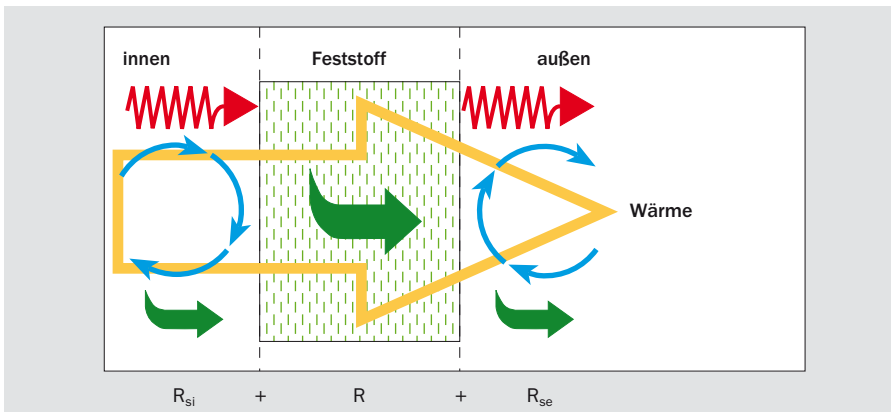


Bild 3: Wärmedurchgang durch ein Bauteil

me der Einzelwiderstände (in der Wärmelehre bezeichnet als Wärmedurchgangswiderstand, mit dem Formelzeichen R_T).

Bauteile bestehen häufig aus mehreren Schichten ($i = 1, 2, 3 \dots n$), deren individuelle Wärmedurchlasswiderstände R_i alle in Reihe geschaltet sind; ihre Summe nennt man den Wärmedurchlasswiderstand R des Bauteils (von Oberfläche zu Oberfläche). Sind die Schichten in sich jeweils homogen (d.h., innerhalb einer Schicht ändern sich die thermischen Eigenschaften nicht), dann errechnet sich der Wärmedurchlasswiderstand jeder Baustoffschicht als Quotient ihrer Schichtdicke (in Metern) und der Wärmeleitfähigkeit des Materials (in $W/(m \cdot K)$), aus dem sie besteht:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad \text{für die } i\text{-te Schicht und}$$

$$R = \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} \quad \text{für die Summe aller Schichten von Oberfläche zu Oberfläche.}$$

R ist flächenspezifisch, mit der Einheit $m^2 \cdot K/W$. Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sind in Normen tabelliert. Der gesamte Wärmedurchgangswiderstand R_T eines Bauteils ergibt sich damit zu:

$$R_T = R_{si} + \sum_i R_i + R_{se} = R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad [m^2 \cdot K/W]$$

Je größer der Wärmedurchlasswiderstand bzw. der Wärmedurchgangswiderstand sind, desto größer ist die Dämmwirkung der Baustoffschicht bzw. des Bauteils. Die Vorgänge beim Wärmetransport lassen sich gut mit der Analogie zum elektrischen Strom verdeutlichen. Dabei entspricht der elektrische Strom dem Wär-

mestrom, der elektrische Widerstand dem Wärmedurchlasswiderstand einer einzelnen Baustoffschicht, oder dem Wärmedurchgangswiderstand des ganzen Bauteils als Reihenschaltung von Widerständen. Die elektrische Spannung entspricht der Temperaturdifferenz zwischen der warmen und der kalten Seite. Sie stellt das treibende Potenzial dar, aufgrund dessen es überhaupt zum Wärmetransport kommt: Herrscht auf beiden Seiten des Bauteils die gleiche Temperatur, findet kein Wärmetransport statt.

Üblich ist im Bauwesen die Verwendung des Wärmedurchgangskoeffizienten U (U-Wert) des Bauteils, welcher der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstands ist (Tafel 1).

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

Der U-Wert wird berechnet, indem die Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Schichten (jeweils Dicke geteilt durch die Wärmeleitfähigkeit) ermittelt und aufsummiert werden. Zur Summe addiert man die Wärmeübergangswiderstände auf beiden Seiten des Bauteils (Wärmestromrichtung!), und nimmt vom Ergebnis den Kehrwert (Tafel 2).

Der U-Wert gibt an, wie groß der Wärmedurchgang in Wattstunden pro Stunde und pro Quadratmeter des Bauteils ist, wenn sich die Lufttemperaturen zu beiden Seiten um 1 Kelvin (entspricht 1 ° Celsius) unterscheiden. Je kleiner der U-Wert ist, umso besser ist die Dämmwirkung des Bauteils.

Als Endergebnis ist der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) auf zwei wertanzeigende Stellen zu runden; meistens entspricht das zwei Nachkommastellen ($0,23 W/(m^2 \cdot K)$). Dies entspricht auch der Genauigkeit der Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. Zwischenergebnisse, mit denen weitergerechnet wird, etwa für die Berechnung eines ψ -Werts, können mit drei wertanzeigenden Stellen weiterverwendet werden ($0,230 W/(m^2 \cdot K)$ bzw. $0,231 W/(m^2 \cdot K)$).

Das Produkt aus dem U-Wert und der Fläche ergibt den spezifischen Transmissionswärmefluss H für die Fläche (ohne Wärmebrücken) in der Einheit W/K . Um den stationären Wärmestrom Φ durch ein Bauteil zu berechnen, wird H mit der Temperaturdifferenz zwischen der Lufttemperatur innen θ_i und der Lufttemperatur außen θ_e multipliziert. Der Bezug des Wärmestroms auf $1 m^2$ durchströmte Bauteilfläche ist die Wärmestromdichte q . Sie ist bei stationären Verhältnissen in jeder Schicht des Bauteils gleich.

Damit gilt:

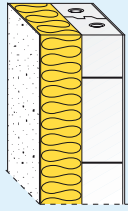
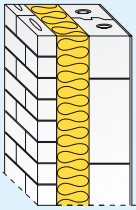
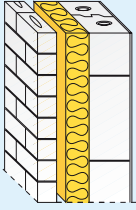
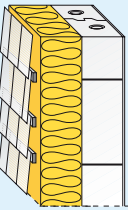
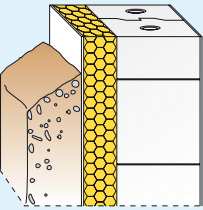
$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W/m^2]$$

Das Produkt aus U-Wert, Bauteilfläche, Lufttemperaturdifferenz und Zeitdauer t (in h) ergibt die Wärme- oder Energiemenge Q mit der Einheit Wh, die in dieser Zeit durch das Bauteil transportiert wird:

$$Q = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad [Wh]$$

Den Ausdruck $(\theta_i - \theta_e) \cdot t$ kann man für alle Tage der Heizperiode eines Jahres, an denen die mittlere Außentemperatur so niedrig liegt, dass geheizt werden muss, aufsummieren und in einem so genannten Gradtagzahlfaktor F_{Gt} ausdrücken. Für Gebäude seit der Energieeinsparverordnung 2007 (EnEV 2007) beträgt F_{Gt} $66.300 \text{ Kh/a} \approx 66 \text{ kWh/a}$. Sehr energieeffiziente Gebäude können eine niedrigere Heizgradtagzahl aufweisen. Der berechnete Energieverbrauch ist dann entsprechend geringer. Für Vergleichszwecke wird derzeit noch die Heizgradtagzahl 66 kWh/a verwendet, die zukünftig angepasst werden könnte. Die Anpassung wird dann auch die Änderung des Referenzortes (zukünftig Potsdam statt bisher Würzburg) berücksichtigen. Bei Sanierungen wird aus diesem Grund die überschlägig ermittelte Energieeinsparung derzeit noch etwas überschätzt.

Tafel 1: U-Werte von KS-Außenwänden

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m ² ·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Wärmedämmstoff nach Zulassung ~ 1 cm Außenputz (λ = 0,70 W/(m·K))
	34,5	15	0,14	0,15	0,20	0,22	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	44,5	25	0,09	0,09	0,12	0,13	
	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 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Wärmedämmung Typ WZ nach DIN 4108-10 1 cm Fingerspalt, R = 0,15 11,5 cm ³⁾ KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0) ¹⁾
	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 ²⁾	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18 ²⁾	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20 ²⁾	0,10	0,11	0,15	0,16	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand (tragende Wand), RDK 1,8 ¹⁾ Wärmedämmstoff Typ WZ nach DIN 4108-10 Luftschicht ≥ 4 cm nach DIN EN 1996-2/NA (Mörtel auf einer Hohlraumseite abgestrichen) 11,5 cm ³⁾ KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0) ¹⁾
	46,0	12 ²⁾	0,17	0,18	0,24	0,26	
	31,5	10	–	–	0,28	0,30	Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung 1 cm Innenputz (λ = 0,70 W/(m·K)) 17,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff Typ WAB nach DIN 4108-10 2 cm Hinterlüftung Fassadenbekleidung (Dicke nach Art der Bekleidung)
	33,5	12	–	–	0,24	0,26	
	37,5	16	–	–	0,18	0,20	
	41,5	20	–	–	0,15	0,16	
	46,5	25	–	–	0,12	0,13	
	51,5	30	–	–	0,10	0,11	
	52,5	10	–	–	–	0,34	Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung) 36,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,8 ¹⁾ Perimeterdämmplatten ⁴⁾ nach Zulassung oder Typ PW nach DIN 4108-10 Abdichtung
	57,5	15	–	–	–	0,25	
	62,5	20	–	–	–	0,20	
	67,5	25	–	–	–	0,17	
	52,5	10	–	–	–	0,32	Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung) 36,5 cm Kalksandsteinwand, RDK 1,4 ¹⁾ Perimeterdämmplatten ⁴⁾ nach Zulassung oder Typ PW nach DIN 4108-10 Abdichtung
	57,5	15	–	–	–	0,24	
	62,5	20	–	–	–	0,20	
	67,5	25	–	–	–	0,17	

Als Dämmung können unter Berücksichtigung der stofflichen Eigenschaften und in Abhängigkeit von der Konstruktion alle genormten oder bauaufsichtlich zugelassenen Dämmstoffe verwendet werden, z.B. Hartschaumplatten, Mineralwolleplatten.

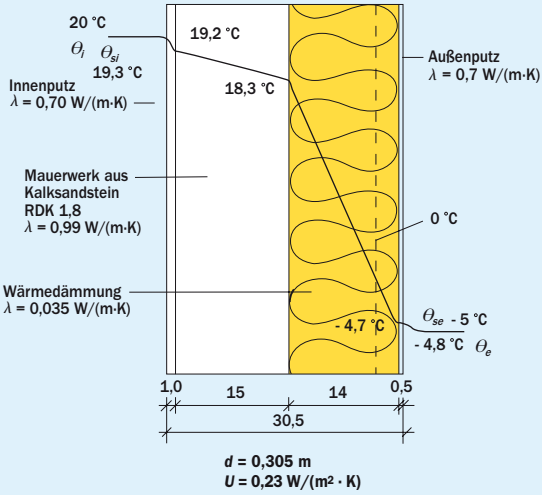
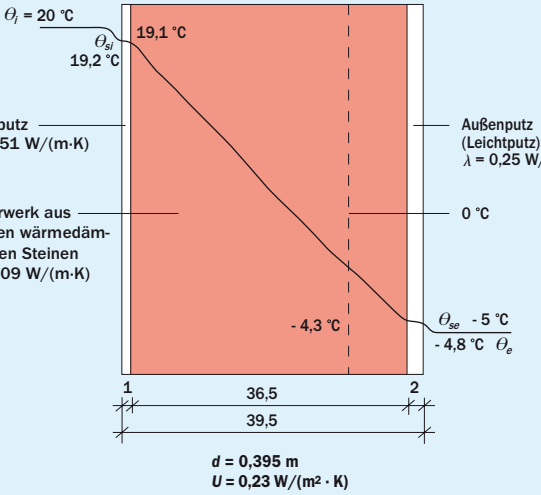
¹⁾ Bei anderen Dicken oder Steinrohdektelassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

²⁾ Bei Verwendung von bauaufsichtlich zugelassenen Ankern mit Schalenabstand ≤ 20 cm

³⁾ 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA

⁴⁾ Der Zuschlag ΔU = 0,04 W/(m·K) nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist bereits berücksichtigt.

Tafel 2: Berechnung des U-Werts von Außenwänden aus homogenen Schichten (Beispiele)

a) Einschaliges KS-Mauerwerk mit WDVS	b) Monolithische Außenwand																																																																														
																																																																															
<p>Aufbau von innen nach außen:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 cm Gipsputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,70 W/(m·K)) 15 cm Kalksandstein-Mauerwerk der RDK 1,8 (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,99 W/(m·K)) 14 cm WDVS (Polystyrol EPS 035) (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K)) 0,5 cm Kunstharzputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,70 W/(m·K)) 	<p>Aufbau von innen nach außen:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 cm Gipsleichtputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,51 W/(m·K)) 36,5 cm Mauerwerk aus leichten wärmedämmenden Steinen mit Leicht- oder Dünnbettmörtel (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit laut abZ 0,09 W/(m·K)) 2 cm Faserleichtputz ≤ 700 kg/m³ (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,25 W/(m·K)) 																																																																														
<p>Berechnung des U-Wert durch Einsetzen in die Formel:</p>																																																																															
<p>Wand a) $U = \frac{1}{0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W} + \frac{0,01 m}{0,70 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,15 m}{0,99 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,14 m}{0,035 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,005 m}{0,70 \frac{W}{m \cdot K}} + 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W}} = 0,230 \frac{W}{m^2 \cdot K} \approx 0,23 \frac{W}{m^2 \cdot K}$</p> <p>Wand b) $U = \frac{1}{0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W} + \frac{0,01 m}{0,51 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,365 m}{0,09 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,02 m}{0,25 \frac{W}{m \cdot K}} + 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W}} = 0,231 \frac{W}{m^2 \cdot K} \approx 0,23 \frac{W}{m^2 \cdot K}$</p>																																																																															
<p>Berechnung des U-Werts mit Hilfe der Arbeitshilfe U-Wert-Berechnung [3]</p>																																																																															
<p>Einschalige KS-Außenwand mit WDVS</p> <table border="1" data-bbox="143 1680 766 1971"> <thead> <tr> <th></th> <th>RDK [-]</th> <th>d [cm]</th> <th>λ [W/(m·K)]</th> <th>d/λ [W/(m²·K)]</th> <th>θ 20,0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Wärmeübergangswiderstand R_{si} =</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,130</td> <td>19,3</td> </tr> <tr> <td>Innenputz</td> <td></td> <td>1,0</td> <td>0,70</td> <td>0,014</td> <td>19,2</td> </tr> <tr> <td>Kalksandstein</td> <td>1,8</td> <td>15</td> <td>0,99</td> <td>0,152</td> <td>18,3</td> </tr> <tr> <td>Wärmedämmung</td> <td></td> <td>14</td> <td>0,035</td> <td>4,000</td> <td>-4,7</td> </tr> <tr> <td>Außenputz</td> <td></td> <td>0,5</td> <td>0,70</td> <td>0,007</td> <td>-4,8</td> </tr> <tr> <td>Wärmeübergangswiderstand R_{se} =</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,040</td> <td>-5,0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">$R = 4,343$ $U = 0,230$</p>		RDK [-]	d [cm]	λ [W/(m·K)]	d/λ [W/(m²·K)]	θ 20,0	Wärmeübergangswiderstand R_{si} =				0,130	19,3	Innenputz		1,0	0,70	0,014	19,2	Kalksandstein	1,8	15	0,99	0,152	18,3	Wärmedämmung		14	0,035	4,000	-4,7	Außenputz		0,5	0,70	0,007	-4,8	Wärmeübergangswiderstand R_{se} =				0,040	-5,0	<p>Monolithische Außenwand</p> <table border="1" data-bbox="829 1680 1436 1937"> <thead> <tr> <th></th> <th>RDK [-]</th> <th>d [cm]</th> <th>λ [W/(m·K)]</th> <th>d/λ [W/(m²·K)]</th> <th>θ 20,0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Wärmeübergangswiderstand R_{si} =</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,130</td> <td>19,2</td> </tr> <tr> <td>Innenputz</td> <td></td> <td>1</td> <td>0,51</td> <td>0,020</td> <td>19,1</td> </tr> <tr> <td>Mauerwerk</td> <td>0,6</td> <td>36,5</td> <td>0,09</td> <td>4,056</td> <td>-4,3</td> </tr> <tr> <td>Außenputz</td> <td></td> <td>2</td> <td>0,25</td> <td>0,080</td> <td>-4,8</td> </tr> <tr> <td>Wärmeübergangswiderstand R_{se} =</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,040</td> <td>-5,0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">$R = 4,326$ $U = 0,231$</p>		RDK [-]	d [cm]	λ [W/(m·K)]	d/λ [W/(m²·K)]	θ 20,0	Wärmeübergangswiderstand R_{si} =				0,130	19,2	Innenputz		1	0,51	0,020	19,1	Mauerwerk	0,6	36,5	0,09	4,056	-4,3	Außenputz		2	0,25	0,080	-4,8	Wärmeübergangswiderstand R_{se} =				0,040	-5,0
	RDK [-]	d [cm]	λ [W/(m·K)]	d/λ [W/(m²·K)]	θ 20,0																																																																										
Wärmeübergangswiderstand R_{si} =				0,130	19,3																																																																										
Innenputz		1,0	0,70	0,014	19,2																																																																										
Kalksandstein	1,8	15	0,99	0,152	18,3																																																																										
Wärmedämmung		14	0,035	4,000	-4,7																																																																										
Außenputz		0,5	0,70	0,007	-4,8																																																																										
Wärmeübergangswiderstand R_{se} =				0,040	-5,0																																																																										
	RDK [-]	d [cm]	λ [W/(m·K)]	d/λ [W/(m²·K)]	θ 20,0																																																																										
Wärmeübergangswiderstand R_{si} =				0,130	19,2																																																																										
Innenputz		1	0,51	0,020	19,1																																																																										
Mauerwerk	0,6	36,5	0,09	4,056	-4,3																																																																										
Außenputz		2	0,25	0,080	-4,8																																																																										
Wärmeübergangswiderstand R_{se} =				0,040	-5,0																																																																										
<p>Endergebnis: $U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$</p>	<p>Endergebnis: $U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$</p>																																																																														

Will man vor Ort beim Beratungstermin vereinfacht die Endenergiemenge abschätzen, die durch eine energetische Sanierung eines Bauteils gegen Außenluft pro Jahr eingespart werden kann, kann man die folgende Faustformel benutzen:

Brennstoffeinsparung $\approx \Delta U \cdot A \cdot F_{Gt} / (H_i \cdot \eta)$ in Liefereinheiten pro Jahr (z.B. Liter Öl/a bzw. m³ Erdgas/a)

mit $\Delta U = U_{vorher} - U_{nachher}$

- A = Zu sanierende Bauteilfläche
- F_{Gt} = Gradtagzahlfaktor; hängt vom Dämmniveau des Gebäudes ab, weil in schlechter gedämmten Gebäuden länger geheizt werden muss. Für Gebäude mit heute üblichem Dämmniveau ist F_{Gt} ca. 66 kWh/a. Für ältere Gebäude, deren Dämmniveau in etwa der WSV0 95 entspricht, kann ein F_{Gt}-Wert von etwa 75 kWh/a angesetzt werden; für Gebäude, die dem Dämmniveau der WSV0 82 oder etwas schlechter entsprechen, ein F_{Gt} von etwa 84 kWh/a.
- H_i = Heizwert (Energieinhalt; frühere Bezeichnung: unterer Heizwert H_u) des Energieträgers: z.B. für leichtes Heizöl EL ca. 10 kWh/l, für Erdgas H ca. 10 kWh/m³; für Holzpellets ca. 5 kWh/kg
- η = Jahreswirkungsgrad der Heizanlage, wobei mit folgenden Werten gerechnet werden kann: Öl- oder Gasheizung 0,9; Fernwärme 1,0; Holzpelletsheizung 0,8

Beispiel:

Nachträgliche Wärmedämmung von 48 m² Außenwand (36,5 cm Kalksandsteine der RDK 1,4; λ = 0,70 W/(m·K) mit 14 cm WDVS. U-Wert der Altwand im Ausgangszustand: U_{vorher} = 1,4 W/(m²·K) (1,38 W/(m²·K)). U-Wert mit zusätzlich 14 cm WDVS und 1 cm Kunstharzputz: U_{nachher} = 0,21 W/(m²·K). Dämmniveau WSV0 82, Heizung Heizöl bzw. Erdgas. Die mögliche Brennstoffeinsparung durch diese energetische Sanierung ergibt sich überschlägig zu

Brennstoffeinsparung $\approx (1,38 - 0,21) \cdot 48 \cdot 84 / (10 \cdot 0,9)$
 ≈ 520 Liter Heizöl bzw. m³ Gas pro Jahr.

3.2 Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit λ eines Stoffs gibt an, wie viel Wärme pro Zeiteinheit durch

1 m² einer 1 m dicken Schicht des Stoffs strömt, wenn der Temperaturunterschied zwischen den Oberflächentemperaturen zu beiden Seiten 1 K beträgt. Sie ist abhängig von Temperatur, Dichte, Feuchte und Struktur des untersuchten Stoffs. Die Temperaturabhängigkeit wird im Bauwesen üblicherweise vernachlässigt und die Wärmeleitfähigkeit für definierte Bedingungen als Stoffkonstante angegeben. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit, umso besser dämmt das Material (Bild 4).

Zur Berechnung des U-Werts werden für die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe nicht Messwerte oder Nennwerte verwendet, sondern so genannte Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. Sie gelten für den langfristigen Gebrauchszustand des Baustoffs und für baupraktisch zu erwartende Feuchtegehalte. Messwerte hingegen, werden an fabrikfrischem und trockenem Material ermittelt.

Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit beinhaltet einen Zuschlag zur Berücksichtigung des baupraktischen Feuchtegehalts des Materials sowie für den Einfluss der Alterung etc. Bemessungswerte werden offiziell festgelegt und veröffentlicht.

Die Bemessungswerte für die Anwendung in Deutschland (Tafel 3) finden sich tabelliert in DIN 4108-4 und in DIN EN ISO 10456 sowie in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ).

Die Verwendung von Mess- oder Nennwerten stellt einen Planungsfehler dar, weil

solche Werte keine Korrekturen für Feuchtigkeit und Alterung enthalten. Tafel 3 listet eine Auswahl von Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl der Stoffe auf.

3.3 Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerk nach harmonisierten europäischen Normen

Seit 2006 werden Mauersteine zum Handel in Europa mit dem CE-Zeichen und einem Nennwert der Wärmeleitfähigkeit versehen. Der Nennwert wird entweder für einen einzelnen Stein oder für Mauerwerk aus diesen Steinen inklusive Mörtelfugen angegeben. Für die Anwendung in Deutschland regelte erstmalig DIN V 4108-4:2007-06 die Umrechnung des im CE-Zeichen deklarierten Nennwerts der Wärmeleitfähigkeit in einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit. Durch die Aufnahme von DIN V 4108-4:2007-06 in die Liste der eingeführten technischen Baubestimmungen (ETB-Liste) ist das im Anhang A der Norm angegebene Verfahren zu verwenden, um den Nenn- in einen Bemessungswert umzurechnen, wenn der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit nicht nach Tabelle 1 der Norm vereinfacht anhand der Rohdichte ermittelt werden kann. Für die Normausgabe DIN 4108-4:2013-02 wurden nur redaktionelle Änderungen am beschriebenen Verfahren aufgenommen. Mit der Aufnahme von DIN 4108-4 in die Liste der eingeführten technischen Baubestimmungen ist noch im Jahr 2013 zu rechnen.

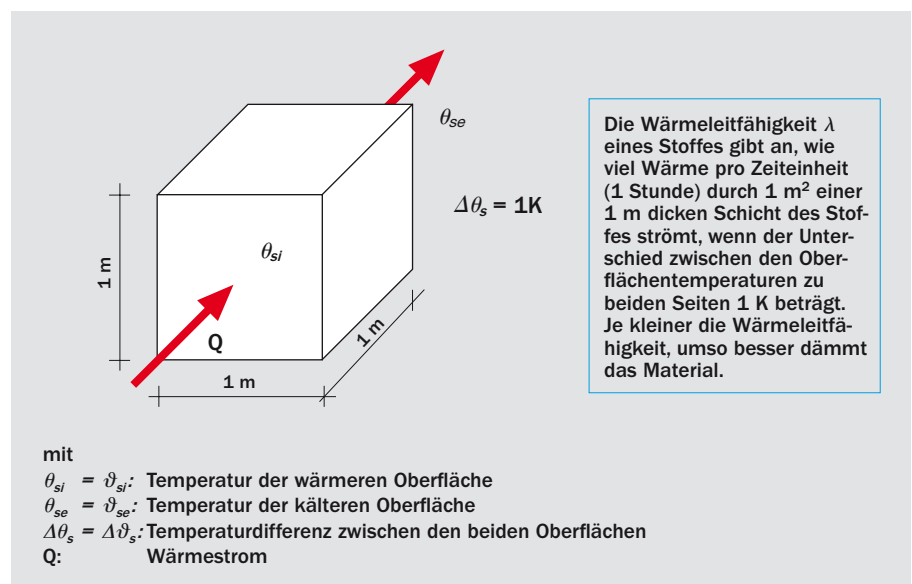


Bild 4: Wärmeleitfähigkeit

Tafel 3: Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von ausgewählten Stoffen aus DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456

Stoff	Rohdichte ¹⁾ ρ [kg/m ³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl ²⁾ μ	
1. Kalksandstein-Mauerwerk und Kalksandstein-Produkte				
1.1. Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach DIN V 106 und Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402	1.200	0,56	5/10	
	1.400	0,70		
	1.600	0,79	15/25	
	1.800	0,99		
	2.000	1,10		
1.2. Wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine (KS-Wärmedämmsteine) nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	1.000	0,27	5/10	
	1.200	0,33		
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	1,00	15/35	
2.2 Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	1.400	0,70	10	
2.3 Leichtputz	≤ 700	0,25	15/20	
	≤ 1.000	0,38		
	≤ 1.300	0,56		
2.4 Gipsputz ohne Zuschlag	1.200	0,51	10	
2.5 Normalmauermörtel NM	1.800	1,20	15/35	
2.6 Leichtmauermörtel nach DIN EN 1996/NA	≤ 700	0,21	15/35	
	≤ 1.000	0,36		
2.7 Dünnbettmörtel DM	1.600	1,00	15/35	
2.8 Zementestrich	2.000	1,40	15/35	
2.9 Anhydritestrich	2.100	1,20	15/35	
2.10 Stahlbeton	Bewehrungsgrad 1 %	2,30	80/130	
	Bewehrungsgrad 2 %	2,50		
3. Sonstige Stoffe				
3.1 Trockene, ruhende Luft	1,23	0,025	1	
3.2 Bauglas (Natronglas einschließlich Floatglas)	2.500	1,00	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	0,13	20/50	
	700	0,18	50/200	
3.7 OSB Platten	650	0,13	30/50	
3.8 Spanplatten	600	0,14	15/50	
4. Wärmedämmstoffe				
	Typischer Rohdichtebereich ⁵⁾ ρ [kg/m ³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]		Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl ²⁾ μ
		Kategorie 1 ³⁾	Kategorie 2 ⁴⁾	
4.1 Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162	20 – 200	0,036 – 0,060	0,030 – 0,050	1
4.2 Expandiertes Polystyrol (EPS) n. DIN EN 13163	15 – 30	0,036 – 0,060	0,030 – 0,050	20/100
4.3 Extrudiertes Polystyrol (XPS) nach DIN EN 13164	20 – 45	0,031 – 0,048	0,026 – 0,040	80/250
4.4 Polyurethan-Hartschaum (PUR) nach DIN EN 13165 ⁵⁾	30 – 100	0,024 – 0,048	0,020 – 0,045	40/200
4.5 Phenolharz-Hartschaum (PF) nach DIN EN 13166	40	0,024 – 0,042	0,020 – 0,035	10/60
4.6 Schaumglas (CG) nach DIN EN 13167	90 – 220	0,046 – 0,066	0,038 – 0,055	dampfdicht
4.7 Holzwolle-Leichtbauplatten (WW) nach DIN EN 13168	350 – 600	0,072 – 0,12	0,060 – 0,10	2/5
4.8 Blähperlit (EPB) nach DIN EN 13169	90 – 490	0,054 – 0,078	0,045 – 0,065	5
4.9 Expandierter Kork (ICB) nach DIN EN 13170	10 – 220	0,049 – 0,067	0,040 – 0,055	5/10
4.10 Holzfaserdämmstoff (WF) nach DIN EN 13171	30 – 230	0,043 – 0,072	0,032 – 0,060	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⁾ Die angegebenen Wärmeleitfähigkeiten λ berechnen sich für europäisch genormte Dämmstoffe mit bestandener Erstprüfung (ITT) aus den deklarierten Werten λ_D mittels $\lambda = \lambda_D \cdot 1,2$ (außer für Zeilen 4.9 und 4.10, dort ist zusätzlich der Einfluss der Feuchte eingerechnet).

⁴⁾ Die angegebenen Wärmeleitfähigkeiten λ berechnen sich für Dämmstoffe mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung und nationaler Überwachung aus den Grenzwerten λ_{Grenz} mittels $\lambda = \lambda_{Grenz} \cdot 1,05$.

⁵⁾ Werte marktabhängiger Produkte [4]

Die Deklaration der Nennwerte der Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerk für das CE-Zeichen erfolgt nach DIN EN 771 in Verbindung mit DIN EN 1745. Die deklarierten Werte gelten für den trockenen Zustand des Materials und enthalten meistens den Einfluss des Fugenmörtels. Ist kein Fugenmaterial aus der Deklaration ersichtlich, ist davon auszugehen, dass es sich um den Nennwert des Steins ohne Mörtel einfluss handelt. Die Umrechnung vom Nennwert des Steins auf den Nennwert des Mauerwerks mit einem konkreten Fugenmaterial und weiter zum Bemessungswert ist in Anhang A.3 von DIN V 4108-4:2007-06 (bzw. DIN 4108-4:2013-02) geregelt.

Alle in Deutschland verwendeten Mauersteine müssen nach den europäischen Verfahren gekennzeichnet sein. Sie entsprechen entweder den jeweiligen deutschen Mauersteinnormen (bei diesen Steinen kann der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks direkt aus Tabelle 1 der DIN 4108-4:2013-02 entnommen werden, je nach Rohdichteklasse des Mauerwerks) oder sind allgemein bauaufsichtlich zugelassen. In diesem Fall legt die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks fest. Diese Bemessungswerte können ohne weitere Umrechnung verwendet werden.

3.4 Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen nach den harmonisierten europäischen Normen DIN EN 13162 bis DIN EN 13171

In DIN 4108-4 ist beschrieben, wie bei Dämmstoffen für den Hochbau nach den harmonisierten europäischen Normen DIN EN 13162 bis 13171 der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für die Anwendung in Deutschland festgelegt wird. Dies betrifft praktisch alle „klassischen“ werkgefertigten Dämmstoffe (Mineralwolle MW, expandiertes Polystyrol EPS, extrudiertes Polystyrol XPS, Polyurethan-Hartschaum PUR, Phenolharzschaum PF, Schaumglas CG, Holzwolle WW, Bläherlit EPB, expandierter Kork ICB, Holzfasern WF). Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für andere Dämmstoffe, für nicht genormte Einsatzbereiche (zu denen z.B. WDVS und Perimeterdämmung im Grundwasser gehören) oder für Eigenschaftsprofile von Dämmstoffen außerhalb der Normen (z.B. erhöhte Druckfestigkeit) werden in einer eigenen Tabelle in DIN 4108-4, in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) oder in bauaufsichtlichen Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) geregelt. Dämmstoffe mit einer Europäischen Technischen Zu-

lassung (ETA) brauchen noch eine (deutsche) allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, weil nicht alle Anforderungen in der ETA abgedeckt sind. Bei Dämmstoffen, die den harmonisierten europäischen Normen entsprechen, deklariert der Hersteller diese Übereinstimmung und kennzeichnet seine Produkte mit dem CE-Zeichen. Das CE-Zeichen ist kein Qualitätssiegel, sondern Zeichen der Übereinstimmung mit den harmonisierten europäischen Normen. Produkte mit dem CE-Zeichen dürfen in Europa gehandelt werden; die Verwendung der Produkte ist jedoch weiterhin national geregelt.

Da die europäischen Dämmstoffnormen keine Fremdüberwachung durch eine unabhängige, dritte Stelle vorschreiben, unterscheidet DIN 4108-4 bei den Dämmstoffen nach harmonisierten Normen zwei Kategorien:

Kategorie 1
Dämmstoffe, die nicht fremdüberwacht sind, und lediglich mit einem (europäischen) Nennwert der Wärmeleitfähigkeit deklariert sind.

Kategorie 2
In dieser Kategorie befinden sich Dämmstoffe, die zusätzlich zur CE-Kennzeichnung eine (deutsche) allgemeine bauaufsichtliche Zulassung haben, in der immer eine regelmäßige Fremdüberwachung durch eine unabhängige, dritte Stelle vorgeschrieben ist. Vorteil für den Hersteller ist der signifikant niedrigere Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit, der sein so zugelassenes Produkt angesetzt werden darf.

Praktisch alle in Deutschland in nennenswertem Umfang verkauften Dämmstoffe fallen in die Kategorie 2. Produkte mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erkennt man am aufgedruckten oder auf dem beigelegten Etikett angebrachten Überwachungszeichen (Ü-Zeichen) zusätzlich zum CE-Zeichen (Bild 5). Auf dem Etikett sind häufig sowohl der Nennwert (für den Handel in Europa) sowie der Grenz- wert und/oder der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit nach Zulassung (für die Anwendung in Deutschland) angegeben. Wichtig für den Anwender ist, dass er für eine wärmeschutztechnische Berechnung immer vom Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit ausgeht.

Für Produkte, die ausschließlich ein CE-Zeichen tragen, muss der auf dem Etikett deklarierte Nennwert der Wärmeleitfähigkeit mit 1,2 multipliziert werden, um den Bemessungswert zu erhalten.

Außerdem ist auf dem Etikett der Bezeichnungsschlüssel des Dämmstoffs angegeben, der die nach der Produktnorm deklarierten Eigenschaften in Kurzform enthält. Ebenfalls vermerkt ist der Anwendungstyp des Dämmstoffs nach DIN 4108-10. Der Dämmstoff darf nur für diese Anwendungsfälle eingesetzt werden.



Bild 5: Beispiel eines Etiketts eines EPS-Dämmstoffs für die Anwendung als Dämmschicht in zweischaligem Mauerwerk (Anwendungstyp WZ) einer fiktiven Firma „Super Dämmung“ mit Überwachung durch das FIW München

3.5 Perimeterdämmung

Als Perimeterdämmung bezeichnet man die außenseitige Wärmedämmung von erdberührten Bauteilen, wie Kellerwände und Kellerböden. Dabei wird der Wärmedämmstoff auf der Außenseite des Bauteils außerhalb der Bauwerksabdichtung angebracht. Der Wärmedämmstoff ist in dieser Anwendung ständig in Kontakt mit dem anstehenden Erdreich, mit Niederschlagswasser, dem Erddruck und bei manchen Anwendungsfällen auch mit dem Grundwasser. Deshalb werden an die Dämmstoffe für diese Anwendung hohe Anforderungen gestellt. Der Vorteil der Perimeterdämmung ist, dass Tauwasseranfall auf der Innenseite der Kellerwand und des Kellerbodens verhindert, die Bauwerksabdichtung mechanisch geschützt, Wärmebrücken vermieden und die Energieverluste gesenkt werden. Perimeterdämmungen sind unter bestimmten Randbedingungen genormte Ausführungen oder in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt.

In ständig drückendem Wasser dürfen derzeit nur Schaumglas (bis 12 m Tiefe) und extrudiertes Polystyrol (XPS) (bis 7 m Tiefe) eingesetzt werden. Außer bei Schaumglas muss der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für Perimeterdämmung korrigiert werden, um den Feuchteinfluss zu berücksichtigen. Bei expandiertem Polystyrol (EPS) und Polyurethan (PUR) muss der Feuchteinfluss immer berücksichtigt werden, bei XPS nur beim Einsatz im Grundwasser. Weitergehende Festlegungen finden sich in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen. Unter der tragenden Gründungsplatte dürfen nur spezielle Qualitäten von Schaumglas, XPS-Hartschaum und EPS-Hartschaum eingesetzt werden, die dafür geeignet und bauaufsichtlich zugelassen sind. Unter Streifenfundamenten darf keine Dämmung angeordnet werden, da die Dämmstoffe dafür nicht ausreichend tragfähig sind. Die senkrechte Perimeterdämmung der erdberührten Außenwand und die waagerechte Perimeterdämmung unter einer lastabtragenden Bodenplatte/Sohlplatte können lückenlos ineinander übergehen, d.h., das Prinzip „durchgehende Dämmebene“ zur Verminderung von Wärmebrücken kann für so geplante Neubauten gut eingehalten werden. Die Wärmeverluste an solch lückenlosen Anschlüssen sind deutlich geringer als bei perimetergedämmten Bodenplatten auf Streifenfundamenten, bei denen das Streifenfundament die durchgehende Dämnhülle unterbricht.

3.6 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten

Zur Berechnung des U-Werts eines Bauteils werden nicht nur Wärmedurchlasswiderstände von Materialschichten, sondern auch von innenliegenden Luftschichten angesetzt. Tabellen und Formeln dazu finden sich in DIN EN ISO 6946. Die Norm unterscheidet Lufträume nach ihren Abmessungen in Luftschichten (deren Breite und Länge jeweils mehr als das 10-fache der in Wärmestromrichtung gemessenen Dicke beträgt) und in Luftspalte (deren Breite oder Länge mit der Dicke vergleichbar ist).

Sehr schmale Luftspalte in Wärmestromrichtung, wie beispielsweise die kleinen Spalte in der Nut- und Federausprägung von Mauersteinen, mit Breite oder Länge deutlich kleiner als die Dicke, werden von DIN EN ISO 6946 nicht erfasst.

Luftschichten werden in DIN EN ISO 6946 nach der Art ihrer Belüftung nach den folgenden Kriterien unterschieden:

3.6.1 Ruhende Luftschicht, z.B. Fingerspalt in zweischaligem Mauerwerk mit Wärmedämmung

Eine ruhende Luftschicht ist von der Umgebung so abgeschlossen, dass der Querschnitt eventuell vorhandener Öffnungen 5 cm² pro Meter Länge nicht überschreitet und kein Luftstrom durch die Schicht möglich ist. Einzelne unvermörtelte Stoßfugen als Entwässerungsöffnungen in Vor-

mauerschalen erfüllen diese Forderungen. Sind sie die einzigen Öffnungen in der Vormauerschale, gilt die Luftschicht dahinter als ruhend und darf bei der Ermittlung des U-Werts vollständig angesetzt werden. Der Fingerspalt bei der Wärmedämmung wird in der Regel als ruhende Luftschicht ausgebildet und trägt einen Wärmedurchlasswiderstand von $R = 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ (bei 10 mm Dicke entspricht das der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit $0,067 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) zum U-Wert der wärmegeämmten Wand bei. Der Wärmedurchlasswiderstand ruhender Luftschichten ist je nach Dicke, Neigung und Wärmestromrichtung unterschiedlich. Neigungen von über 60° gegenüber der Waagerechten zählen als senkrechte, geringere Neigungen als waagerechte Luftschicht. Die in der Norm tabellierten Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit von Luftschichten berücksichtigen neben dem Wärmetransport in der stehenden Luft selbst auch den Wärmetransport durch Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) und durch Luftbewegung (Konvektion) innerhalb des Hohlraums. Wenn in einem Berechnungsprogramm für den U-Wert nur die Wärmeleitfähigkeit der Schichten eingegeben werden kann, muss diese „rückwärts“ als Quotient aus ihrer Dicke d und ihrem Wärmedurchlasswiderstand R berechnet werden. Bereits ausgerechnete Werte sind in Tafel 4 angegeben

$$\text{mit } \lambda_{eq} = \frac{d}{R} \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

Tafel 4: Bemessungswerte des Wärmedurchlasswiderstands R und der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit λ_{eq} von ruhenden Luftschichten nach DIN EN ISO 6946, für angrenzende Oberflächen aus üblichen Baustoffen (Emissionskoeffizienten $\varepsilon = 0,9$ beider angrenzenden Oberflächen)

Dicke der Luftschicht [mm]	Richtung des Wärmestroms					
	aufwärts		horizontal		abwärts	
	R [m ² ·K/W]	λ_{eq} [W/(m·K)]	R [m ² ·K/W]	λ_{eq} [W/(m·K)]	R [m ² ·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.

3.6.2 Schwach belüftete Luftschicht

Schwach belüftete Luftschichten haben Öffnungen zwischen 5 und 15 cm² je Meter Länge. Die Belüftung der Schicht hängt direkt mit der Größe und der Verteilung der Öffnungen zusammen. Näherungsweise kann der Wärmedurchlasswiderstand eines Bauteils mit einer solchen Luftschicht nach der folgenden Formel berechnet werden:

$$R_T = \frac{1.500 - A_V}{1.000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_V - 500}{1.000} \cdot R_{T,v}$$

mit

A_V Querschnittsfläche der Öffnung in mm²

$R_{T,u}$ Wärmedurchlasswiderstand des gesamten Bauteils mit einer ruhenden Luftschicht (R-Wert siehe Tafel 4)

$R_{T,v}$ Wärmedurchlasswiderstand des gesamten Bauteils mit einer stark belüfteten Luftschicht (siehe folgenden Abschnitt 3.6.3)

Als gute Näherung für den Wärmedurchlasswiderstand einer schwach belüfteten Luftschicht kann alternativ ein Wert verwendet werden, der halb so groß ist wie für eine ruhende Luftschicht. Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit beträgt damit das Doppelte wie für eine ruhende Luftschicht gleicher Dicke.

3.6.3 Stark belüftete Luftschicht

Wenn der Querschnitt der Öffnungen 15 cm² je Meter Länge überschreitet, gelten Luftschichten als stark belüftet. Beispiele hierfür sind Luftschichten hinter vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF), Luftschichten in zweischaligen Wänden mit Wärmedämmung und belüfteter Luftschicht oder Hinterlüftungsebenen im Dach. Solche Luftschichten sowie alle Bauteilschichten, die außerhalb dieser Schicht angeordnet sind, werden bei der Berechnung des U-Werts nicht weiter berücksichtigt. Stattdessen wird für den äußeren Wärmeübergangswiderstand – an der Innenseite der Hinterlüftungsebene – der Wert für ruhende Luft verwendet, also der Wert des raumseitigen Wärmeübergangswiderstands (Tafel 5).

3.7 Wärmeübergangswiderstände

Bei der U-Wert-Berechnung werden für die Wärmeübergangswiderstände an der inneren (R_{si}) und äußeren (R_{se}) Bauteiloberfläche die tabellierten Bemessungswerte aus DIN EN ISO 6946 verwendet. Dabei wird nach der Richtung des Wärmestroms unterschieden. Geneigte Bauteile und Dä-

Tafel 5: Thermisch wirksame Schichten und Wärmeübergangswiderstände verschiedener Außenwandkonstruktionen

Bauteil	Systemskizze	Thermisch wirksame Schichten	Wärmeübergangswiderstand		Luftschicht
			außen R_{se}	innen R_{si}	
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

cher mit einer Neigung kleiner als 60° gegenüber der Waagerechten werden wie waagerechte Bauteile behandelt. Ist die Neigung 60° oder größer, dann werden sie wie senkrechte Bauteile behandelt. Tafel 6 sowie Bild 6 zeigen die Zuordnung der jeweils zu verwendenden Werte für einzelne Bauteile abhängig von der baulichen Situation für den Winterfall (Wärmestromrichtung von innen nach außen). Für Bauteile im Inneren des Gebäudes, die Teil der thermischen Gebäudehülle sind, wird auf beiden Seiten der gleiche Wärmeübergangswiderstand R_{si} angesetzt. Gleiches gilt für stark belüftete Luftschichten. Hier darf an der Außenseite der letzten wärmetechnisch wirksamen Schicht der Wärmeübergangswiderstand der Innenoberfläche angesetzt werden.

Für Flächen gegen Erdreich und andere Flächen mit direktem Kontakt zu Feststoffen beträgt der Wärmeübergangswiderstand 0 (Null). Für wechselnde Wärmestrom-

richtungen (z.B. bei einer dynamischen Gebäudesimulation für den Sommerfall) oder für den U-Wert von Bauteilen, deren Einbaulage nicht vorab bekannt ist, wird empfohlen, die Werte wie für senkrechte Wände zu verwenden. Für die Überprüfung eines Bauteils auf Kondensat- oder Tauwasserausfall nach DIN 4108-3 (klima-bedingter Feuchteschutz) bzw. DIN 4108-2 Abschnitt 6 (Wärmebrücken) gelten jeweils die dort angegebenen Wärmeübergangswiderstände. Zum direkten Vergleich der Dämmleistung von Bauteilen empfiehlt es sich, statt des U-Werts den Wärmedurchlasswiderstand der Bauteile zu verwenden, da er unabhängig von der Einbausituation ist.

3.8 U-Wert von Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten

Besteht das Bauteil aus homogenen und inhomogenen Schichten, bzw. hat es unterschiedliche nebeneinanderliegende Bereiche (z.B. Sparren und Gefach bei Dä-

Tafel 6: Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände für die Berechnung des U-Werts nach DIN EN ISO 6946 für verschiedene Bauteile, für den Winterfall (Wärmestromrichtung von innen nach außen)

Zeile	Bauteil	Wärmeübergangswiderstand	
		innen R_{si} [m ² ·K/W]	außen R_{se} [m ² ·K/W]
1	Außenwände (ausgenommen Außenwände aus Zeile 2); nicht hinterlüftete geneigte Dächer mit Neigung $\geq 60^\circ$	0,13	0,04
2	Außenwände mit einer hinterlüfteten Bekleidung, Abseitenwände zum ungedämmten Dachraum; hinterlüftete geneigte Dächer mit Neigung $\geq 60^\circ$	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 $< 60^\circ$, 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

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.

chern; Betonstütze in einer Mauerwerkswand), muss zur Berechnung des U-Wertes das so genannte „vereinfachte Verfahren“ nach DIN EN ISO 6946 angewendet werden. Die früher übliche, flächenanteilige Mittelung der U-Werte nebeneinander liegender Bereiche ist nicht zulässig und stellt einen Planungsfehler dar. Die flächenanteilige Berücksichtigung der Sparren oder Stützen liefert zu niedrige und damit zu günstige U-Werte.

Die Berechnung des U-Werts eines zusammengesetzten Bauteils bzw. eines Bauteils aus homogenen und inhomogenen Schichten erfolgt sinnvollerweise mit einem Berechnungsprogramm [5]. Das Verfahren der DIN EN ISO 6946 ist vereinfacht im Vergleich zu genauen, zwei- oder dreidimensionalen numerischen Computerverfahren, die ansonsten zur Berechnung des U-Werts eines solchen Bauteils verwendet werden müssten. Nicht anwendbar ist das vereinfachte Verfahren, wenn die Dämmschichten eine Wärmebrücke aus Metall enthalten oder nebeneinander liegende Bereiche sehr unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten besitzen. Genauere Werte des Wärmedurchgangskoeff-

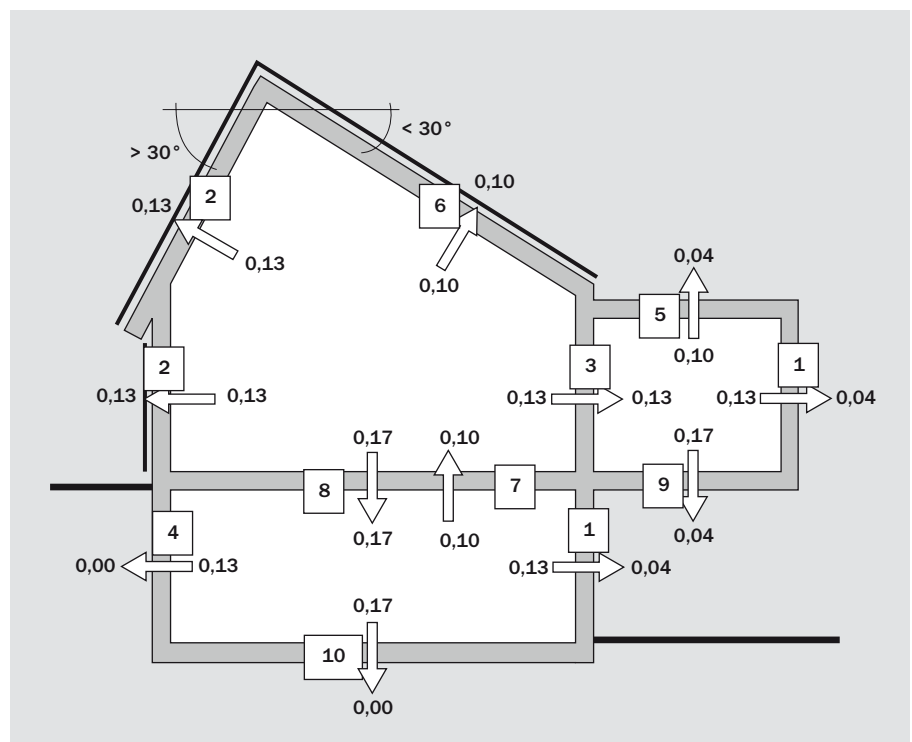


Bild 6: Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände für die Berechnung des U-Werts nach DIN EN ISO 6946 für verschiedene Bauteile, für den Winterfall (Wärmestromrichtung von innen nach außen). Die Zahlen in den Kästchen verweisen auf die Zeilennummern aus Tafel 6.

fizienten erhält man durch Berechnungen mit numerischen Verfahren nach DIN EN ISO 10211. Solche computergestützten Berechnungen sind auch zur Ermittlung der Oberflächentemperaturen an Wärmebrücken und somit zur Bewertung des Kondensationsrisikos erforderlich.

3.9 U-Wert-Korrekturen

3.9.1 Vorsprünge

Nach DIN EN ISO 6946 dürfen Vorsprünge in ansonsten ebenen Oberflächen (z.B. überstehende Pfeiler) bei der Berechnung des Wärmedurchgangswiderstands vernachlässigt werden, wenn sie aus einem Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von höchstens 2,5 W/(m·K) bestehen. Ist die Wärmeleitfähigkeit des Vorsprungs größer, und das Bauteil nicht wärmegeklämt, wird der Vorsprung übermessen aber dafür an der betroffenen Fläche der Wärmeübergangswiderstand mit dem Verhältnis aus der projizierten Fläche und der abgewinkelten Fläche des Vorsprungs multipliziert.

$$R_{sp} = R_s \cdot \frac{A_p}{A}$$

mit

R_{sp} Wärmeübergangswiderstand an der projizierten Fläche des Vorsprungs

R_s Wärmeübergangswiderstand eines normalen, ebenen Bauteils

A_p Projizierte Fläche des Vorsprungs

A Abgewinkelte Fläche des Vorsprungs

3.9.2 Luftspalte in der Dämmebene;

Umkehrdächer

Der berechnete Wärmedurchgangskoeffizient U ist entsprechend der nachfolgenden Formel aus DIN EN ISO 6946 zu erhöhen, um die Einflüsse der Luftspalte in der Dämmebene (Index g für gaps), mechanischen Befestigungselementen (Index f für fasteners) und Unterlaufen von Umkehrdämmungen durch Regen (Index r für rain) zu berücksichtigen. Für die Berechnung des Energiebedarfs wird der U-Wert U_c inklusive der Korrekturen verwendet. Die Korrekturen treten in der Regel nicht gleichzeitig für dasselbe Bauteil auf, sondern kommen meist in unterschiedlichen Bauteilsituationen zum Tragen. Ist die Gesamtkorrektur für alle drei Aspekte zusammen geringer als 3 % des U-Wertes im ungestörten Bereich, so braucht nicht korrigiert zu werden.

$$U_c = U + \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

Die Korrektur für Luftspalte in der Dämmebene kommt nicht zum Tragen, wenn keine oder nur kleine, vereinzelte Luftspalte zwischen den Dämmplatten oder zwischen den Dämmplatten und den angrenzenden Baustoffen vorhanden sind. Dies ist u.a. dann anzunehmen, wenn

- einlagig verlegte Dämmplatten mit Stufenfalzen oder Nut-und-Feder-Verbindungen oder abgedichteten Fugen versehen sind, oder wenn
- einlagig verlegte Dämmplatten mit stumpfen Stößen so verlegt sind, dass nur Spalte von weniger als 5 mm Breite zwischen den Dämmplatten auftreten (oder eventuell auftretende, breitere Spalte mit Dämmstoff verfüllt werden), oder wenn
- die Dämmung mehrlagig mit versetzten Fugen verlegt ist, und in allen Fällen die Dämmung guten Kontakt zum Bauwerk aufweist.

Bei der Planung von Gebäuden darf davon ausgegangen werden, dass die spätere Ausführung fachgerecht erfolgt. Bei fachgerechter Ausführung von Dämmarbeiten werden üblicherweise die vorgenannten Bedingungen eingehalten. Somit braucht hier keine Korrektur für Luftspalte innerhalb der Dämmebene durchgeführt zu werden. Bei bestehenden Gebäuden, die saniert werden, ist der Untergrund für die Dämmung jedoch oft sehr uneben, was Spalte zwischen Dämmplatten begünstigt. Trotzdem lässt sich auch hier die Korrektur verhindern, wenn Platten mit Stufenfalzverbindungen eingebaut werden, oder die Dämmung mehrlagig verlegt wird. Eine nachträgliche Korrektur des U-Werts ist dann durchzuführen, wenn die Ausführung nicht fachgerecht erfolgte.

Die Korrektur für das Unterlaufen der Umkehrdämmung durch Regen erfolgt nur dann, wenn der Effekt nicht schon im Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs enthalten ist. Abweichend vom Korrekturverfahren der DIN EN ISO 6946 erfolgt in Deutschland die Bestimmung des Bemessungswerts des Wärmedurchgangskoeffizienten für Umkehrdächer nach den Festlegungen in den technischen Spezifikationen des betreffenden Dämmstoffs, z.B. in seiner allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, bzw. nach DIN 4108-2 Abschnitt 5.3.3.

4. HYGIENISCHER MINDESTWÄRMESCHUTZ

Generell sind Gebäude so zu planen und zu bauen, dass ein ausreichender Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile und im Einflussbereich von Wärmebrücken gegeben ist. Die einzuhaltenden Anforderungen sind in der bauaufsichtlich eingeführten DIN 4108-2 fixiert. Der bauliche Mindestwärmeschutz soll die Gesundheit der Bewohner bzw. Gebäudenutzer durch ein hygienisches Raumklima schützen und die Baukonstruktion vor Feuchteschäden bewahren. Dafür ist eine ausreichende Beheizung und ein hygienisch definierter Mindestluftwechsel zum Abtransport der im Innenraum freigesetzten Feuchte sicherzustellen. Angesichts heutiger Ansprüche an Wohnkomfort, Hygiene, Schimmelfreiheit und Energieeinsparung ist ein deutlich besserer baulicher Wärmeschutz anzustreben. Dieser wird bei funktionsgetrennter Bauweise durch dickere Dämmschichten erreicht.

4.1 Vermeiden von Schimmelpilzwachstum

Zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum auf Innenoberflächen von Bauteilen ist es vor allem wichtig, dass die Tauwasserfreiheit der Konstruktion gegeben ist und kritische Oberflächenfeuchten vermieden werden. Schon ab einer relativen Luftfeuchte von 80 % in der Luftschicht unmittelbar an der Bauteiloberfläche kann es zur Kondensation von Wasser in den feinen Kapillaren des Baustoffs kommen. Diese Kapillarkondensation liefert bereits eine für Schimmelpilzwachstum ausreichende Menge Feuchtigkeit.

Ausgehend von vereinfachenden bauphysikalischen Modellbetrachtungen kann Schimmelpilzwachstum bereits auftreten, wenn an mindestens fünf aufeinander folgenden Tagen die relative Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche einen Wert von mehr als 80 % aufweist und dieser Zustand mindestens 12 Stunden am Tag gegeben ist. Bei höheren Luftfeuchten sind kürzere Zeiträume ausreichend. Das Vorliegen von flüssigem Wasser auf der Bauteiloberfläche ist nicht erforderlich. Schimmel benötigt für sein Wachstum einen Nährboden, das so genannte Substrat, mit passendem pH-Wert, moderate Temperaturen und genügend Feuchte, wobei sich die genauen Wachstumsgrenzen bei den Schimmelarten etwas unterscheiden. Da eine geeignete Temperatur und ein passendes Substrat in der Regel in beheizten Gebäuden immer vorhanden sind, bleibt als Maßnahme zur Schimmelvermeidung nur die Vermeidung von (Oberflächen-)Feuchte und Kapillarkondensation (Bild 7).

4.2 Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile bei normal beheizten Gebäuden

DIN 4108-2 fordert die in Tafel 7 angegebenen Mindest-Wärmedurchlasswiderstände für wärmeübertragende flächige Massivbauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse von $\geq 100 \text{ kg/m}^2$, zusammen mit einer ausreichenden Beheizung und Belüftung des Gebäudes bzw. der Bauteile. Diese Mindestanforderungen gelten für alle direkt oder über Raumverbund beheizten Räume, die auf übliche ($\geq 19 \text{ }^\circ\text{C}$) oder niedrige ($\geq 12 \text{ }^\circ\text{C}$ und $< 19 \text{ }^\circ\text{C}$) Innentemperaturen beheizt (d.h. beheizbar) sind.

Weitere Festlegungen der DIN 4108-2 zum einzuhaltenden Mindestwärmeschutz der wärmeübertragenden Bauteile der thermischen Hüllfläche für alle auf $\geq 12 \text{ }^\circ\text{C}$ beheizten (d.h. beheizbaren) Räume bzw. Gebäude sind:

- Der Mindestwärmeschutz muss überall eingehalten sein. Das gilt besonders auch für wärmeschutztechnisch geschwächte Querschnitte wie Heizkörpernischen und Fensterstürze.

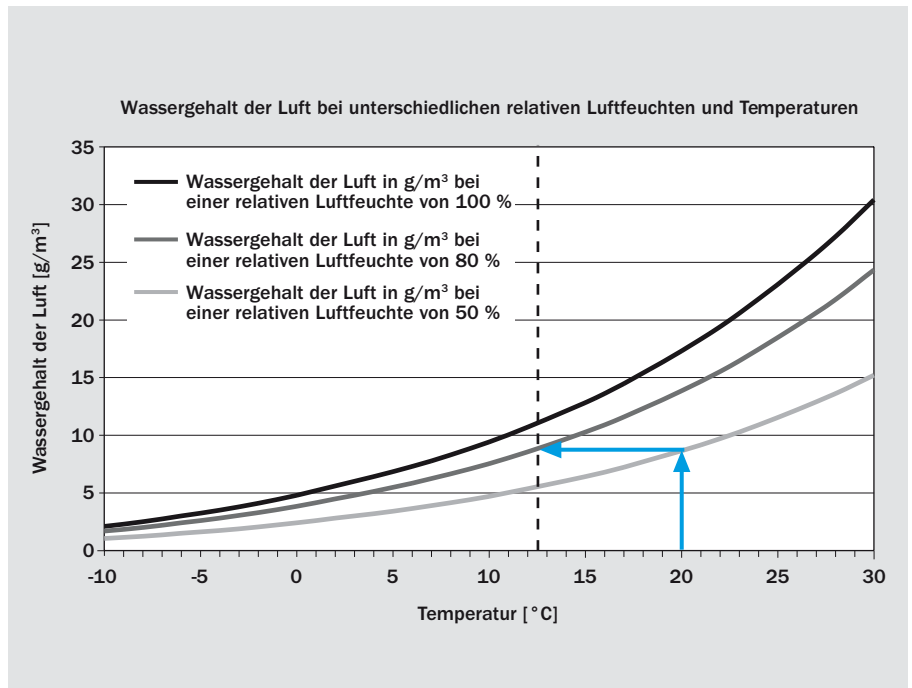


Bild 7: Zusammenhang zwischen Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte (r.F.) und absoluter Luftfeuchte (Wassergehalt der Luft in g Wasser pro m³ Luft). Blaue Pfeile: bei Abkühlung von Luft mit $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und 50 % r.F. auf $12,6 \text{ }^\circ\text{C}$ (z.B. an der Wandoberfläche) steigt die relative Luftfeuchte auf 80 %.

Tafel 7: Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen nach DIN 4108-2

Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils ¹⁾ R in m²·K/W
Wände beheizter Räume	gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen, nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dachräume oder nicht beheizte Kellerräume außerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche)	1,2 ²⁾
Dachschrägen beheizter Räume	gegen Außenluft	1,2
Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer		
	gegen Außenluft	1,2
	zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,90
	zu nicht beheizten Räumen, zu bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen	0,90
	zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35
Decken beheizter Räume nach unten		
	gegen Außenluft, gegen Tiefgarage, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller ³⁾	1,75
	gegen nicht beheizten Kellerraum	0,90
	unterer Abschluss (z.B. Sohlplatte) von Aufenthaltsräumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	
	über einem nicht belüfteten Hohlraum, z.B. Kriechkeller, an das Erdreich grenzend	
Bauteile an Treppenräumen		
	Wände zwischen beheiztem Raum und direkt beheiztem Treppenraum, Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, sofern die anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tafel erfüllen	0,07
	Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, wenn nicht alle anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tafel erfüllen	0,25
	oberer und unterer Abschluss eines beheizten oder indirekt beheizten Treppenraumes	wie Bauteile beheizter Räume
Bauteile zwischen beheizten Räumen		
	Wohnungs- und Gebäudetreppenwände zwischen beheizten Räumen	0,07
	Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung	0,35

¹⁾ Bei erdberührten Bauteilen: konstruktiver Wärmedurchlasswiderstand ²⁾ Bei niedrig beheizten Räumen $0,55 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ ³⁾ Vermeidung von Fußkälte

- Leichte Bauteile müssen einen erhöhten Wärmeschutz aufweisen. Aufgrund ihrer geringen Masse können sie im Sommer nur wenig Speichermasse zur Verfügung stellen, um rasch ansteigende Innenraumtemperaturen in ihren Spitzenwerten zu dämpfen. Aus diesem Grund muss der Wärmeeintrag durch diese Bauteile stärker reduziert werden als bei speicherfähigeren Bauteilen. Als Unterscheidungskriterium zwischen leichten und schweren Bauteilen wird eine flächenbezogene Masse von 100 kg/m^2 herangezogen. Der Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstands leichter Bauteile muss $R \geq 1,75 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ betragen. Bei Rahmen- und Skelettbauten, Holzständerbauten und Fassaden als Pfosten-Riegel-Konstruktion gilt dieser Wert nur für den Gefachbereich, jedoch muss das gesamte Bauteil zusätzlich einen mittleren Wärmedurchlasswiderstand von $1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ einhalten.
- Bei transparenten und teiltransparenten Bauteilen (z.B. Vorhangfassaden, Pfosten-Riegel-Konstruktionen, Glasdächer, Fenster, Fenstertüren und Fensterwände) müssen opake Ausfachungen und Paneele mindestens einen Wärmedurchlasswiderstand $R \geq 1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ haben (d.h. $U_p \leq 0,73 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$). Die Rahmen dürfen höchstens einen Rahmen- U_f -Wert von $U_f \leq 2,9 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ haben. Alle Gläser sind mindestens als Isolierglas oder mit 2 Glasscheiben (z.B. Verbundfenster, Kastenfenster) auszuführen.
- Die tabellierte Mindestanforderung von $R \geq 0,90 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ für Sohlplatten und erdberührte Kellerfußböden unter beheizten Aufenthaltsräumen, gilt nur für die äußeren 5 m der Bodenplatte. Der weiter innen liegende Mittelbereich der Bodenplatte kann ungedämmt bleiben, da sich weiter innen ein so genannter Wärmesee unter dem Gebäude ausbildet und der Wärmeverlust über das Erdreich an die Außenluft auch bei einem ungedämmten Mittelbereich der Bodenplatte gering ist. Das Weglassen der Wärmedämmung im Mittelbereich der Bodenplatte ist vor allem interessant bei großen, niedrig beheizten Gebäuden wie z.B. Industrie- und Lagerhallen, während bei normal beheizten Gebäuden häufig die gesamte Bodenplatte durchgehend gedämmt wird, weil die Verlegung einfacher ist und die fraglichen Flächen klein sind.

5. WÄRMESCHUTZ UND SCHIMMELVERMEIDUNG BEI WÄRMEBRÜCKEN

Wärmebrücken sind Stellen in der Umhüllung eines Gebäudes, an denen es zu einem örtlich erhöhten Wärmedurchgang durch die Konstruktion kommt. Daraus resultieren örtliche Unterschiede in der Temperatur der Innen- und der Außenoberflächen der Konstruktion. Im Winter kommt es an Wärmebrücken zu einem erhöhten Wärmeverlust. Zusätzlich kann es zu deutlich verringerten Innenoberflächentemperaturen kommen, und in der Folge zu Tauwasser- und Schimmelbildung. Deshalb sind Wärmebrücken aus energetischer Sicht, vor allem aber aus Bauqualitäts- und Hygienegesichtspunkten zu vermeiden oder möglichst in ihrem Einfluss zu begrenzen. Mit steigendem Dämmstandard kommt den Wärmebrücken im Planungsprozess und bei der Bewertung eines Gebäudes eine zunehmende Bedeutung zu. Die Hinweise zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum gelten in gleicher Weise für Wärmebrücken. Wärmebrücken können sehr unterschiedliche Ursachen haben, die auch in Kombination miteinander auftreten können:

- Stoffbedingte Wärmebrücken ergeben sich aus einem Wechsel der Baustoffe nebeneinander liegender Bereiche, z.B. Betonstütze in einer Mauerwerkswand.
- Geometriebedingte Wärmebrücken finden sich beispielsweise an jeder Gebäudekante und Fensterleibung.
- Weitere Wärmebrücken sind durch Einbauteile gegeben (Rolladenkästen, Fassadendübel).

Oft findet sich auch eine Kombination mehrerer Ursachen (Traufanschluss, Deckeneinbindung). Üblich ist deswegen die Unterteilung entsprechend ihrer Geometrie in punkt-, linien- und flächenförmige Wärmebrücken. Geometriebedingte Wärmebrücken lassen sich nicht ganz vermeiden, aber in ihrer Auswirkung deutlich verringern. Zur Vermeidung von Wärmebrücken gilt generell die Empfehlung, die dämmende Schicht so vollständig und lückenlos wie möglich um das beheizte Gebäudevolumen zu legen. Die dämmenden Schichten benachbarter Bauteile sollten lückenlos und ohne Dickenverminderung ineinander übergehen. Das Konstruktionsprinzip der durchgehenden Dämmebene kann bei Neubauten und vorausschauender Planung gut eingehalten werden.

Bei der Bestandssanierung ist dies häufig nur mit erhöhtem Aufwand oder mitunter gar nicht mehr nachträglich möglich. Hier sind entsprechend angepasste Lösungen erforderlich.

5.1 Energetische Charakterisierung von Wärmebrücken

In energetischer Hinsicht werden linienförmige Wärmebrücken durch den linearen Wärmedurchgangskoeffizienten (Ψ -Wert) charakterisiert (früher: Wärmebrückenverlustkoeffizient). Er gibt den Wärmedurchgang pro Meter Länge der Wärmebrücke und pro Kelvin Temperaturdifferenz an, der zusätzlich zum Wärmedurchgang durch die benachbarten flächigen Bauteile auftritt. Der Ψ -Wert ist das längenbezogene Pendant zum U-Wert der flächigen Bauteile. Für punktförmige Wärmebrücken wird der χ -Wert (Chi-Wert) verwendet.

Mit zunehmender Wärmedämmung müssen auch die Bauteilanschlüsse wärmetechnisch verbessert werden.

Ψ wird bestimmt, indem der gesamte stationäre Wärmedurchgang durch den Bereich der Wärmebrücke zweidimensional mit numerischen Methoden berechnet und durch die angesetzte Temperaturdifferenz geteilt wird. Vom Ergebnis zieht man den Wärmedurchgang ab, der sich aus Fläche (Außenmaß) mal U-Wert der beiden angrenzenden flächigen Bauteile pro Kelvin Temperaturunterschied ergibt (Bild 8).

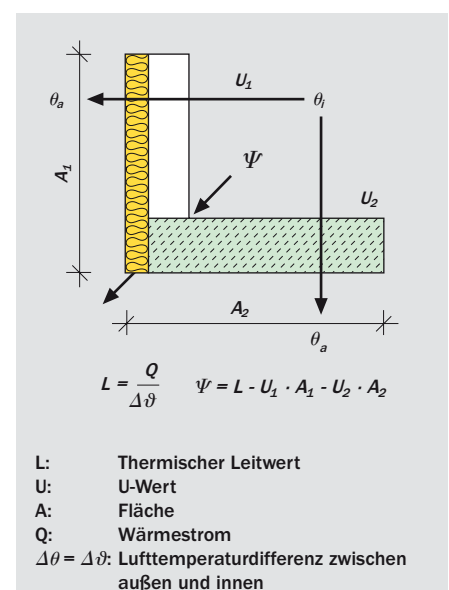


Bild 8: Skizze zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ

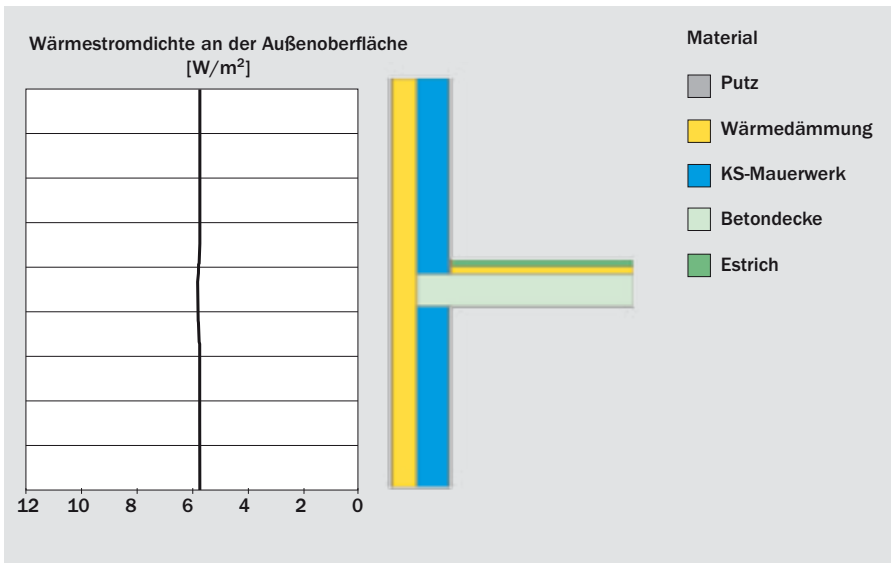


Bild 9: Wärmestromdichten (nach links abgetragen) an der Außenoberfläche bei KS-Funktionswand mit WDVS im Bereich der einbindenden Decke

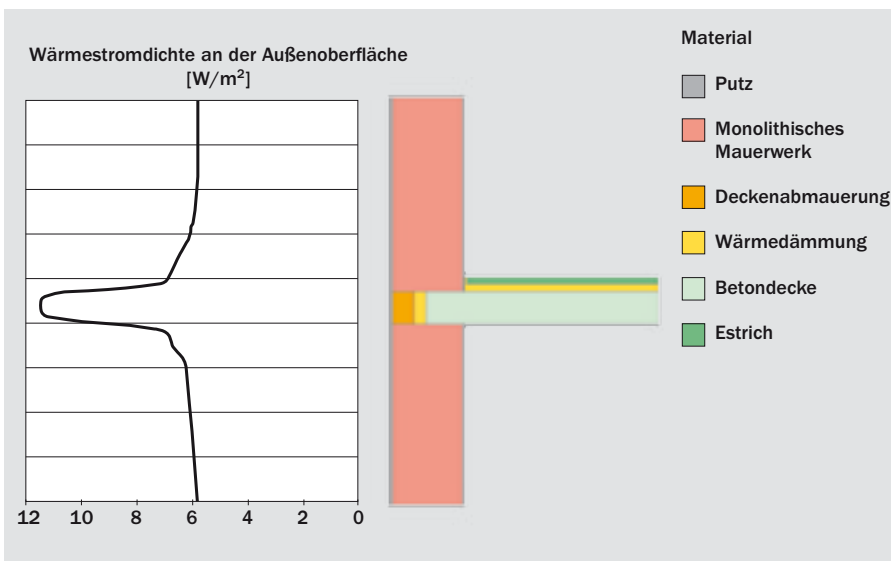


Bild 10: Wärmestromdichten (nach links abgetragen) an der Außenoberfläche bei monolithischer Bauweise im Bereich der einbindenden Decke

Lineare Wärmebrücken treten an den Anschlussstellen zwischen benachbarten Bauteilen auf. Je nach Bauweise können sie sich deutlich bemerkbar machen, vor allem wenn auf die Vermeidung von Wärmebrücken nicht besonders geachtet wird. Die Bilder 9 und 10 vergleichen den Wärmedurchgang im Bereich einer einbindenden Decke zwischen der KS-Funktionswand mit Wärmedämm-Verbundsystem und einer monolithischen Bauweise. Der Vergleich erfolgt für zwei Konstruktionen mit annähernd identischem U-Wert der Außenwand. Deutlich erkennbar ist die geringere Wärmebrückenwirkung bei der KS-Funktionswand.

5.2 Verminderung des Wärmebrückenverlusts nach DIN 4108 Beiblatt 2

Im Gegensatz zu flächigen Bauteilen werden an Wärmebrücken keine allgemeingültigen energetischen Mindestanforderungen gestellt. So gibt es auch keine verbindlichen Höchstgrenzen für Ψ -Werte. Dennoch ergeben sich in der Regel „freiwillig eingegangene Mindestanforderungen“ daraus, dass im EnEV-Nachweis und/oder in der Baubeschreibung bestätigt wird, die relevanten Wärmebrücken würden dem „Wärmebrückenbeiblatt“ DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen. Dieses nicht-normative Beiblatt gibt in Prinzipskizzen Planungs- und Ausführungsempfehlungen, wie der

Einfluss von Wärmebrücken energetisch und thermisch vermindert werden kann. Bezieht sich der Planer im EnEV-Nachweis oder in der Baubeschreibung darauf, wird das dort definierte Niveau der Wärmebrückenverminderung verbindlich. Hintergrund für das Erstellen des Beiblatts war, dass der Wärmeschutz in der Fläche ausreichend gut funktioniert, aber bei Wärmebrücken Wissens- oder Aufmerksamkeitslücken bestehen.

Generell muss ein Planer gemäß EnEV den Einfluss konstruktiver Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf nach den Regeln der Technik und den im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen so gering wie möglich halten. Der zusätzliche Wärmedurchgang durch alle relevanten Wärmebrücken eines Gebäudes wird mittels eines Zuschlages auf den U-Wert aller Hüllflächen des Gebäudes (ΔU_{WB}) berücksichtigt. Dies kann im EnEV-Nachweis wahlweise detailliert oder pauschalisiert erfolgen:

- Die Ψ - bzw. χ -Werte der linien- bzw. punktförmigen Wärmebrücken werden detailliert ermittelt und im Transmissionswärmedurchgang mittels Ψ -Wert mal abgemessener Länge der Wärmebrücken bzw. mittels χ -Wert mal Anzahl der punktförmigen Wärmebrücken berücksichtigt. Zahlenwerte für Ψ können auch der Literatur oder Wärmebrücken-katalogen [6] entnommen werden. Einzelne punktförmige Wärmebrücken, z.B. durch Befestigungspunkte von Markisen etc., dürfen (und können in aller Regel) vernachlässigt werden. Immer wiederkehrende bauteilinterne punktförmige Wärmebrücken, z.B. Verankerungen bei VHF oder Dübel in WDVS, müssen im U-Wert der betreffenden Bauteilfläche berücksichtigt werden, sofern sie nicht, wie z.B. die Gitterträger bei Beton-Mehrfachwänden, in den Bemessungswerten laut Zulassung bereits enthalten sind.
- Die Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung erfolgt oft über einen pauschalen Zuschlag, der einer generellen Erhöhung der U-Werte aller Hüllflächenbauteile um $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ entspricht. Diese Variante überbetont stark den Wärmebrückeneinfluss.
- Wenn im Bestand überwiegend Innendämmung verwendet wird (mehr als 50 % der Außenwand mit einer innen liegenden Dämmschicht) und einbindende Massivdecken vorliegen, so ist

im Rahmen der pauschalisierten Berücksichtigung für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche ein Zuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ anzuwenden.

- Ein reduzierter pauschaler Zuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zu den U-Werten aller Hüllflächenbauteile ist zu wählen, wenn alle relevanten Wärmebrücken dem vorgenannten Beiblatt 2 der DIN 4108 entsprechen. Durch die Wahl dieser Variante wird Beiblatt 2 verbindlich.

Mindestens für die Wärmebrücken Gebäudekanten, Leibungen (umlaufend) von Fenstern und Türen, Decken- und Wand einbindungen und Deckenaufleger muss die Gleichwertigkeit der individuellen Lösung mit der Beispiellösung im Beiblatt gegeben sein. Die Gleichwertigkeit ist einzuhalten. Eine Pflicht, dies nachzuweisen, gibt es aber nicht. Balkonplatten dürfen nur noch wärmetechnisch entkoppelt ausgeführt werden. Andere linienförmige sowie einzelne punktförmige Wärmebrücken brauchen im Wärmebrückennachweis im Rahmen der EnEV nicht berücksichtigt zu werden.

Für Neubauten wird noch überwiegend das pauschale Verfahren mit reduziertem Wärmebrückenzuschlag genutzt. Die Konstruktionsbeispiele im Beiblatt 2 sind als Empfehlungen sowie als Arbeitserleichterung für den bildlichen Gleichwertigkeitsnachweis gedacht und stellen keine Festlegungen im Sinne des Baurechts dar. Auch wenn die Beispiele in erster Linie auf den Neubau abzielen, geben die dargestellten Prinzipien wertvolle Hinweise für die Wärmebrückenverminderung bei der Bestandssanierung.

5.3 Gleichwertigkeitsnachweis

Für den Nachweis, dass eine konkret geplante oder ausgeführte Anschlussausbildung zwischen zwei Bauteilen gleichwertig ist zu den Planungs- und Ausführungsempfehlungen in DIN 4108 Beiblatt 2, gibt es zwei prinzipielle Vorgehensweisen: den bildlichen und den rechnerischen Nachweis.

Beim bildlichen Nachweis vergleicht der Planer seine Detailplanung visuell mit den Beispielzeichnungen im Beiblatt und prüft, ob das konstruktive Grundprinzip der Wärmebrückenvermeidung und die Schichtdicken bzw. Wärmedurchlasswiderstände der dafür wichtigen Baustoffschichten (Dämmstoffe, Massivbaustof-

fe) eingehalten sind. Dabei geht man gedanklich die möglichen Wege der Wärme von innen nach außen ab und prüft, ob die Wärme auf diesen Wegen mindestens soviel Wärmedurchlasswiderstand in Form von Dämmschichten oder dämmenden Baustoffen überwinden muss, wie in der Beispielzeichnung dargestellt, und es keine „Abkürzungen“ für die Wärme gibt. Ist dies gegeben, ist der Gleichwertigkeitsnachweis für diesen Anschlusspunkt erbracht.

Sind das konstruktive Grundprinzip und/oder die Wärmedurchlasswiderstände der Schichten nicht eingehalten, oder sieht die Detailplanung völlig anders aus als das Beispielbild, muss ein rechnerischer Nachweis erfolgen. Dafür wird die individuelle Wärmebrücke zweidimensional berechnet, oder ihr Ψ -Wert aus Wärmebrückenkatalogen [6] entnommen. Der individuelle Ψ -Wert darf nicht größer sein als der Referenzwert für diese Anschluss-Situation, wie er in DIN 4108 Beiblatt 2 angegeben ist.

Referenzwert und Zeichnung beziehen sich zwar auf den gleichen Bauteilanschluss, sind jedoch nicht vergleichbar. Die angegebenen Referenz- Ψ -Werte sind **nicht** die berechneten Werte der abgebildeten Prinzipskizzen, sondern sind Vergleichswerte für unterschiedliche Ausführungsvarianten des Anschlussdetails.

Beide Nachweisvarianten sind gleichberechtigt und können vom Planer für jede Wärmebrücke frei gewählt werden. Solan-

ge eines der beiden Nachweisverfahren eingehalten ist, ist die Gleichwertigkeit gegeben. Eine Verpflichtung, dass beide Nachweiswege eingehalten sein müssen, besteht nicht. Lässt sich weder bildlich noch rechnerisch die Gleichwertigkeit einer Anschlusslösung darstellen, ist das geplante Anschlussdetail wärmetechnisch zu verbessern, oder es ist im EnEV-Nachweis der nicht-reduzierte pauschale Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ bzw. $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zu verwenden oder der genauere Nachweis mit allen Wärmebrückendetails zu führen.

Beispiel für rechnerische Überprüfung:

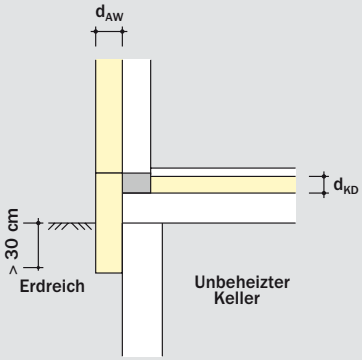
Rechnerische Überprüfung der Gleichwertigkeit mit DIN 4108 Beiblatt 2 für den Sockelanschluss an den unbeheizten Keller bei der KS-Funktionswand mit KS-Wärmedämmstein am Wandfuß, mit Hilfe des Wärmebrückenkatalog Kalksandstein: Kellerdecke innen (d.h. oben) mit 120 mm Wärmedämmung gedämmt, Außenwand mit 140 mm Wärmedämmung gedämmt. Der Referenzwert der DIN 4108 Beiblatt 2 (Detail Nr. 31) für den rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweis beträgt $0,20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, siehe Tafel 8. Aus dem Wärmebrückenkatalog Kalksandstein ergibt sich für den Anschluss in Bild 11 ein vorhandener Ψ -Wert von etwa $0,060 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ mit KS-Wärmedämmsteinen ($\lambda = 0,33 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, bei einer Kellertemperatur von $10 \text{ }^\circ\text{C}$). Bei dieser Ausführung liegt der vorhandene Ψ -Wert unter dem Referenzwert für Ψ ; die Ausführung entspricht damit der DIN 4108 Beiblatt 2.

Tafel 8: Kellerdeckenanschluss gemäß Bild 31 nach DIN 4108 Beiblatt 2, für außengedämmtes Mauerwerk und innengedämmte Kellerdecke

Darstellung für den bildlichen Nachweis der Gleichwertigkeit; Maße [mm]	Referenzwert für Ψ für den rechnerischen Nachweis der Gleichwertigkeit
	$\leq 0,20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Bemerkung: Die Sockeldämmung ist bis mindestens 30 cm unter Geländeoberkante zu führen. Das Detail gilt auch dann, wenn auf die weitere Fortführung der Wärmedämmschicht an der Außenseite des Kellermauerwerks verzichtet wird.

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ [W/(m·K)]



		Dicke der Kellerdeckendämmung d_{KD} [cm]			
		8	12	16	24
Dicke der Außenwanddämmung d_{AW} [cm] (Sockeldämmung 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-Berechnung nicht mit dem F_x -Wert für den unteren Gebäudeabschluss beaufschlagt werden.
- Gilt für Dicken $\leq 17,5$ cm und für Rohdichteklassen $\leq 2,0$ des KS-Mauerwerks oberhalb des Kellers und für alle Dicken und alle Rohdichten des KS-Mauerwerks im Keller.

Bild 11: Gleichwertigkeitsnachweis mit dem Wärmebrückenatlas Kalksandstein: Wärmedämmung bis mindestens 30 cm unter Geländeoberkante bzw. zusätzliche Dämmung an der Kelleraußenwand im Erdreich

5.4 Hygienische Mindestanforderung an die Oberflächentemperatur bei Wärmebrücken

Bei Anschlussdetails zwischen Bauteilen muss der Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} im Bereich der Wärmebrücke beim zweidimensionalen rechnerischen Nachweis mindestens 0,70 betragen. Bei den in DIN 4108-2 angegebenen Standard-Randbedingungen (innen 20 °C und 50 % relative Luftfeuchte (r.F.); außen -5 °C, Wärmeübergangswiderstand innen 0,25 m²·K/W und außen 0,04 m²·K/W) entspricht dies einer kritischen Oberflächentemperatur von 12,6 °C. Diese Temperatur wird für die ungünstigste Stelle berechnet und darf dort nicht unterschritten werden. Unter stationären Verhältnissen hat die Raumluft überall den gleichen absoluten Feuchtegehalt und die Luft unmittelbar an der Wandoberfläche nimmt die Temperatur der Wandoberfläche an. Wenn aber Raumluft von 20 °C und 50 % r.F. an der kältesten Stelle der Innenoberfläche auf 12,6 °C abgekühlt wird, stellt sich dort eine relative Luftfeuchte von 80 % ein (Bild 7). Dieser Wert gilt gerade noch als unkritisch hinsichtlich Schimmelpilzwachstum. Der dimensionslose Temperaturfaktor f_{Rsi} stellt die einzuhaltende Anforderungsgröße der DIN 4108-2 für den Mindestwärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken dar. Er gilt

nur für den rechnerischen Wärmebrückennachweis unter den vorgenannten, stationären Annahmen.

Die Neuausgabe von DIN 4108-2 enthält wichtige Klarstellungen zum Tauwasserschutz an Wärmebrücken:

Die entsprechende Forderung $f_{Rsi} \geq 0,70$ in Kapitel 6.2 der bisherigen Fassung 2003-07 der DIN 4108-2 bezieht sich gemäß ausdrücklicher Feststellung des zuständigen DIN-Arbeitsausschusses auf die zweidimensionale Betrachtung, d.h. auf die ungünstigste Stelle im zweidimensionalen Schnitt durch die Kante, nicht jedoch auf Ecken. Für Ecken bestand bisher keine zahlenmäßige Anforderung in der Norm! Die Neuausgabe 2013-02 der Norm schließt nun diese Regelungslücke, indem die zahlenmäßige Anforderung an die dreidimensionale Ecke postuliert wird. Ganz absichtlich wird dabei ein Unbedenklichkeitskriterium für die Ecke so formuliert, dass die Ecke in den meisten Fällen nachweisfrei gestellt ist:

Ecken können ohne weiteren Nachweis als unbedenklich hinsichtlich Schimmelbildung angesehen werden, wenn sie aus Kanten gebildet werden, die ihrerseits

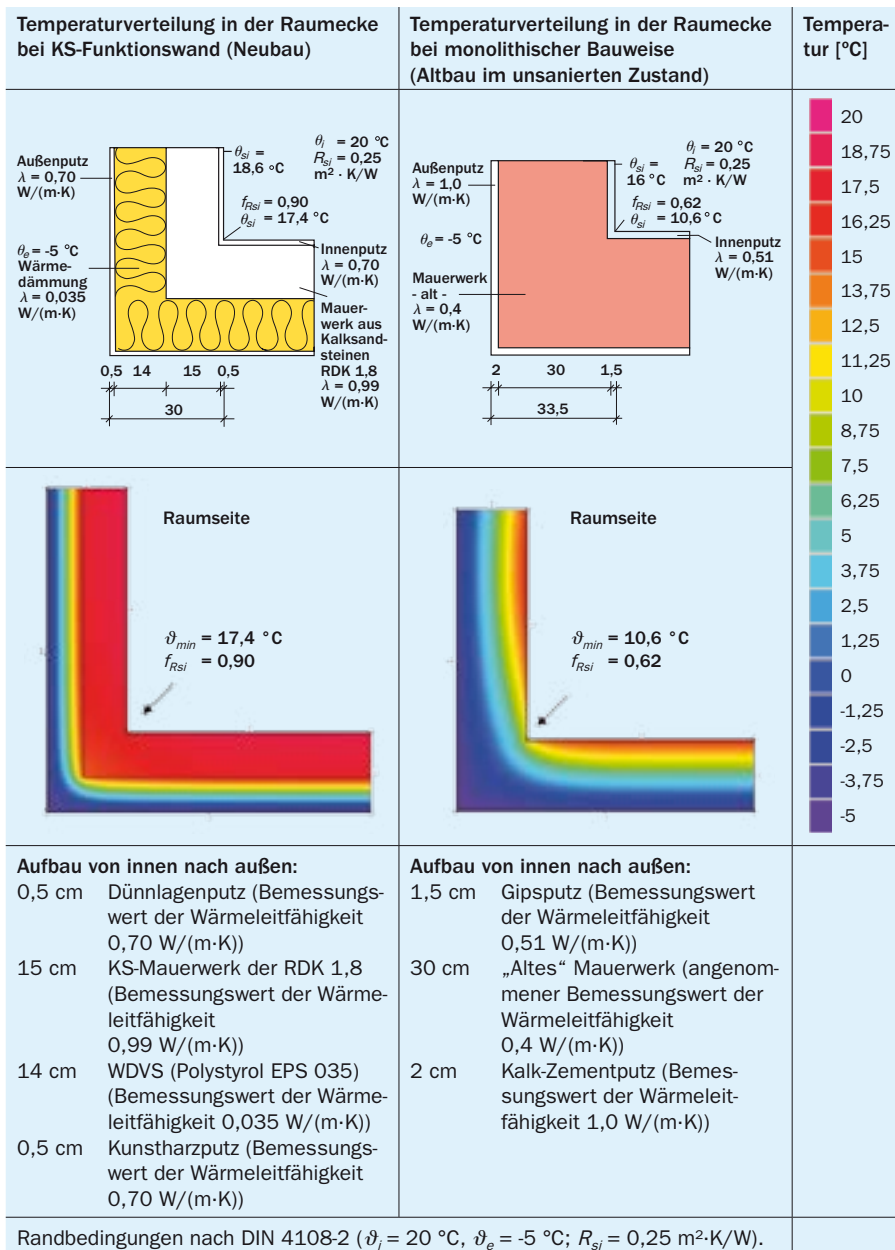
unbedenklich hinsichtlich Schimmelbildung sind (also $f_{Rsi} \geq 0,70$ einhalten), und wenn gleichzeitig keine darüber hinausgehende Störung der Dämmebene vorhanden ist, d.h. wenn die dämmende Schicht im Bereich der Ecke unterbrechungsfrei geführt ist. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass vier Dinge für eine Ecke zusammenkommen müssen, damit ein rechnerischer Nachweis erforderlich wird: drei Kanten, und als viertes Element eine Unterbrechung oder Störstelle der dämmenden Schicht im Bereich der Ecke. Ein Bauteil, für das ein solcher rechnerischer Nachweis geführt werden muss, ist beispielsweise eine Eckstütze gegen Außenluft unter einem vorspringenden, unterseitig gedämmten Obergeschoß. Die Stütze durchdringt die Dämmebene und ist in diesem Fall als die „Störstelle“ anzusehen.

f_{Rsi} wird aus den angesetzten Lufttemperaturen innen und außen und der berechneten Oberflächentemperatur an der betrachteten Stelle berechnet:

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} \geq 0,70$$

Bei einem Oberflächentemperaturfaktor von 0,70 entfallen 70 % des Temperaturabfalls zwischen Innen- und Außenluft auf

Tafel 9: Zweidimensionale Berechnung der Temperaturverteilung in der Raumecke bei KS-Funktionswand (Neubau) und monolithischer Bauweise (Altbau im unsanierten Zustand); Berechnung von f_{Rsi}



5.5 Vermeidung von Schimmelpilzwachstum im Bereich von Wärmebrücken

Bei Einhalten der Empfehlungen der DIN 4108 Beiblatt 2 für die linienförmigen Wärmebrücken kann man davon ausgehen, dass diese thermisch optimierten Wärmebrücken bei sachgemäßer Nutzung des Gebäudes schimmelfrei bleiben. Ein gesonderter Nachweis muss nicht erfolgen. DIN 4108-2 macht dies in der Neuausgabe 2013-02 unmissverständlich klar: Ecken können ohne weiteren Nachweis als unbedenklich hinsichtlich Schimmelbildung angesehen werden, wenn sie aus Kanten gebildet werden, die ihrerseits unbedenklich hinsichtlich Schimmelbildung sind (also $f_{Rsi} \geq 0,70$ einhalten), und wenn gleichzeitig keine darüber hinausgehende Störung der Dämmebene vorhanden ist. Gleiches gilt für Kanten zwischen Außenbauteilen mit gleichartigem Aufbau, die den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 einhalten. Bei allen davon abweichenden Anschlussdetails zwischen Bauteilen muss der Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} im Bereich der Wärmebrücke im rechnerischen Nachweis mindestens 0,70 betragen. Zusätzlich zu den konstruktiven Maßnahmen ist zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum für eine gleichmäßige Beheizung zu sorgen und eine ausreichenden Belüftung der Räume sowie eine ausreichende Belüftung der Innenoberfläche der Außenbauteile sicherzustellen.

