



[ks-original.de](http://ks-original.de)

## Büro- und Verwaltungsgebäude mit Kalksandstein.



\* KEINE SORGEN.

Der Kalksandstein  
**KS**\*



<b>Gute Gründe für Kalksandstein im Büro- und Verwaltungsbau</b> .....	4
<b>Planungsgrundlagen: Von der Idee zum Entwurf</b> .....	6
<b>Thermisch optimierte Büro- und Verwaltungsgebäude</b> .....	11
1. Anforderungen an Bürogebäude .....	11
2. Planung thermisch optimierter Gebäude .....	12
2.1 Gebäudegeometrie und Tageslichtnutzung .....	12
2.2 Sommerlicher Wärmeschutz .....	15
2.3 Winterlicher Wärmeschutz .....	23
2.4 Luftqualität und Lüftung .....	26
2.5 Unterstützende technische Anlagen .....	31
2.6 Elektrische Energie .....	32
3. Qualitätssicherung und Bewertung .....	32
3.1 Qualität in der Planung und im Bauprozess .....	32
3.2 Bewertungsmethoden .....	33
Literatur / Planungshilfen und Planungssoftware .....	38
<b>Projektbeispiele</b> .....	39
Arbeiten im Paradies: Fraunhofer Zentrum Kaiserslautern .....	39
Zu neuen Ufern: Riverboat Leipzig-Plagwitz .....	44
Vom Getreidespeicher zur ersten Adresse: „Siebengebirge“ und „Silo“ im Rheinauhafen Köln .....	48
Modernisierung und Passivhausneubau: Beschäftigungsgesellschaft ELAN in Fürth .....	52
Recycling und Energieeffizienz: Passivhaus-Bürogebäude in Bremen .....	56
Ein neues Schiff an der Neptunwerft: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Rostock .....	60
<b>Kurzdarstellung von 12 Fallbeispielen</b> .....	65

Kalksandstein.  
Büro- und Verwaltungsgebäude.

Stand: September 2006

Redaktion:

Dipl.-Ing. K. Brechner, Rodgau  
Dipl.-Ing. B. Diestelmeier, Dorsten  
Dipl.-Ing. C. Landes, Durmersheim  
Dipl.-Ing. G. Meyer, Hannover  
Dipl.-Ing. W. Raab, Röthenbach  
Dipl.-Ing. O. Roschkowski, Duisburg  
Dipl.-Ing. H. Schulze, Buxtehude  
Dipl.-Ing. H. Schwieger, Hannover

Alle nicht gekennzeichneten Fotos sind  
vom Autoren des jeweiligen Beitrags oder vom  
Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV

Herausgeber:

Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV,  
Hannover

BV-9037-06/09

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

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit  
schriftlicher Genehmigung.

Gesamtproduktion und  
© by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf

## VORWORT

Büro- und Verwaltungsgebäude sind ein bedeutendes Marktsegment. Die Kalksandsteinindustrie bietet für diesen Anwendungsfall nicht nur Produkte, sondern mit der vorliegenden Broschüre auch Planungshinweise und Lösungen an.

Die Anforderungen, die bei Büro- und Verwaltungsgebäuden gestellt werden, sind anders als bei Wohngebäuden. Für Neubauten zeichnen sich zwei Entwicklungslinien stärker ab als bisher:

- Die Bedeutung der Betriebskosten – insbesondere für Kühlung – nimmt zu. Die energieeffiziente Planung rückt deshalb immer weiter in den Fokus des Planers.
- Die Ansprüche an die Nutzungsqualität nehmen zu. Dies wird durch verschiedene Rechtssprechungen deutlich (z.B. 26-°C-Urteil), die häufig mit einer Minderung des Mietzinses verbunden sind.

Eine dritte oftmals gestellte Anforderung betrifft die Flexibilität der Nutzung durch die Verwendung leichter nicht tragender Trennwände. Dabei werden aber meist zwei Punkte übersehen. Zum einen bieten leichte Wände i.d.R. eine schlechtere Qualität (Brandschutz, Schallschutz, Wärme- und Hitzeschutz). Zum zweiten ist bei vielen Gebäuden – insbesondere bei kleineren und mittleren Gebäuden – eine flexible Nutzung in der Praxis nicht festzustellen. Stattdessen ist bei der Verwendung von leichten Trennwänden in vielen Fällen zu vermerken, dass das thermische Verhalten (vor allem im Sommer) mangelhaft ist und nur durch umfangreiche Anlagentechnik „geheilt“ werden kann.

Thermisch optimierte Gebäude (passive Lösung) mit hoher wirksamer Speichermasse – Kalksandstein-Wände hoher Rohdichte und nicht abgehängte Betondecken – lassen dagegen das Gebäude „gutmütig“ reagieren. Es ist weniger störanfällig und verursacht weniger Investitions-, Betriebs- und Energiekosten. Neben Kosteneinsparungen (z.B. geringere Anlagentechnik) wird die Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit erhöht. Ein Effekt, der sich in der Motivation und damit in der Leistungsfähigkeit des Büropersonals niederschlägt.

Die Broschüre zeigt, dass „gutmütig“ reagierende Gebäude kein Zauberwerk sind. Planer und Investoren erhalten konkrete Handlungsempfehlungen für die Realisierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden.

Der Herausgeber  
Hannover, im September 2006

## GUTE GRÜNDE FÜR KALKSANDSTEIN IM BÜRO- UND VERWALTUNGSBAU



### 1. Passiver Hitzeschutz – „natürliche Klimaanlage“ inklusive:

Massive Kalksandsteine sind aufgrund ihrer hohen Masse (Rohdichte) in der Lage, große Mengen Energie zu speichern und zeitverzögert wieder abzugeben. In Kombination mit einer Nachtlüftung können somit tageszeitlich bedingte Hitzespitzen abgefedert werden. Damit wird höchste Behaglichkeit erzielt.

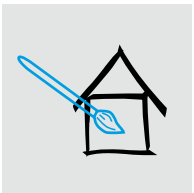
Weitere Hinweise in [1] und [2]



### 2. Guter Schallschutz:

Kalksandsteinmauerwerk bietet aufgrund seiner hohen Rohdichte hervorragende Schalldämmwerte. Bereits mit 10 cm dicken Kalksandsteinwänden der RDK 1,8 mit Dünnbettmörtel wird nach DIN 4109 ein bewertetes Schalldämm-Maß  $R'_w = 42$  dB erreicht. Damit werden die Vorschläge für den erhöhten Schallschutz nach Beiblatt 2 zu DIN 4109 für Flur- und Trennwände zu Räumen üblicher Bürotätigkeit erfüllt.

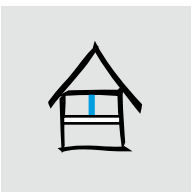
Weitere Hinweise in [3]



### 3. Vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten:

Kalksandsteinwände bieten insbesondere im Innenbereich umfangreiche Gestaltungsmöglichkeiten. Sowohl hochwertiges Sichtmauerwerk als auch Putzoberflächen sowie rustikale Oberflächen (geschlämmt, gestrichen oder unbehandelt) sind möglich.

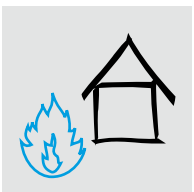
Weitere Hinweise in [4] und [5]



### 4. Flexibilität durch nicht tragende Wände:

Nicht tragende Wände werden meist über den so genannten Leichtwandzuschlag nach DIN 1055-3 berücksichtigt. Dabei sind Wandgewichte bis 5 kN/m (nach alter Norm bis 150 kg/m<sup>2</sup>) einzuhalten. Anforderungen an den sommerlichen Hitzeschutz sowie guter Schallschutz lässt sich mit leichten Wänden jedoch nicht zufriedenstellend realisieren. Hierzu sind höhere Wandgewichte erforderlich. Schwere, nicht tragende Trennwände (> 5 kN/m) können über einen (höheren) pauschalen Trennwandzuschlag berücksichtigt werden. Bei richtiger Bemessung der Decken ist damit kein Zusatzaufwand verbunden.

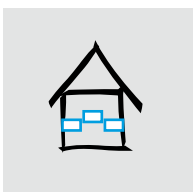
Weitere Hinweise in [6], [7] und [8]



### 5. Sicherer Brandschutz:

Kalksandstein ist nicht brennbar, Baustoffklasse A1 nach DIN 4102. Die Klassifizierung der Kalksandsteinwände erfolgt nach DIN 4102-4/A1. Nicht tragende Kalksandsteinwände mit einer Dicke  $\geq 7$  cm erfüllen bereits ohne Putz die Klassifizierung F 60-A. Brandwände aus Kalksandstein mit Dünnbettmörtel sind bereits ab 17,5 cm Dicke klassifiziert.

Weitere Hinweise in [9]

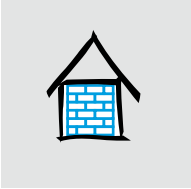


### 6. Passend zum Planungsraster:

Aufgrund des oktametrischen Planungsrasters – mit den Planungsmaßen nach DIN 4172 – lassen sich Mauerwerkswände aus Kalksandstein problemlos in die üblichen Rastermaße von Büro- und Verwaltungsgebäuden integrieren.

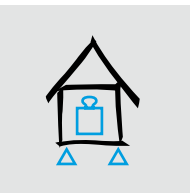
Weitere Hinweise in [10]





### 7. Ausfachungen aus Kalksandstein einfach und sicher:

Nicht tragende KS-Außenwände können einschalig oder mehrschalig, verputzt oder unverputzt, mit außenseitiger Wärmedämmung, mit vorgehängter Fassade usw. ausgeführt werden. Bei üblichen Kalksandsteinen (Steinfestigkeitsklasse  $\geq 12$ ) dürfen die zulässigen Ausfachungsflächen gegenüber DIN 1053-1, Tabelle 9 um 33 % erhöht werden. Weitere Hinweise in [11]



### 8. Hohe Robustheit:

Kalksandsteinmauerwerk ist aufgrund seiner hohen Festigkeit besonders belastbar und weitestgehend unempfindlich. Statisch relevante Befestigungen sowie die Befestigung von Einrichtungsgegenständen (z.B. Schränke, Regale, Rohr- und Lüftungsleitungen) ist mit konventionellen Dübeln möglich.

Weitere Hinweise siehe in [12]



### 9. Optimaler Wärmeschutz durch stufenlose Anpassung an das gewünschte Niveau:

Mauerwerkswände aus Kalksandstein sorgen für hohe Energieeffizienz. Durch das Prinzip der KS-Funktionswand (schweres Mauerwerk kombiniert mit weiteren, ergänzenden Funktionsschichten, z.B. Wärmedämmung) kann die Wandkonstruktion auf jedes Anforderungsniveau optimiert werden. Hervorragender Wärmeschutz im Winter ist damit ohne Kompromisse beim Schallschutz möglich. Zusätzlich steigt die Effizienz der Konstruktion durch den verringerten Platzbedarf und besseren Hitzeschutz (sommerlicher Wärmeschutz). Sehr gute Wärmedämmung ermöglicht einfachere, kostengünstigere Heizanlagen.

Weitere Hinweise in [1] und [13]



### 10. Vielfalt der Außenwandkonstruktionen:

Außenwandkonstruktionen aus Kalksandstein bieten vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten. Neben zweischaligen Kalksandstein-Konstruktionen sind einschalige Thermohaut-Konstruktionen (Kalksandstein mit WDVS) sowie vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF) in der Baupraxis zu finden. Alle KS-Außenwandkonstruktionen sind im Regelaufbau einfach. Standarddetails, die aus dem Wohnungsbau bekannt sind, können auch im Nichtwohnbau eingesetzt werden.

Weitere Hinweise in [14]

### Weiterführende Literatur

- [1] Hauser, G. und Maas, A.: Energieeinsparverordnung (EnEV), veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.
- [2] Arlt, J.: Umwelt und Gesundheit, veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.
- [3] Kutzer, D. und Fischer, H. M.: Schallschutz, veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.
- [4] Prepens, M.: KS-Sichtmauerwerk, veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.
- [5] Rich, H.: Sichtflächen im Innenbereich, veröffentlicht in Fachbuch KS-Maurerfibel, 7. Auflage, Stand 2004.
- [6] Roeser; Gusia: Gutachten Deckenzuschläge für nicht tragende Wände aus Kalksandstein, Aachen 2005
- [7] Kasten, D.: Nicht tragende KS-Innenwände, veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.
- [8] Schubert, P.: Verformung und Rissesicherheit, veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.
- [9] Hahn, Chr.: Brandschutz, veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.
- [10] Rich, H.: Mauerwerk, veröffentlicht in Fachbuch KS-Maurerfibel, 7. Auflage, Stand 2004.
- [11] Kasten, D.: Nicht tragende KS-Außenwände, veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.
- [12] Malleé, R.: Befestigungen in Kalksandstein, veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.
- [13] Fakten zur Ökobilanz, 2. Auflage, 2004.
- [14] Vogdt, F. U.: Außenwände aus Kalksandstein, veröffentlicht in Fachbuch Planung, Konstruktion, Ausführung (PKA), 4. Auflage, Stand 2004.

### PLANUNGSGRUNDLAGEN: VON DER IDEE ZUM ENTWURF

Seit der industriellen Revolution haben sich nicht nur die Produktionsbedingungen in den Industriebetrieben mehrfach grundlegend geändert. Auch der Büro-, Verwaltungs- und Dienstleistungsbereich hat gerade in den letzten Jahrzehnten intensive Wandlungen erfahren. Noch in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts waren Büroräume durch manuelle Arbeitsgeräte geprägt, Vervielfältigungen erfolgten durch Abschreiben oder Durchschlagsexemplare und nur in Einzelfällen durch aufwendige Reproverfahren. Archivierung und Zugriffsregelungen erforderten einen enormen Aufwand. Der Übergang von der manuell-analogen zur digitalen Bürotechnologie vollzog sich in einem atemberaubenden und zunehmend exponentiellen Tempo.

Nicht weniger wichtig ist die Veränderung von den traditionell hierarchischen Bürostrukturen mit reglementierten Arbeitszeiten, festen Arbeitsplätzen und starren Arbeitsstrukturen hin zu interdisziplinärer, teamorientierter Arbeit mit flachen Strukturen und einem hohen Grad an Selbstverantwortung. Statt Kontrolle wird Motivation durch Ergebnisorientierung und einen möglichst hohen individuellen Freiheitsgrad ohne feste Orts- und Zeitgebundenheit geschaffen.

Angesichts dieser Umwälzungen ist Gebäudeplanung als Versuch zu sehen, zukünftige Entwicklungen vorzudenken und Raum für mögliche Anforderungen zu schaffen. Das erfordert das Hinterfragen von gewohnten Raumstrukturen genauso wie das Bewahren von Bewährtem. Um solch eine grundlegende Planung zum Erfolg zu führen, sind zahlreiche Aspekte zu bedenken, vgl. [1], [2] und [3].

### PLANUNGSASPEKTE

#### 1. Integrale Planung

Komplexe Bauaufgaben erfordern das interdisziplinäre Zusammenwirken des Bauherrn bzw. der Nutzer mit dem Architekten und einem Team von Fachplanern und Ausführenden. Die Planung ist als iterativer Prozess zu sehen mit dem Ziel, eine Optimierung aller Aspekte zu erreichen.

#### 2. Grundlagen

Die Anforderungen an die Planung müssen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt umfassend beschrieben werden. Es ist hilfreich, in einer Präambel für das Bauvor-



Helles Gruppenbüro im Seminar- und Verwaltungsgebäude ELAN in Fürth

haben festzuhalten, woran sich Planungsentscheidungen orientieren müssen. Hier kann z.B. Nachhaltigkeit mit gleicher Gewichtung von Ökonomie, Ökologie und gestalterischen wie sozialen Anforderungen als Ziel definiert werden.

#### 3. Arbeitsplatzkonzept

Ein zentraler Punkt ist die rechtzeitige Beschreibung des Arbeitsplatzes hinsichtlich Funktionalität, Ausstattung, Ergonomie, Komfort und in Bezug auf Gesundheitsaspekte. Aus einem präzisen Anforderungsprofil bis hin zu Bemusterungsvorgaben leiten sich zahlreiche Anforderungen der späteren Planung ab.

#### 4. Funktionales Konzept

Die Zuordnungen von Funktionsbereichen wie Entree, Empfang, Erschließung, Kommunikation und Besprechung, Büros, Lager und Funktionsflächen etc. müssen im Team mit Planern und späteren Nutzern möglichst intensiv diskutiert und hieraus Lösungsansätze aufgestellt werden. An dieser Stelle besteht die höchste Gestaltungsmöglichkeit hinsichtlich Standard, Größe und den daraus resultierenden Kosten. In jeder weiteren Planungsphase nimmt die Einflussmöglichkeit ab.

#### 5. Entwurf

Der Entwurf kann nur so gut sein wie die zuvor erarbeiteten Grundlagen. Es ist Aufgabe des Architekten, gemeinsam mit dem Planungsteam den Entwurf zu gestalten und im ständigen Austausch zu optimieren. Bereits in diesem Stadium muss das Energiekonzept erarbeitet werden mit Maß-

nahmen zum winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz, der Festlegung von Lüftungs- und Heizsystem sowie gezielter Planung der gewünschten Komfortfaktoren im Gebäude. Parallel dazu sind Standards festzulegen mit den darin beinhalteten Bemusterungen sowie Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Investition und Gebäudebetrieb zu erstellen.

#### 6. Werk- und Detailplanung

Die planerische Ausarbeitung des Entwurfs erfolgt als weitere Vertiefung im Rahmen des Planungsteams. Gerade in dieser Phase erweist es sich als sehr hilfreich, wenn bei den zu erwartenden Planungsproblemen im Sinne der Präambel entschieden wird, um keine Abstriche bei den Grundintentionen des Konzepts zu machen.

#### 7. Ausschreibung und Vergabe

Eine präzise Ausschreibung ist Voraussetzung für eine möglichst konfliktfreie Bauzeit. Bei der Vergabe sollte die Planung detailliert gemeinsam besprochen werden. Im Idealfall bildet sich ein Bauteam, das in dieser Phase eine Optimierung der Details und Materialien durchführt. Dadurch kann erhöhte Kostensicherheit oder auch als Ziel die Vereinbarung von Pauschalpreisen erzielt werden.

#### 8. Bauausführung

Eine qualitätsvolle Bauausführung ist die Grundlage für die erfolgreiche Bauabwicklung. Ständige Kontrolle und Bauüberwachung seitens des Planungsteams sind erforderlich, um die Planung einwandfrei umzusetzen.