Grundsätzlich gilt: Das Schimmelisiko an Wärmebrücken ist umso geringer, je besser die flächigen Bauteile wärmedämmend sind. Dies gilt auch für die Sanierung bestehender Gebäude. Bei Innendämmungen ist eine gründliche Vorab-Analyse der Feuchtesituation und der Wasseraufnahmefähigkeit der Bauteilschichten Pflicht. Innendämmungen sollten nicht ohne Konsultation eines versierten Bauphysikers eingebaut werden.

den Temperaturunterschied zwischen Innenoberfläche und Außenluft. Dabei wird sicherheitshalber mit einem erhöhten Wärmeübergangswiderstand von 0,25 m²·K/W statt des üblichen Werts von 0,13 m²·K/W an der Innenoberfläche gerechnet, um den in der Nähe der Raumkante oder hinter leichten Gardinen behinderten Wärmeübergang auf die Wandoberfläche abzubilden (Tafel 9).

An Fenstern und Pfosten-Riegel-Konstruktionen ist Tauwasser in geringen Mengen

und kurzzeitig zulässig. Dies gilt, falls die Oberfläche die Feuchtigkeit nicht absorbiert und verhindert werden kann, dass angrenzende Bereiche durchfeuchtet werden. D.h., die Mindestforderung $f_{Rsi} \geq 0,70$ gilt nicht innerhalb der Fenster, wohl aber an der Einbaufuge des Fensters und in der Fensterleibung. Der für die Fläche von Fenstern, Fenstertüren und Türen nach DIN EN ISO 13788 zu verwendende raumseitige Wärmeübergangswiderstand von 0,13 m²·K/W geht von ungehinderter Luftzirkulation aus.

Durch schwere Vorhänge, Möblierung, Einbauschränke etc. wird der Wärmeübergang über Luftzirkulation und/oder Strahlungsaustausch zwischen der raumseitigen Außenwandoberfläche und (wärmeren) Innenbauteilen reduziert. Es kommt zu einem größeren Wärmeübergangswiderstand R_{si} und einer niedrigeren Innenoberflächentemperatur. Die Gefahr der Tauwasserbildung steigt. Dies ist bei der Planung zu beachten. Der Einfluss von Schränken kann in einem äquivalenten Wärmeübergangswiderstand $R_{si,äq}$ berücksichtigt werden.

$R_{si,\dot{a}q}$ kann für thermische Berechnungen anstelle des üblichen Wärmeübergangswiderstands R_{si} nach DIN 4108-2 verwendet werden und beinhaltet bereits den Wärmedurchlasswiderstand des Schränks. Für die Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperatur können folgende äquivalente Wärmeübergangswiderstände verwendet werden [7]:

Bereiche hinter Einbauschränken:

$$R_{si,\dot{a}q} = 1 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

Bereiche hinter freistehenden Schränken:

$$R_{si,\dot{a}q} = 0,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

Beispiel:

Für eine Wand mit Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 reduziert sich die innere Oberflächentemperatur, bei Ansatz der Klimabedingungen nach DIN 4108-2 Abschnitt 6, durch einen Einbauschränk von 15,8 °C ($R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) auf 8,8 °C ($R_{si,\dot{a}q} = 1 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) [7].

5.6 Vor-Ort-Messungen und Thermografie

Sollen Oberflächen- und Lufttemperaturen im konkreten Gebäude gemessen werden, um den Wärmeschutz an einer Wärmebrücke zu beurteilen, sind Langzeitmessungen erforderlich. Die Temperaturen werden maßgeblich durch die thermische Geschichte des Gebäudes, Wetter und Beheizung der vergangenen Tage, zufällige Luftströmungen etc. bestimmt. Kurzzeitmessungen und Infrarotthermografie werden für die Beurteilung von Wärmebrücken als nicht geeignet angesehen. Langzeitmessung der Oberflächentemperatur bedeutet hier die kontinuierliche Messung und Mittelung über in der Regel mindestens zwei Wochen bei einer Außentemperatur von $\leq 5 \text{ °C}$ (im Mittel über die Messperiode). Dabei sind gleichzeitig jeweils die innere und äußere Oberflächentemperatur in einem nicht besonnten Bereich, die Lufttemperatur und möglichst die Luftfeuchte zu erfassen und auszuwerten. Bei besonnten Bereichen sind nur die Nachtzeiträume oder bewölkte Tage zur Auswertung heranzuziehen. Messergebnisse über kürzere Zeit, gar nur über einige Minuten oder Sekunden als Momentanwerte können signifikant von den Langzeitmitteln abweichen, ohne dass dies in den Messergebnissen erkennbar wäre. Sie haben deshalb keine beweiskräftige Aussagekraft hinsichtlich der Einhaltung des Temperaturkriteriums. Langzeitmessungen der Raumluftfeuchte sollten über einen noch längeren Zeitraum erfolgen. Untersuchungen mittels Infrarotthermografie können Hinweise auf mögliche Wärmebrücken liefern und eignen sich zur Ortung von Fehlstellen in der Wärmedämmung.

5.7 Rollladen- und Jalousiekästen

Einbau- und Aufsatz-Rollladen- und Jalousiekästen weisen einen örtlich etwas erhöhten Wärmeverlust gegenüber einer Bauweise ohne Rollladenkasten auf. Ähnliches gilt für Vorsatzkästen, wenn dafür ein breiteres oberes Fensterprofil oder eine Rahmenaufdopplung eingesetzt wird, sowie für Mini-Aufsatzkästen. Dafür bieten Rollläden Vorteile wie Sichtschutz, Einbruchschutz, temporären Wärmeschutz nachts im Winter und Verschattung im Sommer, die ansonsten anderweitig erbracht werden müssen. Eine Alternative sind Klapp- oder Schiebeläden, da sie die Wärmedämmung der Fläche und des Fensteranschlusses nicht schwächen. Werden Rollladen- oder Jalousiekästen eingesetzt, werden sie beim wärmeschutztechnischen Nachweis in der Regel übermessen und ihre Fläche, je nach Kastenart, der Wand (Einbaukasten, Aufsatzkasten) oder dem Fenster (Mini-Aufsatzkasten, Vorsatzkasten) zugeschlagen. Diese Vorgehensweise stimmt mit der Behandlung in DIN 4108 Beiblatt 2 überein. Eine Rahmenverbreiterung bei Vorsatzkästen sowie der Einfluss von Mini-Aufsatzkästen ist im U-Wert des Fensters zu berücksichtigen, der dann entsprechend anzupassen ist.

Die wärmetechnischen Grenzwerte von Rollladenkästen sind in DIN 4108-2 und in der „Rollladenkastenrichtlinie“ der Bauregelliste festgelegt. Die Kästen müssen ein Ü-Zeichen tragen, mit dem der Hersteller – nach einer Überprüfung durch eine bauaufsichtlich zugelassene Stelle – die Übereinstimmung mit der Rollladenkastenrichtlinie bestätigt. Wenn im Rahmen eines EnEV-Nachweises mit dem verminderten pauschalen Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ gerechnet werden soll, dann muss zusätzlich – neben allen anderen relevanten Wärmebrücken am Gebäude – der Rollladenkasten inklusive seiner Einbausituation der DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen.

Wärmetechnisch gute Rollladenkästen haben eine möglichst dicke und effektive Dämmung zur Decke/Sturz, am Innenschmel und über dem Blendrahmen des Fensters. Die Verwendung von Kunststoff anstelle von Aluminiumschienen als Putzschienen und für den Anschlag des Revisionsdeckels ist wärmetechnisch günstiger zu bewerten. Rollladenkästen für die Panzermontage von außen haben keinen Revisionsdeckel und sind somit wärmetechnisch und hinsichtlich der Luftdichtheit günstiger zu bewerten. Kästen aus massiven Materialien sowie Kästen mit

Verstärkungen aus Stahlblech weisen ein erhöhtes Schalldämm-Maß auf.

Die Einbausituation von Rollladenkästen im WDVS ist meistens günstiger zu bewerten, als die Einbausituation im monolithischen Mauerwerk. Aufgrund der Dämmdicke des WDVS ist eine außenseitige Überdämmung des Kastens gewährleistet, bzw. kann der Rollraum soweit nach außen versetzt werden, dass die Dämmung der Innenschürze dicker ausgeführt werden kann.

Analoges gilt für Rollladenkästen in zweischaligem Mauerwerk, wobei hier die Dämmschicht in der Regel nicht über die Außenseite des Kastens geführt wird. Bei schlanker tragender Innenschale und kleiner Dämmdicke steht für den Kasten allerdings nur wenig Platz zur Verfügung – entsprechend dünn ist häufig die Dämmdicke am Innenschmel. Wärmetechnisch günstiger ist in diesem Fall die Verwendung eines Vorsatzkastens, der als so genannter „Linksroller“ eingebaut wird. Der Vorsatzkasten tritt als gestalterisches Element in der Fassade auf.

5.8 Einbaulage von Fenstern

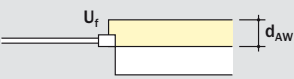
Generell ist es wärmetechnisch vorteilhaft, wenn das Prinzip der durchgehenden Dämmebene überall eingehalten wird. Für den Fenstereinbau bedeutet dies bei KS-Funktionswänden mit Wärmedämmschicht, dass das Fenster außen vor der tragenden Wand – d.h. in der Dämmebene – montiert wird (Bild 12). Dabei ist es ausreichend, wenn die Innenseite des Fensters flächenbündig mit der Außenseite der tragenden Wand ist. Als Befestigung am tragenden Mauerwerk kommen Laschen und/oder Winkel zum Einsatz. Außenseitig wird der Blendrahmen überdämmt. Diese Einbaulage reduziert die Wärmebrücken in der Fensterleibung erheblich. An der KS-Tragschale kann die Befestigung der Winkel oder Konsolanker einfach, sicher und wärmetechnisch optimiert erfolgen. Hierfür gibt es auch justierbare Lösungen, bei denen das Ausrichten der Fenster in allen Raumrichtungen erfolgen kann. Die Einbauebene ist frei wählbar. Auskragungen bis 150 mm sind möglich. Die nachfolgenden Dichtungsmaßnahmen zwischen Blendrahmen und Mauerwerk werden durch die Montageschienen nicht behindert.

Energetisch etwas ungünstiger als die Montage des Fensters in der Dämmebene ist die Montage des Fensters innerhalb der Rohbauöffnung, siehe Bild 13. Diese

Fensterlage lässt jedoch eine einfache, sichere und dauerhafte Befestigung in der Rohbauöffnung mittels handelsüblicher Rahmendübel zu. Zu beachten ist hier,

dass das Aussehen der Fassade durch die nur teilweise sichtbaren Blendrahmen beeinflusst wird. Die Befestigung der Fenster mittels Rahmendübel in der Rohbau-

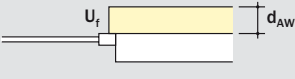
öffnung ist bei sehr leichten Hochlochziegeln mit dünnen Querstegen und großen Kammern unter Umständen nur mit langen Spezialschrauben möglich.

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ [W/(m·K)]		Rahmendicke d_f				
		≤ 70 mm	80 mm	90 mm	≥ 120 mm	
		entspricht typischem U_f -Wert [W/(m ² ·K)]				
	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 Wärmedurchgangskoeffizienten für unterschiedliche Dämmdicken (aus KS Wärmebrückenatlas)

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ [W/(m·K)]		Rahmendicke d_f				
		≤ 70 mm	80 mm	90 mm	≥ 120 mm	
		entspricht typischem U_f -Wert [W/(m ² ·K)]				
	Dicke der Außenwanddämmung 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 Fensters in der Mauerwerksebene – z.B. Außenseite des Fensters flächenbündig mit der Außenseite der tragenden Wand – bei funktionsgetrennter Bauweise und Überdämmung des Blendrahmens (aus KS-Wärmebrückenatlas)

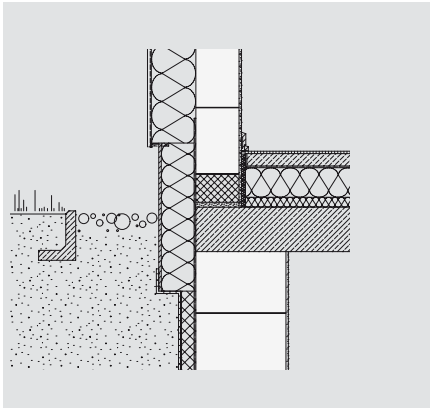
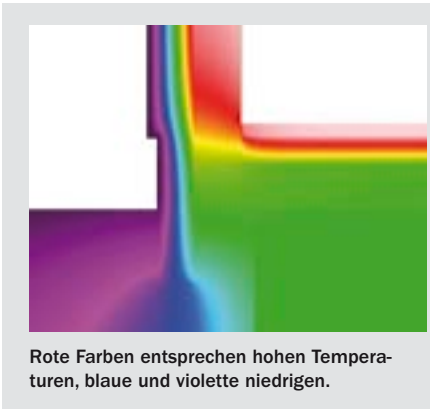


Bild 14: Konstruktionszeichnung aus KS-Detailsammlung, Detail 2.2.2



Rote Farben entsprechen hohen Temperaturen, blaue und violette niedrigen.

Bild 15: Temperaturverlauf am Anschlussdetail von Bild 14

6. WÄRMEBRÜCKEN IN KALKSANDSTEIN-MAUERWERK

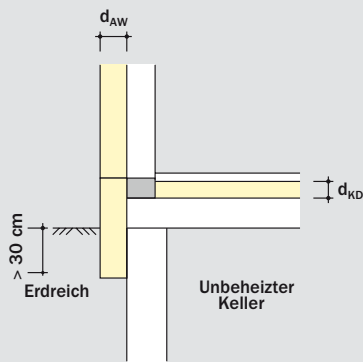
6.1 Verringerung der Wärmebrückenwirkung durch KS-Wärmedämmsteine

Etwa 80 Detaillösungen mit zahlreichen Varianten für die Verminderung von Wärmebrücken in Kalksandstein-Mauerwerk finden sich im Wärmebrücken-katalog Kalksandstein [6]. Der Wärmebrücken-katalog ist auf den Internetseiten des Bundesverbands Kalksandsteinindustrie abrufbar. Der Unterschied in der Wärmebrückenwirkung – mit und ohne Verwendung eines KS-Wärmedämmsteins – ist hier beispielhaft für den Kellerdeckenanschluss dargestellt:

Der Kellerdeckenanschluss bei funktionsgetrennter Bauweise (Kalksandstein-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem) wird mit und ohne KS-Wärmedämmstein als erster Steinlage auf der Kellerdecke untersucht. Damit wird die Verringerung der Wärmeverluste bei Anwendung des Prinzips der umlaufenden Dämmebene dargestellt. Die Außenwand wird mit einem Wärmedämm-Verbundsystem der Dicke 18 cm gedämmt, im Erdreich beträgt die Dämmdicke der Perimeterdäm-

mung noch 14 cm und die Dämmdicke auf der Kellerdecke 12 cm. Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit des KS-Wärmedämmsteins beträgt 0,33 W/(m·K). Die verwendeten Materialien und die Konstruktionszeichnung der Bauteile sind in Bild 14 dargestellt. Bild 15 zeigt den Temperaturverlauf an der Anschlussstelle. In Bild 16 sind die vorhandenen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für den untersuchten Bauteilanschluss in der Darstellung des KS-Wärmebrücken-katalogs mit weiteren Varianten aufgelistet. Durch die Verwendung des KS-Wärmedämmsteins (früher auch wärmetechnisch optimierter Kalksandstein bzw. ISO-Kimmstein), der gleichzeitig sehr druckfest ist, kann das Prinzip der umlaufenden Dämmebene am Kellerdeckenanschluss auch bei großen Gebäuden annähernd eingehalten werden. Dies führt zu einer deutlichen Verbesserung der Wärmebrückensituation. Im betrachteten Beispiel wird der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ des Anschlussdetails Sockel-Kellerdecke von 0,066 W/(m·K) ohne KS-Wärmedämmstein um gut 40 % auf 0,038 W/(m·K) mit KS-Wärmedämmstein verbessert.

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ [W/(m·K)]



		Dicke der Kellerdeckendämmung d_{KD} [cm]			
		8	12	16	24
Dicke der Außenwanddämmung d_{AW} [cm]	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
(Sockeldämmung 0 bis 4 cm dünner)					

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-Berechnung nicht mit dem F_x -Wert für den unteren Gebäudeabschluss beaufschlagt werden.
- Gilt für Dicken $\leq 17,5$ cm und für Rohdichteklassen $\leq 2,0$ des KS-Mauerwerks oberhalb des Kellers und für alle Dicken und alle Rohdichten des KS-Mauerwerks im Keller.

Bild 16: Wärmebrückendetail 2.2.2 aus dem KS-Wärmebrücken-katalog

6.2 Einfluss von mechanischen Befestigungsmitteln und Mauerwerksankern

Werden mechanische Befestigungselemente verwendet, z.B. Anker zwischen Mauerwerksschalen (Bild 17), ist ggf. eine Korrektur des U-Werts erforderlich. Dies ist vor allem bei gut gedämmten Konstruktionen der Fall, Tafel 10. Im Anhang D.3 der DIN EN ISO 6946 findet sich ein einfaches Näherungsverfahren für diese Korrektur. Bei Befestigungselementen, die an beiden Enden an Metallteile angrenzen, kann dieses Verfahren jedoch nicht eingesetzt werden. In solchen Fällen muss der Einfluss der Befestigungsteile mittels dreidimensionaler Wärmebrückenberechnungen nach DIN EN ISO 10211 untersucht werden. Numerische Verfahren werden auch empfohlen, wenn höhere Anforderungen an die Genauigkeit bestehen. Keine Korrektur ist erforderlich für

- Mauerwerksanker, die eine leere Luftschicht überbrücken,
- Mauerwerksanker zwischen einer Mauerwerksschale und einem Holzständer,
- oder wenn die Wärmeleitfähigkeit eines Teils oder des ganzen Befestigungsteils kleiner als 1 W/(m·K) ist.

Das bedeutet, dass bei zweischaligem Mauerwerk mit Hinterlüftungsebene bzw. vorgehängter hinterlüfteter Fassade (VHF) der U-Wert um den Verankerungseinfluss korrigiert werden muss. Die Luftschichten (Fingerspalt bzw. Hinterlüftungsebene) werden nicht zur Dicke der Dämmschicht hinzugezählt. Vor allem bei großen Dämmdicken im zweischaligen Mauerwerk steigt die Ankeranzahl pro m² und damit der Wärmeverlust durch die Summe der Anker an. Tafel 10 listet am Beispiel von Ankern mit einem punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten $\chi = 0,00075 \text{ W/K}$ auf, bis zu welcher Anzahl an Luftschichtankern pro m² Wandfläche keine Korrektur des U-Werts erforderlich ist.

6.3 Wärmebrückenwirkung von Konsolen und Ankern bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden

Bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF) wird die Dämmschicht in regelmäßigen Abständen von den Befestigungsteilen der vorgehängten Fassade durchstoßen. Je nach Art der Fassade und Ausbildung der Befestigungsteile können dadurch nennenswerte Wärmebrückeneffekte entstehen. Bereits wenige Anker pro m² können eine Erhöhung des U-Werts um 0,1 bis 0,2 W/(m²·K) oder mehr zur Fol-

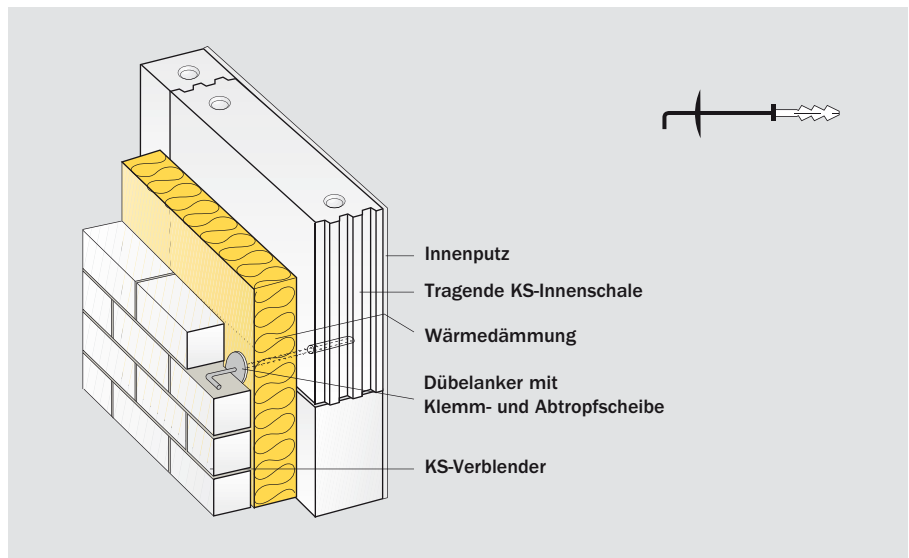


Bild 17: Systemaufbau für zweischaliges Mauerwerk mit Wärmedämmung

Tafel 10: 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 χ -Wert ist der Einfluss der Anker im U-Wert zu berücksichtigen.

U-Wert der Wand (ungestörter Bereich) [W/(m ² ·K)]	Wärmebrückeneinfluss durch die Luftschichtanker ohne U-Wert-Korrektur bis zu (max. 3 % des U-Werts der ungestörten Wand) [W/(m ² ·K)]	Ankerdichte ¹⁾ ohne U-Wert-Korrektur bis zu [Stück/m ²]
≥ 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).

ge haben. Generell ist zu empfehlen, thermisch getrennte Befestigungsteile einzusetzen oder beim Anbringen der Befestigungsteile dafür zugelassene thermische Trennlagen zwischen Konsole und Wand einzulegen. Die Wärmebrücken durch Konsolen und Anker sind in den U-Wert der Wandfläche mit der vorgehängten hinterlüfteten Fassade einzurechnen, damit der Wärmebedarf des Gebäudes zutreffend berechnet werden kann. Die Berücksichtigung im U-Wert der Wand mit VHF kann explizit mittels der Anzahl und Art der Verankerungen und deren χ bzw. ψ -Werten erfolgen, sofern die punktuellen bzw. längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Befestigungsteile bekannt sind oder vom Hersteller angegeben werden.

Die Richtlinie „Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden“ [8] stellt entsprechende Werte für typische Verankerungssysteme zur Verfügung und bietet Bemessungsdiagramme zur Berücksichtigung verschiedener Verankerungssysteme.

6.4 Vergleich der Wärmebrückenwirkung der Befestigung bei typischen Wandaufbauten

Ausgangspunkt für den Vergleich der Wärmebrückenwirkungen der Befestigungen ist jeweils eine sehr gut wärmegeämmte Kalksandstein-Konstruktion, die aus einer tragenden Innenschale aus Kalksandsteinen hoher Rohdichte (Dicke 17,5 cm/

RDk = 2,0/λ = 1,1 W/(m·K) und einer 20 cm dicken Wärmedämmung mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,032 W/(m·K) besteht. Eine Unterscheidung erfolgt für den äußeren Aufbau und für die Befestigungsteile.

a) Zweischaliges Mauerwerk

Betrachtet wird ein Aufbau mit Kalksandstein-Verblendmauerwerk der Dicke 11,5 cm mit Wärmedämmung ohne Hinterlüftung der Außenschale. Pro m² werden 9 Drahtanker aus Edelstahl in die tragende Wand gesetzt. Die Anker haben den Durchmesser 4 mm und werden in beiden Mauerwerksschalen mit einer Einbindetiefe von jeweils 50 mm verankert.

b) Geklebtes Wärmedämm-Verbundsystem

Bei tragfähigem, ebenem Untergrund (Ebenheitsabweichung bis 1 cm) ist der Einsatz ausschließlich geklebter Systeme möglich. Dies ist nicht nur besonders wirtschaftlich, sondern vermeidet auch Wärmebrücken durch Befestigungselemente.

Ein ausschließlich geklebtes Wärmedämm-Verbundsystem, wie es üblicherweise auf KS-Mauerwerk ausgeführt wird, weist keine punktförmigen Wärmebrücken auf.

c) Gedübeltes Wärmedämm-Verbundsystem

Das berechnete Wärmedämm-Verbundsystem ist ein gedübeltes System mit handelsüblichen Kunststoffdübeln mit einem Einstufungswert für χ von 0,002 W/K. Da für die Einstufung von Dübeln der höchste χ-Wert bei verschiedenen WDVS-Dicken herangezogen wird, kann der tatsächlich für eine Dämmdicke von 20 cm vorliegende Wärmeverlust eines Dübels geringer sein als der Einstufungswert. Die mit dem Einstufungswert berechneten, zusätzlichen Wärmeverluste liegen demnach auf der sicheren Seite. Angenommen wird eine mittlere Dübelanzahl von 4,5 Dübeln pro m².

Tafel 11: Vergleich von Konstruktionen mit punktförmigen Wärmebrücken: Einfluss auf den U-Wert

Konstruktion	Dämmdicke (λ = 0,032 W/(m·K)) [cm]	U-Wert ¹⁾ ohne Wärmebrücken [W/(m ² ·K)]	Anker- anzahl n [1/m ²]	χ -Wert eines An- kers/ Dü- bels [W/K]	Wärmebrückeneinfluss ΔU (= n·χ)		U-Wert ¹⁾ mit Wärmebrücken [W/(m ² ·K)]
					[W/K]	[%]	
Zweischaliges Mauerwerk mit Edelstahl-Dübelankern, d = 4 mm (außenseitig 11,5 cm KS-Ver- blender mit λ = 1,1 W/(m·K))	20	0,15 (0,149)	9	0,00075	0,007	4,7	0,16 (0,156)
Geklebtes Wärmedämm- Verbundsystem (außenseitig 0,5 cm Außenputz mit λ = 0,70 W/(m·K))	20	0,15 (0,151)	0	–	–	–	0,15 (0,151)
Gedübeltes Wärmedämm- Verbundsystem mit Kunststoff- dübeln 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)
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)
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.

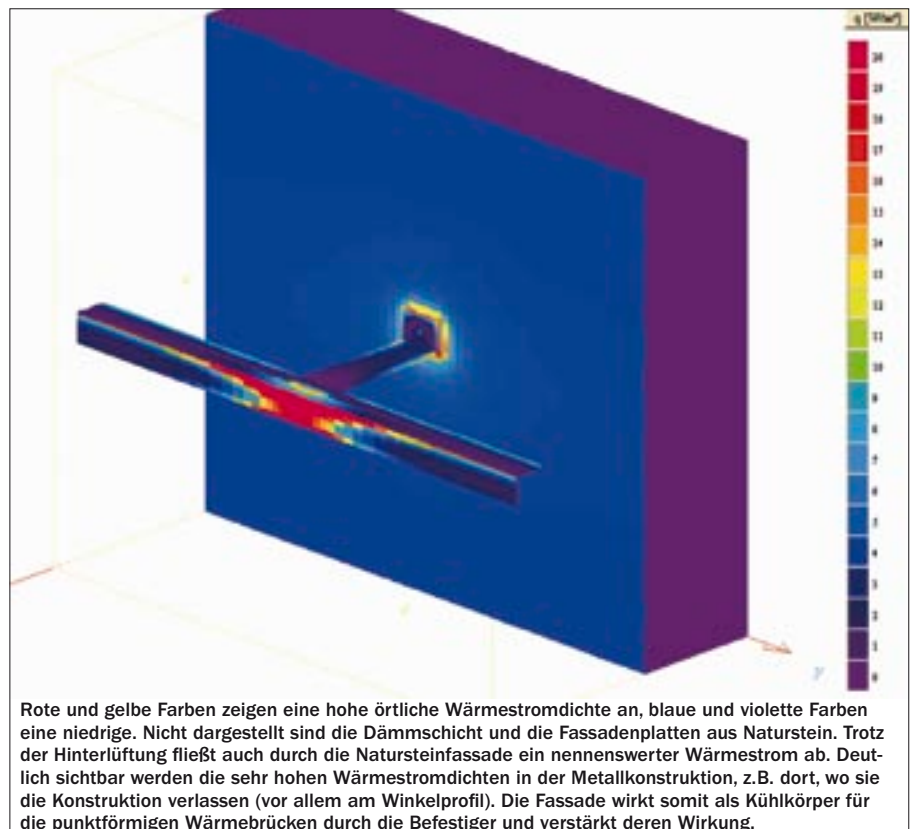
d) + e) Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF)

Es werden zwei Systeme betrachtet – eines mit einer Tragkonstruktion aus verzinktem Stahl (d) und eines mit einer Aluminium-Tragkonstruktion (e). Beide Systeme werden für das Rastermaß $0,75 \cdot 0,75$ m berechnet, das entspricht einer mittleren Befestigeranzahl von 1,78 Stück pro m^2 . Die Konsole wird durch ein L-Profil gebildet und ist 60 mm lang. Die Schenkellänge beträgt 50 mm an der Wandoberfläche und 190 mm in der Dämmebene. Außenseitig befindet sich ein Winkelprofil zur Befestigung der Fassadenplatten. Die Schenkellänge beträgt beidseitig 45 mm. Dieses Profil wird als durchgehendes Profil betrachtet, was bedeutet, dass sich an der Fassade alle 75 cm ein Winkelprofil befindet, das horizontal verläuft. Außen-seitig wird auf diesem Profil eine Natursteinfassade der Dicke 4 cm angebracht. Zwischen Konsole und Wandoberfläche wird eine thermische Trennung der Dicke 6 mm angeordnet. Die thermische Trennung besteht aus einem druckfesten und geschlossenzelligen PVC-Hartschaum und wird nur durch die zur Befestigung der Konsole notwendige Schraube unterbrochen. Eingesetzt werden Schrauben M8 aus Edelstahl mit der Verankerungslänge 50 mm. Die beiden Systeme unterscheiden sich nicht nur in ihrem konstruktiven Material, sondern auch in der Dicke der eingesetzten Profile. Die Aluminiumkonsole ist 4 mm dick, die Stahlkonsole hingegen nur 2 mm. An den Winkelprofilen ist der Unterschied mit 1,5 mm bei Stahl gegenüber 2 mm bei Aluminium nicht sehr groß. Zu beachten ist jedoch die bei Aluminium mit $160 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ gegenüber Stahl mit $50 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ deutlich größere Wärmeleitfähigkeit. In Tafel 11 sind für die Dämmdicke 20 cm die U-Werte der verschiedenen Konstruktionen mit und ohne punktförmige Wärmebrücken aufgetragen. Der angegebene Unterschied ΔU ist die aufgrund der Wärmebrückeneffekte der Befestigungsmittel zusätzlich auftretende Erhöhung des (ungestörten) Wärmedurchgangskoeffizienten U . Diese Erhöhung ist im U-Wert zu berücksichtigen, wenn sie größer als 3 % des U-Werts ohne Befestigungsmittel ist.

Bild 18 zeigt die Wärmestromdichten an den Profilen bei der berechneten VHF-Konstruktion mit Aluminiumprofilen. Das ausschließlich geklebte Wärmedämm-Verbandssystem weist keine punktförmigen Wärmebrücken auf, daher ist keine Korrektur für Befestigungsteile erforderlich. Wie zu erwarten, ergibt sich bei den Kons-

truktionen mit Befestigungselementen für die Luftschichtanker der geringste Einfluss auf den U-Wert (hier: +4,7 %). Doch auch hier ist bereits das 3 %-Kriterium der DIN EN ISO 6946 überschritten, bis zu dem der Ankereinfluss vernachlässigt werden darf. Ursache dafür ist der niedrige U-Wert der Ausgangswand sowie die hohe Dübelanzahl. Die U-Wert-Erhöhung ist mit $0,007 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ allerdings so gering, dass sie in einigen Fällen – je nach U-Wert der Ausgangswand, aber nicht im gezeigten Beispiel – innerhalb der Rundungsgenauigkeit liegt. Damit würde sich selbst bei Berücksichtigung des Wärmebrückeneinflusses kein anderer U-Wert ergeben. Beim gedübelten WDVS mit 4,5 Dübeln pro m^2 beträgt die U-Wert-Erhöhung mit hier 6 % etwas mehr als bei den Luftschichtankern. Besser eingestufte Dübel für WDVS würden zu einem geringeren Wärmebrückeneinfluss führen.

Sehr deutlich erhöhen die beiden Tragkonstruktionen für die vorgehängte hinterlüftete Natursteinfassade den U-Wert der ungestörten Bauteilfläche: Die Stahl-Tragkonstruktion erhöht den U-Wert hier um gut 20 % von $0,15$ auf $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Aluminium als Material für die Tragkonstruktion erhöht den U-Wert hier um gut 45 % auf $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Die Beispiele dokumentieren klar, welchen Einfluss die konstruktionsbedingten Wärmebrücken haben. Bereits kleine χ -Werte punktueller Wärmebrücken und niedrige Anker- bzw. Dübel-dichten können zu einem nennenswerten Anstieg des Wärmetransports führen. Vor allem bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden ist der Wärmebrückeneinfluss der Befestigungen im U-Wert der Wandfläche zu berücksichtigen, um den Wärmebedarf des Gebäudes mit zutreffenden U-Werten richtig berechnen zu können.



Rote und gelbe Farben zeigen eine hohe örtliche Wärmestromdichte an, blaue und violette Farben eine niedrige. Nicht dargestellt sind die Dämmschicht und die Fassadenplatten aus Naturstein. Trotz der Hinterlüftung fließt auch durch die Natursteinfassade ein nennenswerter Wärmestrom ab. Deutlich sichtbar werden die sehr hohen Wärmestromdichten in der Metallkonstruktion, z.B. dort, wo sie die Konstruktion verlassen (vor allem am Winkelprofil). Die Fassade wirkt somit als Kühlkörper für die punktförmigen Wärmebrücken durch die Befestiger und verstärkt deren Wirkung.

Bild 18: Vorgehängte hinterlüftete Fassade mit Aluminiumschienen: Wärmestromdichten an der Aluminiumschiene und an der tragenden Innenschale aus Kalksandsteinen

7. KLIMABEDINGTER FEUCHTESCHUTZ

Aus hygienischen Gründen und aus Komfortgründen sind behagliche, trockene Räume anzustreben. Feuchte Wände und Decken können zu Schimmelpilzwachstum führen, was nicht nur unschön, 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:

- Die Baukonstruktion muss über einen ausreichenden konstruktiven Schutz vor Regen und Schlagregen und vor aufsteigender Feuchte verfügen.
- Der Schutz gegen Oberflächentauwasser auf der Raumseite erfolgt durch einen ausreichenden Wärmeschutz in der Fläche und im Bereich von Wärmebrücken.
- Der Schutz gegen unzulässige Tauwasserbildung infolge von Wasserdampf im Inneren des Bauteils erfolgt konstruktiv z.B. durch eine angepasste Schichtenfolge oder durch raumseitig diffusionshemmende Schichten.
- Die luftdichte Ausführung der Bauteile und Anschlusspunkte stellt sicher, dass es nicht zu einer Durchströmung der Konstruktion mit warmer, feuchter Raumluft und zu Kondensatbildung im Bauteilinneren kommt.
- Bei Neubauten muss eventuell vorhandene Baufeuchte in der Anfangsphase durch erhöhtes Heizen und Lüften abgeführt werden, um Tauwasser oder Schimmelpilzbildung zu vermeiden. Üblicherweise rechnet man mit einer Zeitdauer von etwa zwei Jahren, bis die Baufeuchte aus massiven Bauteilen ausgetrocknet ist.

Zweischalige KS-Konstruktionen mit Wärmedämmung (Luftschicht + Wärmedämmung; Wärmedämmung ohne Luftschicht) und einschalige KS-Konstruktionen mit WDVS oder hinterlüfteter Außenwandbekleidung sind ohne weiteren Nachweis für alle Schlagregenbeanspruchungsgruppen der DIN 4108-3 geeignet.

7.1 Diffusion von Wasserdampf

In bewohnten Räumen wird der Luft ständig Feuchte zugeführt. Die Raumluftfeuchte



Bild 19: Entstehung von Wasserdampf in einem 4-Personen-Haushalt

te hängt wesentlich von der Zahl der Bewohner, von der Wohnungsgröße und von der Wohnungsnutzung ab. Hohe Belegungsdichte, freies Wäschetrocknen, viele Pflanzen, viele Haustiere etc. führen zu einer hohen Raumluftfeuchte. Bei üblichem Wohnverhalten können in Abhängigkeit von der Haushaltsgröße und der Nutzung täglich zwischen etwa zwei und neun Liter Wasser als Wasserdampf pro Wohnung freigesetzt werden (Bild 19).

Außenwände, die atmen, gibt es nicht. Die anfallende nutzungsbedingte Feuchte muss durch Lüftung abgeführt werden. Im Vergleich zur Lüftung ist ein Feuchtetransport durch die Außenwände infolge Diffusion verschwindend gering und trägt zur Feuchteabfuhr nur unwesentlich bei (einige wenige Prozent selbst bei sehr diffusionsoffener Bauweise, Bild 20).

Unter Wasserdampfdiffusion ist der Transport gasförmigen Wassers durch den Feststoff von Bauteilen zu verstehen. Antreibendes Potenzial sind die unterschiedlichen Wasserdampfteildrücke zu beiden Seiten der Bauteile, die durch die verschiedenen klimatischen Bedingungen innen und außen entstehen. Wasserdampfdiffusion erfolgt in der Regel vom beheizten Bereich nach außen. Obwohl die Massenströme klein sind, kann es bei ungünstiger Schichtenfolge oder fehlenden diffusionshemmenden Schichten auf der Warmseite der Dämmebene zu einem Tauwasseranfall innerhalb der Konstruktion kommen, der sich über die Winterperiode zu unzulässiger Größe aufsummiert. Der Nachweis des ausreichenden Schutzes gegen Tauwasserbildung im Bauteilinneren erfolgt nach dem so genannten „Glaser“-Verfahren der DIN 4108-3. Dabei wird ein Blockklima mit zwei- bzw. dreimonatiger Tau- bzw. Verdunstungsperiode mit je-



Bild 20: Feuchtetransport aus Räumen findet zu 98 % über Lüftung und nur zu 2 % durch Diffusion statt.

weils konstanten, speziell festgelegten Klimaannahmen angesetzt, und über diese beiden Perioden die Tauwasserbilanz gebildet. Das Verfahren ist auf eindimensionale Problemstellungen beschränkt. Das Glaserverfahren der DIN 4108-3 hat sich als einfaches, „auf der sicheren Seite“ liegendes Bewertungsverfahren bewährt, insbesondere bei Bauteilen und Baustoffen, bei denen Sorptions- und Kapillareffekte keine besondere Rolle spielen. Die Standardrandbedingungen sind der DIN 4108-3 zu entnehmen.

Die europäische DIN EN 13788 bietet ein analoges Verfahren an, allerdings mit monatsweiser Berechnung bei monatsweise konstanter Klimaannahme und Tauwasserbilanzierung über den ganzen Jahresverlauf. Weil bisher für dieses Verfahren keine Klimarandbedingungen festgelegt sind, die für die Verwendung in Deutschland anzusetzen wären, kann das Verfahren der DIN EN 13788 für Deutschland noch nicht für den baurechtlichen Nachweis des klimabedingten Feuchteschutzes verwendet werden.

In den letzten Jahren hat sich die feuchtechnische Bewertung von Konstruktionen mit Hilfe von instationären Simulationsprogrammen durchgesetzt. Diese Programme bilden den Wärme- und Feuchtetransport durch die Bauteile gekoppelt ab und berücksichtigen auch die Kapillarwirkung bei der Austrocknung nasser Bauteile. Viele übliche Konstruktionen, wie z.B. Innendämmungen mit kapillaraktiven Systemen, können mittels des Glaser-Verfahrens gar nicht abgebildet werden. Solche Konstruktionen sind mittels instationärer Simulation zu untersuchen und spezifisch für die Ausrichtung des Bauteils und den Standort des Gebäudes zu bewerten.



Bild 21: Kalksandstein sorgt auch im Winter für ein behagliches Raumklima.

7.2 Kennwerte für die Wasserdampf-Diffusion

Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ : Der Widerstand, den ein Baustoff der Diffusion von Wasserdampf entgegen setzt, wird durch die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ beschrieben. Sie gibt an, um wieviel höher der Widerstand eines Stoffes gegenüber Wasserdampfdiffusion ist als der Widerstand einer gleich dicken, ruhenden Luftschicht. Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ ist bei definierten Bedingungen eine Stoffkonstante. Richtwerte für μ finden sich in DIN 4108-4 und in DIN EN ISO 10456. Sind zwei μ -Werte angegeben, ist der für die Tauperiode ungünstigere μ -Wert zu verwenden (d.h. der, bei dem sich die höhere Tauwassermenge ergibt). Dieser μ -Wert ist dann auch für die Verdunstungsperiode beizubehalten (Bild 22).

Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d : Das Verhalten von Baustoffschichten hinsichtlich Wasserdampfdiffusion wird durch die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d charakterisiert. Sie drückt aus, wie dick eine ruhende Luftschicht sein müsste, um den gleichen Widerstand gegen Wasserdampfdurchgang zu haben wie die betrachtete Bauteilschicht (Bild 23). Der s_d -Wert ist das Produkt aus der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ des Materials und der Dicke d der betrachteten Schicht, und ist damit keine Materialeigenschaft, sondern eine Eigenschaft der konkreten Materialschicht. Die Nomenklatur der Norm ist wie folgt:

- Diffusionsoffene Schicht: Bauteilschicht mit einem s_d -Wert von weniger als 0,5 m

- Diffusionshemmende Schicht: Bauteilschicht mit einem s_d -Wert zwischen 0,5 und 1.500 m
- Diffusionsdichte Schicht: Bauteilschicht mit einem s_d -Wert größer als 1.500 m

Die früher üblichen bzw. umgangssprachlichen Bezeichnungen „Dampfbremse“ und „Dampfsperre“ sind nicht mehr normkonform. Für mehrschichtige, ebene Bauteile können die s_d -Werte der einzelnen hintereinanderliegenden Schichten addiert werden, um den s_d -Wert des ganzen Bauteils zu bestimmen. Die Wasserdampf-Übergangswiderstände an den Bauteiloberflächen sind so klein, dass sie vernachlässigt werden.

Aus Bild 23 ist erkennbar, dass die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke einer Wärmedämmschicht in der Größenordnung der einer massiven Holzwand liegt.

Für außenseitig auf Bauteilen bzw. außenseitig von Wärmedämmungen vorhandene Schichten (z.B. Bahnen, Papiere etc.) mit messtechnisch ermittelten s_d -Werten kleiner als 0,10 m wird in der Berechnung als s_d -Wert 0,10 m angesetzt, um eine mögliche Messunsicherheit bei so kleinen s_d -Werten aufzufangen.

7.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist

In DIN 4108-3 sind Wand- und Dachbauteile angegeben, deren feuchtechnische Funktionsfähigkeit aus der Erfahrung bekannt ist und für die kein weiterer Nachweis des ausreichend niedrigen Tauwasserausfalls erforderlich ist.

Außenwände (Auswahl):

- Außenwände aus einschaligem Mauerwerk, verputzt
- Außenwände aus zweischaligem Mauerwerk, verputzt, mit Kerndämmung oder Wärmedämmung und Luftschicht oder nur mit Luftschicht
- Außenwände aus Mauerwerk, raumseitig verputzt, mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung
- Außenwände aus Mauerwerk, verputzt, mit WDVS
- Außenwände aus Mauerwerk, verputzt, außenseitig mit angemörtelten

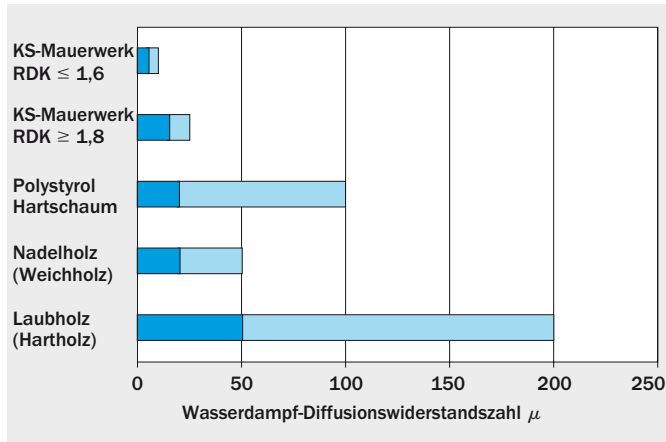


Bild 22: Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen ausgewählter Materialien, angegeben sind jeweils Klein- und GrößtWert nach DIN 4108-4 bzw. nach DIN EN 12524.

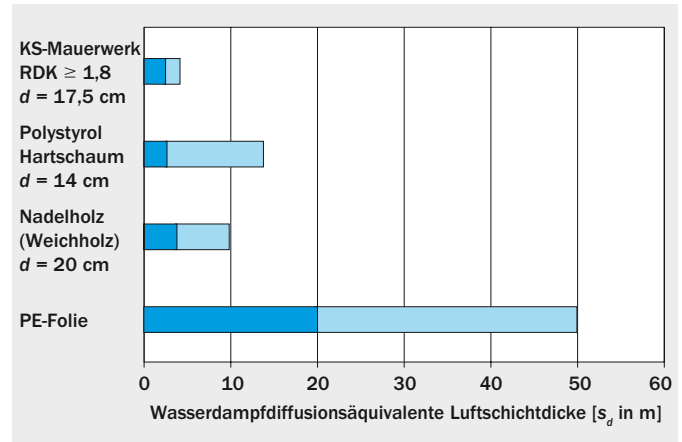


Bild 23: Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_{d,i}$ ausgewählter Baustoffschichten, jeweils für den Klein- und den GrößtWert des μ -Werts nach DIN V 4108-4 bzw. nach DIN EN 12524.

Bekleidungen mit mindestens 5 % Fugenteil

- Perimetergedämmte Kelleraußenwände aus Beton oder einschaligem Mauerwerk
- Perimetergedämmte Bodenplatten mit Abdichtung nach DIN 18195, wenn die raumseitigen Schichten nicht mehr als 20 % des gesamten Wärmedurchlasswiderstands des Bauteils ausmachen
- Wände in Holzbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale und raumseitiger Schicht mit $s_d \geq 2$ m

$$s_{d,e} \leq 0,1 \text{ m und } s_{d,i} \geq 1,0 \text{ m}$$

$$s_{d,e} \leq 0,3 \text{ m und } s_{d,i} \geq 2,0 \text{ m}$$

$$s_{d,e} > 0,3 \text{ m und } s_{d,i} \geq 6 \cdot s_{d,e}$$

Bei nicht belüfteten Dächern mit belüfteter oder nicht belüfteter Dachdeckung und äußeren diffusionshemmenden Schichten mit $s_{d,e} \geq 2$ m trocken erhöhte Baufeuchte oder später z.B. durch Undichtheiten eingedrungene Feuchte nur schlecht oder gar nicht aus. Es ist bei diesen Konstruktionen zu beachten, dass zwischen den inneren diffusionshemmenden Schichten ($s_{d,i}$) und den äußeren diffusionshemmenden Schichten ($s_{d,e}$) bzw. der äußeren Dachabdichtung Holz oder Holzwerkstoffe nur bis zu der jeweiligen zulässigen Materialfeuchte eingebaut werden.

Einschalige KS-Außenwände, zweischalige KS-Außenwände mit Wärmedämmung, KS-Außenwände mit WDVS und KS-Kellerwände mit Perimeterdämmung sind hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion unkritisch und bedürfen keines Nachweises für den Tauwasserausfall im Inneren des Bauteils (DIN 4108-3).

Dächer (Auswahl):

- Nicht belüftete Dächer mit einer belüfteten Dachdeckung und einer Wärmedämmung zwischen, unter und/oder über den Sparren bedürfen keines rechnerischen Tauwassernachweises, wenn die $s_{d,i}$ -Werte der Schichten auf der Innen- und der Außenseite der Wärmedämmung in folgenden Verhältnissen zueinander stehen:

Dabei bezeichnet $s_{d,e}$ die Summe der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten zwischen der Kaltseite der Wärmedämmung und der äußeren Hinterlüftung und $s_{d,i}$ die Summe der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten zwischen der Warmseite der Wärmedämmung und der Raumluft.

7.4 Konstruktive Hinweise

Überschlägig orientiert man sich an der Grundregel, dass der $s_{d,i}$ -Wert der Baustoffschichten eines Bauteils von innen nach außen abnehmen soll, um die Diffusion von Wasserdampf im Bauteilquerschnitt nicht zu behindern. Wärmedämm-Verbundsysteme weichen von dieser Grundregel ab. Die Systemkomponenten von Wärme-

dämm-Verbundsystemen sind allerdings so aufeinander abgestimmt, dass die Diffusion im Bauteilquerschnitt nur geringfügig und unbedenklich behindert wird. Die feuchtetechnische Funktionsfähigkeit von verputztem Kalksandstein-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem ist aus mehr als 40-jähriger Erfahrung hinreichend bekannt. Dementsprechend ist diese Bauweise in DIN 4108-3 in die Liste der Bauteile aufgenommen, für die hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion kein weiterer rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist.

Werden diffusionshemmende Bahnen oder Schichten verwendet, z.B. im Dach, sollte der $s_{d,i}$ -Wert der raumseitigen Bahn 6 bis 10 mal so groß sein wie der $s_{d,i}$ -Wert der außenseitigen Bahn.

Wird statt der Außen- eine Innendämmung verwendet, befindet sich die Innenseite der tragenden Wandschale bereits fast auf Außentemperaturniveau. Es besteht ein hohes Risiko, dass Wasserdampf, der auf dem Wege der Diffusion (oder gar der Konvektion durch eine Luftundichtheit) durch die Konstruktion zur tragenden Wand gelangt, dort als Tauwasser innerhalb der Konstruktion ausfällt. Als Abhilfe sind ausreichend diffusionshemmende Dämmstoffe oder raumseitige diffusionshemmende Bekleidungen erforderlich. Vor allem an durchdringenden Bauteilen sind letztere oft nur mit Aufwand luft- und diffusionsdicht anzuschließen. Alternativ können auch spezielle, kapillarleitende Dämmstoffe verwendet werden. In energetischer Hinsicht wirken sich bei einer Innendämmung die zahlreichen Wärmebrücken an den Durchdringungen der raumseitigen In-

nendämmung durch einbindende Massivbauteile ungünstig aus.

Sowohl aus Gründen der Wasserdampfdiffusion als auch für die Wärmebrückenvermeidung ist es deshalb unbedingt empfehlenswert, zusätzliche Wärmedämmschichten, soweit möglich, nicht auf der Innenseite, sondern auf der Außenoberfläche von Massivbauteilen oder als Kerndämmung im äußeren Teil des Wandquerschnitts anzubringen. Diese Schichtenfolge ist bei Verwendung eines angepassten diffusionsoffenen Außenputzsystems unkritisch hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion. Die tragende Konstruktion wird vor Temperaturwechselbeanspruchungen von außen geschützt. Und die außenseitige Dämmung bildet eine durchgehende Dämmschicht, die Wärmebrücken durch innenseitig einbindende Bauteile vermeidet.

7.5 Austrocknungsverhalten von Mauerwerkswänden

Das Austrocknungsverhalten von Baustoffschichten und Bauteilen ist insbesondere dann wichtig, wenn die betreffende Baustoffschicht für die Wärmedämmung des Bauteils von Bedeutung ist. Bei monolithischem Mauerwerk ist der Wärmeschutz der Außenwand überwiegend von den Mauersteinen abhängig. Wird ein solches Mauerwerk in der Bauphase durchnässt oder durchfeuchtet, wird der geplante Wärmeschutz erst dann erreicht, wenn die Wände bis zur Ausgleichsfeuchte ausgetrocknet sind. Rechnerische Untersuchungen zeigen, dass dies bis zu zwei bis drei Jahre dauern kann. Der Heizwärmebedarf eines Raums kann in dieser Zeit, je nach Durchfeuchtung des Mauerwerks und Austrocknungsverhalten, um bis zu 30 % höher sein als im ausgetrockneten Zustand [9].

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.

Der Wärmeschutz von KS-Funktionswänden ist von Anfang an gewährleistet.

Künzel untersucht in [10] die Austrocknungszeit verschiedener Wandkonstruk-

tionen mit WDVS. Dabei kommt er zu folgenden Ergebnissen:

- Die Austrocknungszeit von wenig dämmenden Wandbildnern wie Kalksandsteinen liegt beim WDVS mit EPS-Dämmung im Bereich von monolithischen Wänden. Bei Verwendung von Mineralwolle liegt sie noch darunter.
- Da das Kalksandstein-Mauerwerk selbst nur wenig zur Wärmedämmung der Wand beiträgt, stellt eine lang anhaltende Baufeuchte im Kalksandstein-Mauerwerk in der Regel kein Problem dar, solange sie nicht über Anschlüsse oder Einbindungen in feuchteempfindliche Bereiche eindringt.
- Bei dämmenden Wandbildnern wie z.B. Porenbeton (ähnliches gilt auch für porosierte Ziegel oder Leichtbetone) sind WDVS mit wasserdampfdiffusionshemmender Wirkung, wie z.B. mit EPS-Hartschaum, ungünstig. Die geringe Trocknungsmöglichkeit nach außen kann zu länger erhöhter Baufeuchte im Mauerwerk führen, was den Wärmedurchlasswiderstand der Wand reduziert. Ein WDVS auf Mineralwollebasis führt zu Austrocknungszeiten, wie sie bei Wänden ohne Außendämmung erreicht werden.

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 deshalb unbedingt erforderlich, verstärkt zu lüften (und im Winter ggf. verstärkt zu heizen), um die austrocknende Baufeuchte mittels Lüftung nach außen abzuführen.

Für die Austrocknung von KS-Innenwänden können aus Versuchen unter ungünstigen Klimarandbedingungen (20 °C, 65 % r.F.) näherungsweise folgende Anhaltswerte für die Austrocknungszeit 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 bei praxisgerechten Klimarandbedingungen sind deutlich kürzere Austrocknungszeiten zu erwarten [11].

8. LUFTDICHTHEIT

Eine möglichst luftdichte Ausführung der Gebäudehülle ist vor allem aus Feuchteschutzgründen wichtig. Anderenfalls kann warme, feuchte Raumluft durch Undichtheiten der Gebäudehülle nach außen strömen. Dabei kann es an kalten Stellen innerhalb der Konstruktion zu Kondensatbildung und Schimmelpilzwachstum kommen. Dies kann letztlich zur Schädigung oder gar Zerstörung von Konstruktionsteilen führen.

Aber auch unter dem Aspekt der Energieeinsparung ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle zu sehen. Bei freier Lüftung beträgt der Lüftungswärmeverlust bei gut gedämmten Neubauten zwischen 30 und etwa 50 % der gesamten Wärmeverluste. Ähnlich wie bei den Wärmebrücken gilt auch hier, dass der prozentuale Anteil der Lüftungswärmeverluste mit zunehmender energetischer Qualität der Gebäudehüllfläche ansteigt. Dementsprechend ist darauf zu achten, dass die Gebäudehülle möglichst wenig ungeplante Undichtheiten enthält, durch die ein unkontrollierbarer Luftwechsel stattfindet. Lüftungsanlagen (ohne, vor allem aber mit Wärmerückgewinnung) können die Lüftungswärmeverluste reduzieren bei gleichzeitiger Sicherstellung einer guten Raumluftqualität und hohem Nutzerkomfort.

Hervorzuheben ist, dass die erforderliche Lüftung eines Gebäudes planmäßig über natürliche Lüftung (Fensterlüftung), durch Lüftungseinrichtungen (z.B. Außenluftdurchlässe ALD) oder durch mechanische Lüftung erfolgt, nicht durch mehr oder weniger zufällige Undichtheiten der Gebäudehülle wie undichte Bauteilanschlüsse, undichte Durchdringungen etc. Der Luftdurchgang durch solche Undichtheiten ist zu stark abhängig von der momentanen Wind- und Luftdrucksituation, um eine sichere, ausreichende, energieeffiziente Lüftung sicherzustellen.

Hinsichtlich der Luftdichtheit ist der Mauerwerksbau mit Kalksandstein aufgrund seiner einfacheren und weniger fehleranfälligen Details im Vorteil gegenüber Leichtbauweisen, weil die Luftdichtheitschicht schon durch einen einlagigen Innenputz hergestellt wird. Die einfache und sichere Ausführung eines luftdichten Anschlusses des Dachaufbaus an das verputzte Kalksandstein-Mauerwerk zeigt Bild 24. Besonders hinzuweisen ist im Zusammenhang mit der Luftdichtheit auf folgende Details:

- Alle Bauteilanschlüsse im Dach- und Fensterbereich
- Alle Durchdringungen im Dach
- Abschlüsse von Mauerkronen (Abdeckung von Lochsteinen durch Mörtelauftrag oder Verwendung gedeckelter Steine)
- Alle offen zutage tretenden Lochkanäle der Mauersteine (z.B. an Mauerkronen und unter Fensterbrettern) sind durch eine Mörtelaufgabe abzudeckeln.

Kalksandsteine – auch als Lochsteine – werden grundsätzlich mit geschlossenem Deckel hergestellt. Dies ist vorteilhaft hinsichtlich der Verarbeitung (vollflächiger Mörtelauftrag) und Luftdichtheit (keine durchgehenden Lochkanäle). Werden so genannte KS -E-Steine mit durchgehenden Lochungen für die Elektroinstallation verwendet, so sind die Kanäle am Wandkopf zu schließen und die eingesetzten Steckdosen luftdicht anzuschließen, z.B. durch Einsetzen in einen Gipsbatzen oder Verwenden spezieller Steckdoseinsätze.

Mauerwerksbereiche hinter abgehängten Decken, Spülkästen, Fußbodenleisten, Estrichaufbauten etc. sind vor Anbringen der Einbauten vollflächig zu verputzen, um die Luftdichtheit zu gewährleisten. Steckdosen in Mauerwerk mit durchgehenden Elektrokanälen sind luftdicht einzusetzen. Es empfiehlt sich, die Anschlüsse von Luftdichtheitsfolien an aufgehende Wandbereiche mechanisch zu sichern, z.B. durch eine Anpressleiste mit untergelegtem Komtriband, oder die Folie mit Rippenstreckmetall auf der Wand zu fixieren und einzuputzen.

KS-Mauerwerk selbst ist luftdicht. Dies gilt bereits bei Verwendung von einseitigem Dünnlagenputz (mittlere Dicke 5 mm) oder bei Vermörtelung der Stoß- und Lagerfugen. Der Innenputz ist bis Oberkante Rohdecke zu führen

Ausführungsempfehlungen und -hinweise für Bauteile und Bauteilanschlüsse werden exemplarisch in DIN 4108-7 gegeben, was den Planer jedoch nicht von der Pflicht zu eigenverantwortlichem Nachdenken und Entscheiden entbindet. Es ist wichtig, dass der Planer die Luftdichtheit

als eigenständige Planungsleistung befreit und entsprechend sorgfältig plant. Selbstverständlich ist auch auf eine handwerklich gute Ausführung zu achten. Diese sollte während der Bauphase intensiv kontrolliert und anschließend mittels einer Differenzdruckmessung (Blower-door) nachgewiesen werden.

Bei Sichtmauerwerk sind die Stoßfugen vollständig auszufüllen, und das Mauerwerk selbst ist sorgfältig zu erstellen.

Die Durchführung dieser Luftdichtheitsprüfung wird von der EnEV nicht gefordert, jedoch ist die ausreichende Luftdichtheit eines Gebäudes eine vom Bauausführenden geschuldete Eigenschaft des Gebäudes. Das Nachweisverfahren der EnEV sieht, sozusagen als Bonus, reduzierte rechnerische Lüftungswärmeverluste vor, wenn später eine Luftdichtheitsprüfung durchgeführt und bestanden wird. Generell ist anzuraten, frühzeitig die ausreichende Luftdichtheit der Gebäudehülle nachzuweisen – also zu einem Zeitpunkt, zu dem noch Nachbesserungen an der Luftdichtheitsebene möglich sind. Voraussetzung für die Luftdichtheitsmessung ist aber, dass die luftdichte Schicht innerhalb der thermischen Gebäudehülle fertiggestellt ist. Die Messung erfolgt

hinsichtlich der Fenster, Türen und sonstiger Öffnungen im späteren Gebrauchszustand. Das heißt, die in der thermischen Gebäudehülle liegenden Fenster 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 einem Merkblatt [12].

Die Überprüfung der Luftdichtheit der Gebäudehülle erfolgt mit dem Differenzdruckverfahren nach DIN EN 13829 (Blower-door). Es gelten die folgenden Mindestanforderungen an den auf 50 Pa Druckdifferenz bezogenen Prüfwert n_{50} :

- Für Gebäude ohne raumlufttechnische Anlagen: $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$
- Für Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen: $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$

Angestrebt werden sollten allerdings n_{50} -Werte von nicht mehr als $2,0 \text{ h}^{-1}$ für Gebäude ohne und nicht mehr als $1,0 \text{ h}^{-1}$ für Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen, bei guten Niedrigenergiehäusern und Passivhäusern Werte in der Größenordnung von $0,6 \text{ h}^{-1}$ und darunter.

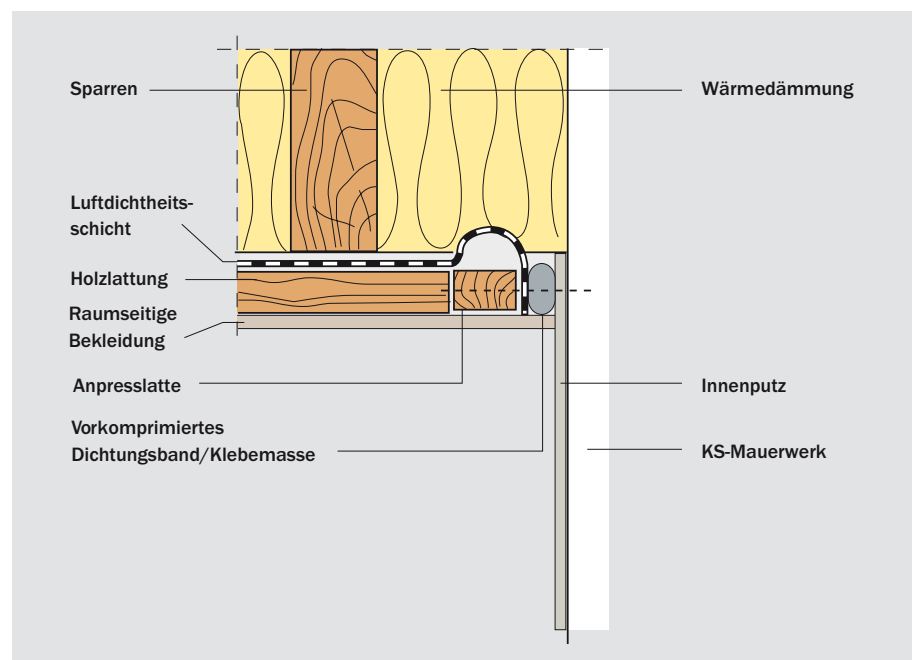


Bild 24: Luftdichter Anschluss an eine verputzte KS-Wand nach DIN 4108-7

9. WÄRMEÜBERTRAGUNG ÜBER DAS ERDREICH

Die Bedeutung von Kellerräumen hat sich schon durch steigende Grundstückspreise grundlegend verändert. War der Keller früher als Vorratslager und Abstellfläche genutzt, wird er heute insbesondere im Einfamilienhausbau mehr und mehr in den eigentlichen Wohnbereich mit einbezogen. Grundvoraussetzung dafür sind trockene Wand- und Deckenflächen. Diese müssen dauerhaft gegen von außen einwirkendes Wasser und Feuchtigkeit von innen geschützt werden. 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. Auch als Nachrüstlösung bei Nutzungsänderungen ist diese Ausführungsvariante 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 ist, dass Tauwasserausfall auf der Innenseite der Kellerwand und des Kellerbodens verhindert und die Bauwerksab-

dichtung mechanisch geschützt wird, Wärmebrücken vermieden bzw. vermindert werden, und die Dämmung in größeren Dicken dimensionierbar ist, da im Keller kein Platz verloren geht. 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. Neben allgemeinen zwei- und dreidimensionalen numerischen Rechenverfahren (DIN EN ISO 10211) können die winterlichen Wärmeverluste des Kellers ausreichend genau nach den Verfahren in DIN V 4108-6, DIN V 18599-2 oder DIN EN ISO 13370 berechnet werden (Bild 25). Für die tägliche Praxis hat sich das vereinfachte Verfahren mit Temperaturkorrekturfaktoren F_x durchgesetzt, wie es in DIN V 4108-6 und DIN V 18599-2 enthalten ist. Dabei wird der U-Wert des erdberührten Bauteils als so genannter „konstruktiver U-Wert“ einfach aus Schich-

tenfolge des Bauteils, unter Vernachlässigung des Erdreichs, bestimmt. Der äußere Wärmeübergangswiderstand ist Null, da direkter Kontakt zum Erdreich besteht. Der Wärmetransport durch das Bauteil wird dann mittels tabellierter Faktoren auf die äquivalente durchschnittliche Temperaturdifferenz korrigiert. Die Geometrie des beheizten Kellerbereichs geht über das charakteristische Bodenplattenmaß B' ein. B' ist das Verhältnis aus beheizter Kellerbodenfläche zum Umfang dieser Fläche. Eine detaillierte Beschreibung der Berechnung der Wärmeverluste über den Keller findet sich in den Benutzerhinweisen des KS-Wärmebrückenkatalogs.

Ebenfalls wird vereinfachend für verschiedene Dämmsituationen unterschieden. Die F_x -Werte unterscheiden sich geringfügig zwischen dem Heizperiodenbilanzverfahren der EnEV und der Berechnungsnorm DIN V 18599-2. So wird im Heizperiodenbilanzverfahren der EnEV für alle Bauteile des unteren Gebäudeabschlusses der Wert 0,6 angesetzt. Vereinfachend darf nach DIN V 18599-2 ein Wert von 0,7 verwendet werden. Die F_x -Werte sind generell nicht zutreffend und damit nicht anwendbar, wenn der sommerliche Wärmeeintrag berechnet werden soll, d.h. bei gekühlten Gebäuden. Hier sind dann für erdberührte Bauteile die U-Werte und Verfahren nach DIN EN ISO 13370 zu verwenden. Tafel 12 gibt die Temperaturkorrekturfaktoren F_x gemäß DIN V 18599-2 wieder.

Aufgrund der geringeren wirksamen Temperaturdifferenz bei erdberührten Bauteilen im Vergleich zu Bauteilen an Außenluft, die sich ja in den F_x -Werten ausdrückt, ist die Wärmedämmung des Untergeschosses weniger ergiebig als die gleiche Wärmedämmung bei Bauteilen an Außenluft. Als Kompromiss aus Energieeinsparung, Komfort und Kosten werden derzeit Perimeterdämmungen von etwa 12 cm Dicke als sinnvoll angesehen – bei Passivhäusern sind Perimeterdämmungen mit 20 bis 25 cm Dicke zu finden. Besondere Beachtung sollte der Reduzierung von Wärmebrücken im Bereich von Deckenauflegern und Fundamenten durch geschickte Lösungen zukommen. Hinweise und Hilfen zur Konstruktion finden sich im KS-Wärmebrückenkatalog und im Beiblatt 2 zu DIN 4108 mit Prinzipskizzen und Planungs- und Ausführungsempfehlungen.

Dem Umstand der verminderten Wärmeübertragung von Bodenplatten über das Erdreich an die Außenluft trägt auch die

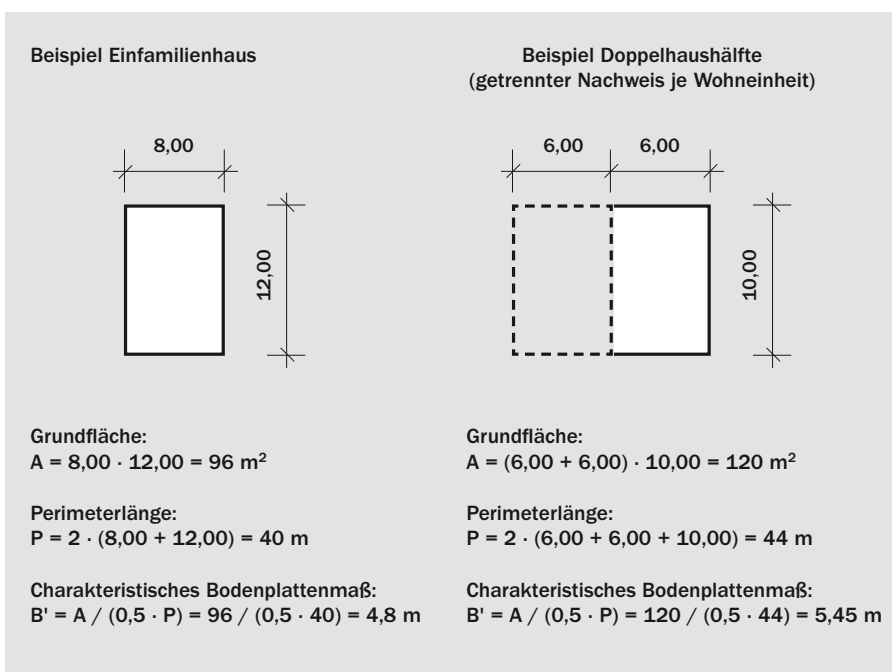


Bild 25: Bestimmung des charakteristischen Bodenplattenmaß B' ; Beispiele

Festlegung in DIN 4108-2 Rechnung, dass für unmittelbar an das Erdreich grenzende Bodenplatten normal und niedrig beheizter Räume nur bis zu einer Raumtiefe von 5 m

eine zusätzliche Wärmedämmung erforderlich ist. Dies kommt vor allem bei größeren Hallen und Produktionsgebäuden zum Tragen. Im Wohnungsbau sind die Boden-

plattenabmessungen oftmals nicht ausreichend, um diesen Effekt auszunutzen.

Tafel 12: Temperaturkorrekturfaktoren F_x

Zeile	Wärmestrom nach außen über	F_x	Temperatur-Korrekturfaktor $F_x^{1)}$					
1	Außenwand, Fenster, Decke über Außenluft	F_e	1,0					
2	Dach (als Systemgrenze)	F_D	1,0					
3	Dachgeschossdecke (Dachraum nicht ausgebaut)	F_D	0,8					
4	Wände und Decken zu Abseiten (Drempel)	F_u	0,8					
5	Wände und Decken zu unbeheizten Räumen (außer am unteren Gebäudeanschluss)	F_u	0,5					
6	Wände und Decken zu niedrig beheizten Räumen ²⁾	F_{nb}	0,35					
7	Wände und Fenster zu unbeheiztem Glasvorbau bei einer Verglasung des Glasvorbaus mit <ul style="list-style-type: none"> ● Einfachverglasung ● Zweischeibenverglasung ● Wärmeschutzverglasung 	F_u	0,8					
8		F_u	0,7					
9		F_u	0,5					
	Bauteile des unteren Gebäudeabschlusses		$B'^{3)}$ [m]					
			< 5		5 – 10		> 10	
			R_f bzw. $R_w^{4)}$		R_f bzw. $R_w^{4)}$		R_f bzw. $R_w^{4)}$	
			≤ 1	> 1	≤ 1	> 1	≤ 1	> 1
10	Flächen des beheizten Kellers <ul style="list-style-type: none"> ● Fußboden des beheizten Kellers ● Wand des beheizten Kellers 	$F_G = F_{bf}$	0,30	0,45	0,25	0,40	0,20	0,35
11		$F_G = F_{bw}$	0,40	0,60	0,40	0,60	0,40	0,60
			R_f		R_f		R_f	
			≤ 1	> 1	≤ 1	> 1	≤ 1	> 1
12	Fußboden ⁵⁾ auf dem Erdreich ohne Randdämmung	$F_G = F_{bf}$	0,45	0,60	0,40	0,50	0,25	0,35
13	Fußboden ⁵⁾ auf dem Erdreich mit Randdämmung ⁶⁾ <ul style="list-style-type: none"> ● 5 m breit, waagrecht ● 2 m tief, senkrecht 	$F_G = F_{bf}$	0,30		0,25		0,20	
14		$F_G = F_{bf}$	0,25		0,20		0,15	
15	Kellerdecke und Kellerinnenwand <ul style="list-style-type: none"> ● zum unbeheizten Keller mit Perimeterdämmung ● zum unbeheizten Keller ohne Perimeterdämmung 	F_G	0,55		0,50		0,45	
16		F_G	0,70		0,65		0,55	
17	Aufgeständerter Fußboden	F_G	0,9					
18	Bodenplatte von niedrig beheizten Räumen ²⁾	F_G	0,2	0,55	0,15	0,5	0,1	0,35

¹⁾ Die Werte (außer Zeilen 6, 12, 13 und 14) gelten analog auch für die Flächen niedrig beheizter Räume.

²⁾ Räume mit Innentemperaturen zwischen 12 °C und 19 °C

³⁾ $B' = A_G / (0,5 P)$. Bei nebeneinanderliegenden, ähnlich konditionierten Gebäuden bzw. Zonen sind für die Bestimmung des charakteristischen Bodenplattenmaßes B' die Außenabmessungen und die Fläche des gesamten nebeneinanderliegenden, ähnlich konditionierten Bodenplattenbereichs zu verwenden.

⁴⁾ R_f : Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte (betrifft Zeile 10, 12, 18) bzw.

R_w : Wärmedurchlasswiderstand der Kellerwand (betrifft Zeile 11); ggfs. flächengewichtete Mittelung von R_f und R_w (betrifft Zeile 10, 11)

⁵⁾ Bei fließendem Grundwasser erhöhen sich die Temperatur-Korrekturfaktoren um 15 %.

⁶⁾ Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Randdämmung > 2 m²·K/W, Bodenplatte ungedämmt, siehe auch Bild 2 und 3 in DIN EN ISO 13370:1998-12

10. SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ/ HITZESCHUTZ

10.1 Sommerlicher Wärmeschutz von Aufenthaltsräumen

Das sommerliche Temperaturverhalten eines nicht klimatisierten Aufenthaltsraums wird maßgeblich bestimmt von:

- Außenklima
- Sonneneinstrahlung
- Fensterfläche, -orientierung und -neigung
- Gesamtenergiedurchlassgrad der Fenster inklusive deren Sonnenschutz
- Lüftungs- und Wohnverhalten der Nutzer: Um das Raumklima behaglich kühl zu halten, müssen die Wärmezufuhr von außen (Nutzung der Verschattungseinrichtungen bei Sonnenschein) und der Wärmegegewinn in den Räumen (Abwärme von Geräten, Belegungsdichte) möglichst gering und die Wärmeabfuhr nach außen (über erhöhte Nachtlüftung) möglichst groß gehalten werden.
- Wärmespeicherverhalten des betrachteten Raumes: Es sollten Speichermassen (mit direktem Kontakt zur Raumluft) zur Verfügung stehen, um tagsüber den Anstieg der Raumtemperatur wirksam zu begrenzen.
- Wärmeschutz der Außenbauteile

Diese Punkte sind vom Planer in der Gebäudekonzeption zu berücksichtigen und entsprechende Vorkehrungen zu treffen, um ein angenehmes Sommerklima im Gebäude zu ermöglichen.

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 ist bei allen beheizten Gebäuden zu führen.

Im Rahmen des Nachweises nach Energieeinsparverordnung ist sowohl bei klimatisierten als auch bei nicht-klimatisierten Gebäuden der Nachweis eines ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 zu führen. Dafür steht in der Norm mit dem so genannten Sonneneintragskennwertverfahren ein einfaches Handrechenverfahren zur Verfügung, welches auch die Berücksichtigung verschiedener Bauweisen, erhöhter Nachtlüftung und von passiver Kühlung gestattet.

Dieses Handrechenverfahren ist ein einfacher ingenieurmäßiger Nachweis des sommerlichen Temperaturverhaltens eines Raumes unter Berücksichtigung der wichtigsten Einflussfaktoren. Es soll sicherstellen, dass im Sommer in Gebäuden auch ohne Kühlmaßnahmen keine unzumutbar hohen Temperaturen auftreten. Es wird untersucht, ob und wie oft übliche Räume mit normalen Anforderungen und Nutzungen eine vorgegebene Temperaturgrenze überschreiten. Das Verfahren kann nicht zur Auslegung einer Klimaanlage herangezogen werden.

Ein Nachweisprogramm zum sommerlichen Wärmeschutz findet sich im KS-Downloadcenter.

Bei größeren Objekten oder großzügiger Verglasung wird deshalb empfohlen, im Zuge der detaillierten Planung des Gebäudes eine genaue Berechnung der zu erwartenden sommerlichen Raumtemperaturen vorzunehmen. Dazu wird rechnerisch eine thermische Gebäudesimulation vorgenommen. Soll damit auch der Nachweis des ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 bzw. EnEV erfolgen, sind für den Nachweis die in der Norm aufgelisteten, standardisierten Berechnungsrandbedingungen und Annahmen in die Berechnung einzusetzen – anderenfalls können die Berechnungsergebnisse nicht mit den zahlenmäßigen Mindestanforderungen der Norm verglichen werden! Bei Ein- und Zweifamilienhäusern mit Rollläden an den Ost-, Süd- und Westfenstern kann generell auf eine Nachweisführung verzichtet werden; der sommerliche Mindestwärmeschutz gilt dort als eingehalten, weil die Nutzer ausreichende Eingriffs- und Ausweichmöglichkeiten haben.

Besonders gefährdet hinsichtlich sommerlicher Überhitzung sind große Räume, die einer starken Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind (z.B. große, süd- bis westorientierte Fenster ohne Verschattung) und/oder wenig Speichermassen besitzen, um die eingestrahlte Sonnenenergie abzufahren (z.B. wenige oder leichte Innenbauteile, Großraumbüros, Dachgeschosse). Bei innengedämmten Bauteilen wird die Wärmespeicherfähigkeit des Bauteils durch die Innendämmung vom Raum abgekoppelt. Das Bauteil steht nicht mehr als Puffer für die Wärme im Raum zur Verfügung. Abgehängte Decken, dicke Teppiche etc. haben einen ähnlichen Effekt. Es sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass

schwere Bauteile mit direkter Raumanbindung als Speichermasse verbleiben.

In Massivbauten, auch solchen mit konventionellem Dach, hat die Art des Dämmstoffs und der Dachbauart (Zwischensparren- oder Aufsparrendämmung) keine praktisch relevante Auswirkung auf die sommerlichen Raumtemperaturen im Dachgeschoss. Die Temperaturunterschiede liegen in der Spitze bei einigen wenigen Zehnteln Grad. Von entscheidender Bedeutung sind vielmehr die Fenstergröße, die Effektivität des Sonnenschutzes, das Lüftungsverhalten der Nutzer, vor allem hinsichtlich einer erhöhten Nachtlüftung, die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile und ein guter Wärmeschutz der Außenbauteile.

Die Begrenzung der direkten Sonneneinstrahlung in den Raum ist die wichtigste Maßnahme zur Wahrung einer angenehmen Raumtemperatur im Sommer. Dies ist vor allem eine Aufgabe des Planers bei der Grundkonzeption des Gebäudeentwurfs. Am einfachsten ist dies durch eine außen liegenden Sonnenschutzvorrichtung zu erreichen.

Wärmeschutz ist nicht nur im Winter von Bedeutung, sondern auch zunehmend im Sommer. Hier liegen klare Vorteile der KS-Funktionswand mit außen liegender Wärmedämmung. Die hohe Rohdichte bedingt nennenswerte Speichermassen im Gebäude, die sich günstig auf die sommerliche thermische Behaglichkeit auswirken. Aufgrund der viel größeren Speichermasse kommt es in Gebäuden in Massivbauweise in signifikant geringerem Umfang als in Leichtbauten oder gar nicht zu unangenehmen Überhitzungserscheinungen im Sommer. Hier helfen auch die Innenwände aus Kalksandsteinen, die mit ihrer großen Speichermasse Temperaturspitzen abpuffern. Gleichzeitig ist vor allem bei großzügigen Verglasungen ein effektiver außen liegender Sonnenschutz zu verwenden.

Hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes kann die Massivbauweise mit schweren Wänden ($R_{DK} \geq 1,8$) in Kombination mit Betondecken pauschal als „schwere Bauweise“ nach DIN 4108-2 bewertet werden. Das wirkt sich hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes positiv aus.

10.2 Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem vereinfachten Nachweisverfahren des sommerlichen Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2

Die bisherige Ausgabe der DIN 4108-2 stammt von Juli 2003 und ist fast 10 Jahre alt. Vor allem für den Mindestwärmeschutz an Wärmebrücken und im Sommer bestand Überarbeitungsbedarf. Die Neuausgabe 2013-02 wird privatrechtlich einzuhalten sein, da sie den aktuellen anerkannten Stand der Technik darstellt. Hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes bezieht sich die derzeit gültige EnEV allerdings in einem datierten Verweis auf die Ausgabe 2003-07 dieser Norm. Für den EnEV-Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gilt damit formal bis zu einer Neuausgabe der EnEV die bisherige Normausgabe 2003-07. Es wird dem Planer jedoch empfohlen, sich auch für den sommerlichen Wärmeschutznachweis auf die neue Normausgabe abzustützen. Durch die Änderungen im Nachweisverfahren ergeben sich nun höhere Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz. Es ist davon auszugehen, dass damit auch die Einhaltung der bisherigen Normausgabe sichergestellt ist. Zudem führen diese neuen Festlegungen zu einem höheren Schutzniveau, welches Bauherren aktuell erwarten können.

Es handelt sich um ein Nachweisverfahren mit standardisierten Randbedingungen. Für den Nachweis wird generell nur der vermutlich kritischste Raum betrachtet. Ist dort die Anforderung eingehalten, gilt die Einhaltung für alle anderen Räume des Gebäudes. Das Verfahren beruht auf dem Vergleich eines so genannten vorhandenen Sonneneintragskennwerts mit einem zulässigen Höchstwert, für den Teil-Kennwerte für verschiedene solare und thermische Aspekte des betrachteten Raumes addiert werden. Der vorhandene Sonneneintragskennwert wird in Abhängigkeit von der Fensterfläche, dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung, der Wirksamkeit der Verschattungseinrichtung und der Grundfläche des Raumes bestimmt. Der Nachweis des sommerlichen Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 kann einfach mit Hilfe des KS-Nachweisprogramms zum sommerlichen Wärmeschutz [13] geführt werden.

DIN 4108-2:2013-02 enthält eine überarbeitete Klimakarte, welche auf den aktuellen Testreferenzjahren basiert, zur Zuordnung des Standorts zu einer der Sommerklimaregionen. Die Sommerklimaregionen werden nur noch mit A, B und C bezeichnet,

um irreführende Assoziationen zu sommerheißen Gebieten zu vermeiden.

Die Tabelle 7 der DIN 4108-2 mit den Abminderungsfaktoren F_c von Sonnenschutzeinrichtungen wurde überarbeitet und unterscheidet nun zwischen Zweifach- und Dreifach-Wärmeschutzglas und Sonnenschutzglas. Das Verfahren des zulässigen Sonneneintragskennwerts kann nun eine erhöhte Nachtlüftung mit einem Luftwechsel von 2,0/h und eine hohe Nachtlüftung mit einem Luftwechsel von 5,0/h abbilden. Passive Kühlung kann ebenfalls berücksichtigt werden, um vor allem in einer frühen Planungsphase die Bewertung zu vereinfachen.

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} des ungünstigsten Raums darf den zulässigen Wert S_{zul} für diesen Raum nicht überschreiten, d.h. die Einhaltung folgender Forderung ist nachzuweisen:

$$S_{vorh} \leq S_{zul}$$

Der vorhandene Sonneneintragskennwert wird bestimmt durch

- das Verhältnis der Fensterfläche(n) A_{Wj} (ggfs. inklusive Dachflächenfenster) zur Nettogrundfläche A_G des betrachteten Raums oder Raumbereichs,
- den Gesamtenergiedurchlassgrad g der Verglasung(en),
- die fest installierte(n) Verschattungseinrichtung(en) und deren resultierenden Abminderungsfaktor(en) F_c ,
- wobei g und F_c zum Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} der Verglasung(en) einschließlich Verschattungseinrichtung(en) zusammengefasst werden: $g_{tot} = g \cdot F_c$.

Mit diesen Angaben ergibt sich der vorhandene Sonneneintragskennwert aus

$$S_{vorh} = \frac{\sum (A_{Wj} \cdot g_{tot,j})}{A_G}$$



Bild 26: Sommerklimaregionen nach DIN 4108-2

mit:

- A_{Wfj} : Fensterflächen des betrachteten Raumes
- $g_{tot,j}$: Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung einschließlich Sonnenschutz des betrachteten Raumes
- A_G : Netto-Grundfläche des betrachteten Raumes oder Raumbereichs.

Demgegenüber ergibt sich der zulässige Sonneneintragskennwert

$$S_{zul} = \sum S_i$$

als Summe von verschiedenen anteiligen Sonneneintragskennwerten S_1 bis S_x , die je nach Sommerklimaregion, in der das Gebäude steht, tabelliert sind, siehe Tafel 13.

Die anteiligen Sonneneintragskennwerte berücksichtigen:

- Bauart (schwer/mittel/leicht): die Norm gibt entsprechende Kriterien, nach denen eine einfache Einsortierung erfolgen kann, ansonsten ist standardmäßig eine leichte Bauart anzunehmen. Die Einstufung der Bauart kann auch genau erfolgen, in Abhängigkeit von der wirksamen Wärme-

speicherfähigkeit C_{wirk} der geplanten Bauteile des Raumes. Für die Einstufung als mittelschwere Bauart muss die flächenanteilig gemittelte Rohdichte mehr als 600 kg/m³ betragen. Beträgt die flächenanteilig gemittelte Rohdichte mehr als 1.600 kg/m³, handelt es sich um eine schwere Bauart. Gebäude mit Innen- und Außenwänden aus Kalksandstein-Mauerwerk mit Stahlbetondecken weisen vielfach flächenanteilig gemittelte Rohdichten von über 1.800 kg/m³ auf; sie gelten somit als schwere Bauart. In die Berechnung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile geht die spezifische Wärmekapazität der Baustoffe ein. In Tafel 14 ist die spezifische Wärmekapazität üblicher Bau- und Dämmstoffe dargestellt.

- Ggf. erhöhte Nachtlüftung (bei Ein- und Zweifamilienhäusern üblich und sinnvoll) und passive Kühlung
- Ggf. Fenster mit Sonnenschutzverglasung mit $g \leq 0,40$ oder mit gleichwertiger Sonnenschutzvorrichtung
- Fensterneigung und Fensterorientierung

Tafel 14: Spezifische Wärmekapazität c von Baustoffen

Material/Baustoff	Spezifische Wärmekapazität c [KJ/(kg·K)]
Kalksandstein	1.000
Beton	1.000
Anorganische Dämmstoffe	1.000
Organische Dämmstoffe	1.300–1.800
Holz und Holzwerkstoffe	1.600–1.700
Kunststoffe	900–2.200

Tafel 15: Einstufung der Bauart in Abhängigkeit von der Speicherfähigkeit des Raums

Bauart	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} / Nettogrundfläche A_G
„Leichte Bauart“	$C_{wirk} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
„Mittlere Bauart“	$C_{wirk} / A_G = 50\text{--}130 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
„Schwere Bauart“	$C_{wirk} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Tafel 13: Auszug aus DIN 4108-2, Tabelle 8 für vereinfachtes Sonneneintragskennwertverfahren

Nutzung			Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x
Klimaregion			Wohngebäude
Nachtlüftung			B
S_1	ohne	leicht	0,056
		mittel	0,067
		schwer	0,074
	erhöhte Nachtlüftung $n \geq 2h^{-1}$	leicht	0,088
		mittel	0,103
		schwer	0,113
	hohe Nachtlüftung $n \geq 5h^{-1}$	leicht	0,117
		mittel	0,152
		schwer	0,171
S_2 Grundflächenbez. Fensterflächenanteil $f_{WG}^{1)}$	$S_2 = a \cdot b \cdot f_{WG}$	a	0,06
		b	0,231
S_3 Sonnenschutzglas $g \leq 0,4$			0,03
S_4 Fensterneigung	$0^\circ \leq \text{Neigung} \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen) bei $f_{WG} \leq 0,15$		$-0,035 \cdot f_{neig}$
S_5 Orientierung	Nord-, Nordost- und Nordwestorientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind		$+0,1 \cdot f_{nord}$

¹⁾ $f_{WG} = A_w/A_G$

Genauere Einstufung der Bauart hinsichtlich ihrer Wärmespeicherfähigkeit

Generell können Wärmespeichereinflüsse in Bezug auf die Pufferung solarer Energie nur bis zu einer bestimmten Schichtdicke berücksichtigt werden. Beispielsweise können die Kernbereiche dicker Bauteile aufgrund ihrer thermischen Trägheit praktisch nicht zur kurzfristigen Pufferung im Tagesgang beitragen. Innenliegende Wärmedämmschichten schotten dahinter liegende Speichermassen ab. Zur genauen Berechnung werden die nutzbaren Wärmespeicherfähigkeiten für alle Bauteilflächen des Raumes summiert, wobei gilt:

- Von Außenbauteilen werden nur die raumseitigen 10 cm als maximal wirksame Dicke berücksichtigt.
- Innenbauteile, die weniger als 20 cm Dicke aufweisen und an Nachbarräume grenzen, werden bis zur Wandmitte berücksichtigt.
- Von Innenbauteilen, die mehr als 20 cm Dicke aufweisen und an Nachbarräume grenzen, werden nur die raumseitigen 10 cm als maximal wirksame Dicke berücksichtigt.

- Bei Innenbauteilen, die ganz innerhalb des betrachteten Raums liegen, werden beide Seiten wie Innenbauteile zu anderen Räumen behandelt.
- Bei Schichten mit $\lambda < 0,10 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ in den ersten 10 cm des Bauteils werden nur die Schichten zwischen der Raumluft und der ersten Dämmschicht im Bauteil berücksichtigt.

Die so ermittelte wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} des Raums wird durch die Nettogrundfläche A_G des Raums geteilt, um die Bauart des Raums zu ermitteln, siehe Tafel 15.

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird pauschal mit „leichter Bauart“ geführt, sofern die Bauart nicht durch Ermittlung der auf die Nettogrundfläche (A_G) bezogenen wirksamen Wärmespeicherfähigkeit (C_{wirk}) nach DIN V 4108-6 eingestuft wird oder die nicht ohne Weiteres vereinfacht nach Fußnote b DIN 4108-2 eingestuft werden können.

10.3 Beispiel: Vergleichsrechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz

10.3.1 Thermisch-dynamische Gebäudesimulation

Bei der thermisch-dynamischen Gebäudesimulation wird mithilfe der Kenngröße Übertemperaturgradstunden die Höhe und Häufigkeit der Überschreitung einer Grenztemperatur, die für jede Sommer-Klimaregion Deutschlands unterschiedlich ist und der Bewertung der thermischen Behaglichkeit in Innenräumen dient, ermittelt. Für die Sommer-Klimaregion A beträgt der Grenzwert 25 °C, für B 26 °C und für C 27 °C. Die ermittelten Übertemperaturgradstunden werden einem Anforderungswert nach DIN 4108-2 gegenübergestellt. Bei Wohngebäuden darf ein Anforderungswert von 1.200 Kh/a und bei Nichtwohngebäuden von 500 Kh/a nicht überschritten werden.

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird für ein Wohn- und ein Arbeitszimmer im Dachgeschoss eines Mehrfamilienwohnhauses aus Kalksandstein mit Flachdach, das sich in der Klimaregion B befindet, mit Hilfe einer thermisch-dynamischen Gebäudesimulation geführt (Bild 27). Die Flächenermittlung für den Raum Wohnen erfolgt in Tafel 16. Der Klimaregion B werden als Bezugswert (Grenzwert) der operativen Innentemperatur 26 °C zugeordnet. Im Zuge der thermisch-dynamischen Simulation erfolgt die Berechnung der sich stündlich einstellen-

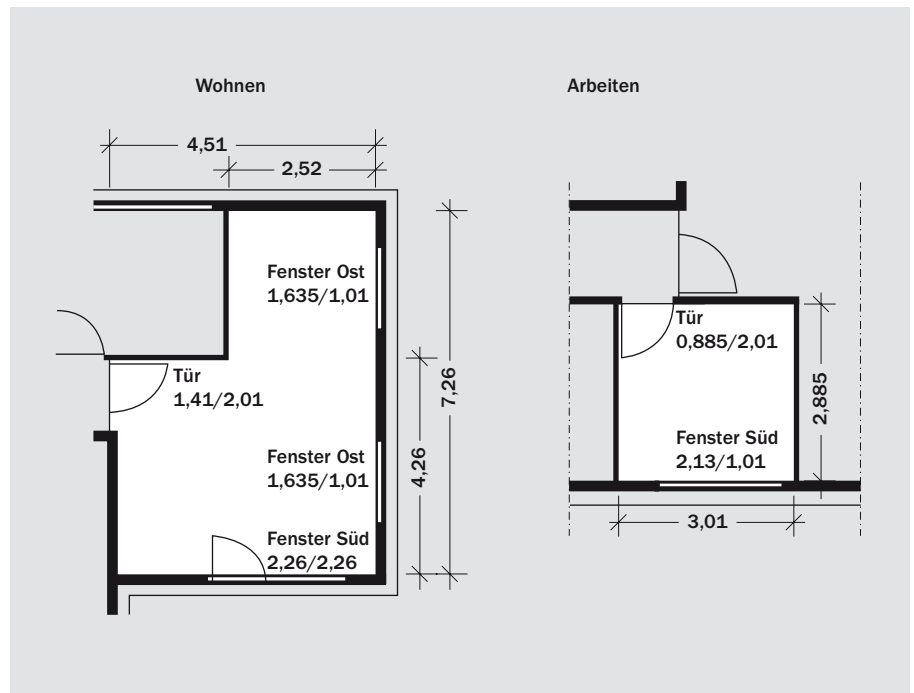


Bild 27: Bei der dynamisch-thermischen Simulation betrachtete Räume (Wohnen und Arbeiten)

den operativen Innenraumtemperatur im Verlauf eines Jahres in Abhängigkeit des Außenklimas, der Fassadenorientierung, der thermischen Speichermassen, des Luftwechsels und der internen Wärmelasten. Hierzu wird für die Klimaregion B das Testreferenzjahr TRY-Zone 4 (2011) (Normaljahr) zu Grunde gelegt [14].

Randbedingungen

Der Nachweis wird für folgende Randbedingungen geführt:

- Klimazone B, z.B. für Standort München
- Fenster mit Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0,58$
- Die Geschosshöhe beträgt 2,80 m. Die lichte Raumhöhe ergibt sich zu 2,50 m (Geschosshöhe abzüglich 20 cm Betondecke, 4 cm Estrich, 6 cm Trittschalldämmung).
- An den Fenstern der beiden Räume wird ein geregelter außenliegender Sonnenschutz (Markise, Abblende-Faktor $F_c = 0,5$) vor den Fenstern angeordnet, der ab einer Grenzbestrahlungsstärke von $300 \text{ W}/\text{m}^2$ (Direkt- und Diffusstrahlung) auf die jeweilige Fassadenfläche heruntergefahren wird.

- Erhöhte Nachtlüftung wird angesetzt.
- Die Einstufung der Bauart erfolgt durch detaillierten Nachweis der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} .
- Erhöhter Tagluftwechsel wird angesetzt. Überschreitet die Raumlufttemperatur 23 °C und liegt die Raumlufttemperatur über der Außenlufttemperatur, wird der Luftwechsel während der täglichen Aufenthaltszeit (06:00 bis 23:00 Uhr) auf $n = 3 \text{ h}^{-1}$ erhöht.

Weitere, für die thermische Simulation relevante Randbedingungen, entsprechen den Vorgaben der DIN 4108-2:2013-02, Abschnitt 8.4 „Anforderungen an Randbedingungen für thermische Gebäudesimulationen“.

Der Nachweis wird mit drei Bauart-Varianten geführt: schwer (Variante I), mittel (Variante II) und leicht (Variante III) (Tafeln 17, 18, 19). Die Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit erfolgt in Tafel 20. Zur besseren Vergleichbarkeit wird der Variantenvergleich unter folgenden Voraussetzungen geführt:

- Gleiche Innenraummaße
- Variation nur der Wand- und Dachaufbauten

Tafel 16: Flächenermittlung für den Raum Wohnen

Bauteil		[m]	Teilfläche [m²]	Fläche [m²]	
1) Außenwände	Außenwand Nord				
	Länge	2,52			
	Höhe (lichte Höhe)	2,50			
	Länge · Höhe		6,30		
	Außenwand Ost				
	Länge	7,26			
	Höhe (lichte Höhe)	2,50			
	Länge · Höhe		18,15		
	Abzüglich Fenster = 1,63 · 1,01 · 2			-3,30	
	Außenwand Süd				
	Länge	4,51			
	Höhe (lichte Höhe)	2,50			
	Länge · Höhe		11,28		
Abzüglich Fenster = 2,26 · 2,26			-5,11		
				27,31	
2) Innenwände	Innenwand West				
	Länge	7,26			
	Höhe (lichte Höhe)	2,50			
	Länge · Höhe		18,15		
	Abzüglich Tür = 1,41 · 2,01			-2,83	
					15,32
	Innenwand Nord				
	Länge	1,99			
Höhe (lichte Höhe)	2,50				
Länge · Höhe		4,98			
				20,29	
3) Boden	Fläche (Innenmaß)		26,77	26,77	
4) Dach	Fläche (Innenmaß)		26,77	26,77	
5) Tür	Breite	1,41			
	Höhe	2,01			
	Fläche		2,83	2,83	

Tafel 17: Beschreibung der Bauteile für Variante I, KS-Außenwände mit KS-Innenwänden und Stahlbetondecken (schwere Bauart)

Schwere Bauart = $(c \cdot \rho \cdot d_{\text{wirk}}) \cdot 1.000 / 3.600$	d [m]	λ [W/(m·K)]	c [kJ/kg·K]	ρ [kg/m³]	d_{wirk} [m]	$C_{\text{wirk}} / A_{\text{Bauteil}}$ [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	0,00	0,00
Außenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
	0,395				0,10	46,39
Bauteil 2: Innenwände						
Gipsputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,01	3,89
KS-Mauerwerk, RDK 1,8	0,115	0,990	1,0	1.700	0,06	27,15
Gipsputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
	0,135				0,07	31,04
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
Trittschall-Dämmung	0,060	0,040	1,5	20	0,00	0,00
Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,00	0,00
Innenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
	0,330				0,06	32,22
Bauteil 4: Betondecke						
Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,10	66,67
PS-Hartschaum	0,200	0,035	1,5	20	0,00	0,00
	0,400				0,10	66,67
Bauteil 5: Tür						
Holz	0,040	0,13	1,6	500	0,02	4,44
					0,02	4,44
Summe						180,76

Tafel 18: Beschreibung der Bauteile für Variante II, KS-Außenwände mit leichten Innenbauteilen und Holzbalkendecken (mittlere Bauart)

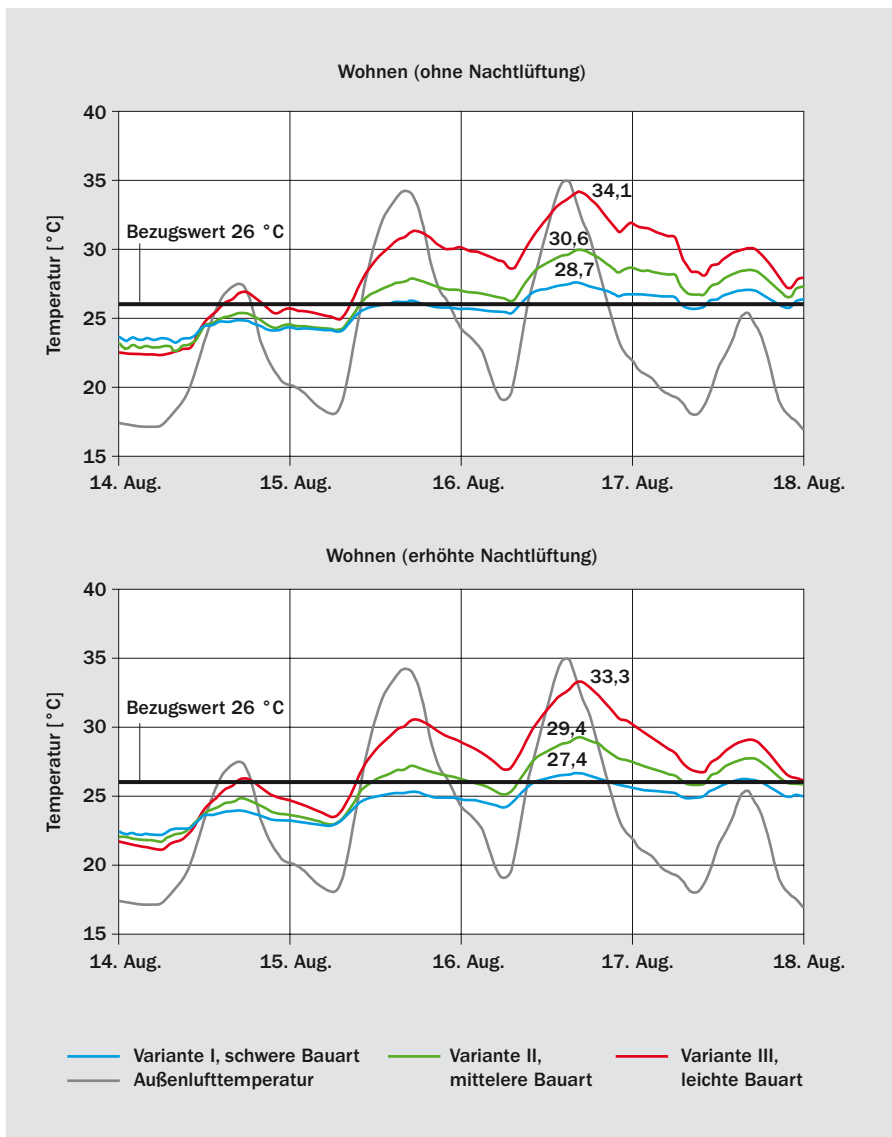
Mittlere Bauart = $(c \cdot \rho \cdot d_{\text{wirk}}) \cdot 1.000 / 3.600$	d [m]	λ [W/(m·K)]	c [kJ/kg·K]	ρ [kg/m³]	d_{wirk} [m]	$C_{\text{wirk}} / A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m²·K)]
Bauteil 1: Außenwand (Nord, Ost und Süd)						
Gipsputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,01	3,89
KS-Mauerwerk, RDK 1,8	0,175	0,990	1,0	1.700	0,09	42,50
PS-Hartschaum	0,200	0,035	1,5	20	0,00	0,00
Außenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
	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	120	0,00	0,00
Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,00	0,00
	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
Trittschall-Dämmung	0,060	0,040	1,5	20	0,00	0,00
Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,00	0,00
Innenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
	0,330				0,06	32,22
Bauteil 4: Decke						
Gipsfaserplatte	0,0125	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
Holz + Spanplatte	0,040	0,130	1,6	500	0,00	0,00
Mineralwolle	0,220	0,035	1,0	16	0,00	0,00
Holzfaserdämmplatte	0,022	0,045	2,1	250	0,00	0,00
	0,294				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

Tafel 19: Beschreibung der Bauteile für Variante III, leichte Außen- und Innenbauteile mit Holzbalkendecken (leichte Bauart)

Leichte Bauart = $(c \cdot \rho \cdot d_{\text{wirk}}) \cdot 1.000 / 3.600$	d [m]	λ [W/(m·K)]	c [kJ/kg·K]	ρ [kg/m³]	d_{wirk} [m]	$C_{\text{wirk}} / A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m²·K)]
Bauteil 1: Außenwand (Nord, Ost und Süd)						
Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
Mineralwolle	0,040	0,035	1,0	16	0,00	0,00
Gipsfaserplatte	0,015	0,320	1,1	1.000	0,00	0,00
Mineralwolle	0,240	0,035	1,0	16	0,00	0,00
MDF-Wolle	0,015	0,120	1,7	600	0,00	0,00
	0,323				0,01	3,82
Bauteil 2: Innenwände						
Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
Mineralwolle	0,075	0,035	1,0	120	0,00	0,00
Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,00	0,00
	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
Trittschall-Dämmung	0,060	0,040	1,5	20	0,00	0,00
Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,00	0,00
Innenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
	0,330				0,06	32,22
Bauteil 4: Decke						
Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
Holz + Spanplatte	0,040	0,130	1,6	500	0,00	0,00
Mineralwolle	0,220	0,035	1,0	16	0,00	0,00
Holzfaserdämmplatte	0,022	0,045	2,1	250	0,00	0,00
	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						48,13

Tafel 20: Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit für den Raum Wohnen

	Variante I			Variante II			Variante III				
	$\sum C_{\text{wirk}}/A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m ² ·K)]	A [m ²]	$C_{\text{wirk}, 10\text{cm}}$	$\sum C_{\text{wirk}}/A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m ² ·K)]	A [m ²]	$C_{\text{wirk}, 10\text{cm}}$	$\sum C_{\text{wirk}}/A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m ² ·K)]	A [m ²]	$C_{\text{wirk}, 10\text{cm}}$		
Außenwände	46,39	34,53	1.602	46,39	34,53	1.602	3,82	34,53	132		
Innenwände	31,04	19,27	598	3,82	19,27	74	3,82	19,27	74		
Boden	32,22	26,77	863	32,22	26,77	863	32,22	26,77	863		
Decke	66,67	29,68	1979	3,82	29,68	113	3,82	29,68	113		
Tür	4,44	4,04	18	4,44	4,04	18	4,44	4,04	18		
		Summe	5059		Summe	2.669		Summe	1.199		
		A_G	26,77		A_G	26,77		A_G	26,77		
		C_{wirk}/A_G	189		C_{wirk}/A_G	100		C_{wirk}/A_G	45		
			> 130 Wh/(m ² ·K), schwere Bauart				> 50 < 130 Wh/(m ² ·K), mittlere Bauart				< 50 Wh/(m ² ·K), leichte Bauart



Die Verläufe der berechneten operativen Innenraumtemperaturen und der Außen-temperatur für die drei Bauart-Varianten als Ergebnis der dynamisch-thermischen Simulation sind in Bild 29 für das betrachtete Wohnzimmer dargestellt. Hier ist aus dem errechneten Temperaturverlauf des gesamten Jahres eine Sommerheiße Periode (14.–18. August) herausgegriffen, da diese die auftretenden Maximaltemperaturen enthält.

Anhand der Temperaturverläufe in Bild 29 ist zu erkennen, dass sich Bauweisen mit hohen wirksamen Speichermassen positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirken. Durch die Wahl massiver Konstruktionen, bestehend aus KS-Außenwänden mit hoher Rohdichte, massiven Geschossdecken und schweren Innenwänden, wird eine hohe wirksame Speichermasse erreicht. Bei der Wahl solcher Konstruktionen darf gemäß DIN 4108-2 automatisch – ohne eine exakte Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherkapazität eines Raumes C_{wirk} – von einer schweren Bauweise ausgegangen werden. Es wird deutlich, dass durch die gezielte Wahl einer massiven Konstruktion die operative Raumtemperatur im vorliegenden Beispiel um bis zu ca. 6 °C unter der operativen Temperatur der leichten Variante liegt, womit eine bessere thermische Behaglichkeit für die Nutzer gewährleistet wird.

In vielen Fällen kann bei schwerer Bauart und erhöhter Nachtlüftung eine hohe Behaglichkeit auch ohne kostenintensive Klimatisierung sichergestellt werden.

Bild 29: Verlauf von Außentemperatur, Bezugstemperatur und operativer Raumtemperatur der Varianten I bis III mit und ohne Berücksichtigung einer erhöhten Nachtlüftung für den Wohnbereich über eine sommerheiße Periode [14]

Die Balkendiagramme in den Bildern 30 und 31 stellen die Übertemperaturgradstunden für die drei Bauarten mit und ohne Nachtlüftung dar. Der Bereich oberhalb des maximal zulässigen Anforderungswerts ist rot markiert.

Bild 31 zeigt, dass mit erhöhter Nachtlüftung die auftretenden Übertemperaturgradstunden deutlich reduziert werden können. Bei schwerer Bauart tritt im Raum Wohnen nur eine geringe Überschreitung der Bezugstemperatur auf. Im Arbeitszimmer überschreitet die operative Temperatur die Bezugstemperatur zu keinem Zeitpunkt. Das verdeutlicht den Vorteil hoher Speichermassen. Je massiver die Konstruktion ist, desto geringer sind die Übertemperaturgradstunden.

10.3.2 Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren

Neben der thermischen Simulation wurde zusätzlich für alle Variationen der unterschiedlichen Bauarten eine Berechnung nach dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren gemäß DIN 4108:2013-02 mit Hilfe des KS-Nachweisprogramms zum sommerlichen Wärmeschutz [13] durchgeführt [14].

Die angesetzten Randbedingungen für die Berechnung nach dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren werden im Folgenden exemplarisch für das untersuchte Wohnzimmer aufgezeigt.

Bezüglich Klimazone, Fensterausbildung und Verschattung werden die gleichen Voraussetzungen angenommen wie bei der dynamisch-thermischen Simulation.

Vorhandener Sonneneintragskennwert

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} ergibt sich in Abhängigkeit von:

- Fensterfläche (unterschieden nach der Orientierung)
- Gesamtenergiedurchlassgrad g des jeweiligen Glases
- Abminderungsfaktor F_c für Sonnenschutzeinrichtungen des jeweiligen Fensters
- Netto-Grundfläche A_G

Der vorhandene Sonneneintragskennwert wird dem zulässigen Sonneneintragskennwert gegenübergestellt (Tafel 21).

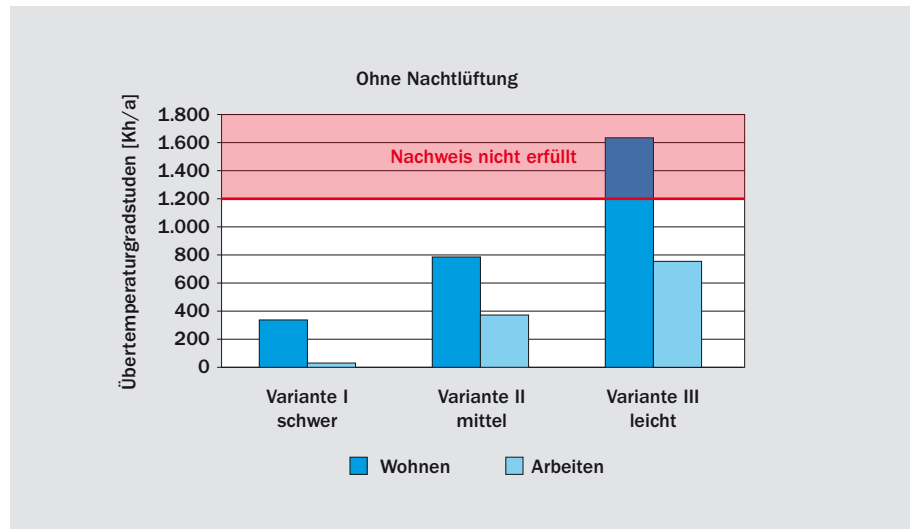


Bild 30: Übertemperaturgradstunden für die betrachteten Räume und Bauart-Varianten ohne Nachtlüftung

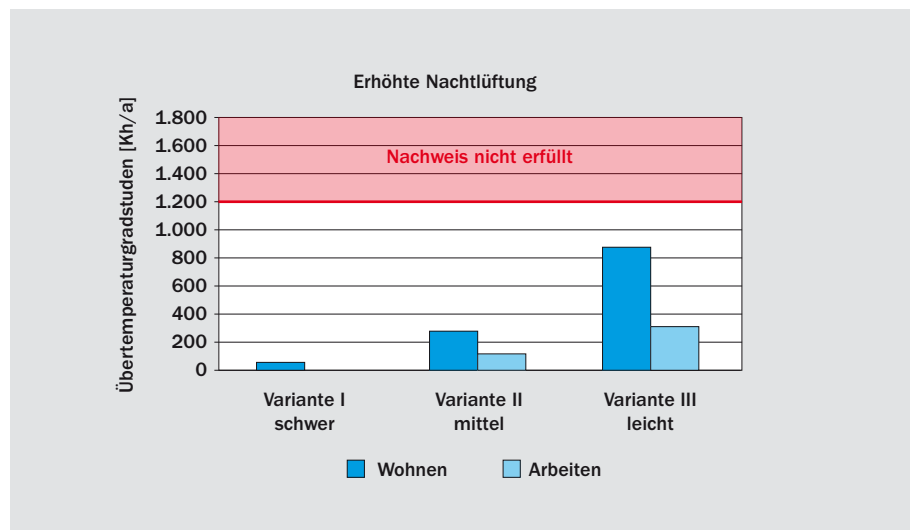


Bild 31: Übertemperaturgradstunden für die betrachteten Räume und Bauart-Varianten mit erhöhter Nachtlüftung

Zusammenfassung

Im Vergleich zwischen den unterschiedlichen Nachweisverfahren liefert das vereinfachte Sonneneintragskennwertverfahren – hinsichtlich der Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes – eher strenge Beurteilungen. Somit ist sichergestellt, dass Beurteilungen des sommerlichen Wärmeschutzes nach dem vereinfachten Nachweisverfahren auf der „sicheren“ Seite liegen. Im üblichen Geschosswohnungsbau ist die Nachweisführung mit dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren vollkommen ausreichend. Wird dabei der Nachweis erst einmal nicht eingehal-

ten, empfehlen sich Zusatzmaßnahmen (wie z.B. erhöhte Nachtlüftung, Einsatz einer Glas-Sonnenschutz-Kombination mit niedrigem g_{tot} -Wert), um das vereinfachte Nachweisverfahren doch noch einzuhalten. Hierdurch wird gleichzeitig der sommerliche Wärmeschutz für die Benutzer verbessert. Bei Nichteinhaltung der vergleichenden Sonneneintragskennwerte kann jedoch über eine (aufwendigere sowie kosten- und zeitintensive) thermische Simulation ein davon abweichendes Ergebnis erzielt werden. Die Zusammenstellung aller Berechnungsergebnisse ist in Tafel 22 enthalten.

Tafel 21: Ermittlung des zulässigen Sonneneintragskennwerts S_{zul} anhand der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_x

Nutzung: Wohngebäude, Klimaregion B	S_x	Variante I schwere Bauart		Variante II mittlere Bauart		Variante III leichte Bauart	
		Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten
Klimaregion B, ohne Nachtlüftung	S1	0,074	0,074	0,067	0,067	0,056	0,056
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	S2	-0,013	0,003	-0,013	0,003	-0,013	0,003
Sonnenschutzglas	S3	0	0	0	0	0	0
Fensterneigung	S4	0	0	0	0	0	0
Orientierung	S5	0	0	0	0	0	0
Einsatz passiver Kühlung	S6	0	0	0	0	0	0
	S_{zul}	0,061	0,077	0,054	0,070	0,043	0,059

Tafel 22: Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse der thermischen Simulation sowie der Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren und Beurteilung nach DIN 4108-2:2013 [14]

OHNE NACHTLÜFTUNG			
Anforderung DIN 4108-2	Bauart		
	Variante I schwer	Variante II mittel	Variante III leicht
Wohnen	$S_{vorn} = (8,41 \cdot (0,58 \cdot 0,5)) / 26,77 = 0,091$		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	nicht erfüllt 0,091 > 0,061	nicht erfüllt 0,091 > 0,054	nicht erfüllt 0,091 > 0,043
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 338 Kh/a	erfüllt 790 Kh/a	nicht erfüllt 1.638 Kh/a
Arbeiten	$S_{vorn} = (2,15 \cdot (0,58 \cdot 0,5)) / 8,68 = 0,072$		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	erfüllt 0,072 < 0,077	nicht erfüllt 0,072 > 0,070	nicht erfüllt 0,072 > 0,059
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 35 Kh/a	erfüllt 376 Kh/a	erfüllt 762 Kh/a
ERHÖHTE NACHTLÜFTUNG			
Anforderung DIN 4108-2	Bauart		
	Variante I schwer	Variante II mittel	Variante III leicht
Wohnen	$S_{vorn} = (8,41 \cdot (0,58 \cdot 0,5)) / 26,77 = 0,091$		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	erfüllt 0,091 < 0,100	nicht erfüllt 0,091 > 0,090	nicht erfüllt 0,091 > 0,075
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 57 Kh/a	erfüllt 285 Kh/a	erfüllt 882 Kh/a
Arbeiten	$S_{vorn} = (2,15 \cdot (0,58 \cdot 0,5)) / 8,68 = 0,072$		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	erfüllt 0,072 < 0,116	erfüllt 0,072 < 0,106	erfüllt 0,072 < 0,091
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 0 Kh/a	erfüllt 118 Kh/a	erfüllt 322 Kh/a

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 Energieeinsparung in Gebäuden – Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von flächigen Bauteilen und von Wärmebrücken (bauaufsichtlich eingeführt); Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz (durch die EnEV in Bezug genommen)
DIN 4108-3	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung	Wasserdampfdiffusion, Glaserverfahren, Tauwasserberechnung, Ausnahmeregelungen (bauaufsichtlich eingeführt)
DIN 4108-4	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte	Zu verwendende Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen von Bau- und Dämmstoffen (weitere Werte siehe DIN EN ISO 10456). Alternativ dürfen Bemessungswerte aus allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für den EnEV-Nachweis 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 4108-4; enthält u.a. die λ -Werte für Beton, Holz, Holzprodukte
Ausführungsnormen		
DIN V 4108-10	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Anwendungsbezogene Anforderungen an Dämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe	Anwendungstypen von genormten Dämmstoffen und dafür erforderliche Mindesteigenschaften; alternative Festlegungen werden in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) oder in bauaufsichtlichen Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) getroffen (bauaufsichtlich eingeführt)
DIN 4108-7	Wärmeschutz und Energieeinsparung 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 Energieeinsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele	Prinzipskizzen für den bildlichen Nachweis sowie Ψ -Referenzwerte für den rechnerischen Nachweis der Gleichwertigkeit von linienförmigen Wärmebrücken, nur bei Verwendung des reduzierten pauschalen Wärmebrückenzuschlags $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot \text{Hüllfläche}$ im EnEV-Nachweis
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 – Wärmeübertragung 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)
DIN EN ISO 13789	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren	Wärmetransferkoeffizienten; detaillierte Berücksichtigung einiger Wärmetransportpfade
DIN EN ISO 10077-1	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Vereinfachtes Verfahren	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
Berechnungsnormen für Gebäude		
DIN V 4108-6	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Berechnung der Jahresheizwärme und des Jahresheizenergiebedarfs	Enthält u.a. das Monatsbilanzverfahren für die EnEV-Bilanzierung von Wohngebäuden sowie in Anhang D die dafür zu verwendenden Randbedingungen; basiert auf der europäischen Norm DIN EN 832:1998-12, die inzwischen zurückgezogen und durch DIN EN 13790 ersetzt ist; dies hat aber keine Auswirkung auf die Gültigkeit im Rahmen der EnEV
DIN EN 13790	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs	Nachfolger der zurückgezogenen DIN EN 832
DIN V 4701-10	Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung	Berechnung der Anlagenaufwandszahl für Heizung, Lüftung und Warmwasser für Wohngebäude im EnEV-Nachweis; primärenergetische Bewertung

Fortsetzung Tafel A1: Die wichtigsten Normen rund um den baulichen Wärme- und Feuchteschutz

Nummer der Norm	Titel	Inhalt und Hinweise
DIN 4701-10 Beiblatt 1	Energetische Bewertung heiz- und raumluft-technischer Anlagen – Diagramme und Planungshilfen für ausgewählte Anlagensysteme mit Standardkomponenten	Diagramme für 71 Anlagenkombinationen zur Bestimmung der Anlagenaufwandszahl für Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung für Wohngebäude im EnEV-Nachweis.
DIN V 18599-1 bis 11	Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1 bis 11	Berechnung des Energiebedarfs von Wohn- und Nichtwohngebäuden für die energetische Bewertung im Rahmen der EnEV.
Messnormen für Gebäude		
DIN EN 13829	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert).	Messverfahren für die Luftdichtheit der Gebäudehülle („Blower-Door“-Messung). Wurde aufgrund der Unvollständigkeit der ISO 9972 als modifizierte (erweiterte) Ausgabe der ISO-Norm veröffentlicht.

Tafel A2: Die wichtigsten physikalischen Größen, Symbole und Einheiten rund um bauliche Wärmedämmung und klimabedingten Feuchteschutz

Physikalische Größe	Symbol	Einheit
Länge	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	Φ	Ws/s = Wh/h = W
Wärmestromdichte	q	W/m ²
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)
Thermischer Leitwert	L	W/(m·K)
Wärmedurchlasswiderstand	R	m ² ·K/W
Wärmeübergangswiderstand innen/außen	$R_{\text{si}} / R_{\text{se}}$	m ² ·K/W
Wärmedurchgangswiderstand	R_{T}	m ² ·K/W
Wärmeübergangskoeffizient	h	W/(m ² ·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)	U	W/(m ² ·K)
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (Ψ -Wert)	Ψ	W/(m·K)
Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (χ -Wert)	χ	W/K
Temperaturfaktor an der Innenoberfläche	f_{Rsi}	–
Hemisphärischer Emissionsgrad	ϵ	–
Strahlungsaustauschgrad	E	–
Luftwechsel	n	1/h
Wasserdampfdruck	p	Pa
Wasserdampfsättigungsdruck	p_{s}	Pa
Relative Luftfeuchte	φ	%
Massebezogener / Volumenbezogener Feuchtegehalt	$u_{\text{m}} / u_{\text{v}}$	M.-% / Vol.-%
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	μ	–
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	s_{d}	m
Tauwassermasse flächenbezogen	$m_{\text{w,T}}$	kg/m ²
Verdunstungsmasse flächenbezogen	$m_{\text{w,V}}$	kg/m ²
Wasseraufnahmekoeffizient	w	kg/(m ² ·h ^{0.5})
Wasserdampf-Diffusionskoeffizient	D	m ² /h
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand	Z	m ² ·h·Pa/kg
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte	g	kg/(m ² ·h)

LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energiedaten. Berlin 2012
- [2] Hauser, G.; Maas, A.: Energieeinsparverordnung. Erschienen im Fachbuch KALKSANDSTEIN – Planung, Konstruktion, Ausführung, 4. Auflage. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2008
- [3] U-Wert-Berechnung. Kostenfreier Download unter: www.kalksandstein.de. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2007
- [4] Pfundstein, M.; Gellert, R.; Spitzner, M.H.; Rudolphi, A.: Dämmstoffe – Grundlagen, Materialien, Anwendungen. Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München 2008
- [5] FIW München: U-Werte zusammengesetzter Bauteile nach DIN EN ISO 6946. Berechnungsprogramm. Kostenfreier Download unter: www.fiw-muenchen.de. München 2012
- [6] Spitzner, M.H.; Sprengard, Ch.; Simon, H.: Kalksandstein Wärmebrückenkatalog: Kostenfreier Download unter www.kalksandstein.de. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2011
- [7] DIN-Fachbericht DIN 4108-8:2010-09: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Gebäuden
- [8] FVHF-Richtlinie: Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, Berlin 1998
- [9] Holm, A.; Sedlbauer, K.; Radon, I.; Künzel H. M.: Einfluss der Baufeuchte auf das hygrothermische Verhalten von Gebäuden, IBP Mitteilung 29, 2002
- [10] Künzel H. M.: Austrocknung von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen. – In: Bauphysik 20 (1998), Heft 1, Seite 18–23
- [11] Schubert, P.: Zur rißfreien Wandlänge von nichttragenden Mauerwerkwänden. Berlin: Ernst & Sohn – In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 473–488
- [12] FLiB Beiblatt zu DIN EN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden. Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren. Hrsg.: Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e. V., Kassel 2001
- [13] Seeberger + Partner: KS-Nachweisprogramm zur Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes. Kostenfreier Download unter: www.kalksandstein.de. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2007
- [14] Fux, V., Hochschule für Technik Stuttgart: Thermische Gebäudesimulation zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2:2013, Bericht, 2013

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 Kalksandstein-Mauerwerk erläutert.

Viele stellen sich die Frage: „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 nie ausdrücklich definiert. Es wurde nie niedergeschrieben, welches Sicherheitsniveau von DIN 4102 [N1 – N6] im Hinblick auf die oben genannten Brandschutzanforderungen erreicht wird. Im Rahmen der europäischen Normung mit Einführung des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts in DIN EN 1991-1-2 [N13, N14] 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 einstürzen 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 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.

1.3 Brandschäden

Statistisch gesehen brennt es in jeder Nutzungseinheit alle 50 Jahre. In Bild 1 sind die Hauptursachen für eine Brandentstehung dargestellt.

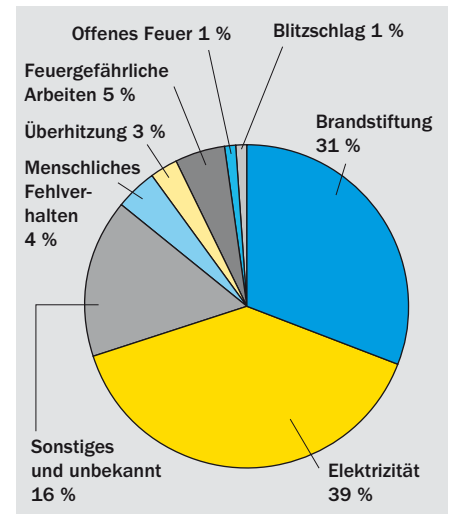


Bild 1: Schadensursachen [2]

In Großstädten, wie z.B. Hamburg oder Berlin gibt es jährlich 200 bis 250 Brandverletzte und 17 bis 21 bzw. 44 Brandtote. Das bedeutet, es 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 Wohnge-

Tafel 1: Statistische Auswertung der Brandentstehungshäufigkeit in Wohngebäuden aus der Einsatzstatistik der Berufsfeuerwehr Hamburg in Anlehnung an [14]

Brandhäufigkeiten am Beispiel von Wohngebäuden in Hamburg			
Anzahl der Wohnungen	783.116	Anzahl der Brände	
Gesamtwohnfläche	62.649.280	in Wohnungen	1.117
Anzahl der Gebäude	196.967	außerhalb von Wohnungen	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	
Feuerbeständige Kalksandsteinwände (F 90-A)	10.000
Feuerbeständige Kalksandsteinwände (F 90-A)	1.800
Holzdecken	
Feuerbeständige Kalksandsteinwände (F 90-A)	400

bäuden 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 Brandentstehungshäufigkeit in Abhängigkeit von der Bauart und deren Auswirkung auf zulässige Brandabschnittsgrößen zusammengefasst. Der Feuerwiderstand und die Brennbarkeit der Wohnungstrennwände haben damit entscheidenden Einfluss auf die Brandweiterleitung.

Kalksandstein-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.

Kalksandstein-Mauerwerk ist nichtbrennbar.



Bild 2: Der große Brand von Hamburg im Mai 1842 – Peter Suhr, Der große Brand (1842)

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 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 Lebenszeit eines Gebäudes. Gebäude leben länger als die enthaltene Haustechnik. Sie muss erneuert und dem jeweiligen Standard angepasst werden. Mauerwerk und Haustechnik lassen sich einfach koordinieren und einfach in Brandschutzmaßnahmen umsetzen, im Gegensatz zur Haustechnik beim Trockenbau. Weitere Angaben sind im Abschnitt 4.9 enthalten.

1.5 Kalksandstein-Mauerwerk

Bei Verwendung von Kalksandstein-Mauerwerk ist der Brandschutz automatisch

enthalten und damit sichergestellt. Kalksandstein-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 Standard 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 kann hingegen ein Risikozuschlag erfolgen, der im Einzelfall geprüft wird.

Mauerwerk ist in brandschutztechnischer Sicht nachhaltig und stellt passiven Brandschutz dar. Es ist keine regelmäßige Überprüfung oder Wartung wie beim aktiven Brandschutz 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 Musterbauordnung sowie der Muster-Verordnungen sowie der Muster-Richtlinien erläutert. Die Zusammenfassung der Brandschutzanforderungen für die einzelnen Bundesländer kann auf der Internetseite des Bundesverbands Kalksandsteinindustrie eV eingesehen werden unter www.kalksandstein.de. Die Angaben werden regelmäßig aktualisiert.

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 oder
- im Wesentlichen nichtbrennbar,
- mindestens schwerentflammbar

umschrieben werden.

Weitere Angaben zu Baustoffen, sind in Abschnitt 2.5 enthalten.

Die Grundlagen bauaufsichtlicher Brandschutzanforderungen sind in den jeweils gültigen Landesbauordnungen und den dazugehörigen Verordnungen sowie den technischen Baubestimmungen und Verwaltungsvorschriften enthalten. In Tafel 3 sind die zurzeit gültigen Bauordnungen zusammengefasst. Obwohl die Landesbauordnungen auf der Musterbauordnung basieren, die in der „Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder“ (ARGEBAU) abgestimmt wurde, ist es bis heute nicht gelungen, einheitliche Bauordnungen über Brandschutzanforderungen in Deutschland zu schaffen. Alle Landesbauordnungen mit Fassung ab Juni 2002 haben im Wesentlichen die MBO

Tafel 3: Landesbauordnungen und Ausführungsvorschriften (Stand: September 2013)

Bundesländer	Landesbauordnung (LBO) Fassung	Ausführungsvorschriften (DVO, TVO, AVO, VV, BTA)
Baden-Württemberg	5. März 2010/Ä 16. Juli 2013	25. Jan. 2012
Bayern	14. Aug. 2007/Ä 8. April 2013	1. Juli 2013
Berlin	29. Sep. 2005/Ä 29. Juni 2011	19. Okt. 2008
Brandenburg	17. Sep. 2008/Ä 29. Nov. 2010	18. Feb. 2009
Bremen	6. Okt. 2009	3. Dez. 2001
Hamburg	14. Dez. 2005/Ä 20. Dez. 2011	BTA 05/2012+BPD
Hessen	15. Jan. 2011/Ä 21. Dez. 2012	1. Dez. 2011
Mecklenburg-Vorpommern	18. April 2006/Ä 20. Mai 2011	27. Sep. 2004
Niedersachsen	3. April 2012	26. Sep. 2012/Ä 16. Nov. 2012
Nordrhein-Westfalen	1. März 2000/Ä 31. März 2013	SbauVO 17. Nov. 2009
Rheinland-Pfalz	24. Nov. 1998/Ä 09. März 2011	16. Jan. 2002
Saarland	18. Feb. 2004/Ä 11. Dez. 2012	12. Nov. 2002
Sachsen	28. Mai 2004/Ä 27. Jan. 2012	1. März 2012
Sachsen-Anhalt	20. Dez. 2005/Ä 26. Juni 2013	21. Mai 2002
Schleswig-Holstein	22. Jan 2009/Ä 17. Jan. 2011	22. Nov. 2000
Thüringen	16. März 2004/23. Mai 2011	13. Juli 2004

DVO: Durchführungsverordnung
 TVO: Technische Verordnung
 VV: Verwaltungsvorschrift
 AVO: Ausführungsverordnung
 BTA: Brandschutztechnische Auslegung
 BPD: Bauprüfdienst

[1] zugrunde gelegt, aber aufgrund von regionalen Unterschieden immer wieder Änderungen vorgenommen. Die MBO ist die Fassung vom November 2002, mit letzten Änderungen Stand 21.09.2012, gültig ab 01.07.2013. Der jeweils aktuelle Stand der MBO sowie Mustervorschriften sind unter www.is-ergebau.de erhältlich. 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.

Tafel 4: Gebäudeklassen nach Musterbauordnung MBO ab 2002

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⁾ ≥ 400 m ²	2 NE ³⁾ ≥ 400 m ²	-	je NE ³⁾ < 400 m ²	-	
Feuerwehreinsatz mit Steckleitern Fensterbrüstung < 8 m			Feuerwehreinsatz mit Drehleiter alternativ: zweiter baulicher Rettungsweg		
¹⁾ Oberkante Fertigfußboden		²⁾ Siehe Tafel 5		³⁾ Nutzungseinheit	

Tafel 5: Gebäudeklassen nach Musterbauordnung MBO (Stand: September 2012)

Gebäudeklasse ¹⁾	Beschreibung
1	Freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m mit nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt $\leq 400 \text{ m}^2$ Freistehende landwirtschaftlich genutzte Gebäude
2	Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m mit maximal zwei Nutzungseinheiten von insgesamt $\leq 400 \text{ m}^2$
3	Sonstige Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m
4	Gebäude mit einer Höhe $> 7 \text{ m}$ bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils $\leq 400 \text{ m}^2$
5 ¹⁾	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude

¹⁾ In einigen Landesbauordnungen ist eine Höhenbegrenzung $\text{OFF} < 22 \text{ m}$ bzw. $\leq 22 \text{ m}$ 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.

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 Fußboden oberster Aufenthaltsraum über Gelände (OFF) herangezogen. Teilweise werden an Hochhäuser ($\text{OFF} \geq 22 \text{ m}$) Brandschutzanforderungen getrennt über eine „Hochhausrichtlinie“ gestellt.

Bei den geltenden Bauordnungen bis Stand November 2002 erfolgt die Einteilung in die Gebäudeklassen 1 bis 5 und

Nutzungseinheiten (Tafel 4). Bei den alten Bauordnungen werden Gebäudebegriffe oder auch Gebäudeklassen und Wohnungen definiert. Darüber hinaus wird unterteilt nach Anzahl der Vollgeschosse (z.B. ≤ 2 Vollgeschosse bzw. > 2 Vollgeschosse oder 3 bis 5 Vollgeschosse). Die Gebäudeklassen (alt/neu) sind damit unterschiedlich definiert.

Maßgebend ist immer die jeweils gültige Landesbauordnung.

Bei den geltenden Bauordnungen auf der Grundlage der MBO (Stand November 2002) sind die Gebäude normaler Art und Nutzung in 5 Gebäudeklassen unterteilt. Im Höhenbereich zwischen 7 und 22 m erfolgt 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 Größe eine Fläche von 400 m^2 gesetzt. Die Fläche ist als Brutto-Grundfläche 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.**

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 Änderung 2012 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 m^2 Grundfläche des Geschosses mit der größten Ausdehnung, ausgenommen Wohngebäude und Garagen
4. Verkaufsstätten, deren Verkaufsräume und Ladenstraßen eine Grundfläche von insgesamt mehr als 800 m^2 haben
5. Gebäude mit Räumen, die einer Büro- oder Verwaltungsnutzung dienen und einzeln eine Grundfläche von mehr als 400 m^2 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 m^2 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,
 - 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 Men-

Tafel 6 : Muster-Richtlinien und -Verordnungen für Sonderbauten (Stand: September 2013)

Hochhäuser HHR	Versammlungsstätten (VStättVO) ¹⁾	Beherbergungsstätten (BeVO) ¹⁾	Hochhaus Richtlinie (HHR)	Krankenhäuser ³⁾	Verkaufsstätten (VkVO) ²⁾	Garagen (GarVO)	Schulbau Richtlinie	Industriebau Richtlinie (IndBau RL)	Fliegende Bauten
04.2008/ 02.2012	06.2005/ 02.2010	12.2000	04.2008	12.1976	09.1995	05.1993/ 30.05.2008	04.2009	03.2000	06.2010 (Ä 2013)

¹⁾ Ersetzt GastVO (alt)
²⁾ Ersetzt Geschäftshäuser (alt)
³⁾ Zurückgezogen

- schen, 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“

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 März 2000) 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 „rech-

nerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer (*erf t_f*)“ ermittelt, aus der sich die „Brandschutzklassen I bis V“ ergeben. Innerhalb eines umfassenden Brandschutzkonzeptes 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 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 trotz-

Für diverse Sonderbauten wurden und werden Muster-Sondervorschriften erarbeitet Tafel 6. 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 sich gerade in diesem Bereich einige Entwicklungen abgespielt haben. Beispielsweise haben Sonderbauten gegenüber früher einen

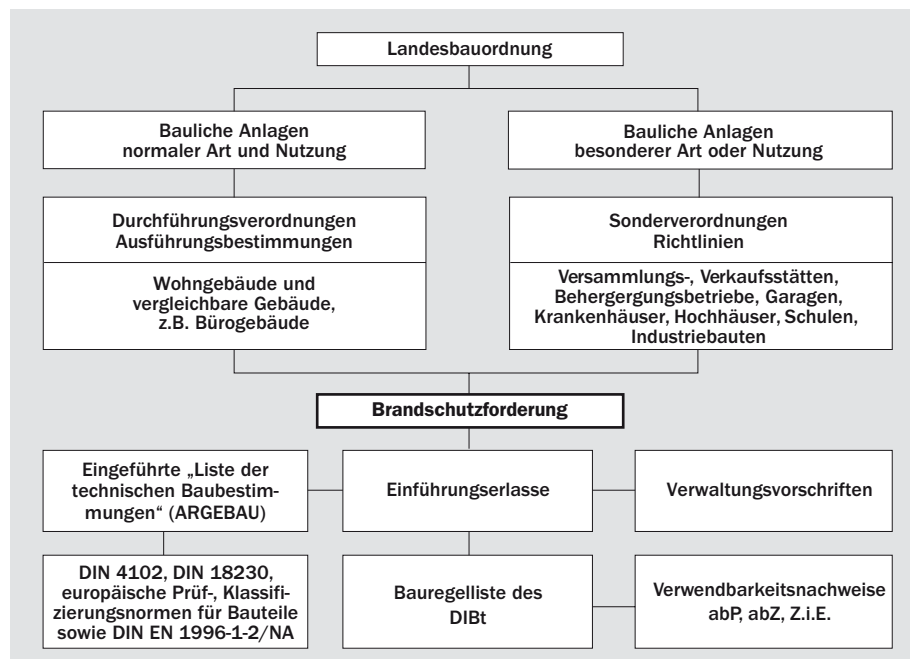


Bild 3: Überblick über die Zusammenhänge der bauaufsichtlichen Brandschutzvorschriften

dem 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 (siehe www.kalksandstein.de).

Die Zusammenhänge zwischen Bauordnung und Brandschutzforderung werden in Bild 3 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 7 sind wesentliche Brandschutzanforderungen nach MBO 2002 für Wände zusammengefasst – unterteilt nach Gebäudeklassen nach Tafel 5 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 wurden daher in der jetzt vorliegenden Änderung 2012 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 geschlossen 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 7: Brandschutzanforderungen an Wände und Decken nach MBO 2002 (Stand: Ä September 2012)

Musterbauordnung (Fassung vom November 2002)						
Gebäudeklasse	1	2	3	4	5	
	OFF ≤ 7 m			OFF ≤ 13 m		
Anzahl Nutzungseinheiten	≤ 2 NE					
Brutto-Geschossfläche	Für alle NE: BGF ≤ 400 m ²			Für jede NE: BGF ≤ 400 m ²		
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 ⁷⁾	BW	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 BRI ≤ 10.000 m ³	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 Gleit-schutzprofile	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 Gleit-schutzprofile	-	-	-	-	-

(Fortsetzung der Tafel und Fußnoten siehe folgende Seite)

Tafel 7: Fortsetzung

Musterbauordnung (Fassung vom November 2002)						
Gebäudeklasse		1	2	3	4	5
		OFF ≤ 7 m			OFF ≤ 13 m	
Anzahl Nutzungseinheiten		≤ 2 NE				
Brutto-Geschossfläche		Für alle NE: BGF ≤ 400 m ²			Für jede NE: BGF ≤ 400 m ²	
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⁾	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		–	–	F 30-B	F 60-BA	F 90-A
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 9				NE:	Nutzungseinheiten	
				WE:	Wohneinheiten	
				M:	Auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung	
				BW:	Brandwand	
				BRI:	Bruttorauminhalt	
Anforderungen:						
¹⁾ Wenn darüber Aufenthaltsräume möglich sind						
²⁾ Ausgenommen: Fensterprofile, Fugendichtung, brennbare Dämmstoffe in geschlossenen Profilen der Außenwandkonstruktionen in nichtbrennbar						
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 m ³ 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 m ² bzw. innerhalb von Büro- oder Verwaltungsnutzung mit einer Grundfläche ≤ 400 m ²						
¹³⁾ Öffnungen sind zulässig in Wohngebäuden der Gebäudeklasse 1 und 2; innerhalb derselben NE ≤ 400 m ² + ≤ 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 schachtsseitige 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

Gemäß MBO 2002 werden die folgenden Definitionen für Bauprodukte und Bauarten festgelegt.

Für die Verwendung von Bauprodukten und Bauarten in Deutschland gelten grundsätzlich die nationalen Regeln. Die europäischen Prüf- und Klassifizierungsnormen dienen nur dazu, erforderliche Prüfungen in Europa zu vereinheitlichen und damit die Anzahl der Prüfungen zu reduzieren. Das nationale Sicherheitsniveau wird jedoch derzeit nicht harmonisiert. Daher dürfen national Zusatzanforderungen gestellt werden, die sich in nationalen Regeln befinden.

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, Fertiggargen 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 2011 (BauPVO) [3] entsprechen oder
2. von den (nationalen) technischen Regeln (z. B. bauaufsichtlich eingeführte DIN-Normen) nicht oder nicht wesentlich abweichen (geregelt Bauprodukte).

Sonstige Bauprodukte, die von allgemein anerkannten Regeln der Technik nicht abweichen, dürfen auch verwendet werden, wenn diese Regeln nicht in der Bauregelliste A bekannt gemacht sind.

2.5.1.2 Bauregelliste [4]

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 hat die Aufgabe, die technischen Regeln für Bauprodukte und Bauarten in den Bauregellisten A und B sowie Liste C aufzustellen und im Einvernehmen mit den obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder bekannt zu machen.

In der Bauregelliste A Teil 1 werden Bauprodukte, für die es nationale technische Regeln gibt (geregelt Bauprodukte) bekannt gemacht. Angegeben sind: die Regel selbst, die erforderlichen Übereinstimmungsnachweise und die bei Abweichung von der technischen Regel erforderlichen Verwendbarkeitsnachweise. Die Bauregelliste A Teile 2 und 3 gelten für nicht geregelte Bauprodukte bzw. Bauarten.

In der Bauregelliste B sind alle Bauprodukte im Geltungsbereich harmonisierter Normen nach der Bauproduktenverordnung bekannt gemacht. Das DIBt kann im Einvernehmen mit den obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder in der Bauregelliste B

1. festlegen, welche der Klassen und Leistungsstufen, die in Normen, Leitlinien oder europäischen technischen Zulassungen nach dem Bauproduktengesetz oder in anderen Vorschriften zur Umsetzung von Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften enthalten sind, Bauprodukte nach Absatz 1 Nr. 2 erfüllen müssen, und
2. bekannt machen, inwieweit andere Vorschriften zur Umsetzung von Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften die wesentlichen Anforderungen nach § 5 Abs. 1 BauPG nicht berücksichtigen.

Kalksandsteine sind in der europäisch harmonisierten Kalksandsteinnorm DIN 771-2 genormt und damit in der Bauregelliste B enthalten. In der Bauregelliste A Teil 1 sind nur noch „ergänzende Eigenschaften“ geregelt, für die es in der europäischen Kalksandsteinnorm keine entsprechenden Definitionen gibt (z.B. bei Kalksand-Vormauersteinen). Anwendungsregeln für europäisch genormte Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 sind in DIN V 20000-402:2005-06 enthalten. Kalksandsteine, die zusätzlich der nationalen

Restnorm DIN V 106 entsprechen, dürfen für Mauerwerk auch ohne Beachtung der Anwendungsregeln verwendet werden. Die Bestimmungen zur Verwendung nach den nationalen technischen Regeln (z.B. DIN 1053-1) sind in der „Liste der technischen Baubestimmungen“ Anlage 2.2/1 Nr. 5 [4] aufgeführt.

Bauprodukte, die von den technischen Regeln in der Bauregelliste wesentlich abweichen oder für die es Technische Baubestimmungen oder allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht gibt (nicht geregelte Bauprodukte), müssen

1. eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) MBO § 18,
2. ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) MBO § 19 oder
3. eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) MBO § 20 als Verwendbarkeitsnachweis haben.

Der jeweils erforderliche Verwendbarkeitsnachweis ist in der Bauregelliste A genannt. Davon ausgenommen sind Bauprodukte in Bauregelliste C.

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

1. eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) MBO § 18 oder
2. eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) MBO § 20 erteilt worden ist.

Weitere Angaben können der Bauregelliste entnommen werden. Die Bauregelliste wird mindestens jährlich aktualisiert. Die jeweils aktuelle Bauregelliste steht unter www.dibt.de zur Verfügung.

2.5.1.3 Erläuterungen zur Anwendung von DIN EN 1996 (Eurocode 6): Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten vor der Bekanntmachung als Technische Baubestimmung

Allgemeines

Die Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz hat den Ländern empfohlen, die Normen DIN EN 1990 bis 1995, 1997 und 1999 in Teilen zum Stichtag

1.7.2012 bauaufsichtlich einzuführen und gleichzeitig die korrespondierenden nationalen Planungs- und Bemessungsnormen aus der Liste der Technischen Baubestimmungen zu streichen. Hiervon ausgenommen ist u.a. DIN EN 1996 (Eurocode 6).

Es bestehen keine Bedenken, dass die mit den zugehörigen nationalen Anhängen vorliegende Norm DIN EN 1996 nach § 3 Abs. 3 Satz 3 Musterbauordnung (MBO) 1 als gleichwertige Lösung abweichend von den korrespondierenden Technischen Baubestimmungen zusammen mit den dann bauaufsichtlich eingeführten Eurocodeteilen unter den folgenden generellen Bedingungen angewendet werden kann:

1. Die nachstehend genannten Eurocodeteile müssen zusammen mit dem jeweiligen Weißdruck der Nationalen Anhänge (NA) vorliegen.
2. Sofern die Nationalen Anhänge „NCI“ (non-contradictory complementary information) enthalten, sind diese zu beachten.
3. Beim Nachweis des Gesamttragwerks nach den unten genannten Eurocodeteilen und den in der Liste der Technischen Baubestimmungen bekannt gemachten Eurocodes ist die Bemessung einzelner Bauteile nach noch nicht auf die Eurocodes umgestellten Technischen Baubestimmungen nur zulässig, wenn diese einzelnen Bauteile innerhalb des Tragwerkes Teiltragwerke bilden und die Schnittgrößen und Verformungen am Übergang vom Teiltragwerk zum Gesamttragwerk entsprechend der jeweiligen Norm berücksichtigt wurden. Gleiches gilt auch für den Fall, dass das Gesamttragwerk nach den jeweiligen Technischen Baubestimmungen bemessen wird und Teiltragwerke nach den Eurocodes enthält.
4. Bei Typenprüfungen und allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, die auf nationale technische Regeln Bezug nehmen, ist Folgendes zu beachten: Für das von diesen Regeln betroffene Bauteil erfolgt die Bemessung nach den in der Typenprüfung oder Zulassung in Bezug genommenen technischen Regeln. Die Nachweise des Resttragwerks (Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit) entsprechend den bauaufsichtlich eingeführten und den unten genannten Eurocodeteilen sind unter Beachtung von 3. zulässig.

5. Wird in Technischen Baubestimmungen auf nationale Bemessungsnormen verwiesen, dürfen anstelle dieser auch die nachfolgenden Eurocodeteile unter den hier genannten Bedingungen angewendet werden.

6. Die E-Anlagen der Liste der Technischen Baubestimmungen sind bei Anwendung des Eurocodes 6 sinngemäß zu beachten.

Weitere Voraussetzungen zur Anwendung von § 3 Abs. 3 Satz 3 MBO 2 sind in den nachfolgenden Abschnitten genannt.

Tragwerksbemessung für allgemeine Lastfälle (Kaltbemessung)

Es liegen für Mauerwerk folgende Teile zur Anwendung vor:

- DIN EN 1996-1-1:2010-12 – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- 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
- DIN EN 1996-2:2010-12 – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
- DIN EN 1996-2/NA:2012-01 – Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
- DIN EN 1996-3:2010-12 – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten
- 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

Tragwerksbemessung für den Brandfall

Es liegt für Mauerwerk folgender Teil zur Anwendung vor:

- 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 Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

Die Tragwerksbemessung für den Brandfall erfolgt nach Teil 1-2 des Eurocodes 6 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang. Für spezielle Ausbildungen (z.B. Anschlüsse, Fugen etc.) sind zusätzlich die Anwendungsregeln nach DIN 4102-4 (neu) zu beachten, sofern der Eurocode 6 dazu keine Angaben enthält.

Endgültige bauaufsichtliche Einführung des Eurocode 6

Die endgültige bauaufsichtliche Einführung des Eurocodes 6 durch Aufnahme in die Liste der Technischen Baubestimmungen in den Ländern ist nach den gegenwärtigen Beratungen in der Fachkommission Bautechnik ab Januar 2015 geplant.

2.5.2 Verwendbarkeitsnachweise im nationalen Verfahren

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)

Das DIBt erteilt eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für nicht geregelte Bauprodukte, wenn deren Verwendbarkeit im Sinne des § 3 Abs. 2 (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,

1. deren Verwendung nicht der Erfüllung erheblicher Anforderungen an die Sicherheit baulicher Anlagen dient, oder
2. die nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden,

bedürfen anstelle einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nur eines allge-

meinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses. Ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis wird von einer anerkannten Prüf-
stelle erteilt, wenn die Verwendbarkeit durch Prüfungen nachgewiesen ist.

Nachweis der Verwendbarkeit von Bauprodukten im Einzelfall (Z.i.E.)

Mit Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörde dürfen im Einzelfall

1. Bauprodukte, die ausschließlich nach dem Bauproduktengesetz oder nach sonstigen Vorschriften zur Umsetzung von Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften in Verkehr gebracht und gehandelt werden dürfen, jedoch deren Anforderungen nicht erfüllen, und
2. nicht geregelte Bauprodukte

verwendet werden.

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. Diese wird Länderweise unterschiedlich gehandhabt.

Übereinstimmungsnachweis

Bauprodukte bedürfen einer Bestätigung ihrer Übereinstimmung mit den technischen Regeln nach MBO § 17 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 § 23) oder
2. Übereinstimmungszertifikat (MBO § 24).

Die Verknüpfung der Klassifizierung von Bauteilen und Baustoffen (Bauprodukten) erfolgt im Brandschutz über die Regelungen, die in der Bauregelliste mit den jeweiligen Anlagen enthalten sind.

Mit der Bauproduktenverordnung wird geregelt, dass europäisch harmonisierte Bauprodukte durch die Leistungserklärung und die CE-Kennzeichnung hinsichtlich der Übereinstimmung mit den europäischen Regeln bestätigt und frei gehandelt werden dürfen. Dies heißt jedoch nicht, dass Bauprodukte mit CE-Kennzeichnung ohne weiteres auch verwendet werden dürfen. Dazu sind weitere Festlegungen in den Bauregellisten bzw. der Liste der technischen Baubestimmungen zu beachten.

Tafel 8: 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	Nichtbrennbar	A	A1	A _{1L}	X	X		
		A 1 A 2	A2 – s1,d0	A2 _L – s1, d0	X	X		
Brennbare Baustoffe	Schwerentflammbar	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	–	–
					Normalentflammbar	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
	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		–	–	
			B 2	E – d2		E _L – d2	–	–
				B 2		E – d2	E _L – d2	–
	Leichtentflammbar	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,

Der Nachweis des Brandschutzes war für den Praktiker in der Vergangenheit schon relativ unübersichtlich. Durch die europäische Harmonisierung in Verbindung mit dem Bauproduktengesetz und der Bauproduktenrichtlinie, jetzt Bauproduktenverordnung 2013 (BauPVO), wurden die Landesbauordnungen seit 1995 geändert. Die Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte wurden neu definiert und in der Bauregelliste niedergeschrieben.

Zum Nachweis des Brandschutzes muss für ein Bauprodukt oder eine Bauart entweder

- eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder
- ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) oder
- eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) vorgelegt werden oder
- für genormte Bauprodukte und genormte Bauarten – z.B. Mauerwerk – der Nachweis nach DIN EN 1996-1-2/NA oder DIN 4102-4 (neu) geführt werden.

Es wird zwischen nationalen Bauprodukten (geregelt und nicht geregelt), europäischen Bauprodukten und sonstigen Bauprodukten sowie Bauarten unterschieden. Welcher Verwendbarkeitsnachweis für welches Bauprodukt vorzulegen ist, wird noch in der jährlich erweiterten Bauregelliste zusammengefasst. Die Bauregelliste befasst sich mit allen am Bau zu verwendenden Bauprodukten – Baustoffen, Bauteilen – für alle maßgebenden Eigenschaften, also nicht nur mit dem Brandschutz.

2.5.3 Verknüpfung bauaufsichtlicher Benennungen mit Klassifizierungen von Baustoffen, Bauteilen

In der Bauregelliste 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 9: 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 10: 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
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Lüftungsleitungen	L 30, L 60, L90, L 120	abP
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Klappen in Lüftungsleitungen	K 30, K 90	abZ
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	Installations-schächte, -kanäle	I 30, I 60, I 90, I 120	abP
Funktionserhalt	Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen	E 30, E 60, E 90, E 120	abP

abP: allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis, erstellt durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle
 abZ: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, erstellt durch das DIBT
 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 8 erfolgt die Gegenüberstellung der bauaufsichtlichen Benennung für Baustoffe mit DIN 4102-1 und nach DIN EN 13501-1.

In Tafel 9 erfolgt die bekannte Verknüpfung der bauaufsichtlichen Benennungen für Bauteile mit DIN 4102 und in Tafel 10 für Sonderbauteile. In Tafel 11 sind Erläuterungen der europäischen Klassifizierungskriterien für Bauteile und der zu-

sätzlichen Angaben zur Klassifizierung zusammengefasst. In Tafel 12 erfolgt die Verknüpfung der bauaufsichtlichen Benennungen für Wände mit DIN 13501-2 und in Tafel 13 für Sonderbauteile.

Da in Deutschland weiterhin neben der europäischen Klasse die nationale Klasse verwendet werden darf, werden zunehmend die bauaufsichtlichen Begriffe verwendet.

Tafel 11: 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 – Auszug aus der Bauregelliste 2012/2

Herstellung des Kurzzeichens	Kriterium	Anwendungsbereich
<i>R</i> (Résistance)	Tragfähigkeit	Zur Beschreibung der Feuerwiderstandsfähigkeit
<i>E</i> ((Etanchéité)	Raumabschluss	
<i>I</i> (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung) – Temperaturkriterium auf der feuerabgewandten Wandoberfläche	
<i>W</i> (Radiation)	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts	
<i>M</i> (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung)	
<i>S_m</i> (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
<i>S</i> (Smoke)	Rauchdichtheit (Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit)	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen, Brandschutzklappen
<i>C</i> (Closing)	Selbstschließende Eigenschaft (ggf. mit Anzahl der Lastspiele), einschließl. Dauerfunktion	Rauchschutztüren, Feuerschutzabschlüssen (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
<i>C_{xx}</i>	Dauerhaftigkeit der Betriebssicherheit (Anzahl der Öffnungs- und Schließzyklen)	Entrauchungsklappen
<i>P</i>	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung	Elektrische Kapelanlagen allgemein
<i>G</i>	Rußbeständigkeit	Schornsteine
<i>K₁, K₂</i>	Brandschutzvermögen	Wand- und Deckenbekleidungen (Brandschutzbekleidungen)
<i>I₁, I₂</i>	Unterschiedliche Wärmedämmungskriterien	Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
<i>i</i> → 0 <i>i</i> ← 0 <i>i</i> ↔ 0 (in – out)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Nicht tragende Außenwände, Installationsschächte/-kanäle, Lüftungsanlagen/-klappen
<i>a</i> ↔ <i>b</i> (above – below)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Unterdecken
<i>v_e, h_o</i> (vertical, horizontal)	Für vertikalen/horizontalen Einbau klassifiziert	Lüftungsleitungen, Brandschutzklappen, Entrauchungsleitungen
<i>v_{ew}, h_{ow}</i>	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände klassifiziert	Entrauchungsklappen
<i>v_{ed}, h_{od}</i>	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Leitungen klassifiziert	Entrauchungsklappen
<i>v_{edw}, h_{odw}</i>	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände und Leitungen klassifiziert	Entrauchungsklappen
<i>U/U</i> (uncapped/uncapped)	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
<i>C/U</i> (capped/uncapped)	Rohrende geschlossen innerhalb des Prüfofens/Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
<i>U/C</i>	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/Rohrende geschlossen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
<i>MA</i>	Manuelle Auslösung (auch automatische Auslösung mit manueller Übersteuerung)	Entrauchungsklappen
<i>multi</i>	Eignung, einen oder mehrere feuerwiderstandsfähige Bauteile zu durchdringen bzw. darin einzubauen	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen

Tafel 12: 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
	nichttraumabschließend	raumabschließend			
Feuerhemmend	R 30	REI 30	EI 30	E 30 (<i>i</i> → 0) und E 30-ef (<i>i</i> ← 0)	REI-M 30 ¹⁾ EI-M 30 ¹⁾
Hochfeuerhemmend	R 60	REI 60	EI 60	E 60 (<i>i</i> → 0) und E 60-ef (<i>i</i> ← 0)	REI-M 60 ¹⁾ EI-M 60 ¹⁾
Feuerbeständig	R 90	REI 90	EI 90	E 90 (<i>i</i> → 0) und E 90-ef (<i>i</i> ← 0)	–
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

Tafel 13: 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	Instalations-schächte und -kanäle	Elektrische Leitungsanlagen mit Funktions-erhalt	Abgasanlagen	Brand-schutzver-glasungen ²⁾	Fahrschachttüren in feuer-widerstands-fähigen Fahr-schachtwänden ⁶⁾	
	ohne Rauch-schutz	mit Rauch-schutz													
Feuerhemmend	El ₂ 30-C.. ¹⁾	El ₂ 30-C..S _m ¹⁾		EI 30	EI 30-U ³⁾ EI 30-C/U ⁴⁾	(V _d h ₀ ↔ o)-S	EI 30 (V _d h ₀ ↔ o)-S	(V _e -h ₀) S, ⁷⁾ multi	EI 30 (V _e ⁸⁾ , h ₀ ⁹⁾ , i ↔ o) S, ⁷⁾ C _{xx} ¹⁰⁾ MA ¹¹⁾ multi	EI 30 (V _d h ₀ ⁱ ↔ o)	P 30	EI 30 (i ↔ o)-O oder EI 30 (i ↔ o) und G _{xx} ⁵⁾	E 30	E 30	
Hochfeuerhemmend	El ₂ 60-C.. ¹⁾	El ₂ 60-C..S _m ¹⁾		EI 60	EI 60-U ³⁾ EI 60-C/U ⁴⁾	(V _d h ₀ ↔ o)-S	EI 60 (V _d h ₀ ⁱ ↔ o)-S	EI 60 (V _e -h ₀) S, ⁷⁾ multi	EI 60 (V _e ⁸⁾ , h ₀ ⁹⁾ , i ↔ o) S, ⁷⁾ C _{xx} ¹⁰⁾ MA ¹¹⁾ multi	EI 60 (V _d h ₀ ⁱ ↔ o)	P 60	EI 60 (i ↔ o)-O oder EI 60 (i ↔ o) und G _{xx} ⁵⁾	E 60	E 60	
Feuerbeständig	El ₂ 90-C.. ¹⁾	El ₂ 90-C..S _m ¹⁾		EI 90	EI 90-U ³⁾ EI 90-C/U ⁴⁾	(V _d h ₀ ↔ o)-S	EI 90 (V _d h ₀ ⁱ ↔ o)-S	EI 90 (V _e -h ₀) S, ⁷⁾ multi	EI 90 (V _e ⁸⁾ , h ₀ ⁹⁾ , i ↔ o) S, ⁷⁾ C _{xx} ¹⁰⁾ MA ¹¹⁾ multi	EI 90 (V _d h ₀ ⁱ ↔ o)	P 90	EI 90 (i ↔ o)-O oder EI 90 (i ↔ o) und G _{xx} ⁵⁾	E 90	E 90	
Feuerwiderstandsdauer 120 min.	-	-		EI 120	EI 120-U/U ³⁾ EI 120C/U ⁴⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rauchdicht und selbst-schließend	-	-	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 Durchmesser ≤ 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: V_{ew}, V_{ew}, V_{ed}
 8) Je nach vorgesehener Verwendung: V_{ew}, V_{ew}, V_{ed}
 9) Je nach vorgesehener Verwendung: I_{0,90}, I_{0,90}, I_{0,90}
 10) Je nach vorgesehener Verwendung: C₃₀₀₀, 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.

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_MC“, siehe Tafel 13. 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 Prüfkriterien der 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 Prüfkriterien der DIN 4102 erfüllt, d.h. mit einer Klassifizierung nach DIN 4102 wird auch die Anforderung, dem Durchtritt von Rauch vorzubeugen, nachgewiesen. Dies gilt damit auch für unvermörtelte Stoßfugen gemäß DIN 1053 oder DIN EN 1996-1-1/NA (NCI zu Abschnitt 8.1.5). Allerdings 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. Für eine geforderte Rauchgasdichtigkeit, z.B. für Computerräume mit Datensicherung, müssen daher im Einzelfall gesonderte konstruktive Maßnahmen und Beurteilungen erfolgen. Dies gilt entsprechend nach den europäischen Prüfnormen.

Wände und Decken sind in Übereinstimmung mit den bauaufsichtlichen Anforderungen nicht rauchdicht.

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, insbesondere in Bundesländern, die ihre Bauordnung an die MBO 2002 angepasst haben. Dies ist dort bereits in den Bauordnungen bzw. Bauvorschriften geregelt. In diesen Ländern ist auch geregelt, was ein Brandschutzkonzept enthalten soll.

Brandschutzkonzepte werden in vielen Beiträgen, u.a. in [6, 7], 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 nicht-brennbare 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 Genehmigungsver-

fahren 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.

3. BRANDSCHUTZNORMEN

3.1 Grundlagen und Verwendbarkeitsnachweise

Gemäß Bauregelliste dürfen für die Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen sowohl nationale als auch europäische Brandprüfungen zugrunde gelegt werden. Entscheidend ist jedoch, dass in der Baupraxis Verwendbarkeitsnachweise vorgelegt werden.

Verwendbarkeitsnachweise können sein:

- Angaben in DIN EN 1996-1-2/NA,
- Angaben in DIN 4102-4,
- allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ),
- allgemeines bauaufsichtliche Prüfzeugnis (abP),
- Zustimmung im Einzelfall (ZiE).

Wenn in abZ 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. Zu den Verwendbarkeitsnachweisen sind nach Ausführung auch Übereinstimmungserklärungen von den ausführenden Firmen zur Dokumentation einzureichen. Damit ist dann eindeutig die Verantwortlichkeit und Haftung geregelt. Vorlagen von Übereinstimmungserklärungen liegen jedem Verwendbarkeitsnachweis als Muster bei.

3.2 Nationale Prüfnormen – DIN 4102

3.2.1 Grundlagen

Die Gesamtnorm DIN 4102 enthält die Grundlagen für die Definition der bauaufsichtlichen Begriffe hinsichtlich Brandschutz sowie die sich daraus ergebenden Anforderungen. DIN 4102 setzt sich aus 20 Teilen (Teile 1-9, 11-18 und 21, 22, 23) zusammen. DIN 4102 ist im Wesentlichen eine Prüfnorm. Hiervon ausgenommen sind DIN 4102-4 und DIN 4102-22, die genormte und klassifizierte Baustoffe, Bau-

teile und Sonderbauteile zusammenfassen und mögliche Anwendungen sowie Ausführungsdetails in brandschutztechnischer Hinsicht darstellen, siehe www.beuth.de. Bild 4 gibt eine Verknüpfung zwischen Temperatureinwirkungen nach DIN 4102 sowie Brandereignissen, die Brandschutznachweisen zugrunde liegen. Es werden die Temperatureinwirkungen nach Prüfnorm einem möglichen Naturbrand gegenübergestellt.

Brandschutztechnische Begriffe, Anforderungen und Prüfungen werden für Baustoffe (Bauprodukte) in den Normteilen 1, 14 – 17 der DIN 4102 und für Bauteile sowie Sonderbauteile in den Normteilen 2, 3, 5-9 und 11-13, 21 der DIN 4102 definiert.

3.2.2 Baustoffe

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 8. 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 (Mauerwerk), 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. Bauteilen werden Feuerwiderstandsklassen F 30 bis F 180 zugeordnet. Für Bau-

teile und Sonderbauteile gelten unterschiedliche Abkürzungen, siehe Tafel 10.

Für einige Sonderbauteile gibt es keine Abkürzungen, z.B. Brandwand. 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 der Baustoffe (Bauprodukte) und damit der Baustoffklassen wurden in Europa neue Prüfverfahren entwickelt und verabschiedet, weil die bisherigen Prüfverfahren in den einzelnen europäischen Ländern sehr unterschiedlich waren. Die Prüfungen erfolgen nach unterschiedlichen Normen, die neuen Bezeichnungen der Baustoffklassen (Euroklassen) sind in Tafel 8 zusammengefasst.

Kalksandsteine und Mörtel (mit organischen Bestandteilen bis zu 1 M.-%) wurden nicht neu geprüft; sie wurden gemäß Entscheidung der Europäischen Kommission in ein Verzeichnis von Bauprodukten der Kategorie A aufgenommen, d.h. in die europäische Klasse A 1 nach DIN EN 13501-1 eingestuft.

3.3.2 Bauteile und Sonderbauteile

Auch für die Prüfung des Brandverhaltens von Bauteilen wurden in Europa neue Prüfverfahren erarbeitet, von denen die meisten verabschiedet sind. In Tafel 14 ist der derzeitige Stand der fertigen bzw. in Arbeit befindlichen Normen zusammengefasst. Die Prüfnormen sind in Europa sehr aufgebläht worden, weil es einige Länder für erforderlich halten, für jedes Einzelbauteil jede Prüfeinheit schriftlich niederzulegen. Andererseits mag dieses auch sinnvoll sein, um vergleichbare und reproduzierbare Prüfergebnisse zu erhalten.

Die Prüfnormen enthalten in der Regel für die Prüfergebnisse nur einen direkten Anwendungsbereich, der sehr eingeschränkt ist. Extrapolationen der Prüfergebnisse sowie ein erweiterter Anwendungsbereich sind nur möglich, wenn eine so genannte EXAP-Norm erstellt wurde, d.h. Extrapolationsregeln für den erweiterten Anwendungsbereich.

3.3.3 Erläuterung einzelner 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 4. Lediglich die Bezeichnungen haben sich geändert, aus Brandbeanspruchung wurde Einwirkung und die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) heißt jetzt „ISO-Curve“. DIN EN 1363 wurde 2012 überarbeitet.

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.

Kalksandsteine beteiligen sich nicht am Entstehungsbrand. Sie sind nichtbrennbar und entsprechen der europäischen Klasse A1 nach einer Entscheidung der Europäischen Kommission.

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 durchzündet 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.

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 Prüfungsdurchführung 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,

Tafel 14: Europäische Prüfnormen mit Gegenüberstellung der vergleichbaren Norm nach DIN 4102 (Stand: September 2013)

Feuerwiderstandsprüfung	Europäische Prüfnorm	Inhalt	Entsprechende deutsche Norm
Grundnorm	DIN EN 1363-1:2012-10	Allgemeine Anforderungen	DIN 4102-2
	DIN EN 1363-2:1999-10	Alternative und ergänzende Verfahren	DIN 4102-2 und DIN 4102-3
Klassifizierungen	DIN EN 13501-1:2010-01	Klassifizierung Brandverhalten (Baustoffe)	DIN 4102-1
	DIN EN 13501-2:2010-02	Klassifizierung Feuerwiderstand (Bauteile)	DIN 4102-2
	DIN EN 13501-3:2010-02	Leitungen und Brandschutzklappen	DIN 4102-5
	DIN EN 13501-4:2010-01	Anlagen zur Rauchfreihaltung	keine
	DIN EN 13501-5:2010-02	Bedachungen	DIN 4102-7
	DIN EN 13501-6:2011-11	Kabelanlagen	DIN 4102-12
Nicht tragende Bauteile	DIN EN 1364-1:E 2011-11	Wände inklusive Verglasungen	DIN 4102-2
	DIN EN 1364-2:1999-10	Decken und Dächer	
	DIN EN 1364-3: E 2011-11	Vorhangfassaden – Gesamt	keine
	DIN EN 1364-4: E 2011-11	Vorhangfassaden – Teilbereich	DIN 4102-3
Tragende Bauteile	DIN EN 1365-1:2013-08	Wände inklusive Verglasungen	DIN 4102-2
	DIN EN 1365-2:E 2012-12	Decken und Dächer	DIN 4102-2
	DIN EN 1365-3:2000-02	Balken	
	DIN EN 1365-4:1999-10	Stützen	
	DIN EN 1365-5:2005-02	Balkone und Laubengänge	
	DIN EN 1365-6:2005-02	Treppen	
Dächer	DIN CEN/TS 1187:2012-03	Dächer von außen	DIN 4102-7
Installationen	DIN EN 1366-1:E 2008-09	Leitungen	DIN 4102-11
	DIN EN 1366-2:1999-10	Brandschutzklappen	DIN 4102-6
	DIN EN 1366-3:2009-07	Abschottungen	DIN 4102-9
	DIN EN 1366-4:2008-08	Abdichtungssysteme für Fugen	DIN 4102-2
	DIN EN 1366-4/A1:2010-08		
	DIN EN 1366-5:2010-06	Installationskanäle	DIN 4102-11
	DIN EN 1366-6:2005-02	Doppel- und Hohlraumböden	DIN 4102-2 und Prüfgrundsätze
	DIN EN 1366-7:2004-09	Feuerschutzabschlüsse bahngelasteter Förderanlagen	DIN 4102-5
	DIN EN 1366-8:2004-10	Entrauchungsleitungen	keine
	DIN EN 1366-9:2008-08	Entrauchungsleitungen/Einzelabschnitt	keine
	DIN EN 1366-10:2011-07	Entrauchungsklappen	keine
DIN EN 1366-11:2010-11	Funktionserhalt von Kabelanlagen	DIN 4102-12	
Bekleidungen	DIN EN 13381-1: E 2008-12	Horizontal angeordnete Brandschutzbekleidungen	DIN 4102-2
	DIN EN 13381-2: E 2012-06	Vertikale Bekleidungen	
	DIN EN 13381-3:2012-05	Beton	
	DIN EN 13381-4:2013-08	Stahl	
	DIN EN 13381-5:2012-01	Verbund	
	DIN EN 13381-6:2012-09	Holz	
	DIN EN 13381-7:2008-10	Holzbauteile	
Türen	DIN EN 1634-1: E 2012-07	Feuerschutzabschlüsse	DIN 4102-5
	DIN EN 1634-2:2009-05	Türbeschläge für Feuerschutzabschlüsse	keine
	DIN EN 1634-3:2005-01	Rauchschutzabschlüsse	DIN 18095

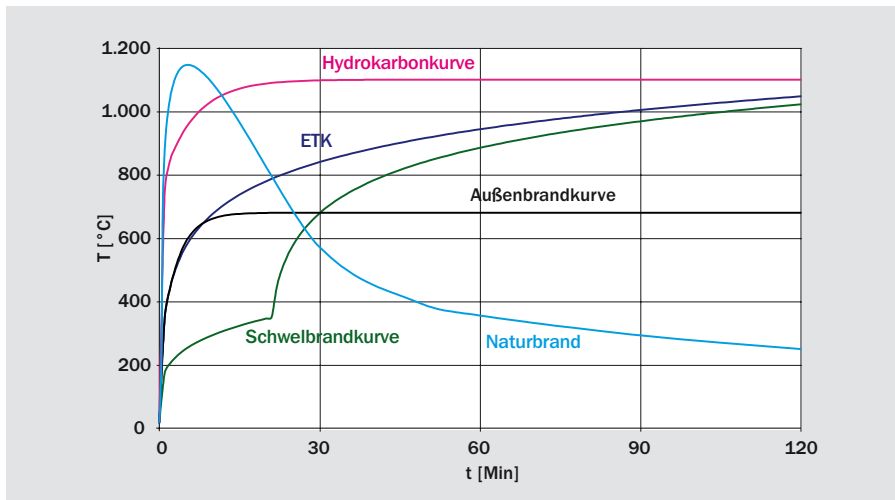


Bild 4: Temperaturprüfcurven – Brandeinwirkungen

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 keinen für die Klassifizierung maßgebenden Einfluss.

DIN EN 1363-2 enthält das rein deutsche 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. Seit der Bauregelliste 2002/1 Anlage 0.1.1 wurden die europäischen Klassifizierungen in Deutschland bereits eingeführt und den bauaufsichtlichen Verwendungsvorschriften gegenübergestellt. Sie sind damit im bauaufsichtlichen Verfahren alternativ zu den Klassifizierungen von DIN 4102-2 anwendbar. Nach dem derzeitigen Stand bleiben die Klassifizierungen nach DIN 4102-2 noch mindestens fünf Jahre erhalten.

3.4 Bauteil-Klassifizierungen nach DIN EN 13501-2 (Kurzbezeichnungen)

Die Kurzbezeichnungen für die Klassifizierungen nach DIN EN 13501-2 von Bauteilen haben sich gegenüber den nationalen

Bezeichnungen geändert. Für jedes Prüfkriterium wird ein eigener Buchstabe verwendet. Die Bezeichnung setzt sich dann aus mehreren Buchstaben sowie der Prüfdauer zusammen. Die Bezeichnungen wurden aus dem Französischen und Englischen abgeleitet. Die Bedeutungen der Abkürzungen sind in Tafel 11 zusammengefasst.

In Tafel 12 sind Beispiele für Wände nach den europäischen Bezeichnungen zusammengestellt. Es lässt sich zusammenfassend feststellen, dass zwischen den einzelnen Wandarten deutlicher unterschieden wird. Damit werden zwar umfangreichere Benennungen erforderlich, aber es gibt hoffentlich 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 angeboten und ausgeführt wird. Weitere Angaben können [4] entnommen werden. Andererseits fehlt europäisch die Verknüpfung mit den Baustoffen, die gemäß den Bauordnungen in Deutschland gefordert wird, d.h. dies ist zusätzlich nachzuweisen.

3.5 Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4 und DIN 4102-22

DIN 4102-4 ist keine Prüfnorm, sondern ein Katalog mit genormten klassifizierten Bauprodukten. Sie erschien 1994 in überarbeiteter Form, sie war im Mauerwerksbau aufgrund der umfangreichen Weiterentwicklungen wesentlich erweitert worden. Danach sind Kalksandsteine der Baustoffklasse A 1 zuzuordnen, ebenso Mörtel nach DIN 1053. Außerdem sind umfangreiche Angaben zur Klassifizierung

und Anwendung von Mauerwerkswänden aus Kalksandsteinen enthalten.

Im Jahr 2004 wurde eine A1 Ergänzung zu DIN 4102-4 veröffentlicht sowie DIN 4102-22, welche auf nationaler Ebene die Verknüpfung zwischen DIN 4102-4 und dem neuen semiprobabilistischen Bemessungskonzept für tragende Bauteile ermöglichte. In Europa gibt es weiterhin kein Mandat, eine der DIN 4102-4 entsprechende Norm zu erarbeiten. Die Arbeit an den nationalen Normen wurde eingestellt, weil die Eurocodes mit ihren Nationalen Anhängen fertig gestellt und bauaufsichtlich eingeführt wurden. DIN 4102-4 soll in der Neuausgabe zukünftig eine Restnorm sein, die nur noch Regelungen enthält, die in den Eurocodes nicht geregelt werden.

Die Entwurfsfassung E DIN 4102-4 soll in Kürze erscheinen. Aufgrund des Verbots der Doppelregelung sind nur noch Mauerwerks-Fertigbauteile – Mauertafeln – nach der alten, aber derzeit noch eingeführten Norm DIN 1053-4 enthalten. Hierbei wurden analog zum Eurocode 6 neue aktuelle Brandprüfungen an schlanken Kalksandsteinwänden mit höheren Belastungen berücksichtigt. Nach bauaufsichtlicher Einführung der Neuausgabe von DIN 1053-4 – zeitgleich mit der endgültigen Einführung des Eurocode 6 in der Liste der technischen Baubestimmungen – sollen dann aber auch für Mauertafeln die Brandschutzregelungen nach Eurocode 6 gelten. In DIN 4102-4 (neu) sind für Mauerwerk dann nur noch die weiterhin enthaltenen Ausführungsdetails sowie zusätzlich aktuelle Anschlussdetails und einige wenige Sonderfälle nicht tragender Wände maßgeblich.

DIN 4102-4 (Bauteilkatalog) enthält für den Mauerwerksbau zukünftig nur noch (wichtige) Angaben zu Anschlussdetails sowie zu Fertigbauteilen aus Mauerwerk.

Die brandschutztechnische Bemessung von Mauerwerk (Standicherheit in Verbindung mit der Feuerwiderstandsklasse) erfolgt nach DIN EN 1996-1-2/NA.

Übergangsweise ist auch noch eine Bemessung nach DIN 4102-4 möglich.