**9. Qualitätskontrolle und Inbetriebnahme**

Die Abnahme sollte einhergehen mit einer Qualitätskontrolle, um vor Bezug alle Mängel erfolgreich zu beseitigen. Wichtig ist die sorgfältige Einweisung der Benutzer bei der Inbetriebnahme. Die Betriebsbeschreibungen sollten gut geordnet zum Zugriff aufbewahrt werden. Darüber hinaus ist es für einen erfolgreichen Gebäudebetrieb unerlässlich, eine einfach anwendbare Bedienungsanleitung für die Nutzer bereitzustellen.

**10. Bewirtschaftung und Facility Management**

Erfolgskontrolle ist essentieller Bestandteil eines Planungsprozesses. Im Gebäudebetrieb ist zu überprüfen, ob die gestellten Anforderungen erfüllt werden. Energiekennwerte und Betriebskosten sind im Rahmen eines dauerhaften Facility Managements zu überwachen und zu optimieren.

**BÜROKONZEPTE**

Für die Büroorganisation werden im Folgenden einige grundsätzliche Lösungsmodelle dargestellt mit den daraus resultierenden Vor- und Nachteilen und einigen Anforderungsgrößen für die Planung. In Abhängigkeit vom Anforderungsprofil der Nutzer können unterschiedliche Bürostrukturen oder Synergiekonzepte daraus von Vorteil sein:

**Zellenbüro**

Die am weitesten verbreitete Büroform mit Einzelräumen für 1 bis 5 Mitarbeiter hat den Vorteil geringer Störeffekte, hohen raumklimatischen Regelkomforts und individueller Gestaltungs- und Identifikationsmöglichkeit. Die Nachteile können durch ergänzende Maßnahmen ausgeglichen

werden: gemeinsame Besprechungs-, Kreativ- oder Kommunikationsbereiche sowie Vernetzung führen zu angemessenem Informationsaustausch.

**Kombibüro**

Die Verbindung kleiner Individualzellen mit direkt angegliederten Multifunktionszonen vereint konzentrierte Einzelarbeit mit Möglichkeiten für Gruppen- und Teamarbeit. Bei diesem Konzept sind gestalterisch sehr offene und variable Lösungen möglich, die jeweiligen Arbeitsgruppen angepasst werden können. Sinnvoll ist die Anordnung der Einzelarbeitsplätze an den Fensterfronten und des Teambereichs im Gebäudeinneren.

**Gruppenbüro**

Konzeptionell an das Großraumbüro angelehnt werden Gruppen räumlich zusammengebunden. Dieses Konzept ermöglicht eine kontinuierliche Kommunikation zwischen Teammitgliedern. Für individuelle Arbeitsbereiche können Raumtrennsysteme eingesetzt werden, die den Privatheits- und Ruhebedürfnissen der einzelnen Teammitglieder angepasst werden können.

**Großraumbüro**

Diese in den 60ern und 70ern des letzten Jahrhundert entwickelte Büroform weist eine hohe Flexibilität und Offenheit auf. Störeffekte können wie beim Gruppenbüro durch flexible und festere Raumtrennsysteme unterschiedlicher Schall- und Sichtschutzqualität bedingt eingeschränkt werden. Als Minuspunkt bleibt der hohe Aufwand zur Bereitstellung eines angenehmen Raumklimas und das fehlende Tageslicht an einem Großteil der Arbeitsplätze.



Beispiel für die Arbeitsplatzgestaltung im Einzelbüro

**Reversibilität**

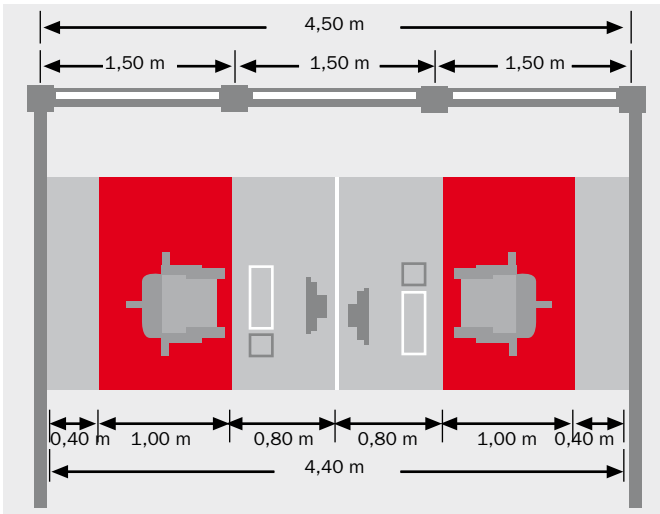
Reversibilität ist das Schlagwort für weitestgehend unbegrenzte Umnutzungsmöglichkeiten von Gewerbebauten für Bürozwwecke unterschiedlicher Anforderungsprofile bis hin zu sonstigen gewerblichen Nutzungen. Der Preis liegt in einem sehr hohen Aufwand an Erschließung, Gebäudetechnik, Infrastruktur und einer Erhöhung statischer und brandschutztechnischer Anforderungen. Bei vielen Planungen wird sich deshalb erweisen, dass Reversibilität nur in einem begrenzten Umfang eingeplant werden kann.

**Neue Arbeitsmodelle**

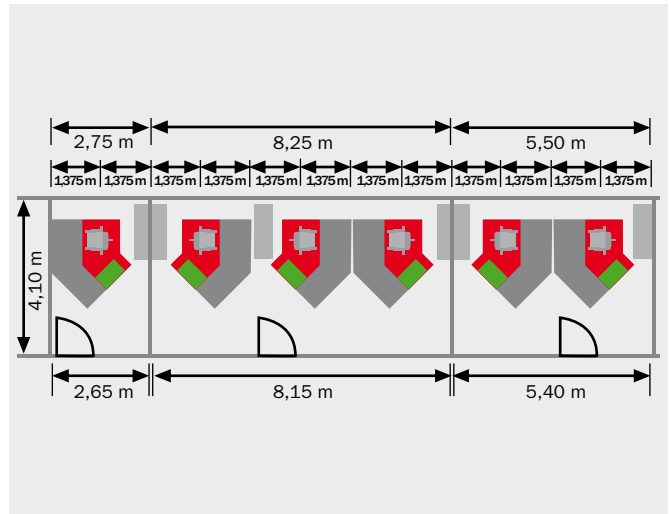
Eine Arbeitsweise ohne ständige räumliche Zuordnung ermöglicht in zahlreichen Sparten völlig neue Organisationsformen. Sind Mitarbeiter oft unterwegs oder führen Telearbeit von Zuhause, Satellitenbüros oder anderen Standorten aus, so können Modelle von „Desk-Sharing“ oder „non-territorialen Arbeitsplätzen“ zu einem erheblichen Einsparpotenzial führen.

Tafel 1: Merkmale für verschiedene Bürokonzepte ([2], [3])

	Zellenbüro	Kombibüro	Gruppenbüro	Großraumbüro
Arbeitsplätze	1 bis 5	1 bis 2	4 bis über 20	10 bis über 300
Nettogeschossfläche/Arbeitsplatz	18 bis 25 m <sup>2</sup>	15 bis 22 m <sup>2</sup>	ca. 20 m <sup>2</sup>	ca. 20 m <sup>2</sup>
Raumfläche	10 bis 50 m <sup>2</sup>	8 bis 20 m <sup>2</sup>	60 bis 300 m <sup>2</sup>	150 bis über 1500 m <sup>2</sup>
Raumbreite	2,5 bis 4,5 m	2,3 bis 3 m	5 bis 30 m	20 bis zu 100 m
Raumtiefe	4 bis 4,5 m	4 bis 5 m	5 bis 20 m	15 bis 30 m
Gebäudetiefe	12 bis 14 m	14 bis 17 m	ab 12 m	ab 15 m
Raumhöhe	2,5 bis 3,5 m	2,5 bis 3,5 m	3,0 bis 4,5 m	3,5 bis 4,5 m
Arbeitsplatz-Erschließung	Flure	über Kombizone	über Großraum	über Großraum
Elektroinstallation	Brüstungskanäle, Unterflurkanäle	Brüstungskanäle, Doppelböden, Unterflurkanäle	Doppelböden, Unterflurkanäle	Doppelböden, Unterflurkanäle
Belüftung	Fenster, mechanische Lüftung (ggf. teilklimatisiert)	Fenster, mechanische Lüftung (ggf. teilklimatisiert)	mechanische Lüftung (ggf. teilklimatisiert)	in der Regel (teil-)klimatisiert
Arbeitsplatz-Belichtung	Tageslicht zu 100 % möglich	Tageslicht, Kunstlicht in der Kombizone	überwiegend Kunstlicht in Innenzonen	überwiegend Kunstlicht in Innenzonen



Zweipersonenbüro mit einem Achsmaß von 1,50 m und einer geringen resultierenden Raumbreite von 4,40 m



Verschiedene Bürogrößen bei einem Rastermaß von 1,375 m mit daraus resultierenden stimmigen Raummaßen

Tafel 2: Büroabmessungen und Maße für Schränke, Sitzbereich und Arbeitstisch

	Bürobreite [m]		Schranktiefe [m]		Sitzbereich [m]		Tisch [m]
	gering	komfortabel	gering	komfortabel	gering	komfortabel	
Einzelbüro	2,20	2,65	0,40	0,65	1,00	1,20	0,80
2-Personen-Büro	4,40	5,30	0,80	1,30	2,00	2,40	1,60
3-Personen-Büro	6,60	7,95	1,20	1,95	3,00	3,60	2,40

Tafel 3: Raster und resultierende Raumbreiten bei einem Achsmaß von 1,375 m

Bereich	Anzahl	Raster	Gesamtmaß [m]	Wand/Stütze [m]	Raumbreite [m]
Arbeitsplätze	1	2	2,75	0,125	2,625
	2	4	5,50	0,125	5,375
	3	6	8,25	0,250	8,000
Stellplatz	1	2	2,75	0,250	2,500
	2	4	5,50	0,500	5,000
	3	6	8,25	0,500	7,750

### FLÄCHENBEDARF UND RASTERMASSE

Die Maßenforderungen für Arbeitsplätze sind nicht in der Arbeitsstättenverordnung gefasst, sondern sind aus Erfordernissen für Bildschirmarbeitsplätze und Anforderungen der Berufsgenossenschaften abzuleiten. Die Maße für die Bürobreite ergeben sich aus der Addition der Maße für Schranktiefe, Sitzbereich und der Tiefe des Tisches (s. Tabelle 2). Die Bürotiefe sollte mindestens 3,40 m betragen, komfortabel wird es in Abhängigkeit von ggf. erforderlichen Ablagemöblierungen oder Einbauschränken zum Flurbereich ab 4,00 m Tiefe. Ein wesentlicher Bestimmungsfaktor für die Raumtiefe ist zudem der Tageslichteinfall in Verbindung mit der Gestaltung der Fensterflächen.



Der Lichteinfall schafft eine positive Arbeitssituation



Arbeitsplatz mit Sonnenschutz





Büro der Chefin und ...



... Büro für vier Personen im Passivhaus-Bürogebäude Bremen

**Achsmaß**

Die Verwendung von Rastern ermöglicht systematische Planung sowie Einsparpotenziale durch serielle Vorfertigung. Häufige Verwendung finden Achsmaße von 1,50 m und vor allem von 1,375 m. Bei einem Raster von 1,375 m lassen sich Bürobreiten für eine beliebige Zahl von Arbeitsplätzen planen und zugleich eine Kongruenz z.B. zu Parkebenen herstellen [1]. Alle Mauermaße sind im oktametrischen (1/8 Meter) Raster von 12,5 cm aufgebaut. Damit passen Kalksandsteinwände optimal in die gewohnten Rastermaße des Büro- und Verwaltungsbaus.

**KONSTRUKTION**

Bei der Wahl der Materialien und Konstruktionsaufbauten sollte neben den Primärfunktionen auch auf Folgeinflüsse hinsichtlich Energiekonzept, Bauphysik, Primärenergieeinsatz und „weiche“ Faktoren wie Komfort und Wohlbefinden geachtet werden. Der Gebäudestandard und die Gebrauchstauglichkeit definieren sich sehr stark durch die Sekundärfunktionen der Bauteile.

Es ist hoch wirtschaftlich, Gewerbeimmobilien mit höchsten Ansprüchen an Gestaltung, Funktion, Raumklima und Komfortfaktoren zu erstellen, denn im Vergleich zu den Lohnkosten liegen die Gebäudekosten bei einem Bruchteil: Nur 5 % weniger Fehlzeiten durch gesunde und motivierende Arbeitsplatzatmosphäre lassen Investitionen ins „Wohlfühlen“ in jedem Fall hoch rentierlich ausfallen.

Tafel 4: Primär- und Sekundärfunktionen von Konstruktionen als Gestaltungsmittel für Gebäudestandards [2]

Konstruktion	Primärfunktion	Sekundärfunktionen
Außenwand	Statik, Schall-, Wärme- und Witterungsschutz, Brandschutz	Hohe Wärmedämmqualität und Luftdichtheit zur Reduktion technischer Anlagen für Heizen und Kühlen, Speichermasse für sommerlichen Wärmeschutz, Feuchteausgleich durch Sorptionsverhalten, Akustik, Einbruchhemmung
Fundamente	Statik, Gründung	u.a. bei Pfahlgründung Potenzial zur geothermischen Energienutzung
Bodenplatte	Statik, Gründung, Abdichtung	Speichermasse bei unterhalb liegender Wärmedämmung, integrierte Installation von Wärmeträgermedien (Luft/Wasser)
Dach	Witterungsschutz, Entwässerung, oberer Gebäudeabschluss	Hohe Wärmedämmqualität und Luftdichtheit zur Reduktion technischer Anlagen für Heizen und Kühlen, Beeinflussung des Mikroklimas außen bei Gründächern, Speichermasse für sommerlichen Wärmeschutz, Tageslichtversorgung, Integration solarer Energiesysteme; Akustik
Fenster	Lüftung, natürliche Raumbelichtung, Sichtbereich	Hoher Einfluss auf das Raumklima, bei U-Werten < 0,85 W/(m <sup>2</sup> ·K) sehr ausgewogene Raumtemperaturverteilung mit der Möglichkeit Heizkörper unter den Fenstern entfallen zu lassen; Tageslicht- und Energieoptimierung durch Anordnung, Größe und Selektivität von Verglasungen; solare Kontrolle mit Sonnen- und Blendschutz für minimale Kühllasten, Einbruchhemmung
Innenwand	Statik, Brandschutz, Raumtrennung, Schallschutz	Speichermasse für sommerlichen Wärmeschutz, Feuchteausgleich durch Sorption, Oberflächengestaltung, Raumtrennung und Raumgestaltung, Akustik
Fußboden	Nutzfläche, Hohlraum für Installationen	Heizen und Kühlen im Niedertemperaturbereich, Oberflächengestaltung, hohe Auswirkung auf Pflegeaufwand, Akustik
Decke	Statik, Trittschallschutz, Akustik, Installationen	Betonkernaktivierung zum Heizen und Kühlen im Niedertemperaturbetrieb, Speichermasse für sommerlichen Wärmeschutz bei Verzicht auf Deckenbekleidung, Lichtreflexion, Akustik, Lichtinstallationen, Raumgestaltung
Anlagentechnik	Bereitstellung von Wärme, Versorgungsmedien und Frischluft	Gestaltung von Behaglichkeitskriterien und Raumklima, Hygiene und Raumluftqualität, Nachtlüftung oder Bauteilaktivierung in Kombination mit Speichermassen führt zur Reduzierung der benötigten Kühlleistung

LITERATUR/QUELLEN

- [1] BGI 5050 Büroraumplanung, Hrsg. VBG Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2006
- [2] Voss, Löhnert, Herkel et al.: Bürogebäude mit Zukunft, Verlag Solarpraxis, 2. Auflage, Berlin 2006
- [3] Kister, J.: Die Bauentwurfslehre von Prof. Ernst Neufert, 38., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, Vieweg Verlag, Wiesbaden 2005

Weiterführende, nicht zitierte Literatur

- [4] Auf dem Weg zum energieeffizienten Wohngebäude – Leitfaden energieeffiziente Bürogebäude, Hrsg. Energieagentur NRW, Wuppertal
- [5] Energieeffizienz in Unternehmen – Ein Leitfaden für Entscheider und Energieverantwortliche, Hrsg. Energieagentur NRW, Wuppertal 2005
- [6] Wohlbefinden im Büro. Arbeits- und Gesundheitsschutz bei der Büroarbeit, Hrsg. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund 2004



Offene und freundliche Atmosphäre in der Cafeteria



Hörsaal im zentralen Erschließungsbereich des Fraunhofer-Zentrums in Kaiserslautern



## 1. ANFORDERUNGEN AN BÜROGEBÄUDE

### Gebäude, die gut zum Arbeiten geeignet sind

Bürogebäude sind Gebäude zum Arbeiten. In einem Land mit hohem Einkommensniveau ist es angesichts des globalen Austauschs von Wirtschaftsgütern unabdingbar, dass die Arbeit sehr produktiv ist und dass die Arbeitsergebnisse von hoher Qualität sind. Dies setzt voraus, dass die arbeitenden Menschen nicht nur gut ausgebildet, sondern auch hoch motiviert sind.

Zur Motivation kann das Gebäude als Arbeitsumgebung einen wichtigen Beitrag leisten. Aus der Perspektive der dort Arbeitenden kann die Qualität des Gebäudes ein Vorbild für das angestrebte Qualitätsniveau der Arbeitsergebnisse darstellen. Als stellvertretende Aspekte für die Gesamtheit dieser „Nutzungsqualität“ des Gebäudes seien hier das thermische Innenklima, die Beleuchtung mit Tageslicht und die Luftqualität genannt. Diese werden in besonderem Maß bei der Planung eines Gebäudes vorherbestimmt. Deshalb werden sie in den folgenden Abschnitten eine wichtige Rolle spielen.

### Gebäude, die gut funktionieren

„Ein Gebäude funktioniert dann gut, wenn man nicht viel davon bemerkt“, so könnte man es formulieren. Das thermische Innenklima ist angenehm, die Räume sind hell vom Tageslicht beleuchtet. Das Gebäude lädt geradezu dazu ein, es zu be-

nutzen, ohne besondere Aufmerksamkeit zu beanspruchen.

Und auch, wenn ein kleines, aber wichtiges Teil der Gebäudetechnik versagt, bleibt das Gebäude benutzbar, bis der Wartungsdienst kommt und die Fehler behebt. Wenn z.B. an einem kalten Wintertag morgens ein Temperatursensor ausfällt und die Heizanlage herunter regelt oder an einem Hochsommertag die Lüftungssteuerung streikt und es keine im Erdwärmetauscher vorgekühlte Zuluft gibt, verändert sich die Innentemperatur dank der thermischen Trägheit des Gebäudes nur langsam, so dass der optimale Bereich auch nach einigen Stunden nur knapp verlassen ist.