DIN 4102-22 ist auf Grundlage der Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten eine Anwendungsnorm zu DIN 4102-4. Da bei Fertigstellung der Norm im Jahr 2004 die semiprobabilistische Bemessungsnorm für Mauerwerk DIN 1053-100 noch nicht

veröffentlicht war, wurde in DIN 4102-22 lediglich festgestellt, dass bei einer Bemessung von Mauerwerk mit Teilsicherheitsbeiwerten DIN 4102-4 nicht anwendbar ist. Zwischenzeitlich wurde eine Umrechnungsregel entwickelt, die bei einer Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten die Ergebnisse auf DIN 1053-1 – vereinfachtes Bemessungsverfahren – zurückführt. Diese Regel wurde mit der Einführung von DIN 1053-100 in der Liste der technischen Baubestimmungen (LTB) [5] veröffentlicht.

3.6 DIN EN 1996-1-2 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang (NA)

3.6.1 Allgemeines

Die Bemessungsnorm von Mauerwerk für den Brandfall DIN EN 1996-1-2:2011-04, Eurocode 6, liegt mit dem zugehörigen Nationalen Anhang (NA) – Ausgabe Juni 2013 – vor. Sie umfasst im wesentlichen Bemessungstabellen entsprechend DIN 4102-4.

Für Kalksandstein-Mauerwerk wurden 2009/2010 diverse neue Brandprüfungen nach europäischer Prüfnorm DIN EN 1365-1 mit erhöhten Belastungen und auch erhöhten Mauerwerksfestigkeiten durchgeführt. Außerdem wurden umfangreiche Vergleichsrechnungen nach den verschiedenen Bemessungsverfahren

- DIN 1053-1 (vereinfachtes und allgemeines Verfahren),
- DIN 1053-100 (vereinfachtes und allgemeines Rechenverfahren) sowie
- DIN EN 1996-1-1/NA (vereinfachtes und genaueres Rechenverfahren) und
- DIN EN 1996-3/NA

durchgeführt, siehe Bild 5.

Grundlage der Klassifizierungen in DIN 4102-4:1994 war die Bemessung nach DIN 1053-1 – vereinfachtes Verfahren. Da die tatsächliche Auflast maßgebend für das Brandverhalten von tragenden Mauerwerkswänden ist, waren diese Vergleichsrechnungen erforderlich, um die Tabellenwerte für DIN EN 1996-1-2/NA mit den teilweise deutlich höheren zulässigen Auflasten festzulegen.

3.6.2 Bemessungsgrundlagen

Die Tragwerksbemessung im Brandfall von Mauerwerk ist entsprechend allen Eurocodes nach drei Verfahren möglich:

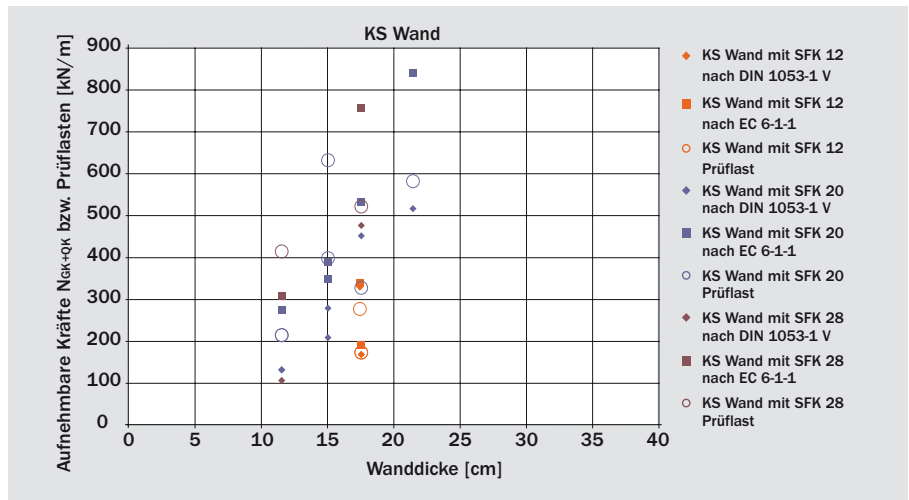


Bild 5: Gegenüberstellung der verschiedenen Bemessungsverfahren und Prüflasten

- Tabellen mit klassifizierten Bauteilen vergleichbar DIN 4102-4
- Vereinfachtes Rechenverfahren
- Ausführliches Rechenverfahren

Die Tragwerksbemessung von Mauerwerk im Brandfall nach DIN EN 1996-1-2/NA soll in Deutschland ausschließlich nach dem bekannten und bewährten Tabellenverfahren erfolgen.

Für tragende Wände und Pfeiler wurden aufgrund der Beschlüsse zu DIN EN 1996-1-2/NA die Gleichungen (NA.1 und NA.2) für den Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$ aufgenommen, die bereits in der Liste der technischen Baubestimmungen zu DIN 1053 für den Ausnutzungsfaktor α_2 in DIN 4102-4 veröffentlicht sind. Der Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$ wurde lediglich über einen Wert ω an die Mauerwerksdruckfestigkeiten nach DIN EN 1996-1-1/NA bzw. DIN EN 1996-3/NA angepasst, so dass die Tabellenwerte von DIN EN 1996-1-2/NA den bisher geltenden Stand mit den geprüften Auflasten nach DIN 1053-1/DIN 4102-4 wiedergeben. Die Formeln selbst sind bereits seit einigen Jahren durch die Liste der technischen Baubestimmungen (Anlagen 3.1/3 und 3.1/4) bekannt, so dass sie an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden.

Ansatz Umrechnungsfaktor:

Für $10 \leq \frac{h_{ef}}{t} \leq 25$ gilt:

$$\alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{15}{25 - \frac{h_{ef}}{t}} \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{l \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \tag{NA.1}$$

für $\frac{h_{ef}}{t} < 10$ gilt entsprechend:

$$\alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{l \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \tag{NA.2}$$

Darin ist:

- $N_{Ed,fi}$ Bemessungswert der Normalkraft (Einwirkung) im Brandfall, es gilt: $N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed}$
- N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft nach DIN EN 1996-1-1/NA bzw. DIN EN 1996-3/NA
- η_{fi} der Reduktionsfaktor für den Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall; $\eta_{fi} = 0,7$
- ω Anpassungsfaktor der Mauerwerkskenngrößen nach DIN EN 1996-1-2/NA an die verschiedenen Stein- und Mörtelkombinationen auf der Grundlage von Brandprüfungen siehe Tafel 15
- l Wandlänge
- t Dicke der Wand
- f_k Charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks
- k_0 Faktor zur Berücksichtigung von Wandquerschnitten $< 0,1 \text{ m}^2$ mit $k_0 = 1,25$

Tafel 15: Anpassungsfaktor ω in Abhängigkeit der verwendeten Stein-Mörtel-Kombination (Auszug Tabelle NA.1 der DIN EN 1996-1-2/NA)

Kalksandsteine	Mörtel	Zugehörige Tabelle in		ω
		DIN EN 1996-1-1/NA	DIN EN 1996-3/NA	
Voll- und Blocksteine	NM II	NA.6	NA.D3	3,3
	NM IIa			3,0
	NM III NM IIIa			2,6
Loch- und Hohlblocksteine	NM	NA.4	NA. D1	2,2
Plansteine /Planelemente SFK < 28	DM	NA.7	NA.D4	2,2
				2,6
Plansteine /Planelemente SFK ≥ 28	DM			2,6
Voll- und Blocksteine Loch- und Hohlblocksteine	LM	NA.8	NA.D5	2,2

$e_{mk,fi}$ Planmäßige Ausmitte von $N_{Ed,fi}$ in halber Geschosshöhe; bei Bemessung nach dem vereinfachten Verfahren nach DIN EN 1996-3/NA mit vollständig aufliegender Geschosssdecke darf $e_{mk,fi}$ zu Null gesetzt werden.

h_{ef} Knicklänge der Wand

Zur Ermittlung des ω -Wertes wurden in Abhängigkeit von der Steinmörtelkombination sämtliche Varianten berechnet. Daraus ergeben sich die Werte in der Tafel 15.

Nur bei Kalksandstein-Mauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen (einschließlich Kalksand-Planelementen) muss nach DIN EN 1996-1-2/NA keine Umrechnung auf das alte Bemessungsverfahren mit den oben genannten Gleichungen einschließlich ω -Wert vorgenommen werden. Es gilt insbe-

sondere für tragende, raumabschließende Wände alternativ die vorteilhafte Regelung einer konsistenten Bemessung nach dem Teilsicherheitskonzept in DIN EN 1996-1-2/NA und dem Ausnutzungsfaktor α_{fi} , der sich ohne Umrechnung direkt aus der kalten Bemessung nach Eurocode 6 ergibt.

Dies wurde möglich aufgrund der zusätzlich durchgeführten neuen Brandprüfungen. Es konnten schlanke Wände in den Brandprüfungen mit den deutlich höheren zulässigen Auflasten nach EC 6 voll ausgelastet werden. Außerdem wurden die Wände möglichst bis zum Versagen der Standsicherheit, mindestens jedoch bis maximal 240/300 min. (Einschränkung durch Prüfofen), geprüft.

Da für diese Wand Auflasten gemäß einer Bemessung nach DIN EN 1996-1-1/

NA aufgebracht wurden, konnten im Nationalen Anhang zu DIN EN 1996-1-2 Werte für einen Ausnutzungsfaktor α_{fi} auf der Grundlage von DIN EN 1996-1-1 eingeführt werden. Daher gilt für Kalksandstein alternativ die Formel NA.3.

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \quad \text{NA.3}$$

mit

$N_{Ed,fi}$ Bemessungswert der Normalkraft (Einwirkung) im Brandfall

N_{Rd} Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstandes nach DIN EN 1996-1-1/NA bzw. DIN EN 1996-3/NA

α_{fi} Ausnutzungsfaktor ($\alpha_{fi} \leq 0,7$)

Der Ausnutzungsfaktor $\alpha_{fi} = 0,7$ entspricht der vollen Ausnutzung nach DIN EN 1996-1-1/NA bzw. DIN EN 1996-3/NA. Die Tabellenwerte für Kalksandstein-Mauerwerk auf Grundlage von α_{fi} können damit ohne Berechnung des Ausnutzungsfaktors direkt angewendet werden.

Tragende, raumabschließende Wände (REI) aus Kalksandstein-Mauerwerk mit Voll- oder Blocksteinen 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.

3.6.3 Ingenieurmäßige Brandschutzbemessung

Gemäß MBO und den neuen LBO wurde grundsätzlich die Anwendung rechnerischer Ingenieurmethoden im Brandschutz eingeführt. Eine ingenieurmäßige Brandschutzbemessung für Mauerwerk ist jedoch nach DIN EN 1996-1-2/NA nicht zulässig.

Für Kalksandstein-Mauerwerk ist beim Neubau mit einer Temperatureinwirkung gemäß der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) eine rechnerische Brandschutzbemessung auch nicht erforderlich, da selbst bei schlanken Wandkonstruktionen die statisch und bauphysikalisch ohnehin erforderlichen Wanddicken in der Regel auch die tabellierten Anforderungen im Hinblick auf die brandschutztechnische Anforderung erfüllen.

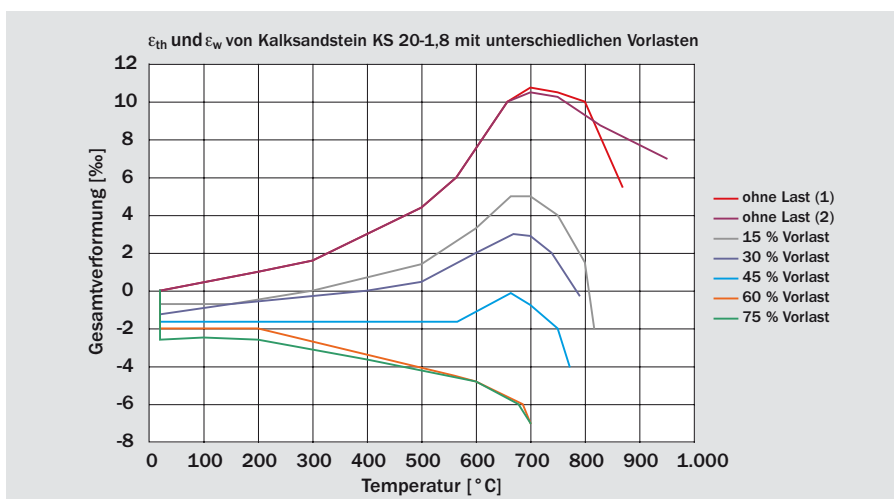


Bild 6: Gesamtverformung von Kalksandsteinen 20-1,8 in Abhängigkeit von der Belastung und der Temperatur

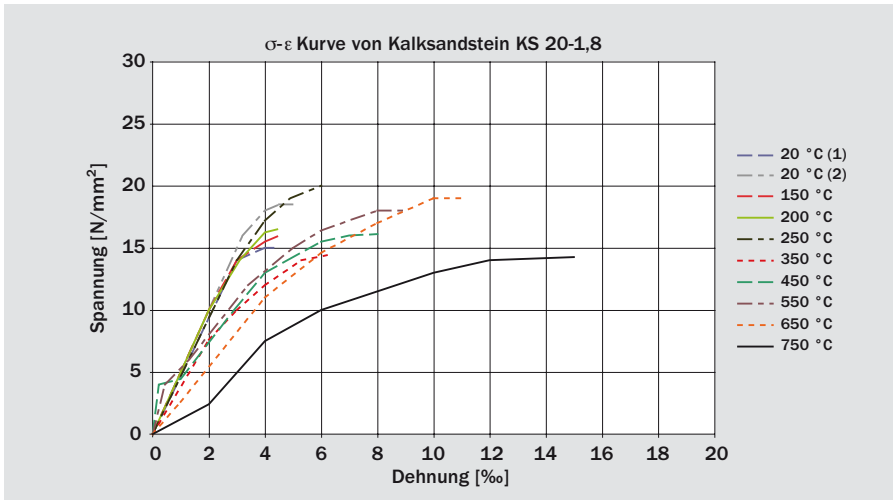


Bild 7: σ - ϵ -Kurven von Kalksandsteinen 20-1,8 in Abhängigkeit von der Temperatur

Für einige Steinarten aus Kalksandstein liegen bereits Materialkennwerte vor, die für Experten eine ingenieurmäßige Bemessung ermöglichen. Sie wurden im Rahmen der europäischen Sitzungen vorgetragen, z.B. das Dehnverhalten sowie σ - ϵ Kurven im Brandfall, siehe auch Bilder 6 und 7.

4. BAULICHER BRANDSCHUTZ MIT KALKSANDSTEIN-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, entnommen aus DIN 4102-4, 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 nicht raumabschließend:

- 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, nicht raumabschließende 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 $\leq 1,0$ 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

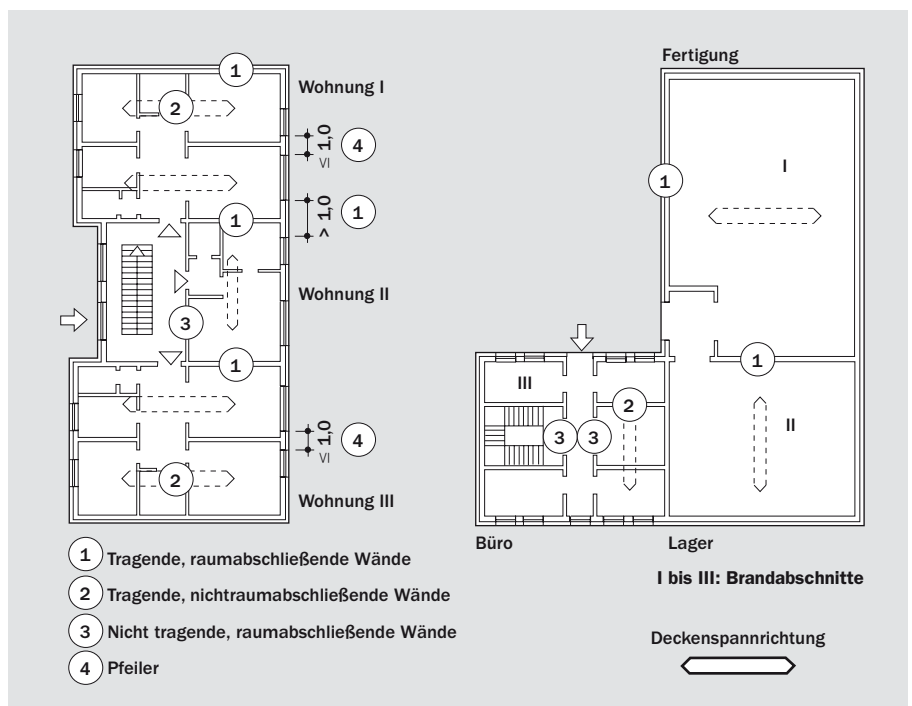


Bild 8: Wandarten im Wohnungsbau sowie Industriebau – Beispiele

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 8 werden die einzelnen Wandarten anhand von Gebäudegrundrissen verdeutlicht.

4.1.2 Baustoffverhalten im Brandfall

Umfangreiche Brandprüfungen und Forschungen belegen, dass sich Kalksandstein in brandschutztechnischer Hinsicht vorteilhaft verhält. Kalksandstein-Mauerwerk hat im Brandfall eine hohe Feuerwiderstandsfähigkeit. Brandfälle aus der Praxis bestätigen dieses sehr eindrucksvoll.

Das vorteilhafte Verhalten von Kalksandstein-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 che-

mischen Bindungen eingebunden. Aufgrund der Porenstruktur von Kalksandstein wird außerdem freies, nicht gebundenes Wasser eingelagert.

In Kalksandsteinwänden stellt sich beim Austrocknen, abhängig von 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, siehe auch Bild 9.

Kalksandsteine verbrauchen im Brandfall freies und gebundenes Kristallwasser bevor die Baustoffstrukturen angegriffen werden. Zunächst ergibt sich im Brandfall sogar eine Zunahme der Festigkeit.

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 Kalksandstein-Mauerwerk. Die Kalksandsteinindustrie

hat frühzeitig das Ziel verfolgt, für schlanke Wände mit hohen Auflasten das Brandverhalten nachzuweisen. So wurden ab 2008 bereits zusätzliche Brandprüfungen in einem europäischen Forschungsvorhaben der Kalksandsteinindustrie mit Auflasten nach dem Eurocode 6 durchgeführt [15]. Aufgrund des Baustoffverhaltens von Kalksandstein wurden Prüfergebnisse erzielt, die zeigen, dass die bisherigen Werte in DIN 4102-4 weit auf der sicheren Seite liegen.

In DIN 4102-4 und in allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen flossen alle seit längerem brandschutztechnisch nachgewiesenen Ausführungsarten von Kalksandstein-Konstruktionen ein, die durch Baustoff- und Bemessungsnormen abgedeckt waren.

Die in DIN 1053-1 geregelten Ausführungen, z.B. Dünnbettmörtel, Wände ohne Stoßfugenvermörtelung, Verwendung von höheren Steifigkeiten und größeren zulässigen Spannungen, wurden für Kalksandstein-Konstruktionen auch in brandschutztechnischer Hinsicht nachgewiesen. Weitere Nachweise erfolgten durch abZ und gutachtliche Stellungnahmen, siehe auch Literaturverzeichnis.

Mittlerweile hat sich die Wertigkeit der maßgebenden Nachweise aufgrund des Verbots der Doppelregelung verschoben. Für den Nachweis der Feuerwiderstandsklassen wird, geplant ab 2014, mit Einführung durch die Bauaufsicht DIN EN 1996-

1-2/NA verpflichtend. Das Tabellenverfahren wurde auf der Grundlage von DIN 4102-4 sowie zusätzlicher Brandprüfungen erarbeitet. Bis zur bauaufsichtlichen Einführung von DIN EN 1996-1-2/NA – Fassung Juni 2013 – ist die Verwendung des NA als gleichwertig in bauaufsichtlichen Verfahren zugelassen. Für die Ausführungsdetails sowie Fertigteile aus Kalksandstein-Mauerwerk wird DIN 4102-4 (neu) maßgebend. Der Weißdruck ist für 2014 geplant.

DIN EN 1996-1-2 bietet in informativen Anhängen auch die ersten Ansätze, das Brandverhalten von Mauerwerk rechnerisch zu ermitteln. Die Anwendung dieser Rechenverfahren wird jedoch durch den Nationalen Anhang ausgeschlossen. Im Rahmen von weiteren Arbeiten konnten die Grundlagen für die rechnerische Ermittlung des Brandverhaltens weiterentwickelt werden. Bild 9 zeigt ein Beispiel einer errechneten Temperaturentwicklung in Kalksandstein-Mauerwerk im Vergleich zu in Brandprüfungen gemessenen Temperaturen.

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 wesentlich von dem Ausnutzungsgrad – Ausnutzungsfaktor α – abhängt und eine Wand bei voller Ausnutzung die ungünstigsten Wanddicken benötigt, wurden 1994 unterschiedliche Ausnutzungsfaktoren eingeführt. Hiermit sollte in Abhängigkeit von den Anwendungsbereichen der Praxis wirtschaftlicheres Bauen ermöglicht werden.

Der Ausnutzungsfaktor α_2 in DIN 4102-4 ist das Verhältnis der vorhandenen Beanspruchung zu der zulässigen Beanspruchung nach DIN 1053-1 (*vorh N/zul N*). Weitere Angaben zur Bemessung der tragenden Wände können DIN 4102-4 [N3, N4] entnommen werden. Wichtig ist, dass die Werte der DIN 4102-4 nur für eine Bemessung nach DIN 1053-1 – vereinfachtes Verfahren – gelten. Für eine Bemessung nach DIN 1053-100 mit Teilsicherheitsbeiwerten sind die Regelungen in der „Liste der technischen Baubestimmungen (LTB)“ zu beachten.

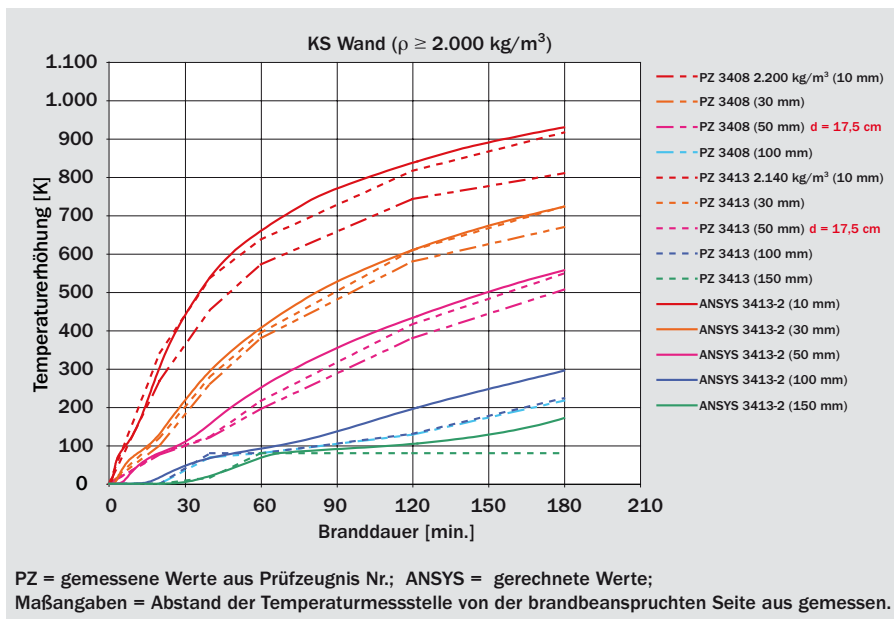


Bild 9: Temperaturentwicklung in Kalksandstein-Mauerwerk am Beispiel 17,5 cm dicker Wände – gerechnet / gemessen – unter Berücksichtigung der Streubreiten in Brandprüfungen [16]

Bei einer „kalten“ Bemessung nach DIN EN 1996-1-1/NA bzw. DIN EN 1996-3/NA sind die Regeln des Nationalen Anhangs zu DIN EN 1996-1-2 zu beachten, siehe auch Abschnitt 3.6. Es besteht ein Vermischungsverbot zwischen den verschiedenen Bemessungsverfahren.

Die meisten Brandprüfungen an Kalksandstein-Wänden wurden an tragenden, raumabschließenden Wänden durchgeführt. Diese Kalksandsteinwände wurden mit verschiedenen Dicken, unterschiedlichen Rohdichten, allen zur Verwendung geplanten Mörtelarten und Steinarten nachgewiesen. Die Ergebnisse sind in DIN EN 1996-1-2/NA Tabelle NA.B.2.2 eingeflossen.

Ab 2006 wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens der europäischen Kalksandsteinindustrie [16] schlanke Kalksandsteinwände mit hohen Mauerwerksfestigkeiten und hohen Auslastungen brandbeansprucht. Zusätzlich wurde der Einfluss der Kopfhalterung im Prüfaufbau untersucht. Die bisherigen Prüfungen wurden im Bereich der Lasteinleitung mit einer Zentrierleiste durchgeführt, um reproduzierbare Prüfungen zu ermöglichen. Prüfkörper mit 3 m Höhe sind nie absolut parallel zur Belastungseinrichtung. Außerdem sollen gemäß Prüfnorm die Prüfkörper zentrisch belastet werden. Damit sind dann Exzentrizitäten bis $d/6$ abgedeckt. Bei schlanken Wänden, $d \leq 150$ mm, wirkt diese Zentrierleiste wie ein Gelenk. Damit sind die Wände nicht mehr praxistgerecht eingebaut, da in der Praxis die Geschosdecken flächig auflagen und damit den Wandkopf einspannen.

Die sehr interessanten Ergebnisse hierzu wurden umfangreich ausgewertet und sind auch in DIN EN 1996-1-2/NA Tabelle NA.B.2.2 eingeflossen. Neben dem Ausnutzungsfaktor α_{6fi} wurde **nur** für Kalksandstein-Mauerwerk 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 3.6. Die Prüfergebnisse im Einzelnen sind [16] zu entnehmen.

Kalksandstein-Mauerwerk aus Vollsteinen und Planelementen deckt brandschutztechnisch alle Belastungsfälle nach DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 ab.

Raumabschließende Wände mit F-Klassifizierungen nach DIN 4102 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.

Für tragende, nichtraumabschließende Wände mit einer Breite (Länge) ≤ 1 m sind in DIN EN 1996-1-2/NA Tabelle NA.B.2.3 umfangreiche Tabellenwerte eingeflossen. Hierfür wurden im Rahmen des europäischen Forschungsvorhabens zusätzliche Pfeilerprüfungen mit vierseitiger Brandbeanspruchung durchgeführt, die dann

auf Wände mit zweiseitiger Brandbeanspruchung extrapoliert wurden, um auch hier Nachweise für den Ausnutzungsfaktor α_{fi} zur Verfügung zu stellen. Damit liegen die Werte auf der sicheren Seite. Zur Bestätigung dieser möglichen Extrapolation wurden einzelne zweiseitig brandbeanspruchte Kalksandsteinwände geprüft.

4.2.3 Tragende Pfeiler bzw. tragende, nichtraumabschließende Wandabschnitte

Tragende Pfeiler in Außenwänden, z.B. Fensterpfeiler, und in Innenwandbereichen, z.B. Einzelpfeiler, werden im Brandfall mehrseitig (bis zu vierseitig) beansprucht. DIN EN 1996-1-2/NA definiert, übernommen aus DIN 4102-4, 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, um den Ein-

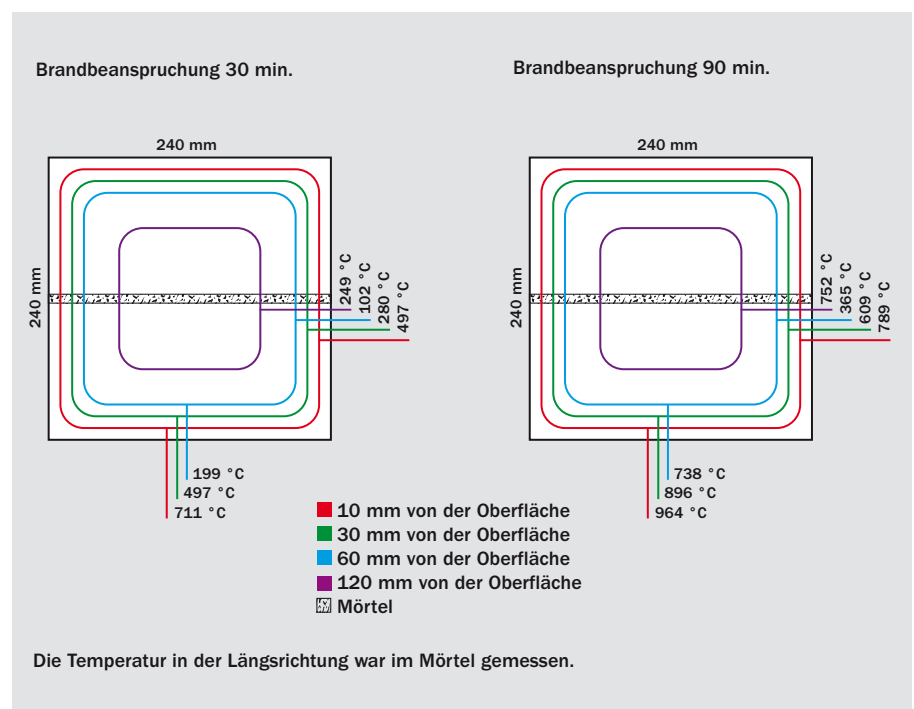


Bild 10: Temperaturverteilung innerhalb eines Kalksandstein-Pfeilers mit Brandbeanspruchung durch ETK [17]

fluss des Ausnutzungsfaktors α_2 zu ermitteln. Außerdem wurden innerhalb der Pfeiler Temperaturmessungen vorgenommen, die als Grundlage für ingenieurmäßige Bemessung dienen. Diese Ergebnisse flossen seinerzeit in DIN 4102-4 ein. Ein Beispiel ist in Bild 10 dargestellt. Zusätzlich wurden im Rahmen des europäischen Forschungsvorhabens Pfeiler mit einem Lastniveau gemäß DIN EN 1996-1-1 geprüft, um Nachweise für den Ausnutzungsfaktor α_H zur Verfügung zu stellen.

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

Nichttragende, 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 per Definition nur einseitig vom Brand beansprucht werden, müssen Durchführungen bzw. Öffnungen brandschutztechnisch verschlossen werden. Raumabschließende Wände können auch tragend sein.

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 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 $h \leq 6 \text{ m}$ und für Schlankheit $\lambda_c = h_{ef}/t_{ef} \leq 40$ nicht tragender Wände.

Raumabschließende Kalksandsteinwände ohne Putz und ohne Stoßfugenvermörtelung

Raumabschließende Kalksandsteinwände, tragend oder nicht tragend, erfüllen die raumabschließende Wirkung auch mit unvermörtelten Stoßfugen. Die unvermörtelten Stoßfugen dürfen gemäß DIN EN 1996-1-2 eine Breite bis zu 2 mm haben. Wände mit unvermörtelten 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 zu erfüllen.

Obwohl die Prüfkriterien des Raumabschlusses nach DIN EN 1363-1 bedeuten, dass keine Flammen durchtreten dürfen (geprüft mit Wattebauschtest) und keine Temperaturerhöhung $> 180 \text{ K}$ an den Stoßfugen auftreten dürfen (geprüft durch Messung mit einem Wanderelement), konnte die bisherige Regel (unvermörtelte Stoßfugenbreiten bis 5 mm) in Europa nicht durchgesetzt werden. Diese Kriterien wurden durch Brandprüfungen in der Vergangenheit in Deutschland (auch in den ECSPA Prüfungen bis zu 300 min.) stets ohne Probleme erfüllt, weil Kalksandstein im Brandfall aufgrund des kristallinen gebundenen Wassers Wasserdampf freisetzt und damit kühlt. Gemäß DIN EN 1363-1 wird mit Thermoelementen auf Fugen nicht gemessen. Das Wanderelement kommt nur zum Einsatz, wenn Flammen sichtbar sind.

DIN 4102-4 (neu) hält weiterhin ausdrücklich fest, dass sämtliche Klassifizierungen – Tabellenwerte – für alle Stoßfugenvermörtelungen nach DIN 1053-1 gelten, d.h. auch für unvermörtelte Stoßfugen bis 5 mm Breite, weil in den Brandprüfungen weder Temperaturüberschreitungen noch der Durchtritt von Flammen festgestellt wurden. Allerdings treten mehr Rauchgase als bei geputzten Wänden durch. Dies ist sowohl nach den Prüfverfahren nach DIN 4102 sowie DIN EN 1364-1 und DIN EN 1365-1 zulässig, siehe obigen Absatz und Abschnitt 2.7 „Rauchdichte Bauteile“. Diese Beurteilung gilt ausdrücklich auch für Brandwände. Sie setzt allerdings voraus, dass fachgerecht nach DIN 1053 bzw. DIN EN 1996-1-1/NA gemauert wird. Putz ist aus brandschutztechnischer Sicht nicht erforderlich.

Aussteifung von nicht tragenden Wänden
In der Praxis werden nicht tragende Wände aus architektonischen, Montage- und Kostengründen gern mit Stahlstützen oder

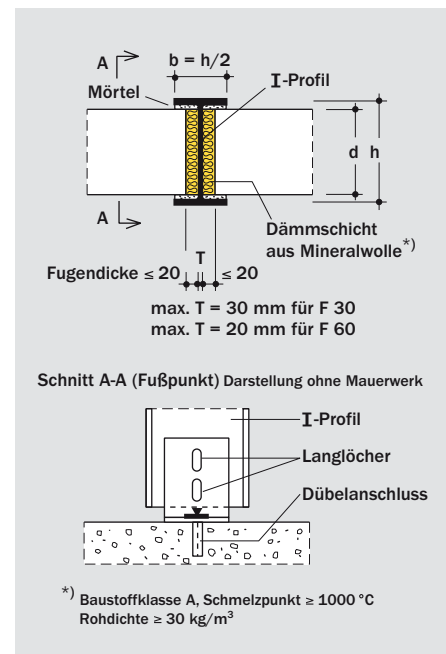


Bild 11: Anschluss nicht tragender Kalksandsteinwand an nicht tragende Stahl-Aussteifungsstütze für die Feuerwiderstandsklassen feuerhemmend (F 30) und hochfeuerhemmend (F 60)

Stahlprofilen ausgesteift. DIN 4102-4 (neu) regelt weiterhin, dass die aussteifenden Bauteile in ihrer aussteifenden Wirkung mindestens der entsprechenden Feuerwiderstandsklasse angehören müssen.

In Bild 11 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.

DIN 4102-4 (neu) hält weiterhin ausdrücklich fest, dass sämtliche Klassifizierungen – Tabellenwerte – für alle Stoßfugenvermörtelungen nach DIN 1053-1 gelten, d.h. auch für unvermörtelte Stoßfugen bis 5 mm Breite.

4.3.2 Schachtwände

Schachtwände zur Abtrennung von Leitungsschächten können mit Kalksandstein-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. Feuerenschutzabschlüsse – 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 Treppenträumen – 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. Bei derartigen Einbauten ist der Brandschutz gesondert nachzuweisen. Der Restquerschnitt einer Wand muss 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, Schaltdosen, Verteilerdosen

Steckdosen, Schaltdosen, 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 jedoch nur Aufputzdosen erlaubt. Diese Einschränkung ist insbesondere bei Ausfachungs- und Schachtwänden zu beachten, da hier häufig schlanke Wände zur Ausführung kommen.

Kabelbündeln, 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.

Querschnittsabdichtungen

Bituminöse Folien, kunststoffmodifizierte Mörtel, Bleche etc. als Sperrschicht gegen aufsteigende Feuchtigkeit beeinflussen die Feuerwiderstandsklasse und Benennung nicht.

4.3.4 Sonstige Ausführungsdetails für raumabschließende Kalksandsteinwände

Zahlreiche Ausführungsdetails sind DIN 4102-4 (neu) 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 [6] veröffentlicht.

Anschlüsse von Kalksandstein-Wänden an angrenzenden Bauteile

Anschlüsse von Kalksandstein-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 $\geq 30 \text{ kg/m}^3$ 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. Weitere Anschlussmöglichkeiten wurden in [8] bearbeitet. Sie sind ebenfalls in Tafel 16 und 17 dargestellt und in DIN 4102-4 (neu) zur Verfügung gestellt. Zusätzliche Beispiele finden sich im Mauerwerk-Kalender, der gemäß DIN 4102-4 (neu) weiterhin als anerkannte Literaturstelle und damit Verwendbarkeitsnachweis genannt wird.

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. 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 geregelt. DIN EN 1996-1-2 enthält keine Angaben zu Stürzen.

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, siehe Abschnitt 2.5.2.

Bei Hochhäusern müssen nichtbrennbare Baustoffe verwendet werden. Ebenso werden auf Brandwänden, bei geringeren Grenzabständen oder bei aneinander gereihten Gebäuden im Bereich der Haus-trennwände 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 W 30 bis W 90 nach DIN 4102-3 bzw. E 30 bis E 90 ($i \rightarrow o$) und bei abgeminderter Außenbrandkurve $ef(o \rightarrow i)$ können ohne jeden weiteren Nachweis die Angaben von nicht tragenden Kalksandstein-Wänden der Feuerwiderstandsklassen F 30 bis F 90 nach DIN 4102 bzw. EI 30 bis EI 90 nach DIN EN 1996-1-2/NA zugrunde gelegt werden. Sie liegen damit weit auf der sicheren Seite, weil nach DIN 4102-3 sowie DIN EN 1363-2 geringere Temperaturen

an der Außenseite gefordert werden, vergleiche Bild 4.

4.4.3 Tragende Außenwände

Für tragende Außenwände gelten die Angaben gemäß den Angaben für tragende Kalksandsteinwände in Abhängigkeit von der raumabschließenden Funktion, siehe Abschnitt 4.2.1.

Kalksandsteinwände der Feuerwiderstandsklasse F nach DIN 4102 bzw. 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 26 – durch eine Vormauerschale ersetzt werden. Bei Verwendung eines Wärmedämm-Verbundsystems (WDVS) darf der Aufbau mit

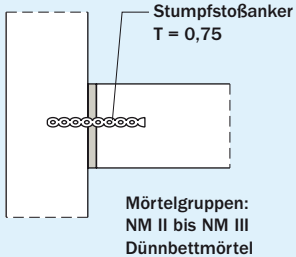
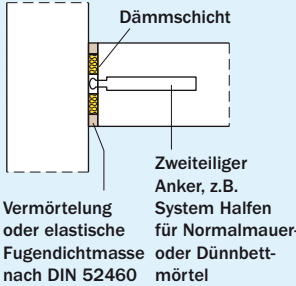
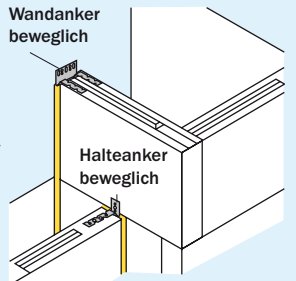
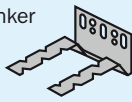
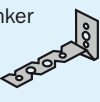
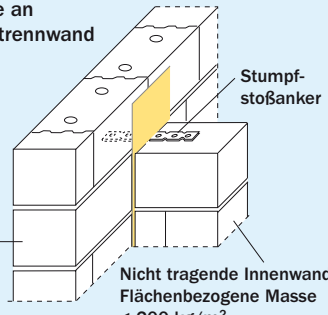
- einer Dämmschicht aus brennbaren Baustoffen – z.B. Baustoffklasse B nach DIN 4102-1 – nicht als Putz angesetzt werden und
- einer Dämmschicht aus nichtbrennbaren Baustoffen – z.B. Baustoffklasse A nach DIN 4102-1 (z.B. Mineralwolleplatten) – als Putz angesetzt werden.

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 schwerentflammare 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 für den Sturzbereich spezielle brandschutztechnische Ausfüh-

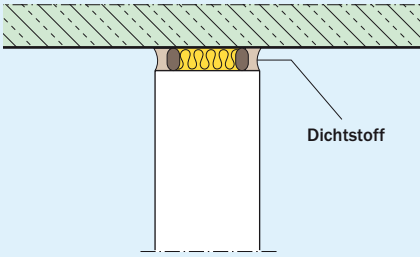
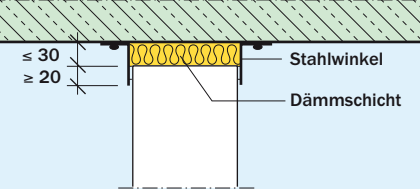
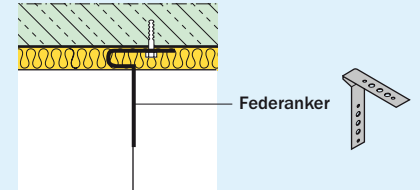
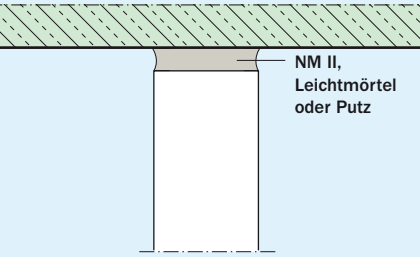
Tafel 16: Seitliche Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge ≤ 30 mm	Statik	Schallschutz	Brandschutz ¹⁾
<p>Anschlüsse im eigenen Wohnbereich</p>  <p>Mauerwerk mit NM oder DM</p> <p>Stumpfstoßanker T = 0,75</p> <p>Mörtelgruppen: NM II bis NM III Dünnbettmörtel</p>	<p>Starr gehalten</p> <p>durch Maueranker und vollflächig vermörtelte Anschlussfuge mit NM oder DM</p>	<p>Schalltechnisch biegesteif und dicht</p> <p>Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten oder nicht vollflächiger Vermörtelung ist ggf. eine Entkopplung und Undichtigkeit anzunehmen.</p>	<p>Anschlussfuge voll vermörtelt mit NM oder DM</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
<p>Anschlüsse im eigenen Wohnbereich</p>  <p>Mauerwerk mit NM oder DM</p> <p>Dämmschicht</p> <p>Zweiteiliger Anker, z.B. System Halfen für Normalmauer- oder Dünnbettmörtel</p> <p>Vermörtelung oder elastische Fugendichtmasse nach DIN 52460</p>	<p>Gelenkig gehalten</p> <p>durch in Ankerschiene eingelegte Maueranker</p>	<p>Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt</p> <p>bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzplatte²⁾</p> <p>Schalltechnisch dicht</p> <p>mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
<p>Anschlüsse im eigenen Wohnbereich</p>  <p>Bewegliche Maueranker für DM-Mauerwerk</p> <p>Wandanker beweglich</p> <p>Halteanker beweglich</p>	<p>Starr gehalten</p> <p>durch Wandanker</p>  <p>Gelenkig gehalten</p> <p>durch Halteanker</p> 	<p>Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt</p> <p>bei Halteankern und Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzplatte²⁾</p> <p>Schalltechnisch dicht</p> <p>mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
<p>Anschlüsse an Wohnungstrennwand</p>  <p>Wohnungstrennwand</p> <p>Stumpfstoßanker</p> <p>Nicht tragende Innenwand Flächenbezogene Masse < 200 kg/m²</p>	<p>Gelenkig gehalten</p> <p>durch Mauerwerksanker und nachgiebiger Füllung mit Mineralfaserstreifen des Stumpfstoßanschlusses</p>	<p>Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt</p> <p>bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzplatte²⁾</p> <p>Schalltechnisch dicht</p> <p>mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>

¹⁾ Die Klassifizierung des Wandanschlusses entspricht der Klassifizierung der Wand, wenn die angegebenen Bedingungen eingehalten werden. Nicht tragende raumabschließende Wände nach DIN 4102: F (X) bzw. nach DIN EN 13501-2: EI (X)

²⁾ Der Putz ist bei entkoppelten Anschlüssen mit einem Keilschnitt zu trennen und nachträglich z.B. mit Acryl zu schließen.

Tafel 17: Obere Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge ≤ 30 mm	Statik	Schallschutz	Brandschutz ¹⁾
 <p>Dichtstoff</p>	<p>Oberer Rand nicht gehalten</p> <p>die Wand ist 3-seitig zu halten</p>	<p>Schalltechnisch entkoppelt und dicht</p> <p>mit beidseitigem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht in nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p> <p>Die Fugen müssen dicht ausgestopft werden. Für F 30 mind. 50 mm; für F 60 mind. 60 mm und für F 90 und „Brandwände“ mind. 100 mm Breite der jeweiligen Wanddicke.</p>
 <p>≤ 30 ≥ 20</p> <p>Stahlwinkel</p> <p>Dämmschicht</p>	<p>Oberer Rand gehalten</p> <p>die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand</p>	<p>Schalltechnisch entkoppelt und nicht dicht</p> <p>Als trennendes Bauteil nur geeignet mit zusätzlichem Fugendichtstoff in der Anschlussfuge</p>	<p>Dämmschicht in nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
 <p>Federanker</p> <p>Die Stoßfugen mit Federanker sind zu vermörteln.</p>	<p>Oberer Rand gehalten</p> <p>die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand</p>	<p>Schalltechnisch entkoppelt und dicht</p> <p>mit beidseitigem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
 <p>NM II, Leichtmörtel oder Putz</p>	<p>Oberer Rand gehalten</p> <p>mit Auflast infolge Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecke²⁾</p> <p>die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand</p> <p>Anschlussfuge vollständig durch NM II, Leichtmörtel oder Putz ausgefüllt.</p>	<p>Schalltechnisch biegesteif und dicht</p> <p>Bei Wänden mit Schallschutzanforderungen sollte diese Ausführungsvariante gewählt werden.</p>	<p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>

¹⁾ Nicht tragende raumabschließende Wände nach DIN 4102: F (X) bzw. nach DIN EN 13501-2: EI (X)

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. Bitumenpappe, PE-Folie, o.Ä.) 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.

rungen oder zusätzlich Brandriegel gefordert werden können. Es gab bei Bränden Probleme der Brandweiterleitung oberhalb von Fenstern innerhalb der brennbaren Dämmschichten. Als Regel kann angegeben werden, dass bei einer Dämmschichtdicke > 100 mm bis 300 mm aus brennbaren Baustoffen Zusatzmaßnahmen in Form von Brandriegeln oder Brandsperren erforderlich werden. Die erforderlichen Abmessungen und sonstigen Bestimmungen sind der jeweiligen Zulassung zu entnehmen. Dämmschichtdicken > 300 mm sind bisher nicht geregelt. Im Einzelfall sind aber auch Sonderlösungen möglich, wie z.B. ein besonders dicker Putz oder auch Blecheinlagen zum Verschließen eines Hohlraumes.

Zurzeit untersucht ein Ausschuss im Auftrag der Bauministerkonferenz Brände, die mit schwerentflammbareren WDVS auftraten, und wertet diese aus. Erste Ergebnisse wurden veröffentlicht. Danach traten Brände z.B. während der Bauausführung auf oder das WDVS war nicht fachgerecht verarbeitet worden. Es werden noch aufwendige Fassadenversuche, u.a. mit Brand von außen (z.B. Müllcontainer), durchgeführt und erst danach wird ein abschließender Bericht erarbeitet, der alle Einzelheiten und Begründungen zu den Schlussfolgerungen enthalten soll. Bisher wurde festgestellt, dass bei einem Brand aus dem Raum die Schutzziele der MBO bei fachgerechter Ausführung erfüllt werden.

4.4.5 Zweischalige Außenwände

Aufgrund der höheren Wärmeschutzanforderungen nach der EnEV 2009 sollen zunehmend zweischalige Kalksandsteinwände mit Dämmschichtdicken > 100 mm ausgeführt werden. In der Regel werden heute zweischalige Kalksandsteinwände mit ausgeführt, bei denen der Schalenzwischenraum ganz mit Dämmstoff (ggf. mit Fingerspalt) ausgefüllt ist. In Zusammenarbeit mit der Bauaufsicht werden hierzu Regeln für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 erarbeitet, wenn insbesondere brennbare Dämmungen verwendet werden. Es werden auch Nachweise mit normalentflammbarer Dämmung diskutiert, da dazu eine Brandprüfung mit gutem Ergebnis durchgeführt wurde. Die geplanten Regeln sollen auch für geschossübergreifende Luftschichten (mit oder ohne Dämmschicht) erarbeitet werden.

Diese Regeln werden zwar im Gelbdruck von DIN 4102-4 (neu) dargestellt, die Bauaufsicht hat aber bereits angekündigt, sie

in die Bauregelliste zu verschieben. Diese könnte schneller den bauaufsichtlichen Vorschriften angepasst werden.

Solche Regeln sind erforderlich, weil gemäß den Schutzzielen der Bauordnung eine geschossübergreifende Brandweiterleitung verzögert werden muss. Hieraus ergibt sich, dass derzeit die Ausführung zweischaliger Außenwände mit Dämmschichtdicken > 100 mm oder/und geschossübergreifenden Hohlräumen für Gebäude der Gebäudeklassen 4 bzw. 5 im Einzelfall festgelegt werden muss.

4.5 Gebäudetrennwände – Gebäudeabschlusswände

4.5.1 Grundlagen

Die Begriffe Gebäudeabschluss- und Gebäudetrennwand werden sehr deutlich in der LBO NRW 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 Feuerwiderstandsklasse REI 90 oder EI 90 nach DIN EN 1996-1-2/NA bzw. F 90 nach DIN 4102-4 oder sogar nur hochfeuerhemmende Wände einge-

setzt werden, vergleiche Tafeln der einzelnen Landesbauordnungen.

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 26, Abschnitt 5 – ist bei zweischaligen Trennwänden jeweils nur auf den Außenseiten der Schalen, nicht zwischen den Schalen, erforderlich.

In Bild 12 sind zwei Beispiele zur möglichen Ausführung der Wandarten dargestellt.

4.5.2 Reihenhäuser

Aus Schallschutzgründen werden bei Reihenhäusern meistens zweischalige Haus-trennwände hoher Rohdichte mit durchgehender Trennfuge gebaut.

Aus brandschutztechnischer Sicht werden bei derartigen Wänden je nach La-

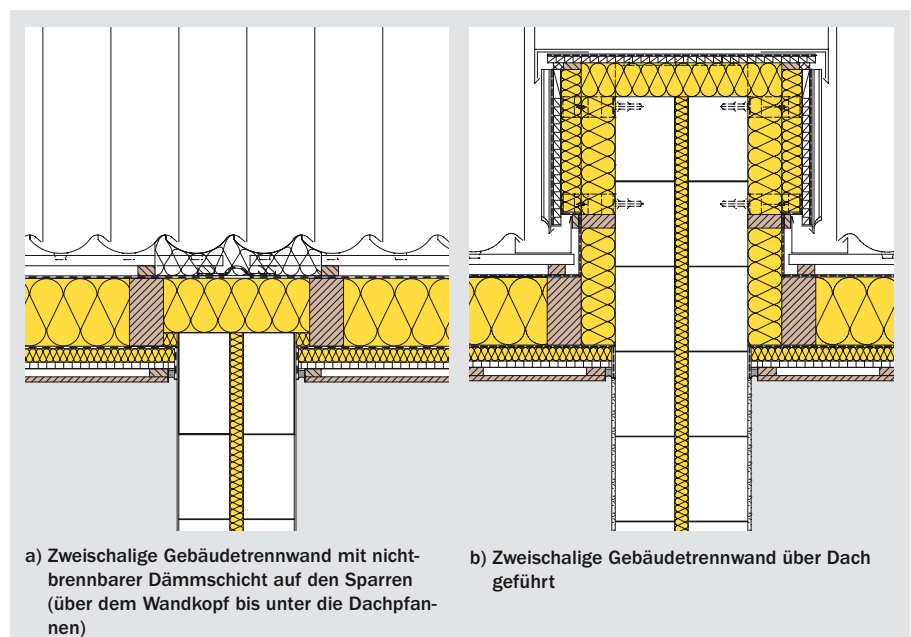


Bild 12: Gebäudeabschlusswand aus Kalksandstein-Mauerwerk im Dachbereich

ge 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 12.

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 14.

Die Regeln der Richtlinie wurden in 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 in der Vergangenheit 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 wird es 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.

Alle Anforderungen einer Grenzbebauung können mit Kalksandsteinwänden erfüllt werden. Je nach Gebäudeklasse müssen hochfeuerhemmende, feuerbeständige Kalksandsteinwände oder Kalksandstein-Brandwände ausgeführt werden.

In Bild 15 sind Beispiele für Anschlüsse von Brandwänden an Dächer dargestellt. Weitere Beispiele sind der Literatur, z.B. [8], [11], [18] zu entnehmen.



Bild 13: Reihenhaustrennwand

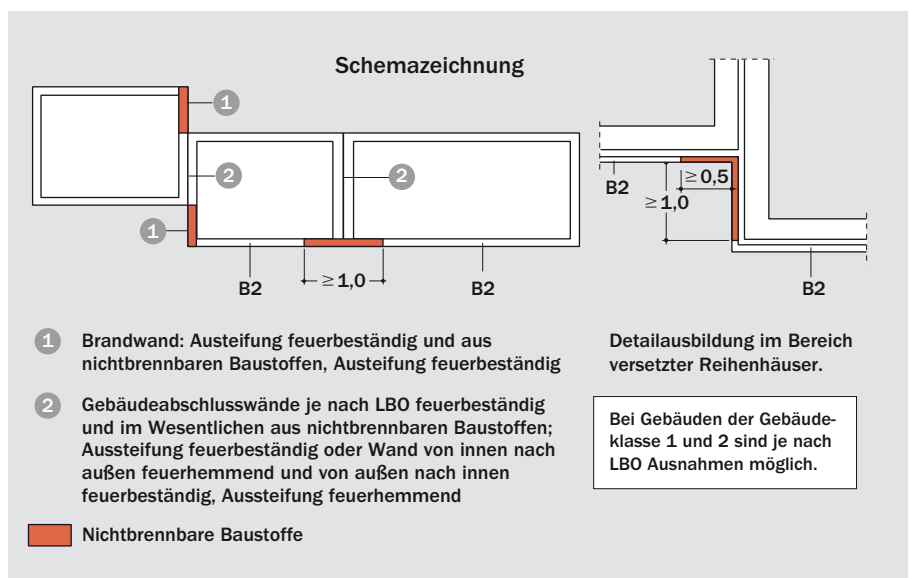


Bild 14: Beispiele für Regeln im Bereich der Gebäudetrennwände

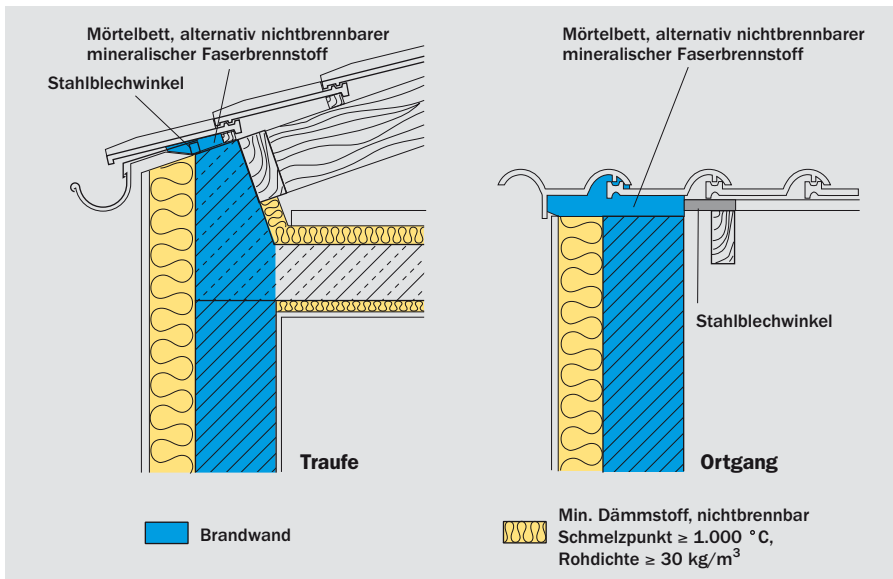


Bild 15: Dachanschlüsse – Traufe, Ortgang – bei Gebäudeabschlusswänden bei Grenzbebauung (Beispiele)

4.6 Brandwände

4.6.1 Grundlagen

Brandwände werden entweder nach DIN EN 1364-1 oder DIN EN 1365-1 in Verbindung mit DIN EN 1363-2 bzw. DIN 4102-3 [N2] geprüft und sind damit nachgewiesen. Weitere Nachweise, z.B. rechnerische Nachweise hinsichtlich der Stoßbeanspruchung, sind nicht erforderlich und auch nicht zulässig, siehe auch DIN 4102-22.

Brandwände müssen nach nationalem Baurecht folgende erhöhte Anforderungen erfüllen:

- Sie müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.
- Sie müssen mindestens die Anforderungen feuerbeständig – Feuerwiderstandsklasse F 90-A nach DIN 4102-2 – erfüllen; tragende Wände müssen diese Anforderung bei mittiger und bei ausmittiger Belastung nach DIN 4102-3 erfüllen. Prüfungen nach DIN EN 1365-1 in Verbindung mit DIN EN 1363-2 werden nur mit mittiger Belastung durchgeführt.

- Brandwände müssen unter einer dreimaligen Stoßbeanspruchung – Pendelstöße mit 3.000 Nm Stoßarbeit (200 kg Bleischrotsack) – standsicher und raumabschließend im Sinne von DIN 4102-2 bleiben.
- Brandwände müssen die vorstehend genannten Anforderungen auch ohne Bekleidung erfüllen. In Absprache mit der Bauaufsicht werden seit 1994 auch solche geputzte Mauerwerkarten als Brandwände anerkannt, die aufgrund ihrer Materialien und Oberflächenstruktur grundsätzlich in der Praxis geputzt werden. Auf den Putz kann dann nicht verzichtet werden.

Ganz wichtig ist hierbei, dass die Stoßbeanspruchung ein reines Prüfkriterium ist, siehe auch Bild 18. Diese Stoßbeanspruchung ist nicht durch einen zusätzlichen statischen Nachweis zu belegen, siehe oben. Die Wand ist durch Prüfung und Klassifizierung „Brandwand“ nachgewiesen und erfüllt damit das Stoßkriterium. Die angrenzenden Bauteile zur Aussteifung müssen lediglich die Anforderung „feuerbeständig“ (F 90-A) 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.



Bild 16: Durch Brand verformte Stahlkonstruktion vor unversehrter Kalksandsteinwand



Bild 17: Durch einen Brand verkohlte Holzkonstruktion vor einer unversehrten Kalksandsteinwand; wegen ungetrennten Dachanschlüssen wurde das Feuer weitergeleitet.

auf Grundstücksgrenzen, zur Trennung bestimmter Gebäude, z.B. „sonstige Gebäude“ oder zur Bildung von Brandabschnitten in bestimmten Abständen, erforderlich.

In Bild 19 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 werden die wesentlichen brandschutztechnischen Anforderungen im Bereich von Brandwänden zusammengefasst.

DIN 4102-4 unterscheidet nicht zwischen tragenden und nicht tragenden Brandwänden. Bild 22 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 sogar bei einer zweiseitigen Brandbeanspruchung sowie mit Sicherheit bei einer längeren Brandbeanspruchung als 90 min. In DIN EN 1996-1-2/NA wurden entsprechend DIN 4102-4 die Angaben zu Brandwänden aus tragendem und nicht tragendem Kalksandstein-Mauerwerk wesentlich erweitert.

Nach [9] dürfen im Bereich von Brandwänden auch KS-Wärmedämmsteine in Wandfuß- sowie Wandkopfbereich eingesetzt werden.

4.6.3 Aussteifung von Brandwänden

Eine sehr wesentliche Anforderung an Brandwände ist die Aussteifung: Gemäß DIN 4102-4:1994-03, Abschnitt 4.8.2.1 wird festgelegt, dass die Aussteifung von Brandwänden – z.B. aussteifende Querwände, Decken, Riegel, Stützen oder Rahmen – mindestens der Feuerwiderstandsklasse F 90 (feuerbeständig) entsprechen müssen. In DIN EN 1996-1-2 Abschnitt 4.1.1 (7) wird lediglich geschrieben, dass aussteifende Wände die gleiche Feuerwiderstandsdauer wie die zu bemessende Wand aufweisen müssen. 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 an-

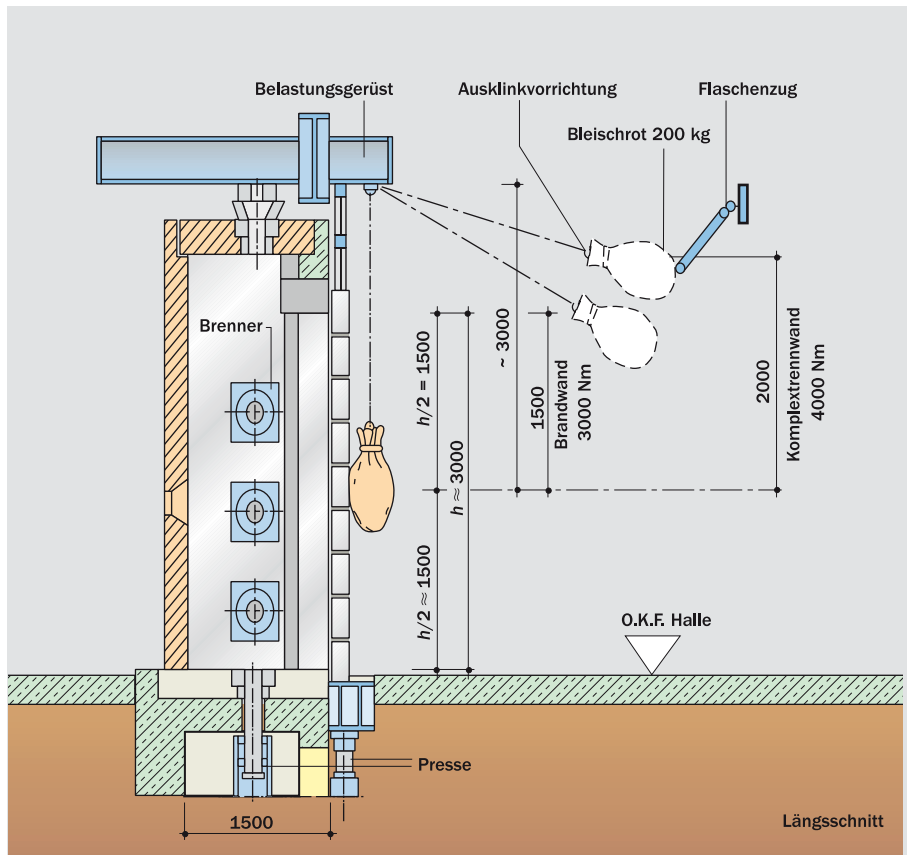


Bild 18: Prüfanordnung für Brandwände und Komplextrennwände nach nationalen und europäischen Prüfnormen

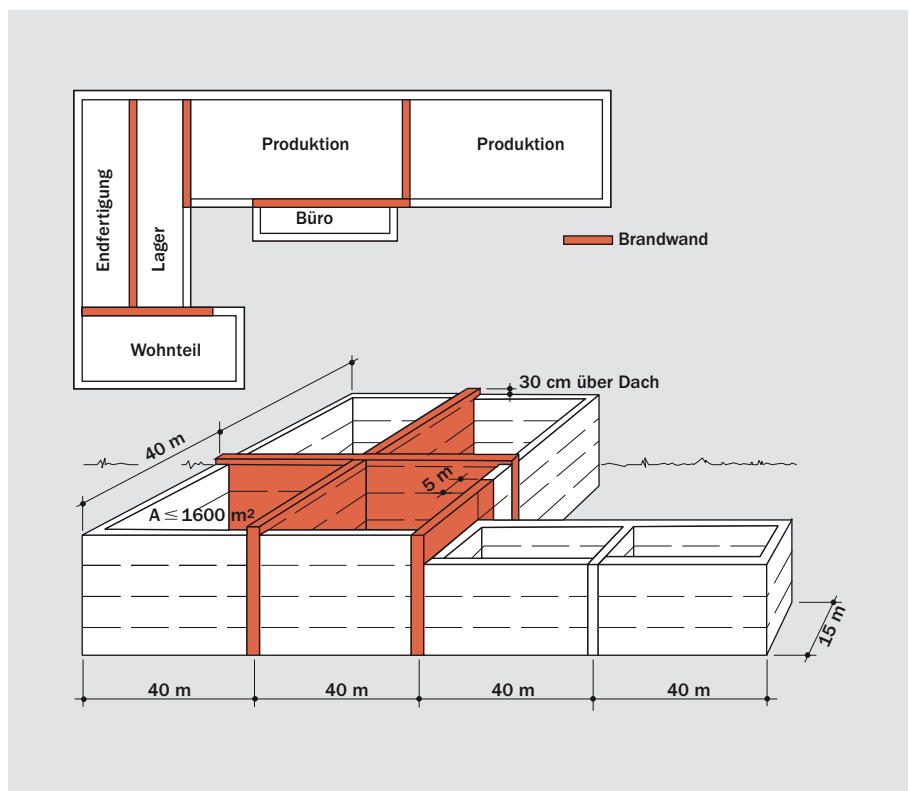


Bild 19: Anordnung von Brandwänden innerhalb von Gebäuden (Beispiel)

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 ₀ 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

grenzenden Bauteile geringere oder auch gar keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt werden bzw. wurden.

In Bild 20 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 – z.B. Feuerwiderstandsklasse F 90 – 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.

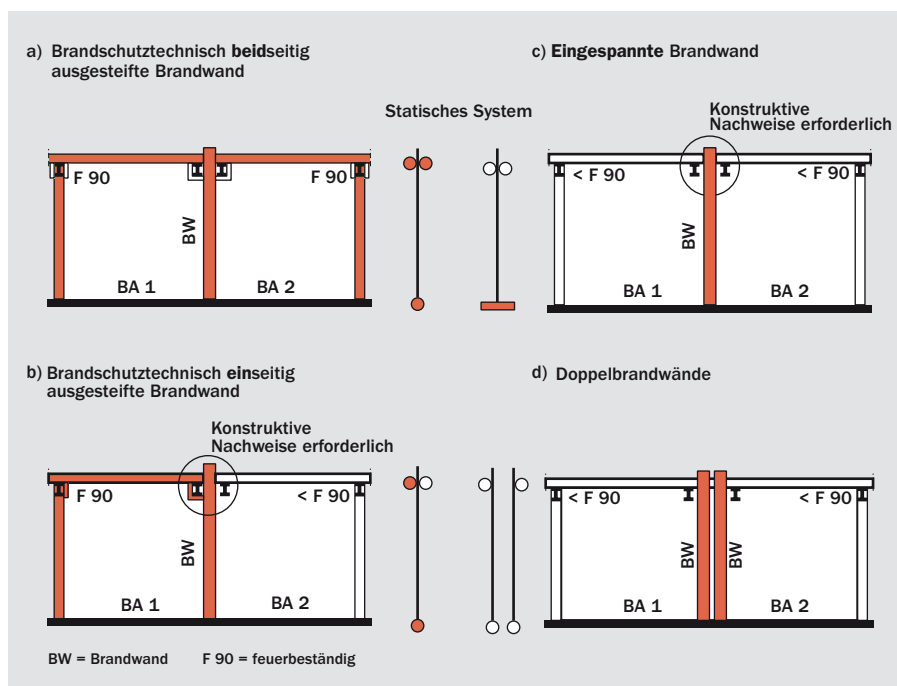


Bild 20: Aussteifungsmöglichkeiten von Brandwänden (Beispiele)



Bild 21: KS-Brandwand nach einem Brandereignis mit richtigem Dachanschluss

Im Gegensatz dazu sind die zweischaligen Brandwände (die keine Doppelbrandwände sind) aus Kalksandstein gemäß DIN 4102-4 (neu) sowie REI-M bzw. EI-M nach DIN EN 1996-1-2/NA 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 Kalksandstein-Mauerwerk sogar mit mehr als vier Stößen auf die freistehende Wand die Standsicherheit und der Raumabschluss nachgewiesen. In der Praxis wurde diese Funktionstüchtigkeit 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 für feuerbeständige, bekleidete Stahlstützen erfolgen.

4.6.4 Anschlüsse von Brandwänden

Es ist gemäß DIN 4102-4 (neu) ausreichend, wenn die Anschlussfugen vollfugig mit Mörtel nach DIN 1053 oder Beton nach DIN EN 1992-1/NA verschlossen werden. Dies gilt auch für Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA und nach DIN EN 1996-3/NA. In DIN EN 1996-1-2/NA sind zu Anschlussfugen keine Angaben enthalten.

Für Anschlüsse von Kalksandstein-Brandwänden an angrenzende Massivbauteile können auch die in Tafel 16 und 17 dargestellten Anschlüsse verwendet werden, weil Brandwände aus Mauerwerk in der Brandprüfung grundsätzlich mit frei verformbaren Anschlüssen geprüft werden. In den gleichen Tafeln sind weitere mögliche Anschlüsse dargestellt, die aufgrund Praxis-Ausführungen entwickelt und in [8] beurteilt wurden. Brandwände aus Mauerwerk müssen sowohl im nationalen als auch europäischen Prüfverfahren beim 3. Stoß immer frei stehen, so dass auch Anschlüsse nur aus Gründen des Raumabschlusses ausreichend sind, wenn aus statischer Sicht keine weiteren Anschlüsse erforderlich sind, vergleiche auch Bild 23.

In den Bildern 12, 15, 23 bis 25 und den Tafeln 16 sowie 17 werden einige Beispiele zu Ausführungsdetails im Dachbereich sowie zu Bauteilabschlüssen gezeigt, die zu beachten sind, da gerade hier häufig Fehler gemacht werden. Weitere Anschlüsse sind DIN 4102-4 (neu) zu entnehmen. In den Bildern 21 und 22 sind die Auswirkungen falscher und richtiger Ausführung von Anschlüssen im Bereich von Kalksandsteinwänden deutlich erkennbar. In Bild 26 sind Beispiele von Bauteilanschlüssen dargestellt, die zu beachten sind.

4.6.5 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 22: Brandwand mit einem nicht ordnungsgemäß ausgeführten Dachanschluss sowie fehlenden Verschlüssen im Bereich der Lüftung nach einem Brandereignis

Bild 21 zeigt deutlich die Auswirkungen falsch ausgeführter Abschlüsse. Der Brand wurde trotz Brandwand ungebremst weitergeleitet.

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 sowie DIN 4102-4 (neu) sind in Tafel 26 zusammengefasst.

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. Das bedeutet, dass das gesamte Gebäude eine Feuerwiderstandsdauer von 180 min. aufweisen muss.

Komplextrennwände müssen unversetzt durch alle Geschosse gehen. Bauteile dürfen in diese Wände weder eingreifen noch diese überbrücken. Diese vorstehenden Anforderungen werden häufig nicht beachtet. Das bedeutet, dass die Wand selbst von ihrer Ausführung her zwar eine Komplextrennwand ist, dass aber das Gesamtsystem nicht funktioniert und damit der Versicherungsschutz verloren ist bzw. gar nicht erst besteht.

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. Europäisch existiert diese Anforderung nicht. Lediglich das Prüfverfah-

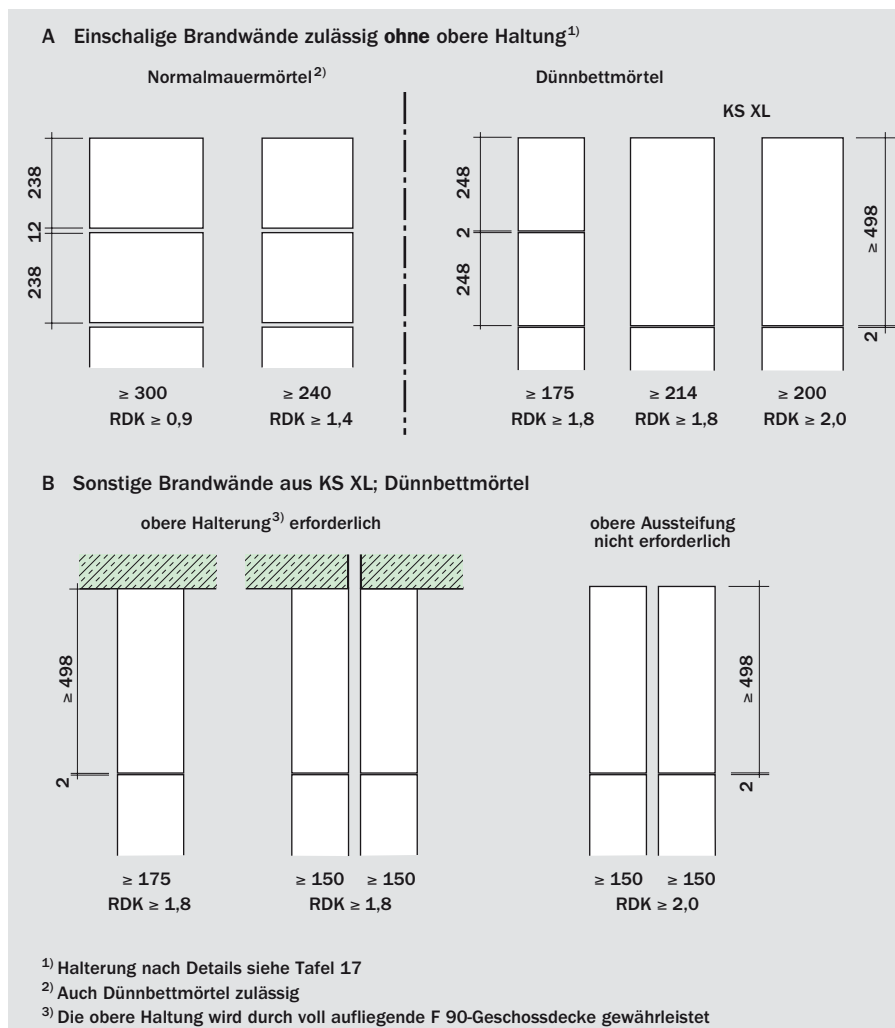


Bild 23: Halterungen von Brandwänden aus Kalksandstein-Mauerwerk

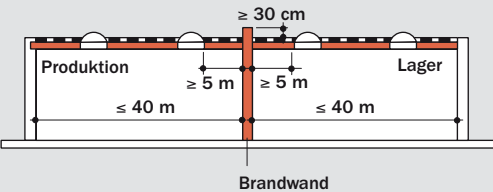
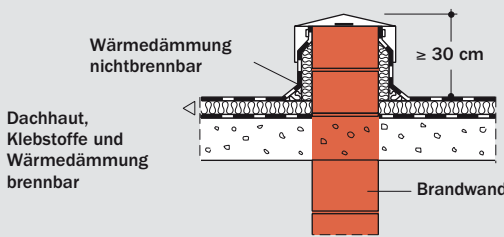
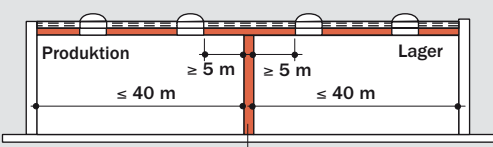
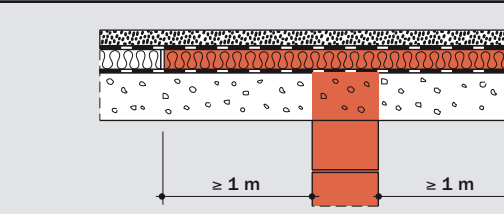
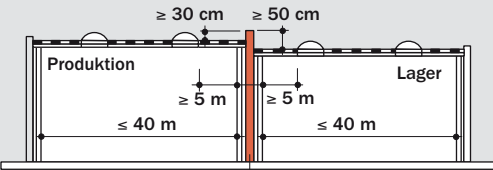
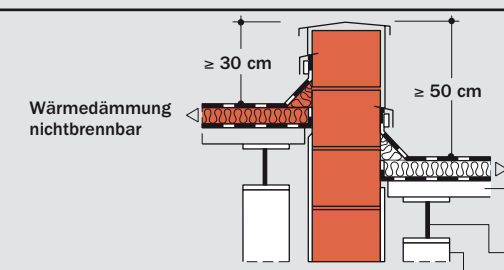
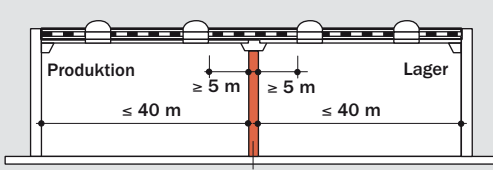
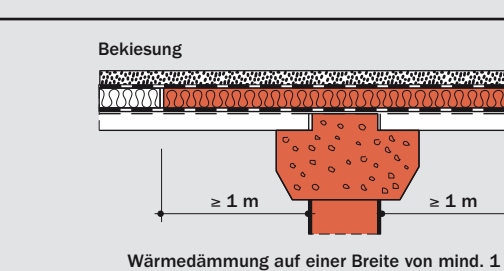
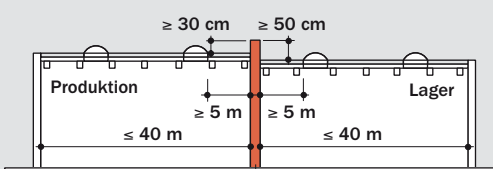
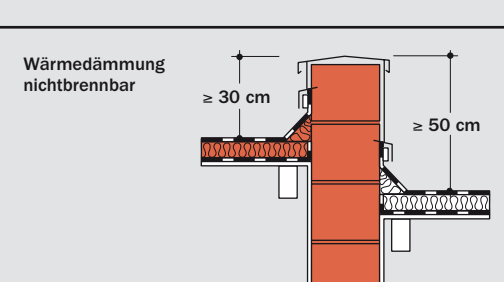
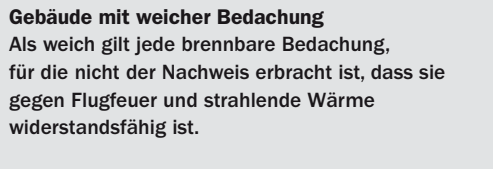
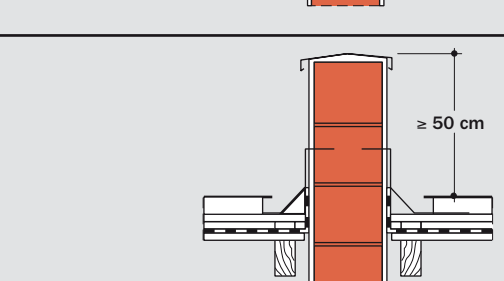
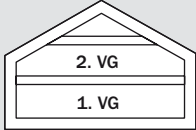
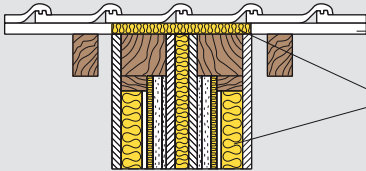
<p>Gebäude mit feuerbeständigen Dachkonstruktionen und unbekiester Bedachung</p>  <p>Brandwand</p>	 <p>Wärmedämmung nichtbrennbar</p> <p>Dachhaut, Klebstoffe und Wärmedämmung brennbar</p> <p>Brandwand</p> <p>Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.</p>
<p>Gebäude mit feuerbeständigen Dachkonstruktionen und bekiester Bedachung</p>  <p>Brandwand</p>	 <p>Dachhaut, Klebstoffe und Wärmedämmung brennbar</p> <p>Wärmedämmung auf einer Breite von mind. 1 m beidseits der Brandwand nichtbrennbar</p>
<p>Gebäude mit unbekiesten Trapezblechdächern</p>  <p>Brandwand</p>	 <p>Wärmedämmung nichtbrennbar</p> <p>Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.</p> <p>Wärmedämmung brennbar</p> <p>Trapezblech</p> <p>Stahlauflagen</p> <p>Stahlstützen</p>
<p>Gebäude mit bekiesten Trapezblechdächern</p>  <p>Brandwand</p>	 <p>Bekiesung</p> <p>Dachhaut, Klebstoffe und Wärmedämmung brennbar</p> <p>Trapezbleche liegen voneinander getrennt und werden von der Brandwand unterbrochen.</p> <p>Wärmedämmung auf einer Breite von mind. 1 m beidseits der Brandwand nichtbrennbar</p>
<p>Gebäude mit Papp- oder gleichwertigen Bahndächern</p>  <p>Brandwand</p>	 <p>Wärmedämmung nichtbrennbar</p> <p>Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.</p> <p>Wärmedämmung brennbar</p>
<p>Gebäude mit weicher Bedachung</p> <p>Als weich gilt jede brennbare Bedachung, für die nicht der Nachweis erbracht ist, dass sie gegen Flugfeuer und strahlende Wärme widerstandsfähig ist.</p>  <p>Brandwand</p>	 <p>Wärmedämmung nichtbrennbar</p> <p>Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.</p> <p>Wärmedämmung brennbar</p>

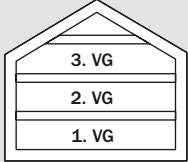
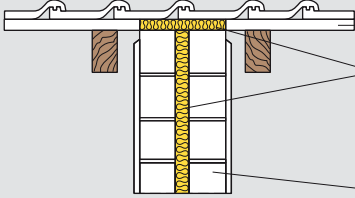
Bild 24: Brandwände im Dachbereich – Industriebau; Auszug aus: Bayerische Versicherungskammer München, Brandwände und Öffnungen in Brandwänden, Anforderungen und Ausführung [19]

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.

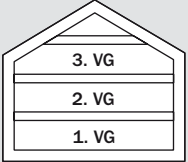
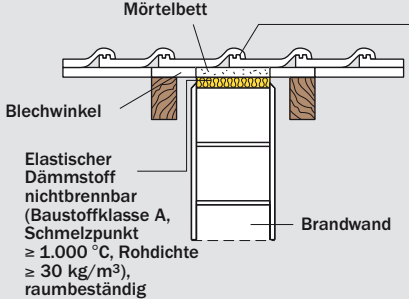
Hölzerne Dachlatten dürfen nicht übergreifen.
 Wärmedämmung nichtbrennbar (Baustoffklasse A, Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C, Rohdichte ≥ 30 kg/m³, raumbeständig)

Wohngebäude ≤ 3 VG
 mit bis zu drei Vollgeschossen.

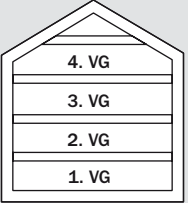
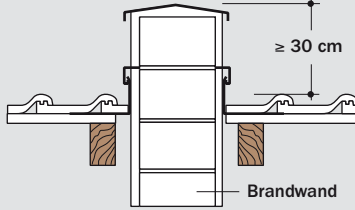
Hölzerne Dachlatten dürfen nicht übergreifen.
 Wärmedämmung nichtbrennbar (Baustoffklasse A, Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C, Rohdichte ≥ 30 kg/m³, raumbeständig)
 Wände feuerbeständig (F 90), öffnungslos und insgesamt so dick wie Brandwände

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).

Mörtelbett
 Blechwinkel
 Elastischer Dämmstoff nichtbrennbar (Baustoffklasse A, Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C, Rohdichte ≥ 30 kg/m³, raumbeständig)
 Brandwand
 Dacheindeckung auf Brandwänden satt aufgemörtelt
 Hölzerne Dachlatten dürfen nicht übergreifen, brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.

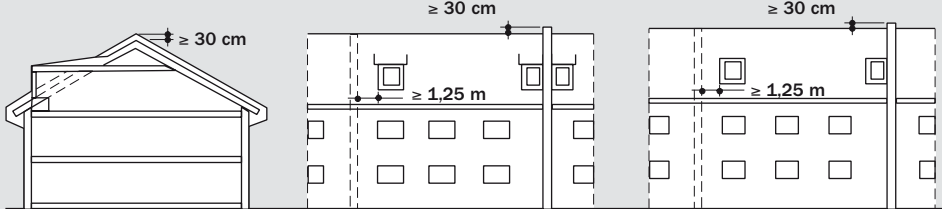
Gebäude > 3 VG
 mit mehr als drei Vollgeschossen
Gebäude mit erhöhter Brandgefahr.
 Als erhöht brandgefährlich gelten in der Regel Industriegebäude (abhängig von der Art der Produktion oder Lagerung).

Brandwand
 Brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.

Gebäude mit erhöhter Brandgefahr

Gebäude ...
 mit Dachaufbauten (z.B. Dachgauben) oder Öffnungen (z.B. Dachfenster in der Dachhaut) (s. LBO)



≥ 30 cm
 ≥ 1,25 m
 ≥ 30 cm
 ≥ 1,25 m

Bild 25: Brandwände im Dachbereich – Wohnungsbau (Länderunterschiede möglich), Auszug aus: Bayerische Versicherungskammer München, Brandwände und Öffnungen in Brandwänden, Anforderungen und Ausführung [19]

ren ist in einer Fußnote von DIN 4102-3 beschrieben. Der Verband der Sachversicherer (VdS) gibt Broschüren heraus [11], aus denen von den Versicherern anerkannte Nachweise entnommen werden können.

4.7.2 Komplextrennwände aus Kalksandstein-Mauerwerk

Nach den Angaben der Sachversicherer [11] werden derzeit 36,5 cm (einschalig) bzw. 2 x 24 cm (zweischalig) dicke Kalksandstein-Wände nach DIN 1053-1 Mörtelgruppe II, IIa und III (Normalmauermörtel in Stoß- und Lagerfuge) als Komplextrennwände eingestuft.

Außerdem wurden 24 cm dicke, nicht tragende Kalksandsteinwände, Rohdichte $\geq 1,6$, mit Dünnbettmörtel in den Lagerfugen, bis zu einer Wandhöhe von 6 m als Komplextrennwände geprüft und eingestuft. Weitere Nachweise sind [10] zu entnehmen, siehe auch Tafel 26.

Für 24 cm dicke, tragende Wände aus Kalksandstein-Mauertafeln gemäß der Zulassung Z-17.1-338 mit unvermörtelter Stoßfuge wurde ebenfalls der Nachweis Komplextrennwand erbracht.

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.

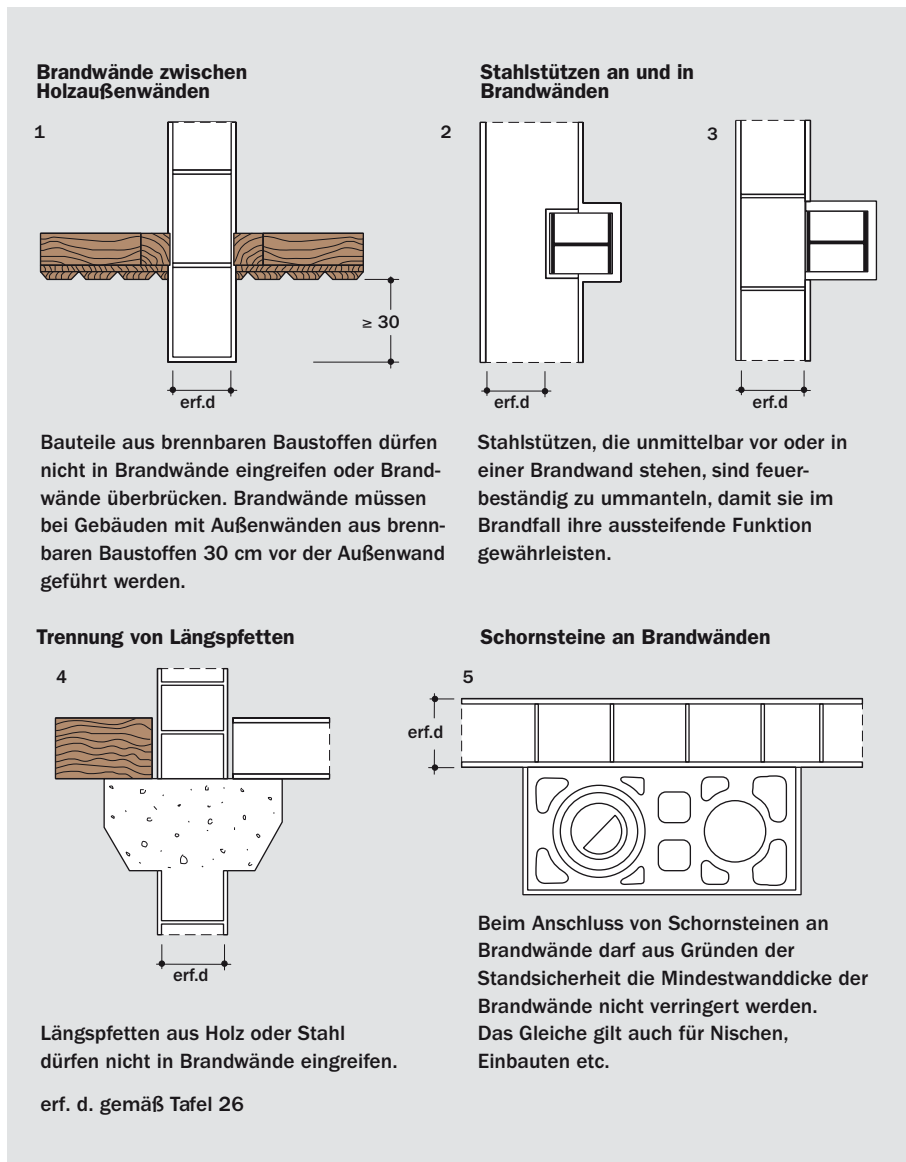


Bild 26: Bauteilanschlüsse an Brandwände

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 $\leq 22 \text{ m}^2$, 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.



Bild 27: Brandwand mit nicht ordnungsgemäß ausgeführten Verschlüssen nach einem Brandereignis

4.8 Sonstige Anwendungen mit Kalksandstein

4.8.1 Bekleidungen aus Kalksandstein-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 18800-1 mit maximal dreiseitiger Brandbeanspruchung. 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 Kalksandstein-Mauerwerk müssen im Verband errichtet werden und die angegebenen Minstdicken 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 gemäß den Abschnitten 4.2 bis 4.6 einge-

Tafel 20: Minstdicke d_M in mm in der Ausmauerung von Stahlträger mit Putzbekleidung der Untergurte¹⁾ nach DIN 4102-4

Platten oder Hohldielen nach den Abschnitten 3.4 und 3.6 DIN 4102-4:1994 	Minstdicke $d_M^{2)3)}$ der Ausmauerung für die Feuerwiderstandsklasse-Benennung				
	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
Mauerwerk nach DIN 1053-1					
Kalksandstein DIN 106	50	50	50	70	115

¹⁾ Die Minstdickungen 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 gegebenenfalls größere Dicken notwendig werden.
³⁾ Lochungen von Steinen dürfen nicht senkrecht zum Trägersteg verlaufen.