All das ist kein Zufall, sondern Ergebnis einer gelungenen Gebäudeplanung.

### Gebäude, die wenig Energie benötigen

Energieeffiziente Gebäude (beispielsweise Passivhäuser) sind besonders wirtschaftlich. Dabei spielen zwei Faktoren eine wichtige Rolle. Zum einen wird der Bau Energie sparender Gebäude gefördert, zum anderen steigen die Heizkosten und somit die Unterhaltskosten von Jahr zu Jahr weiter an. Dabei ist davon auszugehen, dass die Energiekostensteigerung in zum Teil schmerzhaften Sprüngen stattfinden wird. Die beste Versicherung dagegen ist frühzeitiges Investieren in Energieeffizienz und regenerative Energieversorgung – zum Beispiel durch den Bau eines massiven Bürogebäudes mit Energieverbrauch auf Passivhaus-Niveau<sup>1)</sup> [L1].

Ein neues Gebäude soll in der Regel mehrere Jahrzehnte betrieben werden. Bei Nichtwohngebäuden kommt hinzu, dass die Betriebskosten im Vergleich zu den Investitionskosten eine große Rolle spielen. Da liegt es nahe, es gleich auf einen sehr niedrigen Energiebedarf auszulegen. Zum einen wird das Gebäude damit nicht mit einer in ihrer Höhe unbestimmten Betriebskostenhypothek belastet, zum anderen werden damit im Vergleich zu konventionellen Gebäuden Ressourcen geschont und es werden weniger CO<sub>2</sub> und Schadstoffe emittiert.

### Gebäude, die kostengünstig sind

Nicht nur die Betriebskosten eines Gebäudes sollen niedrig gehalten werden, sondern auch die Investitionen für das Erstellen des Gebäudes. Ein wichtiger Kosten senkender Ansatz ist es, das Gebäude nicht komplizierter zu konstruieren, als es der vorgesehenen Nutzung angemessen ist. So kann beispielsweise eine aufwendige, voll verglaste Doppelfassade zur Repräsentation gewünscht sein. Bei einer üblichen Büronutzung ist dagegen eher eine konstruktiv einfache Fassade angemessen, deren Fenster nach den Gesichtspunkten Tageslicht, Sicht nach außen, Energieeffizienz und Kosten (Investitions- und Nutzungsphase) geplant sind.

Ein grundlegender Weg der Vereinfachung ist es, einige wichtige Gebäudefunktionen bereits weitgehend durch die Konstruktionsweise des Baukörpers zu bewirken, wie z.B. die Versorgung mit Licht oder die Temperierung der Innenräume. So kann an vielen Betriebstagen das elektrische Licht über längere Zeit ausgeschaltet bleiben. Auch müssen dann an vielen Tagen des Jahres weder zum Heizen noch zum Kühlen technische Anlagen eingreifen, da das Gebäude selber ein thermisch stabiles und „gutmütiges“ Verhalten zeigt. Die Anlagen zur Klimatisierung können kleiner dimensioniert werden, teilweise ganz weggelassen oder durch einfachere technische Einrichtungen ersetzt werden.

### Gebäude, die gut geplant sind

Die aufgeführten Gebäudeeigenschaften werden überwiegend bei der Planung vorherbestimmt. Es lohnt also schon vorab, genauer zu betrachten, in welcher Weise die Eigenschaften eines Gebäudes gezielt optimiert werden können.



Kalksandstein-Sichtmauerwerk ist repräsentativ.

<sup>1)</sup> Der Passivhausstandard ist auf Wohngebäude zugeschnitten und auf Büros nur mittelbar anwendbar.

## 2. PLANUNG THERMISCH OPTIMIERTER GEBÄUDE

### 2.1 Gebäudegeometrie und Tageslichtnutzung

Zu Beginn der Planung eines Gebäudes wird der Baukörper gestaltet und das Gebäude in seine Umgebung eingefügt. Mit diesen geometrischen Festlegungen wird zugleich über die Voraussetzungen für eine mehr oder weniger gute Versorgung mit Tageslicht befunden. Es wird festgelegt, zu welchen Zeiten die direkte Sonnenstrahlung die einzelnen Oberflächen erreicht und wie viel Sonnenlicht die Fassaden beleuchtet.

Mit der Anordnung der Fenster, der Raumaufteilung und der Anordnung von Arbeitsplätzen entscheiden die Planer über die Tageslichtversorgung im Inneren. Es gilt von Beginn des Entwurfs an, diesen planerischen Einfluss aktiv zu nutzen.

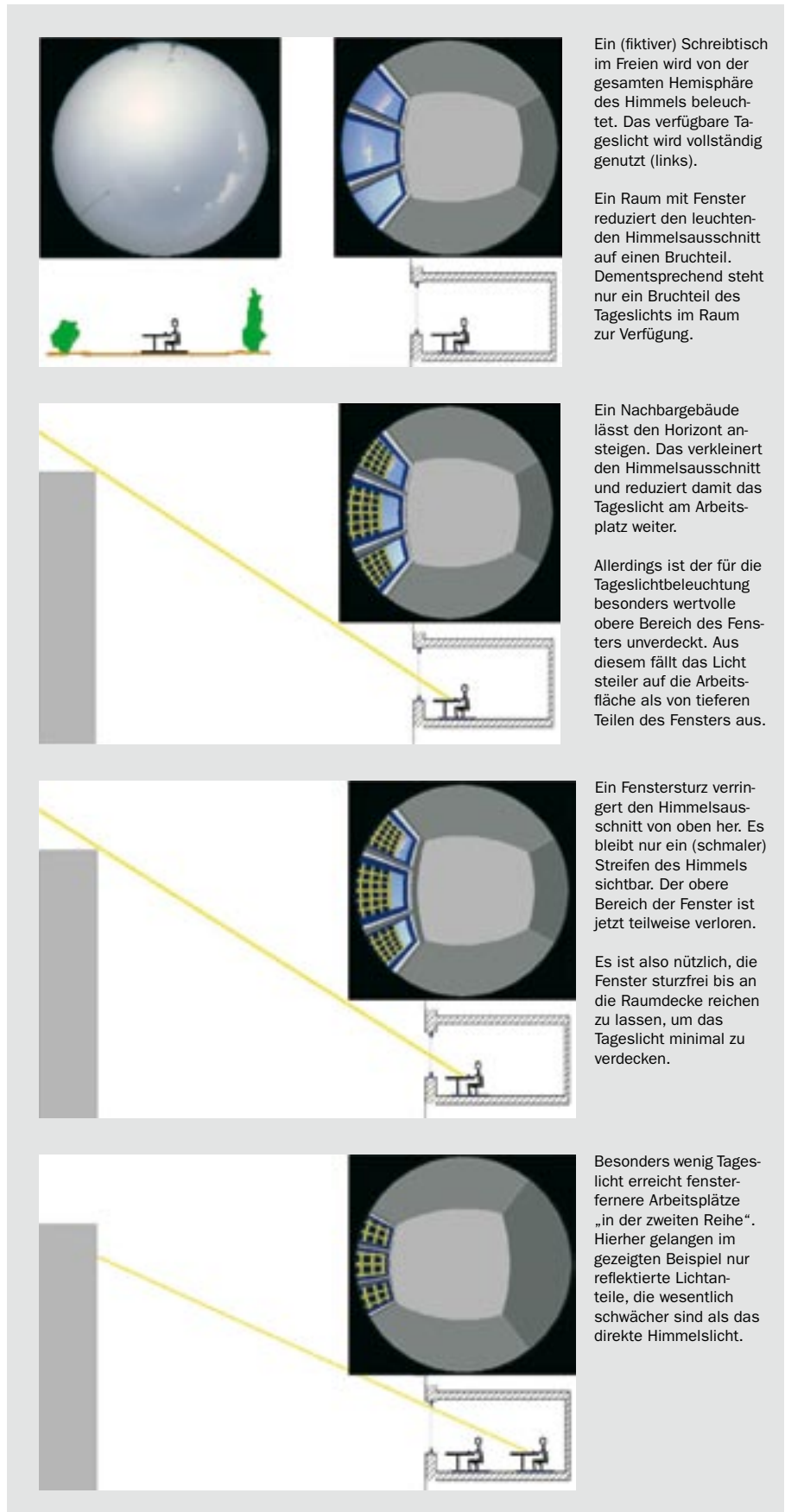
#### 2.1.1 Äußere und innere Gebäudegeometrie

Bild 2 zeigt zur Visualisierung des verfügbaren Tageslichts synthetische „Fisheye“-Bilder, die von einer Schreibtischoberfläche aus nach oben gesehen sind. So wird der Himmelsausschnitt, der die Tischoberfläche beleuchtet, direkt sichtbar. Es wird erkennbar, welche Gebäudeteile oder Hindernisse den sichtbaren Himmelsausschnitt begrenzen, also wo Ansatzpunkte zur Verbesserung des Tageslichts sind.

Bei Bürogebäuden ist es sinnvoll, das Tageslicht in erster Linie für den Fall des diffus leuchtenden Himmels zu betrachten. Dies hat drei Gründe:

1. Das diffuse Tageslicht dominiert in Mitteleuropa zeitlich gegenüber der direkten Sonnenstrahlung. In Mitteleuropa entfallen z.B. auf jährlich rund 4400 helle Tagesstunden je nach Ort etwa 1600 bis 1900 Sonnenscheinstunden, das entspricht ca. 40 %.
2. Bei diffusem Tageslicht aus bedecktem Himmel steht insgesamt weniger Licht zur Verfügung; es ist also der „kritischere Fall“.
3. In Büroräumen muss das direkte Sonnenlicht sehr oft ausgeblendet werden, da es entweder Blendung verursacht und/oder zu viel Wärme einträgt.

Neben der äußeren Geometrie des Baukörpers samt Umgebung spielen für die



Ein (fiktiver) Schreibtisch im Freien wird von der gesamten Hemisphäre des Himmels beleuchtet. Das verfügbare Tageslicht wird vollständig genutzt (links).

Ein Raum mit Fenster reduziert den leuchtenden Himmelsausschnitt auf einen Bruchteil. Dementsprechend steht nur ein Bruchteil des Tageslichts im Raum zur Verfügung.

Ein Nachbargebäude lässt den Horizont ansteigen. Das verkleinert den Himmelsausschnitt und reduziert damit das Tageslicht am Arbeitsplatz weiter.

Allerdings ist der für die Tageslichtbeleuchtung besonders wertvolle obere Bereich des Fensters ungedeckt. Aus diesem fällt das Licht steiler auf die Arbeitsfläche als von tieferen Teilen des Fensters aus.

Ein Fenstersturz verringert den Himmelsausschnitt von oben her. Es bleibt nur ein (schmäler) Streifen des Himmels sichtbar. Der obere Bereich der Fenster ist jetzt teilweise verloren.

Es ist also nützlich, die Fenster sturzfrei bis an die Raumdecke reichen zu lassen, um das Tageslicht minimal zu verdecken.

Besonders wenig Tageslicht erreicht fensterfernere Arbeitsplätze „in der zweiten Reihe“. Hierher gelangen im gezeigten Beispiel nur reflektierte Lichtanteile, die wesentlich schwächer sind als das direkte Himmelslicht.

Bild 2: „Fisheye“-Projektionen des oberen Halbraums von einer Schreibtischoberfläche aus und vertikale Schnitte der jeweiligen Situation

Tageslichtversorgung im Inneren auch die Größe und Positionierung der Fenster sowie in Büros die Anordnung der Arbeitsplätze eine wichtige Rolle.

Um die Fenster für Büros und ähnliche Raumnutzungsarten richtig zu bemessen, kann man die Außenwand eines Raums gedanklich in drei Bereiche unterteilen:

- a) Der Oberlichtbereich, etwa oberhalb 2 m Höhe bis zur Decke, ist für die Tageslichtversorgung besonders wichtig. Je höher die Fenster reichen, umso tiefer im Raum ist das Tageslicht nutzbar.
- b) Der mittlere Bereich, vom Schreibtischniveau auf ca. 0,8 m bis etwa 2 m Höhe, dient ebenfalls der Tageslichtversorgung. Er ist aber auch für die Sichtbeziehung nach außen besonders wichtig.
- c) Der Brüstungsbereich unterhalb des Schreibtischniveaus (bis 0,8 m Höhe) ist für das Tageslicht im Raum ohne nennenswerten Nutzen.

Ausgehend von dieser Überlegung ergibt sich, dass Fenster in Büros von etwas oberhalb der Schreibtischoberkante, ca. 80 cm Höhe, am besten sturzfrei bis zur Decke reichen sollen. Des Weiteren muss beachtet werden, dass bei besonnten Fenstern der solare Wärmeeintrag problematisch werden kann. *Fensteranteile, die weder für das Tageslicht noch für Sichtbeziehungen wichtig sind, wirken sich deshalb nachteilig aus, da sie lediglich zusätzliche Wärme eintragen.* Je nach Tageslichtbedarf können ein durchgehendes Fensterband oder einzelne Fenster die geeignete Lösung sein. In Fällen, in denen auf die Beleuchtung in die Raumtiefe besonderer Wert gelegt wird, der solare Wärmeeintrag aber begrenzt werden soll, kann auch eine Kombination aus durchgehendem Oberlicht und unterbrochenen Fenstern im mittleren Bereich sinnvoll sein (Bild 3).

**2.1.2 Tageslichtfaktor**

Quantitativ lässt sich das Tageslichtangebot mit dem Tageslichtfaktor (auch Tageslichtquotient genannt) beschreiben. Dieser ist das Verhältnis der Beleuchtungsstärke innen, also im Büro auf der Arbeitsfläche, zur Beleuchtungsstärke außen, wo die gesamte Hemisphäre sichtbar ist. Der Tageslichtfaktor bezieht sich in der Regel auf bedeckten Himmel. Bild 4 zeigt einen typischen Verlauf des Tageslichtfaktors mit der Entfernung vom Fenster.

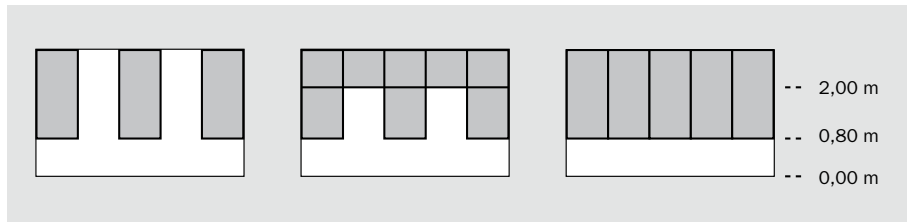


Bild 3: Varianten der Fensteranordnung für Büroräume

Sobald ein Entwurf der Raumgeometrie und der Fensteranordnung besteht, kann der Tageslichtfaktor mit einer geeigneten Software berechnet werden. Dazu werden neben der Geometrie einige weitere Daten wie Reflexionsgrade der Oberflächen und Transmissionsgrade von Fenstern benötigt.

Eine Berechnung des Tageslichtfaktors kann erfolgen

- nach DIN 5034 [L2]; näherungsweise Berechnung für einfache Geometrie (z.B. quaderförmige Räume),
- mit Software nach dem „Radiosity“-Verfahren, beispielsweise der Planungs-Software Primero [P1] oder dem älteren SuperLite [P2]; das Radiosity-Verfahren erlaubt mehr Details und komplexere Geometrien als DIN 5034,
- als Nebenprodukt von Berechnungen mit „Raytracing“-Simulations-Software wie Radiance [P3].

Nach dem „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ [P4] oder mit Software wie DL\_frac [P5] (in [P1]) können die Anteile von Tages- und Kunstlicht sowie der resultierende Strombedarf näherungsweise berechnet werden. In der Softwarevariante können auch Lichtsteuerstrategien und Zeitprofile der Nutzung explizit berücksichtigt werden.

Weitere Tageslictheigenschaften wie Leuchtdichte, Kontrast, Blendung oder Farbzusammensetzung können mit „Raytracing“-Software berechnet werden. Am verbreitetsten ist Radiance [P3], eine reine Rechensoftware. Dazu gibt es verschiedene „Oberflächen“-Programme, die die Benutzerfreundlichkeit steigern.

Alternativ zur Berechnung besteht auch die Möglichkeit einer – allerdings in der Regel sehr aufwendigen – Messung an einem Modell oder aber in fertig gestellten Gebäuden. Modellmessungen setzen voraus, dass das Gebäudemodell samt seiner Umgebung mit realistischen Reflexionsgraden eingefärbt ist. Reproduzierbare, also von der Wetersituation unabhängige Modellmessungen können im Labor unter einem künstlichen Himmel durchgeführt werden.

**Optimale Tageslichtversorgung**

Für normale „Tageslicht-orientierte“ Arbeitsplätze im Büro wird bei Tageslichtversorgung eine Beleuchtungsstärke von 300 lx gefordert [L2]. Bei einer Außenbeleuchtungsstärke von 10.000 lx, beispielsweise unter einer Wolkendecke, muss dann der Tageslichtfaktor mindestens 3 % betragen, damit das Tageslicht alleine ausreicht. In Fensternähe ist das gut möglich (vgl. Bild 4).

Es gibt noch weitere Anforderungen an die Beleuchtungsqualität, die die Kontraste, das Blendungsrisiko, Leuchtdichten von

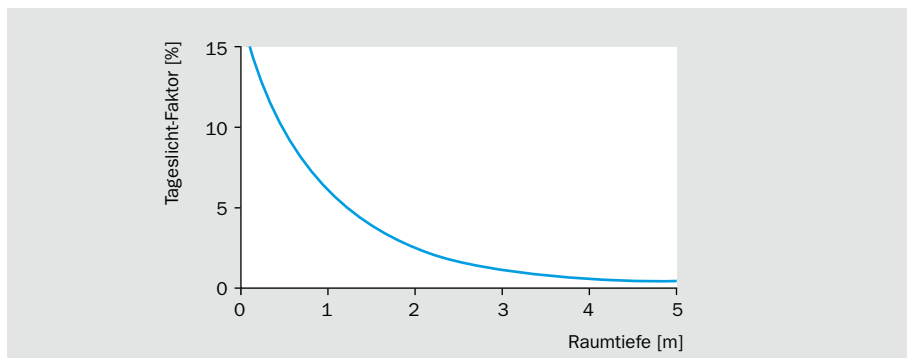


Bild 4: Verlauf des Tageslichtfaktors mit der Entfernung vom Fenster in einem Büroraum



Oberflächen, die Beleuchtung vertikaler Flächen und die Qualität der Farbwiedergabe betreffen. Zu Anforderungen an Kunstlichtbeleuchtung vgl. DIN EN 12464-1 [L3].