Tafel 21: Mindestbekleidungsstärke d in mm von Stahlstützen mit $U/A \leq 300$ m² 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 oder Wandplatten nach DIN 1053-1 unter Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN 106	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.

baut werden, und wenn 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 ARGE-Bau entwickelt und als Muster-Richtlinien veröffentlicht:

- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen (Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie MLAR). Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz, Fassung November 2005
- Muster-Richtlinie über die brandschutztechnischen Anforderungen an Lüftungsanlagen (MLÜAR). Fassung September 2005, letzte Änderung Juli 2010
- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Hohlräume

estriche und Doppelböden (HohlRER). Fassung September 2005

- Richtlinie über automatische Schiebetüren in Rettungswegen (AutSchR). Fassung Dezember 1997
- Richtlinie über elektrische Verriegelungssysteme von Türen in Rettungswegen (EltVTR). Fassung Dezember 1997

Diese Richtlinien wurden als Muster-Richtlinien in den Mitteilungsblättern des DIBt veröffentlicht, werden jetzt im Internet unter www.IS-Argebau.de zur Verfügung gestellt und sind damit Stand der Technik. Von den meisten Bundesländern wurden diese Vorschriften durch Einführungserslass eingeführt – teilweise lediglich durch den Hinweis, dass die Muster-Richtlinie anzuwenden ist – oder sie werden leider in einigen Punkten oder Details geändert und dann als eigene Richtlinie eingeführt. Einige Bundesländer hinken aber dem Stand der Technik hinterher und haben bisher keine derartigen Richtlinien eingeführt. In diesen Ländern ist es dann manchmal schwer, den zuständigen Bezirks- oder Gemeindeämtern den Stand der Technik zu verdeutlichen, weil sie davon noch nichts gehört haben.

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 Raumes keine Anforderungen gestellt werden und 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($v_e h_o j \leftrightarrow o$) – 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 Kalksandstein-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 Kalksandstein-Mauerwerkswänden muss lediglich die Größe der Aussparung ausreichend sein, denn Massivwände haben keine Hohlräume, die Zusatzmaßnahmen erfordern. Alternativ werden die

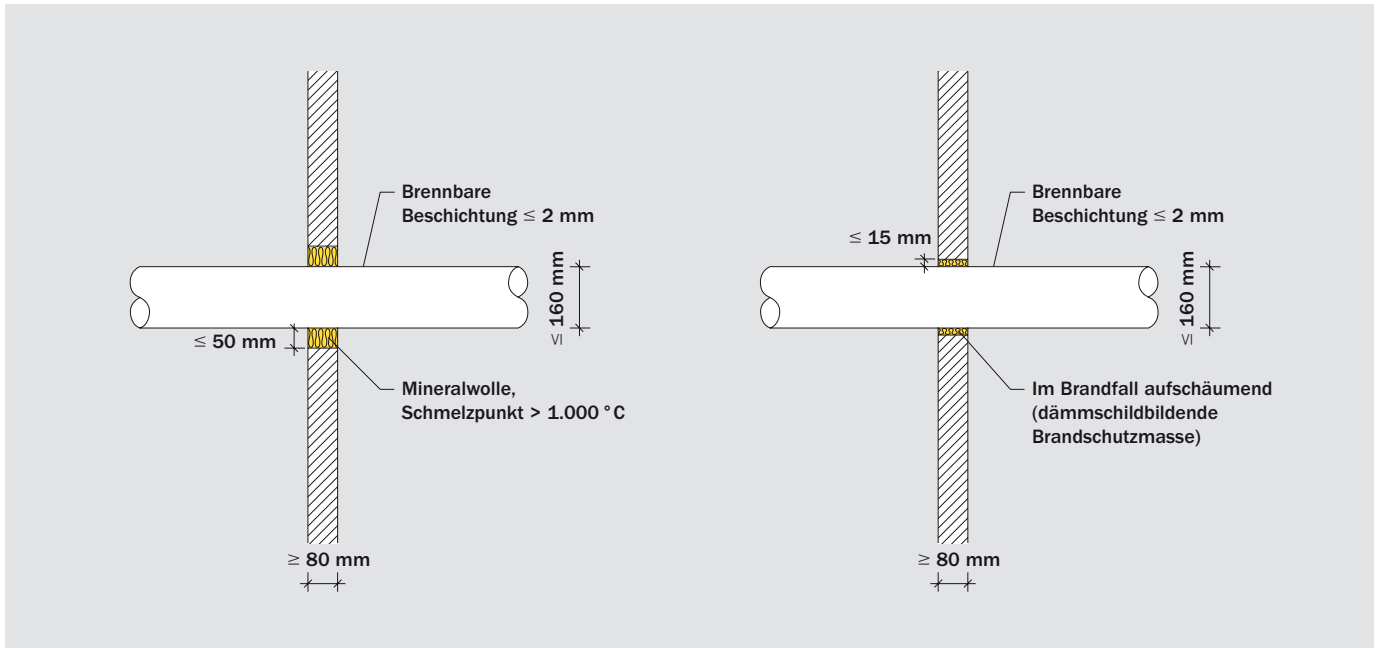


Bild 28: Regeldetails zur Durchführung von nichtbrennbaren Rohren auf der Grundlage M-LAR

Leitungen gemäß der LAR eingebaut und der Restquerschnitt in einer Kalksandsteinwand nur vermörtelt, siehe auch Bild 28. Außerdem ist der Brandschutz von massiven Kalksandsteinwänden höher als erforderlich.

Noch wichtiger als die Gewerke übergreifende Planung ist die brandschutztechnische Baubegleitung während der Ausführung, weil in allen Bauwerken brandschutztechnische Mängel aus Unkenntnis, Schlamperei und Kostengründen eingebaut werden. Eine nachträgliche Beseitigung von Brandschutzmängeln oder das Nachrüsten von Brandschutzmaßnahmen wird jedoch wesentlich teurer 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 Brandübergreif 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 vorrangig um den Sachschutz, um das Schadenvolumen zu begrenzen.

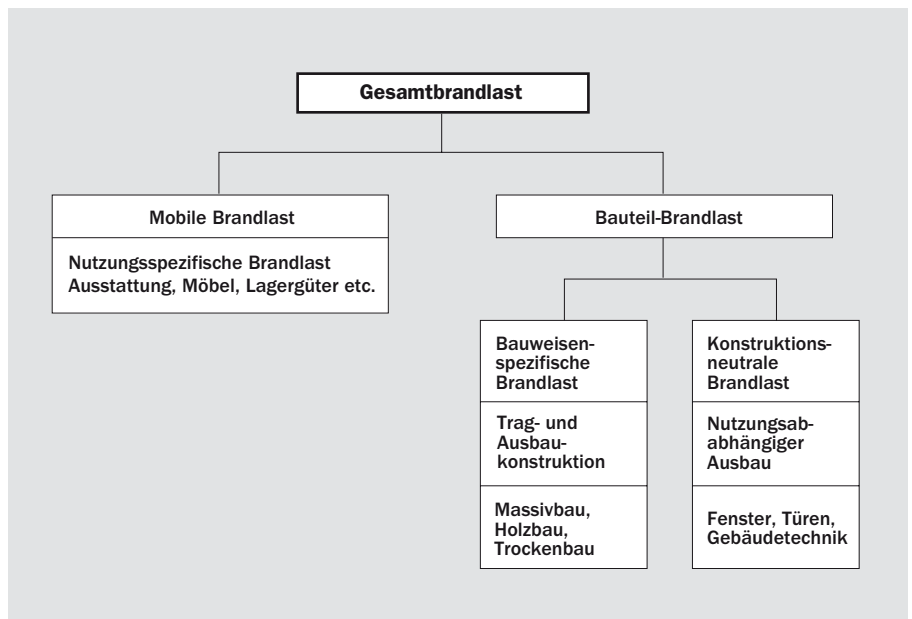


Bild 29: Zusammensetzung der Brandlastanteile in einem Gebäude

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 gezogen werden. Das kann zu reduzierten Zahlungen der Versicherungen führen.

Zum Abschluss der Sachversicherung und ggf. auch der Betriebsunterbrechung wird dann das jeweilige Brandrisiko abgeschätzt, das die Prämie beeinflusst. Das Brandrisiko setzt sich aus der Nutzung sowie dem Gebäude selber zusammen. Die Nutzung kann man wenig beeinflussen, weil einem Mieter einer Wohnung nicht vorgeschrieben werden kann, welche Einrichtungen – Möbel, Gardinen etc. – er verwenden darf. In einem Industriebetrieb ergibt sich die Nutzung ganz einfach aus dem je-

weiligen 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 deren Brandverhalten einen wesentlichen Einfluss auf das Brandrisiko haben, d.h. das im Gebäude vorhandene Brandrisiko ist primär abhängig von den Brandlasten. Die Brandlasten bestimmen maßgeblich den Brandverlauf hinsichtlich

- Brandentstehung bzw. Brandentwicklung,
- Brandausbreitung,
- Entstehung eines „flashovers“ (schlagartige Entzündung aller brennbaren Materialein), 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 29 ist die Zusammensetzung der Brandlastanteile in einem Gebäude zusammengefasst.

Im Wohnungsbau stellt die bauweisenspezifische Brandlast einen wesentlichen Anteil dar. In einem mehrgeschossigen Wohnungsbau mit einer durchschnittlichen Wohnnutzfläche von etwa 800 m² kann sich die Brandlast bei unterschiedlichen Konstruktionsarten bis zum Faktor 4 unterscheiden. In einem Massivbau sind die zwei- bis vierfach geringeren Mengen an brennbaren Stoffen gegenüber einem Holzbau möglich [12] und [13].



Bild 30: Brand eines Dachgeschosses – Kalksandstein-Treppenraumwände wiederverwendbar

Durch die Bauweise werden 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 einen wesentlichen Ra-

batt in den Prämiensätzen gegeben. Nach der Öffnung des Versicherungsmarktes fielen diese Überlegungen zur Rabattierung weg, weil eine Massivbauweise vorausgesetzt wurde. Mittlerweile setzt hier jedoch wieder ein Umdenken ein, weil gemäß den neuen Bauordnungen bauliche Erleichterungen im Brandschutz bereits möglich sind bzw. werden. Damit wird das Brandrisiko wieder größer und die Schadensminimierung wird in den Verantwortungsbereich der Versicherungen abgeschoben. Die Bauordnungen geben nur noch einen Mindeststandard vor, d.h. der bewährte deutsche Sicherheitsstandard wird eindeutig reduziert. Die Massivbauweise und damit auch die Kalksandstein-Bauweise gewährt weiterhin den bisherigen Standard, so dass damit auch zukünftig Rabatte möglich werden könnten.

5. TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG DER BRANDSCHUTZNACHWEISE MIT KALKSANDSTEIN-KONSTRUKTIONEN

Im Folgenden sind die Brandschutznachweise nach DIN EN 1996-1-2/NA zusammengefasst. Die Tabellenwerte gelten für Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402 bzw. DIN V 106. E DIN 4102-4 (neu) enthält für Mauerwerk nur noch zahlreiche Ausführungsdetails, die weiterhin verwendet werden dürfen, und vorübergehend Nachweise für Mauertafeln.

Für verputzte Wandflächen ist ein geeigneter Putz, beidseitig, je 10 mm dick, z.B. Gipsputzmörtel nach EN 13279-1 oder Leichtputze LW oder T nach EN 998-1 aufzutragen. Die Angaben für KS-Fasensteine beziehen sich auf die auf die Aufstandsweite (Wanddicke abzüglich 2 x Fasenbreite).

Hinweise zur Bemessung für Kalksandstein-Mauerwerk mit Brandschutzanforderungen:

Bei „kalter“ Bemessung nach dem vereinfachten Verfahren von DIN EN 1996-3/NA oder dem genaueren Verfahren von DIN EN 1996-1-1/NA in Verbindung mit einer Brandschutzbemessung nach DIN EN 1996-1-2/NA sind sogenannte Ausnutzungsfaktoren $\alpha_{\phi,fi}$ zu bestimmen, da die zulässigen Auflasten im Brandfall den Wert nicht übersteigen dürfen, der früher nach DIN 1053 (vereinfachtes Verfahren) zulässig war. Hierbei entspricht $\alpha_{\phi,fi} = 0,7$ der bekannten Ausnutzung $\alpha_2 = 1,0$ nach DIN 4102-4. Alternativ darf (nur) für KS-Voll- oder KS-Blocksteine – auch als Plansteine – sowie KS-Planelemente und KS-Fasensteine auch der Ausnutzungsfaktor a_{fi} für den außergewöhnlichen Lastfall Brand verwendet werden. In diesem Fall muss der Ausnutzungsfaktor nicht explizit berechnet werden, da $\alpha_{fi} = 0,7$ der vollen Ausnutzung in der „kalten“ Bemessung nach dem genaueren Verfahren von DIN EN 1996-1-1/NA entspricht.

Tragendes Kalksandstein-Mauerwerk, das nach DIN EN 1996-1-1/NA oder DIN EN 1996-3/NA bemessen wurde, kann ohne Abminderung der „kalten“ Traglasten brandschutztechnisch eingesetzt werden, wenn die „alternativen“ Angaben der Tabellen 23 bis 25 verwendet werden. Bei gering belasteten Wänden kann die Ermittlung des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{\phi,fi}$ aber ggf. zu geringeren Mindestwanddicken führen.

Der Ausnutzungsfaktor $\alpha_{fi} = 0,7$ beinhaltet die Abminderung $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot N_{Ed}$ für die „außergewöhnliche Einwirkung“ Feuer; wobei N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden vertikalen Last für die „kalte“ Bemessung ist.

Tafel 22: Nichttragende, raumabschließende Wände Kriterien EI aus Kalksandstein-Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-2/NA für Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402 bzw. DIN V 106¹⁾

Stein-/Mörtelart	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse EI in (Minuten) $t_{fi,d}$				
	30	60	90	120	180
Voll-, Loch, Block-, Hohlblocksteine (auch als Plansteine) mit Normalmauer- und Dünnbettmörtel	115 (115)				175 (140) ²⁾
Planelemente und Fasensteine mit Dünnbettmörtel	100 (100)			115 (115)	175 (115)
Bauplatten mit Dünnbettmörtel	70 (50)	70 (70)	100 (70)		
Ergänzung nach DIN 4102-4	Mindestdicke d [mm] für die Feuerwiderstandsklasse-Benennung				
	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F180-A
Voll-, Loch, Block-, Hohlblocksteine mit Normalmauer- und Dünnbettmörtel	70 (50)	3) (70)	3) (100)	3) (3)	3) (3)
Plansteine, Planelemente, Fasensteine und Bauplatten mit Dünnbettmörtel	70 (50)	70 (70)	100 (70)	3) (3)	3) (3)

Die Klammerwerte in den Tabellen gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz z.B. Gipsputzmörtel nach EN 13279-1 oder Leichtputze LW oder T nach EN 998-1.

¹⁾ Die Werte gelten für Wandhöhen $h \leq 6$ m und für Schlankheit $\lambda_c = h_{ef}/t_{ef} \leq 40$ nichttragender Wände.

²⁾ Bei Plansteinmauerwerk mit Putz gilt $t_{fi} \geq 115$ mm

³⁾ Nichttragende Wände mit Wanddicken ≥ 115 mm sind in DIN EN 1996-1-2/NA geregelt.

Tafel 23: Tragende, raumabschließende Wände Kriterien REI aus Kalksandstein-Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-2/NA für Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402 bzw. DIN V 106

Ausnutzungsfaktor	Mindestwanddicke t_f [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse REI in (Minuten) $t_{fi,d}$					
	30	60	90	120	180	240
Voll- und Blocksteine (auch als Plan- oder Fasansteine) sowie Planelemente unter Verwendung von Normalmauermörtel und Dünnbettmörtel						
$\alpha_{6,fi} \leq 0,15$	115 (115)			115 (115)	150 (140)	–
$\alpha_{6,fi} \leq 0,42$				140 (115)	175 (140)	–
$\alpha_{6,fi} \leq 0,70$				150 (140)	200 (175)	–
Alternativ: $\alpha_{fi} \leq 0,70$	150 (115)	150 (150)	175 (150)	240 (175)	–	
	Bei flächig aufgelagerten Massivdecken (Auflagertiefe = Wanddicke)					
	115 (115)	150 ¹⁾ (115)	150 (115)	150 (115)	175 (150)	
Loch- und Hohlblocksteine (auch als Plan- oder Fasansteine) unter Verwendung von Normalmauermörtel und Dünnbettmörtel						
$\alpha_{6,fi} \leq 0,15$	115 (115)			115 (115)	175 (140)	–
$\alpha_{6,fi} \leq 0,42$				140 (115)	200 (140)	–
$\alpha_{6,fi} \leq 0,70$				200 (140)	240 (175)	–
1) Bei $\alpha_{fi} \leq 0,6$ gilt $t_f \geq 115$ mm						
Die Klammerwerte in den Tabellen gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz z.B. Gipsputzmörtel nach EN 13279-1 oder Leichtputze LW oder T nach EN 998-1.						
$\alpha_{6,fi}$ = Ausnutzungsfaktor nach 3.6.2 (entspricht einer Umrechnung auf den Stand nach DIN 4102-4 mit geprüften Auflasten nach DIN 1053-1, vereinfachtes Verfahren)						
$\alpha_{fi} = 0,70$ entspricht der vollen Ausnutzung bei der Kaltbemessung nach DIN EN 1996-1-1/NA mit $\alpha_{fi} = N_{Ed,fi}/N_{Rd} = 0,7 \cdot N_{Ed}/N_{Rd}$						
Die Werte dieser Tafel gelten auch für die Mindestdicke der Einzelschalen von tragendem zweischaligem Mauerwerk mit einer belasteten Schale (zweischalige Außenwände).						

Tafel 24: Tragende, nichtraumabschließende einschalige Wände Länge > 1,0 m Kriterium R aus Kalksandstein-Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-2/NA; Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402 bzw. DIN V 106

Ausnutzungsfaktor	Mindestwanddicke t_f [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse R in (Minuten) $t_{fi,d}$				
	30	60	90	120	180
Voll-, Block-, Loch- und Hohlblocksteine unter Verwendung von Normalmauermörtel					
$\alpha_{6,fi} \leq 0,15$	115 (115)	115 (115)	115 (115)	140 (115)	150 (140)
$\alpha_{6,fi} \leq 0,42$			140 (115)	150 (115)	150 (140)
$\alpha_{6,fi} \leq 0,70$			150 (150)	175 (150)	
Plansteine, Planelemente und Fasensteine unter Verwendung von Dünnbettmörtel					
$\alpha_{6,fi} \leq 0,15$	115 (115)	115 (115)	140 (115)	150 (140)	
$\alpha_{6,fi} \leq 0,42$			150 (115)	150 (140)	
$\alpha_{6,fi} \leq 0,70$			150 (150)	175 (150)	
Alternativ: $\alpha_{fi} \leq 0,70$	150	175	200	240	300

Die Klammerwerte in den Tabellen gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz z.B. Gipsputzmörtel nach EN 13279-1 oder Leichtputze LW oder T nach EN 998-1.

$\alpha_{6,fi}$ = Ausnutzungsfaktor nach 3.6.2 (entspricht einer Umrechnung auf den Stand nach DIN 4102-4 mit geprüften Auflasten nach DIN 1053-1, vereinfachtes Verfahren)

$\alpha_{fi} = 0,70$ entspricht der vollen Ausnutzung bei der Kaltbemessung nach DIN EN 1996-1-1/NA mit $\alpha_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 0,7 \cdot N_{Ed} / N_{Rd}$

Tafel 25: Tragende, nichtraumabschließende Pfeiler und einschalige Wände Länge $\leq 1,0$ m Kriterium R aus Kalksandstein-Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-2/NA; Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402 bzw. DIN V 106

Ausnutzungsfaktor	Wanddicke [mm]	Mindestwandlänge [mm] l_f zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse R in (Minuten) $t_{fi,d}$				
		30	60	90	120	180
Alle Kalksandsteine unter Verwendung von Normalmauermörtel oder Dünnbettmörtel						
$\alpha_{6,fi} \leq 0,42$	115	365	490	(615)	(990)	— ³⁾
	150	300	300	300	365	898
	175	240	240	240	240	365
	240	175	175	175	175	300
$\alpha_{6,fi} \leq 0,70$	115	(365)	(490)	(730)	— ³⁾	— ³⁾
	150	300	300	300	490	— ³⁾
	175	240	240	300 ^{1) 2)}	300 ¹⁾	490
	240	175	175	240	240	365
Alternativ für Planelemente mit Dünnbettmörtel						
$\alpha_{fi} \leq 0,70$	115	— ³⁾	— ³⁾	— ³⁾	— ³⁾	— ³⁾
	150	(897)	(897)	— ³⁾	— ³⁾	— ³⁾
	175	615	730	(879)	— ³⁾	— ³⁾
	240	365	490	(615)	(730)	(879)

Die Klammerwerte in den Tabellen gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz z.B. Gipsputzmörtel nach EN 13279-1 oder Leichtputze LW oder T nach EN 998-1.

¹⁾ Bei $h_w/d \leq 10$ darf $l_f = 240$ mm betragen.

²⁾ Bei Verwendung von Dünnbettmörtel und $h_w/d \leq 0,15$ darf $l_f = 240$ betragen.

³⁾ Die Mindestlänge ist $l_f \geq 1,0$ m; Bemessung bei Außenwänden nach Tafel 23; sonst als nicht raumabschließende Wand nach Tafel 24

$\alpha_{6,fi}$ = Ausnutzungsfaktor nach 3.6.2 (entspricht einer Umrechnung auf den Stand nach DIN 4102-4 mit geprüften Auflasten nach DIN 1053-1, vereinfachtes Verfahren)

$\alpha_{fi} = 0,70$ entspricht der vollen Ausnutzung bei der Kaltbemessung nach DIN EN 1996-1-1/NA mit $\alpha_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 0,7 \cdot N_{Ed} / N_{Rd}$

Tafel 26: Tragende und nichttragende, raumabschließende Brandwände Kriterium REI-M und EI-M und Komplextrennwände aus Kalksandstein-Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-2/NA; Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402 bzw. DIN V 106

Steinrohdklasse [-]	Mindestwanddicke [mm] t_F zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklassen REI-M und EI-M in (Minuten) $t_{R,d}$ 30, 60, 90	
	1-schalige Ausführung	2-schalige Ausführung
Voll-, Block-, Loch- und Hohlblocksteine (auch als Plan- oder Fasansteine) unter Verwendung von Normalmauermörtel und Dünnbettmörtel		
≥ 1,8	175 ¹⁾	2 x 150 ¹⁾
≥ 1,4	240	2 x 175
≥ 0,9	300	2 x 200 (2 x 175)
≥ 0,8	300	2 x 240 (2 x 175)
Planelemente unter Verwendung von Dünnbettmörtel		
≥ 1,8	175 ²⁾	2 x 150 ²⁾
	200	2 x 175
Komplextrennwände (F 180 + Stoßbelastung 4.000 Nm)		
Alle Kalksandsteine mit allen Mörtelarten (≥ NM II)	365	2 x 240
Plansteine, Planelemente (SFK ≥ 12 / RDK ≥ 1,6) mit Dünnbettmörtel	240	–
Vollsteine, Blocksteine (SFK ≥ 12 / RDK ≥ 1,8) mit NM III	240	–
Mauertafeln nach Z-17.1-338 mit NM III	240	–

Die Klammerwerte in den Tabellen gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz z.B. Gipsputzmörtel nach EN 13279-1 oder Leichtputze LW oder T nach EN 998-1.

¹⁾ Bei Verwendung von Dünnbettmörtel und Plansteinen

²⁾ Mit aufliegender Geschossdecke mit mindestens REI 90 als konstruktive obere Halterung

NORMEN

- [N1] DIN 4102-2:1997-09: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Bauteile
- [N2] DIN 4102-3:1997-09: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Brandwände und nichttragende Außenwände
- [N3] DIN 4102-4:1994-03: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile
- [N4] DIN 4102-4/A1:2004-11: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, Fassung A1
- [N5] DIN 4102-4:2013 (neu) in Vorbereitung: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile
- [N6] DIN 4102-22:2004-11: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Anwendungsnorm zu DIN 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheitsbeiwerten
- [N7] DIN EN 1363-1:2012-10: Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1363-1:2012
- [N8] DIN EN 1363-2:1999-10: Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 2: Alternative und ergänzende Verfahren; Deutsche Fassung EN 1363-2:1999
- [N9] DIN EN 1364-1:1999-10: Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile – Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1364-1:1999, Entwurf 2011-11
- [N10] DIN EN 1365-1:2013-08: Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1365-1:2012 + AC:2013
- [N11] DIN EN 1366-4:2010-08: Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 4: Abdichtungssysteme für Bauteilfugen; Deutsche Fassung EN 1366-4:2006 + A1:2010
- [N12] 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
- [N13] 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
- [N14] 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
- [N15] 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
- [N16] 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
- [N17] 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
- [N18] 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
- [N19] DIN EN 1996-1-2:2001-04: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [N20] 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
- [N21] 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
- [N22] 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
- [N23] DIN EN 14600:2006-03: Tore, Türen und zu öffnende Fenster mit Feuer- und/oder Rauchschutzeigenschaften – Anforderungen und Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 14600:2005
- [N24] DIN EN 15080-12:2011-04: Erweiterter Anwendungsbereich der Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 12: Tragende Mauerwerkswände; Deutsche Fassung EN 15080-12:2011
- [N25] DIN EN 15254-2:2009-10: Erweiterter Anwendungsbereich der Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen – Nichttragende Wände – Teil 2: Mauersteine und Gips-Wandbauplatten; Deutsche Fassung EN 15254-2:2009
- [N26] DIN V 18550:2005-04: Putze und Putzsysteme – Ausführung
- [N27] DIN V 106:2005-10 Kalksandsteine mit besonderen Eigenschaften (Vornorm)
- [N28] DIN EN 771-2:2011-07 Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine; Deutsche Fassung EN 771-2:2003+ A1:2005
- [N29] DIN V 20000-402:2005-06 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2 (Vornorm)

LITERATUR

- [1] Musterbauordnung – MBO (Fassung November 2002, zuletzt geändert September 2012)
- [2] Voigtländer, R.: Brandursachenermittlungen und andere technische Fragen in der Sachversicherung, Schadenprisma 4/2003
- [3] 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, Text von Bedeutung für den EWR
- [4] Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C, Ausgabe 2013/1
- [5] Musterliste der technischen Baubestimmungen, September 2012
- [6] Hahn, Chr.: Mauerwerk-Kalender ab 1995
- [7] Hahn, Chr.: Brandschutzplanung – Lästiges Übel oder Beitrag zum kostengünstigen Bauen? – In: BBauBl 44 (1995) 10
- [8] HAHN Consult: Gutachtliche Stellungnahme Nr. 28092 zum Brandverhalten von Anschlüssen nichttragender Wände an Massivdecken (30.10.08)
- [9] HAHN Consult: Gutachtliche Stellungnahme Nr. 20006 zum Brandverhalten von Kalksand-Wandkonstruktionen unter Verwendung von KS-ISO-Kimmsteinen (21.12.01)
- [10] HAHN Consult: Gutachtliche Stellungnahme Nr. 11078 – Hn/Ma – zum Nachweis der Eignung von Mauerwerkswänden aus Kalksand-Vollsteinen als Komplextrennwände (15.03.2013)
- [11] Brandwände und Komplextrennwände – Merkblatt für die Anordnung und Ausführung. Vds 2234:2012-07
- [12] The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2nd Edition, ISBN 0-87765-354-2
- [13] Wilmot, R.T.D.: United Nations Fire Statistics Study. World Fire Statistics Centre Bulletin, Geneva Association, Genf Sept. 1999
- [14] Hosser, D., Schneider, U.: Statistische Ermittlung der Brandhäufigkeit in mehrgeschossigen Wohngebäuden, Forschungsbericht T 1292, IRB Verlag 1984
- [15] 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
- [16] 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
- [17] Institut für Baustoffe Massivbau und Brandschutz der technischen Universität Braunschweig; Untersuchungsbericht Nr. 811208
- [18] Feuertrutz: Brandschutzatlas September 2013
- [19] Bayerische Versicherungskammer: München

„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. (Bild 1).

Im Bauwesen wurde schon früh erkannt, dass die Menschen in ihren Wohnungen durch richtig ausgewählte Bauteile vor Schalleinwirkungen geschützt werden können. Der Schallschutz kann sich dabei auf Schutz vor Außenlärm und Schutz vor Nachbarschaftslärm in Form von Luftschall und Körperschall beziehen. Bereits ab 1938 wurden (erstmalig in DIN 4110 [1]) für den baulichen Schallschutz Mess- und Bewertungsverfahren und Anforderungen als DIN-Norm (damals noch „Deutsche Industrie-Norm“, heute Norm des Deutschen Instituts für Normung (DIN)) herausgegeben. 1944 erschien erstmals die DIN 4109, die 1962 und zuletzt 1989 überarbeitet wurde und bis heute die Normungsgrundlage des baulichen Schallschutzes ist. Wesentlich war bei der DIN 4109 von Anfang an, dass zwar von „Schallschutz“ gesprochen wurde, bei den Nachweisen und Anforderungen tatsächlich aber immer die Schalldämmung R'_w der trennenden Bauteile gemeint war (auf die Unterscheidung von „Schallschutz“ (im Sinne einer Schallpegeldifferenz) und „Schalldämmung“ (im Sinne eines auf das Trennbauteil bezogenen Schalldämmmaßes) wird in Abschnitt 1.2 eingegangen). Ebenso war es bei der DIN 4109 Tradition, im Massivbau die Schallübertragung über Nebenwege nicht gesondert zu betrachten.

Die Tatsache, dass die Schallübertragung über Nebenwege, insbesondere flankierende Bauteile, eine herausragende Rolle für den Schallschutz spielen kann, ist seit langem bekannt. Da die DIN 4109 in ihren Anforderungen und Nachweisen das trennende Bauteil in den Vordergrund stellt, wird im Bewusstsein der meisten Anwender der Einfluss der Flankenwege in den Hintergrund gedrängt oder gar ignoriert. Im Massivbau waren die Auswirkungen auf die praktischen Ergebnisse in den ersten Jahrzehnten der Schallschutznormung vergleichsweise gering, weil fast ausschließlich mit schweren flankierenden Bauteilen



Bild 1: Ruhiges Arbeiten und Ausüben von lauten Tätigkeiten unter einem Dach setzt gegenseitige Rücksichtnahme und guten Schallschutz voraus.

gebaut wurde. Bis einschließlich der Normausgabe der DIN 4109:1989 [2] wurde zumindest dem „Normalanwender“ nicht klar, wie hoch die flankierende Übertragung sein kann, was in der Praxis allerdings zunehmend an Bedeutung gewann, da im Laufe der Jahre immer mehr „leichte“ Bauteile verwendet wurden. Hinzu kamen die laufend höheren Anforderungen an den Wärmeschutz, die insbesondere bei den immer leichteren Außenwänden zu einer Steigerung der Flankenübertragung führten. Da die Nachweisverfahren der DIN 4109 für solche Situationen nicht ausgelegt waren, verwundert es im Nachgang nicht mehr, wenn trotz rechnerischer Einhaltung der Anforderungen die in Gebäuden gemessenen Schalldämmmaße immer wieder deutlich unter dem erwarteten Wert lagen, so dass die Anforderungen verfehlt wurden.

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 E DIN 4109-2 [5] und E DIN 4109-32 [6] mittlerweile in einen neuen Entwurf zur DIN 4109 einflossen.

Die Entwicklung der bauakustischen Normen weist nachdrücklich auf die Tatsache hin, dass sich mit den neuen Prognosemethoden auch die Philosophie des baulichen Schallschutzes ändern muss. Man wird

den geänderten baulichen Bedingungen nur dadurch gerecht, dass nicht mehr nur das trennende Bauteil im Vordergrund steht, sondern nun auch die Schallübertragung über Flankenbauteile und Stoßstellen ausdrücklich zu betrachten und schalltechnisch zu dimensionieren ist.

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 statt, die sich ständig ändernden 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. Das vorliegende Kapitel zeigt, dass es Wege aus der „Lärmfalle“ gibt. Hintergründe und schalltechnische Problemfelder werden beleuchtet und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt. Die Palette der verfügbaren Mittel reicht vom schalltechnischen Gesamtkonzept bis zu Lösungen im Detail.

Schallschutz ist baubar – allerdings nur, wenn er von Anfang an in die Gesamtplanung integriert ist.

1. SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN

1.1 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 angibt und mit Hz [1/s] bezeichnet wird. Die Bauakustik berücksichtigt den Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 5 kHz. Bei der Schallausbreitung in 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 Lärmbeeinträchtigungen 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.

Der **bauliche Schallschutz** berücksichtigt alle Schalleinwirkungen, die im Gebäude zu Störungen führen können. Nach Bild 2 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) und Industrie 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**, die in dB(A) angegeben wer-

den. Schallpegel für typische Geräusche innerhalb des menschlichen Hörbereichs, der von der Hörgrenze bis zur Schmerzgrenze reicht, werden in Bild 3 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.

1.2 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 4 messtechnisch wie folgt bestimmt wird:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg(S/A) \quad (1.1)$$

mit

- L_1 Schallpegel im lauten Raum (Senderraum)
- 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.

Im Gegensatz zum früher verwendeten Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung nach DIN 52210 [8] wird diese Art als nebenwegfrei bezeichnet. 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 5) 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 **Bauschalldämm-Maß R'** ermittelt. Es berücksichtigt alle an der Schallübertragung

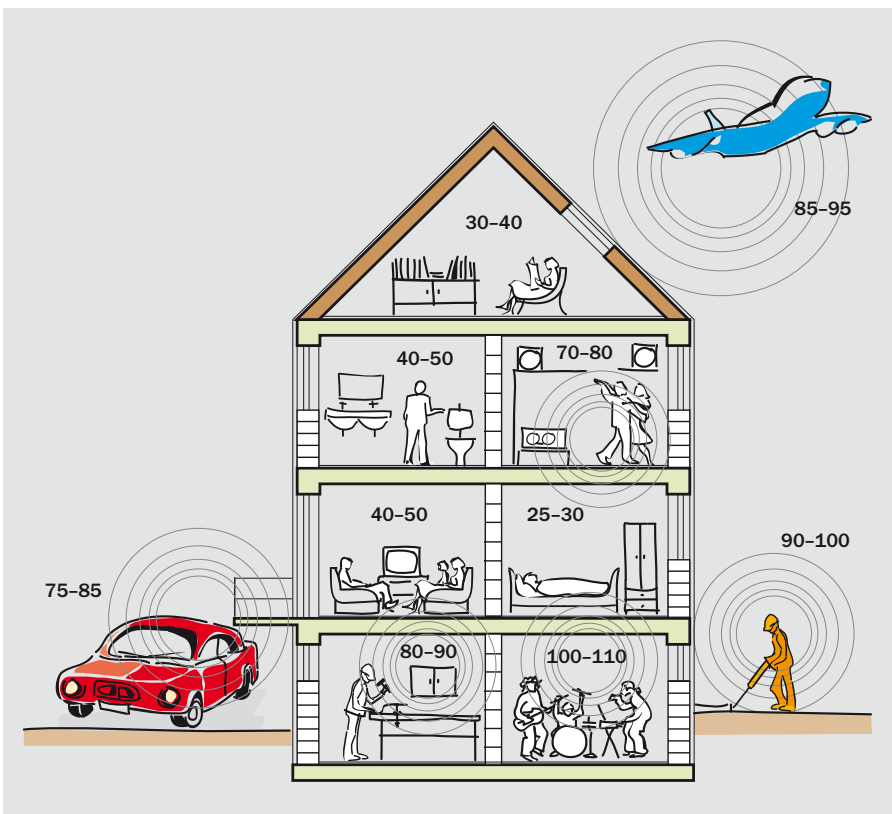


Bild 2: Schalleinwirkungen im Gebäude

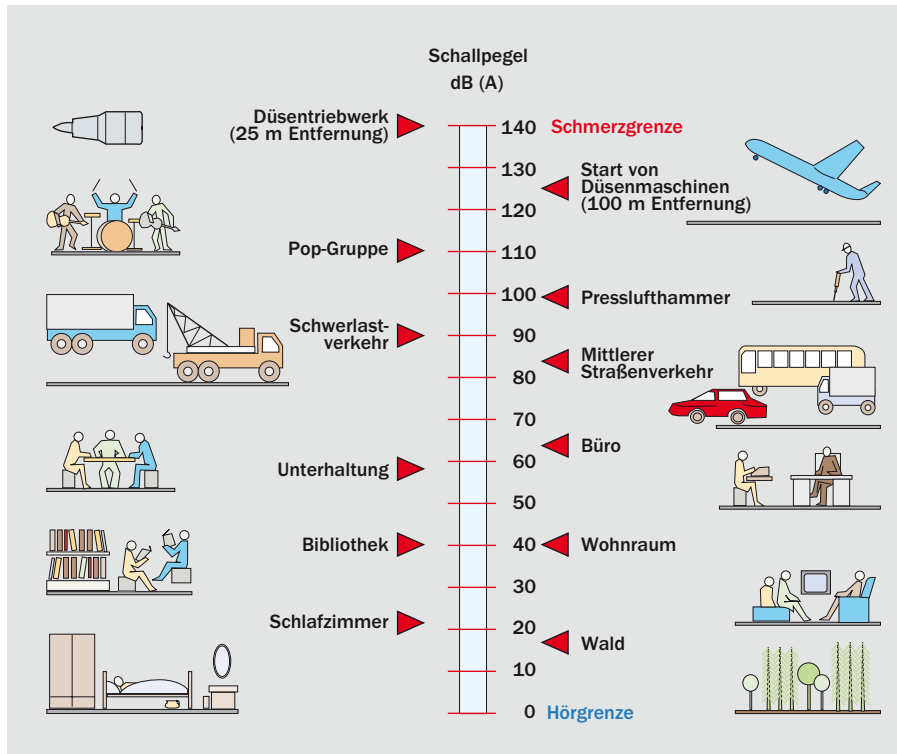


Bild 3: Schallpegel verschiedener Verursacher und Umgebungssituationen

die resultierende Dämmung unter Berücksichtigung der an der Schallübertragung beteiligten Bauteile und Nebenwege im eingebauten Zustand; dies ist bei der Planung zu berücksichtigen.“

Die Messungen werden frequenzabhängig durchgeführt. In der Planungspraxis und für die schalltechnische Beurteilung von Bauteilen werden zur Vereinfachung in der Regel jedoch so genannte **Einzahlwerte** verwendet. Die Ermittlung der Einzahlwerte beruht auf dem Bezugskurvenverfahren, das für die Luftschalldämmung in DIN EN ISO 717-1 [10] beschrieben wird. Die gemessenen Terz- oder Oktawerte der Kenngröße werden mit der Bezugskurve verglichen. Diese repräsentiert aus der historischen Entwicklung heraus ursprünglich die Schalldämmung einer Wand aus 25 cm dicken Vollsteinen. 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 Bauschalldämm-Maß R'_w** .

beteiligten Wege und charakterisiert damit die resultierende Schalldämmung im Gebäude. Die Messung erfolgt nach DIN EN ISO 140-4 [9].

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 die erreichbare Schalldämmung.
- Die Anforderungen der DIN 4109 richten sich nicht an das trennende Bauteil allein, sondern an die Gesamtübertragung aller beteiligten Bauteile.

Nicht ohne Grund weist deshalb schon die DIN 4109 (1989) [2] in Abschnitt 3.1 ausdrücklich auf diesen Umstand hin:

„Die für die Schalldämmung der trennenden Bauteile angegebenen Werte gelten nicht für diese Bauteile allein, sondern für

Mit R_w und R'_w wird eine eindeutige Trennung zwischen Bauteil- und Gebäudeeigenschaften vorgenommen. R_w (Direktschalldämm-Maß) berücksichtigt nur die direkte Übertragung über ein trennendes Bauteil und ist somit ein Maß für dessen schalltechnische Leistungsfähigkeit. R'_w (bewertetes Bauschalldämm-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 Bild 6 dargestellt.

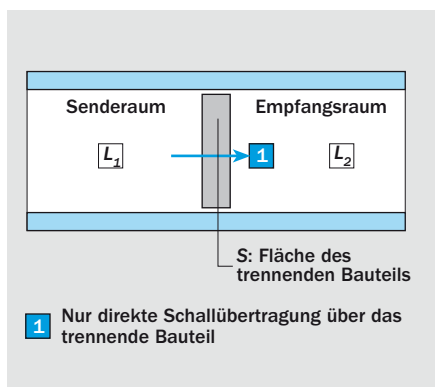


Bild 4: Messung des Schalldämm-Maßes im Labor

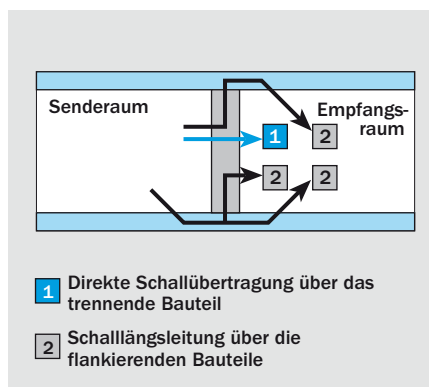


Bild 5: Schallschutz im Gebäude – direkte und flankierende Schallübertragung

In Tafel 1 werden zur Erläuterung dieses Sachverhaltes die Direktschalldämm-Maße von KS-Wohnungstrennwänden mit den resultierenden Schalldämm-Maßen in einer bauüblichen Situation verglichen.

Während beim Bauschalldämm-Maß R' die resultierende Schallübertragung auf das trennende Bauteil bezogen wird, berücksichtigt die **Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT}** nur die auf die Nachhallzeit bezogene Pegeldifferenz zwischen zwei Räumen.

Dafür gilt:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg(T / T_0) \text{ [dB]} \quad (1.2)$$

- mit
- L_1 Schallpegel im lauten Raum (Senderraum)
 - L_2 Schallpegel im leisen Raum (Empfangsraum)
 - T Nachhallzeit
 - T_0 Bezugs-Nachhallzeit (für Wohn- und Arbeitsräume gilt $T_0 = 0,5 \text{ s}$)

Auch hier kann nach DIN EN ISO 717-1 [10] 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:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \lg(0,32 V/S) \text{ [dB]} \quad (1.3)$$

- mit
- V Volumen des Empfangsraumes
 - S Fläche des trennenden Bauteils

Für quaderförmige, nicht gegeneinander versetzte Räume kann dafür auch vereinfachend geschrieben werden:

$$\begin{aligned} D_{nT,w} &= R'_w + 10 \lg(0,32 \cdot l) \\ &= R'_w - 10 \lg(3,1/l) \end{aligned} \quad (1.4)$$

- mit
- l Raumtiefe des Empfangsraumes

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 7).

Für den subjektiv wahrnehmbaren Schallschutz ist nicht die Schalldämmung R'_w einer Bauteilkombination, sondern die Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ zwischen zwei Räumen maßgebend.

1.3 Spektrum-Anpassungswerte

Zusätzlich zu den genannten Einzahlwerten wurden in DIN EN ISO 717-1 [10] so genannte **Spektrum-Anpassungswerte** C und C_{tr} definiert, die es erlauben, die Schalldämmung oder den Schallschutz hinsichtlich unterschiedlicher Geräuscharten zu bewerten. Sie werden zum betreffenden

Tafel 1: Vergleich der Direktschalldämmung R_w verschiedener Wohnungstrennwände und der resultierenden Schalldämmung R'_w derselben Wände in einer bauüblichen Situation

Wohnungstrennwand			$R_w^{1)}$ [dB]	$R'_w^{2)}$ [dB]
Wanddicke d [cm]	RDK	Flächenbezogene Masse m' [kg/m ²]		
20	2,0	400	58,2	55,4
24	1,8	428	59,1	56,2
24	2,0	476	60,5	57,2
24	2,2	524	61,8	58,2
30	2,0	590	63,4	59,4

Bausituation: horizontale Übertragung; Wohnungstrennwand: nach Tabelle; Decken: 20 cm Stahlbeton mit schwimmendem Estrich $f_0 < 80 \text{ Hz}$; Außenwand mit 17,5 cm Kalksandstein (RDK 1,8); Innenwand mit 11,5 cm Kalksandstein (RDK 1,8)

¹⁾ R_w -Werte nach Massekurve für Kalksandstein

²⁾ Berechnungen nach dem vereinfachten Verfahren mit dem KS-Schallschutzrechner. Zum Vergleich von R_w und R'_w wurde kein Sicherheitsabschlag (früher: Vorhaltemaß) auf das Berechnungsergebnis vorgenommen.

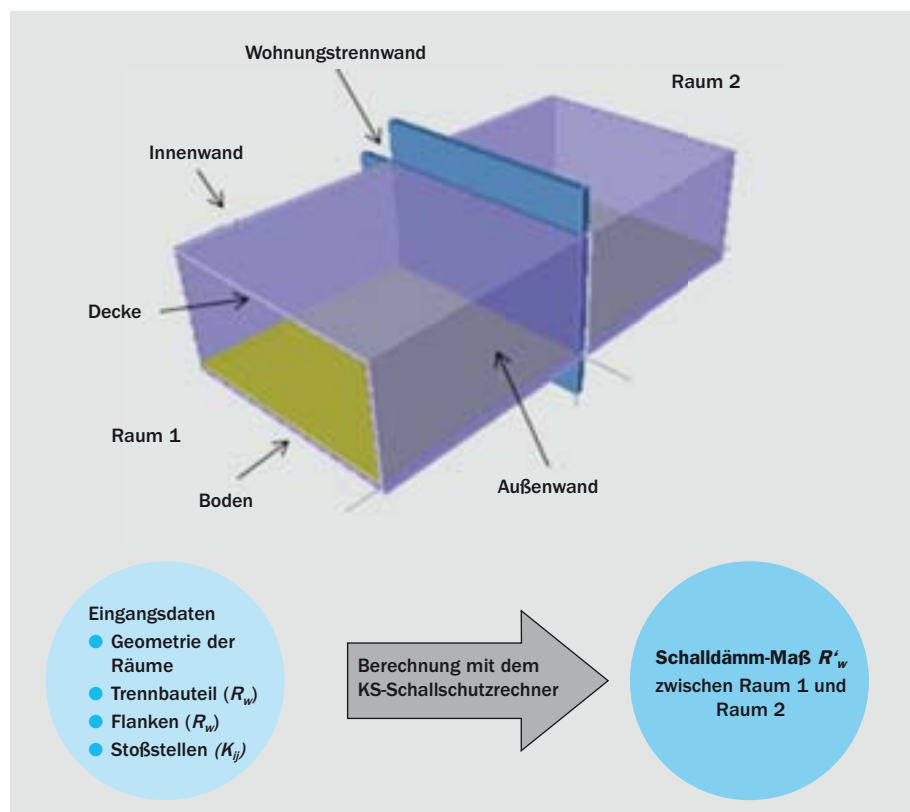


Bild 6: Von der Bauteileigenschaft R_w zur Gebäudeeigenschaft R'_w

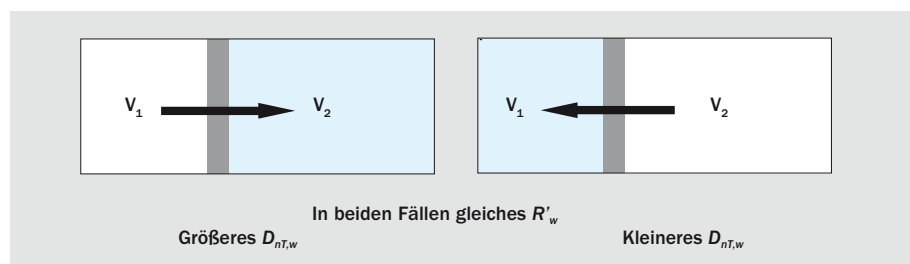


Bild 7: Abhängigkeit der Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ vom Volumen des Empfangsraums

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...)
	Schieneverkehr 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
	Schieneverkehr mit geringer Geschwindigkeit
	Propellerflugzeug
	Düsenflugzeug in großem Abstand
	Discomusik
	Betriebe, die überwiegend tief- und mittelfrequenten Lärm abstrahlen

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.

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. innerstädtischer Straßenverkehr.

In den Schallschutzanforderungen der DIN 4109 werden Spektrum-Anpassungswerte zurzeit nicht berücksichtigt. Sie können aber bei der schalltechnischen Planung berücksichtigt werden, um eine situationsbezogene Auslegung des Schallschutzes, z.B. beim Außenlärm, vorzunehmen. Eine ausführliche Behandlung der Spektrum-Anpassungswerte und ihrer Anwendung findet sich in [11].

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.

Tafel 3: Kennzeichnende Größen zur Beschreibung der schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen (Luftschall-, Trittschall- und Flankendämmung)

Kenngröße		Bauteil	Messnorm
R_w	Bewertetes Schalldämm-Maß	Trennbauteile (Wände, Decken)	DIN EN ISO 10140:2010-12 Teile 1 – 5 [7]
		Fenster, Fassadenelemente, Türen, Verglasungen	
$D_{n,e,w}$	Bewertete Element-Norm-Schallpegeldifferenz	Elemente, z.B. Rollladentüren, Lüftungskanäle, Lüftungselemente	DIN EN ISO 10140:2010-12 Teile 1 – 5 [7]
ΔR_w	Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes	Vorsatzschalen, Wärmedämmverbundsysteme, schwimmende Estriche	DIN EN ISO 10140:2010-12 Teile 1 – 5 [7]
$D_{n,f,w}$	Bewertete Norm-Flankenschallpegeldifferenz	Flankierende Bauteile	DIN EN ISO 10848:2006-8 Teile 1 – 3 [12]
$L_{n,w}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel	Decken, Treppen, Podeste	DIN EN ISO 10140:2010-12 Teile 1 – 5 [7]
ΔL_w	Bewertete Trittschallminderung	Deckenauflagen, z.B. schwimmende Estriche, Bodenbeläge	DIN EN ISO 10140:2010-12 Teile 1 – 5 [7]
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß	Bauteilverbindungen	DIN EN ISO 10848-1 [12]

Tafel 4: Kennzeichnende Größen zur Beschreibung der schalltechnischen Gebäudeeigenschaften (Luft- und Trittschalldämmung)

Kenngröße		Übertragung über	Messnorm
R'_w	Bewertetes Bauschalldämm-Maß	Trennbauteile (Wände, Decken)	DIN EN ISO 140-4 [9]
$R'_{45^\circ,w}$	Bewertetes Bauschalldämm-Maß	Fassaden, Fassadenbauteile, Fenster	DIN EN ISO 140-5 [7]
$L'_{n,w}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel	Decken, Treppen, Podeste	DIN EN ISO 140-7 [13]

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 140-4 [9]
		Luftschallübertragung von außen (Außenlärm)	DIN EN ISO 140-5 [7]
$L'_{nT,w}$	Bewerteter Standard-Trittschallpegel	Trittschallübertragung	DIN EN ISO 140-7 [13]

1.4 Schalltechnisches Verhalten massiver Bauteile

1.4.1 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 $[\text{kg}/\text{m}^2]$ 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) Bau-

teil und je höher die Frequenz des zu dämmenden Geräusches ist. Für die frequenzabhängigen Dämmeigenschaften ist noch die so genannte **Koinzidenzgrenzfrequenz** von Bedeutung, da unterhalb dieser Grenzfrequenz Schall schlecht und oberhalb davon gut abgestrahlt werden kann. 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.

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 Leitgröße 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 aufgetragenen Putzschichten ergibt.

1.4.2 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.

2. SCHALLSCHUTZ ZWISCHEN WUNSCH UND WIRKLICHKEIT

2.1 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 8).

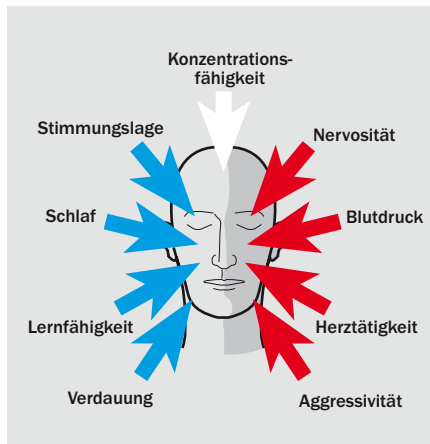


Bild 8: Auswirkungen und Störungen bei zu viel Lärm

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 [14] dass über 70 % der Bevölkerung sich in ihrer Wohnung durch Lärm gestört fühlen (Bild 9) und für 61 % Lärm-belästigungen sogar ein Umzugsgrund sind (Bild 10).

Als Ergebnis mehrerer Untersuchungen unter Bewohnern verschiedener europäischer Länder ergab sich, dass ein deutlich höherer Schallschutz gewünscht wird,

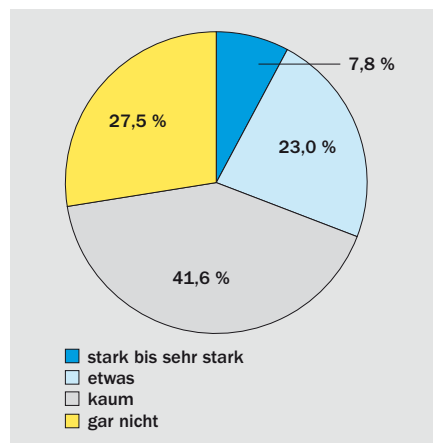


Bild 9: Wie sehr fühlen Sie sich in Ihrer Wohnung/Ihrem Haus durch Lärm belästigt? [14]

als er in den Mindestanforderungen festgelegt ist, um ihn als zufriedenstellend oder gut zu empfinden.

2.2 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 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 allerdings normativ nicht verbindlich geregelt. Dennoch sollte er in einem vollständigen Schallschutzkonzept Berücksichtigung finden.

2.3 Objektive Kriterien für den Schallschutz

2.3.1 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.

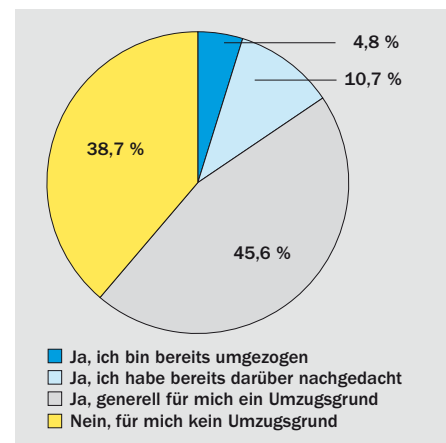


Bild 10: Würden Sie aufgrund von Lärmbelästigung einen Umzug in Erwägung ziehen? [14]

Tafel 6: Wahrnehmung von Sprache aus der Nachbarwohnung bei unterschiedlicher Schalldämmung zwischen den Wohnungen, abendlicher A-bewerteter Grundgeräuschpegel 20 dB (A), üblich große Aufenthaltsräume (nach [15])

Bewertetes Bauschalldämm-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 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 Empfangsraumes, Grundgeräuschpegel im Empfangsraum) kann nach [16] analytisch hergeleitet und dargestellt werden. Von besonderer Bedeutung ist dabei der Einfluss des Grundgeräuschs.

Je geringer das aus der Umgebung vorhandene Grundgeräusch ist, 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 Schall-

Tafel 7: Bewertetes Schalldämm-Maß R'_w und das Durchhören von Sprache, (nach [17])

Sprachverständlichkeit	Erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß R'_w	
	Grundgeräusch 20 dB (A)	Grundgeräusch 30 dB (A)
Nicht zu hören	67	57
Zu hören, jedoch nicht zu verstehen	57	47
Teilweise zu verstehen	52	42
Gut zu verstehen	42	32

dämmung von 57 dB und einem Grundgeräuschpegel von 30 dB(A) Sprache nicht mehr zu hören ist, führt dieselbe Schalldämmung bei einem Grundgeräuschpegel von nur noch 20 dB(A) dazu, dass die Sprache nun zu hören aber nicht zu verstehen ist. 20 dB(A) entsprechen einem üblichen Grundgeräuschpegel in Wohnungen zur ruhigen Abendzeit.

Typische Grundgeräuschpegel liegen nach [18] bei folgenden Werten:

- Nachtgrundpegel in Mehrfamilienhäusern mit hohem Schallschutz in ruhiger Wohnlage: 15–20 dB(A)
- Tagesgrundpegel in Mehrfamilienhäusern mit hohem Schallschutz in ruhiger Wohnlage: 20–25 dB(A)
- Nachtgrundpegel in Wohnungen mit erhöhter Außenlärmbelastung: 25–30 dB(A)
- Nachtgrundpegel in Wohnungen mit hoher Außenlärmbelastung: 30–40 dB(A)

2.3.2 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 des DEGA-Schallschutzausweises [19], muss der Unterschied zwischen Stufen oder Klassen zu einer wirksamen Erhöhung des Schallschutzes führen. Grundsätzlich gilt:

Der Wechsel zwischen zwei Stufen muss von den Bewohnern auch tatsächlich als ein wahrnehmbarer Unterschied in der schalltechnischen Qualität empfunden werden.

So wird es auch vom BGH formuliert, wenn in [20] gesagt wird: „Ein die Mindestanfor-

derungen 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 [18] kommen entsprechende Untersuchungen in [20] 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 [21], deren Schallschutzstufen für den erhöhten Schallschutz sich beim Luftschallschutz um 3 bzw. 6 dB von den Mindestanforderungen der DIN 4109 unterscheiden. Auch die neue VDI-Richtlinie von 2012 [22] 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 den DEGA-Schallschutzausweis werden gleich von Anfang an größere Abstufungen gewählt: 4 dB mehr gegenüber den Mindestanforderungen der DIN 4109 und danach 5-dB-Stufen für die nachfolgenden Schallschutzklassen.

Je höher die angestrebte Schallschutzqualität ist, desto größer sollten die Stufen gewählt werden.

2.4 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 3 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 DIN 4109 aus dem Jahr 1989 [2]

[23] [24] und [25] wird derzeit einer kompletten Überarbeitung unterzogen. Ein Weißdruck der neuen Norm liegt noch nicht vor, jedoch sind anhand der Normentwürfe [5–6] und [26–32] deren vorgesehene Regelungen bekannt. Da sich die Anforderungen an den Schallschutz in beiden Versionen nur in wenigen Details wirklich unterscheiden, können sie weitgehend gemeinsam behandelt werden.

- VDI 4100 Schallschutz von Wohnungen:
Ziel der VDI-Richtlinie 4100 ist die schalltechnische Klassifizierung von Wohnungen für die Planung und Bewertung des Schallschutzes. Die bekannte Fassung der VDI 4100 aus dem Jahre 2007 [21] wurde vollständig überarbeitet und 2012 als Neufassung [22] 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 (siehe Tafel 9).
- 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 [33], in welchem zum Verhältnis von DIN 4109 und den anerkannten Regeln der Technik Stellung genommen wird, und DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis [19].

Die aktuelle Situation belegt, dass die Festlegung von Schallschutzanforderungen kontrovers und mit unterschiedlicher Inten-

tion gesehen wird. Festlegungen zum Geltungsbereich einzelner Regelwerke enthält Tafel 8.

2.5 Zahlenmäßige Festlegungen des Schallschutzes

Die zahlenmäßigen Festlegungen der DIN 4109 und der VDI-Richtlinie 4100 betreffen die Luft- und Trittschalldämmung, die Geräusche haustechnischer Anlagen und Betriebe und die Außengeräusche. In DIN 4109 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 9) die Werte des Mindestschallschutzes nach DIN 4109 mit dem erhöhten Schallschutz nach VDI 4100:2012.

Zum Vergleich zeigt Tafel 10 die Abstufung der Kennwerte für die sieben Schallschutzklassen des DEGA-Schallschutzausweises. Schallschutzklasse D entspricht beim Luft- und Trittschall im Wesentlichen den Anforderungen der DIN 4109 (1989) für Mehrfamilienhäuser.

2.6 Schallschutz und Rechtsprechung

2.6.1 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.
- Fehler werden in Planung und Ausführung gemacht, z.B. ungünstige Anord-

nung von schutzbedürftigen und nicht schutzbedürftigen 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.

2.6.2 Öffentlich rechtliche Anforderungen (DIN 4109)

Die neue DIN 4109 definiert ihre Zielsetzungen in der Einleitung zu E DIN 4109-1 mit Bezug auf die europäische Bauprodukten-Verordnung (2011) [34] 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:

- Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise
- Schutz vor unzumutbarer Belästigung

Damit folgt die neue DIN 4109 den Intentionen der DIN 4109 (1989), die das in ähnlicher Art und Weise formuliert hat.

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.

Tafel 8: Festlegungen zum baulichen Schallschutz, Geltungsbereich der Regelwerke

	Fremder Wohn- und Arbeitsbereich		Eigener Wohn- und Arbeitsbereich	
	öffentlich-rechtlich	zivilrechtlich	öffentlich-rechtlich	zivilrechtlich
Mindestanforderungen	DIN 4109	–	–	–
Erhöhter Schallschutz	–	<ul style="list-style-type: none"> • Beiblatt 2 zu DIN 4109 • VDI 4100 • DEGA-Empfehlung 103 	–	<ul style="list-style-type: none"> • Beiblatt 2 zu DIN 4109 • VDI 4100 • DEGA-Empfehlung 103

2.6.3 Privatrechtliche Anforderungen

Allgemein anerkannte Regeln der Technik (a.a.R.d.T.)

Hinweise zu den privatrechtlichen Anforderungen gibt die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) Teil B [35] 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.

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.

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 statt dessen ein erhöhter Schallschutz zu erbringen sei und wie hoch dieser ggf. anzusetzen wäre.

So wird im Urteil des OLG München vom 19.05.2009 [36] 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 eingehalten werden. Wenn den vertragsbegleitenden Umständen zu entnehmen ist, dass der Erwerber einen üblichen Qualitäts- und Komfortstandard erwarten kann, hilft es dem Bauträger nicht, wenn er im Gegensatz zu diesen Umständen – möglicherweise „versteckt“ – im notariellen Kaufvertrag auf die Mindestschallschutzwerte der DIN 4109 verweist.

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 [20] 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 ergeben, sind diese Werte unabhängig davon geschuldet, welche Bedeutung den Schalldämm-Maßen der DIN 4109 sonst zukommt.“

In den letzten Jahren 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. [33] oder [36]). Da der Einsatz derartiger Konstruktionen mittlerweile als all-

gemein 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 Schalldämm-Maß $R'_w = 72$ dB zu erbringen. Falls sie lediglich $R'_w = 67$ dB erreicht, erfüllt sie zwar den erhöhten Schallschutz nach dem derzeit noch geltenden Beiblatt 2 zu DIN 4109 (1989), ist aber dennoch nicht mängelfrei.

Zusätzlichen Diskussionsstoff liefert das schon genannte BGH-Urteil vom 14.06.2007, wenn es feststellt, die DIN 4109 definiere lediglich Mindestanforderungen des Schallschutzes und entspreche nicht den anerkannten Regeln der Technik. Kann der Erwerber einer Wohnung oder eines Doppelhauses 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 (mit Bezug auf den Mehrgeschoss-Wohnungsbau) in einem Urteil aus dem Jahr 2009 [37], 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 Beiblatt 2 zu DIN 4109 (1989), VDI 4100 und der DEGA-Empfehlung 103 (siehe Tafel 18).

2.7 Die Umsetzung von Schallschutz-Anforderungen

2.7.1 Erreichbarer Schallschutz

Grundsätzlich ist bei der Festlegung des vereinbarten Schallschutzes die Frage zu beantworten, welcher Schallschutz mit der gewählten Bauweise erreicht werden kann.

Mit den neuen Planungsinstrumenten auf der Basis der EN 12354 bzw. E DIN 4109-2 sowie E DIN 4109-3 und deren Umsetzung in Berechnungsprogrammen (KS-Schallschutz-Rechner) kann bereits jetzt der Schallschutz wesentlich genauer und detaillierter geplant werden, so dass man sich ein verlässliches Bild vom erreichbaren Schallschutz machen kann.

Leicht können mit den neuen Berechnungsverfahren auch Planungsvarianten durchgespielt werden, aus denen sich die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen erkennen lässt.

2.7.2 Grenzen des bauüblichen Schallschutzes

Für konventionelle Massivbauweise (einschalige, massive Bauteile) ist die resultierende Luftschalldämmung zwischen Wohnungen auf ca. 57 – 58 dB begrenzt. Grund ist die Schalllängsleitung über flankierende Bauteile und bauüblich ausgebildete Stoßstellen, die ohne zusätzliche Gegenmaßnahmen keine höheren Werte erlaubt.

Höherer Schallschutz (≥ 60 dB) muss konstruktiv umgesetzt werden: mehrschalige Konstruktionen, getrennte Bauteile wie z.B. zweischalige Wohnungstrennwände mit getrennten Flanken und Körperschall dämmende 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.

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.

Es wird geraten, Anforderungen, die über die Schallschutzstufe I der VDI 4100

(2012) hinausgehen, nur dann vertraglich zu vereinbaren, wenn bereits im Planungsstadium die sichere konstruktive Umsetzung aufgezeigt werden kann.

2.8 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“ zu Stande 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! **Erhöhter Schallschutz und kostengünstiges Bauen können miteinander verbunden werden.**

Bei erfahrenen Beratenden Ingenieuren wird dieser Ansatz schon längst in die Praxis umgesetzt. Eine allgemein gültige Aussage zur Kostenfrage ist an dieser Stelle allerdings nicht möglich, da sie von den gegebenen Umständen (Ausgangssituation, gewählte Bauweise, angestrebtes Schallschutzniveau) abhängt.

Verwiesen sei auf entsprechende Studien, die sich bei differenzierter Betrachtung dieser Frage angenommen haben, z.B. [38], [39]. Im Wesentlichen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass im Massivbau ein Schallschutzniveau:

- entsprechend Beiblatt 2 zu DIN 4109 (1989) ohne Mehrkosten und

- die Schallschutzstufe I der VDI 4100 (2007) 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.

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 des DEGA-Schallschutzausweises [19] entwickeln.



Bild 11: Guter Schallschutz ist die Voraussetzung für ungestörtes Arbeiten.

Tafel 9: Anforderungen und Empfehlungen zum baulichen Schallschutz

		E DIN 4109:2013	DIN 4109:1989	Beiblatt 2 zu DIN 4109: 1989	Empfehlung Kalksandstein-industrie ¹⁾	VDI 4100:2007			VDI 4100:2012			
						SSt I	SSt II	SSt III	SSt I	SSt II	SSt III	
Randbedin- gungen	Anwendungsgebiet	Mindestschallschutz Bauaufsichtlich relevante Anforderungen		Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz (Vorschläge für vertragliche Vereinbarungen)								
	Schutzbedürftige Räume	Aufenthaltsräume						Räume mit Grundflächen ≥ 8 m ²				
	Anforderungskenngrößen	$R'_{w} / L'_{n,w} / L_{AF,max,n}$						$D_{nT,w} / L'_{nT,w} / L_{AF,max,nT}$				
Anforderungen/ Empfehlungen	Mehrfamilienhaus	Luftschallübertragung hori- zontal	53	53	55	56	53	56	59	56	59	64
		Luftschallübertragung vertikal	54	54	55	57	54	57	60			
		Trittschallübertragung Decken	50	53	46	46	53	46	39	51	44	37
		Trittschallübertragung Treppen	53	58	46	46	58	53	46			
		Luftschallübertragung Tür: Treppenhaus – Flur	27 ²⁾	27 ²⁾	27 ²⁾	32 ²⁾	–	–	–	–	–	–
		Luftschallübertragung Tür: Treppenhaus – Aufenthalts- raum	37 ²⁾	37 ²⁾	–	– ³⁾	–	–	–	–	–	–
		Gebäudetechnische Anlagen	32	30	–	27	30	30	25	30	27	24
	Reihen-/Doppelhaus	Luftschallübertragung (unterstes Geschoss)	59	57	67	67	57	63	68	65	69	73
		Luftschallübertragung (alle anderen Geschosse)	62									
		Trittschallübertragung Decken	41	48	38	38	48	41	34	46	39	32
		Trittschallübertragung Boden- platte	46									
		Trittschallübertragung Treppen	53	53	46	46 ⁴⁾	53	46	39			
		Gebäudetechnische Anlagen	32	30	–	25	30	25	20	30	25	22

¹⁾ Für den Schutz gegen Außenlärm werden die Anforderungen von DIN 4109 empfohlen. Für den erhöhten Schallschutz raumlufttechnischer Anlagen wird für den Ge- räuscherzeuger $L_{AF,eq,nT} \leq 22$ dB (A) empfohlen.
²⁾ Schalldämm-Maß R'_w
³⁾ Bei erhöhten Anforderungen an den Schallschutz wird diese Art der Grundrissgestaltung nicht empfohlen.
⁴⁾ Mit schalltechnisch entkoppelten Treppen sind deutlich geringere Werte möglich.

3. ANFORDERUNGEN AN DEN BAULICHEN SCHALLSCHUTZ

3.1 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 regelt. Dies ist auch richtig so, weil Anforderun-

gen national gestellt werden. Weiterhin gibt es Regelwerke wie z.B. die **VDI-Richtlinie 4100**, die zwar Anforderungen enthält, aber keine Nachweise selbst regelt, sondern dazu auf andere Regelwerke verweist. Die **DIN 4109** ist das klassische Beispiel für ein Regelwerk, welches Anforderungen und Nachweisverfahren regelt und damit den Schallschutz komplett behandelt.

Den Geltungsbereich der jeweiligen Regelwerke enthält Tafel 8. Vergleichende Zahlenwerte der Anforderungen enthält die Ta-

fel 9. Die Anforderungen aus der DEGA – Empfehlung 103 enthält Tafel 10.

3.1.1 DIN 4109-1:1989-11

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. In dieser Funktion ist sie als Technische Baubestimmung eingeführt. 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

Tafel 10: Anforderungen Luft- und Trittschall der DEGA-Empfehlung 103 für die einzelnen Schallschutzklassen

		Schallschutzklasse						
		F	E	D	C	B	A	A*
Luftschall	Wände/Decken R'_{w} [dB]	< 50	≥ 50	≥ 53/54	≥ 57	≥ 62	≥ 67	≥ 72
Trittschall	Decken, Treppen, Balkone $L'_{n,w}$ [dB]	> 60	≤ 60	≤ 53	≤ 46	≤ 40	≤ 34	≤ 28

Räume berücksichtigen die Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise und den Schutz vor unzumutbarer Belästigung.

Die Anforderungen innerhalb eines Gebäudes gelten nur dem Schutz vor Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. Der eigene Wohn- oder Arbeitsbereich ist nicht Gegenstand der Anforderungen. Ergänzend zu dieser Regelung werden in der neuen DIN 4109:2013 aber in einem informativen Anhang Empfehlungen für maximal zulässige Schalldruckpegel im eigenen Wohnbereich gestellt, die von gebäudetechnischen Anlagen im eigenen Bereich erzeugt werden.

Vorgesehenes Schallschutzniveau

In DIN 4109 heißt es: *„Es kann nicht erwartet werden, dass Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr wahrgenommen 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 und unzumutbare Belästigungen zu vermeiden, ist offensichtlich, dass der Schallschutzanspruch der DIN 4109 ein Niveau definiert, das nicht grundsätzlich ungestörtes Wohnen gewährleistet.

Durch ihre bauaufsichtliche Einführung regelt die DIN 4109 rechtsverbindlich u.a. den Schutz gegen Schallübertragung aus fremden Wohn- und Arbeitsräumen.

Anforderungen

Bis zur bauaufsichtlichen Einführung der neuen DIN 4109:2013 gelten im bauaufsichtlichen Bereich noch die Anforderungen der DIN 4109:1989 aus dem Jahr 1989. Außerhalb des bauaufsichtlichen Bereichs enthält das Beiblatt 2 der alten Norm Vorschläge für den erhöhten Schallschutz und Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohnbereich. Im Rahmen der neuen DIN 4109 ist dafür derzeit kein Nachfolgedokument vorgesehen.

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. Das gilt dann

auch für die Anforderungen einer neuen DIN 4109.

Beim Schallschutz innerhalb eines Gebäudes mit Wohnungen und Arbeitsräumen geht es ausdrücklich nur um den Schutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. Der eigene Wohn- und Arbeitsbereich ist nicht Gegenstand bauaufsichtlicher Anforderungen. Aufenthaltsräume sind z.B. Wohnzimmer, Schlafzimmer, Arbeitsräume, nicht aber Küchen, Bäder, Toiletten, Flure oder Haustechnikräume. Darüber hinaus regelt die DIN 4109 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 offen, welche Anforderungen gestellt werden. In [40] 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 unbekannteren 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 Krankenzimmer nur für einen befristeten Aufenthalt (für Kurzzeit oder Tagespflege) vorgesehen, wofür ein geringerer Schallschutz vertretbar ist.“

3.1.2 Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989-11

Beiblatt 2 zu DIN 4109 (1989) enthält über den Geltungsbereich der DIN 4109 hinausgehend „Vorschläge für erhöhten Schallschutz“ und „Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich“. Angesichts des rein zivilrechtlichen Charakters der in Beiblatt 2 vorgeschlagenen Werte heißt es dort: „Ein

erhöhter Schallschutz einzelner oder aller Bauteile nach diesen Vorschlägen muss ausdrücklich zwischen dem Bauherrn und dem Entwurfsverfasser vereinbart werden...“. Eine gleich lautende Formulierung findet sich auch für den eigenen Wohn- und Arbeitsbereich. Diese Formulierung kann rechtlich allerdings nicht so interpretiert werden, dass ein bestimmter Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich nur dann geschuldet wird, wenn darüber ausdrückliche Vereinbarungen bestehen.

Nach dem heute vorherrschenden Verständnis ist das Beiblatt 2 nicht in der Lage, für den Luftschallschutz in Geschosshäusern mit Wohnungen und Arbeitsräumen einen wirklichen erhöhten Schallschutz zu definieren.

3.1.3 E DIN 4109:2013

3.1.3.1 Aktuelle Normungssituation

Infolge der Umsetzung der europäischen Schallschutznormung ist die DIN 4109 (1989) komplett überarbeitet worden und liegt als Normentwurf vor [5–6] und [26–32]. Die bauaufsichtliche Einführung steht noch aus. Allerdings sind die Inhalte des neuen Regelwerkes bekannt, so dass ihre aktuelle Bedeutung für die baupraktische Anwendung erörtert werden kann.

Bei den Anforderungswerten selbst wird es keine wesentlichen Änderungen geben. Lediglich beim Trittschall ist eine geringe Absenkung der Normtrittschallpegel und bei der Luftschalldämmung in Doppel- und Reihenhäusern eine moderate Erhöhung der Werte vorgesehen. Einige Anforderungswerte dieses Entwurfs werden in Tafel 9 dargestellt. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass im abschließenden Normungsvorgang bis zur bauaufsichtlichen Einführung noch Änderungen der genannten Werte eintreten könnten.

Für das Bauen mit Kalksandstein sind diese Eventualitäten aber eine eher nebensächliche Angelegenheit, da die DIN 4109 lediglich die Mindestanforderungen regelt, während die verfügbaren bautechnischen Lösungen die Einhaltung unterschiedlichster Schallschutzniveaus erlauben.

3.1.3.2 Struktur von E DIN 4109:2013

Die DIN 4109 legt Anforderungen fest und definiert, wie die Erfüllung der Anforderungen nachzuweisen ist. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, gliedert sich die neue DIN 4109 in folgende vier Teile:

- E DIN 4109-1: Anforderungen an die Schalldämmung [26]

- E DIN 4109-2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen [5]
- E DIN 4109-31 bis E DIN 4109-36: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) [6] und [27–31]
- E DIN 4109-4: Handhabung bauakustischer Prüfungen [32]

Jeder Teil dieser Norm behandelt eigenständig und ausschließlich einen bestimmten Aspekt der Schallschutznormung. Nachfolgend werden die Grundzüge der einzelnen Teile vorgestellt.

Die Teile 2 und 3 von E DIN 4109 liefern auf Grundlage der europäischen Berechnungsverfahren der DIN EN 12354 ([42] bis [46]) einen systematischen und vollständigen Ansatz für die bauakustische Planung, der weit über die Möglichkeiten der bisherigen DIN 4109 hinausgeht und in der Fachöffentlichkeit seit langem anerkannt ist.

3.1.3.3 Anforderungskonzept der E DIN 4109:2013

Ein vollständiges Anforderungskonzept kann sich nicht mit der Nennung der Anforderungswerte begnügen. Es muss auch sagen, wie die Erfüllung der Anforderung nachgewiesen werden muss und mit welchen Instrumenten das zu geschehen hat. So gesehen bildet die E DIN 4109:2013 mit ihren vier Teilen eine zusammenhängende Einheit, die den gesamten Bereich der Anforderungen und der Nachweise abdeckt.

Entgegen dem Entwurf aus dem Jahr 2006 [41] ist das Schallschutzkonzept auf der Basis nachhallzeitbezogener Größen im aktuellen Entwurf aufgegeben worden. Die Anforderungen richten sich beim Luftschall damit nicht wie ursprünglich beabsichtigt an den durch eine Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ beschriebenen Schallschutz zwischen zwei Räumen, sondern wie bisher mit dem R'_w an die trennenden Bauteile.

Dem trägt auch der neue Titel des Anforderungsteils Rechnung, in dem DIN 4109-1 „Schallschutz im Hochbau – Anforderungen an die Schalldämmung“ genannt wird. Zumindest gedanklich richtet sich damit der Blick primär wieder auf die trennenden Bauteile, auch wenn die Anforderungsgrößen R'_w und $L'_{n,w}$ immer alle beteiligten Schallübertragungsmöglichkeiten beinhalten.

Da die Größen R'_w und $L'_{n,w}$ nicht mehr wie in der alten DIN 4109 auch zur Kennzeichnung von Bauteileigenschaften („mit bauüblichen Nebenwegen“) verwendet werden, ist zu hoffen, dass sie zukünftig nicht mehr mit den Bauteileigenschaften R_w und $L_{n,w}$ verwechselt werden.

Auch wenn zukünftig in DIN 4109-1 die Anforderungen wieder primär an die trennenden Bauteile gestellt werden, so ändert sich doch im Nachweisverfahren die Bedeutung der flankierenden Bauteile und der Stoßstellen erheblich. Dadurch kann auch die schalltechnische Bemessung der Trennbauteile erheblich beeinflusst werden.

3.1.3.4 Anforderungen in E DIN 4109-1:2013

Die Anforderungen der neuen DIN 4109 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 Gebäudeaustattung (einschließlich der Wasserinstallation)
- Schutz gegen Geräusche aus Betrieben 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 als Mindestanforderungen zu verstehen. Einen erhöhten Schallschutz, wie er in der Vorgängernorm DIN 4109 (1989) noch in deren (nicht bauaufsichtlich eingeführtem) Beiblatt 2 enthalten war, gibt es nicht mehr.

Einen Auszug der Anforderungen enthält Tafel 9.

3.1.3.5 Berücksichtigung der Unsicherheiten

Prognoserechnungen, wie sie auch im Rahmen der Schallschutznachweise mit den Methoden der DIN 4109 durchgeführt werden, sind grundsätzlich immer mit Unsicherheiten behaftet. Mit Hinblick auf die Einhaltung geschuldeter Anforderungen ist

es deshalb notwendig, Annahmen zur Prognosesicherheit zu treffen.

Hierzu hat E DIN 4109-2: 2013 ein Sicherheitskonzept zur Berücksichtigung der Unsicherheiten der Eingangsdaten und der Berechnung entwickelt [5]. Die Prognoserechnung wird mit Eingangsdaten ohne jegliche Sicherheitszuschläge oder -abschläge vorgenommen. Das auf die Bauteile angewendete Vorhaltemaß der alten DIN 4109 gibt es also nicht mehr. Zum Vergleich mit den Anforderungen werden das Endergebnis der Prognoserechnung und die dazugehörige Unsicherheit benötigt.

Grundsätzlich werden zwei getrennte Schritte durchgeführt:

- die eigentliche Prognoserechnung und
- die dazugehörige Ermittlung der Unsicherheit der Prognose.

Der erste Schritt liefert die Größen R'_w oder $L'_{n,w}$. Im zweiten Schritt wird die für die betrachtete Bausituation geltende Unsicherheit der Prognose u_{prog} ermittelt. Der ermittelte Wert der Prognoseunsicherheit wird dem separat berechneten Ergebnis der Prognoserechnung zugeschlagen. Beim Luftschallschutz führt das zu einem Abschlag, der das Berechnungsergebnis von R'_w vermindert, beim Trittschall wird der berechnete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ durch einen Zuschlag erhöht. Für den Vergleich mit den Anforderungen ergibt sich dann für die Luftschalldämmung im Gebäude und gegenüber Außenlärm:

$$R'_w - u_{prog} \geq \text{erf. } R'_w \quad (3.1)$$

und für die Trittschallübertragung

$$L'_{n,w} + u_{prog} \leq \text{zul. } L'_{n,w} \quad (3.2)$$

Für die Ermittlung der Unsicherheit stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Eine detaillierte Unsicherheitsrechnung, die das Zusammenwirken und die Fortpflanzung der einzelnen Unsicherheitsanteile berücksichtigt.
- Eine vereinfachte Ermittlung der Unsicherheit durch Festlegung eines pauschalen Wertes. Beim Luftschallschutz konnte dieser Wert anhand umfangreicher Untersuchungen für übliche Wohngebäude mit 2 dB ermittelt werden. Das berechnete Bauschalldämmmaß R'_w wird also um 2 dB vermindert,

bevor es mit dem Anforderungswert verglichen wird.

Der Regelfall für die Berücksichtigung der Unsicherheit beim Luftschallschutz in E DIN 4109-2 ist ein pauschaler Abschlag von 2 dB auf das Endergebnis der Berechnung.

Die pauschale Festlegung der Unsicherheit stellt im Sicherheitskonzept der neuen DIN 4109 den Regelfall dar. Falls geeignete Daten für die Teilunsicherheiten zur Verfügung stehen, darf alternativ auch die detaillierte Unsicherheitsberechnung durchgeführt werden. Im Einzelfall könnten sich damit gegenüber dem pauschalen Abschlag geringere Unsicherheiten ergeben.

Die genannte Vorgehensweise zur Berücksichtigung der Unsicherheiten ist in dieser Art zuerst einmal für den bauaufsichtlichen Anwendungsbereich der DIN 4109 verbindlich festgelegt. Es spricht nichts dagegen, diese Regelungen dort zu übernehmen, wo eine bauakustische Planung außerhalb des bauaufsichtlichen Bereichs, z.B. für den erhöhten Schallschutz, vorgenommen wird. Im Sinne der Planungsverantwortung wäre es dem Planer aber freigestellt, gemäß eigener Erfahrung mit anderen Unsicherheitsabschlägen zu arbeiten. Denkbar wäre z.B., bei garantierten Randbedingungen der Bauausführung, die zur Steigerung der bauakustischen Ausführungssicherheit führen, mit kleineren Abschlägen zu arbeiten. Dies sollte allerdings nur dann erfolgen, wenn die Wirksamkeit der Maßnahmen in hohem Maße abgesichert ist.

3.1.4 VDI-Richtlinie Schallschutz von Wohnungen

3.1.4.1 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.

3.1.4.2 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 9 aufgeführt.

3.1.4.3 VDI-Richtlinie 4100:2012

Nach einer grundlegenden Überarbeitung hat die neue 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 DIN 4109 übereinstimmte, beschreibt die neue SSt I bereits einen gegenüber der DIN 4109 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 begrenzt, sind bei der VDI 4100:2012 alle Räume einer Wohnung mit mindestens 8 m² 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 neuen VDI 4100 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.

Die Schallschutzstufen von VDI 4100:2007 sind nicht vergleichbar mit den Schallschutzstufen von VDI 4100:2012.

3.1.5 VDI 2566:2011-04 Schallschutz bei Aufzugsanlagen

Die VDI-Richtlinie 2566:2011-04 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 Vorschläge für die Ausführung. Die wesentliche bauakustische Festlegung ist die Vorgabe für die flächenbezogene Masse der Schachtwand. In einer differenzierteren Betrachtung der Grundrissituation wird dafür je nach Lage der Aufzugsanlage und der schutzbedürftigen Räume eine flächenbezogene Masse von 490 kg/m² oder 580 kg/m² gefordert.

3.1.6 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 [33], in dem zum Verhältnis von DIN 4109 und den anerkannten Regeln der Technik Stellung genommen wird

- DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis [19]

Die DEGA-Empfehlung 103 wurde 2009 veröffentlicht. Sie beschreibt ein Konzept zur Klassifizierung von Wohneinheiten mittels Schallschutzklassen. Die sieben Schallschutzklassen (siehe 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.

3.2 Hinweise zur Festlegung des Schallschutzniveaus

Wie das Schallschutzniveau im konkreten Fall festgelegt werden soll, kann nicht allgemein gültig ohne Berücksichtigung der aktuellen Umstände definiert werden. Einige Hinweise können jedoch gegeben werden:

Die gesetzlich festgelegten Anforderungen der DIN 4109 sind Mindestanforderungen, die zufrieden stellende akustische Bedingungen nicht zwangsläufig sicherstellen.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Rechtsprechung ist eine schwindende Akzeptanz gegenüber den (Mindest-)Anforderungen der DIN 4109 festzustellen. 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 vorgesehene 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 realisiert werden sollen, sind für das Abweichen von einem üblichen Standard strenge Maßstäbe anzulegen. Vom BGH heißt es dazu [37]: „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. Um dieser Tatsache und dem Schutzbedürfnis der Bewohner Rechnung zu tragen, sollte ein Schallschutz über dem Standard der DIN 4109 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.

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 der VDI 4100 oder der DEGA-Empfehlung 103 veröffentlicht wurden. Ein Schallschutz auf dem Niveau des Beiblatts 2 der 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 liegt dann vor, wenn der Luftschallschutz um mindestens 3 dB ($R'_{w} \geq 56$ dB horizontal, $R'_{w} \geq 57$ dB vertikal) und der Trittschallschutz um mindestens 7 dB verbessert wird ($L'_{n,w} \leq 46$ dB). Dies wird in der Empfehlung der Kalksandsteinindustrie vorgeschlagen (siehe Tafel 9).

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 [20] heißt es dazu: „Ist eine Bauweise nicht vereinbart worden, so kann der Bauunternehmer sich zudem nicht auf Mindestanforderungen nach DIN 4109 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 mindestens 5 dB betragen, da sich gezeigt hat, dass die erkennbaren Qualitätsstufen bei höherer Schalldämmung größer anzusetzen sind. Ausgehend von E DIN 4109-1 mit $R'_{w} = 62$ dB für nicht unterkellerte Bauweise kommt man dadurch als Empfehlung auf $R'_{w} \geq 67$ dB. Das ist mehr als von der VDI 4100(2012) in der SSt I ($D_{nT,w} \geq 65$ dB) vorgesehen. 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 kann im Einzelfall mehr als die empfohlenen 67 dB sein.

Zusammengefasste Empfehlungen:

- DIN 4109 reicht meist nicht aus. Durchschnittlich erreichte Schallschutzwerte im Wohnungsbau liegen heutzutage über DIN 4109.
- Erkennbare Qualitätsunterschiede liegen gegenüber DIN 4109 beim Luftschallschutz um mindestens 3 dB höher, beim Trittschallschutz um mindestens 7 dB niedriger.
- 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 erforderlich. Das kann im Einzelfall, wenn das Bauteil mehr kann als der vereinbarte Schallschutzwert, zu höheren Anforderungen führen.
- Vorzusehender Schallschutz ist in widerspruchsfreier Vertragsgestaltung einzubinden.

3.3 Planungsgrundlagen des Schallschutzes mit den Kenngrößen R'_w und $D_{nT,w}$

Anforderungsgröße der DIN 4109 ist beim Luftschall das bewertete Bauschalldämm-Maß R'_w . In einem informativen Anhang der E DIN 4109-1 wird ergänzend auf die so genannten nachhallzeitbezogenen Größen zur Beschreibung des Schallschutzes hingewiesen (beim Luftschall ist das $D_{nT,w}$). In E DIN 4109-2 werden ebenfalls in einem informativen Anhang Angaben zur „Ermittlung nachhallzeitbezogener Größen zur Planung des Schallschutzes“ gegeben. Die VDI 4100 hat diese nachhallzeitbezogenen Größen zur Grundlage ihrer Schallschutzstufen für den erhöhten Schallschutz gemacht. 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 E 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.

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 1.2, Gleichung (1.4))

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 (siehe Bild 7).

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 Bauschalldämm-Maß R'_w , welches der Bauteildimensio-

nierung zugrunde gelegt wird, ergibt sich durch

$$R'_w = \text{erf. } D_{nT,w} + 10 \lg \left(\frac{3,1 S}{V} \right) [\text{dB}] \quad (3.4)$$

mit
 S Trennwandfläche
 V Raumvolumen

Wegen der 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 4.2.3 beschriebenen Berechnungsverfahrens, das im KS-Schallschutzrechner implementiert ist. Analog wird bei der Realisierung des Trittschallschutzes verfahren.

Bei der planerischen Umsetzung des neuen Schallschutzkonzeptes 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 Volumen des zu betrachtenden Empfangsraumes 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 11 zeigt als Beispiel, dass sich für das $D_{nT,w}$ je nach Raumvolumen und Grundrissituation unterschiedliche Werte zwischen 52 und 58 dB ergeben, obwohl das vorhandene Bauschalldämm-Maß R'_w in allen betrachteten Fällen 53 dB beträgt (Umrechnung mit Gleichung 1.3).