Die Farbwiedergabe ist bei Tageslicht in der Regel von sehr hoher Qualität. Blendungsrisiko und starke Kontraste entstehen jedoch vorwiegend durch direkte Sonnenstrahlung. Deshalb benötigen von Sonne beschienene Fenster unbedingt einen Blendschutz, der den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden kann.

Wenn das Tageslicht alleine als Beleuchtung nicht ausreicht, muss es durch elektrisches Licht ergänzt werden. Auch diese „Ergänzungs-Beleuchtung“ lässt sich optimieren. Dazu gehört neben einer energieeffizienten Ausführung der Lampen und Leuchten auch eine Trennung der Stromkreise für fensternahe und fensterferne Beleuchtung, so dass diese getrennt bedarfsabhängig gesteuert werden können. Die Steuerung kann entweder manuell oder automatisch abhängig von der Präsenz der Raumnutzer und/oder vom verfügbaren Tageslicht erfolgen. Die Tageslichtabhängigkeit kann stufig (ein/aus) oder kontinuierlich sein. Auch gemischte Lösungen können sinnvoll sein, etwa manuelles Einschalten, automatisches Abschalten bei Abwesenheit und bei ausreichendem Tageslicht. Weitere Information zu diesem Thema findet sich z.B. in [P4].

**Hinweise zur optimalen Nutzung von Tageslicht**

1. Geometrie des Baukörpers so gestalten, dass viel Tageslicht die Fensterfassaden erreichen kann.
2. Größe und Anordnung der Fenster primär nach den Kriterien „Tageslicht“ und „Ausblick nach außen“ bemessen.
3. Fenster möglichst sturzfrei bis unter die Raumdecke reichen lassen.
4. Fensterflächen unterhalb der Schreibtischebene vermeiden.
5. Sonnen- und Blendschutz an den Fenstern anbringen, die zeitweise direktes Sonnenlicht erhalten (Ost, Süd, West). Er sollte an trüben Tagen entfernt werden können, so dass die Lichteinstrahlung dann nicht behindert wird.

**2.1.3 Abwägung Tageslicht gegen Gebäudekompaktheit**

Wie gezeigt, setzt die gute Tageslichtnutzung voraus, dass die Arbeitsplätze fensternah angeordnet sind. Dies erfordert eine relativ geringe Raumtiefe. Dem widerspricht jedoch die traditionelle Methode mit kompakter Bauweise die winterlichen Wärmeverluste zu verringern. Dieser Weg, bei minimierter Oberfläche das größtmögliche Volumen unterzubringen, wie z.B. bei einem Würfel, führt jedoch bei größeren Gebäuden zu großen Raumtiefen. Damit wird ein Teil der Nutzflächen, also der Arbeitsplätze, zu weit von den Fenstern entfernt, um das Tageslicht noch nutzen zu können.

Die Forderung nach einem kleinen A/V-Verhältnis lässt sich allerdings in zweierlei Hinsicht relativieren. Die Kompaktheit spielt zwar bei kleinen Gebäuden, wie etwa Einfamilien-Wohnhäusern, eine entscheidende Rolle im Wärmehaushalt, da das A/V-Verhältnis hier besonders ungünstig ist. Bei größeren Gebäuden und üblichen Geometrien von Bürogebäuden wird das A/V-Verhältnis jedoch schon alleine aufgrund der Größe günstiger und damit weniger kritisch. Darüber hinaus wird bei hohem Wärmedämmstandard der Einfluss des A/V-Verhältnisses geringer, da die Wärmeverluste insgesamt geringer sind. Wenn das Gebäude also nicht zu klein und die Gebäudehülle gut wärmegeklämt ist, kann ein guter Kompromiss zwischen Tageslichtnutzung und Kompaktheit gefunden werden.

Bild 5 zeigt ein Beispiel für den Querschnitt eines Büroriegels, der einen Kom-

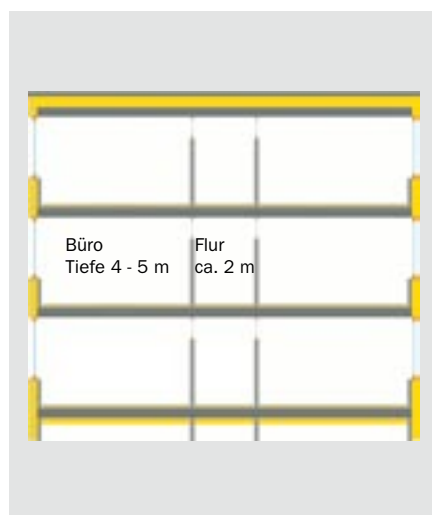


Bild 5: Zusammenhang zwischen Tageslichtversorgung und Kompaktheit des Gebäudes

promiss aus Kompaktheit und Tageslichtversorgung darstellt. In Bild 6 ist ein fensternaher Arbeitsplatz (hoher Tageslichtanteil, Wärmeverluste an der Fassade) mit einem fensterfernen Arbeitsplatz (kein Tageslicht, keine Fassadenwärmeverluste) in einem fiktiven Gebäude mit großen Raumtiefen energetisch verglichen. Es sind nur die Anteile des Energiebedarfs gezeigt, die sich zwischen fensternah und fensterfern unterscheiden: Der Strombedarf für elektrische Beleuchtung und die Wärmeverluste durch die Fassade ist um den mit dem Tageslicht verbundenen Wärmegewinn vermindert (nur bei fensternahen Arbeitsplätzen). Damit Strom und Wärme vergleichbar werden, sind alle Werte in Primärenergie umgerechnet. Die zwei Wärmedämmstandards, Niedrigenergiehaus (NEH) und Passivhaus (PH), unterscheiden sich in den Wärmeverlusten, jedoch ist in beiden Fällen der fensternahe Arbeitsplatz aufgrund des viel geringeren Strombedarfs für Beleuchtung energetisch günstiger. Bei gutem Wärmedämmstandard lohnt sich also die große Raumtiefe mit fensterfernen Arbeitsplätzen energetisch nicht. Der zusätzliche Strombedarf überwiegt die eingesparten Wärmeverluste. Anders ausgedrückt heißt das: Bei gut wärmegeklämten Bürogebäuden ist mit übermäßiger Kompaktheit kein energetischer Gewinn zu machen.

**2.1.4 Besonderheit Atrien**

In vielen modernen Gebäuden sind Atrien integriert, die als Aufenthaltszonen, Veranstaltungsräume, Verkehrszone oder einfach als Pufferzone dienen. Das kann durchaus ein Gewinn für das Gebäude sein.

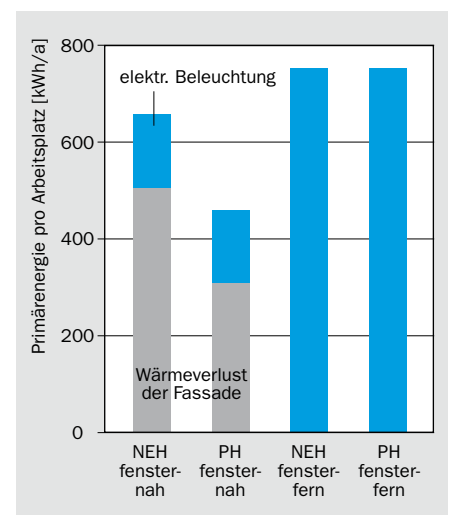


Bild 6: Energetischer Vergleich fensternaher und fensterferner Arbeitsplätze

Doch Zurückhaltung ist geboten, wenn Büroräume an Fassaden angeordnet werden, die zu einem Atrium orientiert sind. Denn auch Atrien sind Räume, die vor sommerlicher Überwärmung geschützt werden müssen. Meist ist dafür eine Verschattung des gesamten Atriums notwendig, die wiederum bewirkt, dass die zum Atrium orientierten Büroräume nicht nur keine direkte Sonnenstrahlung, sondern auch wenig Tageslicht erhalten. Damit ist eine gute Tageslichtversorgung verhindert.

Sind dennoch Büroräume an Innenfassaden von Atrien geplant, so ist eine anspruchsvolle Aufgabe zu lösen: Viel Tageslicht soll in die Büroräume einfallen, ohne dass es im Gegenzug zu einer sommerlichen Überwärmung des Atriums kommt. Dies bedeutet in der Regel, dass das Atrium nur unwesentlich verschattet werden darf. Das Atrium muss also weitgehend ohne Verschattung kühl gehalten werden, etwa durch gute Durchspülung mit Außenluft von unten nach oben. In jedem Fall wird aber die Temperatur im Atrium höher sein als die der Außenluft. Eine detaillierte Analyse sowohl des Tageslichts als auch des thermischen Verhaltens ist hier jedenfalls angebracht.

## 2.2 Sommerlicher Wärmeschutz

*Das sommerliche Verhalten eines Gebäudes wird in der Planung weitgehend vorherbestimmt. Ziel einer Optimierung ist es, soweit wie möglich ohne das Zutun technischer Anlagen ein ‚gutmütiges‘ thermisches Verhalten zu bewirken und sommerliche Überhitzung bereits konstruktiv weitgehend zu verhindern.*

Dies geschieht in drei Schritten:

1. Begrenzung der Wärmegewinne des Gebäudes (solare Einstrahlung und innere Wärmequellen).
2. Zeitliche Verteilung der Wärmegewinne mittels Wärmespeicherung.
3. Abführen der überschüssigen Wärme und Entladung der Wärmespeicher.

### 2.2.1 Wärmeeintrag

#### Solare Einstrahlung

Im Zusammenhang mit der Tageslicht-Planung ist auch zu beachten, dass die solare Einstrahlung durch die Fenster eine erhebliche Heizleistung in ein Gebäude einbringen kann. Bei niedriger Außentemperatur im Winter kann das erwünscht sein. Aber spätestens in der warmen Jahreszeit wird



Bild 7: Blick ins Atrium des EnerGon-Gebäudes in Ulm

eine Überwärmung die Folge sein (vgl. Kasten „Solare Einstrahlung als Heizung“).

Es entsteht ein Zielkonflikt, da die solare Strahlung zwar als Tageslicht benötigt wird, als Wärmeeintrag aber zumindest zeitweise unerwünscht ist. Um einen Lösungsweg zu finden, ist eine genauere Betrachtung nötig.

Beim Tageslicht spielt insbesondere die diffuse Einstrahlung aus bedecktem Himmel eine Rolle, da es darum geht, auch bei bedecktem Himmel genügend Tageslicht zu erhalten. Die diffuse Strahlung soll dabei möglichst ungehindert den Innenraum erreichen. Ein Risiko der Überwärmung entsteht dagegen bei direkter Sonneneinstrahlung, deren Intensität wesentlich höher ist. Optimal ist es daher, die direkte Sonnenstrah-

#### Solare Einstrahlung als Heizung

Ein Rechenbeispiel soll die Verhältnisse verdeutlichen. Die Sonne strahlt außerhalb der Erdatmosphäre etwa 1370 Watt pro Quadratmeter ein. Im Winter, bei tiefem Sonnenstand und klarem Himmel, erreichen davon rund 400 W/m<sup>2</sup> eine unverschattete nach Süden orientierte Fassade. Ein Raum (20 m<sup>2</sup> Grundfläche), dessen Fassadenwand mit 10 m<sup>2</sup> Fensterfläche vollständig verglast ist, empfängt außen 4000 W Solarstrahlung. Davon gelangt etwa die Hälfte, also 2000 W, in den Innenraum. Zugleich verliert der Raum bei 20 K Temperaturdifferenz durch die Fenster 300 W (= 10 m<sup>2</sup> · 1,5 W/(m<sup>2</sup>·K) · 20 K, bei Wärmeschutzverglasung, U<sub>F</sub> = 1,5 W/m<sup>2</sup>·K). Der Wärmeverlust durch Lüftung beträgt bei einfachem Luftwechsel pro Stunde rund 350 W. Insgesamt verliert der Raum also rund 650 W, die durch Heizung ausgeglichen werden müssen. Die solar eingestrahelte Wärme beträgt in diesem Fall etwa das Dreifache der momentan benötigten Heizleistung. Im Winter stellt das noch kein ernsthaftes Problem dar: Die Raumtemperatur wird etwas ansteigen, bei massiver Bauweise wird ein Teil der Wärme in Decke und Wänden für Abend und Nacht zwischengespeichert und überschüssige Wärme kann durch vermehrtes Lüften abgeführt werden. Allerdings muss in Büros auch eine Blendung durch direkte Sonnenstrahlung vermieden werden.

Wird die gleiche Fassade im Sommer bei 25 °C Außentemperatur besonnt, dann wird ähnlich viel oder mehr solare Heizleistung eingebracht, ohne dass dem ein Wärmeverlust gegenüber steht. Eine Überhitzung des Raums ist vorprogrammiert.

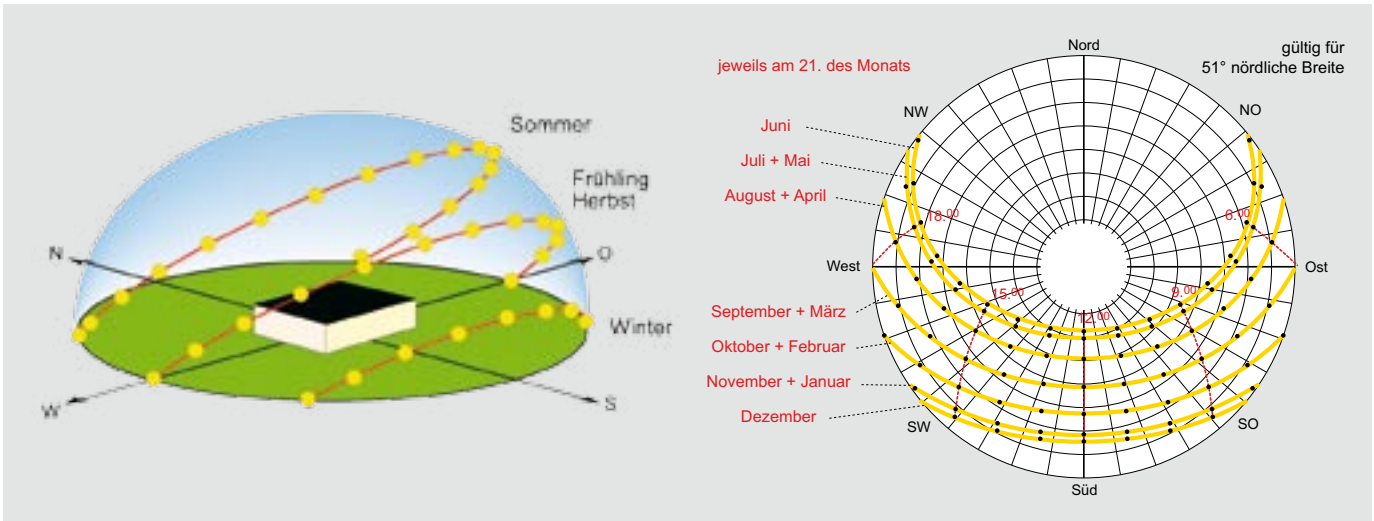


Bild 8: Sonnenbahnen im Jahresverlauf für 51° Nord (Köln, Dresden); links symbolisch dreidimensional, rechts im ebenen Sonnenstandsdiagramm

lung vom Raum abzuschirmen, ohne das diffuse Licht am Einstrahlen zu hindern.

Um diffuse Himmelsstrahlung und direkte Sonnenstrahlung verschieden einzulassen, kann ihr Richtungsunterschied ein Ansatz sein: Die Himmelsstrahlung kommt aus der gesamten Hemisphäre, die direkte Sonnenstrahlung kommt dagegen immer aus nur einer, zeitlich variablen Richtung. (Bild 8) zeigt Sonnenbahnen im Jahresverlauf. Die gezeigten Bahnen gelten für 51° Nord (Köln, Dresden). Nördlich des 51. Breitengrads ergeben sich etwas niedrigere, südlich etwas höhere Sonnenstände, bei maximal etwa drei Grad Abweichung innerhalb Deutschlands. Das Sonnenstandsdiagramm kann aus der geografischen Breite des Standorts berechnet werden, beispielsweise mit der freien Software SunPath [P6].

Bild 9 zeigt die Sonnenbahnen in „Fish-eye“-Perspektive aus dem Fenster eines

Bürraums. Lediglich beim nach Norden orientierten Fenster findet eine direkte solare Einstrahlung kaum statt. Hier ist also in der Regel kein Sonnenschutz erforderlich. Bei den nach Osten, Süden und Westen orientierten Fenstern hingegen durchlaufen die Sonnenbahnen einen Großteil des gesamten sichtbaren Himmelsausschnitts. Ein fest stehender Sonnenschutz müsste einen großen Teil des sichtbaren Himmels verdecken und würde somit den Einfall des Tageslichts erheblich reduzieren. Folglich muss ein Sonnenschutz zeitlich variabel und steuerbar sein. Er muss entfernt werden können, damit das Tageslicht an trüben Tagen nicht behindert wird.

Herkömmlich geschieht das mechanisch mit beweglichen Teilen wie Jalousien oder Markisen. In Entwicklung befindliche Verglasungen mit veränderlichem Transmissionsgrad, so genannte „schaltbare Gläser“, könnten zukünftig als Blend- und

Sonnenschutz ohne bewegliche Teile eine Rolle spielen [L4].

Ein guter Sonnenschutz soll nicht nur einen hohen solaren Wärmeeintrag verhindern, sondern auch weitere Aufgaben erfüllen:

- Auch bei aktiviertem Sonnenschutz soll genügend Tageslicht in den Raum gelangen, auch in die Tiefe.
- Blendung durch helle Flächen soll vermieden werden.
- Die Blickverbindung nach außen soll auch bei aktiviertem Sonnenschutz möglich sein.

In Tafel 1 sind verschiedene Sonnenschutztypen aufgelistet und mit Stichworten charakterisiert. Eine interaktive Beratung zum Blend- und Sonnenschutz ist unter [P7] verfügbar.

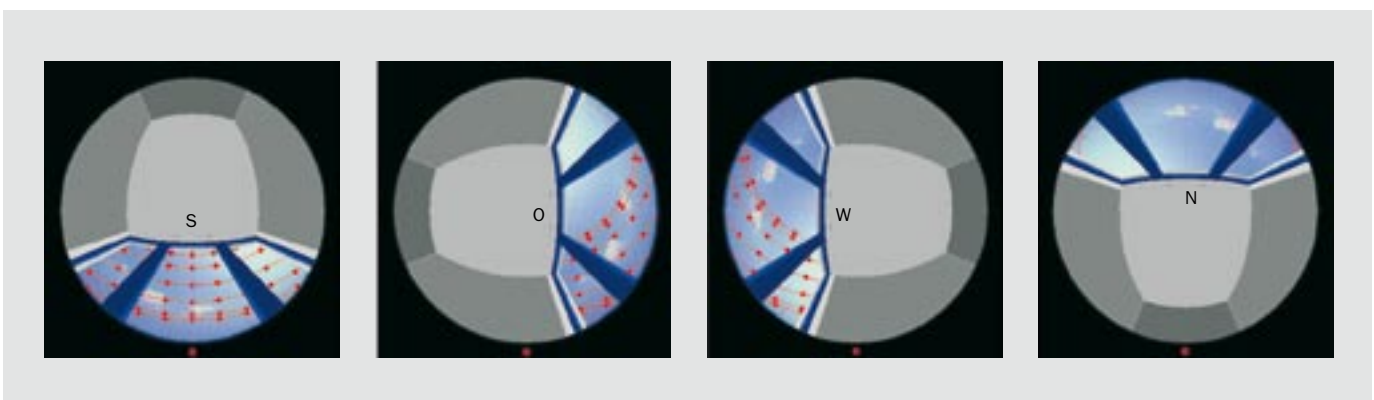


Bild 9: Sonnenbahnen durch in verschiedene Himmelsrichtungen orientierte Büروفenster





Bild 10: Beispiel für einen einfachen außen liegenden Sonnenschutz

**Innere Wärmequellen: Menschen, elektrische Geräte und Beleuchtung**

Neben der solaren Einstrahlung spielen auch Wärmequellen im Inneren des Gebäudes eine wichtige Rolle, in Bürogebäuden sind das die Menschen im Raum und elektrisch betriebene Bürogeräte – in erster Linie der Arbeitsplatz-Computer. Die pro Tag abgegebene Wärmemenge wird bei allen Wärmequellen von zwei Faktoren bestimmt: der abgegebenen Wärmeleistung und der Zeit ihrer Wirksamkeit, also der Anwesenheitszeit von Personen und der Betriebszeit von Geräten.

Die Wärmeabgabe der *Menschen* im Raum kann man mit rund 100 W pro Person abschätzen. Die Anwesenheit entspricht bei überwiegend am Schreibtisch Arbeitenden etwa der täglichen Arbeitszeit, beispielsweise acht Stunden. Bei vielen Personen im Raum spielt die Gleichzeitigkeit eine Rolle, da nicht alle Personen ständig anwesend sind. Beispielsweise beträgt die Betriebszeit eines Großraumbüros 11 Stunden an 250 Betriebstagen im Jahr, also 2750 h/a. Die Arbeitskräfte sind jedoch im Mittel für 8 h an etwa 210 Tagen anwesend, also 1680 h/a. Das bedeutet, dass im Mittel der Bürobetriebszeit nur rund 60 % der Mitarbeiter anwesend sind und als Wärmequelle wirken.

Bei den meisten *elektrischen Geräten* wird der verbrauchte Strom zu nahezu 100 % in Form von Wärme an den Raum abgegeben. Deshalb kann man als gute Näherung die Wärmeabgabe mit der Stromaufnahme gleichsetzen. In Büroräumen spielen besonders die Arbeitsplatz-Computer eine wichtige Rolle als Wärmequelle. Die Stromaufnahme und damit Wärmeabgabe kann, abhängig vom Typ, sehr unterschiedlich sein (siehe „Näherungsweise Berechnung des Wärmeeintrags“). Ein einfacher, Strom sparender Bürorechner mit TFT-Flachbildschirm benötigt etwa 100 W. Moderne PC-Drucker fallen als Wärmequelle nur ins Gewicht, solange sie drucken. Da heutzutage Büroarbeit weitgehend am Computer erfolgt, entspricht die Betriebs-

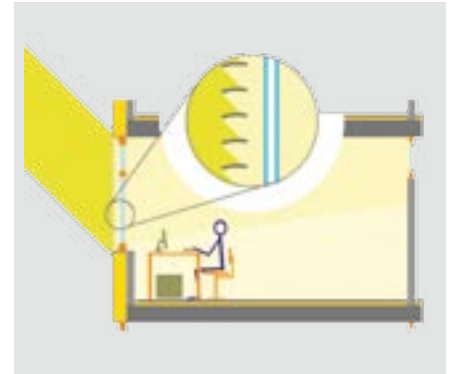


Bild 11: Ein Sonnenschutz in „Cut-off“-Stellung blendet die direkte Sonnenstrahlung aus, erlaubt aber den Blick nach außen.



Foto: MEY/Alke Witschel

Bild 12: Mitarbeiter und Computer sind im Büro als Wärmequelle zu berücksichtigen.

Tafel 1: Merkmale einiger Sonnenschutztypen (Auswahl)

Außen liegende Jalousie <sup>1)</sup>	Gut einstellbare Sonnenschutzwirkung, Ausblick möglich, Sturmrisiko
Außen liegende Jalousie <sup>1)</sup> mit unterschiedlichen Anstellwinkeln im unteren und oberen Fensterbereich	Verbesserte Tageslichtversorgung durch Lichtlenkung (verschmutzungsabhängig), Sturmrisiko
Außen liegende Jalousie <sup>1)</sup> am unteren Fenster, Lichtlenkung im Oberlicht	Verbesserte Tageslichtversorgung durch Lichtlenkung, Sturmrisiko
Innen liegende Jalousie	Als Blendschutz geeignet, als Sonnenschutz nur bedingt <sup>2)</sup>
Jalousie zwischen den Scheiben	Wirksamkeit zwischen innen und außen liegender Jalousie
Markisen	Tageslichtversorgung und Ausblick weniger gut als bei Jalousien
Markisen am unteren Fenster, Lichtlenkung im Oberlicht	Verbesserte Tageslichtversorgung durch Lichtlenkung
Vertikale Lamellen	Nur bei seitlichem Sonneneinfall sinnvoll, muss entfernbar sein

<sup>1)</sup> Allen außen liegenden Sonnenschutzeinrichtungen gemeinsam ist das Risiko der Beschädigung durch Sturm.

<sup>2)</sup> Eine innen liegende Jalousie kann unter Umständen zusammen mit einer selektiv wirkenden Sonnenschutzverglasung als Sonnenschutz ausreichen.

zeit der Computer etwa der Anwesenheitszeit der Arbeitskräfte.

Auch die elektrische Beleuchtung wirkt als Wärmequelle. Die abgegebene Wärme ist auch hier fast identisch mit dem Stromverbrauch. Ein Teil wird direkt in Wärme umgesetzt, aber auch das Licht wird größtenteils im Raum absorbiert und dabei zu Wärme. Die Leistungsaufnahme reicht von 10 W/m<sup>2</sup> für eine effiziente Beleuchtung bis über 100 W/m<sup>2</sup> bei sehr ineffizienter Beleuchtung, etwa bei indirektem Halogenlicht. Die Bedeutung der elektrischen Beleuchtung als Wärmequelle hängt wesentlich von deren Betriebszeit ab. Für fensternahe Arbeitsplätze kann diese im Sommer sehr gering sein, in Großraumbüros entspricht sie der Betriebszeit des Büros.

**2.2.2 Wärmespeicherung: Wärmelasten zeitlich verteilen**

Schaut man sich bei einem Büroraum die zeitliche Verteilung der Wärmeeinträge im Tagesverlauf an, so erkennt man, dass diese alle zugleich tagsüber auftreten und alle nachts entfallen.

Um die Erwärmung des Raums tagsüber zu vermindern, wäre es hilfreich, die Wärmeeinträge zum Teil in die Nacht zu verlagern, um sie über 24 Stunden verteilen zu können. Da aber die Wärmequellen mit dem Betrieb des Büros verknüpft und daher tagsüber nicht „abstellbar“ sind, muss hier ein anderer Weg gewählt werden.

Dieser besteht darin, die im Raum wirksame Wärmespeicherkapazität zu vergrößern. Man macht sich dabei den Zusammenhang zwischen Temperatur, Wärmemenge und Wärmespeicherkapazität zunutze. Wird in einem Raum tagsüber eine Wärmemenge Q eingebracht, dann erhöht sich die Temperatur im Raum um  $\Delta T = Q/C$ , wobei C die im Raum wirksame Wärmespeicherkapazität ist. Bei gegebener Wärmemenge fällt also die Temperaturerhöhung umso niedriger aus, je größer die wirksame Wärmespeicherkapazität ist. Auch wenn diese Formel den Zusammenhang im Prinzip richtig wiedergibt, eignet sie sich nicht zur Berechnung der tatsächlichen Temperaturerhöhung, denn dafür müssen auch die dynamischen Ein- und Ausspeicher-Vorgänge berücksichtigt werden. Das bleibt komplizierterer Mathematik oder einer thermischen Simulation vorbehalten.

**Näherungsweise Berechnung des Wärmeeintrags in einen Raum**

**Solare Einstrahlung**

Der solare Wärmeeintrag soll zwar im Sommer mit einem Sonnenschutz begrenzt werden, jedoch ist mit der erwünschten Tageslichtbeleuchtung eine unvermeidlicher Anteil verbunden. Nimmt man an, die fensternahe, für Arbeitsplätze genutzte Hälfte des Raumes erhält im Mittel 500 lx, die fensterferne Hälfte im Mittel 100 lx (primär als Verkehrszone genutzt), ergibt das über den gesamten Raum gemittelt 300 lx. Damit sind bei Wärmeschutzverglasung (g-Wert und Lichttransmission ähnlich hoch) ca. 3 W/m<sup>2</sup> Wärmeeintrag verbunden. Bei 15 hellen Tagesstunden ergibt das 45 Wh/m<sup>2</sup> pro Tag.

Realistischer ist es, wenn man von einem guten realen Sonnenschutz ausgeht, der in der „cut-off-Stellung“ (d.h. gerade soweit geschlossen, dass die direkte Sonnenstrahlung ausgeblendet ist) einen über den Tag gemittelten g-Wert der Verglasung mit Sonnenschutz von  $g_{ges} = 0,15$  bewirkt<sup>1)</sup>. An einem Sommertag können auf unverschattete Ost-, West- oder Süd-Fassaden pro Tag 4 kWh/m<sup>2</sup> solar einstrahlen. Davon gelangen 600 Wh/m<sup>2</sup> nach innen (bei  $g = 0,15$ ). Bei einem Verhältnis Verglasungsfläche/Grundfläche = 0,25 bedeutet das auf die Grundfläche bezogen 150 Wh/m<sup>2</sup>d. Das ist etwa das Dreifache der unvermeidlich mit dem notwendigen Tageslicht verbundenen Einstrahlung. Wird statt Wärmeschutzverglasung eine neutrale Sonnenschutzverglasung (65/35,  $\tau_{Glas} = 0,65$ ,  $g_{Glas} = 0,35$ ) eingesetzt, so ist  $g_{ges} = 0,10$  möglich, von 4 kWh/m<sup>2</sup> außen gelangen 400 Wh/m<sup>2</sup> nach innen.

**Elektrisches Licht**

Die abgegebene Wärme entspricht der Stromaufnahme. Bei einem effizient und überwiegend direkt mit 500 Lux beleuchteten Büroraum kann man von 10 bis 15 W/m<sup>2</sup> Anschlussleistung ausgehen. Ist die Beleuchtung überwiegend indirekt, so werden, je nach Ausführung, 15 bis 25 W/m<sup>2</sup> benötigt<sup>2)</sup>. Die Betriebszeit der Beleuchtung entspricht bei kleinen Büroräumen (z.B. 1- bis 2-Personen-Büros) ungefähr der Anwesenheitszeit abzüglich der Zeit mit ausreichender Tageslichtversorgung. An gut mit Tageslicht versorgten Arbeitsplätzen wird an warmen Sommertagen meist überhaupt kein elektrisches Licht benötigt. In Großraumbüros ist die Beleuchtung meist während der gesamten Betriebszeit eingeschaltet.

**Computer**

Stromaufnahme und Wärmeabgabe hängen von Typ und Leistungsfähigkeit ab. Folgende Werte können zur Orientierung dienen:

Typ und Ausführung des Computers	Leistungsaufnahme
Notebook-Rechner mit „Mobile“-Prozessor	20 bis 40 W
Notebook-Rechner ohne „Mobile“-Prozessor	40 bis > 80 W
Arbeitsplatz-Rechner, energieeffizient ausgestattet	100 bis 150 W
Arbeitsplatz-Rechner, auf maximale Leistung optimiert	200 bis > 300 W

Betriebszeiten von Computern entsprechen den Anwesenheitszeiten der Benutzer.

*Beispiel:*

Abschätzung des Wärmeeintrags an einem Sommertag in ein 2-Personen-Büro, 24 m<sup>2</sup> Grundfläche, 6 m<sup>2</sup> Sonnenschutz-Verglasung (65/35), außen liegende Jalousie in „cut-off-Stellung“.

Wärmequelle	Wärmeleistung	Wirkungsdauer	Wärmemenge/Tag
2 Personen	2 x 100 W	x 8 h	= 1600 Wh
2 Notebook-PCs	2 x 50 W	x 8 h	= 800 Wh
Tageslicht-bedingte Wärme	400 Wh/m <sup>2</sup> <sub>Verglasung</sub>	x 6 m <sup>2</sup> <sub>Verglasung</sub>	= 2400 Wh
		Summe	4800 Wh

Das ergibt bezogen auf die Fläche eine Wärmemenge von rd. 200 Wh/m<sup>2</sup> pro Tag.

<sup>1)</sup> Der mittlere g-Wert kann mit der freien Software ParaSol [P8] berechnet werden.

<sup>2)</sup> vgl. dazu auch die Richtwerte für die installierte Lampenleistung in [P4]

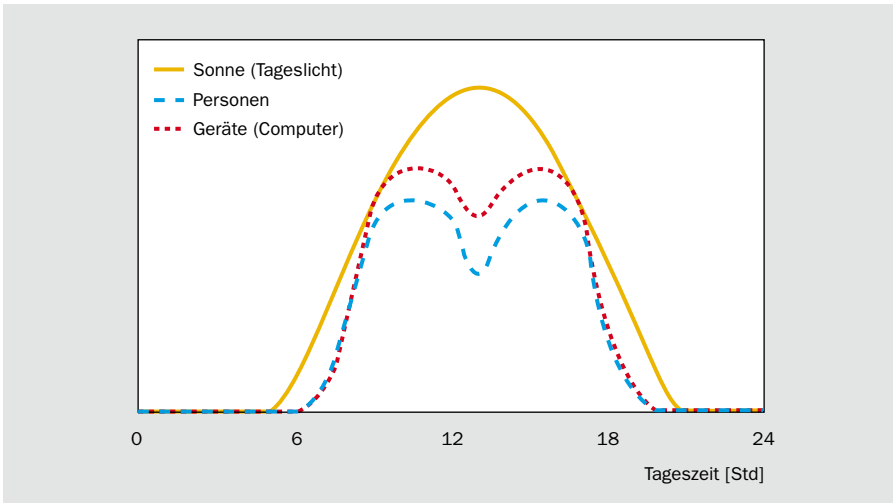


Bild 13: Zeitlicher Verlauf der Wärmeeinträge in ein Gruppenbüro an einem Sommertag

**Beschaffenheit von speicherfähigen Bauteilen: Wärmespeicherfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit**

Um wirksam zu sein, müssen die speichernden Bauteile einige Bedingungen erfüllen. Zunächst müssen die Bauteile eine hohe auf das Volumen bezogene Wärmespeicherkapazität aufweisen, die sich als Produkt der massebezogenen „spezifischen Wärmespeicherfähigkeit“  $c$  der verwendeten Baustoffe mit der jeweiligen Dichte  $\rho$  ergibt. Zudem ist auch eine hohe Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  nötig, damit die Be- und Entladung mit Wärme in genügend kurzer Zeit möglich ist. Aus dem gleichen Grund sollen die thermischen Speicher mit möglichst großer Fläche  $A$  in thermischem Kontakt zum Rauminnen stehen. Sowohl

die konvektive Übertragung an die Raumluft als auch der Wärmestrahlungsaustausch mit anderen Oberflächen sollen großflächig ungehindert möglich sein.

**Einfluss der Bauteildicke**

Die Materialdicke  $d$ , die überwunden werden muss, soll dagegen eher gering sein. Da andererseits die Materialdicke zusammen mit der Oberfläche das Volumen und damit auch die Masse und Wärmespeicherkapazität des Bauteils bestimmt, gibt es einen optimalen Bereich der Bauteildicke. Dieser optimale Bereich lässt sich mit einer Methode von Balcomb [L5] bestimmen. DIN V 4108-6 [L6] berücksichtigt dies, indem raumseitig maximal 10 cm angerechnet werden dürfen. Schichtdicken

über diesem optimalen Wert sind dagegen für den Tag-Nacht-Ausgleich ohne Nutzen. Für den Ausgleich über mehrere Tage sind dickere Schichten dagegen durchaus wirksam, wie es an Altbauten mit sehr dicken Wänden (0,5 m oder mehr) zu beobachten ist.

Um diese Zusammenhänge zu nutzen, gilt es Folgendes zu beachten:

1. Innenräume müssen von wirksamen thermisch speicherfähigen Bauteilen umgeben werden.
2. Speicherfähige Bauteile müssen aus Material mit hoher volumenbezogener Wärmespeicherkapazität und mit hoher Wärmeleitfähigkeit bestehen.
3. Die Wirksamkeit steigt mit der von Raum offen zugänglichen Oberfläche der speicherfähigen Bauteile.
4. Für den Tag-Nacht-Ausgleich wirken die Bauteile bis zu einer Tiefe von etwa 10 cm ab Innenoberfläche.

**Berechnungsmethoden zur Wärmespeicherfähigkeit**

Um eine möglichst detaillierte Information über die Wirkung der Speichermassen auf das thermische Gebäudeverhalten zu erhalten, ist eine dynamische thermische Simulation das geeignete Mittel. Dabei werden die Bauteile in dünne Schichten unterteilt und der Wärmetransport von Schicht zu Schicht sowie die Speicherung werden explizit berechnet.