- 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 lautereren in den leiseren Raum.
- 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) $D_{nT,w} \approx R'_w$ angesetzt werden. Bei größeren Empfangsräumen (Raumtiefe etwa 6 m) kann $D_{nT,w} \approx R'_w + 3$ dB abgeschätzt werden.

Tafel 11: 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 m ²	5 m ²	10 m ²	5 m ²
Grundfläche	10 m ²	10 m ²	20 m ²	20 m ²
Raumvolumen V	25 m ³	25 m ³	50 m ³	50 m ³
R'_w	53 dB	53 dB	53 dB	53 dB
$D_{nT,w}$	52 dB	55 dB	55 dB	58 dB

4. BEMESSUNG DES SCHALLSCHUTZES UND DER SCHALLDÄMMUNG

4.1 Die Schallschutznorm DIN EN 12354

4.1.1 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 12354-1: Luftschalldämmung zwischen Räumen [3]
- DIN EN 12354-2: Trittschalldämmung zwischen Räumen [42]
- DIN EN 12354-3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm [43]
- DIN EN 12354-4: Schallübertragung von Räumen ins Freie [44]
- DIN EN 12354-5: Installationsgeräusche [45]
- DIN EN 12354-6: Schallabsorption in Räumen [46]

Alle Teile liegen in deutscher Übersetzung als DIN EN-Normen der Normenreihe 12354 vor.

4.1.2 Nationale Umsetzung

Bei der Umsetzung im Rahmen der neuen E DIN 4109 spielten die ersten beiden Teile 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 beschäftigen. Grundsätzlich wurde die Entscheidung getroffen, dass beim für die

DIN 4109 durchzuführenden Schallschutznachweis auf das so genannte „Vereinfachte Modell“ zurückgegriffen wird: 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 entspricht im Wesentlichen dem derzeitigen Verfahren (äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ und bewertete Trittschallminderung ΔL_w), berücksichtigt aber zusätzlich für die flankierende Trittschallübertragung einen Korrekturwert K , der in Abhängigkeit von der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile ermittelt wird:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad (4.1)$$

Harmonisierte Prüfverfahren und Rechenmethoden berührten Konzept und Inhalt der DIN 4109 und deren Beiblatt 1 so weitgehend, dass eine komplette Überarbeitung notwendig wurde. Dafür waren vor allem die folgenden Schritte erforderlich:

- die harmonisierten Rechenverfahren hinsichtlich der deutschen Baubedingungen verifizieren,
- den Bauteilkatalog (bisher: Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 [23]) überarbeiten, vor allem die Eingangsdaten für die Direktdämmung massiver Bauteile und Eingangsdaten für Stoßstellendämm-Maße verfügbar machen,
- Handlungsanleitungen zur Handhabung der Rechenverfahren erstellen (Anwendungsdokumente).

Betroffen vom Umstellungsdruck war vor allem der Massivbau, da dort alle bisherigen Bauteildaten auf der Basis von R'_w -Werten nicht mehr verwendet werden konnten und für die Stoßstellendämm-Maße ebenfalls nicht auf Vorhandenes zurückgegriffen werden konnte. Neue Werte mussten in beiden Fällen erst ermittelt und verifiziert werden.

Die für das neue DIN 4109-Konzept benötigten Teile wurden – konform mit europäischen Normungsgepflogenheiten – für

die nationale Anwendung aufbereitet und in die Normentwürfe zur DIN 4109 [5–6] und [27–31] eingearbeitet. Die in den Normentwürfen enthaltenen Rechenverfahren und Bauteildaten entsprechen sinngemäß einem „Nationalem Anwendungsdokument (NA)“, wie es von den Eurocodes bekannt ist.

Im Folgenden werden nur noch die in den Normentwürfen DIN 4109 enthaltenen Angaben behandelt.

4.2 E DIN 4109:2013

4.2.1 Aktuelle Normungssituation

Die für die Bemessung (Prognose) des Schallschutzes maßgeblichen Normteile der neuen DIN 4109 liegen ab Ende 2013 der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vor. Wenn auch noch kleinere Änderungen im Normtext zu erwarten sind, so stellen die in ihr enthaltenen Rechenvorschriften grundsätzlich (nicht bauaufsichtlich) den allgemein anerkannten Stand der Technik dar. Dies umso mehr, weil einige Massivbauteile nicht nach dem Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 nachzuweisen waren und aus diesem Grund bereits eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) erlassen wurde, die die neuen Rechenregeln z.T. vorgnimmt [47].

Im Einzelnen liegen vor:

- E DIN 4109-2:2013 Schallschutz im Hochbau-Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen [5]
- E DIN 4109-31:2013; Schallschutz im Hochbau-Teil 31: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Rahmendokument und Grundlagen [27]
- E DIN 4109-32:2013; Schallschutz im Hochbau-Teil 32: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau [6]
- E DIN 4109-33:2013; Schallschutz im Hochbau-Teil 33: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau [28]
- E DIN 4109-34:2013; Schallschutz im Hochbau-Teil 34: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen [29]

- DIN 4109-35:2013; Schallschutz im Hochbau-Teil 35: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente [30]
- E DIN 4109-36:2013; Schallschutz im Hochbau-Teil 36: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Gebäudetechnische Anlagen [31]

Die Teile 2 und 31 bis 36 von E DIN 4109 liefern somit auf Grundlage der europäischen Berechnungsverfahren der DIN EN 12354 ([3] und [42–46]) einen systematischen und vollständigen Ansatz, der weit über die Möglichkeiten der bisherigen DIN 4109 hinausgeht und nicht nur in der Fachöffentlichkeit seit langem anerkannt ist.

4.2.2 Rechenverfahren für die Luftschalldämmung

Die Rechenverfahren 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 12 zeigt 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

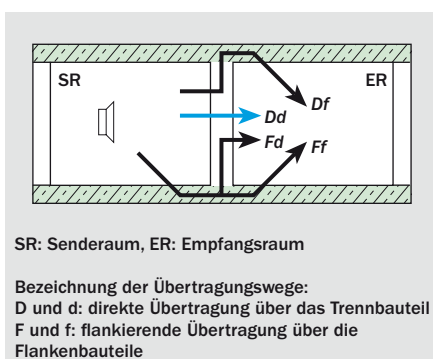


Bild 12: Zu berücksichtigende Schallübertragungswege beim Vereinfachten Modell

$$R'_w = -10 \lg \left[10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{f=1}^n 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_{F=1}^n 10^{-R_{Fd,w}/10} \right] \quad [4.2]$$

R'_w Bauschalldämm-Maß
 $R_{Dd,w}$ Direktschalldämm-Maß des Trennbauteils
 $R_{Ff,w}$ $R_{Df,w}$ und $R_{Fd,w}$ Flankenschalldämm-Maße

Bild 13: Berechnung des Bauschalldämm-Maßes R'_w nach E DIN 4109:2013

werden. Die resultierende Schalldämmung R'_w unter Berücksichtigung aller flankierenden Wege ergibt sich dann durch „energetische“ Addition der einzelnen Schalldämm-Maße (siehe Bild 13).

Es ist klar, dass diese Berechnung unter praktischen Bedingungen nicht von Hand, sondern mit Hilfe geeigneter Berechnungsprogramme durchgeführt wird (siehe Abschnitt 4.3). 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

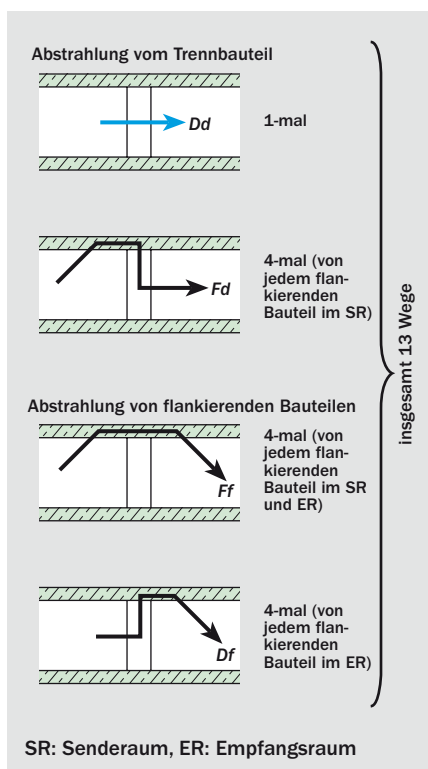


Bild 14: Direkte und flankierende Übertragungswege zwischen zwei Räumen

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 neue, dafür benötigte Größe ist das so genannte Stoßstellendämm-Maß K_{jj} , durch welches die Schallübertragung über die Bauteilverbindung hinweg charakterisiert wird.

4.2.3 Schalldämmung einschaliger Wände nach E DIN 4109-2 und E DIN 4109-3

4.2.3.1 Von EN 12354-1 zu E DIN 4109

Schon bald nachdem sich der Überarbeitungsbedarf der DIN 4109 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 zukünftigen Vorgehensweisen zu stellen. Insbesondere ging es dabei um die folgenden Aufgaben:

- Verifizierung des Rechenverfahrens nach 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 Schallschutzkonzeptes von DIN 4109

Entsprechende umfangreiche Untersuchungen wurden an der Hochschule für Technik Stuttgart durchgeführt. Endergebnis dieser Untersuchungen [4] sind abgesicherte Bauteil-Kennwerte für Kalksandstein-Mauerwerk, die als realistische und verlässliche Beschreibung der Bauteileigenschaften betrachtet werden können und ein Berechnungsverfahren, das für die Anwendung unter den vorliegenden Massiv-

baubedingungen mit Kalksandsteinen zur bestmöglichen Prognose führt. Der schalltechnische Nachweis für das Bauen mit Kalksandstein-Mauerwerk kann komplett durch die Angaben im neuen Bauteilkatalog, insbesondere der E DIN 4109-32, abgedeckt werden, ohne dass auf Angaben aus Prüfzeugnissen zurückgegriffen werden muss. Für die Durchführung der Berechnungen wurde ein Berechnungsprogramm entwickelt [48] (siehe Abschnitt 4.3).

4.2.3.2 Direktschalldämmung Allgemeines

Die Direktdämmung eines Bauteils ist die maßgebliche Eigenschaft zur Beschreibung seiner schalltechnischen Leistungsfähigkeit. Sie kann entweder direkt aus Bauteilkatalogen wie z.B. E DIN 4109-3: 2013 oder aus Prüfzeugnissen entnommen werden. Bei Bauteildaten, die nicht aus dem Bauteilkatalog der E DIN 4109-3 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 E DIN 4109-32 enthaltenen Daten für die Schalldämmung massiver Bauteile basieren auf umfangreichen Forschungsvorhaben wie sie z.B. in [4] ermittelt wurden. Sie sind im Rahmen der Schallschutznachweise der DIN 4109 verbindlich.

Im Massivbau spielt die Direktdämmung 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 4.2.3.4) 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.

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. Man benötigt als relevante Größen also die (Direkt)dämmung des Grundbauteils R_w und die so genannte Verbesserung der Schalldämmung ΔR_w durch die Vorsatzkonstruktion, aus denen sich durch Addition die (Direkt)dämmung der Gesamtkonstruktion ergibt. Auf diese Art können rein rechnerisch beliebige einschalige Bauteile mit beliebigen Vorsatzkonstruktionen kombiniert werden. Die Vorsatzkonstruktionen können sowohl bei trennenden Bauteilen für die Direktdämmung als auch bei flankierenden Bauteilen für die Flankendämmung berücksichtigt werden. Weitere Ausführungen zur Behandlung von Vorsatzkonstruktionen finden sich in Abschnitt 6.3 (WDVS) und Abschnitt 5.1.3.1 (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 Direktdämmung 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 beeinflusst, so dass sich auch seine Direktdämmung ändert. Sie wird also von der Einbau-

situation beeinflusst. Dieser Effekt kann bei völliger Entkopplung eines Bauteils von der umgebenden Gebäudestruktur zu einer Verminderung der Schalldämmung 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.

Im üblichen Massivbau können die Verhältnisse durch eine typische Einbausituation beschrieben werden, die in E 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 6.2 und Bild 15 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 14 dargestellt. Als akustisch entkoppelt ist eine Bauteilkannte 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 mindesten zwei solcher entkoppelter Kanten vorliegen, ist das Schalldämmmaß des trennenden Bauteils nach un-

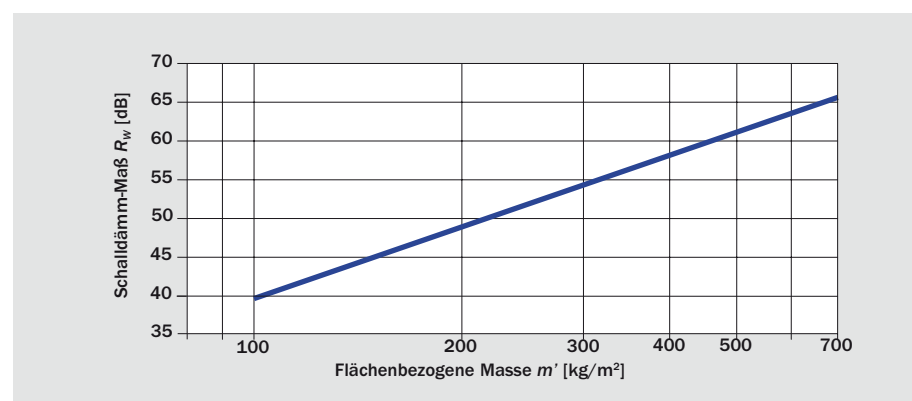


Bild 15: Massekurve für Kalksandstein

ten zu korrigieren. Die dafür im Rahmen der E 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-Schallschutz-Rechner (Abschnitt 4.3) 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.

4.2.3.3 Massekurve für Kalksandstein-Mauerwerk

Im Bewusstsein der Anwender der DIN 4109 (1989) spielt die Tabelle 1 aus Beiblatt 1 der alten DIN 4109 eine zentrale Rolle. Mit Hilfe dieser Tabelle, die auch als „Massetabelle“ bekannt ist, kann aus der flächenbezogenen Masse von einschaligen, biegesteifen Wänden und Decken das bewertete Schalldämm-Maß R'_w (unter Berücksichtigung einer mittleren flankierenden Übertragung) ermittelt werden. Diese Kenngröße ist auf der Basis europäisch harmonisierter Normen aber nicht mehr zulässig. Benötigt wurde also eine neue Massekurve auf der Basis von R_w -Werten (ohne Flankenwege gemessen!).

Tafel 12: Schalldämm-Maße¹⁾ (ohne Flankenwege) von Kalksandsteinwänden²⁾ der RDK 1,8³⁾ entsprechend Massekurve (Bild 15)

Wanddicke [cm]	Flächenbezogene Masse m' [kg/m ²]	Schalldämm-Maß R_w [dB]
7	129	43,0
10	180	47,5
11,5	205,5	49,3
15	265	52,7
17,5	307,5	54,7
20	350	56,4
24	418	58,8
30	520	61,7

¹⁾ Das Schalldämm-Maß R_w wird maßgeblich durch die flankierende Übertragung der angrenzenden Bauteile beeinflusst.
²⁾ Jeweils zzgl. 2 · 5 mm Dünnlagenputz (= 2 · 10 kg/m²)
³⁾ Bei anderen RDK oder Putzdicken ergeben sich abweichende flächenbezogene Massen. Bei RDK 2,0 ergeben sich etwa 1,5 dB höhere Schalldämm-Maße als bei RDK 1,8.

Aufgrund umfangreicher Prüfstandsmessungen wurde eine Datenbasis gewonnen (Tafel 12), aus der eine neue, abgesicherte Massekurve für Kalksandstein-Mauerwerk generiert werden konnte. Die Massekurve in Bild 15 wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$R_w = 30,9 \log(m'_{ges}/m'_0) - 22,2 \text{ [dB]} \tag{4.3}$$

mit der Bezugsgröße $m'_0 = 1 \text{ kg/m}^2$

Die R_w -Werte der neuen Massekurve können nicht mit den R'_w -Werten der bisherigen Massetabelle aus Beiblatt 1 zu DIN 4109 verglichen werden, da es sich um zwei grundsätzlich unterschiedliche Größen handelt.

Der in Gleichung (4.3) dargestellte Zusammenhang berücksichtigt bereits eine typische Einbausituation, wie sie im üblichen Massivbau anzusetzen ist (siehe Abschnitt 4.2.3.2, In-situ-Korrektur).

4.2.3.4 Flankenschalldämmung

Durch das neue Rechenverfahren rückt die flankierende Schall-Übertragung in den Mittelpunkt des Interesses. Dies wird alleine 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 Flankenschalldämm-Maß $R_{j,w}$ für die Übertragung von einem Bauteil (i) auf ein Bauteil (j) wie folgt beschreiben:

$$R_{j,w} = \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{j,w} + K_j + 10 \lg \frac{S_s}{l_o \cdot l_f} \tag{4.4}$$

- mit
- $R_{i,w}$ Direktschalldämm-Maß des flankierenden Bauteils auf der Sendebzw. Empfangsseite
- $R_{j,w}$ Verbesserung der Schalldämmung durch Vorsatzschalen auf den Bauteilen des Flankenweges auf der Sendebzw. Empfangsseite
- $\Delta R_{j,w}$
- K_j Stoßstellendämm-Maß
- S_s Trennwandfläche
- l_f Gemeinsame Kantenlänge von Trenn- und Flankenbauteil
- $l_o = 1 \text{ m}^2$ Bezugsfläche

Man erkennt, dass auch bei der Flankendämmung die Direktdämmung 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_j charakterisiert wird. K_j 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. Dafür müssen aber die benötigten Stoßstellendaten zur Verfügung stehen. Stärker noch als bei den benötigten Schalldämm-Maßen zeigte sich allerdings hier der Mangel an verfügbaren Daten und Erfahrungen. Ein wesentlicher Bestandteil der beschriebenen Untersuchungen bestand deshalb in der experimentellen Ermittlung von Stoßstellendaten in Gebäuden und umfangreichen ergänzenden Untersuchungen im Labor. Neben der Festlegung von Werten für die Berechnung konnten auf diese Weise zusätzlich auch wesentliche Eigenschaften von Mauerwerkstoßstellen grundsätzlich und mit Hinblick auf bautechnische Fragestellungen untersucht werden.

Die Gleichung (4.4) 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_j sollte ebenfalls möglichst hoch sein.
- Vorsatzkonstruktionen (z.B. Vorsatzschalen oder schwimmende Estriche) entlang des Flankenweges erhöhen die Flankendämmung um $\Delta R_{j,w}$ (siehe hierzu auch Gl. (5.1))

Gleichung (4.4) 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.

In E DIN 4109-2 wird dieses Problem dadurch gelöst, dass eine Mindesttrennfläche $S_{min} = 8 \text{ m}^2$ vorgesehen wird.

4.2.4 Schalldämmung zweischaliger Haustrennwände nach E DIN 4109-2 und E DIN 4109-32

4.2.4.1 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 Fugenhohlraumes (Luftpolster oder Dämmschicht) gebildet wird (Bild 16).

Die Resonanzfrequenz f_0 [Hz] dieses Schwingungssystems kann berechnet werden durch

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (4.5)$$

mit
 m'_1 Flächenbezogene Massen der Wandschalen in kg/m^2
 m'_2
 s' Dynamische Steifigkeit der Dämmschicht oder des Luftpolsters im Hohlraum in MN/m^3

Der prinzipielle Verlauf der Schalldämmung der zweischaligen Konstruktion wird im Bild 17 dargestellt und mit der Schalldämmung einer gleichschweren einschaligen Wand verglichen.

Drei charakteristische Frequenzbereiche sind zu erkennen:

- 1 Der Bereich unterhalb der Resonanzfrequenz, bei dem sich die zweischalige Konstruktion so verhält wie die gleich-

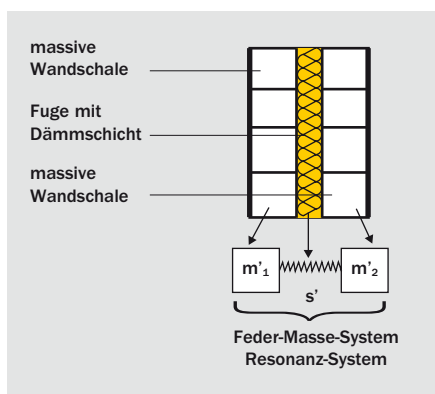


Bild 16: Zweischalige Wand als Feder-Masse-System

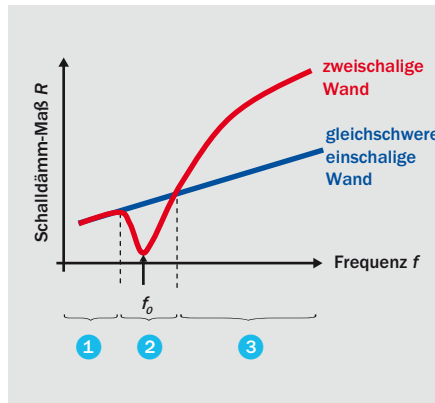


Bild 17: Schalldämmung einer zweischaligen und einer gleichschweren einschaligen Wand (Legende im Text)

schwere 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 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 ($f > 100 \text{ Hz}$) 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 $f_0 \leq 80 \text{ Hz}$ gelegt wird.

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 18 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 4.2.4.4). Oft spielen diese Flankenwege sogar die Hauptrolle und vermindern die Schalldämmung der zweischaligen Konstruktion in den betroffenen Stockwerken erheblich.

4.2.4.2 Situation in Beiblatt 1 DIN 4109:1989

Durch die zweischalige Ausführung von Haustrennwänden kann gegenüber gleichschweren einschaligen Wänden eine wesentlich höhere Schalldämmung erreicht werden. Beiblatt 1 zu DIN 4109 (1989) enthält detaillierte Vorgaben für die Ausführung massiver zweischaliger Haustrennwände, mit denen eine fehlerfreie Ausführung und die Einhaltung der Anforderungen gewährleistet werden soll. Diese Vorgaben finden sich auch im Bauteilkatalog der neuen DIN 4109, so dass die Ausführungen nach Beiblatt 1 weiterhin Gültigkeit haben.

Darüber hinaus enthält Beiblatt 1 zu DIN 4109 (1989) ein Verfahren, mit dem das bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ einer massiven zweischaligen Haustrennwand für den Schallschutznachweis der DIN 4109 bestimmt werden kann. Nach diesem Verfahren darf auf das Schalldämm-Maß der gleichschweren einschaligen Wand (Summe beider Schalen und Berücksichtigung von Putzschichten) ein Zuschlag von 12 dB addiert werden:

$$R'_{w,R \text{ (zweischalig)}} = R'_{w,R \text{ (einschalig)}} + 12 \text{ dB} \quad (4.6)$$

Die nach dieser Methode ermittelten Schalldämm-Maße setzen eine sorgfältige Ausbildung der Trennfuge voraus. Es dürfen keine Schallbrücken auftreten. Der Zuschlag von 12 dB ist an die uneingeschränkte Funktionsfähigkeit der Trennfuge gebunden. Ist dies erfüllt, werden in der Praxis allerdings auch die prognostizierten Werte erreicht, oft sogar deutlich überschritten.

Das so ermittelte Schalldämm-Maß ist nur für die Schallübertragung in Erd- und Obergeschossen von unterkellerten Gebäuden bzw. den Obergeschossen nicht unterkellerten Gebäude gültig.

Grundvoraussetzung ist, dass die Trennfuge ohne Unterbrechung vom Fundament bis zum Dach geführt wird. Beste-

hen Schallschutzanforderungen im Keller-
geschoss (z.B. bei hochwertig genutzten
Kellerräumen) oder im Erdgeschoss von
nicht unterkellerten Gebäuden, kann dieses
Verfahren nicht angewendet werden.

4.2.4.3 Geringere Schalldämmung bei unvollständiger Trennung

Im untersten Geschoss wird eine vollständige Trennung der Schalen aus baupraktischen Gründen meist nicht ausgeführt. Durchgehende Bodenplatten, Fundamente oder Außenwände bewirken eine Kopplung der Schalen und vermindern dadurch die bei vollständiger Trennung erreichbare Schalldämmung. Der Zuschlag von 12 dB darf dann für die Berechnung der Schalldämmung im untersten Geschoss nicht angesetzt werden. 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 und dort der Zuschlag von 12 dB ebenfalls nicht ansetzbar.

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 dabei für die unvollständige Trennung die in Tafel 13 dargestellten Fälle 1 bis 3 zu unterscheiden:

- 1 Durchlaufende Bodenplatte (Fall 1)
- 2 Getrennte Bodenplatten, gemeinsames Fundament (Fall 2)
- 3 Getrennte Bodenplatten, getrennte Fundamente (Fall 3).
- 4 Vollständige Trennung (Fall 4)

4.2.4.4 Prognose des Schalldämm-Maßes zweischaliger Haustrennwände in E DIN 4109-2

Das in der bisherigen DIN 4109 Beiblatt 1 (1989) angegebene Verfahren für die vereinfachte Prognose von bewerteten Schalldämm-Maßen zweischaliger massiver Haustrennwände wird in der neuen DIN 4109 in weiterentwickelter Form verwendet. Um die verschiedenen Randbedingungen zu berücksichtigen, wird dabei statt eines pauschalen Zuschlags von 12 dB ein abgestufter Zuschlag (Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$) 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 13 dargestellt.

Für vollständige Trennung der Schalen (Fall 4) entspricht das Verfahren mit einem

Zuschlag von 12 dB dem 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 [49] und Untersuchungen in [50].

Eine zusätzliche Erweiterung des bisherigen Nachweisverfahrens berücksichtigt den Einfluss flankierender Decken und Wände. Das prognostizierte Schalldämm-Maß ergibt sich damit nach folgender Formel:

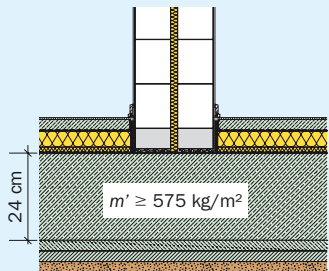
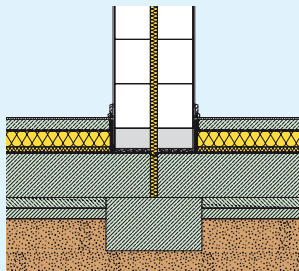
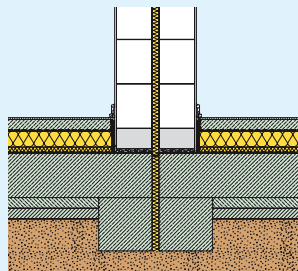
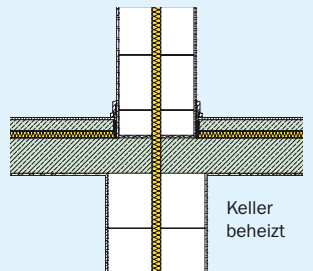
$$R'_{w,2} = R'_{w,1} + \Delta R_{w,Tr} - K \quad (4.7)$$

- 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, (siehe Tafel 13)
 - K Korrekturwert K zur Berücksichtigung der Übertragung über flankierende Decken und Wände.

$R'_{w,1}$ kann aus der flächenbezogenen Masse m' der gleichschweren Wand ermittelt werden:

$$R'_{w,1} = 28 \lg m' - 18 \text{ dB} \quad (4.8)$$

Tafel 13: Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$ für zweischalige Haustrennwände in Abhängigkeit von der Fundamentausbildung und der Raumsituation (flankierende Bauteile mit mittlerer flächenbezogener Masse $m'_{l,m} = 300 \text{ kg/m}^2$)

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
$\Delta R_{w,Tr} = + 6 \text{ dB}$ Bei durchgehenden Außenwänden ($m' \geq 575 \text{ kg/m}^2$) im Keller: $\Delta R_{w,Tr} = + 3 \text{ dB}$	$\Delta R_{w,Tr} = + 6 \text{ dB}$ Es konnten deutlich höhere Werte gemessen werden [50], jedoch wurde wegen der noch geringen Datenmenge eine Erhöhung des Zuschlags um 3 dB noch nicht vorgenommen.	$\Delta R_{w,Tr} = + 9 \text{ dB}$	$\Delta R_{w,Tr} = + 12 \text{ dB}$ Bei durchgehenden Außenwänden ($m' \geq 575 \text{ kg/m}^2$) im Keller: $\Delta R_{w,Tr} = + 9 \text{ dB}$
			

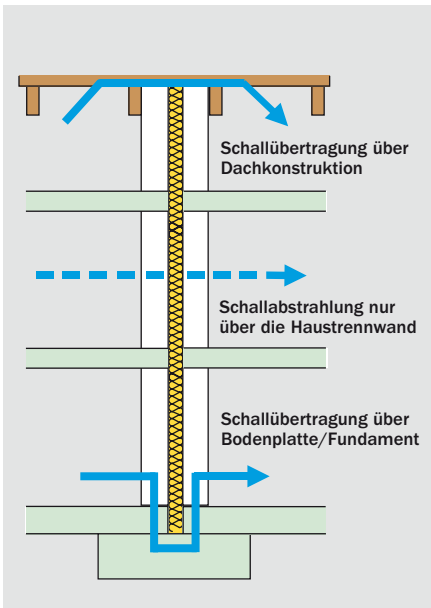


Bild 18: Schallübertragungswege zwischen Doppel- und Reihenhäusern mit zweischaliger Haustrennwand

Da der Korrekturwert K die Schallübertragung flankierender Wände und Decken nur in den Fällen berücksichtigt, in denen die Übertragung im Fundamentbereich ver-

nachlässigt werden kann, muss er nur dort angesetzt werden, wo auch der volle Zwischaligkeitszuschlag 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 tabellarisch aus der mittleren flächenbezogenen Masse der auf die Haustrennwand stoßenden massiven flankierenden Bauteile und der flächenbezogenen Masse einer Schale der Haustrennwand ermittelt. 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 fällt die Korrektur der Flankenübertragung nicht ins Gewicht.

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 (4.7) 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 5.2.5 und Bild 18).

4.3 KS-Schallschutzrechner

Angesichts des Aufwandes, der bei den Berechnungen nach den europäischen Berechnungsverfahren getätigt werden muss, ist es naheliegend, die Berechnung des Schallschutzes mit Hilfe eines geeigneten Berechnungsprogramms durchzuführen. Ausgehend von den Vorgaben der DIN EN 12354-1 und unter Einbindung der aktuellen Forschungsergebnisse wurde deshalb für Kalksandstein eine eigene Software – der KS-Schallschutzrechner [48] – entwickelt.

Die Berechnung der Luftschalldämmung basiert auf dem Vereinfachten Modell mit Einzahlwerten, so wie es im Rahmen der E DIN 4109-2 vorgesehen ist. 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.

Bild 19: Übersicht Hauptformular und Raumdefinition im KS-Schallschutzrechner

Durch die einfache Handhabung, die exaktere Ermittlung der Flankendämmung sowie schnelle Variantenvergleiche mit dem KS-Schallschutzrechner (www.kalksandstein.de) kann eine effektive Schwachstellenanalyse betrieben und die Planung optimiert werden.

Die Eingabe oder Auswahl der benötigten Angaben erfolgt über entsprechende Formulare (Bild 19). Neben den Raumabmessungen kann ein Versatz der Räume definiert werden. Dies erlaubt die Abbildung realer Raumanordnungen. Darüber hinaus ist es möglich, durch manuelle Eingabe der Bauteilfläche und der gemeinsamen Kantenlänge, Räume oder Bauteile zu definieren, deren Geometrie sich nicht aus der quaderförmigen Standardgeometrie ergibt.

Die Grafikausgabe erlaubt eine einfache und schnelle Zuweisung der benötigten Angaben zu den einzelnen Bauteilen. Die Übersichtsgrafik der betrachteten Räume gibt die eingegebene Geometrie wieder, ist farblich anpassbar und kann nach Belieben gedreht oder gezoomt werden. Die Berechnungsergebnisse zeigen außer dem Gesamtschalldämm-Maß die Schalldämm-Maße des Trennbauteils und der Flanken. So kann der Anteil einzelner Wege schnell erfasst und die maßgeblichen an der Übertragung beteiligten Wege identifiziert werden (Bild 20).

In den Formularen der einzelnen Bauteile werden deren konstruktive Eigenschaften und die Stoßstellenausbildung festgelegt sowie grafisch dargestellt (Bild 21). Festlegung und Zuweisung von Vorsatzschalen-Systemen sind möglich. Für Vorsatzschalen, wie auch für andere Bauteile, steht eine Datenbank mit vordefinierten

Vorsatzschalen bzw. Bauteilaufbauten zur Verfügung.

Die im jeweiligen Übertragungsweg liegenden Stoßstellen müssen einzeln benannt und die Kopplung ausgewählt werden. Tafel 14 zeigt die wählbaren Stoßstellenausbildungen (Kreuzstoß, T-Stoß, Winkelstoß) und die Auswirkungen auf die flankierende Übertragung. Unterschieden werden kann die Art der Kopplung: starrer Anschluss (z.B. durch Verzahnung der Wände oder vermörtelter, funktionstüchtiger Stumpfstoß) oder entkoppelter Anschluss (z.B. bei Abriss des Stumpfstoßes, ggf. auch geplant entkoppelt). Bei Bedarf wird die in Abschnitt 4.2.3.2 genannte Korrektur der Direktdämmung entkoppelter Trennbauteile durchgeführt.

Neben den Bauteilen und den Stoßstellen gehen geometrische Angaben in die Berechnung ein. Die Ausgabe der Berechnungsergebnisse erfolgt, wenn alle notwendigen Eingaben vorliegen und der „OK“-Button betätigt wurde. Neben dem Bauschalldämm-Maß für die Raumsituation werden auch die Einzel-Berechnungsergebnisse des Trennbauteils und der einzelnen Flanken angezeigt. Bei Betätigung der entsprechenden Checkbox kann der Verwender eigene Werte vorgeben (daraufhin erfolgt ein Warnhinweis im Anmerkungs-feld und in der Druckausgabe des Ergebnisreports).



Bild 20: Ergebnisdarstellung einer Raumsituation des KS-Schallschutzrechners

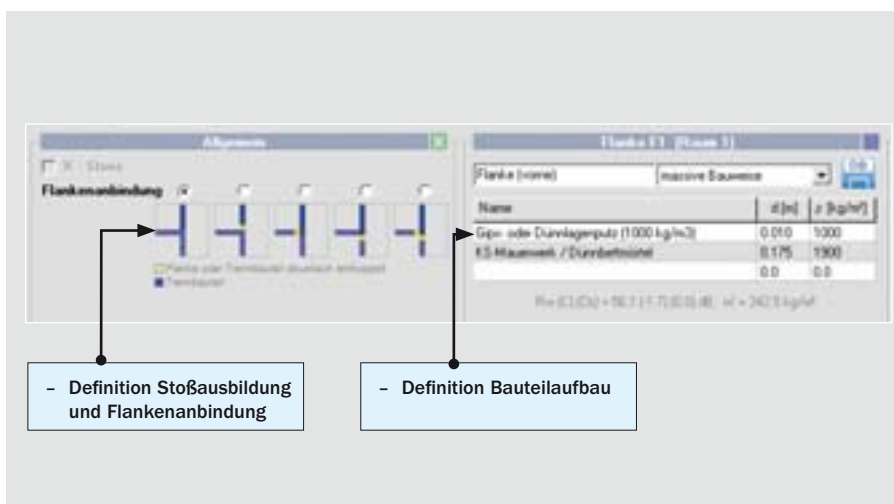


Bild 21: Formular „Flanke 1“ (Außenwand) des KS-Schallschutzrechners

Ein Dimensionierungsbeispiel mit dem KS-Schallschutzrechner zeigt Tafel 15. Variiert werden dabei die Eigenschaften des Trennbauteils und der flankierenden Bauteile. Außerdem wird die Bauteilverbindung an der Außenwand alternativ starr oder akustisch entkoppelt betrachtet. Die resultierende Schalldämmung 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 neue DIN 4109 vorgesehenen Konzept zur Berücksichtigung von Unsicherheiten im Prognoseverfahren (siehe Abschnitt 3.1.3.5)

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 Schallschutzrechners um eine Funktion zum Variantenvergleich kann die Variante identifiziert werden, die im jeweiligen Fall das Optimum darstellt.

Tafel 14: 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.

Neben dem Luftschallschutz kann mit dem KS-Schallschutzrechner auch der Trittschallschutz betrachtet werden.

lichkeit, zweischalige Haustrennwände zwischen Doppel- oder Reihenhäusern zu berücksichtigen.

Außer der Berechnung von Gebäudesituationen mit einschaliger Bauweise bietet der KS-Schallschutzrechner auch die Mög-

Zukünftig kann mit Hilfe des KS-Schallschutzrechners der Schallschutz gegen Außenlärm berechnet werden.

Tafel 15: Dimensionierung mit dem KS-Schallschutzrechner, Variationsrechnung

Horizontale Übertragung über Wohnungstrennwand 2,5 m · 5 m = 12,5 m ² Werte mit Sicherheitsabschlag von 2 dB									
Wohnungstrennwand		Boden ¹⁾ Decke	Außenwand			Innenwand			R' _w [dB]
d [cm]	RDK	d [cm]	d [cm]	RDK	Kopp- lung	d [cm]	RDK	Kopp- lung	
24	1,8	18	17,5	1,8	starr	11,5	1,8	starr	54,0
24	2,0	18	17,5	1,8	starr	11,5	1,8	starr	55,1
24	2,2	18	17,5	1,8	starr	11,5	1,8	starr	56,1
30	2,0	18	17,5	1,8	starr	11,5	1,8	starr	57,3
24	2,0	24	20	2,0	starr	20	2,0	starr	56,0
30	2,0	24	20	2,0	starr	20	2,0	starr	58,3
24	2,0	24	17,5	1,8	entk. ²⁾	11,5	1,8	starr	56,1
24	2,2	24	17,5	1,8	entk. ²⁾	11,5	1,8	starr	57,1
30	2,0	24	17,5	1,8	entk. ²⁾	24,0	1,8	starr	59,0

¹⁾ Boden mit 40 mm schwimmendem Estrich

²⁾ Wohnungstrennwand läuft bis Außenkante durch. Außenwand ist planmäßig entkoppelt.

Mit dem KS-Schallschutzrechner können folgende Berechnungen durchgeführt werden:

- Schalldämmung R'_w einschaliger massiver Wände und Decken zwischen zwei Räumen,
- Schallschutz D_{nT,w} zwischen zwei Räumen horizontal und vertikal,
- 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,

Er ermöglicht die

- Eingabe mehrschaliger Bauteile (Leichtbau)
- Berücksichtigung von Spektrum-Anpassungswerten C oder wahlweise C_{tr} und
- zukünftig die Bemessung für Schallschutz gegen Außenlärm.

5. 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, 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.

5.1 Einschalige Wände

5.1.1 Einschalige Wohnungstrennwände

Beim Schallschutz zwischen Nachbarräumen steht die Wohnungstrennwand im Mittelpunkt des Interesses. Durch die Umsetzung der europäischen Normen des baulichen Schallschutzes 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 1.2 sorgt für Klarheit bei der schalltechnischen Planung.

5.1.1.1 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 15, wie die Direktdämmung R_w verschiedener Wohnungstrennwände durch den Einfluss der flankierenden Übertragung gemindert wird und sich im Endergebnis eine niedrigere resultierende Schalldämmung R'_{w} ergibt. Das erreichte Ergebnis hängt maßgeblich von der Gestaltung der Flankenbauteile ab. Das Fazit lautet:

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 15.

Weitere Beispiele für realisierbaren Schallschutz mit KS-Wänden zeigt Bild 22. In Abhängigkeit von der Wanddicke und der Rohdichteklasse wird für verschiedene Kalksandstein-Konstruktionen der Einsatzbereich anhand des berechneten Schallschutzes aufgezeigt. Für die Beispielerrechnung wurden folgende Bedingungen gewählt:

- Zwei nebeneinander liegende, nicht versetzte Räume
- Trennwand variabel gemäß den Angaben in Bild 22
- 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.

5.1.1.2 Hinweise zur flankierenden Schallübertragung

Die Anforderungen an die Schalldämmung der Flankenwege müssen umso höher sein, je höher das gewählte Schallschutzniveau ist. Die beste Direktdämmung einer

Wohnungstrennwand nützt nichts, wenn die flankierenden Bauteile die Gesamtdämmung bestimmen.

Erhöhter Schallschutz erfordert eine konsequente Berücksichtigung der Flankendämmung.

Zwei Einflussgrößen müssen nach Gleichung (4.4) schalltechnisch berücksichtigt werden: die Direktdämmung der beteiligten Bauteile und die Stoßstellen-dämmung. Die grundsätzliche Forderung lässt sich aus den dargestellten Verhältnissen ableiten:

- Die flankierenden Bauteile sollen eine hohe Direktdämmung aufweisen. Im Massivbau wird eine hohe Direktdämmung 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_{ji} soll möglichst groß werden. Am Knotenpunkt mit einem Flankenbauteil kann das Stoßstellendämm-Maß auf dem Weg F_r erhöht werden, wenn das Flankenbauteil leichter wird. Gleichzeitig sinkt die Direktdämmung dieser Bauteile. Beide Effekte kompensieren sich jedoch nicht. Der Einfluss der Direktdämmung überwiegt.

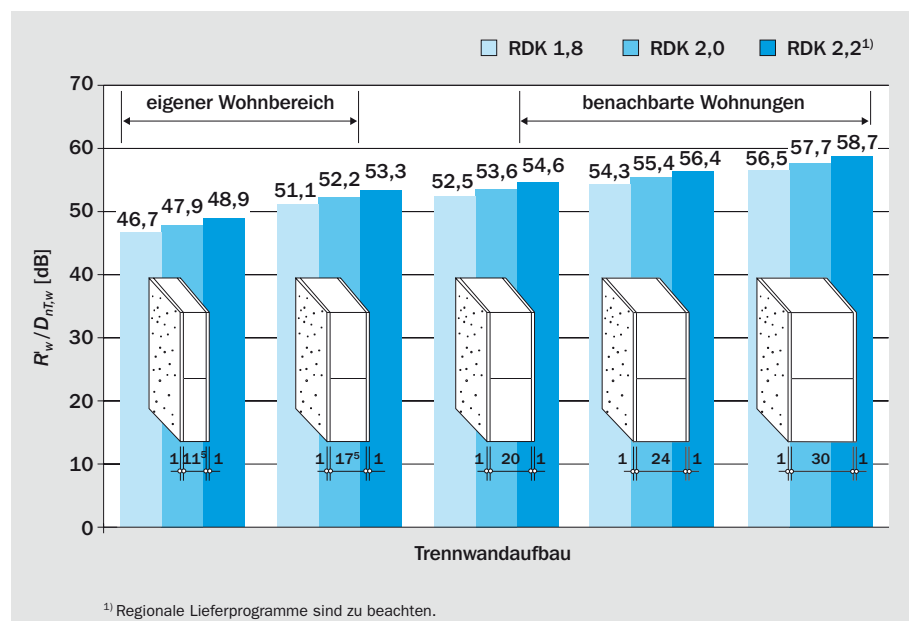


Bild 22: Beispiele für realisierbaren Schallschutz

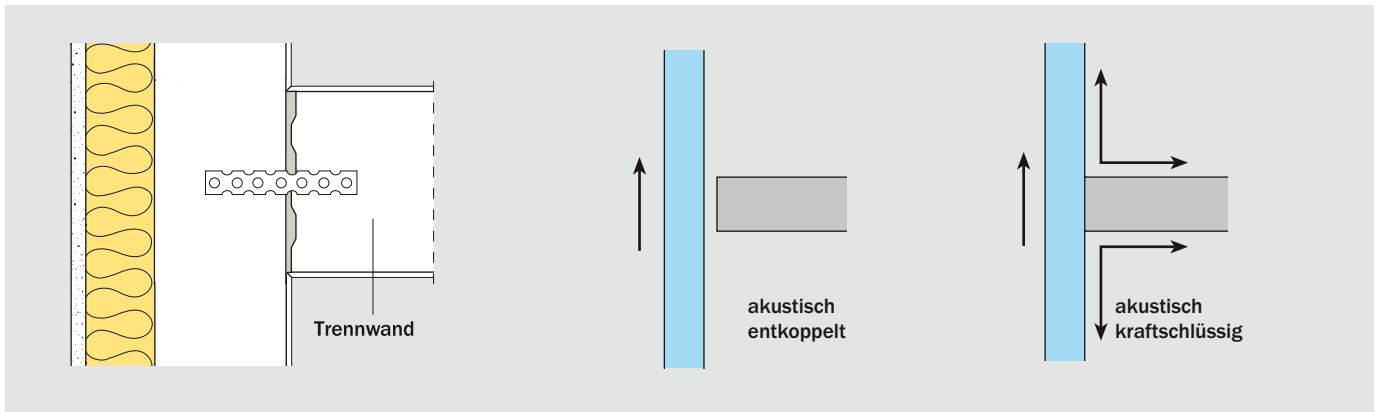


Bild 23: T-Stoß: flankierende Außenwand durchgehend, Trennwand stumpf angeschlossen

5.1.1.3 Stoßstellendämm-Maß und Direktdämmung 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 12 (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 Direktdämmung dieser Bauteile sinkt. Berechnungen und die praktische Erfahrung zeigen, dass sich diese beiden gegenläufigen Effekte nicht kompensieren.

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 Wohnungsdecke 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 12: 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.

5.1.1.4 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, dass ihre bauakustisch gewünschten Eigenschaften optimiert und gewährleistet werden. Dieser Ansatz ist für die Planung neu.

Wenn Stoßstellen massiver Bauteile mit dem Rechenverfahren nach E 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 Mauerwerksbaus wird dagegen weitgehend der Stumpfstoß angewendet (Bild 23).

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 [51].

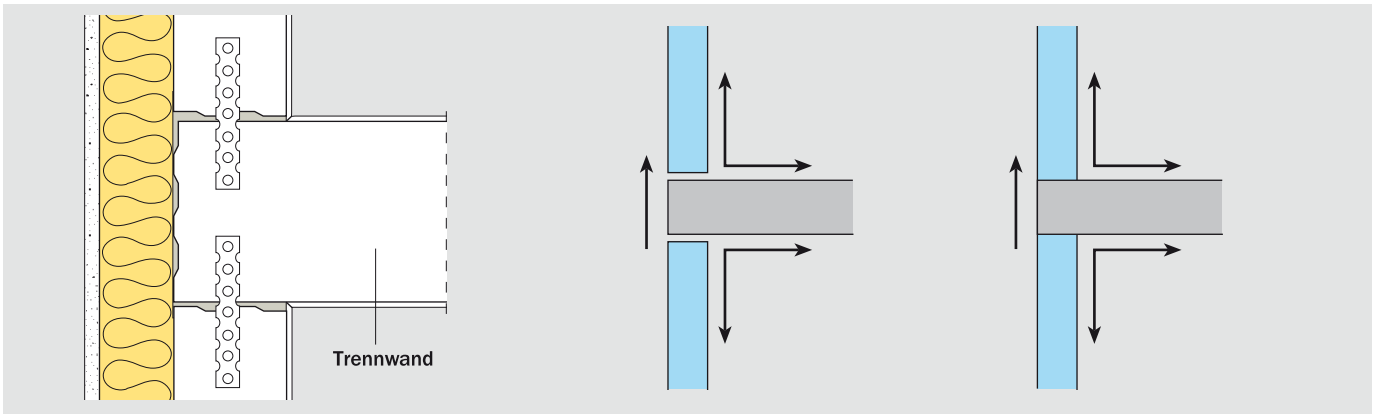


Bild 24: Trennwände durchgehend, flankierende Wände stumpf angeschlossen

Damit die geforderte schalltechnisch biegesteife Verbindung beim Stumpfstoß zu Stande kommt, ist es erforderlich, dass die Stumpfstoßfuge zwischen beiden Wänden vollflächig sorgfältig mit Mörtel verfüllt 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 ist diese Ausführung erheblich kritischer.

Die Sicherheit der Verbindung kann durch die Verwendung von Quellmörtel erhöht werden. 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 Direktdämmung 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.

Variante 1: Stumpfstoß, wenn Außenwandlänge $\leq 1,25$ m		Variante 2: „Durchführen“, wenn Außenwandlänge $> 1,25$ m	
<p>Variante 1a: Stumpfstoß, akustisch kraftschlüssig</p> <p>Akustische Trennung ist anzusetzen bei mangelhafter handwerklicher Ausführung und Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten.</p>	<p>Variante 1b: Stumpfstoß, akustisch entkoppelt</p> <p>Diese Ausführung ist nicht zu empfehlen. Eine Verschlechterung der Schalldämmung ist möglich.</p>	<p>Variante 2a: „Durchführen“, akustisch kraftschlüssig</p> <p>Die bauübliche handwerkliche Ausführung neigt zu einem akustischen Abriss \rightarrow Schalltechnische Verbesserung!</p>	<p>Variante 2b: „Durchführen“, akustisch entkoppelt</p> <p>Die planmäßige schalltechnische Entkopplung ist bei hohen Anforderungen ($R'_w > 57$ dB) zu empfehlen.</p>
<p>Bis zu einer Pfeilerlänge der Außenwand von $\leq 1,25$ m ist die auf den Nachbarraum übertragene Schallenergie bei nahezu raumhohen Fensteröffnungen gering. Daher können aus baupraktischen Gründen dort Stumpfstoße ausgeführt werden.</p>			

Bild 25: Ausführungsvarianten der Stoßstelle zwischen Außenwand und Wohnungstrennwand unter Berücksichtigung der Baupraxis

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 24 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. Schalltechnisch dagegen entsteht eine gegen Ausführungsfehler und mechanische Belastungen unempfindliche Konstruktion. Wie die Untersuchungen in [52] zeigen, ist auch dieser Stoß schalltechnisch gleichwertig zur biegesteifen Variante aus Bild 23 zu betrachten. Rechnerisch kann er im Rahmen des neuen Berechnungsverfahren deshalb wie der herkömmliche T-Stoß angesetzt werden. Wenn es bei dieser neuen 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.

Die Stumpfstoßlösung, bei der 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 $\leq 1,25$ m auch mit durchlaufender Außenwand ausgeführt werden darf, wie in Bild 25 dargestellt.

5.1.1.5 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 26.

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 6.3).
- 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 26 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 27).

Falls eine Wärmedämmung auf der Wand angebracht ist, ergibt sich je nach Lage der Dämmschicht für die flankierende Übertragung eine unterschiedliche Situation. Die Verhältnisse bei innen liegender Dämmschicht zeigt Bild 28. Die flankierende Übertragung findet in diesem Fall 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 29). Die Eigenschaften der Massivwand können für die Flankendämmung voll ausgeschöpft werden. Vorteilhaft sind dabei grundsätzlich Wände mit hoher flächenbezogener Masse. Während

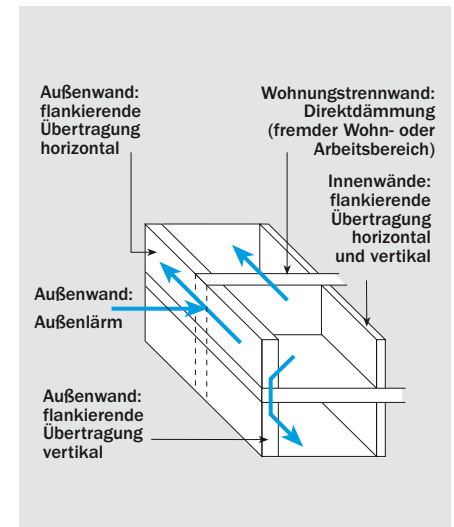


Bild 26: Einbindung der Außenwand in das schalltechnische Gebäudekonzept

bei der Direktdämmung 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 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 wünschenswert ist, um richtige Festlegungen für das WDVS zu treffen (siehe Abschnitt 6.3), ist dies bei der flankierenden Schallübertragung nicht erforderlich.

5.1.2 Ausführungsfragen bei einschaligen Wänden mit Schallschutzanforderungen

Bei der Ausführung einschaliger Wände sind wesentliche Aspekte zu berücksichtigen. Das aus der flächenbezogenen Masse zu erwartende Schalldämmmaß (siehe Massekurve) einer Mauerwerkswand kann nur dann erreicht werden, wenn nicht In-

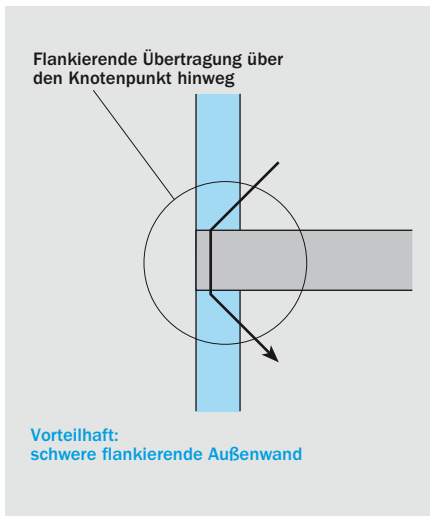


Bild 27: Flankierende Übertragung (vertikal) über die Außenwand

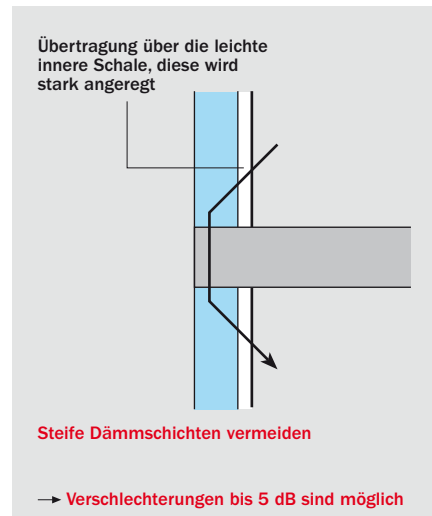


Bild 28: Flankierende Übertragung (vertikal) über die Außenwand mit innenseitiger Wärmedämmung

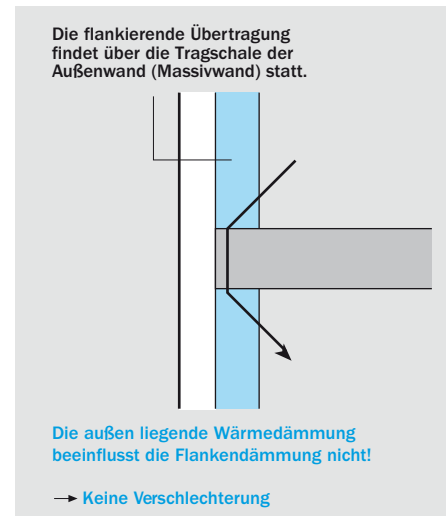


Bild 29: Flankierende Übertragung (vertikal) über die Außenwand mit außenseitiger Wärmedämmung (WDVS)

stallationen, Fugen, Schlitzte oder Undichtigkeiten die Schalldämmung verringern.

5.1.2.1 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 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 (4.3) angegebene Zusammenhang zwischen flächenbezogener Masse m' und bewertetem Schalldämm-Maß R_w der Wand setzt einen Aufbau voraus, der keine sichtbar bleibende 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 [51] 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.

Die schalltechnisch ausreichende Abdichtung mit beidseitig dünnen Putzen setzt voraus, dass die Wand im Stoßfugenbereich sorgfältig und fachgerecht aufgemauert wurde. 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 o.Ä. mit Verschlechterungen zu rechnen. Vollflächig angesetzter Trockenputz auf schalltechnisch abgedichteten Wänden ist dagegen problemlos.

5.1.2.2 Trennwände mit Installationen und Einbauten

Schlitzte und Einbauten wie z.B. Elektroinstallationen verringern die Wanddicke und damit die flächenbezogene Masse der Wand im Bereich der Einbaufäche, 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 6.3).

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,

$R'_{w,R} = 53$ dB bei einer mittleren flächenbezogenen Masse der Flankenbauteile von etwa 300 kg/m^2 die resultierende Schalldämmung nicht verringern.

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 [53]. 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 Schlitz für die Wasserinstallation nicht vermeiden, so müssen die erforderlichen Schlitz bereits bei der Planung berücksichtigt und als gemauerte Schlitz 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 E 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 ($d = 240 \text{ mm}$, $m' > 410 \text{ kg/m}^2$, $R'_{w,R} = 53$ dB bei einer mittleren flächen-

bezogenen 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 $0,5 \text{ dB}$. 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. Rechnerisch wäre damit die Einhaltung der Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 an eine Wohnungstrennwand (erf. $R'_{w} \geq 53 \text{ dB}$) nicht mehr gegeben. In E DIN 4109-36 wird in diesem Zusammenhang darauf verwiesen, dass bei der Verlegung von Abwasserleitungen in Wandschlitz die flächenbezogene Masse der Restwand zum schutzbedürftigen Raum hin mindestens 220 kg/m^2 betragen sollte. Bei einer Wohnungstrennwand von 240 mm Dicke (Steinrohddichte $1,8$) 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.

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 Wandschlitz dagegen ist hochgradig durch Körperschallbrücken gefährdet.

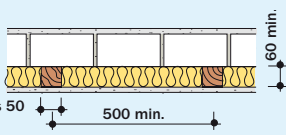
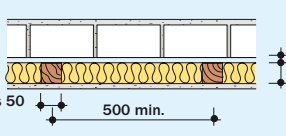
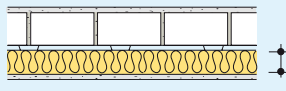
Nur geeignete Körperschallentkoppelnde Produkte (Nachweis durch Prüfzeugnisse!) und eine absolut fehlerfreie (d.h. Körperschallbrückenfreie) Verlegung der Leitungen lassen eine Unterputzmontage verantwortlich erscheinen.

In diesem Zusammenhang weist die DIN 4109 sowohl in der bisherigen wie in der neuen Version als werkvertragliche Voraussetzung zur Erfüllung des zulässigen Schalldruckpegels darauf hin, dass die verantwortliche Bauleitung benannt und zu einer Teilnahme vor Verschließen bzw. Verkleiden der Installation herangezogen werden muss. Weitere Details regelt ein ZVSHK-Merkblatt [54]. 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.

5.1.2.3 Trennwände mit dem KS-Wärmedämmstein

Wärmebrücken an kritischen Stellen, wie z.B. an Wandfußpunkten von Außenwänden oder Wandfußpunkten von Innenwänden über nicht beheizten Kellern oder Fundamentplatten, können vermindert werden, wenn als unterste Lage der Wand KS-Wärmedämmsteine verwendet werden. Diese weisen eine geringere Wärmeleitfähigkeit und eine geringerer Rohddichte als das restliche KS-Mauerwerk auf. Aus schalltechnischer Sicht stellt sich die Frage, ob dadurch die die Schalldämmung der gesamten Wand vermindert wird. Eine rechnerische Überprüfung und Untersuchungen im Prüfstand [55] 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 Schalldämmmaß ergibt. Der messtechnische Nachweis erfolgte an einer 11 m^2 großen, 24 cm dicken Wand aus KS-Steinen KS -R P 20 – $1,8 - 8 \text{ DF}$, jeweils mit und ohne unters-

Tafel 16: 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 schwerer Schale befestigt ²⁾
2		Ausführung wie Zeile 1, jedoch Holzstiele (Ständer) mit Abstand ≥ 20 mm vor schwerer Schale freistehend
3		Vorsatzschale aus Gipskartonplatten nach DIN 18180, Dicke 12,5 oder 15 mm und Fassadendämmplatten ³⁾ , Ausführung nach DIN 18181, an schwerer Schale streifenförmig angesetzt

¹⁾ Faserdämmstoffe nach DIN 4108-10 i.V.m. DIN EN 13162, Typ WAB Nenndicke 40 bis 60 mm, längsbezogener Strömungswiderstand $\Xi \geq 5 \text{ kN} \cdot \text{s}/\text{m}^4$

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, $s' \leq 5 \text{ MN}/\text{m}^3$

te Lage aus KS-Wärmedämmsteinen der Rohdichteklasse 1,2.

5.1.3 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.

5.1.3.1 Trennwände mit biegeweichen Vorsatzschalen

Biegeweiche Vorsatzschalen werden vor massiven einschaligen Wänden angebracht, um deren Schalldämmung zu verbessern. Das Grundprinzip besteht darin, dass 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 39 verdeutlicht, das auch für die akustischen Verhältnisse einer Vorsatzschale herangezogen werden kann. Beispiele für solche Vorsatzschalen zeigt Tafel 16.

Die Wirkung einer Vorsatzschale wird durch die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w beschrieben. Die messtechnische Ermittlung dieser Größe erfolgt nach DIN EN ISO 10140-1/Anhang G [7]. Gegenüber der Handhabung in der bisherigen DIN 4109:1989 kann nun die Schalldämmung der Gesamtkonstruktion

gemäß den Vorgaben der EN 12354-1 [3] aus dem Schalldämm-Maß der massiven Wand und der Verbesserung ΔR_w additiv zusammengesetzt werden.

Für Vorsatzschalen, die sich auf die Direktdämmung eines Trennbauteils auswirken, gilt:

$$R_{w,Dd} = R_w + \Delta R_w \quad (5.1)$$

- mit
- $R_{w,Dd}$ Direktdämmung des Trennbauteils mit Vorsatzkonstruktion
- R_w Schalldämm-Maß der Grundkonstruktion
- ΔR_w Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch die Vorsatzkonstruktion

Wie Vorsatzschalen zur Verbesserung der Flankendämmung eingesetzt werden können, zeigt Gleichung (4.4).

Bild 39 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 Vorsatzscha-

len mit bauakustisch falsch dimensionierter Resonanzfrequenz verwendet, dann führt das anstelle einer 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 punktwise 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 enthält Tafel 17. Sie stammen aus der E DIN 4109-34. Tafel 17 zeigt, dass die erreichte Verbesserung ΔR_w nicht nur von der Vorsatzschale selbst, sondern auch von der verwendeten massiven Wand abhängt.

Die Angaben in Tafel 17 gelten für biege- weiche Schalen und schwimmende Estriche. Falls ausschließlich biege- weiche Vorsatzschalen vor massiven Wänden verwendet werden, kann abweichend von den

Tafel 17: 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	$35 - R_w/2$
100	$32 - R_w/2$
125	$30 - R_w/2$
160	$28 - R_w/2$
200	- 1
250	- 3
315	- 5
400	- 7
500	- 9
630 bis 1.600	- 10
> 1.600	- 5

- Für Resonanzfrequenzen unter 200 Hz beträgt der Mindestwert von ΔR_w 0 dB.
- Für die Zwischenresonanzfrequenzen können die Werte durch lineare Interpolation aus dem Logarithmus der Frequenz abgeleitet werden.
- R_w bezeichnet das bewertete Schalldämm-Maß der Bezugswand/Bezugsdecke.

Tafel 18: Vorschläge für den Luftschallschutz im eigenen Wohnbereich (Wände ohne Türen)

Beiblatt 2 zu DIN 4109 (1989) R'_w		VDI 4100 (2012) $D_{nT,w}$		DEGA-Empfehlung 103 R'_w	
Normaler Schallschutz	Erhöhter Schallschutz	SSt EB I	SSt EB II	EW1	EW2
40	47	48	52	42	47

Werten in Tafel 17 nach E DIN 4109-34 für Resonanzfrequenzen $30 \leq f_0 \leq 160$ Hz die Verbesserung ΔR_w mit folgender Formel [56] berechnet werden:

$$\Delta R_w = (74,4 - 20 \lg f_0 - R_w/2) \geq 0 \quad (5.2)$$

Werden biegeeweiche 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.

Biegeeweiche Vorsatzschalen können mit dem KS-Schallschutzrechner berücksichtigt werden.

5.1.3.2 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 18 wiedergegeben sind.

Falls für Wände im eigenen Wohnbereich Schallschutzanforderungen 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 22. 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 19 und 20. Falls sich Türen in den Wänden befinden, können die in Tafel 18 genannten Empfehlungen nicht eingehalten werden.

Wenn Schallschutzanforderungen an die Direktschalldämmung dieser Trennwände

gestellt werden, ist bei der Ausführung entkoppelter Anschlüsse zu beachten, dass die Direktdämmung nach E 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 4.3) wird diese Korrektur bereits berücksichtigt. Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt für Wände ohne Türen ein Bauschalldämm-Maß von 47 dB.

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 5.1.1.4)

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.

5.1.3.3 Installationswände

Ergänzend zu den Hinweisen zur Verlegung von Leitungen und Installationen an Wänden in Abschnitt 5.1.1.4 sind für Installationswände weitere Hinweise zu beachten.

Schalltechnische Anforderungen an Wände mit Wasserinstallationen sind in der DIN 4109 nicht direkt formuliert. In E DIN 4109-36 [31] wird für den schalltechnischen Nachweis jedoch eine so genannte einschalige Massivbau-Musterinstallationswand definiert, die eine flächenbezogene Masse von mindestens 220 kg/m² haben muss. In schutzbedürftigen Räumen dürfen die Geräusche der Wasserinstallation einen maximal zu-

lässigen Schalldruckpegel von 32 dB(A) nicht überschreiten. In DIN 4109 (1989) wurde dieser Pegel L_{In} genannt. In E DIN 4109:2013 heißt er $L_{AF,max,n}$. Die Erhöhung des maximalen Schalldruckpegels um 2 dB gegenüber dem Anforderungswert der DIN 4109 (1989) resultiert aus der Änderung des Messverfahrens in der Messnorm DIN EN ISO 10052 [57].

Die Einhaltung dieser Anforderung hängt von der vorhandenen Gesamtsituation ab. Hierzu gehören:

- die schalltechnischen Eigenschaften der verwendeten Installationen,
- die Montagebedingungen der Installationen (Ankoppelung an den Baukörper),
- die schalltechnischen Eigenschaften der Installationswände,
- die Körperschallübertragung über flankierende Bauteile,
- die Grundrissituation.

Die Installationswand kann deshalb nicht isoliert betrachtet werden, wenn es um die Einhaltung der Anforderungen geht. Aus schalltechnischer Sicht handelt es sich darum, 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 30 in der Regel allerdings Räume des eigenen Wohnbereichs, so dass dafür die Anforderungen der DIN 4109 nicht gelten.

Der in Bild 30 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

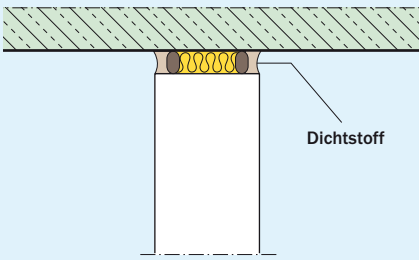
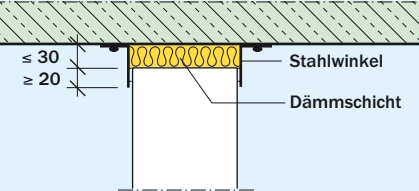
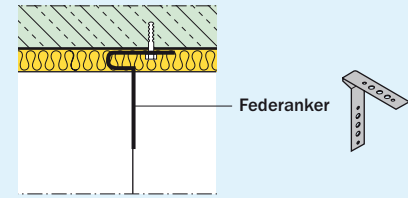
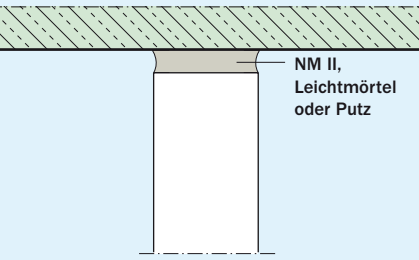
Tafel 19: Seitliche Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge ≤ 30 mm	Statik	Schallschutz	Brandschutz ¹⁾
<p>Anschlüsse im eigenen Wohnbereich</p> <p>Mauerwerk mit NM oder DM</p> <p>Stumpfstoßanker T = 0,75</p> <p>Mörtelgruppen: NM II bis NM III Dünnbettmörtel</p>	<p>Starr gehalten</p> <p>durch Maueranker und vollflächig vermörtelte Anschlussfuge mit NM oder DM</p>	<p>Schalltechnisch biegesteif und dicht</p> <p>Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten oder nicht vollflächiger Vermörtelung ist ggf. eine Entkopplung und Undichtigkeit anzunehmen.</p>	<p>Anschlussfuge voll vermörtelt mit NM oder DM</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
<p>Anschlüsse im eigenen Wohnbereich</p> <p>Mauerwerk mit NM oder DM</p> <p>Dämmschicht</p> <p>Zweitelliger Anker, z.B. System Halfen für Normalmauer- oder Dünnbettmörtel</p> <p>Vermörtelung oder elastische Fugendichtmasse nach DIN 52460</p>	<p>Gelenkig gehalten</p> <p>durch in Ankerschiene eingelegte Maueranker</p>	<p>Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt</p> <p>bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe²⁾</p> <p>Schalltechnisch dicht</p> <p>mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
<p>Anschlüsse im eigenen Wohnbereich</p> <p>Bewegliche Maueranker für DM-Mauerwerk</p> <p>Wandanker beweglich</p> <p>Halteanker beweglich</p>	<p>Starr gehalten</p> <p>durch Wandanker</p> <p>Gelenkig gehalten</p> <p>durch Halteanker</p>	<p>Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt</p> <p>bei Halteankern und Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe²⁾</p> <p>Schalltechnisch dicht</p> <p>mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
<p>Anschlüsse an Wohnungstrennwand</p> <p>Wohnungstrennwand</p> <p>Stumpfstoßanker</p> <p>Nicht tragende Innenwand Flächenbezogene Masse < 200 kg/m²</p>	<p>Gelenkig gehalten</p> <p>durch Mauerwerksanker und nachgiebiger Füllung mit Mineralfaserstreifen des Stumpfstoßanschlusses</p>	<p>Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt</p> <p>bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe²⁾</p> <p>Schalltechnisch dicht</p> <p>mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>

¹⁾ Die Klassifizierung des Wandanschlusses entspricht der Klassifizierung der Wand, wenn die angegebenen Bedingungen eingehalten werden. Nicht tragende raumabschließende Wände nach DIN 4102: F (X) bzw. nach DIN EN 13501-2: EI (X)

²⁾ Der Putz ist bei entkoppelten Anschlüssen mit einem Kellenschnitt zu trennen und nachträglich z.B. mit Acryl zu schließen.

Tafel 20: Obere Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge ≤ 30 mm	Statik	Schallschutz	Brandschutz ¹⁾
 <p>Dichtstoff</p>	<p>Oberer Rand nicht gehalten</p> <p>die Wand ist 3-seitig zu halten</p>	<p>Schalltechnisch entkoppelt und dicht</p> <p>mit beidseitigem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht in nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p> <p>Die Fugen müssen dicht ausgestopft werden. Für F 30 mind. 50 mm; für F 60 mind. 60 mm und für F 90 und „Brandwände“ mind. 100 mm Breite der jeweiligen Wanddicke.</p>
 <p>≤ 30 ≥ 20</p> <p>Stahlwinkel Dämmschicht</p>	<p>Oberer Rand gehalten</p> <p>die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand</p>	<p>Schalltechnisch entkoppelt und nicht dicht</p> <p>Als trennendes Bauteil nur geeignet mit zusätzlichem Fugendichtstoff in der Anschlussfuge</p>	<p>Dämmschicht in nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
 <p>Federanker</p> <p>Die Stoßfugen mit Federanker sind zu vermörteln.</p>	<p>Oberer Rand gehalten</p> <p>die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand</p>	<p>Schalltechnisch entkoppelt und dicht</p> <p>mit beidseitigem Fugendichtstoff</p>	<p>Dämmschicht nichtbrennbar</p> <p>Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³</p> <p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>
 <p>NM II, Leichtmörtel oder Putz</p>	<p>Oberer Rand gehalten</p> <p>mit Auflast infolge Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecke²⁾</p> <p>die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand</p> <p>Anschlussfuge vollständig durch NM II, Leichtmörtel oder Putz ausgefüllt.</p>	<p>Schalltechnisch biegesteif und dicht</p> <p>Bei Wänden mit Schallschutzanforderungen sollte diese Ausführungsvariante gewählt werden.</p>	<p>F 90 bzw. EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst F 60 bzw. EI 60</p>

¹⁾ Nicht tragende raumabschließende Wände nach DIN 4102: F (X) bzw. nach DIN EN 13501-2: EI (X)

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. Bitumenpappe, PE-Folie, o.Ä.) 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 vermörteln, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

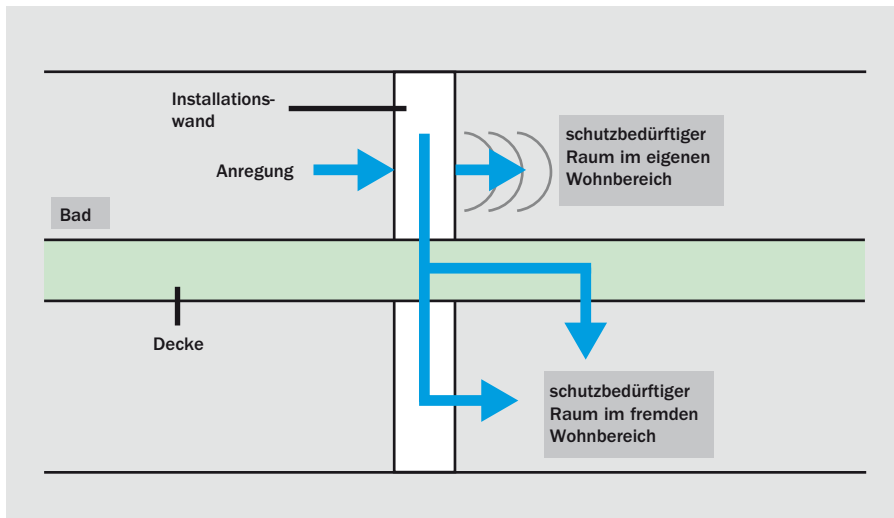


Bild 30: Übertragung von Installationsgeräuschen in benachbarte Räume

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 entgegengesetzt. Schon die DIN 4109 (1989) hat unter Abschnitt 7.2.2.4 deshalb die Anforderungen an Wände mit Wasserinstallationen wie folgt benannt:

„Einschalige Wände, an oder in denen Armaturen oder Wasserinstallationen (einschließlich Abwasserleitungen) befestigt sind, müssen eine flächenbezogene Masse von mindestens 220 kg/m² haben. Wände, die eine geringere flächenbezogene Masse als 220 kg/m² haben, dürfen verwendet werden, wenn durch eine Eignungsprüfung nachgewiesen ist, dass sie sich – bezogen auf die Übertragung von Installationsgeräuschen – nicht ungünstiger verhalten.“

Diese Vorgabe hat die neue DIN 4109 aufgegriffen, wo für die massive Musterinstallationswand ebenfalls mindestens 220 kg/m² gefordert werden. In E DIN 4109-36 heißt es dazu in Abschnitt 4.2.1.4.4:

„Ein rechnerischer Nachweis mit schalltechnischen Kennwerten der Bauteile und Installationen kann zurzeit nicht durchgeführt werden, da weder die Berechnungsverfahren noch die benötigten Daten der Installationen zur Verfügung stehen. Deshalb werden zum Nachweis ohne bauakustische Messungen nachfolgend Musterinstallationswände als Referenzkonstruktionen aufgeführt, mit denen unter Einhaltung der beschriebenen Konstruktionsmerkmale und Randbedingungen der Nachweis zur Erfüllung der Anforderungen geführt werden kann. Installationswände, Installationen und bauliche Bedingungen, die den Vorgaben dieses Abschnitts nicht entsprechen, müssen mit bauakustischen Messungen nachgewiesen werden.“

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.

Die für abweichende Bedingungen geforderten bauakustischen Messungen werden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, so gut wie nie erbracht. Die in DIN 4109 (1989) genannte Vorgehensweise für diese Eignungsprüfung ist allerdings für die praktische Anwendung nur eingeschränkt tauglich, da lediglich die von Armaturen verursachten Geräusche berücksichtigt werden. In E DIN 4109-36 werden statt dessen Messungen an Musterinstallationen, die für komplette Sanitärinstallationen in Kombination mit einer bestimmten Installationswand im Installationsprüfstand geprüft werden [58], vorgesehen. Diese erlauben detaillierte Aussagen zum schalltechnischen Verhalten der Gesamtinstallation sowie Aussagen zur Einhaltung der Anforderungen unter bestimmten baulichen Bedingungen. Derartige Untersuchungen 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 zu erfüllen. Dies sollte allerdings stets durch aussagekräftige Prüfungen nachgewiesen werden.

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 im selben 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 geforderte flächenbezogene Masse von mindestens 220 kg/m² ist für diese Grundrissituation deshalb nicht zwingend geboten, aber zu empfehlen.

5.2 Zweischalige Haustrennwände

5.2.1 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. Die DIN 4109 (1989) versuchte dem dadurch Rechnung zu tragen, dass sie bei den bau-

rechtlichen Anforderungen für die Luftschalldämmung der Haustrennwand mit erf. $R'_w = 57$ dB einen höheren Schallschutz vorsah als bei Geschosshäusern, wo für die Wohnungstrennwand erf. $R'_w = 53$ dB gilt. Das reicht in aller Regel nicht aus, denn die Erfahrungen zeigen, dass die in DIN 4109 (1989) genannten Werte für Doppel- und Reihenhäuser in ruhiger Wohnlage bei weitem nicht als ausreichend für störungsfreies Wohnen empfunden werden. Die Bewohner gehobener Wohngegenden erwarten einen wesentlich höheren Schallschutz als einen den (Mindest-) Anforderungen der DIN 4109 (1989) entsprechenden. Somit kann gefolgert werden, dass bei Doppel- und Reihenhäusern üblicherweise ein deutlich über diesen Anforderungen liegender Schallschutz geplant werden sollte. Dies wird von der aktuellen Rechtsprechung bestätigt.

Im DEGA-Memorandum BR 0101 [33] 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 E DIN 4109-1 hat sich dieser Ansicht angenähert, indem sie für nicht unterkellerte Doppel- und Reihenhäuser als erforderliche Schalldämmung $R'_w = 59$ dB und für unterkellerte $R'_w = 62$ dB festgelegt hat. Selbst diese Erhöhung der Mindestanforderungen 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 9.

Als Planungsziel sollte auch 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 4.2.4.

5.2.2 Gestaltung der Trennfuge

Sowohl nach Beiblatt 1 zu DIN 4109 (1989) als auch nach der E 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 31 bis 33).

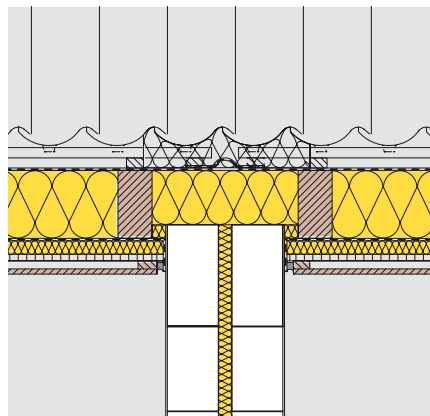


Bild 31: Dachanschluss bei einer zweischaligen Haustrennwand ohne durchlaufende Dachlatten

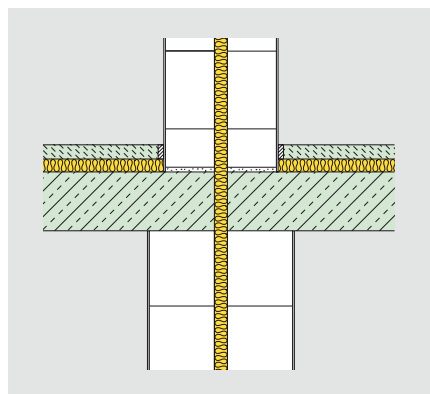


Bild 32: Zwischendeckenanschluss einer zweischaligen Haustrennwand

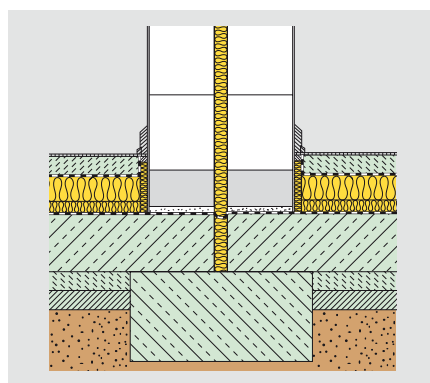


Bild 33: Fundamentanschluss einer zweischaligen Haustrennwand

Grundsätzlich sind die in Beiblatt 1 zu DIN 4109 (1989) formulierten Grundsätze für die Fugengestaltung dabei zu berücksichtigen, die auch in die neue E DIN 4109-32 übernommen wurden.

Das Füllen des Schalenzwischenraums mit Mineralfaserplatten Typ WTH nach DIN 4108-10, ist aus zwei Gründen wichtig:

- Mörtelbrücken werden vermieden.
- Mit Mineralfaserplatten 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.

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 Mineralfaserplatten Typ WTH nach DIN 4108-10, Dicke 40/35 mm, einzubringen.

Die Erhöhung des Schalensabstandes wirkt sich günstig auf den Schallschutz aus. Dies gilt nicht bei üblichen Schalensabständen im untersten Geschoss, wenn die Fußpunkte der Schalen (z.B. durch gemeinsame Bodenplatten und/oder Fundamente) gekoppelt sind. Hier wirkt sich die Erhöhung der flächenbezogenen Masse der Schalen deutlicher aus als eine Erhöhung des Schalensabstands.

5.2.3 Unterkellerte und nicht unterkellerte Doppel- und Reihenhäuser

In Beiblatt 1 zu DIN 4109 (1989) wird von unterkellerten Gebäuden ausgegangen, bei denen im Kellergeschoss keine schutzbedürftigen Räume mit Anforderungen an den Schallschutz liegen. Die danach ermittelten Schalldämm-Maße der zweischaligen Haustrennwand gelten demnach nur für solche Räume, unter denen die Trennfuge noch bis zum Fundament im Kellergeschoss durchgeführt wird. In den meisten Fällen wird das Fundament als gemeinsames Fundament ausgebildet (Bild 33), möglicherweise noch mit durchgehender

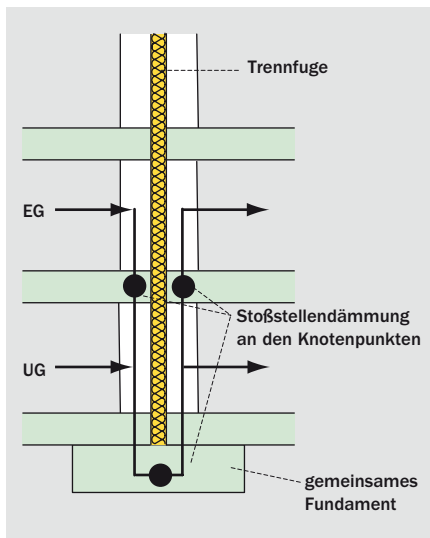


Bild 34: Flankierende Übertragung über den Fundamentbereich

Bodenplatte. Damit ergibt sich eine starke Körperschallbrücke zwischen den beiden Schalen.

Bild 34 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 35). Eine Abschätzung der hier vorliegenden Körperschallübertragung zeigt, dass diese nun gegenüber der Direktübertragung dominiert. Die für zweischaliges Mauerwerk ermittelten Werte aus Beiblatt 1 zu DIN 4109 (1989) können nun nicht mehr erreicht werden, da dafür eine Fortführung der Trennfuge unter den schutzbedürftigen Räumen vorausgesetzt wird.

Prinzipiell kommen für den Fundamentbereich die in Tafel 13 dargestellten konstruktiven Lösungen in Frage. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Körperschallübertragung, was in E DIN 4109-2 in den unterschiedlichen Werten für den Zweischaligkeitszuschlag berücksichtigt wird.

Um der verstärkten Übertragung im Fundamentbereich entgegenzuwirken, können bei nichtunterkellerten 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 (Kalksandstein mit $d = 17,5$ cm und $RDK \geq 1,8$)

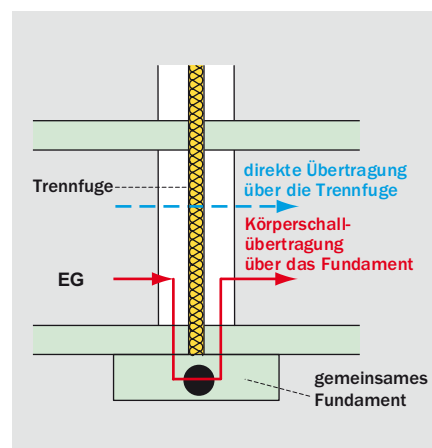


Bild 35: Direkte und flankierende Übertragung über eine zweischalige Haustrennwand für schutzbedürftigen Raum über der Bodenplatte

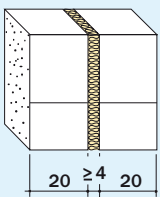
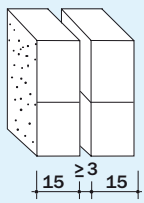
- Nicht tragende Innenwände, die auf der Bodenplatte stehen, ebenfalls schwer (z.B: 11,5 cm mit RDK 1,8) planen
- Auf einen schwimmenden Estrich auf der Bodenplatte kann aus schalltechnischen Gründen auf keinen Fall verzichtet werden.
- Sollten es die aktuellen Verhältnisse erlauben, kann durch geeignete Grundrissanordnung auch dafür gesorgt werden, dass schutzbedürftige Räume nicht unmittelbar an die Haustrennwand angrenzen.

Für eine getrennte Bodenplatte wurde in Tafel 13 sicherheitshalber nur derselbe Zweischaligkeitszuschlag vorgesehen wie bei der gemeinsamen 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.

5.2.4 Ausführungsbeispiele zweischaliger Haustrennwände

Wie ein erhöhter Schallschutz von $R'_w = 67$ dB realisiert werden kann, zeigt Tafel 21. 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 Mineralfaserplatten Typ WTH) geht bis zum Fundament durch (Fall 2 in Tafel 13), und für die Trennfuge wird eine Breite von mindestens 4 cm vorgesehen. Die Ausführungsdetails dieser Lösung [59] sind in Bild 36 dargestellt. Das zweite Beispiel in Tafel 21 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 13 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.

Tafel 21: Ausführungsbeispiele zweischaliger Haustrennwände für einen erhöhten Schallschutz
 $R'_{w} = 67$ dB

	Lösung mit Kalksandstein		erf. $R'_{w,R}$ [dB]
	Wandaufbau ³⁾ [cm]	Steinroh- dichteklasse (RDK)	
Haustrennwand zwischen Doppel-/Reihenhäusern Voraussetzungen: • Ohne Untergeschoss oder mit hochwertig genutztem Untergeschoss (mit Anforder- ungen an den Schallschutz im Unterge- schoss) • Getrennte Bodenplatte • Trennfuge ≥ 4 cm und mit Mineralfaser- platten Typ WTH gefüllt • Trennfuge durchgehend bis auf das Fundament		$\geq 2,0$	67 ¹⁾
Haustrennwand zwischen Doppel-/Reihenhäusern Voraussetzungen: • Mit Untergeschoss (ohne Anforderungen an den Schall- schutz im Untergeschoss) • Trennfuge ≥ 3 cm • Trennfuge durchgehend bis auf das Fundament		$\geq 1,8$	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 $m_{L,M} \sim 300$ 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 [59], siehe Bild 36
²⁾ Zuschlag zur Zweischaligkeit angesetzt mit 12 dB, siehe Tafel 13.

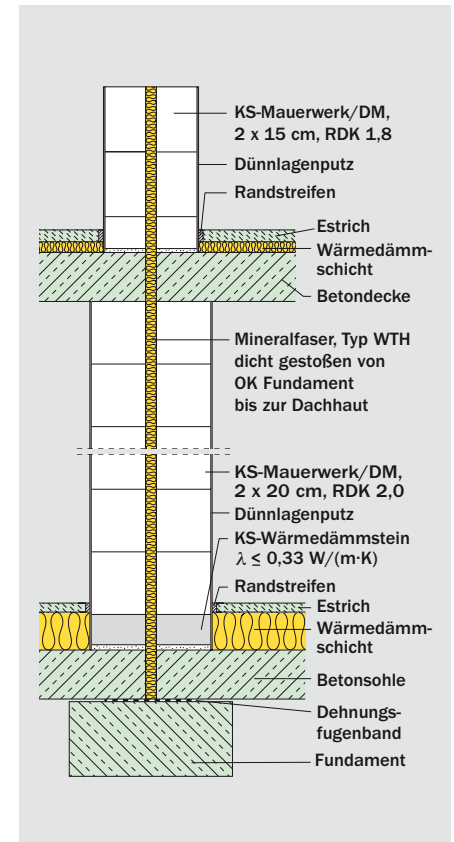


Bild 36: Beispiel nach [59] für ein nicht unterkellertes Gebäude mit getrennter Bodenplatte und Schallschutzanforderungen 67 dB auch im untersten Geschoss

Für unterschiedliche zweischalige Haustrennwände können nach Tafel 22 die bewerteten Schalldämm-Maße R'_{w} in Abhängigkeit vom Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,T}$ ermittelt werden. Diese Werte gelten für Kalksandstein-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 $\Delta R_{w,T}$ können Tafel 13 entnommen werden. Nach Abschnitt 4.2.4.4 und Gleichung (4.7) wäre in Tafel 21 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 21) 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 anzuset-

zen. Im konkreten Planungsfall sollte mit den genannten Methoden, wie sie auch im KS-Schallschutzrechner implementiert sind, die Anwendung des Korrekturwertes überprüft werden.

Eine Zusammenstellung von Beispiellösungen für bewertete Schalldämm-Maße R'_{w} zweischaliger KS-Haustrennwände in Abhängigkeit vom Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,T}$ findet sich in Tafel 22.

5.2.5 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 31 weist auf die flankierende Übertragung im Dach- und Fundamentbereich hin. Aber auch der Einfluss von Außen- und Innenwänden auf die Gesamt-

schalldämmung 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 4.2.4.4 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

Tafel 22: 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 13 auf ganze dB abgerundet.