Tafel 2: Bemessungswerte von Kalksandstein-Mauerwerk für den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz

Stoff	Rohdichteklasse <sup>1)</sup> (RDK)	Rohdichte $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit <sup>3)</sup> $\lambda$ [W/(m·K)]	Wärmespeicherfähigkeit <sup>4)</sup> $C_{\text{wirk}}$ [Wh/(m <sup>2</sup> ·K)]
Mauerwerk aus Kalksandstein	1,2 <sup>2)</sup>	1,01 bis 1,20	0,56	31
	1,4	1,21 bis 1,40	0,70	36
	1,6 <sup>2)</sup>	1,41 bis 1,60	0,79	42
	1,8	1,61 bis 1,80	0,99	47
	2,0	1,81 bis 2,00	1,1	53
	2,2 <sup>2)</sup>	2,01 bis 2,20	1,3	58

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

<sup>1)</sup> Die Steinrohdklassen werden nach DIN V 106 jeweils ohne Bezeichnung (Einheit) angegeben.

<sup>2)</sup> Nur auf Anfrage regional lieferbar.

<sup>3)</sup> Nach DIN V 4108-4.

<sup>4)</sup> Wirksame Wärmespeicherfähigkeit  $C_{\text{wirk}}$  nach DIN V 4108-6 für Mauerwerk ohne Putz, ermittelt mit der mittleren Rohdichte der RDK. Bei Mauerwerk mit Putz ergeben sich unbedeutende Änderungen.



In DIN EN ISO 13786 [L7] wird unter anderem die vereinfachte Ermittlung der wirksamen Wärmekapazität beschrieben.

**Berechnung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit nach DIN V 4108-6**

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit eines Bauteils ergibt sich aus den Eigenschaften Wärmekapazität ( $c_i$ ), Dichte ( $\rho_i$ ), Dicke ( $d_i$ ) und Fläche ( $A_i$ ) der raumseitig nicht durch eine Wärmedämmschicht abgetrennten Schichten (i):

$$C_{\text{wirk}} = \sum (c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot A_i)$$

Dabei dürfen nur Schichten mit  $\lambda \geq 0,1$  W/(m·K) bis zu einer Gesamtdicke von 10 cm ab raumseitiger Oberfläche angerechnet werden, aber maximal bis zu einer Wärmedämmschicht (falls vorhanden). Bei Bauteilen, die beidseitig an Raumluft grenzen, darf maximal die Hälfte der gesamten Bauteil-Dicke angerechnet werden. Als Dämmschicht gilt eine Schicht mit  $\lambda_1 < 0,1$  W/(m·K) und  $R_1 \geq 0,25$  (m<sup>2</sup>·K)/W. Bei Außenbauteilen wird die Bruttofläche (Außenmaße) berücksichtigt, bei Innenbauteilen die Nettofläche (Innenmaße).

Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit sind für eine Vielzahl von Baumaterialien in DIN V 4108-4 [L6] angegeben.

Als (massebezogene) spezifische Wärmekapazität  $c$  kann nach Norm<sup>3)</sup> für alle mineralischen Baustoffe der Rechenwert 1,0 kJ/kg·K angesetzt werden. Die volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit ergibt sich dann durch Multiplikation mit der ebenfalls in der Norm tabellierten Dichte  $\rho$ .

Wenn abweichend von DIN V 4108-4 Herstellerdaten zum Berechnen verwendet werden, dann sollten solche aus allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen bevorzugt werden.

**Sonderfall Latentwärmespeicher**

Die Wärmespeicherfähigkeit von Latentwärmespeichern beruht nicht auf der Wärmekapazität großer Massen, sondern auf einer Phasenumwandlung des Materials.

Interessant sind Latentwärmespeicher für Gebäude, die über wenig wirksame Speichermasse verfügen, also beispielsweise in Leichtbauweise erstellte Gebäude mit von den Innenräumen abgekoppelten Speichermassen, wie z.B. abgehängten Decken und Hohlböden.

<sup>3)</sup> In der aktuellen DIN V 4108-4 (2004) ist dieser Wert nicht mehr enthalten, er wird jedoch im Entwurf DIN EN ISO 13786 weiterverwendet.

**Beispiel: Die wirksame Speicherkapazität in einem Büroraum.**

Zwei-Personen-Büro, Grundfläche  $A_G = 20$  m<sup>2</sup>, Raumhöhe  $h = 2,80$  m

**Variante: „Leichtbau“**

Bauteil	Bauweise	wirksame Dicke	Fläche	$C_{\text{wirk}}$
Boden	Hohlboden	2,9 cm	20 m <sup>2</sup>	209 Wh/K
Decke	Akustikdecke	1,3 cm	20 m <sup>2</sup>	63 Wh/K
Außenwand (Brüstung)	Leichtbau	2,5 cm	4 m <sup>2</sup>	25 Wh/K
Innenwände	Leichtbau	2,5 cm	37 m <sup>2</sup>	231 Wh/K

gesamte wirksame Speicherkapazität  $C_{\text{wirk}} = 528$  Wh/K

auf die Grundfläche bezogen  $C_{\text{wirk}} / A_G = 26$  Wh/m<sup>2</sup>·K

$C_{\text{wirk}} / A_G < 50$  Wh/m<sup>2</sup>·K

⇒ „**leichte Bauart**“ nach DIN 4108-2

**Variante: „teilweise Massivbau 1“**

Bauteil	Bauweise	wirksame Dicke	Fläche	$C_{\text{wirk}}$
Boden	schw. Estrich	4,0 cm	20 m <sup>2</sup>	444 Wh/K
Decke	Akustikdecke	1,3 cm	20 m <sup>2</sup>	63 Wh/K
Außenwand (Brüstung)	KS-Thermohaut	10,0 cm	4 m <sup>2</sup>	186 Wh/K
Innenwände	KS-Innenwand	6,8 cm	37 m <sup>2</sup>	1148 Wh/K

gesamte wirksame Speicherkapazität  $C_{\text{wirk}} = 1841$  Wh/K

auf die Grundfläche bezogen  $C_{\text{wirk}} / A_G = 92$  Wh/m<sup>2</sup>·K

$50$  Wh/m<sup>2</sup>·K  $\leq C_{\text{wirk}} / A_G \leq 130$  Wh/m<sup>2</sup>·K

⇒ „**mittlere Bauart**“ nach DIN 4108-2

**Variante: „teilweise Massivbau 2“**

Bauteil	Bauweise	wirksame Dicke	Fläche	$C_{\text{wirk}}$
Boden	Hohlboden	2,9 cm	20 m <sup>2</sup>	209 Wh/K
Decke	Betondecke	10,0 cm	20 m <sup>2</sup>	1278 Wh/K
Außenwand (Brüstung)	Leichtbau	2,5 cm	4 m <sup>2</sup>	25 Wh/K
Innenwände	Leichtbau	2,5 cm	37 m <sup>2</sup>	231 Wh/K

gesamte wirksame Speicherkapazität  $C_{\text{wirk}} = 1743$  Wh/K

auf die Grundfläche bezogen  $C_{\text{wirk}} / A_G = 87$  Wh/m<sup>2</sup>·K

$50$  Wh/m<sup>2</sup>·K  $\leq C_{\text{wirk}} / A_G \leq 130$  Wh/m<sup>2</sup>·K

⇒ „**mittlere Bauart**“ nach DIN 4108-2

**Variante: „Massivbau“**

Bauteil	Bauweise	wirksame Dicke	Fläche	$C_{\text{wirk}}$
Boden	schw. Estrich*)	4,0 cm	20 m <sup>2</sup>	444 Wh/K
Decke	Betondecke	10,0 cm	20 m <sup>2</sup>	1278 Wh/K
Außenwand (Brüstung)	KS-Thermohaut	10,0 cm	4 m <sup>2</sup>	186 Wh/K
Innenwände	KS-Innenwand	6,8 cm	37 m <sup>2</sup>	1148 Wh/K

gesamte wirksame Speicherkapazität  $C_{\text{wirk}} = 3056$  Wh/K

auf die Grundfläche bezogen  $C_{\text{wirk}} / A_G = 153$  Wh/m<sup>2</sup>·K

$C_{\text{wirk}} / A_G > 130$  Wh/m<sup>2</sup>·K

⇒ „**schwere Bauart**“ nach DIN 4108-2

Die einzelnen Bauteile für den Variantenvergleich sind in Tafel 3 beschrieben und die auf die Bauteilfläche bezogene wirksame Wärmespeicherfähigkeit ist dort ermittelt. Die massebezogene Kapazität für anorganische Bau- und Dämmstoffe beträgt  $c = 1,0$  kJ/kg·K.

\*) Mit Hohlboden ( $C_{\text{wirk}} = 209$  Wh/K) ergibt sich in dieser Variante ein  $C_{\text{wirk}} / A_G$  von 141 Wh/K.

Tafel 3: Bauteilbeschreibung zum Variantenvergleich

Schichtbezeichnung	d [m]	$\lambda$ [W/m·K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_{\text{wir},10\text{cm}}$ [Wh/m <sup>2</sup> ·K]	$d_{\text{wir}}$ [m]
<b>L1 Hohlboden, 20 m<sup>2</sup></b>					
zementgeb. Spanplatte	0,0290	0,350	1300	10,47	0,029
Trittschalldämmung	0,1000	0,040	20	0,00	0,000
Betondecke	0,1600	2,000	2400	0,00	0,000
Kalk-Gipsputz	0,0100	0,700	1400	0,00	0,000
Summe				10,47	0,029
$c_{\text{wir}} = 10,47 \text{ [Wh/m}^2\cdot\text{K]} \times 20 \text{ [m}^2\text{]} = 209 \text{ Wh/K}$					
<b>L2 Akustikdecke, 20 m<sup>2</sup></b>					
Akustikplatte	0,0125	0,250	900	3,13	0,013
Luftraum	0,1800	0,000	0	0,00	0,000
Betondecke	0,1600	2,000	2400	0,00	0,000
Summe				3,13	0,013
$c_{\text{wir}} = 3,13 \text{ [Wh/m}^2\cdot\text{K]} \times 20 \text{ [m}^2\text{]} = 63 \text{ Wh/K}$					
<b>L3 Außenwand-Brüstung, Leichtbau, 4 m<sup>2</sup></b>					
Gipskarton 2x	0,0250	0,250	900	6,25	0,025
Wärmedämmung	0,1800	0,040	30	0,00	0,000
zementgeb. Spanplatte	0,0300	0,350	1250	0,00	0,000
Außenputz	0,0100	0,100	400	0,00	0,000
Summe				6,25	0,025
$c_{\text{wir}} = 6,25 \text{ [Wh/m}^2\cdot\text{K]} \times 4 \text{ [m}^2\text{]} = 25 \text{ Wh/K}$					
<b>L4 Innenwand, Leichtbau, 37 m<sup>2</sup></b>					
Gipskarton 2x	0,0250	0,250	900	6,25	0,025
Wärmedämmung	0,0800	0,040	30	0,00	0,000
Gipskarton 2x	0,0250	0,250	900	0,00	0,000
Summe				6,25	0,025
$c_{\text{wir}} = 6,25 \text{ [Wh/m}^2\cdot\text{K]} \times 37 \text{ [m}^2\text{]} = 231 \text{ Wh/K}$					
Schichtbezeichnung	d [m]	$\lambda$ [W/m·K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_{\text{wir},10\text{cm}}$ [Wh/m <sup>2</sup> ·K]	$d_{\text{wir}}$ [m]
<b>M1 schwimmender Estrich, 20 m<sup>2</sup></b>					
Estrich	0,0400	1,400	2000	22,22	0,040
Trittschalldämmung	0,0600	0,040	20	0,00	0,000
Betondecke	0,1600	2,000	2400	0,00	0,000
Kalk-Gipsputz	0,0100	0,700	1400	0,00	0,000
Summe				22,22	0,040
$c_{\text{wir}} = 22,22 \text{ [Wh/m}^2\cdot\text{K]} \times 20 \text{ [m}^2\text{]} = 444 \text{ Wh/K}$					
<b>M2 Betondecke, 20 m<sup>2</sup></b>					
Kalk-Gipsputz	0,0100	0,700	1400	3,89	0,010
Betondecke	0,1600	2,000	2400	60,00	0,090
Summe				63,89	0,010
$c_{\text{wir}} = 63,89 \text{ [Wh/m}^2\cdot\text{K]} \times 20 \text{ [m}^2\text{]} = 1278 \text{ Wh/K}$					
<b>M3 Außenwand-Brüstung KS-Thermohaut, 4 m<sup>2</sup></b>					
Kalk-Gipsputz	0,0100	0,700	1400	3,89	0,010
KS-Mauerwerk, RDK 1,8	0,1750	0,990	1700	42,50	0,090
Wärmedämmung	0,1600	0,035	20	0,00	0,000
Außenputz	0,0100	0,100	400	0,00	0,000
Summe				46,39	0,100
$c_{\text{wir}} = 46,39 \text{ [Wh/m}^2\cdot\text{K]} \times 4 \text{ [m}^2\text{]} = 186 \text{ Wh/K}$					
<b>M4 KS-Innenwand, 37 m<sup>2</sup></b>					
Kalk-Gipsputz	0,0100	0,700	1400	3,89	0,010
KS-Mauerwerk, RDK 1,8	0,1150	0,990	1700	27,15	0,058
Kalk-Gipsputz	0,0100	0,700	1400	0,00	0,000
Summe				31,04	0,068
$c_{\text{wir}} = 31,04 \text{ [Wh/m}^2\cdot\text{K]} \times 37 \text{ [m}^2\text{]} = 1148 \text{ Wh/K}$					

Latentwärmespeicher mit PCM (phase changing materials) wirken nur in einem sehr eng begrenzten Temperatur-Bereich, in dem das Material zwischen flüssiger und fester Phase wechselt. Liegt zum Beispiel der Schmelzbereich des PCM bei 24–27 °C, so beginnt die Speicher-Wirkung oberhalb 24 °C und endet, wenn der PCM-Speicher 27 °C erreicht. Die Entladung beginnt erst, wenn die Umgebungstemperatur 27°C unterschreitet, vollständige Entladung erfordert weniger als 24 °C. Außerhalb des Temperaturbereichs 24–27 °C ist der PCM-Speicher in dem Beispiel wirkungslos.

Diese Eigenschaften bergen das Risiko, dass in einer mehrere Tage andauernden Hitze-Periode ohne ausreichende nächtliche Abkühlung der Speicher nachts nur teilweise oder überhaupt nicht entladen wird. Das hat eine reduzierte Wirksamkeit bis hin zu vollständigem Ausfall des Speichers zur Folge, gerade wenn er besonders benötigt wird.

Schwere, massive Speicher wirken dagegen in jedem Temperaturbereich, d.h. auch in extremen Hitze-Perioden bewirken sie eine Bedämpfung der Temperatur-Maxima. Ein Komplettausfall des massiven Speichers ist nicht möglich, solange die Entladung des Speichers (z.B. Nachtlüftung) gesichert ist.

**Verbesserung der Wärmespeicherfähigkeit**

1. „Massiv“ bauen bedeutet für Wände und Decken Materialien mit hoher volumenbezogener Wärmespeicherfähigkeit und mit hoher Wärmeleitfähigkeit zu verwenden.
2. Speicherfähige Bauteile sollten raumseitig möglichst große Oberflächen aufweisen.
3. Speicherfähige Bauteile müssen in direktem thermischen Kontakt mit dem Rauminneren stehen, also offen zugängliche Oberflächen haben.
4. Nur die raumseitigen 10 cm der speicherfähigen Bauteile sind für den Tag-Nacht-Ausgleich wirksam.

**2.2.3 Abführen überschüssiger Wärme**

Wenn tagsüber überschüssige Wärme in speicherfähigen Bauteilen zwischengespeichert und dabei der Raum entlastet wird, muss die Wärme aus den Bauteilen

nachts wieder entladen werden. Anderenfalls kumuliert die Wärme in den Speichermassen und der Baukörper heizt sich immer weiter auf.

Die einfachste Möglichkeit ist es, dazu die nächtliche Abkühlung der Außenluft zu nutzen. Im mitteleuropäischen Klima kühlt die Außenluft nachts selbst im Sommer fast immer um 5 bis 10 °C, bei klarem Himmel auch mehr, ab. In dieser Zeit können die Innenräume mit kühler Außenluft versorgt werden. Diese nimmt die tagsüber von Sonne, Menschen und Geräten abgegebene und von den Bauteilen gespeicherte Wärme auf und führt sie aus dem Raum. Besonders effektiv ist dieses Vorgehen in den frühen Morgenstunden vor Sonnenaufgang, wenn die Außenlufttemperatur ihr Minimum erreicht.

Damit wirksam Wärme abgeführt wird, muss ein hinreichender Luftaustausch stattfinden. Zwei Wege können beschritten werden, um den nächtlichen Luftaustausch zu bewirken: Freie Lüftung mit Gebäudedurchströmung oder mechanische Lüftung.

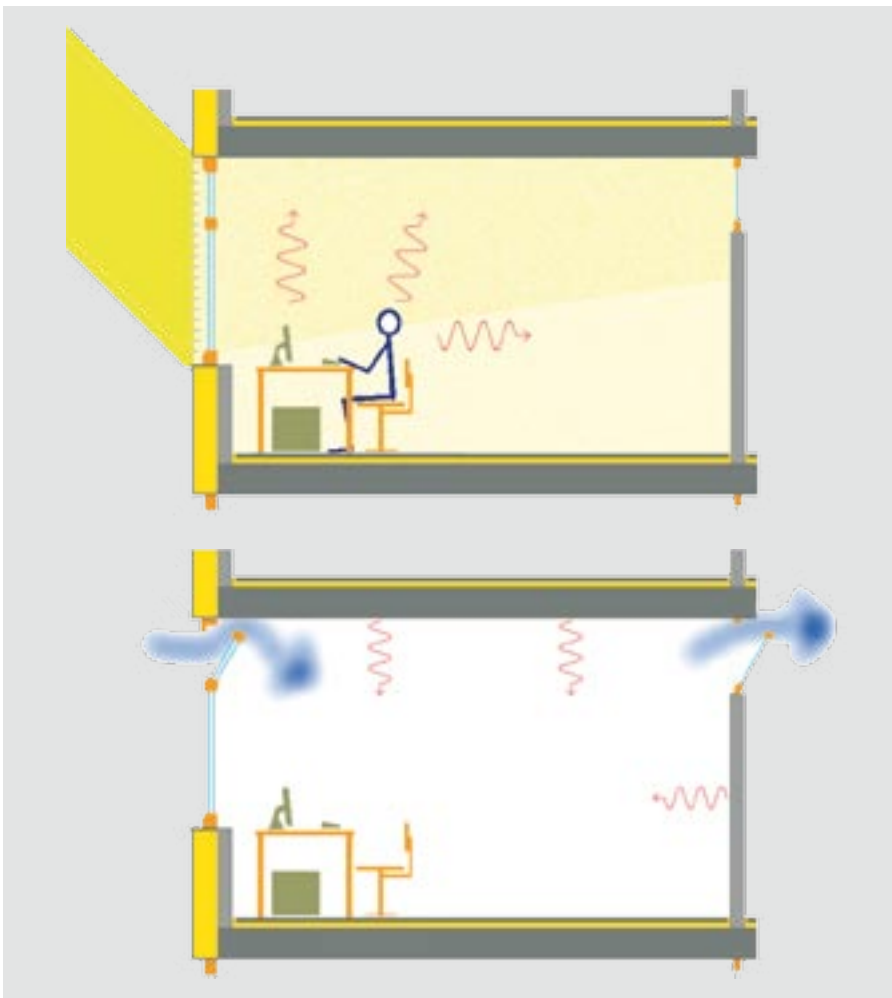


Bild 14: Funktionsprinzip der passiven Kühlung durch Nachtlüftung

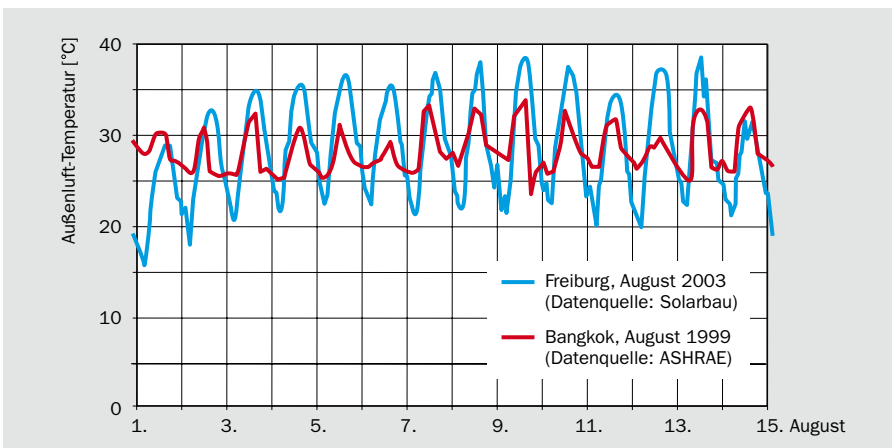


Bild 15: Außenlufttemperaturen aus dem für mitteleuropäische Verhältnisse sehr warmen Sommer 2003 (Daten für Freiburg i.Br. blaue Kurve)

**Effektive Nachtlüftung**

1. Das Gebäude muss genügend wirksame thermische Speichermasse besitzen.
2. Die tagsüber zugeführte (solare und innere) Wärmemenge darf nicht zu groß sein. Orientierungswerte: Die Tagessumme der zugeführten Wärme (Kühllast) soll höchstens 200 Wh/m<sup>2</sup> betragen, besser sind 150 Wh/m<sup>2</sup> oder weniger.
3. Räume müssen tags und nachts gut zu lüften sein:
  - a) Tags ist ein erhöhter Luftwechsel sinnvoll, soweit die Lufttemperatur außen unter der Innenraumlufttemperatur liegt.
  - b) Nachts soll mindestens ein Luftwechsel von 2 h<sup>-1</sup>, besser 4 h<sup>-1</sup> möglich sein.
4. Eine wirksame Nachtlüftung muss über große Teile der Nacht bei genügend tiefer Temperatur erfolgen, z.B. 5 h bei 21 °C Außentemperatur.
5. Freie Lüftung (ohne mechanischen Antrieb) erfordert, dass das Gebäude durchströmt werden kann. Anderenfalls ist eine mechanische Lüftung erforderlich.

Zur Nachtlüftung vgl. auch [L8].



Bei der freien Lüftung werden „natürliche“ Antriebe genutzt um die Luft zu transportieren. Dabei handelt es sich um thermische Auftriebskräfte und den Winddruck von außen.

Die thermischen Auftriebskräfte benötigen Temperaturunterschiede zwischen innen und außen und einen Höhenunterschied zwischen Einström- und Ausströmöffnungen. Bei den geringen sommerlichen Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen erfordert thermische Lüftung einen Luftweg über mehrere Etagen und genügend große Öffnungen.

Der Winddruck kann als Antrieb der Lüftung sehr wirksam sein, wenn das Gebäude quer durchströmt werden kann. Dann können auch geringe Winde als Antrieb ausreichen.

Da bei der freien Nachtlüftung das Gebäude durchströmt werden muss, kann es zu Zielkonflikten mit dem Brandschutz kommen, die im Einzelfall mit den Brandschutzbehörden geklärt werden müssen. Zusätzlich muss der Einbruchschutz gewährleistet sein.

Bei Einsatz einer Lüftungsanlage kann die Nachtlüftung „erzwungen“ werden und es entfällt die Notwendigkeit einer Durchströmung ganzer Gebäudeteile. Auch wird die durchströmende Luftmenge kaum noch von der Wetterlage abhängig. Andererseits wird elektrische Antriebsenergie benötigt. Dieser Energiebedarf kann jedoch planerisch in weiten Grenzen beeinflusst werden. Insbesondere kann eine strömungsgünstige Planung des Kanalnetzes mit großzügigen Querschnitten den Energiebedarf relativ gering halten. Der Brandschutz wird teilweise in die Lüftungsanlage verlagert.

#### 2.2.4 Wärmelastdynamik

Jedes Klimatisierungskonzept eines Gebäudes ist gekennzeichnet durch eine „Wärmelastdynamik“. Damit ist ein Bereich von sehr wenig Wärme bis zu einer Obergrenze der eingebrachten Wärme gemeint, in dem das Klimatisierungskonzept gut funktioniert. Bei einer konventionellen Klimaanlage in Räumen mit wenig wirksamer Speichermasse ist die Obergrenze eine maximale Kälteleistung, auf die die Anlage ausgelegt ist. Bei Räumen mit hoher Speicherfähigkeit ist dagegen die Tagessumme der eingebrachten Wärmemenge die entscheidende Größe, die über die Eignung und Funktionsfähigkeit von Systemen entscheidet.

Diese Wärmelastdynamik stellt eine wichtige Auslegungsgröße dar, da sie darüber entscheidet, in welcher Weise das Gebäude genutzt werden kann, ohne dass das thermische Innenklima beeinträchtigt wird.

Passive Kühlung mit Nachtlüftung ist bei guter Auslegung verträglich mit Tagessummen der eingebrachten Wärme bis höchstens etwa 200 Wh/m<sup>2</sup>. In Räumen mit hohem Technisierungsgrad, mit hoher Besetzungsdichte oder bei unzureichendem Sonnenschutz kann diese Grenze ohne weiteres überschritten werden, so dass Nachtlüftung alleine nicht ausreicht, siehe Kasten „Berechnung des Wärmeeintrags“.

#### Steigerung der Wärmelastdynamik

Mit verschiedenen Ansätzen lässt sich die „Wärmelastdynamik“ erhöhen, ohne dass eine aktive Kühlung mit einer Kältemaschine notwendig wird.

Eine Möglichkeit besteht darin, die Zuluft in einem Erd-Luft-Wärmetauscher vorzukühlen. Da das Erdreich an warmen Tagen wesentlich kühler ist als die Außenluft, besteht damit auch tagsüber die Möglichkeit, mit der Lüftung Wärme abzuführen, so dass über 24 Stunden eine wesentlich größere Wärmemenge mit der Luft abgeführt werden kann, vgl. auch den Abschnitt über Erdwärmetauscher im Kapitel „Lüftung“ sowie [L9].

Ein zweiter Weg, die „Wärmelastdynamik“ zu steigern, nutzt die speicherfähigen Bauteile für die Wärmeabfuhr. Dazu werden üblicherweise in den Betongeschossdecken, analog zur Fußbodenheizung, Rohre eingegossen. Diese können dann mit einem Wasserkreislauf die überschüssige Wärme ins Erdreich abführen. Mithilfe einer Wärmepumpe kann diese „thermische Bauteilaktivierung“ im Winter umgekehrt zum Beheizen verwendet werden. Dieses Prinzip der „thermischen Bauteilaktivierung“ wird neuerdings auch in Mauerwerk mit durchgehenden vertikalen Installationskanälen (aus E-Kanal-Steinen) praktiziert [L10]. Die Bauteilaktivierung erfordert ebenso wie die thermische Speicherung einen direkten Kontakt der Bauteile zum Innenraum. Bei aufgeständerten Fußböden und abgehängten Decken sind die entsprechenden Bauteile auch hier nicht wirksam.

#### 2.3 Winterlicher Wärmeschutz

Das Konzept des „thermisch stabilen“ Gebäudes schließt auch einen sehr guten winterlichen Wärmeschutz ein. Werden die Wärmeverluste bei tiefer Außentemperatur gering gehalten, so bewirkt das nicht nur einen minimalen Heizenergiebedarf, es gewährleistet zugleich einen hohen thermischen Komfort. Um dies zu erreichen, können mehrere Mittel eingesetzt werden: Eine sehr gute Wärmedämmung, eine kompakte Bauweise und die Minimierung der Wärmebrücken.

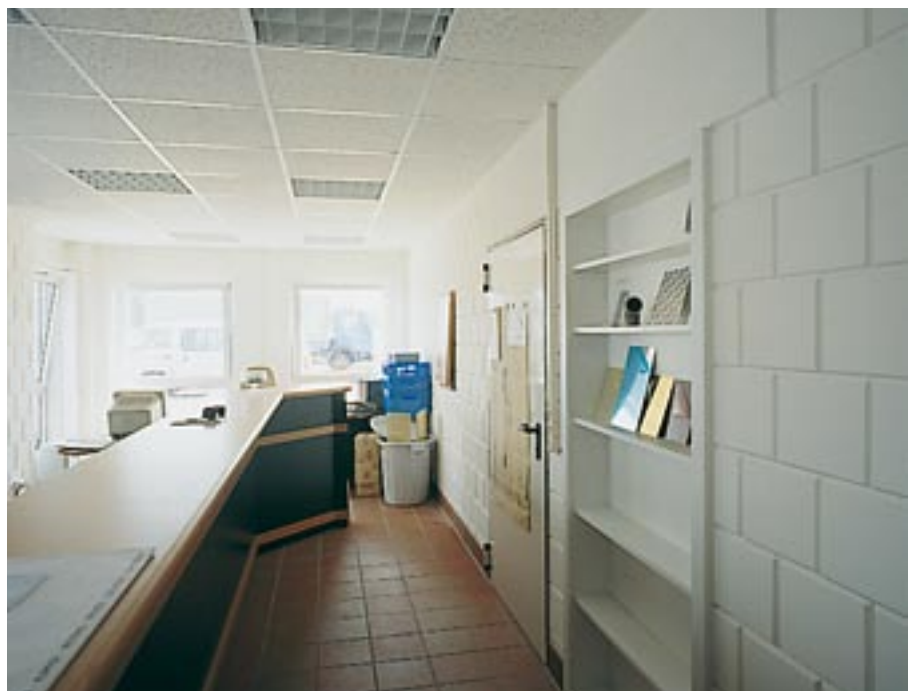


Bild 16: Innenwände aus Kalksandstein bieten wirksame thermische Speichermasse.

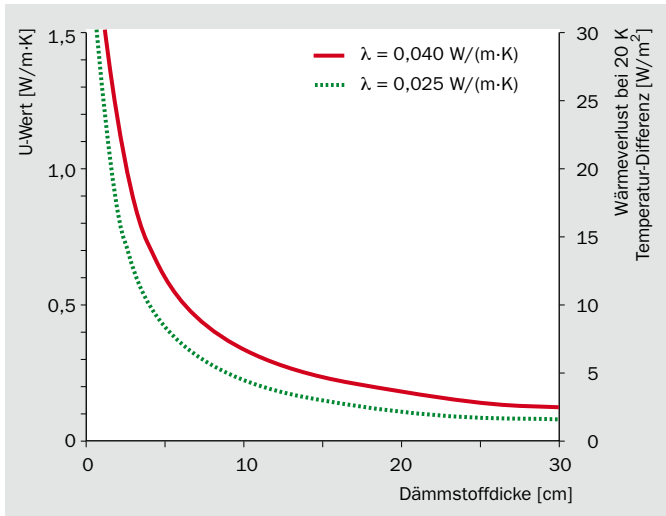


Bild 17: Einfluss der Dämmstoffdicke auf die Wärmeverluste einer Außenwand

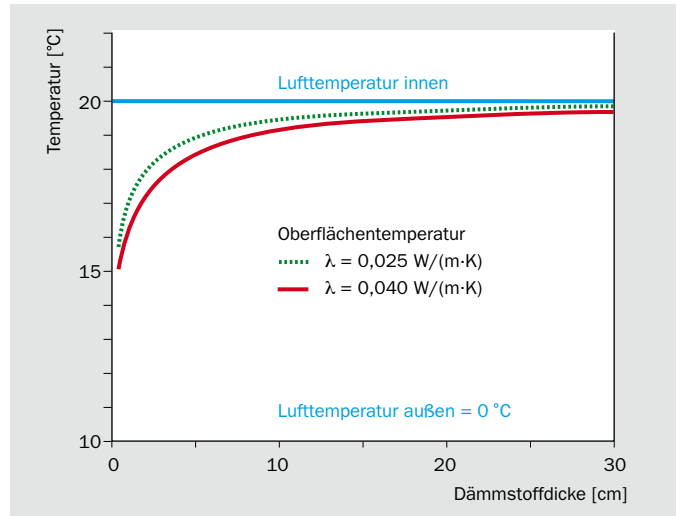


Bild 18: Innenoberflächentemperaturen abhängig von der Dämmstoffdicke einer Außenwand

### 2.3.1 Wärmedämmung

Eine gute Wärmedämmung der thermischen Gebäudehülle senkt selbstverständlich die winterlichen Wärmeverluste und damit den Heizenergiebedarf. Bild 17 zeigt am Beispiel einer Außenwand die Abhängigkeit der Wärmeverluste von der Dämmstoffdicke und den Einfluss der Wärmeleitfähigkeit.

Je besser ein Außenbauteil wärmege-dämmt ist, umso geringer wird die Differenz der inneren Oberflächentemperatur zur Lufttemperatur. Bild 18 zeigt diesen Zusammenhang für eine winterliche Situation (Lufttemperatur außen  $T_a = 0 \text{ °C}$ , innen  $T_i = 20 \text{ °C}$ ). Bei hohem Dämmstandard ist die Differenz zwischen Luft- und Oberflächentemperatur kleiner als 1 K. Das bedeutet, auch in unmittelbarer Nähe zu dem Außenbauteil ist der thermische Komfort nicht durch niedrigere Strahlungs-

temperatur beeinträchtigt. Wenn Luft- und Strahlungstemperatur nahezu gleich sind, kann auch insgesamt die Lufttemperatur ohne Komforteinbuße etwas niedriger gewählt werden.

Ökonomisch gesehen ist die Wärmedämmung eine Vorsorge gegen hohe energiebedingte Betriebskosten. In einer Gesamtkostenrechnung können die Kosten für Investitionen und Betrieb verglichen und gemeinsam bewertet werden (Bild 19). *Durch besonders gute Dämmung des Gebäudes kann eine Vereinfachung bei der Heizanlage (Kesseltyp, Verteilsystem) möglich werden, was zu einem „Sprung“ bei den Kosten führt.* Ein einfaches Beispiel hierfür ist die doppelte Nutzung des Lüftungssystems in Passivhäusern – zur Lüftung und zur Heizverteilung –, die bei der geringen Heizleistung ohne erhöhten Luftstrom möglich ist.

Ein hoher Wärmedämmstandard führt bei monolithischem Mauerwerk zu sehr großen Wanddicken (die Beispielwand aus Tafel 4 mit gleichem U-Wert wäre monolithisch bei  $\lambda = 0,12 \text{ W/(m·K)}$  etwa 60 cm dick). Tragendes Mauerwerk innen und Wärmedämmschicht außen (Prinzip der KS-Funktionswand) machen die Wand als speicherfähiges Bauteil nutzbar, bei gleichzeitig deutlich geringerem Flächenbedarf.

### 2.3.2 Kompakte Bauweise

Die kompakte Bauweise ist ein traditioneller Weg des Wärmeschutzes, der unabhängig von der jeweiligen Wärmedämmung ist. Das Prinzip ist, das genutzte Volumen eines Gebäudes ( $V$ ) innerhalb einer möglichst kleinen, mit Wärmeverlusten behafteten Oberfläche ( $A$ ) unterzubringen. Das zu minimierende Verhältnis  $A/V$  kann bei gegebener Gebäudegröße ( $V$ ) durch die Form des Baukörpers in weiten Grenzen beeinflusst werden. Darüber hinaus sinkt das  $A/V$ -Verhältnis mit zunehmender Gebäudegröße. Bei gegebenem Volumen hat eine Kugel die geringste Oberfläche; ein Würfel ist der rechteckige Körper mit kleinstem  $A/V$ .

Bild 20 zeigt an  $A/V$ -Verhältnissen für relativ schmale, tageslichtfreundliche Riegel von 10 m Breite, dass diese bei geeigneter Anzahl der Stockwerke nicht weit über dem optimalen Wert eines Würfels liegen. Allerdings erfordern höhere Gebäude auch größere Abstandsflächen für die Tageslichtversorgung. Wie schon im Kapitel „Tageslicht“ gezeigt, ist jedoch bei Bürogebäuden eine kompakte Bauweise energetisch nur sinnvoll, soweit eine gute Tageslichtversorgung gegeben ist.

Tafel 4: Berechnung des U-Werts eines mehrschichtigen Bauteils (Beispiel)

Bauteilschicht	Dicke $d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/(m·K)]	$R_i = d_i / \lambda_i$ [(m²·K)/W]
Übergangswiderstand innen $R_{si}$			0,130
Innenputz	0,010	0,70	0,014
Mauerwerk	0,175	0,99	0,177
Dämmstoff WL 035	0,160	0,035	4,571
Außenputz	0,005	0,70	0,007
Übergangswiderstand außen $R_{se}$			0,040
gesamter Wärmedurchlasswiderstand $R_{ges} = \sum R_i =$			4,939
<b>U-Wert</b> $U = 1/R_{ges} = 0,20 \text{ W/(m²·K)}$			

Anmerkung: Falls die Wärmedämmung außen statt mit einem Putz mit einer vorgehängten, hinterlüfteten Schale abgedeckt ist, bildet der Dämmstoff in der Rechnung die äußerste Schicht. Die hinterlüftete Außenschale wird mit einem erhöhten Übergangswiderstand ( $R_{se} = 0,13 \text{ (m²·K)/W}$ ) berücksichtigt.