Wandaufbau ¹⁾ (Beispiele)	RDK	Flächen bezogene Masse [kg/m ²]	R'_w [dB]		
			Inkl. $\Delta R_{w,Tr} = + 12$ dB z.B. ab zweitem Geschoss ³⁾	Inkl. $\Delta R_{w,Tr} = + 9$ dB z.B. unterstes Geschoss mit getrennten Fundamenten	Inkl. $\Delta R_{w,Tr} = + 6$ dB z.B. unterstes Geschoss 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 ²⁾	1,8	≥ 490	67	64	61
2 x 15 cm ²⁾	2,0	≥ 530	68	65	62
2 x 17,5 cm ²⁾	1,8	≥ 580	69	66	63
2 x 17,5 cm ²⁾	2,0	≥ 630	70	67	64
2 x 20 cm ²⁾	1,8	≥ 680	71	68	65
2 x 20 cm ²⁾	2,0	≥ 740	72	69	66
2 x 24 cm ²⁾	1,8	≥ 810	73	70	67 ⁴⁾

Flankierende Bauteile mit $m'_{L,M} \sim 300$ kg/m²

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

¹⁾ Mauerwerk nach DIN EN 1996 mit Normal- oder Dünnbettmörtel, beidseitig verputzt (2 x 10 mm Putz Δ je Seite 10 kg/m²), Trennfuge ≥ 3 cm

²⁾ Bereits mit beidseitig Dünnlagenputz (2 x 5 mm)

³⁾ Bei durchgehenden Keller-Außenwänden ($m' \geq 575$ kg/m²) gilt: a) im Kellergeschoss: $\Delta R_{w,Tr} = +3$ dB b) ab dem zweiten Geschoss: $\Delta R_{w,Tr} = +9$ dB c) in den Obergeschossen: $\Delta R_{w,Tr} = +12$ dB

⁴⁾ Alternativ nach [59]: 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.

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.

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 Hohlraumdämp-

fung 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, des Weiteren 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 [60].

5.2.6 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. Wärmedämmverbundsysteme 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, damit es nicht zu einer schädlichen Kopplung der beiden Wandschalen kommt. Nach DIN 4109 sind Mineralfaserplatten Typ 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 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 sollte zur Vermeidung von Körperschallbrücken nicht auf das Einlegen geeigneter Dämmplatten verzichtet werden, obwohl dies nach DIN 4109 in bestimmten Fällen zulässig wäre.

- Trennfuge muss vom Fundament bis zum Dach durchlaufen, ohne Körperschallbrücken.
- Trennfuge mind. 30 mm dick ausführen; besser 40 mm mit Mineralfasermatten Typ WTH
- 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

6. AUSSENLÄRM

6.1 Anforderungen

Zum Schutz gegen Außenlärm werden Anforderungen an die Außenbauteile von Aufenthaltsräumen gestellt. Dazu soll deren Schalldämmung so hoch sein, dass der eindringende Lärm einen zumutbaren Schallpegel nicht überschreitet. Falls Außenbauteilen aus mehreren Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung bestehen (z.B. Wände, Fenster, Türen, Rolllädenkästen, Lüftungseinrichtungen), gelten die Anforderungen an das aus den einzelnen Schalldämm-Maßen der Teilflächen berechnete gesamte Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$. Die grundsätzliche Vorgehensweise der E DIN 4109 hat sich gegenüber der DIN 4109 (1989) nicht geändert. Es wird wie zuvor die Gesamtbelastung zu Grunde 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“ [61] geregelt sind.

Auch an den Zahlenwerten der Anforderungen hat sich gegenüber der bisherigen DIN 4109 (1989) nichts geändert, so dass die Anforderungen an Außenbauteile gleich bleiben (Tafel 23).

Es gibt drei Raumarten, die sich nach Nutzungsart und Anforderungshöhe unterscheiden:

- Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Aufenthaltsräume in Wohnungen (mit Ausnahme von Küchen, Bädern, WC und Hausarbeitsräumen), Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume
- Büroräume

Entsprechend dem „Maßgeblichen Außenlärmpegel“ erfolgt eine Einstufung in einen der sieben Lärmpegelbereiche, denen die erforderlichen Werte $R'_{w,ges}$ der Außenbauteile zugeordnet sind.

Tafel 23: Anforderungen an die Luftschalldämmung zwischen Außen und Räumen in Gebäuden

Zeile	Lärmpegelbereich	„Maßgeblicher Außenlärmpegel“ [dB(A)]	Raumarten		
			Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	Büroräume ¹⁾ und Ähnliches
			erf. $R'_{w,ges}$ des Außenbauteils		
1	I	bis 55	35	30	–
2	II	56 bis 60	35	30	30
3	III	61 bis 65	40	35	30
4	IV	66 bis 70	45	40	35
5	V	71 bis 75	50	45	40
6	VI	76 bis 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 24: Korrekturwerte K_{AL} für das erforderliche gesamte Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ nach Tafel 23 in Abhängigkeit vom Verhältnis $S_{(W+F)}/S_G$

$S_{(W+F)}/S_G$	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
Korrektur K_{AL}	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

$S_{(W+F)}$: Gesamtfläche des Außenbauteils eines Aufenthaltsraumes in m²
 S_G : Grundfläche eines Aufenthaltsraumes in m²

Wenn Außenbauteile unterschiedlich zur maßgeblichen Lärmquelle orientiert sind, müssen die Anforderungen der Tafel 23 jeweils separat angewendet werden.

Auch in der E DIN 4109 wurde darauf verzichtet, die Spektrum-Anpassungswerte für den Außenlärm zu berücksichtigen, so dass im bauaufsichtlichen Bereich eine Ausrichtung am tatsächlichen Geräuschspektrum des Außenlärms nicht stattfindet. Als informative Anmerkung findet sich in E DIN 4109-2 immerhin der folgende Hinweis:

„Für Planungszwecke außerhalb des Anwendungsbereichs der DIN 4109 können zur Berechnung der resultierenden Schalldämmung der Außenbauteile bei Bedarf 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 6.3.3 eingegangen.

6.2 Nachweise

Für die Planung und den Nachweis des Schutzes gegen Außenlärm muss zuerst der maßgebliche Außengeräuschpegel L_{MAP} bekannt sein. Nur in Ausnahmefällen wird er durch Schallpegelmessungen vor Ort bestimmt. Er kann in Bebauungsplänen festgelegt sein, aus amtlichen Lärmkarten oder Lärminderungsplänen entnommen oder beispielsweise für Verkehrslärm aus der Verkehrsbelastung von Straßen ermittelt werden. Je nach Art der Geräuschquellen sind bei der Ermittlung des L_{MAP} unterschiedliche Regelungen zu berücksichtigen, die in E DIN 4109-2 (Rechenverfahren) und E DIN 4109-4 (messtechnische Nachweise) benannt werden.

Anhand des L_{MAP} wird für den zutreffenden Pegelbereich das erforderliche gesamte Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ des Außenbauteils bestimmt. Der so ermittelte Wert ist anschließend noch nach Gleichung (6.1)

mit dem Korrekturwert K_{AL} hinsichtlich der Fassadenfläche und der Grundfläche des Empfangsraums zu korrigieren.

$$K_{AL} = 10 \lg \left(\frac{S_{(W+F)}}{0,8 \cdot S_G} \right) \quad (6.1)$$

mit
 $S_{(W+F)}$ Vom Raum aus gesehene gesamte Fassadenfläche
 S_G Grundfläche des Raumes

Vereinfacht können die Werte für K_{AL} gerundet auf ganze Zahlen, auch der Tafel 24 entnommen werden.

Erst dieser korrigierte Wert stellt die tatsächliche Anforderung an die Schalldämmung der Außenbauteile dar. Unter Berücksichtigung einer pauschalen Unsicherheit von 2 dB gilt damit für den Nachweis

$$R'_{w,ges} - 2 \text{ dB} \geq \text{erf. } R'_{w,ges} + K_{AL} \quad (6.2)$$

Da diese Korrektur nichts anderes als eine Umrechnung auf $D_{nT,w}$ darstellt, kann auf sie verzichtet werden, wenn die Anforderungen wie in der VDI 4100: 2012 an ein $D_{nT,w}$ gestellt werden.

Die Anforderung gilt immer an das gesamte Außenbauteil. Wenn dieses aus verschiedenen Teilflächen mit unterschiedlicher Schalldämmung 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 des gesamten Außenbauteils errechnet. Dazu werden für die Gesamtfläche S_{ges} des gesamten Bauteils die Teilflächen S_i der ein-

Beispiel

- Außenwand Kalksandstein 17,5 cm, RDK 2,0 mit WDVS:

$$R_{w(Wand)} = 56 \text{ dB nach Massekurve Kalksandstein (Gl. (4.3))}$$

WDVS mit Verbesserung der Schalldämmung $\Delta R_w = 2 \text{ dB}$

$$R_{w(Wand + WDVS)} = (56 + 2) \text{ dB} = 58 \text{ dB}$$

- Fenster:

$$R_{w(Fenster)} = 35 \text{ dB}$$

Fensterflächenanteil 30 %

- Resultierende Schalldämmung der Außenwand mit Fenstern nach Gl. (6.3):

$$R_{w,ges} = -10 \lg \left(0,7 \cdot 10^{\frac{-58}{10}} + 0,3 \cdot 10^{\frac{-35}{10}} \right) = 40 \text{ dB}$$

- Ermittlung des Bauschalldämm-Maßes $R'_{w,ges}$

Annahme: wegen ausreichend schwerer Flankenbauteile keine Berücksichtigung der flankierenden Übertragung erforderlich

$$R'_{w,ges} = 40 \text{ dB}$$

- Berücksichtigung der Flächenkorrektur nach Gl. (6.1)

Wohnraum mit Außenwandfläche $S_{(W+F)} = 10 \text{ m}^2$
 Grundfläche $S_G = 25 \text{ m}^2$
 Korrektur $K_{AL} = -10 \lg \left(\frac{S_{(W+F)}}{0,8 \cdot S_G} \right) = -3 \text{ dB}$

- Für den Schallschutznachweis muss mit pauschalem Sicherheitsabschlag von 2 dB nach Gl. (6.2) gelten:

$$R'_{w,ges} - 2 \text{ dB} \geq \text{erf. } R'_{w,ges} + K_{AL} \text{ bzw. } R'_{w,ges} - 2 \text{ dB} - K_{AL} \geq \text{erf. } R'_{w,ges}$$

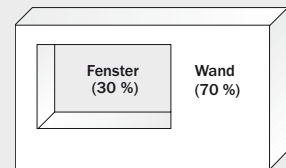


Bild 37: Beispiel für den Schallschutznachweis für eine KS-Außenwand mit WDVS und einem Fensteranteil von 30 %

zelenen Elemente mit ihren jeweiligen bewerteten Schalldämm-Maßen $R_{w,i}$ berücksichtigt, so dass sich die resultierende Gesamtdämmung $R_{w,ges}$ des Außenbauteils wie folgt ergibt:

$$R_{w,ges} = -10 \lg \left(\frac{1}{S_{ges}} \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{\frac{-R_{w,i}}{10}} \right) \text{ dB} \quad (6.3)$$

Zu beachten ist bei dieser Rechnung, dass mit den Schalldämm-Maßen $R_{w,i}$ immer die Direktdämmung der einzelnen Elemente gemeint ist. Auch die resultierende Gesamtdämmung $R_{w,ges}$ beschreibt damit zuerst einmal nur die Direktdämmung des gesamten Außenbauteils. Zur Erfüllung der Anforderungen muss aber ein Bauschalldämm-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 E DIN 4109-2 (siehe Abschnitt 4.2.3.4, Gleichung (4.4)) berechnet werden und wird zu der nach Gleichung (6.3) berechneten Direktübertragung addiert. Auch in diesem Fall ist bei der Flankenübertragung eine Mindesttrennfläche $S_{min} = 8 \text{ m}^2$ vorzusehen. Der Anteil der flankierenden Übertragung ist im Einzelfall zu prüfen. Er ist in vielen Fällen unbedeutend und braucht deshalb meistens nicht berechnet zu werden. Er kann z.B. vernachlässigt werden, wenn bei heute üblichen Fenstern das massive Außenbauteil ein bewertetes Schalldämm-Maß $R_w \geq 50 \text{ dB}$ aufweist und $R'_{w,ges} \leq 40 \text{ dB}$ ist.

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 28.

Ein einfaches Beispiel für den Nachweis zeigt Bild 37. Im vorliegenden Fall wird

die resultierende Schalldämmung von den Fenstern bestimmt. Die schalltechnische Leistungsfähigkeit der Wand kommt nicht zum Tragen.

6.3 Zweischalige massive Außenwände

Derzeit enthält E DIN 4109-32 noch keine Angaben zu zweischaligen Außenwänden nach DIN EN 1996/NA bzw. DIN 1053-1. Ersatzweise wird vorgeschlagen, bis zum Vorliegen einer kompletten Regelung auf Abschnitt 10.1.1 des Beiblatts 1 zu DIN 4109 (1989) zurückzugreifen. Dort heißt es für zweischalige Außenwände mit Luftschicht:

„Bei zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht nach DIN 1053 Teil 1 darf das bewertete Schalldämm-Maß R'_w aus der Summe der flächenbezogenen Massen der beiden Schalen [...] ermittelt werden. Hierbei darf das ermittelte bewertete Schalldämm-Maß R'_w 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 um 8 dB erhöht werden.“

Ebenso wird für zweischalige Konstruktionen mit einer Dämmschicht aus Hartschaumplatten übergangsweise bis zum Vorliegen detaillierter Dimensionierungsansätze nach Abschnitt 10.1.1 des Beiblatt 2 zu DIN 4109 (1989) ein Abschlag von 2 dB auf das Schalldämm-Maß der gesamten flächenbezogenen Masse beider Schalen vorgeschlagen.

6.4 Einschalige Außenwände mit WDVS

6.4.1 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 zum Teil 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.

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.

6.4.2 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 (4.3). Um die Wärmedämmung von Kalksandstein-Außenwänden zu verbessern, 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

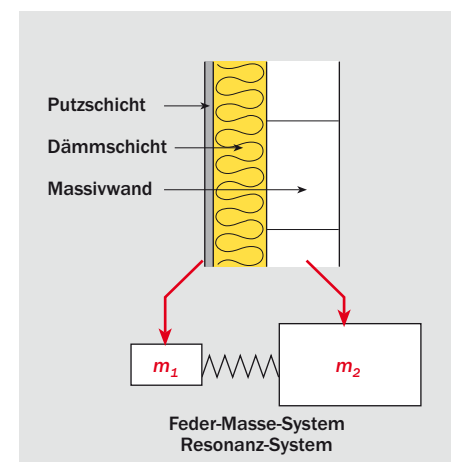


Bild 38: Wärmedämm-Verbundsystem als Feder-Masse-System

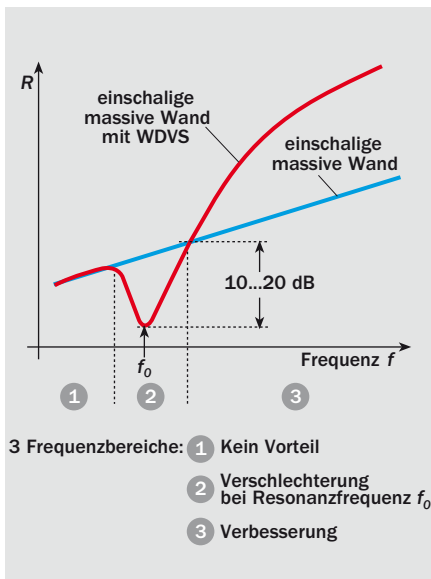


Bild 39: Schalldämmung R der einschaligen, massiven Wand ohne und mit WDVS

Wand und der Putzschicht. Als Feder fungiert die Dämmschicht (siehe Bild 38).

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 39.

Unterhalb der Resonanzfrequenz verhält sich die Konstruktion wie eine gleich schwere 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 gleich schweren 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:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad (6.4)$$

mit s' Dynamische Steifigkeit der Dämmschicht in MN/m^3
 m' Flächenbezogene Masse der Putzschicht in kg/m^2

Üblicherweise wird eine möglichst tiefe Resonanzfrequenz angestrebt, da sie sich günstig auf das bewertete Schalldämmmaß R_w auswirkt. Resonanzen im bauakustischen Frequenzbereich, vor allem bei mittleren Frequenzen, vermindern dagegen das bewertete Schalldämmmaß der Konstruktion. Unter der Vorgabe eines möglichst hohen Schalldämmmaßes 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.

6.4.3 Außenlärm: tieffrequent oder hochfrequent?

In zahlreichen Fällen tritt durch das WDVS eine Verschlechterung des Schalldämmmaßes auf, bei entsprechender Dimensionierung sind vielfach allerdings auch Verbesserungen möglich (siehe hierzu Abschnitt 6.3.4). Nach üblichem Verständnis erscheint es sinnvoll, ein möglichst hohes bewertetes Schalldämmmaß 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 40).

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 Gesamtergebnis 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 Endergebnis günstiger (Bild 41).

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.

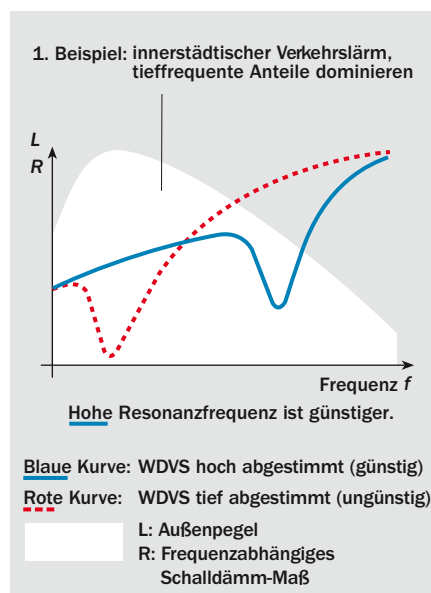


Bild 40: Reale Minderung von tieffrequentem Außenlärm

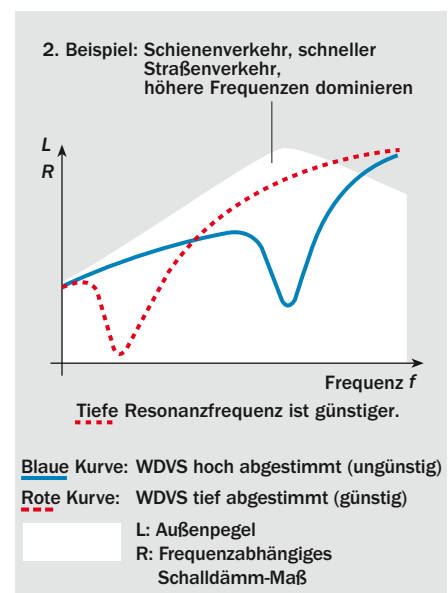


Bild 41: Reale Minderung von hochfrequentem Außenlärm

Tafel 25: 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 berücksichtigt 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).

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 Einzelwert die schalldämmende Wirkung einer Konstruktion gegenüber einer bestimmten Geräuschart zu charakterisieren. Als Beispiel zeigt Tafel 25 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 Außenlärmenspektren je nach Problemstellung zu unterschiedlicher Beurteilung der schalltechnischen Eignung eines WDVS und zu unterschiedlichen konstruktiven Auslegungen führen kann.

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 tiefrequent geprägten Geräuschkennlinien 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.

6.4.4 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 5.1.3.1). Zur Ermittlung von ΔR_w existiert ein durch die Zulassungen des DIBt [62] geregeltes Berechnungsverfahren, das in [63] ausführlich erläutert wird. Als Einflussgrößen werden neben der Resonanzfrequenz (siehe Gleichung (6.4)) 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 auf Grund steifer Wärmedämmschichten (Hartschäume) als schalltechnisch kritisch. Verschlechterungen des Schalldämm-Maßes bis maximal 10 dB sind im Vergleich zur unverkleideten Mauerwand 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 [62] wird das berechnete ΔR_w auf den Bereich von -6 bis +16 dB begrenzt.

Die frühere 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 erhöhte Wärmedämmung mit WDVS das Schalldämm-Maß verbessert oder verschlechtert. Typische Einzelwerte für unterschiedliche WDVS zeigt Bild 42.

Anhand von ΔR_w kann die Auswirkung eines WDVS auf die (Direkt)-Dämmung einer Wand wie folgt bestimmt werden:

$$R_w, \text{ mit WDVS} = R_w, \text{ ohne WDVS} + \Delta R_w \quad (6.5)$$

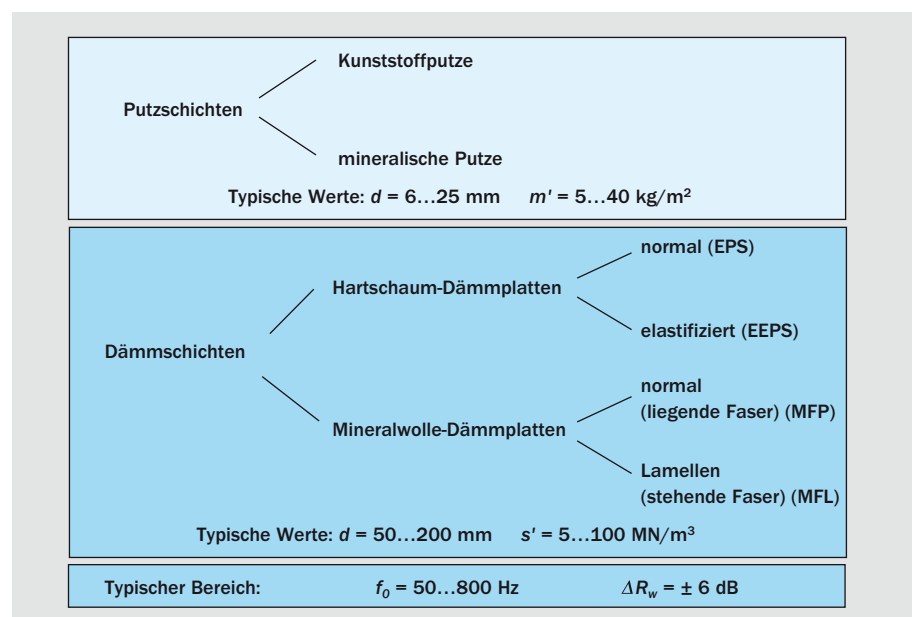


Bild 42: Konstruktive Größen von WDVS

Tafel 26: Korrekturwerte des bewerteten Schalldämm-Maßes von Kalksandsteinwänden mit WDVS entsprechend den jeweiligen Systemzulassungen – Richtwerte¹⁾ [64]

		Dünnputz ≤ 10 kg/m ²	Dickputz > 10 kg/m ²
Geklebt Polystyrol-WDVS		-2 dB	-1 dB
Geklebt WDVS mit elastifiziertem PS		0 dB	+1 dB
Geklebt und verdübeltes Polystyrol-WDVS		-1 dB	-2 dB
Mineralfaser-Lamellensystem		-5 dB	-5 dB
Geklebt 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.

Die Werte von ΔR_w können der jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassung der Dämmstoff-Hersteller entnommen werden. Beispiele für Korrekturwerte finden sich in Tafel 26.

6.4.5 Einfluss der Fenster bei Außenwänden mit WDVS

Wenn Außenbauteile aus mehreren Teilflächen mit unterschiedlicher Schalldämmung bestehen, müssen zur Ermittlung der gesamten Schalldämmung nach Gleichung (6.3) die einzelnen Teilflächen mit ihren jeweiligen Schalldämm-Maßen berücksichtigt werden. Den häufigen Fall, dass die Gesamtfläche aus Wandfläche und Fensterflächen besteht, zeigt Bild 43.

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

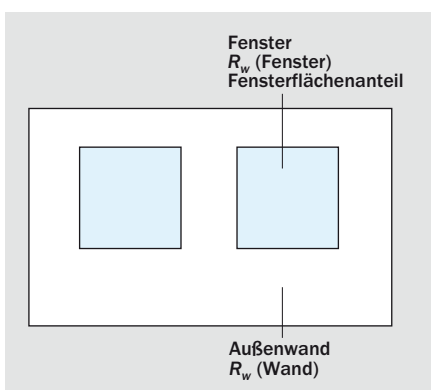


Bild 43: Wand mit Fenstern: Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung

= 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 27) 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 27 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 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 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 mit oder ohne WDVS liegen hier rechnerisch bei 0,5 dB.

Tafel 27: 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

a) Wand ohne WDVS

$R_{w,ges} = 50 \text{ dB} - 6 \text{ dB} = 44 \text{ dB}$

b) Wand mit WDVS (Verbesserung + 4 dB)

$R_{w,ges} = 54 \text{ dB} - 9 \text{ dB} = 45 \text{ dB}$

c) Wand mit WDVS (Verschlechterung - 4 dB)

$R_{w,ges} = 46 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 43 \text{ dB}$

Beispiel 2: R_w (Fenster) = 35 dB

a) Wand ohne WDVS

$R_{w,ges} = 50 \text{ dB} - 10,5 \text{ dB} = 39,5 \text{ dB}$

b) Wand mit WDVS (Verbesserung + 4 dB)

$R_{w,ges} = 54 \text{ dB} - 14 \text{ dB} = 40 \text{ dB}$

c) Wand mit WDVS (Verschlechterung - 4 dB)

$R_{w,ges} = 46 \text{ dB} - 7 \text{ dB} = 39 \text{ dB}$

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 6.2 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. Beispielhaft zeigt Tafel 28 für ausgewählte Kombinationen die zulässigen Fensterflächenanteile.

Tafel 28: Zulässige Fensterflächenanteile in % zur Erfüllung der Anforderungen bestimmter Lärmpegelbereiche für bestimmte Kombinationen der Schalldämmung der Fenster $R'_{w,Fenster}$ und der Schalldämmung der Außenwand $R'_{w,AW}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
erf. $R'_{w,ges}$	erf. $R'_{w,ges} + K_{AL}$	$R_{w,Fenster}$ [dB]	25	30	32	35	37	40	42	45
		$R'_{w,AW}$ [dB]	Fensterflächenanteil in % ¹⁾							
30	30,9 [dB]	50	25,3	80,6	100	100	100	100	100	100
		57	25,5	80,7	100	100	100	100	100	100
		60	25,5	80,7	100	100	100	100	100	100
35	35,9 [dB]	50	7,8	24,8	39,5	80,1	100	100	100	100
		57	8,0	25,4	40,3	80,6	100	100	100	100
		60	8,0	25,5	40,4	80,7	100	100	100	100
40	40,9 [dB]	50	2,2	7,1	11,4	23,1	37,3	78,6	100	100
		57	2,5	7,9	12,5	25,1	39,9	80,4	100	100
		60	2,5	8,0	12,7	25,3	40,2	80,6	100	100
45	45,9 [dB]	50	0,5	1,6	2,5	5,1	8,2	17,3	29,3	71,9
		57	0,7	2,4	3,7	7,5	11,9	24,0	38,5	79,5
		60	0,8	2,5	3,9	7,8	12,4	24,8	39,5	80,1
50	50,9 [dB]	50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		57	0,2	0,6	1,0	1,9	3,1	6,2	10,0	20,5
		60	0,2	0,7	1,1	2,2	3,6	7,1	11,4	23,1

¹⁾ Annahmen für die Berechnung: siehe Erläuterung im Text

Den Angaben in Tafel 28 wurden für die Raumgeometrie des Empfangsraumes folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- Fläche der Außenwand (bezogen auf den Empfangsraum) $5 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} = 12,5 \text{ m}^2$
- Raumtiefe 4 m

Für die relevanten Bauteile gelten folgende Angaben:

- Außenwand: 17,5 cm KS, RDK 1,8, 1 · 10 mm Gipsputz, $m' = 308 \text{ kg/m}^2$, $R_w = 54,7 \text{ dB}$ nach KS-Massekurve; zusätzlich wärmedämmend mit unterschiedlichen Dämmsystemen gemäß nachfolgender Beschreibung
- Wohnungstrennwand: 24 cm KS, RDK 2,0, 2 · 10 mm Gipsputz, $m' = 476 \text{ kg/m}^2$, $R_w = 60,5 \text{ dB}$ nach KS-Massekurve
- Geschossdecken: 18 cm Stahlbeton, $m' = 432 \text{ kg/m}^2$, mit schwimmendem Estrich
- Innenwand: 11,5 cm KS, RDK 1,8, 2 · 10 mm Gipsputz, $m' = 216 \text{ kg/m}^2$

Für die KS-Außenwand werden wahlweise folgende Dämmsysteme vorgesehen:

- Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS): $E = 3,0 \text{ MN/m}^2$, $d = 140 \text{ mm}$, $s' = 21,4 \text{ MN/m}^2$, $m'_{\text{Putz}} = 7 \text{ kg/m}^2$, $f_0 = 280 \text{ Hz}$, verdübelt, 40 % Klebefläche, $\Delta R_w = -2,0 \text{ dB}$
- Mineralfaser-
Putzträgerplatten (MFP): $E = 0,75 \text{ MN/m}^2$, $d = 140 \text{ mm}$, $s' = 5,4 \text{ MN/m}^2$, $m'_{\text{Putz}} = 20 \text{ kg/m}^2$, $f_0 = 83 \text{ Hz}$, verdübelt, 40 % Klebefläche, längenspezifischer Strömungswiderstand 32 kPa s/m^2 , $\Delta R_w = +6,7 \text{ dB}$
- Verblendschale: 11,5 cm KS Vollstein, RDK 2,0, mit Normalmauermörtel vermauert, $m' = 219 \text{ kg/m}^2$, durch 140 mm MF vom Hintermauerwerk getrennt, $\Delta R_w = +15,2 \text{ dB}$

Die Verbesserungen der PS- und MF-Dämmsysteme wurden nach [63] berechnet. Mit den berechneten Verbesserungen ergeben sich für die KS-Außenwand unter Berücksichtigung der flankierenden Übertragung (auf ganze dB gerundet) folgende Schalldämm-Maße:

- $R'_w = 50 \text{ dB}$ mit PS-Dämmsystem
- $R'_w = 57 \text{ dB}$ mit MF-Dämmsystem
- $R'_w = 60 \text{ dB}$ mit Verblendschale

Tafel 28 enthält in Spalte 1 die Anforderungen erf. $R'_{w,ges}$ gemäß Tafel 23. In Spalte 2 werden diese Werte in die Anforderungswerte für die konkrete Raumsituation umgerechnet, indem der Korrekturwert K_{AL} nach Gl. (6.1) mit einer Verminderung um 1,1 dB und die Unsicherheit mit einer pauschalen Erhöhung von 2 dB berücksichtigt werden. Insgesamt ergibt sich damit für die Anforderungswerte in Spalte 2 gegenüber Spalte 1 jeweils eine Erhöhung um 0,9 dB. Um die Anforderungen nach Spalte 2 zu erfüllen, werden in Spalte 3 für jeden Lärmpegelbereich die zuvor beschriebenen 3 Außenwandvarianten ($R'_{w,AW} = 50 / 57 / 60 \text{ dB}$) und in den Spalten 4 bis 11 die unterschiedlichen Fensterqualitäten ($R_{w,Fenster} = 25 \dots 45 \text{ dB}$) zugrunde gelegt. Die Tabellenwerte geben für die jeweilige Kombination von Wand und Fenster an, mit welchem maximal zulässigen Fensterflächenanteil die Anforderungen eingehalten werden können.

Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass der Fensterflächenanteil mit zunehmender Schalldämmung der Fenster erhöht werden kann. Es zeigt sich außerdem, dass bei den gewählten Außenwandkonstruktionen die Schalldämmung der Wand (unter Berücksichtigung von WDVS bzw. Verblendschale) kaum Einfluss auf den Fensterflächenanteil hat, so dass offensichtlich die Fensterqualität die maßgebende Größe darstellt.

Für andere als die hier beispielhaft dargestellten Bauteil- und Raumeigenschaften empfiehlt sich im Einzelfall eine Berechnung mit dem KS-Schallschutzrechner.

7. SCHALLABSORPTION

7.1 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 [65] 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.

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 Anfangswertes abzuklingen. T ist die wichtigste raumakustische Kenngröße. Mit der äquivalenten Absorptionsfläche A und dem Raumvolumen V hängt sie über die Sabine'sche Gleichung zusammen:

$$T = 0,16 \cdot \frac{V}{A} \quad (7.1)$$

Dabei wird T in s, V in m^3 und A in m^2 angegeben. Die Gleichung zeigt, dass die Nachhallzeit umso kleiner wird, je mehr Absorption sich im Raum befindet.



Bild 44: Schallschluckwand aus KS-Schallschlucksteinen (Lochsteine, werkseitig durchstoßen)

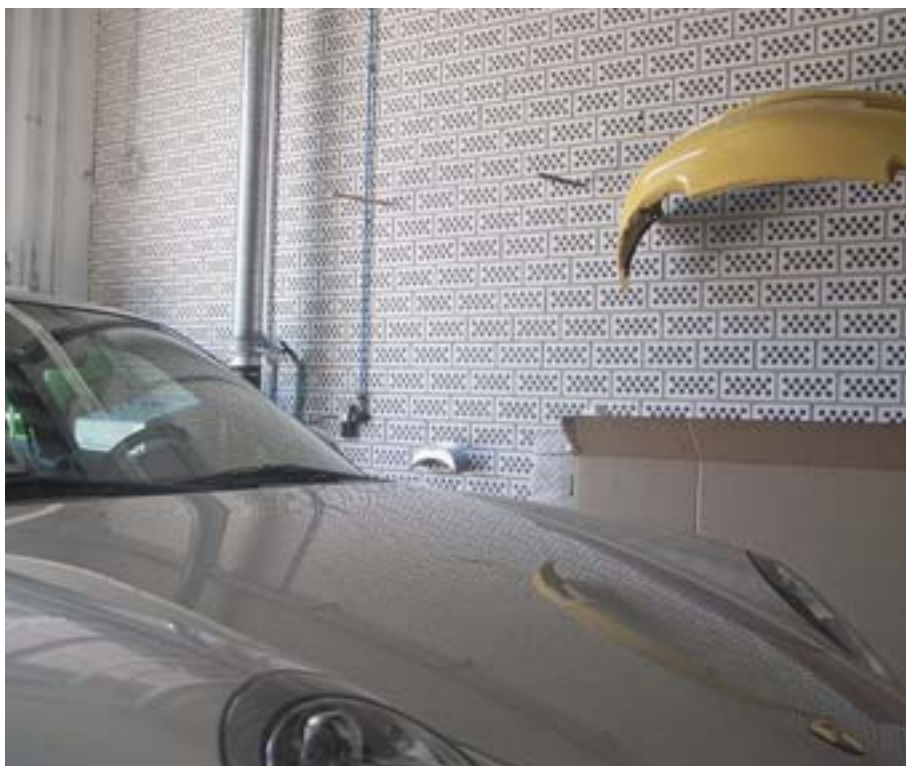


Bild 45: Beispiel für eine Schallschluckwand aus KS-Schallschutzsteinen

7.2 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 (7.1) 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:

$$\Delta L = 10 \lg \left(\frac{A_{mit}}{A_{ohne}} \right) = 10 \lg \left(\frac{T_{ohne}}{T_{mit}} \right) \text{ dB} \tag{7.2}$$

Eine Verdoppelung der Absorptionsfläche führt im Raum zu einer Pegelminderung von 3 dB.

7.3 Schallabsorption mit KS-Wänden

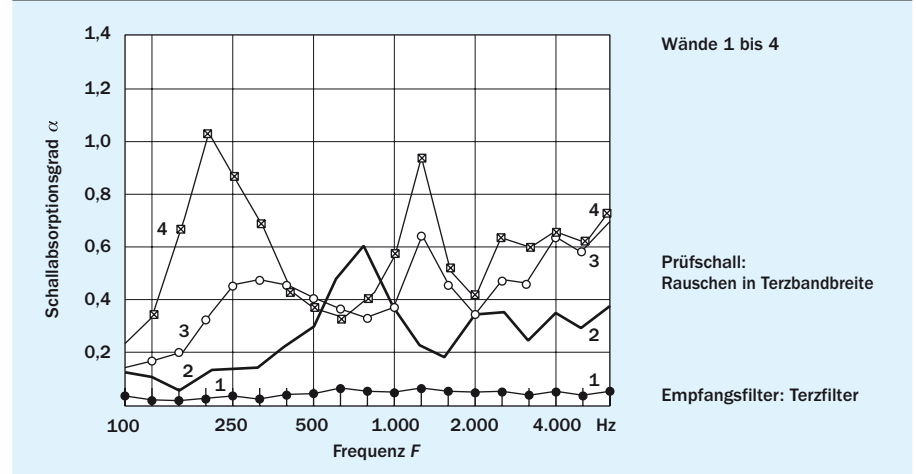
Übliches Mauerwerk aus Kalksandstein besitzt aufgrund der schallharten Oberfläche nur geringe Absorptionsgrade im Bereich von $\alpha = 0,01$ bis $0,06$. Für schallabsorbierende Zwecke ist es deshalb nicht interessant. Zusammen mit einer vorge-mauerten Schale aus KS-Lochsteinen mit durchgehender Querlochung 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 29 dargestellt. Bild 44 zeigt eine schallabsorbierende Wand aus KS-Schallschlucksteinen mit werkseitig durchstoßener Lochung.

Tafel 29: Ausführungsvarianten Schall absorbierender 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



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 12354-1:2000-12: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den 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] E DIN 4109-2:2013-11: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen (Normentwurf)
- [6] E DIN 4109-32:2013-11: Schallschutz im Hochbau – Teil 32: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau (Normentwurf)
- [7] DIN EN ISO 10140: 2010-12: Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 1 bis Teil 5
- [8] DIN 52210: Bauakustische Prüfungen, Luft- und Trittschalldämmung – Teil 1 bis Teil 7, 1984/1985/1987/1989 (zurückgezogen)
- [9] DIN EN ISO 140-4:1998-12: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 4: Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden (ISO 140-4:1998); Deutsche Fassung EN ISO 140-4:1998, DIN EN ISO 140:2010-4
- [10] DIN EN ISO 717-1:2006-11: Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung
- [11] Weber, L.; Koch, S.: Anwendung von Spektrum-Anpassungswerten Teil 1: Luftschalldämmung. In: Bauphysik 21 (1999), H. 4, S. 167–170
- [12] DIN EN ISO 10848-1:2006-08: Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen – Teil 1 bis 3
- [13] DIN EN ISO 140-7: 1998-12: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 7: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden
- [14] Trendbefragung für Immobilienscout 24, Infocast 03/2008
- [15] Alpehi, H.; Hils, T.: Welche Abstufung der Schalldämm-Maße sind bei Anforderungen an die Luftschalldämmung sinnvoll? In: wksb, H. 59, 2007
- [16] Kötz, W.-D.; Moll, W.: Wie hoch sollte die Luftschalldämmung zwischen Wohnungen sein? In: Bauphysik (1988), H. 3, S. 72–76
- [17] Gösele, K.; Schüle, W.; Künzel, H.: Schall, Wärme, Feuchte, Bauverlag Gütersloh 2000
- [18] Moll, W.: Analytische Herleitung von Anforderungen an den Luftschallschutz zwischen Räumen. In: Bauphysik 31 (2009), H. 4, S. 235–243
- [19] DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis, Deutsche Gesellschaft für Akustik, Berlin März 2009
- [20] BGH-Entscheidung vom 14.06.2007, Az. VII ZR 45/06 zur DIN 4109/Schallschutz
- [21] VDI-Richtlinie 4100:2007-08: Schallschutz von Wohnungen, Kriterien für Planung und Beurteilung
- [22] VDI 4100:2012-10: Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz
- [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'_{wR} für den Nachweis der Eignung nach DIN 4109 aus Werten des im Labor ermittelten Schalldämm-Maßes R_w
- [26] E DIN 4109-1:2013-11: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Anforderungen an die Schalldämmung (Normentwurf)
- [27] E DIN 4109-31:2013-11: Schallschutz im Hochbau – Teil 31-11 Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Rahmendokument und Grundlagen
- [28] E DIN 4109-33:2013-12: Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau (Normentwurf)
- [29] E DIN 4109-34:2013-06: Schallschutz im Hochbau – Teil 34: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen (Normentwurf)
- [30] E DIN 4109-35:2013-06: Schallschutz im Hochbau – Teil 35: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente (Normentwurf)
- [31] E DIN 4109-36:2013-06: Schallschutz im Hochbau – Teil 36: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Gebäudetechnische Anlagen (Normentwurf)
- [32] E DIN 4109-4:2013-06: Schallschutz im Hochbau – Teil 4: Handhabung bauakustischer Prüfungen (Normentwurf)
- [33] 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
- [34] 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
- [35] Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB), Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, Ausgabe 2009
- [36] Urteil OLG München vom 19.05.2009, Az.9 U 4198/08, nicht rechtskräftig
- [37] BGH-Urteil vom 04.06.2009, Az. VII ZR 54/07
- [38] Gösele, K.; Kandel, L.; Linhardt, A.: Schallschutzkosten im Wohnungsbau, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1991
- [39] Kötz, W.-D.: Kosten des Schallschutzes im Wohnungsbau – Beispiele für kostengünstige Lösungen. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung ZfL, Januar 2001, S. 20–22
- [40] Kutzer D.: Schallschutz von Seniorenheimen – Schreiben vom 16.9.2009 und 30.9.2009 an den Bundesverband Kalksandsteinindustrie
- [41] E DIN 4109-1:2006-06: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Anforderungen
- [42] DIN EN 12354-2:2000-09: Berechnung der akustischen Eigenschaften

- von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen
- [43] DIN EN 12354-3:2000-09: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm
- [44] DIN EN 12354-4:2001-04: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie
- [45] DIN EN 12354-5:2009-10: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Installationsgeräusche
- [46] DIN EN 12354-6:2004-04: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen
- [47] Z-23.22-1787 Mauerwerk aus Hochlochziegeln nach DIN V 106-100 oder EN 771-1 in Verbindung mit DIN V 20000-40: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung hinsichtlich der Anwendbarkeit des Schallschutzes, Deutsches Institut für Bautechnik 22.04.2010
- [48] KS-Schallschutzrechner, Version 4.03. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2012. Kostenfreier Download über die KS-Homepage www.kalksandstein.de
- [49] 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
- [50] 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
- [51] Fischer, H.-M.: Stellungnahme zur Schalldämmung einschaliger Wände aus Kalksandstein ohne Stoßfugenvermörtelung, Stuttgart 2001
- [52] 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
- [53] Fischer, H.-M.: Stellungnahme zur Luftschalldämmung einer einschaligen Wand aus Kalksandstein ohne und mit Installationen, Stuttgart 2001
- [54] ZVSHK-Merkblatt und Fachinformation Schallschutz. Zentralverband Sanitär Heizung Klima, Sankt Augustin 2003
- [55] Fischer, H.-M.: Beurteilung des Einflusses von KS-ISO-Kimmsteinen auf die Schalldämmung von KS-Mauerwerk, Stuttgart 2000
- [56] Weber, L.; Buchele, A.: Akustische Sanierung von Wohngebäuden mit Vorsatzschalen und Vorsatzkonstruktionen – Berechnung, Planung, Optimierung, IBP-Bericht B-BA 2/2008
- [57] DIN EN ISO 10052:2005-03: Akustik – Messung der Luftschalldämmung und Trittschalldämmung und des Schalls von haustechnischen Anlagen in Gebäuden – Kurzverfahren (ISO 10052:2004); Deutsche Fassung EN ISO 10052:2004
- [58] Fischer, H.-M.; Sohn, M.: Musterinstallationen im Installationsprüfstand – praxismgerechte Analyse des Geräuschverhaltens, IBP-Mitteilung 214, 18 (1991)
- [59] Fischer, H.-M.: Stellungnahme zum zu erwartenden Schalldämm-Maß einer zweischaligen Haustrennwand aus Kalksandstein, Stuttgart 2007
- [60] Ruhe, C.; Neumann, R.: Schallschutz im Wohnungsbau – Haustrennwände; Mitteilungsblatt 210 der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., 1998
- [61] Fluglärmgesetz, Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm, vom 31. Oktober 2007, BGBl Jahrgang 2007 Teil I Nr. 56, S. 2550–2556
- [62] Beschlussbuch des DIBT, SVA B2 Schalldämmung und Schalldämmstoffe, Beschluss-Nr. 3.22
- [63] WDV-Systeme zum Thema Schallschutz, Technische Systeminfo 7 des Fachverbands Wärmedämm-Verbundsysteme e.V., Januar 2013
- [64] Vogdt, F. U.: Außenwände. In: Kalksandstein. Planungshandbuch. Planung. Konstruktion. Ausführung. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, 6. Auflage, Hannover 2013
- [65] DIN EN ISO 354: Akustik – Messung der Schallabsorption in Hallräumen (ISO 354: 2003); Deutsche Fassung EN ISO 354:2003

1. NACHHALTIGKEIT

1.1 Veranlassung

Durch die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ [1] des Deutschen Bundestages wurde für Deutschland das Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung erarbeitet. Dieses Leitbild basiert insbesondere auf dem Abschlussbericht „Our Common Future“ der Brundtland-Kommission der Vereinten Nationen aus dem Jahr 1987 und der Konferenz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro im Jahre 1992. Anlässlich des Erdgipfels von Rio haben 178 Staaten auf den dringenden Handlungsbedarf zur Erhaltung der Lebensgrundlagen hingewiesen. Sie haben sich dazu bekannt, das Leitbild „Sustainable Development“ auszufüllen und deshalb weitere Maßnahmen in der Umwelt-, Entwicklungs-, Sozial- und Wirtschaftspolitik gefordert.

Das Handlungsprinzip einer nachhaltigen Entwicklung ist es, die Bedürfnisse der jetzigen Generation zu erfüllen, ohne die Möglichkeit späterer Generationen einzuschränken, ihre Bedürfnisse ebenfalls befriedigen zu können. Hieraus ergeben sich vielfältige ökonomische, ökologische und soziokulturelle Anforderungen. Beispielhaft soll dies im Folgenden dargestellt werden für die Bereiche:

- Ressourcenschonung
- Klimaschutz

1.2 Entwicklung

**1.2.1 Ressourcenschonung
Energieverbrauch**

Die Notwendigkeit der Ressourcenschonung lässt sich am Beispiel des Energie-

verbrauchs veranschaulichen. Allein in Deutschland betrug der Primärenergieverbrauch 2011 insgesamt 13.374 PJ (Petajoule) [2]. Das entspricht 3,715 Bill. Kilowattstunden oder in Zahlen

3.715.000.000.000 kWh.

Damit ist der Primärenergieverbrauch gegenüber dem Vorjahr um 5,3 % gesunken, Dies liegt zu einem großen Anteil an der milden Witterung im Jahr 2011. Bereinigt um den Temperatureinfluss verringert sich der Primärenergieverbrauch gegenüber dem Vorjahr um lediglich 1,0 % [2].

Dieser Verbrauch verteilt sich (Bild 1) auf die verschiedenen Energieträger – Mineralöl, Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Kernenergie, Erneuerbare Energien und sonstige Energieträger.

Die erneuerbaren Energieträger haben dabei derzeit nur einen kleinen Anteil an der Energieversorgung. Dieser Anteil betrug im Jahr 2010 9,7 % am gesamten Primärenergieverbrauch und stieg im Jahr 2011 bereits auf 10,9 %. Wie Prognosen zeigen, wird er im Jahr 2020 bereits auf insgesamt 28,0 % geschätzt (Bild 2), insbesondere im Bereich der Stromerzeugung [2].

Die Bundesregierung strebt auf der Grundlage der EU-Richtlinie für erneuerbare Energien eine Reduzierung des Energieverbrauchs gegenüber dem Verbrauch von 2008 bis zum Jahr 2020 um 20 % und bis zum Jahr 2050 um 50 % an. Dies betrifft alle Ebenen der Energienutzer: die Energiegewinnung, -umwandlung, den -transport sowie die Nutzung durch den Endverbraucher. Danach müssen sich alle

Mitgliedsstaaten an dem Ausbau der erneuerbaren Energien beteiligen [3].

Reserven und Ressourcen

Die fossilen Energiereserven sind begrenzt. Legt man die derzeitige Förderung als statische Größe zugrunde, ergeben sich bezogen auf die Energiereserven – das sind die nach derzeitigem Stand der Technik technisch und wirtschaftlich gewinnbaren Vorräte – folgende Angaben zur Reichdauer: [4]

- Braunkohle: 274 Jahre
- Steinkohle: 132 Jahre
- Uran: 82 Jahre
- Erdgas: 60 Jahre
- Erdöl: 40 Jahre

Unter Hinzuziehung der Ressourcen (Bild 3), also den nachgewiesenen, aber derzeit technisch oder wirtschaftlich nicht gewinnbaren Vorräten oder den nicht nachgewiesenen, aber geologisch möglichen Vorräten, erhöht sich die Reichdauer erheblich. Die Gewinnung dieser Ressourcen führt jedoch in jedem Falle zu einer deutlichen Erhöhung der Kosten. Ein Beispiel: Während die Förderkosten konventioneller Öle zwischen 2 und 20 Dollar je Barrel liegen, ist bei Ölsanden und Ölschiefer von Förderkosten von bis zu 60 Dollar je Barrel auszugehen.

Energieeinsparpotenzial

Aus dem Energieflussbild für Deutschland (Bild 4) ergibt sich eine erste Aufschlüsselung der Verbraucher für 2011. Es zeigt sich dabei insbesondere auch die Import-

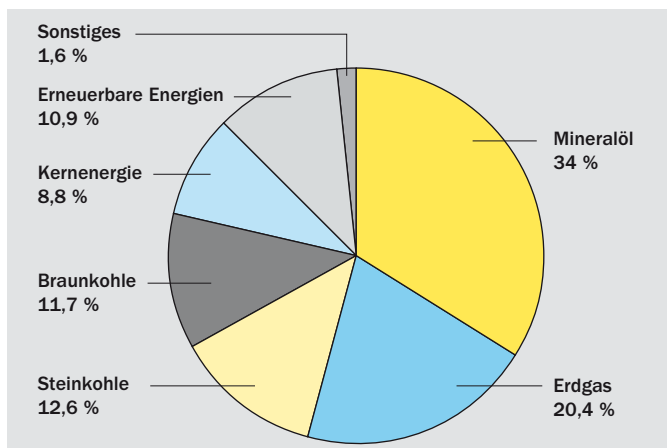


Bild 1: Primärenergieverbrauch in Deutschland: Anteile der Energieträger im Jahr 2011 [2]

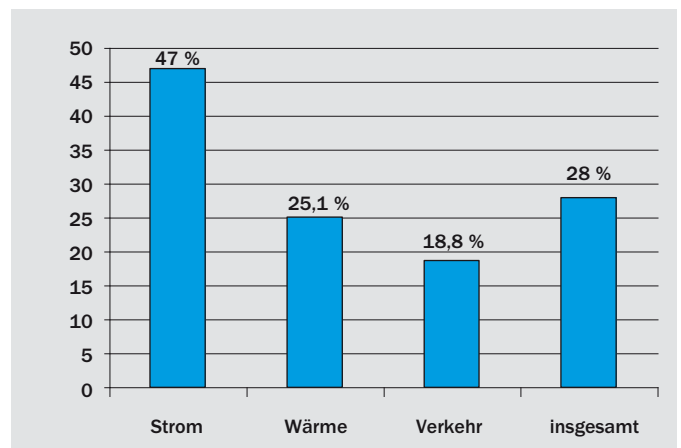


Bild 2: Primärenergiebereitstellung in Deutschland: Prognose der Anteile der erneuerbaren Energien im Jahre 2020 für die Bereiche Strom, Wärme und Verkehr [5]

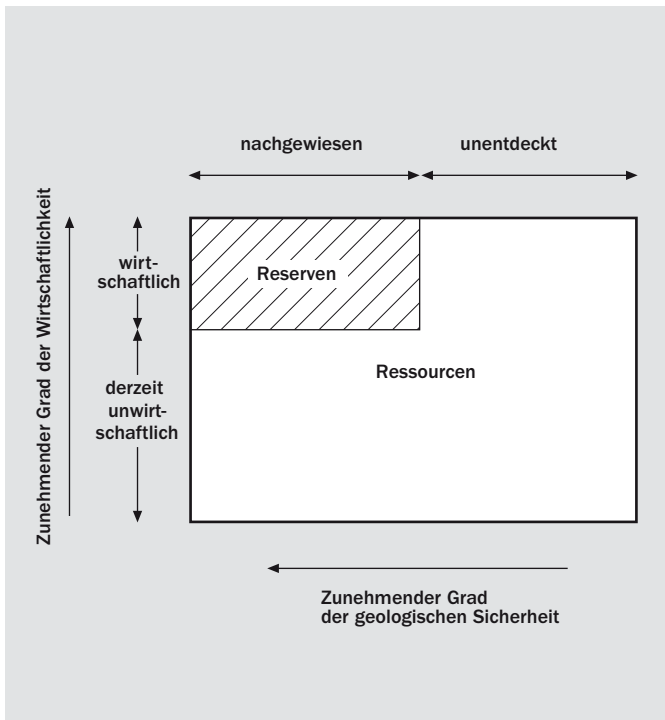


Bild 3: Reserven und Ressourcen [6]

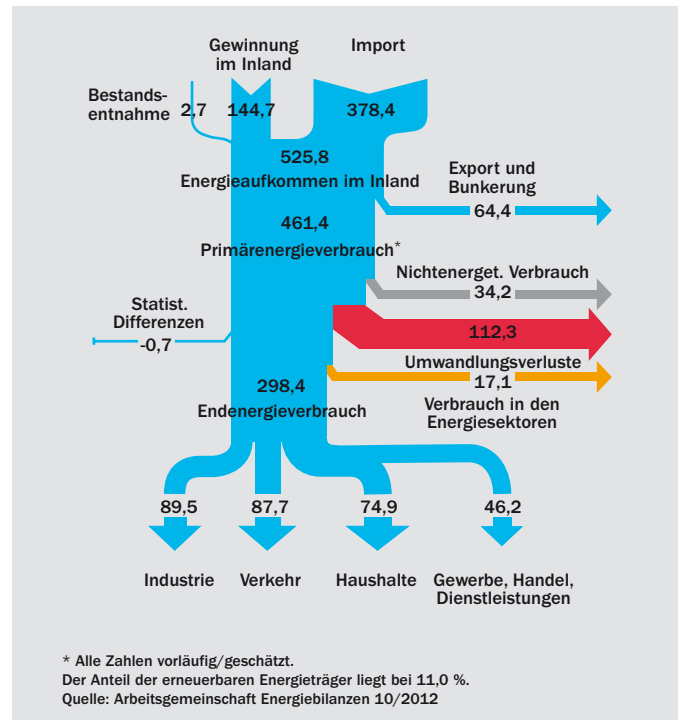


Bild 4: Energieflussbild 2011 für Deutschland in Mio. t SKE (Steinkohleeinheiten) [2]

abhängigkeit Deutschlands im Hinblick auf die Versorgungssicherheit.

Der Endenergieverbrauch in Deutschland für 2010 lässt sich entsprechend Bild 5 aufschlüsseln.

Einen hohen Anteil am Energieverbrauch haben die Haushalte, ganz besonders für den Bereich der Raumwärme sowie der Warmwasserversorgung (Bild 6). Vorsichtige Schätzungen gehen von einem wirt-

schaftlich realisierbaren Einsparpotenzial insbesondere im Gebäudebestand von mehr als 40 % aus.

1.2.2 Klimaschutz

Deutschland hat sich ehrgeizige Klimaschutzziele gesetzt und diese fortgeschrieben. So sollen die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 um mindestens 40 % gemindert werden. Des Weiteren hat sich Deutschland bereit erklärt, zur Erfüllung des Kyoto-Protokolls einen erheblichen

Beitrag zu leisten. In Kyoto haben sich die Industrieländer verpflichtet, ihre Emissionen von sechs im Protokoll genannten Treibhausgasen – wie z.B. CO₂ und CH₄ – bis zur Zielperiode 2008 bis 2012 gegenüber 1990 im Durchschnitt um 5,2 % zu senken. Deutschland wollte seine Emissionen dabei um 21 % senken [9]. Im Jahr 2010 konnte bereits eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen von 25,0 % festgestellt werden. Damit gilt Deutschland als Vorreiter zur Erfüllung der Klimaschutzziele [10].

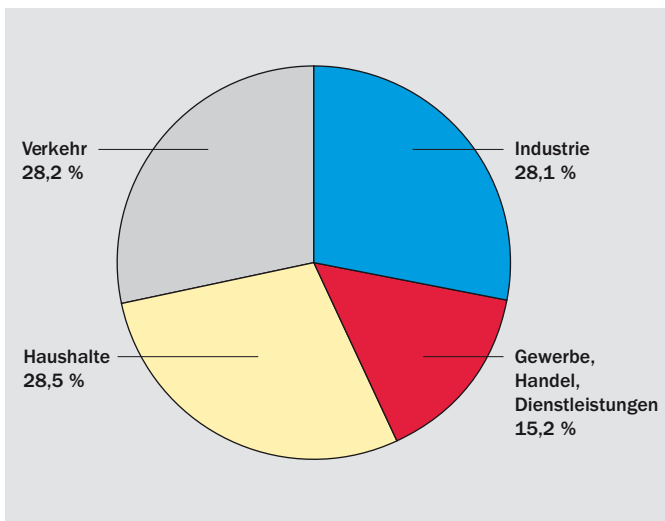


Bild 5: Endenergieverbraucher 2010 [7]

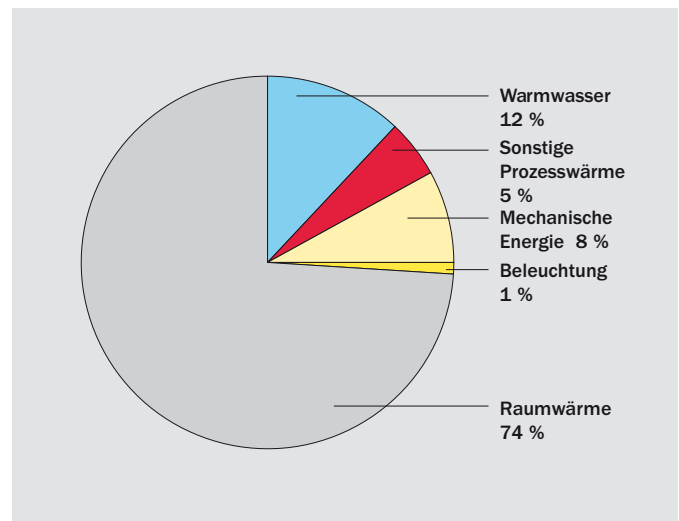


Bild 6: Anteile der Anwendungsbereiche des Endenergieverbrauchs im Haushalt 2006 [8]

Vergleicht man die Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen ausgewählter Länder bezogen auf 1990, zeigt sich im internationalen Vergleich trotz Wirtschaftswachstums eine deutliche Reduktion der CO₂-Emissionen in Deutschland (Bild 7). Für den Bereich der Wohngebäude und beim Verkehr ist jedoch ein Anstieg der CO₂-Emissionen im Vergleich zum Ausgangsjahr 1990 zu verzeichnen. Dies ist bei den Wohngebäuden auf den Zuwachs an zu beheizender Fläche und beim Verkehr auf den höheren PKW-Bestand zurückzuführen (Bild 8).

1.2.3 Politische Rahmenbedingungen

Die energetischen Anforderungen an Gebäude werden nach [9] in Stufen dem Stand der Technik und der Energiepreisentwicklung angepasst. Ab 2020 soll die Wärmeversorgung von Neubauten möglichst weitgehend unabhängig von fossilen Energieträgern sein.

Dazu wurde die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 im Vergleich zur EnEV 2007 um durchschnittlich 30 % verschärft. Weitere Reduzierungen sind im Rahmen des wirtschaftlich Vertretbaren mit folgenden Eckpunkten geplant: Nach dem derzeitigen Stand der Diskussion soll der Jahres-Primärenergiebedarf mit der Novellierung der EnEV im Jahr 2014 um 12,5 % und im Jahr 2016 um weitere 12,5 % abgesenkt werden [11].

Zudem soll die EU-Gebäuderichtlinie 2010 durch die Einführung der neuen EnEV 2014 in Deutschland umgesetzt werden. Die EU-Gebäuderichtlinie fordert ab 2020 den Bau von Niedrigst- oder Null-Energie-Neubauten. Diesem Ziel gilt es schrittweise näher zu kommen.

Ebenso strebt die Bundesregierung klimaneutrale Gebäude an, und somit ist es notwendig, den Baubestand bis 2050 dementsprechend zu sanieren [12].

1.3 Dimensionen der Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeit setzt sich aus den folgenden Dimensionen zusammen (Bild 9):

- Ökonomie,
- Ökologie und
- Soziokulturelles.

Dabei sind die drei Dimensionen als gleichwertig zu betrachten. Kaum ein anderer Bereich macht die Wechselbeziehungen zwischen den drei Dimensionen

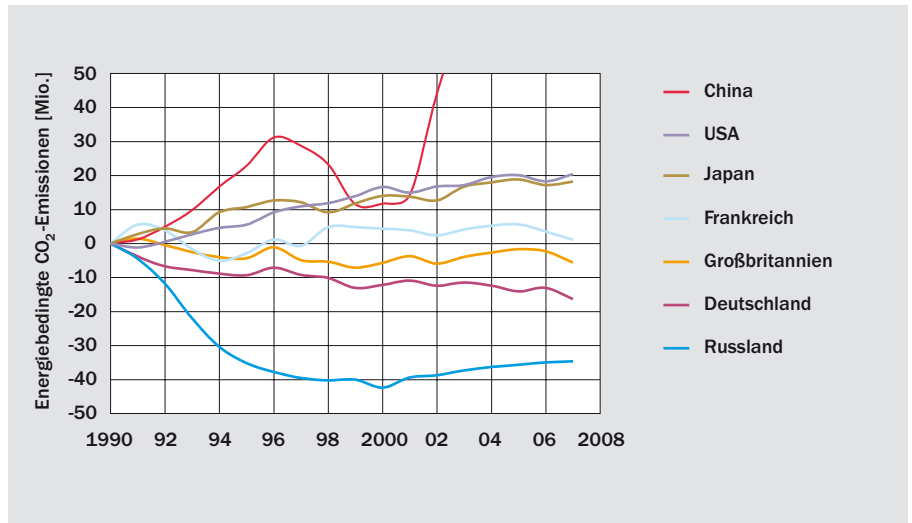


Bild 7: Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen im Vergleich zum Ausgangsjahr 1990 [13]

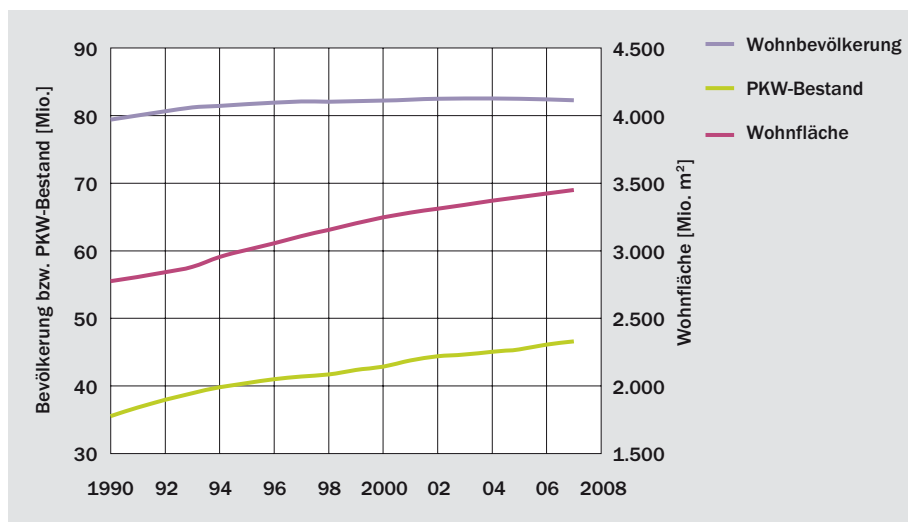


Bild 8: Zunahme der zu beheizenden Wohnfläche sowie des PKW-Bestands in Deutschland [13]

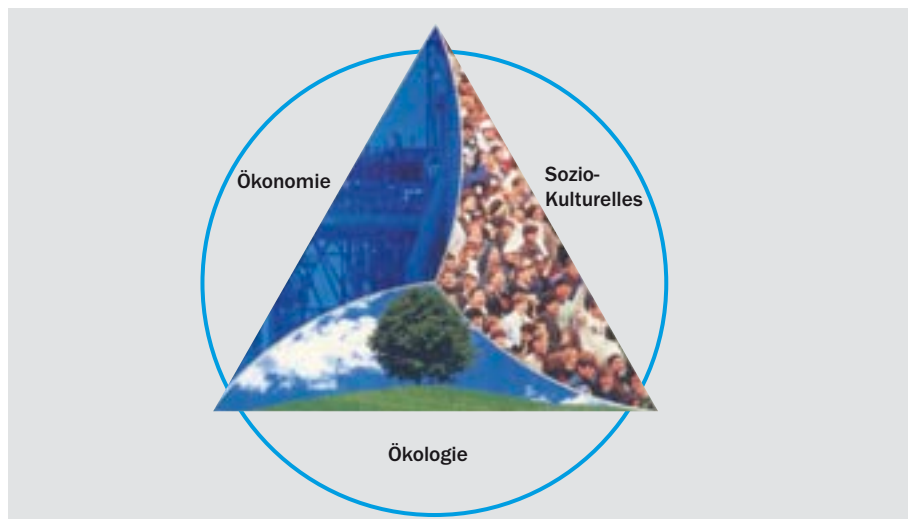


Bild 9: Dimensionen der Nachhaltigkeit [1]

der Nachhaltigkeit derart deutlich wie der Bereich Bauen und Wohnen.

Bereits im Jahr 2001 wurde der Leitfaden Nachhaltiges Bauen [14] durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) für die Bauvorhaben im Verantwortungsbereich des BMVBS verbindlich eingeführt. Auf Initiative der Deutschen Bauindustrie wurde ein Runder Tisch Nachhaltiges Bauen eingerichtet, der durch das BMVBS moderiert wird. Im Jahr 2011 wurde der Leitfaden Nachhaltiges Bauen mit einer Neuauflage fortgeschrieben. Mit der Einführung wurde für den Neubau von Bundesbaumaßnahmen das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) verbindlich eingeführt. Dabei gilt es, die im Leitfaden Nachhaltiges Bauen gestellten Anforderungen einzuhalten.

1.4 Schutzziele und Indikatoren

Die Schutzziele des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen lassen sich mit folgenden Indikatoren beschreiben [15]:

1.4.1 Ökologische Qualität

Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt

- Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP) zur Beschreibung des Beitrags von Emissionen zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten (Klimawandel)
- Ozonschichtabbaupotential (Ozone Depletion Potential – ODP) zur Beschreibung der Bildung des Ozonlochs
- Ozonbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential – POCP) zur Beschreibung der bodennahen Ozonbildung (Sommersmog)
- Versauerungspotenzial (Acidification Potential – AP) zur Beschreibung des Einflusses von saurem Regen (Waldsterben)
- Überdüngungspotenzial (Eutrofication Potential – EP) zur Beschreibung der Überdüngung von Gewässern
- Risiken für die lokale Umwelt (Grundwasser, Oberflächenwasser, Boden, Außenluft)
- Nachhaltige Materialgewinnung Holz zur Beschreibung der Tropischen Hölzer aus nachhaltiger Gewinnung zum Ausschluss von Holz und Holzwerkstoff

fen aus unkontrollierter Gewinnung in gefährdeten tropischen, subtropischen und borealen Waldregionen der Erde

Ressourceninanspruchnahme

- Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PE_{ne}) zur weiteren Reduzierung des Primärenergieverbrauchs bei gleichzeitiger Entkopplung vom Wirtschaftswachstum
- Gesamtprimärenergiebedarf (PE_{ges}) und Anteil erneuerbarer Primärenergie (PE_e) zur Beschreibung und Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Gesamtprimärenergiebedarf
- Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen mit dem Ziel der Minimierung des Trinkwasserverbrauchs durch effiziente Wassereinsparungstechniken und -maßnahmen
- Flächeninanspruchnahme im Hinblick auf die Minimierung der Landschaftszersiedlung sowie zusätzlicher Bodenversiegelung

1.4.2 Ökonomische Qualität

- Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus zur Minimierung der Lebenszykluskosten (Erstellung, Betrieb, Instandhaltung, Rückbau, Recycling etc.)
- Drittverwendungsfähigkeit zur Beschreibung der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit

1.4.3 Soziokulturelle Qualität

Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit

- Thermischer Komfort im Winter als Grundlage für effizientes und leistungsförderndes Arbeiten
- Thermischer Komfort im Sommer als Grundlage für effizientes und leistungsförderndes Arbeiten
- Innenraumhygiene zur Sicherstellung einer guten Innenraumluftqualität auch im Bezug auf die CO_2 -Werte
- Akustischer Komfort zur Sicherstellung eines geringen resultierenden Stör- und Fremdgeräuschpegels sowie der Sprachverständlichkeit in Räumen
- Visueller Komfort als Grundlage für effizientes und leistungsförderndes Arbeit

ten einschließlich einer ausreichenden und störungsfreien Beleuchtung

- Einflussnahme des Nutzers zur Erhöhung der Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit
- Aufenthaltsmerkmale im Außenraum zur Schaffung von individuellen Kommunikations-, Ausweichs- und Rückzugsmöglichkeiten für unterschiedliche Nutzergruppen und Nutzerbedürfnisse
- Sicherheit und Störfallrisiken zur Erhöhung der subjektiven Sicherheit

Funktionalität

- Barrierefreiheit mit dem Ziel, allen Menschen die Möglichkeit zu geben, die gebaute Umwelt gleichermaßen zu nutzen
- Flächeneffizienz zur Steigerung der effektiven Nutzung bereits versiegelter Flächen
- Umnutzungsfähigkeit zur Steigerung der Akzeptanz und Lebensdauer eines Bauwerks durch Erhöhung der Funktionalität, Flexibilität und Anpassbarkeit an sich wandelnde Rahmenbedingungen (Adaptivität)
- Zugänglichkeit zur Unterstützung von Integrationsprozessen
- Fahrradkomfort zur Verbesserung der Fahrradinfrastruktur

Sicherung der Gestaltungsqualität

- Gestalterische und städtebauliche Qualität im architektonischen Wettbewerb
- Kunst am Bau zur Stärkung der baukulturellen Verantwortung und Vorbildfunktion von öffentlichen Bauherren

Neben den drei tradierten Dimensionen der Nachhaltigkeit werden für den Bereich des nachhaltigen Bauens die technische, die Prozess- sowie die Standortqualität hervorgehoben.

1.4.4 Technische Qualität Technische Ausführung

- Schallschutz auf der Grundlage der allgemein anerkannten Regeln der Technik

- Reinigung und Instandhaltung des Baukörpers bzw. der Baukonstruktionen zur Erhöhung der technischen Lebensdauer
- Rückbau, Trennung und Verwertung im Bezug auf die Baukonstruktionen, Recyclingfreundlichkeit als Paradigmenwechsel vom potenziellen Müll zum Zwischenlager wertvoller Rohstoffe
- Wärme- und Tauwasserschutz – derzeit in Bearbeitung

1.4.5 Prozessqualität Planung

- Projektvorbereitung
- Integrale Planung
- Komplexität und Optimierung der Planung
- Ausschreibung und Vergabe
- Voraussetzungen für eine optimale Bewirtschaftung

Bauausführung

- Baustelle/ Bauprozess
- Qualitätssicherung der Bauausführung
- Systematische Inbetriebnahme

1.4.6 Standortqualität Standortmerkmale

- Risiken am Mikrostandort durch Unfälle oder aus Wetter- und Naturereignissen, Verhältnisse am Mikrostandort zur Begrenzung von Verkehrslärm und anderen Umwelteinwirkungen (Feinstaub, ozonbildende Stickoxide und andere Emissionen)
- Verhältnisse am Mikrostandort im Bezug auf die Belastungen durch die Umwelt
- Quartiersmerkmale auf der Grundlage der Behaglichkeit und der Sicherheit
- Verkehrsanbindung
- Nähe zu nutzungsrelevanten Einrichtungen der Nahversorgung, Gastronomie und anderen anliegenden Medien
- Anliegende Medien/ Erschließung

Diese Indikatoren zur Beschreibung der Nachhaltigkeit bilden die Grundlage des BNB. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS hat in einer zweijährigen Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. der DGNB einen ersten Kriterienkatalog zur ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten für Gebäude entwickelt. Mit dem BNB stellt das BMVBS eine Methode zur Bewertung von Büro- und Verwaltungsbauten zur Verfügung. Diese wird schrittweise durch weitere Nutzungsprofile und Bewertungskriterien erweitert. Für die Bewertung der Büro- und Verwaltungsbauten wird das Gebäude im Hinblick auf die Ökonomie und die Ökologie über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren bewertet. Die Indikatoren zur Bewertung der Nachhaltigkeit wurden darüber hinaus z.B. an Unterrichts- und Laborgebäude angepasst. Diese werden ebenfalls für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren zertifiziert [15].

Die Qualitäten der Ökologie, der Ökonomie, des Soziokulturellen sowie der technischen Qualität werden jeweils mit einem Anteil von 22,5 % und die Prozessqualität mit einem Anteil von 10 % in der Gesamtbewertung berücksichtigt. Die Standortqualität wird lediglich zur Information mitgeführt, ohne in die Bewertung einzufließen. Auf der Grundlage des daraus resultierenden Gesamterfüllungsgrads kann dann ein Gebäude gemäß BNB zertifiziert werden. Ab einem Erfüllungsgrad von 90 % wird das Zertifikat Gold, ab 65 % Silber und ab 50 % Bronze erreicht. Diese Aggregation auf einen Einzahlenwert ist politisch gewollt, wissenschaftlich jedoch derzeit nicht begründbar [15].

Für den Bereich des Wohnungsbaus ist das Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau zu nennen, mit dem ein Wohnungsneubau derzeit auf freiwilliger Basis bewertet werden kann. Dabei beträgt der Betrachtungszeitraum 80 Jahre.

1.5 Lebenszyklusbetrachtung

Jedes Bauen, jedes Betreiben eines Gebäudes greift in die Dimension der Nachhaltigkeit ein. Somit ergeben sich folgende Fragen:

- Welche Bauten sind nachhaltig?
- Wie kann eine Bewertung objektiviert werden?

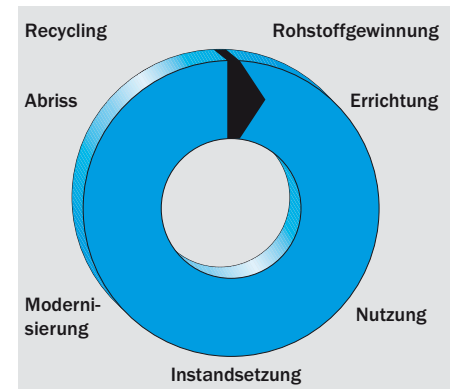


Bild 10: Lebenszyklus [16]

Zur Objektivierung einer Bewertung müssen insbesondere die ökonomischen und ökologischen Einflussfaktoren über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes von der Wiege bis zur Bahre (cradle to grave) erfasst werden (Bild 10).

Die Zielsetzung ist es, die Lebenszyklusaufwendungen – seien sie ökonomischer oder ökologischer Natur – zu minimieren. Insbesondere durch die Senkung der Lebenszykluskosten bietet sich die Chance, ggf. höhere Investitions- oder Planungskosten durch Einsparungen bei den Betriebskosten refinanzieren zu können (Win-Win-Situation). Die Einbeziehung der Lebenszyklusbetrachtung ist als eine neue Stufe der Qualität des Bauens zu sehen.

2. PLANUNGSPHASE

In der Planungsphase kommen der ökonomischen Lebenszyklusbetrachtung (Life-Cycle-Costing – LCC) und der ökologischen Lebenszyklusbewertung (Life-Cycle-Assessment – LCA) besondere Bedeutung zu. Ziel ist es, die Aufwendungen und Wirkungen des Gebäudes über seine gesamte Nutzungsdauer zu minimieren.

2.1 Ökonomische Lebenszyklusanalyse

2.1.1 Eingangswerte

Bei der ökonomischen Lebenszyklusanalyse werden die Investitionskosten, die nach DIN 276 in Kostengruppen zusammengefasst werden (Tafel 1), sowie die Baunutzungskosten nach DIN 18960 ermittelt (Tafel 2).

Mit zunehmender Planungstiefe werden die Investitionskosten von einer Kostenschätzung über eine Kostenberechnung sowie einen Kostenanschlag bis zur Kostenfeststellung berechnet. Für die Investitionskostenermittlung liegen bereits für die frühe Planungsphase langjährige Erfah-

Tafel 1: Investitionskosten nach Kostengruppen der DIN 276

100	Grundstück
200	Herrichten und Erschließen
300	Bauwerk, Baukonstruktionen
400	Bauwerk, Technische Anlagen
500	Außenanlagen
600	Ausstattung und Kunstwerke
700	Baunebenkosten

Tafel 2: Baunutzungskosten nach DIN 18960

1	Kapitalkosten	1.1 Fremdmittel 1.2 Eigenmittel
2	Abschreibung	
3	Verwaltungskosten	
4	Steuern	
5	Betriebskosten	5.1 Gebäudereinigung 5.2 Abwasser und Wasser 5.3 Wärme und Kälte 5.4 Strom 5.5 Bedienung 5.6 Wartung und Inspektion 5.7 Verkehrs- und Grünflächen 5.8 Sonstiges
6	Bauunterhaltungskosten	

rungen sowie umfangreiche Instrumente und Tabellenwerke vor, um diese mit relativ hoher Genauigkeit und Sicherheit ermitteln zu können. Auf der Grundlage des Endenergiebedarfs eines Gebäudes und den Angaben im Steckbrief 2.1.1 „Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus“ des BNB für die verschiedenen Energieträger können die Energiekosten in der Betriebsphase des Gebäudes bestimmt werden. Des Weiteren können anhand der Nutzungsdauern von Baustoffen und Bauteilen, die seitens des BMVBS veröffentlicht sind, die Instandsetzungskosten ermittelt werden. Für die Berechnung des Kapital- bzw. Barwerts enthält der Steckbrief 2.1.1 vorgegebene Preissteigerungsraten und einen Kalkulationszinssatz.

2.1.2 Verfahren

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Investitions- und Baunutzungskosten stehen die Kapital-(Barwert)-Methode sowie das Annuitätsverfahren zur Verfügung. Bei der Kapital-Barwert-Methode werden Zahlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten unter Berücksichtigung der Verzinsung auf einen bestimmten Zeitpunkt auf- oder abgezinst. Bei dem Annuitätsverfahren werden die in unterschiedlichen Perioden anfallenden Zahlungen mit Hilfe des Annuitätenfaktors in eine durchschnittliche Zahlung transformiert.

2.1.3 Ergebnisse

Untersuchungen an ausgeführten Objekten zeigen: In Abhängigkeit vom Niveau des baulichen Wärmeschutzes sowie der technischen Gebäudeausrüstung TGA fallen 65 bis 80 % der Lebenszykluskosten als Baufolgekosten und lediglich 20 bis 35 % als Investitionskosten an.

In Bild 11 ist beispielhaft die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Außenwandkonstruktion aus Kalksandstein-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem (Polystyrol-Hartschaum, Wärmeleitfähigkeit 0,04 W/(m·K)) bei Variationen der Wärmedämmstoffdicke dargestellt. Dabei wurden drei Szenarien der Endenergiekosten (Wärmegestellungskosten 0,02 €/kWh, 0,04 €/kWh und 0,06 €/kWh) unter Annahme einer Heizenergieversorgung mit einem Gas-Brennwertkessel (Standort Berlin) dargestellt.

Von der Heizkosteneinsparung werden die jeweiligen Investitionskosten abgezogen. Als Zinssatz wurden 4,0 % und als Preissteigerung für die Energie 7,0 % angesetzt. Das Maximum des in Bild 11 dargestellten annuitätischen Gewinns zeigt die optimale Wärmedämmstoffdicke an. Hervorzuheben ist, dass der Kurvenverlauf

des annuitätischen Gewinns im Bereich des Maximums einen sehr flachen Verlauf hat. Eine maßvolle Erhöhung der Wärmedämmstoffdicke über das Optimum hinaus führt lediglich zu einem geringfügig geringeren annuitätischen Gewinn. Im Hinblick auf die Unsicherheit der Energiekostenpreisentwicklung bieten höhere Wärmedämmstoffdicken zusätzliche Sicherheit.

2.1.4 Lebensdauer, Nutzungsdauer, Referenzzeitraum

Dem Ansatz der Lebens- bzw. Nutzungsdauer kommt im Rahmen einer Lebenszyklusbewertung besondere Bedeutung zu. Dabei ist zwischen der technischen und wirtschaftlichen Lebensdauer, der Nutzungsdauer und dem Referenzzeitraum zu differenzieren.

Unter dem Referenzzeitraum versteht man den Ansatz der Nutzungsdauer des Ge-

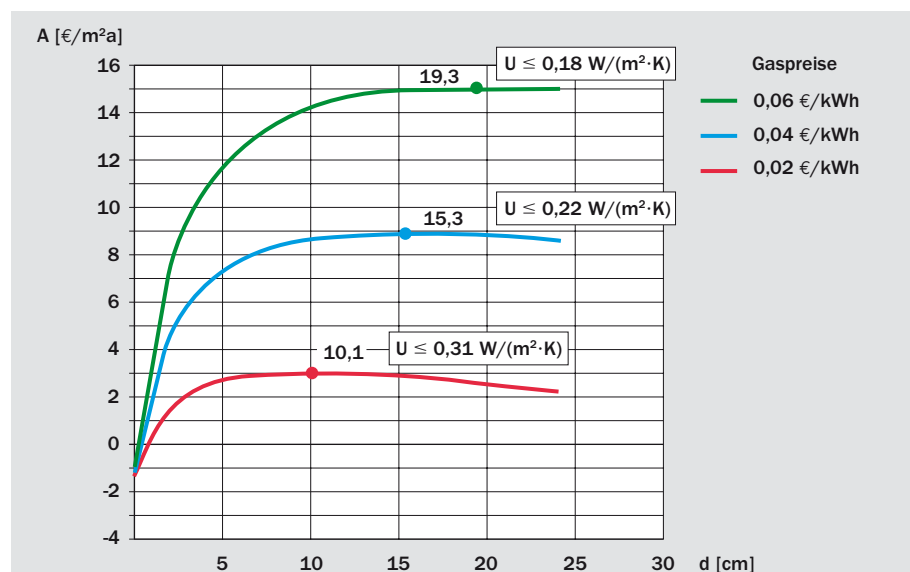


Bild 11: Annuitätsverfahren, Optimierung der Wärmedämmstoffdicke eines WDVS auf KS-Mauerwerk

samtgebäudes im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtung. Dabei können die Ansätze nach Tafel 3 und Tafel 4 zugrunde gelegt werden.

In [14] sind darüber hinaus Angaben zur technischen Lebensdauer von Baukonstruktionen nach dem Ordnungsprinzip der DIN 276 angegeben. Dabei wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die tatsächliche Lebensdauer der Bauteile oder Bauteilschichten vor allem von den Bauteileigenschaften, der Ausführungsqualität, der konkreten Beanspruchung und den Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen beeinflusst wird. Die technische Lebensdauer ist deshalb in der angegebenen Spanne unter Berücksichtigung folgender Einflussgrößen sinnvoll abzuschätzen:

- Materialqualität
- Komplexität des Bauteils
- Ausführungsqualität
- Anforderungen an das handwerkliche Geschick
- Exposition (Klima, Umwelt etc.)
- Nutzungsintensität
- Inspektions- und Wartungsintervalle
- Reparaturfreundlichkeit
- Nutzungsflexibilität
- Technischer Fortschritt
- Ästhetischer Verschleiß

Als Beispiel für ästhetischen Verschleiß sind Fliesenbeläge und Sanitärobjekte zu nennen, deren technische Lebensdauer durchaus 100 Jahre betragen kann, die aber bereits deutlich früher – aufgrund des sich ändernden Geschmacks – einen Austausch erfahren können.

Kalksandsteine erfüllen seit mehr als 100 Jahren alle konstruktiven Anforderungen – sei es z.B. als dauerhafte Steine für ein Grundmauerwerk oder im Tunnelbau – auch wenn sie unter Dauerfeuchte stehen. Sie erfüllen ihre Funktion als Verblender bei häufigem Frost-Tau-Wechsel genauso wie bei landwirtschaftlichen Bauten mit Anforderungen aus der Tierhaltung. Durch eine turnusmäßige Instandhaltung von klimatisch oder anderweitig beanspruchten KS-Sichtflächen durch Be-

Tafel 3: Referenzzeiträume von Gebäuden

Nutzungsart	Referenzzeitraum [a]	Quelle
Wohnen	60	aus [10]
Verwaltung	50	
Gewerbe	40	
Industrie	20	
Forschung	30	
Lehre und Ausbildung	40	
Bundesbauten	100	aus [8]

Tafel 4: Referenzzeiträume von anderen Gebäuden nach [17]

Bauweise	Referenzzeitraum [a] bei		
	geringem Installationsgrad	mittlerem Installationsgrad	hohem Installationsgrad
massiv	60	50	40
gemischt	50	40	30
leicht	40	30	20

schichtungen o.Ä. lässt sich die Lebensdauer noch weiter erhöhen. Mauerwerkswände aus Kalksandstein erreichen somit eine sehr hohe Lebensdauer, die die Referenzzeiträume der Gebäudenutzung weit übersteigt. In [14] wird für Wärmedämm-Verbundsysteme von einer technischen Lebensdauer von 25 bis 45 Jahren ausgegangen. Neuere Literaturstellen [18,19] geben jedoch die Lebensdauer mit 40 bzw. 60 Jahren an.

2.2 Ökologische Lebenszyklusbewertung

2.2.1 Verfahren

Die ökologische Lebenszyklusbewertung – auch Ökobilanz genannt – stellt eine Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und der produktspezifischen potenziellen Umwelteinwirkungen dar. Eine Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 ff. [20] gliedert sich in folgende Schritte:

- Zielstellung
- Systemgrenzen
- Sachbilanz von relevanten Input- und Outputströmen eines Produktsystems
- Wirkungsabschätzung zur Beurteilung der mit diesen Inputs und Outputs verbundenen potenziellen Umweltwirkungen
- Auswertung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung hinsichtlich der Zielstellung

Zunächst ist die Zielsetzung zu formulieren. Eine Lebenszyklusbewertung im Sinne

eines Baustoffrankings, bei dem ein Kilogramm oder ein Kubikmeter des einen Stoffes mit dem anderen Stoff verglichen wird, greift zu kurz. Wie bereits beschrieben, spielt insbesondere die technische Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer eine maßgebende Rolle. Deshalb kann frühestens auf Baukonstruktionsebene ein sinnvoller erster Variantenvergleich erfolgen. Eine technische Gleichwertigkeit der untersuchten Konstruktionen – z.B. im Hinblick auf Wärme-, Brand- und Schallschutz – ist weitere Voraussetzung. Bei einer ökologischen Lebenszyklusbewertung sollte der Variantenvergleich auf Gebäudeebene erfolgen, da viele Einflussfaktoren – z.B. der Reinigungsaufwand oder der Wasserbedarf bzw. das Abwasseraufkommen – nicht von einer Baukonstruktion abhängig sind und erst auf Gebäudeebene berücksichtigt werden können.

Als Systemgrenze ist das Gesamtgebäude festzulegen. Darüber hinaus müssen Abschneidekriterien definiert werden, um zu einer einheitlichen Bewertung zu kommen. Hier können beispielsweise Stoffströme unberücksichtigt bleiben, wenn der Einfluss auf die Sachbilanz kleiner als 1 % ist.

Bei einer Sachbilanz werden sämtliche In- und Outputs aus allen Prozessketten von der Rohstoffgewinnung bis zur Fertigstellung des Produkts – also von der Wiege bis zum Werkstor (cradle to gate) – erfasst. Bei der Wirkungsabschätzung wird die Wirkung verschiedener Substanzen bezüglich eines Wirkungsindikators durch einen gewichteten Summenwert bestimmt. So werden die Klimaauswirkungen mit dem Treib-

hauspotenzial GWP an der Leitsubstanz Kohlendioxid (CO₂) festgelegt und das CO₂-Äquivalent wie folgt errechnet:

$$GWP = \sum_i (m_i \cdot GWP_i)$$

Der Faktor GWP_i gibt an, um wie viel mal stärker oder schwächer der Einfluss eines Stoffes mit der Masse m_i im Vergleich zu CO₂ hinsichtlich des Treibhauseffektes ist.

2.2.2 Eingangswerte

Die Wirkungsabschätzungen unterschiedlicher Bauprodukte werden in den Umweldklarationen (Environmental Product Declaration EPD) unter Ansatz einheitlicher Systemgrenzen ermittelt. Die Kalksandsteinindustrie hat hier bereits Mitte der 1990er Jahre vorbildlich durch die Erstellung einer Ökobilanz für den Baustoff Kalksandstein gehandelt [21]. Andere Bauproduktenhersteller ziehen derzeit nach.

2.2.3 Ergebnisse

Beispielhaft erfolgt in Bild 12 die Bestimmung der optimalen Wärmedämmstoffdicke einer Kalksandstein-Außenwand im Hinblick auf die Minimierung des Primärenergieeinsatzes (Primary Energy Input PEI), des Treibhauspotenzials (Global Warming Potential GWP) sowie des Versauerungspotenzials (Acidification Potential AP). Dabei sind die Aufwendungen und Wirkungen aus der Rohstoffgewinnung bis zur Errichtung der Konstruktion sowie der Primärenergiebedarf infolge von Transmissionswärmeverlusten durch die Außenwandkonstruktion und die Instandset-

zung berücksichtigt. Im Vergleich zur ökonomischen Optimierung der Konstruktion zeigt sich, dass beim wirtschaftlichen Optimum (vgl. Bild 11) das ökologische Optimum noch nicht erreicht wird.

Bei zukünftig steigenden Energiekosten und damit höheren Wärmedämmstoffdicken zeigen Kalksandsteinwände mit Wärmedämm-Verbundsystemen eine ökologisch positive Bilanz.

3. ERRICHTUNGSPHASE

3.1 Rohstoffgewinnung

Kalksandsteine bestehen aus den rein natürlichen Inhaltstoffen Kalk, Sand und Wasser. Es werden keine chemischen Zusätze beigegeben.

Der Sand wird meist in der Nähe des jeweiligen Kalksandsteinwerkes gewonnen. Aufgrund des Mischungsverhältnisses von 1:12 (Kalk zu Sand) werden bei der Produktion große Mengen dieses Zuschlagstoffes benötigt. Kurze Transportwege führen somit zu einer sehr günstigen Ökobilanz.

Die Lagerstätten werden nach dem umweltschonenden Abbau der Rohstoffe rekultiviert und stehen zur Nutzung z.B. als Naherholungsgebiete oder als Biotope für Flora und Fauna wieder zur Verfügung. Oftmals entstehen nach der Rekultivierung landschaftsschutztechnisch höherwertige Gebiete als vor dem Abbau.

Kalksandsteine enthalten im Vergleich zu anderen Baustoffen nur sehr geringe Konzentrationen an radioaktiven Isotopen (Tafel 5).

Die Strahlenexposition bei mineralischen Baustoffen ergibt sich im Wesentlichen aus unterschiedlichen Konzentrationen von Radionukleiden und deren Folgeprodukten. Dabei spielen die Edelgase Radon und Thoron als Zerfallsprodukte von Radium und Thorium eine Rolle. Alle natürlichen mineralischen Produkte enthalten radioaktive Zerfallsprodukte dieser beiden Radionukleiden und emittieren eine gewisse Strahlungsmenge. Dabei ist die abgesandte Menge auch abhängig vom Porengefüge und Feuchtegehalt des jeweiligen Baustoffes.

Ein größeres Problem als die natürliche Radioaktivität der Baustoffe kann die Radonbelastung im Erdboden sein. Radon ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Edelgas. Es entsteht beim radioaktiven Zerfall aus Radium. Es kann aus dem Untergrund in Gebäude eindringen und zur Innenraum-Luftbelastung führen. Die Radonkonzentration in der Bodenluft ist sehr unterschiedlich entsprechend den geologischen Formationen. Angaben zur regionalen Radonbelastungen können [22] entnommen werden. Bei hoher Radonkonzentration sind präventive Maßnahmen zu empfehlen. Dies sind z.B. der Einbau einer durchgehenden Bodenplatte statt der Anordnung von Streifenfundamenten, ein dichtes Kellermauerwerk, ein sorgfältiges Abdichten von Leitungsdurchführungen im Erdreich und eine natürliche oder mechanische Belüftung der Kellerräume.

3.2 Herstellung

Kalksandsteine erweisen sich im Vergleich zu anderen Wandbildnern in ökologischer Hinsicht als besonders günstig. Kalk und Sand werden nach Zugabe von Wasser gepresst und durch Dampfdruck gehärtet. Emissionen entstehen lediglich bei der Dampferzeugung für die Dampfhärtekessel (Autoklaven), die mit einer vergleichsweise niedrigen Temperatur von ca. 200 °C betrieben werden.

Da in sehr vielen Fällen das emissionsarme Erdgas verwendet wird, ist der Energieaufwand und die damit gekoppelten Emissionen von Luftschadstoffen für die Produktion von Kalksandsteinen gering.

Das Produkt Kalksandstein ist umweltneutral und grundwasserunschädlich.

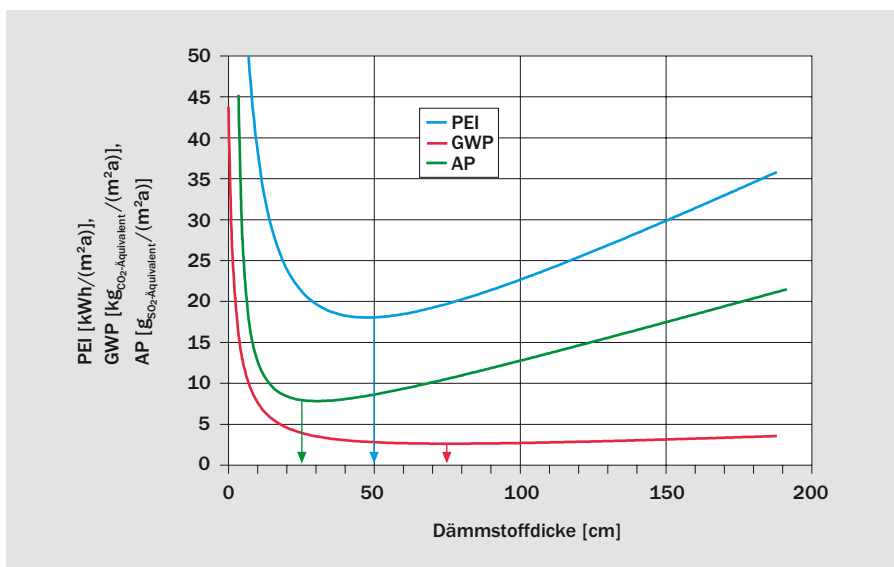


Bild 12: Bestimmung der optimalen Dämmstoffdicke eines WDV auf KS-Mauerwerk in Abhängigkeit ökologischer Wirkungskategorien

Tafel 5: Natürliche Radioaktivität von Baustoffen [23]: Kalksandstein ist ein unbedenklicher Baustoff.

Baustoff	Radionukleidkonzentration [Bq/kg]		Exhalationsrate [Bq/(m ² · h)]	
	²²⁶ Ra	²³² Th	²²² Rn	²³⁰ Rn
Natursandstein	10	10	1,0	170
Porphyr	40	22	3,3	150
Kalksandstein	10	15	0,9	90
Ziegel/Klinker	50	15	0,2	30
Naturbims	60	50	1,5	180
Hüttenschlacke	75	20	0,6	110
Stein mit Flugaschezusatz	80	60	1,2	190
Beton	50	10	1,1	70
Gasbeton	20	15	1,0	60
Naturgips	5	15	0,2	30
Chemiegips				
– Apatit	20	15	0,4	150
– Phosphorit	260	15	24,1	80
empfohlener Grenzwert	≤ 130	≤ 130	≤ 5,0	≤ 1.850

3.3 Transport

Kalksandsteine werden in knapp 100 Produktionsbetrieben regional hergestellt. Hieraus ergibt sich ein dichtes Netz von Kalksandstein-Werken und damit kurze Transportwege mit Entfernungen von ca. 40 bis 60 km vom jeweiligen KS-Werk. Kurze Transportwege bedeuten geringe Umweltbelastungen sowie niedrige Transportkosten und eine sichere Terminierung der Anlieferung.

3.4 Verarbeitung

Für den modernen Kalksandstein-Mauerwerksbau gibt es vielfältige Rationalisierungsansätze, die auch die Verarbeitung erleichtern. Dazu zählen für das kräfteschonende Mauern von Hand die Griffhilfen, um gesundheitlichen Schäden vorzubeugen, das Nut-Feder-System und entsprechende Mörtelschlitten für Dünnbett- und Normalmauermörtel. Die Anforderungen der Kalksandstein-Zweihandsteine erweisen sich als ergonomisch besonders günstig. Durch diese Griffhilfen „hängen“ die Steine an den Fingern.

Kalksandsteine mit einer bauüblichen Feuchte und einem Gewicht von mehr als 25 kg werden entsprechend den Anforderungen der Berufsgenossenschaft mit Versetzeräten verarbeitet. Hier bieten die Kalksandsteine mit Nut-Feder-System besondere Vorteile, da sie ein passgenaues oberflächenebenes Mauern gewährleisten.

Kalksandsteine werden entweder werkseits passgerecht zugeschnitten oder bauseits durch Knacken oder Nass-Sägen angepasst. Hierdurch wird die Staub-

entwicklung für den Verarbeiter deutlich reduziert.

Auch beim Anmischen des Mörtels lässt sich die Staubbildung minimieren, indem zunächst das Anmachwasser eingebracht und der Trockenmörtel anschließend beigefügt wird. Näheres ist den Verarbeitungshinweisen der Mörtelanbieter zu entnehmen.

Für das nachträgliche Bearbeiten, wie z.B. das Anlegen von Kabelkanälen, sind Fräsen mit Staubabsaugung zu verwenden. Darüber hinaus ist auf Kalksandstein-Bausysteme hinzuweisen, die mit einer durchgehenden Lochung für die Elektrokabelverlegung versehen sind.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Kalksandstein-Bausystem alle Anforderungen an den Arbeitsschutz erfüllt.

4. NUTZUNGSPHASE

4.1 Minimierung von Energieaufwendungen und Emissionen

Mehr als 40 % des Primärenergieverbrauchs in Deutschland werden für das Betreiben von Gebäuden aufgewendet. Hierzu gehören das Heizen, die Warmwasserversorgung, das Kühlen, die Lüftung sowie die Beleuchtung.

Die diesbezüglichen Energieaufwendungen sowie die CO₂-Emissionen werden entsprechend der Energieeinsparverordnung (EnEV) für Wohngebäude und für Nichtwohngebäude berechnet. Die Ergebnisse werden darüber hinaus in den Energieausweisen dokumentiert.

Zielsetzung eines Energiekonzepts muss es sein, durch passive baukonstruktive Maßnahmen den Energiebedarf zu reduzieren, um auf aufwendige Anlagentechnik verzichten zu können. Nach dem Erneuerbare-Energie-Wärme-Gesetz EEWärmeG 2009 ist ein Mindestwert an erneuerbarer Energie zur Deckung des Heizwärme- bzw. Kühlbedarfs beim Neubau zu erfüllen. Dabei gilt stets das Wirtschaftlichkeitsgebot.

4.1.1 Heizenergiebedarf

Außenwandkonstruktionen aus Kalksandstein sind in besonderem Maße geeignet, alle Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz zu erfüllen. Hierdurch kann der Heizwärmebedarf bis auf einen Passivhausstandard – mit weniger als 15 kWh/(m²·a) – oder auf einen Nullheizenergiestandard reduziert werden.

4.1.2 Warmwasserversorgung

Die Unterstützung der Warmwasserversorgung mit solarthermischen Anlagen ist in vielen Fällen wirtschaftlich.

4.1.3 Kühlung

Gebäude aus Kalksandstein-Mauerwerk erweisen sich aufgrund der hohen speicherfähigen Masse bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes als besonders günstig. Die Temperaturamplitude im Tag-Nacht-Rhythmus einer Hitzeperiode wird erheblich reduziert. So werden Übertemperaturgradstunden minimiert und man kann vielfach auf eine Klimatisierung verzichten. Positiv wirkt sich hier eine möglichst effektive Nachtlüftung aus.

4.1.4 Lüftung

Insbesondere aus hygienischen Gründen wird ein Mindestluftwechsel erforderlich. Dieser Mindestluftwechsel wird in Form einer freien oder ventilatorgestützten Lüftung sichergestellt. Baukonstruktionen atmen nicht: Die auf dem Wege der Diffusion abführbare Feuchtmenge beträgt weniger als ein Hundertstel der durch einen Luftwechsel abführbaren Feuchtmenge.

Eine luftdichte Gebäudehülle ist Voraussetzung, um ungewollte Lüftungswärmeverluste zu vermeiden. Hierzu werden die Anforderungen in der EnEV mit der Begrenzung des Gebäudeluftwechsels n₅₀ auf 3/h bei freier und 1,5/h bei ventilatorgestützter Lüftung festgelegt. Ein vollflächiger Innenputz erfüllt die Funktion der Luftdichtheitsebene auch bei Kalksand-

stein-Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung.

Geregelte Außenwandluftdurchlässe (ALD) sorgen für einen Mindestluftwechsel und begrenzen gleichzeitig den Luftvolumenstrom. Ist eine maschinelle Lüftung vorgesehen, sollte im Variantenvergleich der Einsatz von Anlagen mit Wärmerückgewinnung geprüft werden.

4.1.5 Beleuchtung

Die Energieaufwendungen für eine künstliche Beleuchtung können durch eine Optimierung der Tageslichtnutzung minimiert werden. Für eine ausreichende Belichtung in die Tiefe des Raums hinein sind insbesondere die oberen Fensterflächen von Bedeutung. Durch die Ausbildung deckengleicher Unterzüge kann auf die Stürze verzichtet werden.

Lichtlenksysteme, eine automatische Dimmung oder eine präsenzabhängige Steuerung führen darüber hinaus zu einer weiteren Reduzierung des Strombedarfs.

Lebenszyklusanalysen zeigen: Mit KS-Wänden lassen sich Energieaufwand und Emissionen minimieren.

4.2 Behaglichkeit

Gebäude müssen den Bedürfnissen ihrer Nutzer entsprechen und sollen ein hohes Maß an Wohlbefinden gewährleisten [14]. Dies ist ein wesentlicher Aspekt der soziokulturellen Dimension der Nachhaltigkeit. Die Erhaltung der menschlichen Gesundheit und die Behaglichkeit bestimmen in hohem Maße die Leistungsfähigkeit des Menschen.

Dabei können folgende Arten der Behaglichkeit differenziert werden:

- Thermische hygrische Behaglichkeit (Wahrnehmung durch Wärme- und Tastsinn)
 - Temperatur der Raumluft
 - Temperatur der Begrenzungsflächen
 - Luftfeuchte
 - Luftgeschwindigkeit
 - Bekleidung
 - Aktivität
- Akustische Behaglichkeit (Wahrnehmung durch Hörsinn)
- Optische und visuelle Behaglichkeit (Wahrnehmung durch Sehsinn)

- Beleuchtungsniveau
- Gleichmäßigkeit der Beleuchtung
- Farbe
- Olfaktorische Behaglichkeit (Wahrnehmung durch Geruchssinn)
- Psychologische Behaglichkeit
 - Persönliche Bedürfnisse
 - Sichtkontakt mit der Außenwelt
 - Bewegungsmöglichkeit im Raum
 - Alter
 - Gesundheitszustand
 - Gewöhnung und Einstellung zu Situationen
- Motorische Behaglichkeit
 - Bewegung
 - Gleichgewicht
 - Tätigkeit
 - Aktivität
- Haptische Behaglichkeit (Wahrnehmung unter Einbeziehung des Tast-, Wärme- und Sehsinns bei der Beurteilung der Oberflächenwirkung von gegenständlicher Materie)

Im Folgenden sollen die Bereiche der thermisch-hygrischen Behaglichkeit und der akustischen Behaglichkeit vertiefend behandelt werden.

4.2.1 Thermisch-hygrische Behaglichkeit

Der menschliche Körper ist nur begrenzt in der Lage, seine Körpertemperatur unabhängig von den ihn umgebenden Luftzuständen und seiner Muskelaktivität konstant zu halten. Ein völlig entspannter Körper benötigt im Behaglichkeitszustand beim Sitzen die zur Gewährleistung des Lebens erforderliche Mindestwärmebildung von etwa 60 W/m² Körperoberfläche. In diesem Zustand herrscht energetisches Gleichgewicht zwischen der im Körper erzeugten und von ihm abgegebenen bzw. gespeicherten Wärme. Thermorezeptoren in der Haut und im Gehirn regeln die Körpertemperatur und sind für das Wärmeempfinden verantwortlich. Die innere Wärmeerzeugung erfolgt durch Verbrennungsprozesse in den Organen und durch körperliche Tätigkeit, wie Muskelbewegung. Die äußere Wärmeabgabe erfolgt durch:

- Konvektion der an der Hautoberfläche vorbei streichenden Luft
- Wärmeleitung an berührten Flächen, z.B. Füßen, Händen und Gesäß

- Wärmestrahlung von der Körperoberfläche an die umgebenden kälteren Bauteiloberflächen
- Verdunstung von Wasser auf der Haut, z.B. durch Schwitzen
- Atmung
- Ausscheidung, Einnahme von Speisen, Diffusion und anderem

Um die Gehirntemperatur weitestgehend konstant zu halten, erfolgt bei sinkender Umgebungstemperatur vornehmlich eine Durchblutung des Kopfes; die Temperatur der Extremitäten sinkt.

Neben den beschriebenen Einflussgrößen ist auch das subjektive Empfinden des Einzelnen von Bedeutung. Deshalb kann das Wärmeempfinden lediglich als Erwartungswert vorausgesagt werden.

Predicted Mean Vote (PMV)

Nach DIN EN ISO 7730 erfolgt eine Vorhersage der Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe, die einem gemäßigtem Umgebungsklima ausgesetzt ist. Die Beurteilungsskala nach Tafel 6 ergibt sich aus dem rechnerischen Ansatz der körperlichen Tätigkeit, der Bekleidung, der Lufttemperatur, der mittleren Strahlungstemperatur, der relativen Luftgeschwindigkeit und des Wasserdampfpartialdrucks.

Aus dem erwarteten durchschnittlichen Votum (Predicted Mean Vote PMV) kann entsprechend Bild 13 auf den Prozentsatz an Unzufriedenen (Predicted Percentage of Dissatisfied PPD) geschlossen werden.

Es zeigt sich, dass auch bei einer neutralen durchschnittlichen Bewertung einer großen Personengruppe ein Anteil an Unzufriedenen verbleibt.

Tafel 6: Beurteilungsskala nach DIN EN ISO 7730 für gemäßigtes Umgebungsklima

+3	heiß
+2	warm
+1	etwas warm
0	neutral
-1	etwas kühl
-2	kühl
-3	kalt

Operative Temperatur

Wesentliche Randbedingung für das Behaglichkeitsempfinden ist die operative Temperatur. Die operative Temperatur ergibt sich als arithmetisches Mittel der Lufttemperatur und der mittleren Temperatur der umgebenden Bauteiloberflächen.

$$\theta_o = \frac{\theta_i + \bar{\theta}_{si}}{2}$$

mit:

θ_o = Operative Temperatur [°C]

θ_i = Lufttemperatur [°C]

$\bar{\theta}_{si}$ = Mittlere Temperatur der umgebenden Bauteiloberflächen [°C]

Die Beziehung gilt unter der Voraussetzung, dass die relative Luftgeschwindigkeit am Körper weniger als 0,2 m/s beträgt und dass der Unterschied zwischen der mittleren Strahlungstemperatur und der Lufttemperatur geringer als 4 K ist. Der zulässige Bereich der operativen Temperatur ist in Bild 14 dargestellt.

Kalksandstein-Außenwände führen in der kalten Jahreszeit zu einer hohen minimalen Bauteilinnenoberflächentemperatur, so dass die Behaglichkeit in besonderem Maße gegeben ist.

Durch die hohe speicherfähige Masse erweisen sich massive Bauarten, wie mit Kalksandsteinen, gegenüber leichten Bauarten auch beim sommerlichen Wärmeschutz als deutlich günstiger.

Die Tag-Nacht-Temperaturamplituden werden reduziert. Damit wird auch die Überhitzung in den Tagesstunden verringert.

Lufttemperaturschichtung

Eine Lufttemperaturschichtung bzw. ein ungewöhnlich großer vertikaler Lufttemperaturgradient zwischen Nackenhöhe und Fußgelenkhöhe sitzender Menschen kann zur Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit führen. Eine von unten nach oben zunehmende Temperatur wird als unangenehmer empfunden, als eine von oben nach unten zunehmende Temperatur. Im ersten Fall sollte die Temperaturdifferenz zwischen Knöchelhöhe 0,1 m und Kopfhöhe eines Sitzenden 1,1 m nach DIN 1946-2 nicht mehr als 2 K bzw. nach DIN EN ISO 7730 nicht mehr als 3 K betragen.

In Bild 15 sind Beispiele für vertikale Temperaturprofile bei verschiedenen Heizsystemen angegeben.

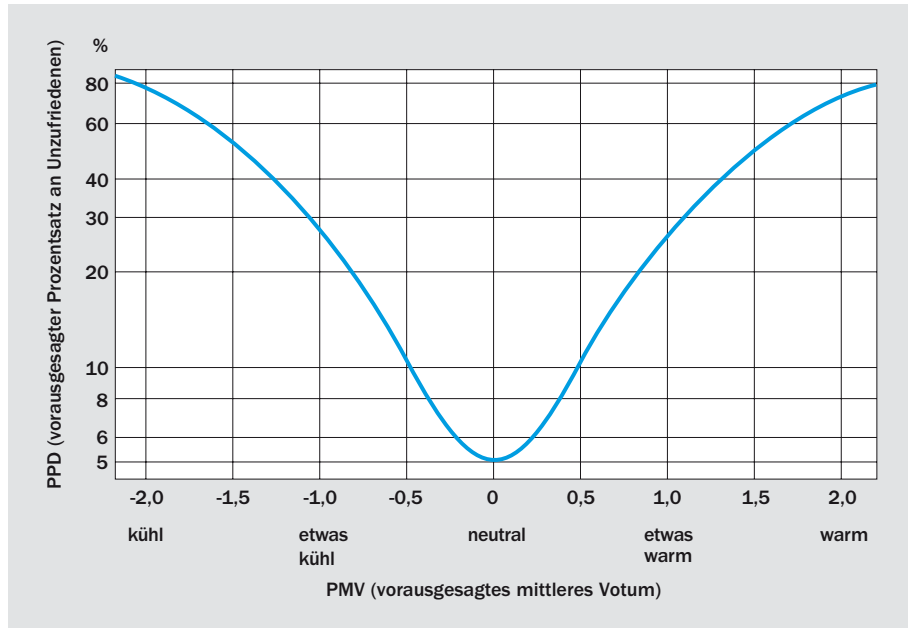


Bild 13: Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD) in Abhängigkeit vom mittleren Votum PMV

Strahlungstemperatur-Asymmetrie

Die Behaglichkeit eines Menschen hängt auch von der Strahlungstemperatur-Asymmetrie ab. Am empfindlichsten reagiert der Mensch auf Strahlungstemperaturunterschiede, die durch warme Decken und kalte Wände verursacht werden. Demgegenüber werden kühle Decken und warme Wände innerhalb gewisser Grenzen als angenehm empfunden.

Bild 16 gibt den Prozentsatz von Menschen an, die sich bei Strahlungstemperatur-Asymmetrien unzufrieden fühlen.

Durch eine hohe Wärmespeicherkapazität der Bauteile, wie sie bei Kalksandsteinen gegeben ist, wird die Strahlungstemperatur-Asymmetrie vermindert.

Beeinträchtigung durch Zugluft

Zugluft führt zu einer unerwünschten lokalen Abkühlung des menschlichen Körpers

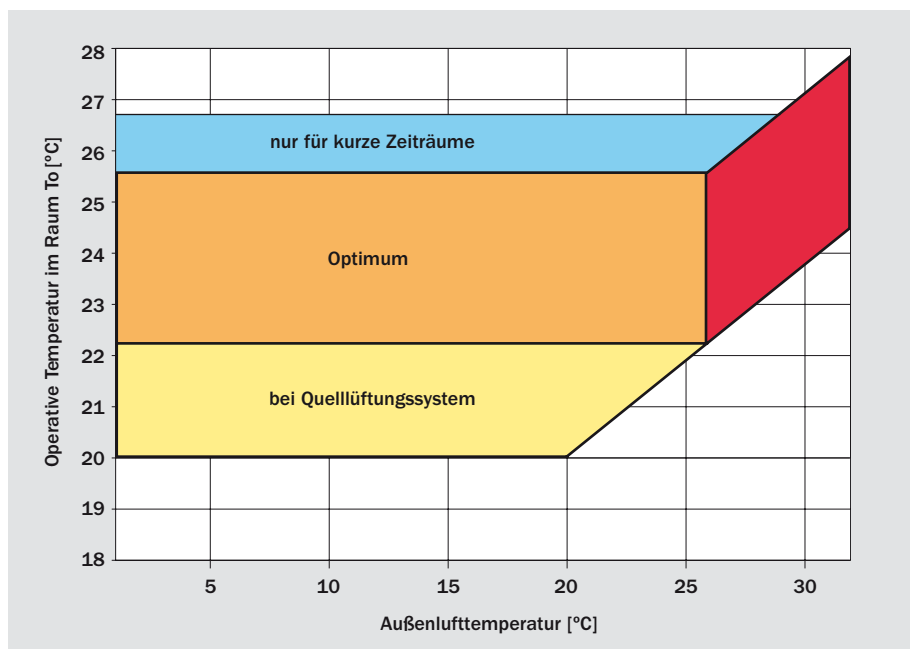


Bild 14: Zulässigkeitsbereich der operativen Temperatur in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur nach DIN 1946-2

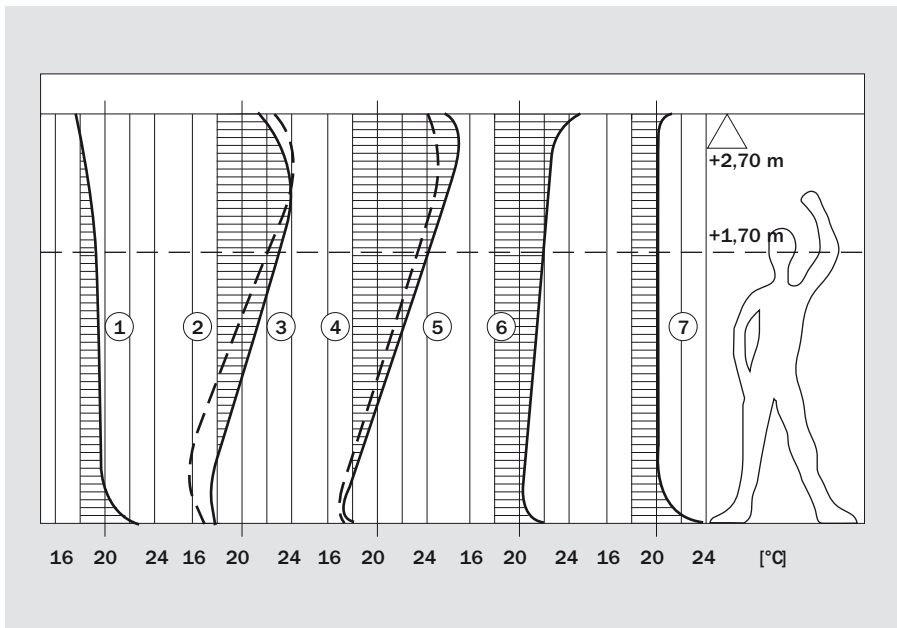


Bild 15: Beispiele für vertikale Temperaturprofile bei verschiedenen Heizsystemen nach [24]: 1 theoretisch-ideale Temperaturverteilung, 2 Radiatoren an Innenwand, 3 Radiatoren an Außenwand, 4 Einzelöfen an Innenwand, 5 Luftheizung, 6 Decken-Strahlungsheizung, 7 Fußbodenheizung

infolge Konvektion. Nach DIN EN ISO 7730 kann die Beeinträchtigung durch Zugluft (Draft Risk – DR) als vorausgesagter Prozentsatz von Menschen ausgedrückt werden, die sich durch Zugluft belästigt fühlen. Diese Abschätzung erfolgt in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur, der mittleren Luftgeschwindigkeit und dem Turbulenzgrad, der als Verhältnis der Standardabweichung der lokalen Luftgeschwin-

digkeit zur mittleren Luftgeschwindigkeit ermittelt wird (Bild 17).

Luftfeuchte

Neben der Raumlufttemperatur bestimmt die relative Luftfeuchtigkeit das Behaglichkeitsempfinden (Bild 18). Bei einer Luftfeuchtigkeit unter 35 % relative Feuchte trocknen die Schleimhäute der Atmungsorgane aus. Hohe Luftfeuchten werden

ebenfalls als unbehaglich empfunden, zudem besteht die Gefahr der Schimmelpilzbildung oder gar der Bildung von Oberflächentauwasser.

Kalksandstein-Mauerwerk weist ein hohes Absorptionsvermögen von Wasserdampf auf, so dass ein erhöhter nutzungsbedingter Feuchteanfall gepuffert werden kann.

Wärmeableitung

In Bädern, Kindergärten und anderen Räumen mit direktem Fußkontakt ist die Wärmeableitung von Fußböden nach ISO ITS 13732-2 wie folgt klassifiziert:

- Wärmeableitstufe I (besonders fußwarm):

$$W_1 < 38 \frac{kJ}{m^2} \quad W_{10} < 188 \frac{kJ}{m^2}$$

- Wärmeableitstufe II (ausreichend fußwarm):

$$38 \frac{kJ}{m^2} \leq W_1 \leq 50 \frac{kJ}{m^2}$$

$$188 \frac{kJ}{m^2} \leq W_{10} \leq 293 \frac{kJ}{m^2}$$

- Wärmeableitstufe III (nicht ausreichend fußwarm):

$$W_1 > 50 \frac{kJ}{m^2} \quad W_{10} < 293 \frac{kJ}{m^2}$$

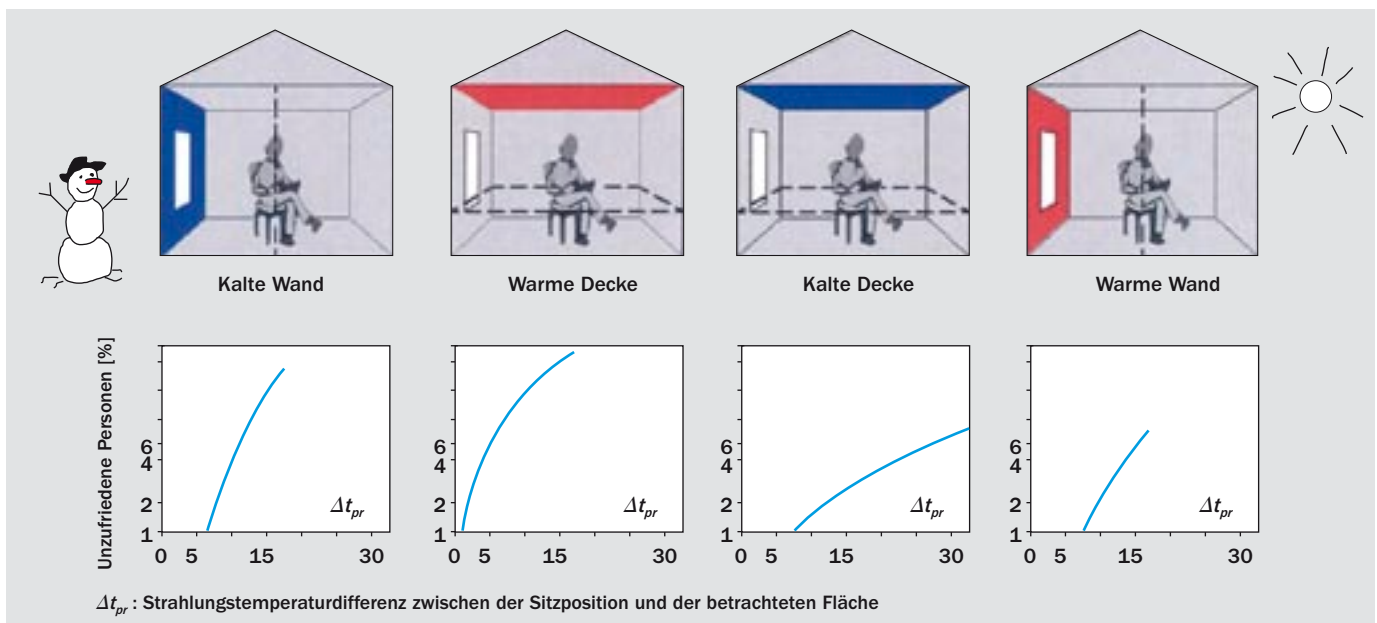


Bild 16: Prozentsatz Unzufriedener in Abhängigkeit der Strahlungstemperatur-Asymmetrie [25]

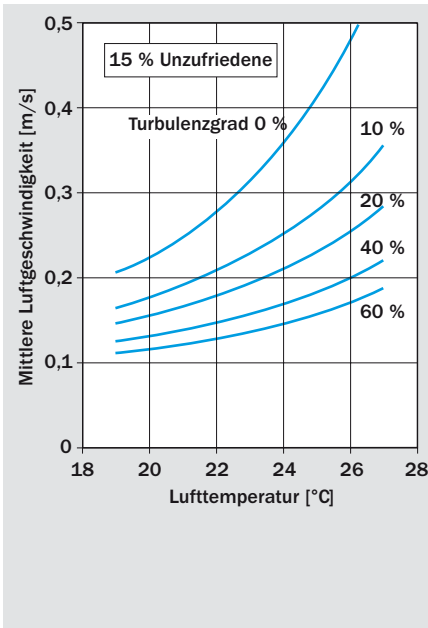


Bild 17: Maximal zulässige Raumluftgeschwindigkeit bei 15 % Unzufriedenen in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und dem Turbulenzgrad der Raumluftströmung

Die Wärmeableitung W_1 bzw. W_{10} gibt die flächenbezogene Wärmemenge an, die in einem Zeitraum von 1 bzw. 10 Minuten von einer Prüfwärmequelle auf einen Fußbodenaufbau übertragen wird.

Im Moment der Berührung stellt sich an der Grenzschicht zwischen Haut und der Materialoberfläche die Kontakttemperatur Θ_k ein:

$$\Theta_k = \frac{b_M \cdot \Theta_M + b_H \cdot \Theta_H}{b_M + b_H}$$

mit:

- Θ_k = Kontakttemperatur [°C]
- Θ_M = Materialtemperatur [°C]
- Θ_H = Hauttemperatur [°C]
- b_M = Wärmeeindringkoeffizient des Materials [J/(m² · K · s^{1/2})]
- b_H = Wärmeeindringkoeffizient der Haut [J/(m² · K · s^{1/2})]
- $b_H \approx 580 \text{ J/(m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{1/2})$

Die Wärmemenge, die bei kurzer Berührung in das berührte Medium – z.B. den Bodenbelag – zu- bzw. abfließt, wird durch den Wärmeeindringkoeffizienten β beschrieben – auch Wärmebeharrungsvermögen oder Temperaturträgheit genannt:

$$\beta = \sqrt{c \cdot \rho \cdot \lambda}$$

- c = Spezifische Wärmespeicherkapazität [kJ/(kg·K)]
- ρ = Rohdichte [kg/m³]
- λ = Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]

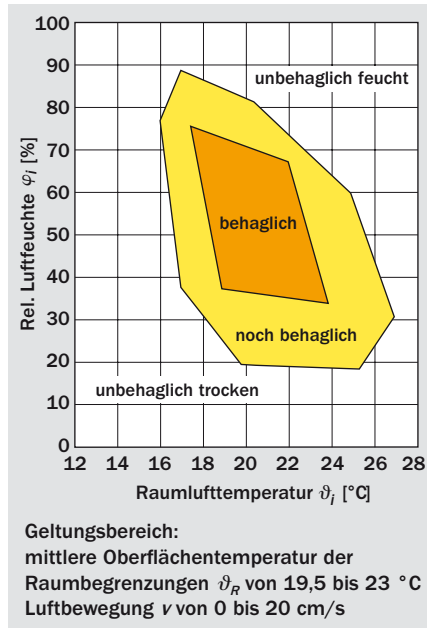


Bild 18: Behaglichkeitsbereich von relativer Luftfeuchte und Raumlufttemperatur bei sitzender Beschäftigung sowie einer Luftgeschwindigkeit $\leq 20 \text{ cm/s}$ nach [26]

Kategorien des Umgebungsklimas

Zusammenfassend lassen sich nach DIN EN ISO 7730 drei Kategorien des Umgebungsklimas A bis C definieren, die die Höhe des Komforts widerspiegeln. Dabei bietet Kategorie A den höchsten Komfort. In Tafel 7 sind die verschiedenen Temperaturrandbedingungen nach DIN EN 7730 definiert.

In Abhängigkeit von der Nutzung können hieraus für Räume in unterschiedlichen Gebäudetypen Gestaltungskriterien abgeleitet werden. Beispiele hierfür bietet die DIN EN ISO 7730. Mit massiven Bauarten – wie Gebäude mit Kalksandstein-Mauerwerk – lassen sich diese Kriterien aufgrund der hohen speicherfähigen Masse problemlos erreichen.

4.2.2 Akustische Behaglichkeit

Die akustische Behaglichkeit wird durch das damit erzielte Wohlbefinden charak-

terisiert, das hauptsächlich über den Gehörsinn vermittelt wird. Etwa 75 % der Deutschen fühlen sich durch Lärm gestört (Bild 19) und sehen darin einen Umzugsgrund (Bild 20). Die Art der akustischen Reizaufnahme kann sehr unterschiedlich sein [27]. Während der Eine durch die Nutzung von Ohrstöpseln die Stille sucht, um die außerhalb seiner Behaglichkeitsvorstellungen auftretenden störenden Geräusche aus der eigenen Wahrnehmung zu verbannen, schaltet der Andere ganz gezielt diese ruhigen Umgebungsgeräusche aus seinem Bewusstsein aus und ersetzt sie durch Kopfhörer, um sich bei Schalldruckpegeln am Ohr von über 100 dB behaglich zu fühlen.

Wie in [28] beschrieben, hat der Schallschutz in Gebäuden eine große Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen. Besonders wichtig ist er im Wohnungsbau, da die Wohnung dem Menschen einerseits zur Entspannung und zum Ausruhen dient, andererseits aber auch den privaten Bereich gegenüber den Nachbarn abschirmen soll. Genauso wichtig ist Schallschutz in den Industrie- und Verwaltungsbereichen, in denen laute und leise Tätigkeiten gleichzeitig ausgeübt werden.

Durch die hohe Rohdichte und die damit erzielbare hohe flächenbezogene Masse von Kalksandsteinwänden lassen sich die Anforderungen nach DIN 4109 einschließlich der Anforderungen an einen erhöhten Schallschutz problemlos erfüllen.

4.3 Gesundheit

Im Hinblick auf den Gesundheitsschutz sind drei Bereiche zu nennen:

- Brandschutz
- Vermeidung von Schimmelpilzbildung
- Sicherstellung der Raumluftqualität

Tafel 7: Kategorien des Umgebungsklimas nach DIN EN 7730

	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C
Vertikaler Lufttemperaturunterschied 1,1 und 0,1 m über dem Fußboden [°C]	< 2	< 3	< 4
Oberflächentemperaturbereich des Fußbodens [°C]	19 bis 29	19 bis 29	19 bis 31
Asymmetrie der Strahlungstemperatur [K]			
Warme Decke	< 5	< 5	< 7
Kühle Wand	< 10	< 10	< 13
Kühle Decke	< 14	< 14	< 18
Warme Wand	< 23	< 23	< 35

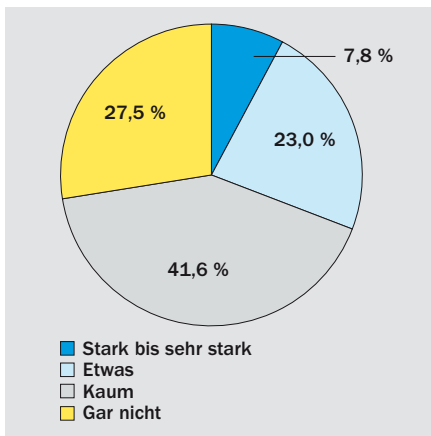


Bild 19: Wie sehr fühlen Sie sich in Ihrer Wohnung/Ihrem Haus durch Lärm belästigt? [31]

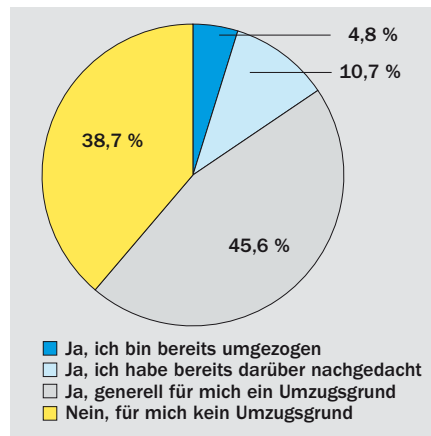


Bild 20: Würden Sie aufgrund von Lärmbelästigung einen Umzug in Erwägung ziehen? [31]

4.3.1 Brandschutz

Zielsetzung des Brandschutzes ist es, u.a. im Brandfall Leib und Leben zu retten. Der Brandschutz stellt somit die höchste Stufe des Gesundheitsschutzes dar. In brandschutztechnischer Hinsicht lassen sich mit Kalksandsteinwänden alle Anforderungen nach DIN 4102 sowie der Landesbauordnung erfüllen. Mehr dazu in [29].

Schneider und Oswald stellen in [30] fest, dass der Brandschutz wesentlich von der Bauart – Holz- oder Massivbau – bestimmt wird (Tafel 8).

4.3.2 Vermeidung von Schimmelpilzbildung

Untersuchungen zeigen, dass eine Gefährdung der Schimmelpilzbildung gegeben ist, wenn in den bauteiloberflächennahen Bereichen eine Luftfeuchtigkeit von mehr als 80 % relativer Feuchte über mehrere Stunden am Tag an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen gegeben ist.

Die DIN 4108-2 definiert hierzu einen einzuhaltenden Temperaturfaktor f_{Rsi} :

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \geq 0,7$$

mit

- f_{Rsi} = Temperaturfaktor an der Bauteilinnenoberfläche
- θ_{si} = Maßgebende Temperatur an der Bauteilinnenoberfläche [°C], z.B. minimale Temperatur im Bereich von Wärmebrücken
- θ_i = Lufttemperatur [°C] ($\theta_i = 20$ °C nach DIN 4108-2)
- θ_e = Außenlufttemperatur [°C] ($\theta_e = -5$ °C nach DIN 4108-2)

Sofern der Nutzer ordnungsgemäß lüftet und heizt, also eine relative Feuchte von $w_i < 50$ % nicht überschritten wird und die Lufttemperatur $\theta_i \geq 20$ °C beträgt, ergibt sich hieraus, dass die Oberflächentemperatur θ_{si} mindestens 12,6 °C beträgt. Damit stellt sich an der Oberfläche eine maximale relative Feuchte von $w_{si} \leq 80$ % ein; das schließt die Gefahr einer Schimmelpilzbildung aus.

Maßnahmen des winterlichen Wärmeschutzes führen zu einer Erhöhung der Bauteilinnenoberflächentemperatur. Kalk-

sandstein-Außenwände, die dem derzeitigen Anforderungsniveau an den winterlichen Wärmeschutz entsprechen, führen zu Wandinnenoberflächentemperaturen, die weit über die Anforderungen nach DIN 4108-2 hinausgehen. Damit ist auch bei nicht vollständig zu vermeidenden konstruktiven bzw. geometrischen Wärmebrücken eine ausreichende Sicherheit gegeben. Hierbei ist auf die wärmetechnisch optimierten Ausführungsdetails der KS-Industrie und auf Beiblatt 2 der DIN 4108 hinzuweisen, die zu einer deutlichen Reduzierung des Wärmebrückeneinflusses führen [32, 33].

4.3.3 Sicherstellung der Raumluftqualität

Im Hinblick auf die Sicherstellung der Raumluftqualität ist insbesondere auf die Anforderungen hinzuweisen bezüglich

- Kohlendioxyd (CO₂),
- Formaldehyd und
- flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC).

Kohlendioxyd CO₂

Die Innenraumluft sollte einen Wert von 0,15 % CO₂ nicht überschreiten. Dieser allgemein empfohlene hygienische Innenraumlufttrichtwert gilt in Räumen mit raumlufttechnischen Anlagen bei sitzender oder leichter Tätigkeit. Grundsätzlich kann auch die traditionelle Pettenkofer-Zahl mit 0,10 % zur Bewertung herangezogen werden.

Formaldehyd

Das Bundesgesundheitsamt BGA hat 1993 für Innenräume den Wert 0,1 ppm (0,12 mg pro m³) als Grenzwert festgesetzt.

TVCO-Konzentrationen

Neben klassischen Gefahrstoffen stellen die flüchtigen organischen Verbindungen eine große Gruppe der Emissionen dar, die durch Bauprodukte in den Innenraum getragen werden. Aufgrund der Vielzahl von chemischen Verbindungen, die bis jetzt nur zu einem Bruchteil toxikologisch untersucht werden konnten, wurden verschiedenste Konzepte entwickelt, die Bewertungen auf Basis von Summenkonzentrationen (TVOC) in Verbindung mit Einzelstoffbetrachtungen vornehmen.

Hierzu werden verschiedene Ziel- und Richtwerte für VOC in Innenräumen angegeben. Beispielhaft sind in Tafel 9 die Ziel- und Richtwerte nach [34] dargestellt.

Tafel 8: Statistische Daten über Brandhäufigkeiten, Brandtote und Gebäudeschäden im Wohnbau nach [30]

Risikodaten	Schweiz	Bauart	Prozentueller Vergleich [%]
Eintrittshäufigkeit [Brände/(10 ⁵ a m ²)]	2,780	Massivbau	100
	4,465	Holzbau	160
Schadensausmaß*) [€/m ² a]	0,114	Massivbau	100
	0,281	Holzbau	247
Brandopfer [1/(10 ⁶ m ² a)]	0,028	Massivbau	100
	0,079	Holzbau	282

*) Schäden, die infolge Brand am Gebäude auftreten

Tafel 9: Ziel- und Richtwerte der Substanzgruppen nach Scholz [34]

Substanzgruppe	Zielwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Richtwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Alkane und Alkene	50	200
Aromaten	50	200
Terpene / Sesquiterpene	20	200
Chlorierte Kohlenwasserstoffe	10	50
Ester und Ketone	10	100
Aldehyde $\text{C}_5 - \text{C}_{10}$	20	50
Alkohole	20	50
Ethylenglykole /-ether	20	50
Propylenglykole /-ether	10	50
Sonstige	20	50
Summe: VOC / SVOC	< 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Es wird somit eine Begrenzung des Summenwerts für leichtflüchtige organische Verbindungen von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vorgeschlagen.

Kalksandsteine bestehen aus rein natürlichen Stoffen, so dass eine Beeinträchtigung der Innenraumluftqualität ausgeschlossen werden kann. Insbesondere bei den anderen Materialien des Innenausbaus sollte jedoch auf die Wahl emissionsfreier Produkte geachtet werden. Für die Bewertung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten wurden seitens des Umweltbundesamtes UBA und des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt Verfahren zur Klassifizierung entwickelt.

4.4 Minimierung weiterer Aufwendungen in der Nutzungsphase

Als weitere Aufwendungen in der Nutzungsphase sind zu nennen:

- Reinigungsaufwand
- Instandhaltungsaufwand

Reinigung

Untersuchungen zeigen, dass der Reinigungsaufwand bei Verwaltungsgebäuden bis zu 30 % der Baufolgekosten betragen kann.

Kalksandsteinwände lassen sich auch als Sichtmauerwerk problemlos reinigen. Bei bewittertem KS-Sichtmauerwerk sind die Empfehlungen der KS-Industrie für Beschichtungen und Imprägnierungen zu beachten, um Verunreinigungen oder Veralgungen zu vermeiden.

Instandhaltung

Eine turnusmäßige Instandhaltung erhöht die technische Lebensdauer von

Konstruktionen erheblich. Aufgrund der Robustheit sind Kalksandsteinwände instandhaltungsfrei. Beschichtungen oder Imprägnierungen sowie Dämmmaßnahmen als Wärmedämm-Verbundsystem oder vorgehängte hinterlüftete Bekleidung erfordern eine turnusmäßige Inspektion und Wartung.

5. ABRISS UND RECYCLING

Am Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes steht der Abbruch. Eine der Zielsetzungen des nachhaltigen Bauens ist es, Bauwerke soweit wie möglich zu recyceln, so dass die Materialien oder Produkte nach einem Aufbereitungsprozess wieder am Stoffstrom teilnehmen können. Dabei gilt die Regel:

Wiederverwendung vor Wiederverwertung vor Beseitigung

5.1 Regelung

Die gesetzliche Regelung zur Verwertung und Beseitigung von Bau- und Abbruchab-

fällen erfolgt durch mehrere miteinander in Verbindung stehende Gesetze, Verwaltungsvorschriften, Regeln und Richtlinien. Relevant für Deutschland sind:

- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)
- Vollzugshinweise der deutschen Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA-Empfehlungen)
- Europäisches Abfallverzeichnis
- Urteile des deutschen Bundesverwaltungsgerichtes (BVerwG) und die vom europäischen Gerichtshof (EUGH) begründeten Handlungsanweisungen

Die Bundesregierung hat in den Jahren 2001 und 2002 (verbindlich seit dem 01.01.2003) mit der „Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und bestimmten Bau- und Abbruchabfällen“ – kurz Gewerbeabfallverordnung GewAbfV – ein Regelwerk ge-

Tafel 10: Bau- und Abbruchabfälle nach EU-Abfallartenverzeichnis

Abfallart	EU-Abfallartenverzeichnis Nr.
Glas	170202
Kunststoff	170203
Metalle	170401 – 170407, 170411
Beton	170101
Ziegel	170102
Fliesen-Ziegel-Keramik	170103
Beton-Fliesen-Ziegel-Keramik-Kalksandstein	170107

schaffen, dass die gesetzlichen Vorgaben der Getrennthaltung zur ordnungsgemäßen und schadlosen sowie möglichst hochwertigen Verwertung konkretisieren soll.

Abweichend von den bekannten Begriffsbestimmungen über „Baustellenabfälle“, „Bauschutt“ und „Bauabfälle“ aus Ziffer 2.2.1 der TA Siedlungsabfall definiert die GewAbfV den Begriff „Bau- und Abbruchabfälle“, indem sie in § 1, Abs. 1, Nr. 2 GewAbfV auf § 8 GewAbfV verweist. Dort werden einige im europäischen Abfallverzeichnis unter der Katalognummer 17 als „Bau- und Abbruchabfälle“ enthaltene Abfallarten nach Tafel 10 genannt.

Kalksandsteine im Gemenge von Bauabbruchmassen sind im europäischen Abfallartenkatalog unter der EAK-Nummer 17 01 07 Bauschutt, bestehend aus Beton, Ziegeln, Mörtel, Kalksandstein, Keramik, Ton, Tontöpfen und Dachpfannen eingeordnet.

5.2 Verfahren

Die Möglichkeit des Recyclings soll beispielhaft zum einen für Kalksandstein, zum anderen für expandierten Polystyrol-Hartschaum von Wärmedämm-Verbundsystemen dargestellt werden.

Beispiel 1: Kalksandstein

Auf dem Gebiet des Recyclings von Kalksandstein-Materialien wurden in den vergangenen 14 Jahren folgende wesentliche Forschungsarbeiten durchgeführt:

- Verwendung von sortenreinem KS-Material (Produktionsabfälle) für die erneute Kalksandsteinproduktion,
- Einfluss von anhaftenden anderen Baustoffen an KS-Recycling-Splitt auf die Qualität von KS-Recyclingsteinen,
- Verwendung von ursprünglichem KS-Material für den Beton- und Stahlbetonbau, den Straßenbau und die erneute KS-Produktion.

Ergebnis dieser Forschungsvorhaben ist, dass

- aus KS-Mauerwerk-Recycling-Bruchmaterial erneut KS-Mauersteine herstellbar sind,
- sich die optische Qualität von Kalksandsteinen mit Recyclingzuschlag von der ursprünglich gewohnten wei-

ßen Farbe des Kalksandsteins in eine grau-braune Färbung ändert und

- die Druckfestigkeit der Steine um ca. 10 % reduziert wird, was jedoch bei der hohen Druckfestigkeit von Kalksandsteinen keine Einschränkung bedeutet.

Beispiel 2: Expandierter Polystyrol-Hartschaum

Das technische Recycling von expandiertem Polystyrol-Hartschaum EPS ist vollständig entwickelt und wird derzeit umgesetzt. Das rückgeführte EPS, das hauptsächlich aus Verpackungsmaterial oder sortenreinem, unverschmutztem Verschnitt von Baustellen besteht, wird zu kleinen Fraktionen zerkleinert und unter Wasserdampf in neue EPS-Produkte geformt. Dieser Prozess verläuft ohne chemische Prozesse, so dass er mehrmals hintereinander stattfinden kann.

Dagegen wird aus Bauwerken rückgebautes EPS derzeit nur in geringen Mengen in den Wiederverwendungsprozess überführt. Gründe dafür sind die Materialverschmutzungen, z.B. mit mineralischem Kleber oder Bitumen. Die anfallenden EPS-Bauabfälle werden in der Regel in speziellen Verbrennungsanlagen thermisch verwertet. Eine weitere Verwertungsmöglichkeit ist das Einbringen von EPS-Kügelchen in den Boden zur Bodenauflockerung.

Für die in Zukunft sortenrein zu trennenden Fraktionen an EPS-Bauabfällen kann als Entsorgungsweg die energetische Verwertung, das Downcycling (z.B. Einsatz in Betonen, Ziegelporosierung, Bodenauflockerung), aber auch die Rückführung für die Wiederverwendung genannt werden.

Darüber hinaus sind erste labortechnische Anlagen zu nennen, die expandierten Polystyrol-Hartschaum in Styrol zurückwandeln können. Diese Anlagen arbeiten derzeit jedoch noch nicht in industriellem Maßstab.

Für genutztes EPS in Verbundkonstruktionen, wie z.B. bei WDVS, bedarf es der Entwicklung von Trennmethoden für den technischen Rückbau, die eine ausreichende Qualität für die Wiederverwendung gewährleisten.

Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass es bereits mehrere allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Wärmedämm-Verbundsysteme gibt, in denen das Aufdoppeln der Systeme mit Neu-

systemen geregelt wird. Somit kann auf ein vorhandenes intaktes Wärmedämm-Verbundsystem ein weiteres herstellergleiches System aufgebracht werden, um z.B. den baulichen Wärmeschutz deutlich zu verbessern.

LITERATUR

- [1] Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestags. „Konzept Nachhaltigkeit, vom Leitbild zur Umsetzung“, Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn 1998
- [2] Bericht der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen „Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2011“, Berlin 2011, <http://www.ag-energiebilanzen.de>. Stand 25.10.2012
- [3] BMWi: „Eckpunkte Energiebilanz“, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eckpunkte-energieeffizienz,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>, 25.10.2012
- [4] IER, RWI, ZEW Bericht: „Entwicklung der Energiemärkte bis 2030“, März 2010
- [5] BEE: „Energiepolitisches Gesamtkonzept“, <http://www.bee-ev.de/3:329/Meldungen/2009/BEE-legt-energiepolitisches-Gesamtkonzept-vor.html>. Stand 15.10.2009
- [6] Boustead, I.; et al.: Eco-Indices: What Can They Tell Us?, ICME doc. #16752 & 16754, 2000
- [7] Umweltbundesamt: „Umweltdaten“, <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de>. Stand 26.10.2012
- [8] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (bdew): „Endenergieverbrauch in Deutschland 2006“, Berlin 2008
- [9] Die nationale Klimaschutzstrategie, REGIERUNGonline, <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/ThemenAZ/Klimaschutz/klimaschutz-2006-07-27-die-nationale-strategie>. Stand: 10.09.2008
- [10] BMWi: Klimaschutz, <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industrie-und-Umwelt/klimaschutz.html>. Stand: 26.10.2012
- [11] Stellungnahme der Bundesingenieurkammer zur Novellierung des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) und der Energieeinsparverordnung (EnEV) – Stand: 15.10.2012
- [12] EnEV, <http://www.enev-online.de>. Stand: 26.10.2012

- [13] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi: Energiedaten, nationale und internationale Entwicklung, <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Energiestatistiken>. Stand: 19.08.2008
- [14] Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“, Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin 2001
- [15] BMVBS: BNB, www.nachhaltigesbauen.de, 2012
- [16] Vogdt, F. U.: Nachhaltigkeit des Bauens – Lebenszyklusbetrachtung baulicher Anlagen, BDB Jahrbuch, Hrsg.: Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure e.V., Berlin 2003
- [17] Amt für Bundesbauten: Standardisierte Nutzungszeiten von Gebäuden und Bauteilen. Bern 1997
- [18] Künzel, H. M.; Künzel, H.; Sedlbauer, K.: Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Wärmedämm-Verbundsystemen, Bauphysik, Heft 3/2006, Seite 153–163
- [19] Arlt, J.; Pfeiffer, M.: Lebensdauer der Bauteile und Baustoffe zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau, Institut für Bauforschung e. V., Forschungsbericht F 2464, Fraunhofer IRB Verlag, 2005
- [20] DIN EN ISO 14 040: 2006-10: Umweltmanagement, Ökobilanz, Grundsätze und Rahmenbedingungen
- [21] Eden, W. et al: Ökobilanz für den Baustoff Kalksandstein und Kalksandstein-Wandkonstruktionen. Forschungsbericht 82 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., Hannover, 1995
- [22] Bundesamt für Strahlenschutz: Radonkarte Deutschland http://www.bfs.de/de/ion/radon/radon_boden/radonkarte.html. Stand: 29.10.2008
- [23] Keller, G.; Muth, H.: Strahleneinwirkungen durch Radon in Wohnhäusern. – In: Bauphysik Jahrgang 15 (1993), H. 5, S. 141–145
- [24] Pistohl, W.: Handbuch der Gebäudetechnik. Planungsgrundlagen und Beispiele. Band 2: Heizung/Lüftung/Energiesparen. Köln 2007
- [25] Thermal Comfort Booklet, Hrsg.: Luma Sense Technologies. http://www.lumasense.dk/fileadmin/Files/Sales_litterature/Thermal_Comfort_Booklet_Spanish.pdf, Stand: 29.10.2008
- [26] Leusden, F.; Freymark, H.: Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch. In: Gesundheitsingenieur 72 (1951) H. 16, S. 271–273
- [27] Vogdt, F. U., et al.: Nachhaltiges Bauen unter besonderer Berücksichtigung bauphysikalischer Aspekte. In: Bauphysik-Kalender. Hrsg.: Cziesielski, E., Berlin 2005
- [28] Kutzer, D.; Fischer, H.-M.: Schallschutz. Erschienen im Fachbuch „KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung“, 6. Auflage, Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2014
- [29] Hahn, C.: Brandschutz. Erschienen im Fachbuch „KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung“, 6. Auflage, Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2014
- [30] Schneider, O.; Oswald, M.: Brandschutz-Studie. Brandschutztechnische Analyse von Massiv- und Holzbauweisen. Wien 2002
- [31] Trendbefragung für Immobilienscout 24, Innofact 03/2008
- [32] Kalksandstein-Detailsammlung, Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover, 2. Auflage, 2006
- [33] Wärmebrückenkatalog Kalksandstein. Kostenfreier Download unter www.kalksandstein.de. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover, 2011
- [34] Scholz, H.: Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bedeutung. In: Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): Gebäudestandard 2000: Energie und Raumluftqualität – Ergebnisse des 4. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) Nürnberg 1998, Seite 205–214



Bild 21: Abbaustätten werden rekultiviert, neue Biotope entstehen.

Durch die umfangreiche Formatpalette und die breite Spanne der Festigkeits- und Rohdichteklassen des Kalksandsteins bietet Kalksandstein-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 bewährt.

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 Kalksandstein-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 Steinroh-dichteklassen – 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. NM III) verwendet.

Es wird empfohlen:

- für ungeschütztes Mauerwerk im Erdreich grundsätzlich KS-Vollsteine der Festigkeitsklasse ≥ 20 einzusetzen und
- im Frostbereich frostwiderstandsfähige KS-Vollsteine (KS VB/KS Vm ohne Lochungen) 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 nicht nur üblich, sondern grundsätzlich zu empfehlen.

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 Erhärtung bereits vorliegender guter Erfahrungen mit Kalksandstein Langzeit-Prüfungen unter diesen Kriterien durchgeführt. Es wurden Blei- und Aluminiumbleche bis zu einer Versuchsdauer von einem Jahr Lösungen ausgesetzt, die aus Kalksandstein unter Feuchteinwirkung (z.B. Regen) wasserlösliche Stoffe transportierten. Selbst unter den besonders starken Korrosionsbeanspruchungen der Auslaugungsversuche im Feuchtelagergerät mit erheblichem Temperaturwechsel und starker Schwitzwasserbildung 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 Schwefelwasserstoffs), Sulfate (Salze der Schwefelsäure), bestimmte Magnesiumsalze (Magnesium-

Tafel 1: Einteilung der Wasserhärte nach dem Waschmittelgesetz

Härtebereich	°dH	mol/m ³
1 (weich)	0 – 7,0	0 – 1,25
2 (mittelhart)	7 – 14	1,25 – 2,50
3 (hart)	14 – 21	2,50 – 3,75
4 (sehr hart)	> 21	> 3,75

sulfat 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) setzt sich immer mehr die heute gültige Bezeichnung Summe Erdalkalien in mol/m³ durch (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 (CO₂) zu freier Kohlensäure (H₂CO₃) 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.

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

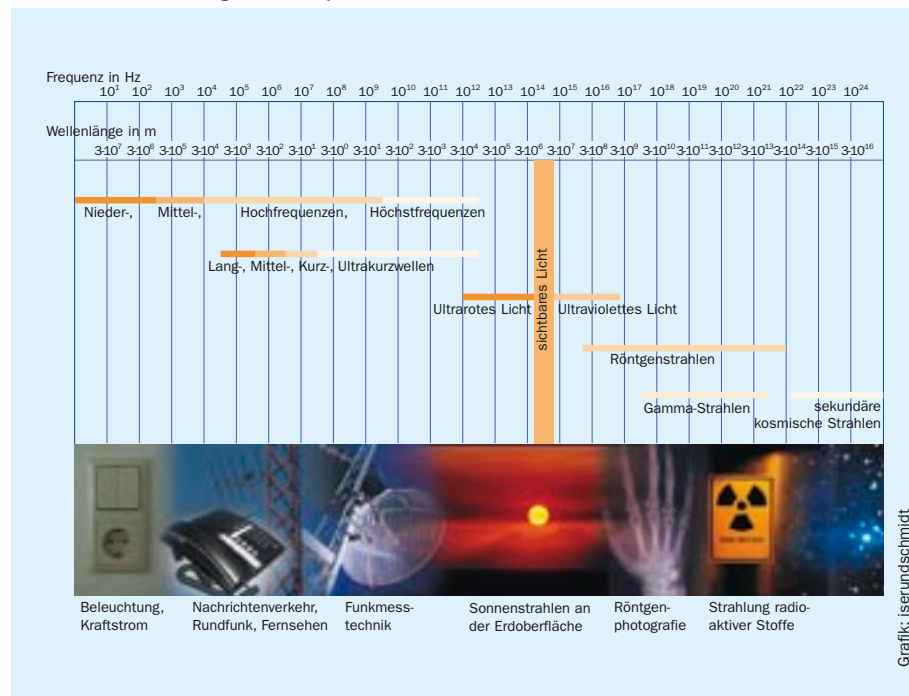
Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Böden und Wässern nach DIN 4030 enthält Tafel 2.

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

Tafel 3: Das elektromagnetische Spektrum



4. STRAHLENSCHUTZ IN GEBÄUDEN

Der vorbeugende Schutz vor technisch erzeugter Strahlung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Gerade die Tatsache, dass Gefährdungspotentiale 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 elek-

tromagnetischen 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 2010 zu mehr als 82 Millionen

Mobilfunknutzern 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 ab von dem ungestörten Senden und Empfangen des Signals. 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 Bereich 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. Kalksandstein-Mauerwerk mit WDVS hat eine deutlich höhere Schirmdämpfung von bis zu 99 %, wenn im Außenputz des Kalksandstein-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.

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 Raumes 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.

Die äquivalente Bleischichtdicke ist am homogenen Querschnitt zu ermitteln. Der Einsatz von KS-Vollsteinen ist deshalb grundsätzlich zu empfehlen. Da Vollsteine nach DIN V 106 einen Lochanteil von bis zu 15 % der Lagerfläche aufweisen dürfen, wird empfohlen, das Lochbild konkret festzulegen. Eventuelle Griffaschen 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 berücksich-

tigt werden. Die „äquivalente Bleischichtdicke“ ist abhängig von der Rohdichte und Dicke des Baustoffs sowie der maximalen Röhrenspannung.

$$x_m = a \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^b \cdot \left(\frac{U}{U_0} \right)^c \cdot \left(\frac{x}{x_0} \right)^d$$

- 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: $\rho = 1,81$ kg/dm³)

$$x_m = 192 \cdot \left(\frac{1,81}{1} \right)^{0,83} \cdot \left(\frac{80}{100} \right)^{0,70} \cdot \left(\frac{0,5}{1} \right)^{1,1} = 64 \text{ mm}$$

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/dm ³]	< 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	0,5	83	58	76	69	65	59
RDK 2,0 mit	1	177	102	134	115	105	96
$\rho = 1,81$ kg/dm ³	2	–	179	237	194	171	156
Angesetzt wird	3	–	250	330	262	227	207
der untere Grenzwert.	4	–	316	–	325	277	253
	5	–	–	–	–	324	296

¹⁾ Für Störstrahlung sind die Werte für 200 kV maßgebend.

5. BESCHUSS-SICHERHEIT

In sicherheitsrelevanten Bereichen von Gebäuden, wie Sparkassen und Banken, Militärgebäuden, Verwaltungsgebäuden u.a., werden an die einzelnen Bauteile hohe Anforderungen bzgl. der Beschuss-Sicherheit gestellt. Aufgrund wiederholter Anfragen aus der Praxis wurde die Beschuss-Sicherheit von KS-Wänden vom Beschuss-Amt in Ulm untersucht [7].

Die Prüfungen erfolgen nach den Prüfungsbedingungen für den Beschuss angriffshemmender Stoffe des Landeskriminalamtes Baden-Württemberg. Dabei werden nach DIN EN 1522 [8] sieben Beanspruchungsarten für die Beschuss-Prüfungen zu Grunde gelegt. Durch die Beurteilung des Beschuss-Bildes 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 in Dünnbettmörtel, ohne Putz, ohne Stoßfugenvermörtelung wurden die Beschuss-Klassen 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 Prüfzeugnisse vor, die auch in die bundesweit gültige Beschuss-Liste des Landeskriminalamtes Baden-Württemberg aufgenommen wurden (<http://www.beschussamt-ulm.de/beschussamt/hauptnavigation/beratungskatalog/db.php>).

6. MAuern BEI Frost UND ABSÄuern DES MAUERWERKS

Das Mauern bei Frost bedarf grundsätzlich der Zustimmung des Auftraggebers (VOB-C:DIN 18330, Abschnitt 3.1.2) [9]. In DIN EN 1996-2/NA Abschnitt 3.6.3 NA.3 [10] wird weiterhin geregelt, dass bei Frost nur unter besonderen Schutzmaßnahmen gearbeitet werden darf. Der Einsatz von Frost-

Tafel 6: Beschuss-Widerstandsklassen von unverputzten KS-Wänden

Klasse	Art der Waffe	Kaliber	Munition		Beschuss-Bedingungen		Erforderliche Wanddicke aus KS, RDK 2,0 in Dünnbettmörtel [cm]
			Art	Masse [g]	Prüfentfernung [m]	Geschwindigkeit [m/s]	
FB1	Büchse	22 LR	L ⁽¹⁾ /RN	2,6 ± 0,1	10 ± 0,5	360 ± 10	11,5
FB2	Faustfeuerwaffe	9 mm Para	FJ ⁽²⁾ /RN/SC	8,0 ± 0,1	5 ± 0,5	400 ± 10	11,5
FB3	Faustfeuerwaffe	0,357 magnum	FJ ⁽³⁾ /CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10	11,5
FB4	Faustfeuerwaffe	0,357 magnum	FJ ⁽³⁾ /CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10	11,5
	Faustfeuerwaffe	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	820 ± 10	24

L⁽¹⁾ – Blei, CB – Kegelspitzkopf
 kupferbeschichtet FJ – Vollmantel PB – Spritzkopf-Geschoss
 FJ⁽²⁾ – Vollmantel, Stahl FN – Flachkopf RN – Rundkopf
 FJ⁽³⁾ – Vollmantel, Kupfer HC1 – Stahlhartkern, Masse SC – Weichkern mit Blei
 L – Blei 3,7 g ± 0,1, Härte mind. 63 HRC SCP1 – Weichkern mit Blei und Stahlpenetrator (Typ SS 109)

schutzmitteln ist nicht zulässig; gefrorene Baustoffe dürfen nicht verwendet werden. Der Einsatz von Salzen zum Auftauen ist ebenfalls nicht zulässig.

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. Schutzmaßnahmen und sonstige vorbereitende Arbeiten für das Mauerwerk und die zu verarbeitenden Mauersteine gelten auch bei Verwendung dieser Mörtel.

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.

Entsprechend VOB-C:DIN 18330 Mauerarbeiten, Abschnitt 3.2.4 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 Wasserdampfpflanzen von Eis und Schnee zu befreien. Im Streu- und Spritzbereich bestehender Gebäude sind ebenfalls keine

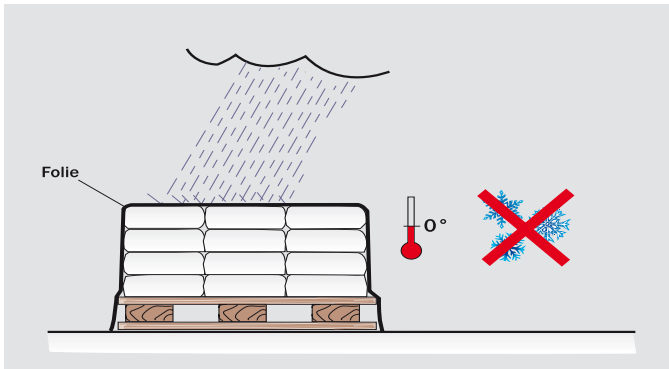


Bild 1: Lagern von Stein und Mörtel

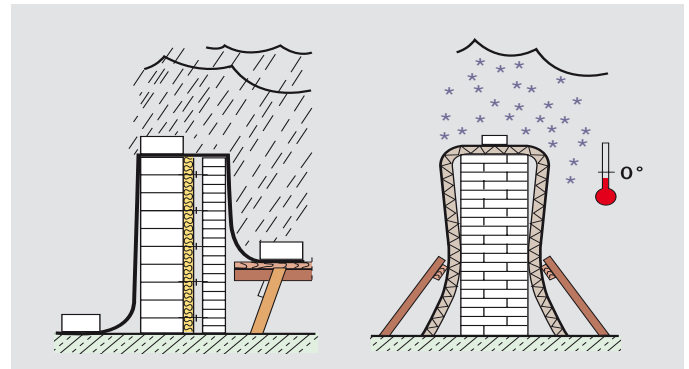


Bild 2: Frisches KS-Mauerwerk ist vor Regen und Frost zu schützen.

Tausalze zu verwenden. Weiterhin besteht die Gefahr, dass Ausblühungen im Mauerwerk auftreten, die zu Folgeschäden in Putz und Anstrich führen können.

Seit 2005 werden in DIN 4149 die Aspekte des erdbebengerechten Entwurfs von Bauwerken stärker berücksichtigt. Entwurfs-

grundsätze für Grundriss, Aufriss und konstruktive Ausbildung werden in [12] gegeben.

Das Reinigen des KS-Verblendmauerwerks mit Salzsäure ist nach VOB-C: DIN 18330 nicht zulässig. Auch der Einsatz von Salzen zum Abtauen ist nicht zulässig (DIN EN 1996-2/NA). Dies gilt für Baustellen und bestehende Gebäude.

7. ERDBEBENSICHERHEIT

Deutschland ist im Vergleich zu anderen europäischen Ländern, den USA oder Japan aufgrund der gemessenen Intensitäten und der Erdbebendauer ein so genanntes Schwachstbebegebiet.

Die Erdbeben-Norm DIN 4149 [11] gilt für Entwurf, Bemessung und Konstruktion baulicher Anlagen des üblichen Hochbaus in deutschen Erdbebengebieten (Bild 3). Hauptziel ist der Schutz von Menschenleben durch die Sicherstellung der Standicherheit im Falle eines Erdbebens. Bei Erdbeben handelt sich um einen Extremlastfall (außergewöhnlichen Bemessungsfall). 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, Menschenleben zu schützen und sicherzustellen, dass die für die öffentliche Sicherheit und Infrastruktur wichtigen baulichen Anlagen funktionstüchtig bleiben.

Übertragen auf Mauerwerksbauten bedeutet dies, dass es beim „Bemessungserdbeben“ durchaus zu Rissen kommen darf. Diese Risse dürfen jedoch nicht die Standicherheit des Gebäudes gefährden.

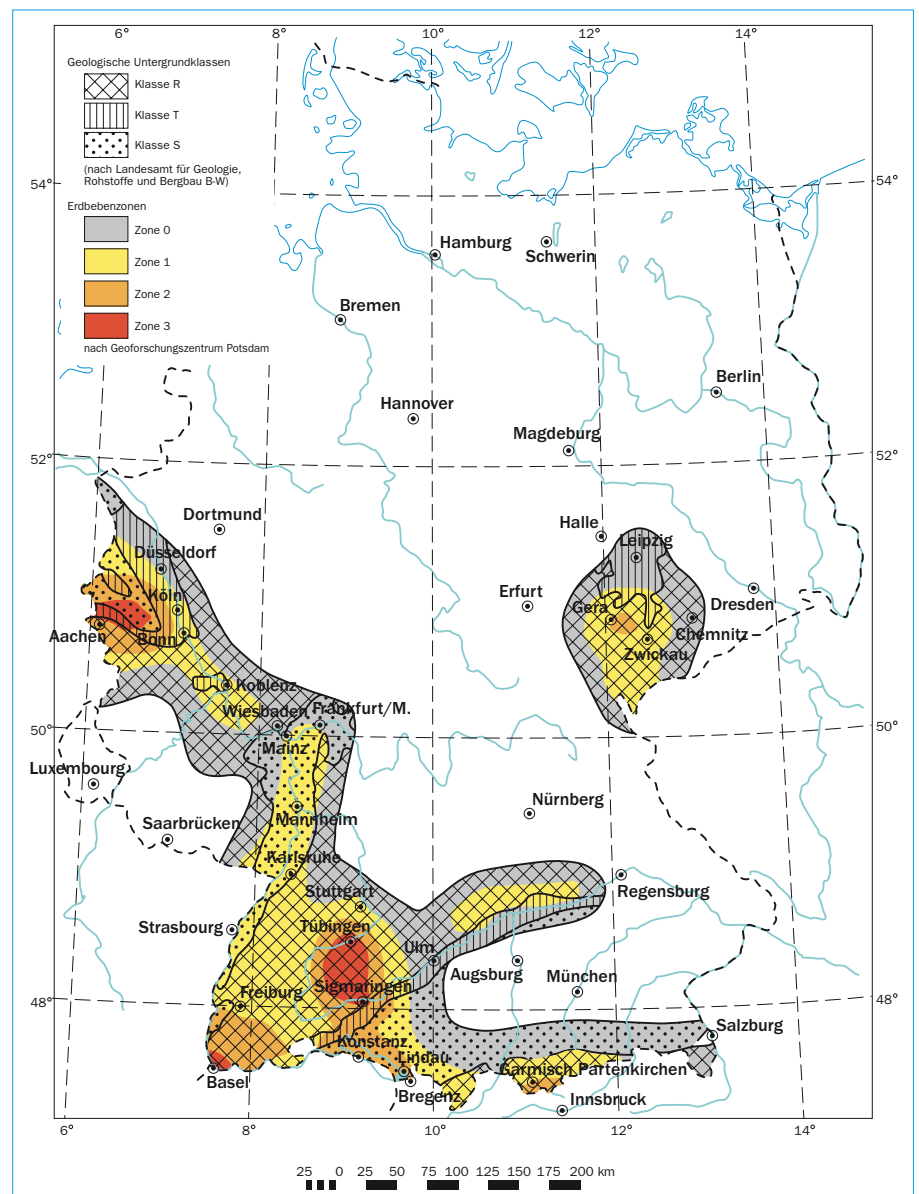


Bild 3: Erdbebenzonen und geologische Untergrundklassen

7.1 Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe

In deutschen Erdbebengebieten dürfen generell alle in DIN EN 1996/NA geregelten Mauersteine und Mauermörtel verwendet werden. Dies schließt Kalksandsteine nach DIN V 106 sowie KS XL und KS-Wärmedämmsteine nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) ein.

In Erdbebenzone 2 und 3 dürfen Mauersteine ohne durchlaufende Innenstege in Wandlängsrichtung nur verwendet werden, wenn sie eine mittlere Steindruckfestigkeit von mindestens 2,5 N/mm² in Wandlängsrichtung aufweisen.

Kalksandsteine mit den in der Praxis angebotenen Steindruckfestigkeitsklassen (SFk ≥ 10) erfüllen stets die Anforderung an die mittlere Steindruckfestigkeit in Wandlängsrichtung von ≥ 2,5 N/mm², sind also so genannte „Erdbebensteine“.

7.2 Erdbebennachweis

Auf einen rechnerischen Erdbebennachweis von Mauerwerksbauten kann verzichtet werden, wenn die konstruktiven Regeln nach Abschnitt 11.6 der DIN 4149 eingehalten werden.

Mit MINEA [13] steht eine benutzerfreundliche Softwarelösung zum Erdbebennachweis zur Verfügung. Neben dem vereinfachten Nachweis (Einhaltung der konstruktiven Regeln) ist auch ein rechnerischer Nachweis nach DIN 4149 im Programm umgesetzt.

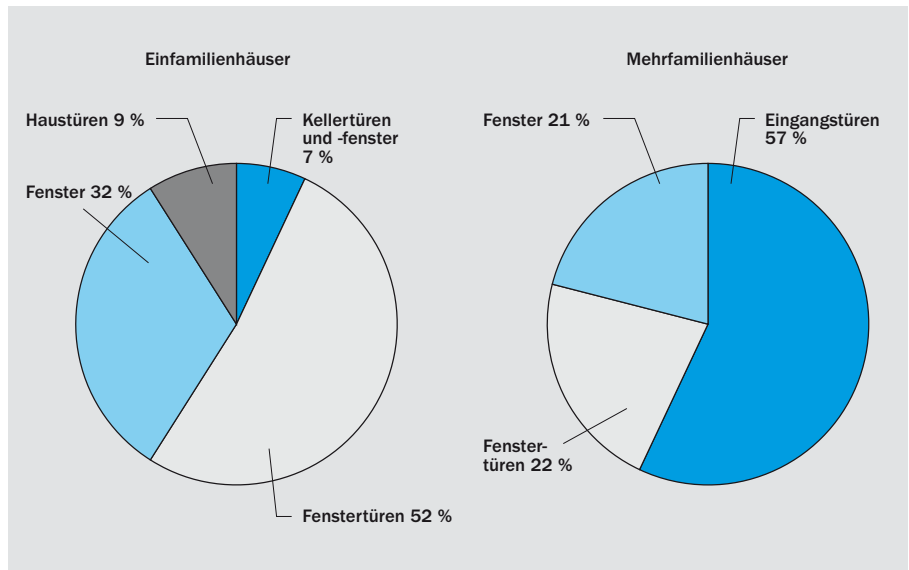


Bild 4: Einbrecher kennen die Schwachstellen des Hauses [14]

8. EINBRUCHHEMMUNG

Alle zwei Minuten passiert in Deutschland ein Einbruch. Die Summe der jährlich durch Einbrüche in Wohnungen und Gewerbe verursachten Schäden beträgt rund 650 Mio. €, davon 410 Mio. € allein im privaten Bereich. Der durchschnittliche Schaden eines Einbruchs im privaten Bereich beträgt dabei rund 1.000 € [14]. Bei Gewerbeobjekten beträgt der Durchschnittschaden ca. 2.600 € [15]. 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].

Anforderungen an die umgebenden Wände einbruchhemmender Bauteile wie Fenster, Türen und Abschlüsse (sowie

Tafel 7: Widerstandsklassen in Abhängigkeit vom Täterverhalten [16]

Widerstandsklasse DIN EN 1627:2011	Widerstandsklasse DIN EN V 1627:1999	Widerstandszeit [Min]	Mutmaßliches Täterverhalten
RC 1	WK 1	– ¹⁾	Bauteile der Widerstandsklasse RC 1 N weisen nur einen geringen Schutz gegen den Einsatz von Hebelwerkzeugen auf.
RC 2N	–	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]

Widerstands- klasse 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]	Steindruck- festigkeit (SFK)	Steinroh- dicke- klasse (RDK)	Mörtel- gruppe	Nenndicke [mm]	Festigkeits- klasse
RC 1 N RC 2 N RC 2	≥ 115	≥ 12	–	mind. NM II/ DM	≥ 100	≥ C 16/20
RC 3	≥ 115	≥ 12	–	mind. NM II/ DM	≥ 120	≥ C 16/20
RC 4	≥ 240 ¹⁾	≥ 12	–	mind. NM II/ DM	≥ 140	≥ C 16/20
RC 5	≥ 240 ¹⁾	≥ 20	≥ 1,8	DM	≥ 140	≥ C 16/20
RC 6	≥ 240 ²⁾	≥ 20	≥ 1,8	DM	≥ 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

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.

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 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.

Tafel 8 zeigt, dass mit üblichen Wandkonstruktionen aus Kalksandstein alle Einbruchwiderstandsklassen realisiert werden können.

9. AUSTROCKNUNGSVERHALTEN VON KS-MAUERWERK

Das Austrocknungsverhalten von einer Baustoffschicht und Bauteilen ist insbesondere dann wichtig, wenn von der betreffenden Baustoffschicht Aufgaben bezüglich des Wärmeschutzes zu übernehmen sind. Rechnerische Untersuchungen [18] haben 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 praxismgerechten 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 Masse-% festgelegt worden (Bild 5). Für die Austrocknungsversuche wurden wassergesättigte Steine unter Laborbedingungen verwendet.

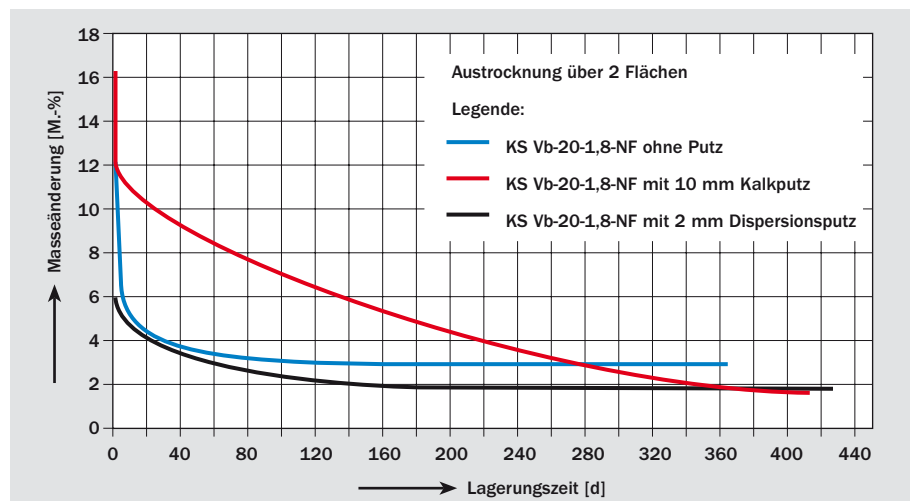


Bild 5: Einfluss von Putzen auf das Austrocknungsverhalten von Kalksandsteinen (Austrocknung über 2 Flächen, Klima: 20 °C/65 % rel. F.)

10. GEBÄUDETRENNFUGEN

Gebäudetrennfugen sind konsequent durch den Baukörper und die Wandbekleidungen bis zur Oberkante des Fundamentes durchzuführen. Die Anordnung und Durchführung von Gebäudetrennfugen ist daher mit erheblichem Aufwand verbunden. Neben den statisch und baulich erforderlichen Maßnahmen entstehen über den gesamten Nutzungszeitraum zudem mehrfach wiederkehrende Kosten, da Gebäudetrennfugen zu warten sind. Für wirtschaftliche Planungen ist deshalb bei Großprojekten mit großen Gebäudeabmessungen frühzeitig zu prüfen, ob und an welchen Stellen Gebäudetrennfugen angeordnet werden sollen.

Verformungsbetrachtungen sollten grundsätzlich ab Gebäudelängen von etwa 20 m angestellt werden. Grundlage für die Planung von Gebäudetrennfugen ist zunächst die Wahl der Außenwandkonstruktion. Wegen der außen angeordneten Dämmung bei KS-Funktionswänden sind Temperatureinwirkungen auf den gesamten Baukörper gering. Praxisbeispiele aus den letzten 20 Jahren zeigen, dass bei günstiger Gebäudeplanung mit geeigneten Maßnahmen und sorgfältiger Bauausführung Gebäudelängen von über 60 m ohne Gebäudetrennfuge möglich sind.

Zu beachten ist, dass bei gegliederten Gebäudeformen (z.B. L-, T- oder Z-förmige Grundrisse) die zu erwartende Rissgefahr infolge der unterschiedlichen Formänderungen im Übergang der einzelnen Gebäudeteile grundsätzlich durch Gebäudetrennfugen ausgeschlossen werden sollte.

Um schon planerisch eine hohe Verformungssicherheit zu ermöglichen, sollten die tragenden Außen- und Innenwände

möglichst geschossweise übereinander angeordnet sein. Neben den Einwirkungen aus Eigen-, Nutz- und Verkehrslasten sowie möglichen Baugrundbewegungen sind insbesondere bei Dachdecken 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
- Wiederkehrende Verformungen durch Temperaturschwankungen im Rohbauzustand (noch ohne Dämmung der Dachdecke)

Diese Einwirkungen haben aufgrund der geringen Auflasten im obersten Geschoss erheblichen Einfluss auf die Rissicherheit des tragende Außen- und Innenmauerwerks. Die Auflast von nur einem Geschoss kann bereits ausreichen, um z.B. Verdrehungen im Bereich von Decken-Endauflagern zu minimieren und trocknungs- oder temperaturbedingte Spannungen im Mauerwerk zu überdrücken. Deshalb konzentrieren sich Verformungsbetrachtungen weniger auf die einzelnen Geschossdecken als im Wesentlichen auf Dachdecken.

Neben der Wahl einer geeigneten Deckenauflagerung können weitere günstig wirkende Maßnahmen angewendet werden. Hierzu gehören Arbeitsfugen bzw. Schwindgassen beim Betonieren der Decken bis hin zu geschosshohen Fenster- und Türöffnungen in langen (Obergeschoss-) Wänden. Auch die bewusste Anordnung von stumpf gestoßenen oder „durchgeführten“ Wänden kann als spannungsabbauende Maßnahme genutzt werden.

Ausgehend von den Festpunkten (z.B. betonierte Aufzugsschächte, betonierte Treppenhäuser und/oder betonierte Wandscheiben) können mit Hilfe von Schwind- und Temperaturkennwerten die zu erwartenden Längenänderungen von Dachdecken und Wänden abgeschätzt werden. Die zu erwartenden Schwind- und Temperaturverformungen von Kalksandstein und Stahlbeton sind in Tafel 9 dargestellt.

Der in DIN EN 1996/NA angegebene Rechenwert der Feuchtedehnung von Kalksandsteinen (Schwindmaß) $\epsilon_{s,\infty} = -0,2 \text{ mm/m}$ bezieht sich auf Prüfergebnisse an wasservorgelagerten Steinen. Nach [20] ist es daher in vielen Fällen ausreichend, ein baupraktisches Schwindmaß von $-0,1 \text{ mm/m}$ zu Grunde zu legen. 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.

Dehnungsfugen

Wenn auf die Anordnung von Gebäudetrennfugen verzichtet werden kann, ist zu beachten, dass trotzdem Dehnungsfugen in einzelnen Bauteilen erforderlich werden können. Insbesondere gilt dies für Verblendschalen und für nicht oder nur gering belastete Ausfachungswände in Skelettbauten sowie ggf. auch für nicht tragende innere Trennwände. Diese Dehnungsfugen müssen aber im Gegensatz zu Gebäudetrennfugen nicht durch den gesamten Baukörper geführt werden. Es ist ausreichend, wenn nur die einzelnen Wandabschnitte je nach Wandart und Beanspruchung durch entsprechend ausgebildete Fugen voneinander getrennt werden.

Tafel 9: Schwind- und Temperaturverformungen durch Kalksandsteine und Stahlbeton für reale Gebäudelängen

	Kennwerte für Schwinden und Temperaturdehnung	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
Temperaturdehnung $\Delta l_T = \alpha_T \cdot \Delta T \cdot l$	α_T [mm/m·K]	10 m · 20 K	20 m · 20 K	50 m · 20 K
Kalksandstein	0,008	±1,6 mm	±3,2 mm	±8,0 mm
Stahlbeton	0,010	±2,0 mm	±4,0 mm	±10,0 mm

Einzelne Verformungen (Längenänderungen) können sich auch überlagern.

LITERATUR

- [1] DIN 4030-1:2008-06 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Grundlagen und Grenzwerte
- [2] DIN 38409-6:1987-01 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Härte eines Wassers (H 6)
- [3] <http://www.informations-zentrum-mobilfunk.com/html/de/1401.html>
- [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 6812:2010-02 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 18330:2012-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen 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 4149:2005-06 Bauten in deutschen Erdbebengebieten
- [12] Meskouris, K.; Butenweg, Chr., Gellert, Chr.: Erdbebensicheres Bauen, Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover, 2008
- [13] MINEA, Programm für den Nachweis von Mauerwerksbauten nach DIN 4149, SDA-engineering GmbH, Herzogenrath, 2010
- [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] <http://einbruchschutz.polizei-beratung.de>
- [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 Mauerwerkswänden. 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)

Beratung:

Kalksandstein-Bauberatung

Bayern GmbH

Rückersdorfer Straße 18

90552 Röthenbach a.d. Pegnitz

Telefon: 09 11/54 07 30

Telefax: 09 11/54 07 310

info@ks-bayern.de

www.ks-bayern.de

Kalksandsteinindustrie Nord e.V.

Lüneburger Schanze 35

21614 Buxtehude

Telefon: 0 41 61/74 33-60

Telefax: 0 41 61/74 33-66

info@ks-nord.de

www.ks-nord.de

Kalksandsteinindustrie Ost e.V.

Silder Moor 11

18196 Kavelstorf

Telefon: 0 30/25 79 69-30

Telefax: 0 30/25 79 69-32

info@ks-ost.de

www.ks-ost.de

Verein Süddeutscher

Kalksandsteinwerke e.V.

Mittelpartstraße 1

67071 Ludwigshafen

Telefon: 06 21/67 00-6100

Telefax: 06 21/67 00-6102

info@kalksandstein-sued.de

www.kalksandstein-sued.de

Kalksandsteinindustrie West e.V.

Barbarastraße 70

46282 Dorsten

Telefon: 0 23 62/95 45-0

Telefax: 0 23 62/95 45-25

info@ks-west.de

www.ks-west.de