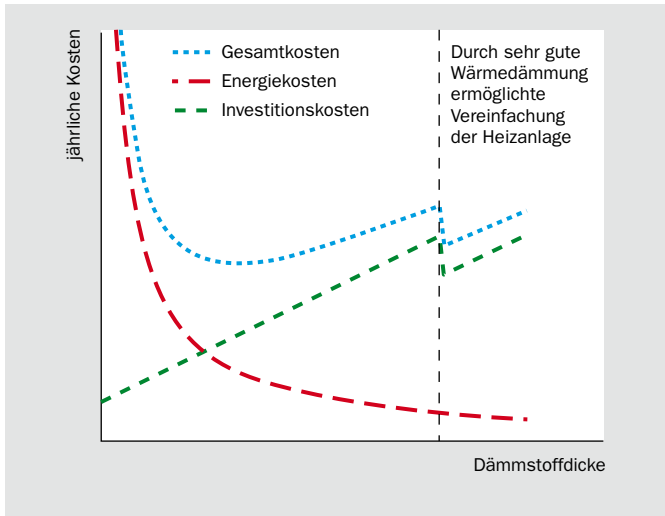


Bild 19: Die jährlichen Gesamtkosten für die winterliche Beheizung

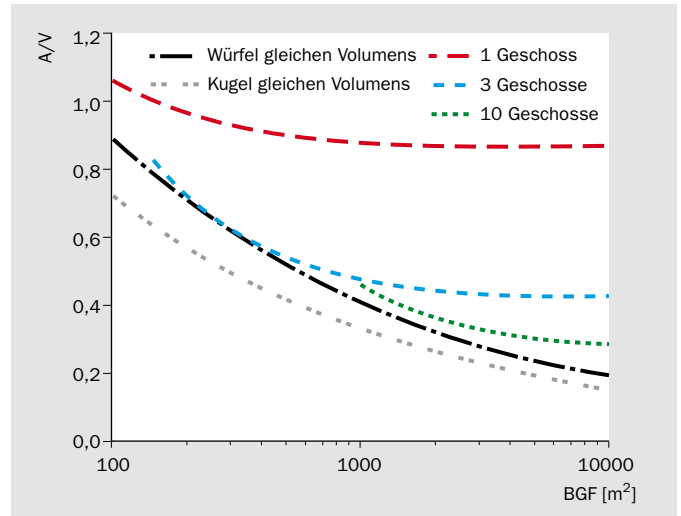


Bild 20: A/V-Verhältnis eines 10 m breiten Büro-Riegels mit je 3 m Geschosshöhe in Abhängigkeit von der BGF

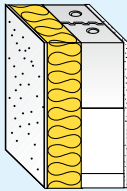
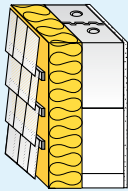
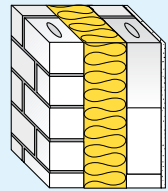
Die Kompaktheit spart Aufwand und Kosten. Als Wärmeschutzmaßnahme kann sie eine guten Wärmedämmung zwar nicht ersetzen, wohl aber sinnvoll ergänzen. Dies ist besonders bei kleinen Gebäuden der Fall.

**2.3.3 Minimierung von Wärmebrücken**

Als Wärmebrücken bezeichnet man (meist kleinere) Bereiche der thermischen Gebäudehülle, deren Wärmedämmung weniger gut ist als im Regelquerschnitt der umgebenden Bauteile. Wärmebrücken treten

vorwiegend an Anschlüssen zwischen Bauteilen auf (konstruktive Wärmebrücken). Zudem kann allein die Formgebung von Bauteilen als Wärmebrücke wirken, insbesondere die Außenecken und Außenkanten der Gebäudehülle (geometrische

Tafel 5: Vergleich der bauphysikalischen Werte von Kalksandstein-Konstruktionen bei gleichem U-Wert

			
Konstruktion	KS-Thermohaut	KS-Vorhangfassade	zweischalige KS-Wand
Konstruktionsaufbau	1 cm Innenputz 17,5 cm Tragschale <sup>1)</sup> 14 cm WDVS	1 cm Innenputz 17,5 cm Tragschale <sup>1)</sup> 14 cm Wärmedämmung 4 cm Hinterlüftung 1 cm Fassadenbekleidung <sup>2)</sup>	1 cm Innenputz 11,5 cm Tragschale <sup>1)</sup> 14 cm Kerndämmung 11,5 cm Verblendschale
Konstruktionsdicke	33,5 cm <sup>3)</sup>	37,5 cm	42,5 cm <sup>3)</sup>
Wärmeschutz (U-Wert)	0,23 W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,23 W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,22 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks (λ)	0,99 W/(m·K)	0,99 W/(m·K)	0,99 W/(m·K)
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung (λ)	0,035 W/(m·K)	0,035 W/(m·K)	0,035 W/(m·K)
Wärmespeicherefähigkeit (Q)	332 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	332 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	431 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)
wirksame Wärmespeicherefähigkeit (c <sub>wirk</sub> )	49 Wh/(m <sup>2</sup> ·K)	49 Wh/(m <sup>2</sup> ·K)	49 Wh/(m <sup>2</sup> ·K)
Rohdichteklasse des Mauerwerks (RDK)	1,8	1,8	1,8
Schallschutz (R <sub>w</sub> )	~ 49 dB	~ 49 dB	~ 59 dB
Grundwert der zulässigen Mauerwerksdruckspannung (σ <sub>0</sub> )	3,2 MN/m <sup>2</sup>	3,2 MN/m <sup>2</sup>	3,2 MN/m <sup>2</sup>
Linienlast = (σ <sub>0</sub> · d)	560 KN/m	560 KN/m	368 KN/m

<sup>1)</sup> Tragschale aus KS-Plansteinen (SFK 20) und Dünnbettmörtel.  
<sup>2)</sup> Dicke nach Art der Bekleidung.  
<sup>3)</sup> Inklusive 1 cm für die Schlussbeschichtung bzw. 1 cm für den Fingerspalt.



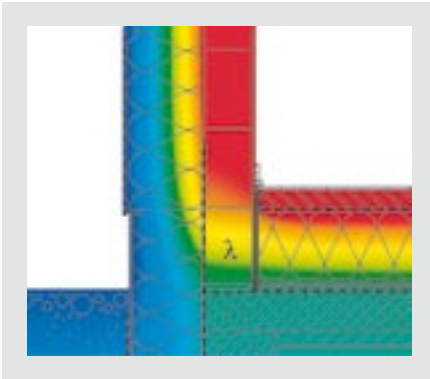


Bild 21: Wärmebrücke beim Anschluss Bodenplatte – Außenwand, nicht unterkellert

Wärmebrücken). Im Winter machen sich Wärmebrücken auf der Innenseite durch tiefere, auf der Außenseite durch höhere Oberflächentemperaturen (bezogen auf umgebende Bauteile) bemerkbar.

In älteren, schlecht wärmegeprägten Gebäuden gibt es an Wärmebrücken aufgrund der dort teilweise sehr niedrigen Oberflächentemperaturen ein beträchtliches Risiko der Kondensat- und Schimmelbildung, Mindestanforderungen hierzu finden sich in DIN 4108-2 [L6].

In neuen, hoch wärmegeprägten Gebäuden ist Kondensatbildung wegen der hohen inneren Oberflächentemperaturen nahezu ausgeschlossen, jedoch spielen Wärmebrücken auf einem „neuen Niveau“ eine Rolle. Denn bei hohem Dämmstandard der flächigen Bauteile fallen Wärmeverluste durch Wärmebrücken an den Anschlüssen in viel höherem Maß ins Ge-

**Konstruktionsregeln für den winterlichen Wärmeschutz**

1. „Gemäßigt“ kompakt bauen, so dass die Tageslichtversorgung gut ist.
2. Alle Flächen der thermischen Gebäudehülle – Dach, Außenwände einschließlich Fenster, Boden oder Kellerdecke – in sehr gutem Wärme-dämmstandard ausführen.
3. Wärmebrücken minimieren, insbesondere an Anschlüssen zwischen Bauteilen.
4. Unkontrollierte Luftströmungen durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle verhindern.

wicht. Deshalb ist es auch hier sinnvoll, die Wärmebrücken zu minimieren.

Ein Beispiel für diese „neuen“ Wärmebrücken sind herkömmliche Fensterrahmen, deren Wärmedämmung nicht die Werte heutiger Wärmeschutzverglasungen erreicht. Hochgedämmte Rahmen, deren Wärmedämmung auch den Randverbund des Glases abdeckt, sind in Ihrer Wärmedämmwirkung nahe an derjenigen von Dreischeibenwärmeschutzverglasungen, so dass Fenster mit  $U_F < 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  möglich sind.

In Bild 23 sind verschiedene Varianten einer Wärmebrücke am einfachen Beispiel eines Fensteranschlusses an die umgebende Wand gezeigt. Es wird deutlich, dass die einfache Bezeichnung „Wärmebrücke“ nur begrenzten Aussagewert hat. Erst eine Quantifizierung mit „Wärmebrückenverlustkoeffizienten“ beschreibt die Auswirkung auf die Wärmebilanz.

**Berechnung von Wärmebrücken**

Wärmebrücken werden quantitativ erfasst durch Wärmebrückenverlustkoeffizienten, die bei linienförmigen Wärmebrücken mit deren Länge multipliziert werden. Bei punktförmigen Wärmebrücken werden die Koeffizienten direkt verwendet. Diverse Wärmebrückenkataloge in gedruckter Form oder auf Datenträger (z.B. [P9]) listen eine Vielzahl von Wärmebrücken mit Zeichnungen und ihren Kennwerten auf.

DIN EN ISO 10211-1 [L11] beschreibt die Berechnung von Wärmebrücken einschließlich der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen.

**2.4 Luftqualität und Lüftung**

**2.4.1 Funktion der Lüftung und Lüftungsbedarf**

Ausgehend von den Funktionen, die das Lüften erfüllen soll, kann der Lüftungsbedarf bestimmt und eine Lüftungsstrategie festgelegt werden. Im Zusammenhang mit der sommerlichen Wärmeabfuhr wurde bereits die Funktion Wärmetransport angesprochen.

In erster Linie dient das Lüften jedoch dazu, die „verbrauchte“ Luft des Innenraums durch frische Außenluft zu ersetzen. Genauer heißt das, die mit ausgeatmetem Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Luftfeuchtigkeit, Gerüchen und eventuell auch mit Schadstoffen angereicherte Innenluft wird mit der Außenluft verdünnt. Zwischen der Anreicherung der Luft durch die Nutzung und der Verdünnung durch das Lüften stellt sich ein Gleichgewicht ein. Der Lüftungsbedarf ist diejenige Frischluftmenge, bei der die verbleibenden Konzentrationen der Luftbeimengungen zu keiner nennenswerten Beeinträchtigung der Nutzer führen.

**2.4.2 Frischluftbedarf der Menschen**

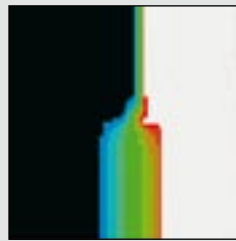
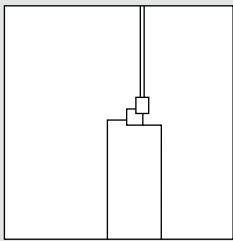
Die Menschen im Raum nehmen mit der Atmung Sauerstoff auf und geben Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) ab, wobei die Mengen vom Stoffwechsel, also vom Aktivitätsgrad abhängen, der in „met“ gemessen wird. Bei normaler Büroaktivität (1,2 met) nimmt ein Mensch ungefähr 25 bis 30 Liter Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) pro Stunde aus der Luft auf und gibt ebenso viel  $\text{CO}_2$  an die Luft ab. Der mit rund 20 Vol.-% hohe Sauerstoffgehalt der Raumluft wird dabei nur unmerklich verändert. Da in der Luft nur wenig  $\text{CO}_2$  enthalten ist, steigt dessen Konzentration jedoch deutlich an. Die Außenluft enthält knapp 400 ppm (parts per million). Dies entspricht 0,04 Vol.-%  $\text{CO}_2$  – für die Raumluft wird von einem Richtwert von 1500 ppm  $\text{CO}_2$  ausgegangen, der möglichst nicht überschritten werden soll. Die maximal zulässige  $\text{CO}_2$ -Konzentration an Arbeitsplätzen (MAK-Wert) ist mit 5000 ppm wesentlich höher.

Die  $\text{CO}_2$ -Konzentration kann als Maßstab für die Luftqualität verwendet werden, soweit diese primär durch (nicht rauchende) Menschen bestimmt ist. Das heißt, wenn mit Frischluft für genügend geringe  $\text{CO}_2$ -Konzentration gesorgt ist, entsteht in der Regel auch keine Beeinträchtigung durch menschliche Geruchsstoffe. Bei Büroarbeit müssen dafür pro Person und Stunde etwa 25  $\text{m}^3$  Frischluft zugeführt werden.

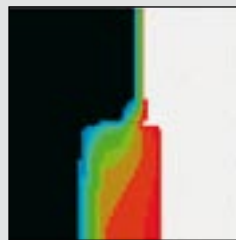
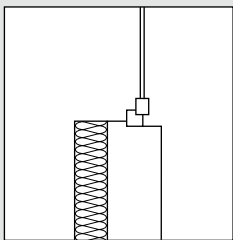


Bild 22: Kunststofffenster mit Passivhauszertifizierung

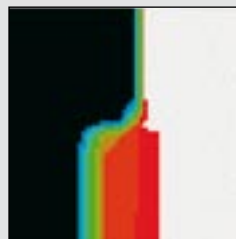
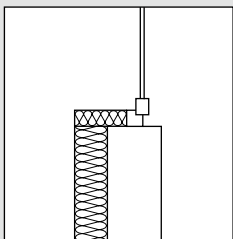
Die „Evolution“ einer Wärmebrücke, schematisch am Beispiel des Anschlusses zwischen Wand und Fenster gezeigt, jeweils nebeneinander ein Schnitt und das zugehörige Temperaturprofil im Bauteil, zweidimensional berechnet mit einer Wärmebrückensoftware.



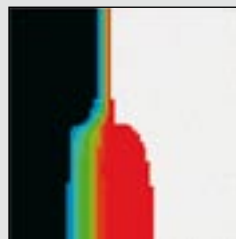
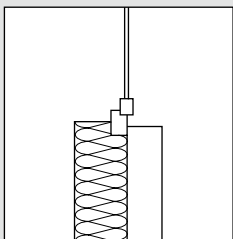
Der konventionelle Einbau in eine monolithische Wand. Ein sehr guter Wärmedämmstandard führt zu großer Wanddicke. Der Anschluss zwischen Wand und Fenster wirkt als Wärmebrücke.



Wird eine massive Außenwand, nicht aber die Fensterleibung gedämmt, so entsteht ebenfalls eine Wärmebrücke am Fensteranschluss.



Diese Wärmebrücke lässt sich durch Dämmen der Fensterleibung weitgehend reduzieren.



Die Lösung mit geringster Wärmebrücke ist ein direkter Anschluss der flächigen Wärmedämmung an das Fenster.

### 2.4.3 Frischluftzufuhr und Luftfeuchte

Neben der CO<sub>2</sub>-Konzentration spielt auch die Luftfeuchte eine Rolle als Kriterium für eine angemessene Frischluftzufuhr, denn Menschen geben auch Wasserdampf ab. Dies geschieht größtenteils mit der Atmung, bei erhöhter Wärmeabgabe des Menschen auch durch Schwitzen. Die relative Luftfeuchte im Raum stellt sich dabei aufgrund des Wasserdampfgehalts und der Lufttemperatur ein. Der Wasserdampf wird teilweise mit der Frischluft in den Raum gebracht und stammt andererseits aus Quellen im Raum, in Bürogebäuden vorwiegend von Menschen oder z.T. auch Pflanzen.

Bild 25 zeigt typische Außen-Luftzustände im Lauf eines Jahres. Die Punktwolke zeigt die Lufttemperatur und den Wasserdampfgehalt der Luft für alle Stunden eines Jahres. Die relative Feuchte (RF) ist als Kurvenschar eingezeichnet. Das maximale Feuchteaufnahmevermögen (100 % RF) der Luft steigt mit der Temperatur stark an (2 g/m<sup>3</sup> bei -10 °C, ca. 20 g/m<sup>3</sup> bei +20 °C).

Bei niedrigen Außenlufttemperaturen im Winter kann die Luft also nur wenig Wasser aufnehmen. Die von außen kommende Frischluft bringt also wenig Wasserdampf mit, was sich in einer niedrigen relativen Feuchte nach dem Erwärmen zeigt (vgl. Bild 26). Durch die Feuchtequellen im Raum (Menschen) wird die Luft wieder etwas angefeuchtet. Damit dies ausreicht, um eine akzeptable Raumluftfeuchte von etwa 40 % zu erreichen, darf die Frischluftmenge pro Person nicht zu groß sein. Es ist daher sinnvoll, an kalten Tagen die Frischluft-Zufuhr zugunsten der Raumluftfeuchte etwas zu verringern, im Bild beispielsweise bei -8°C Außenluft-Temperatur auf 12 m<sup>3</sup> pro Person und Stunde im Gegensatz zu 20 m<sup>3</sup> pro Person und Stunde bei 0 °C.

Bild 23: Evolution einer Wärmebrücke am Beispiel des Anschlusses Wand-Fenster

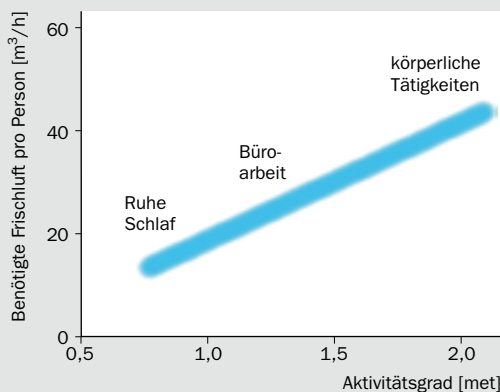


Bild 24: Frischluftbedarf in Abhängigkeit vom Aktivitätsgrad

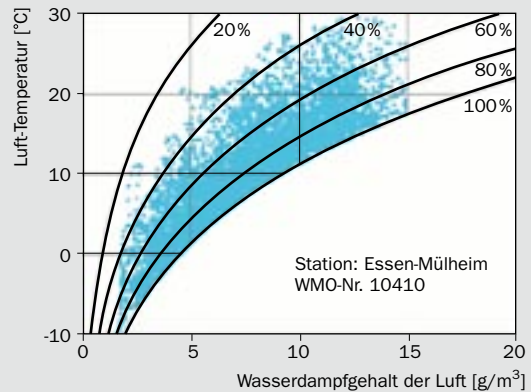


Bild 25: Typische Luftzustände im Lauf eines Jahres (Datenquelle: [P10])

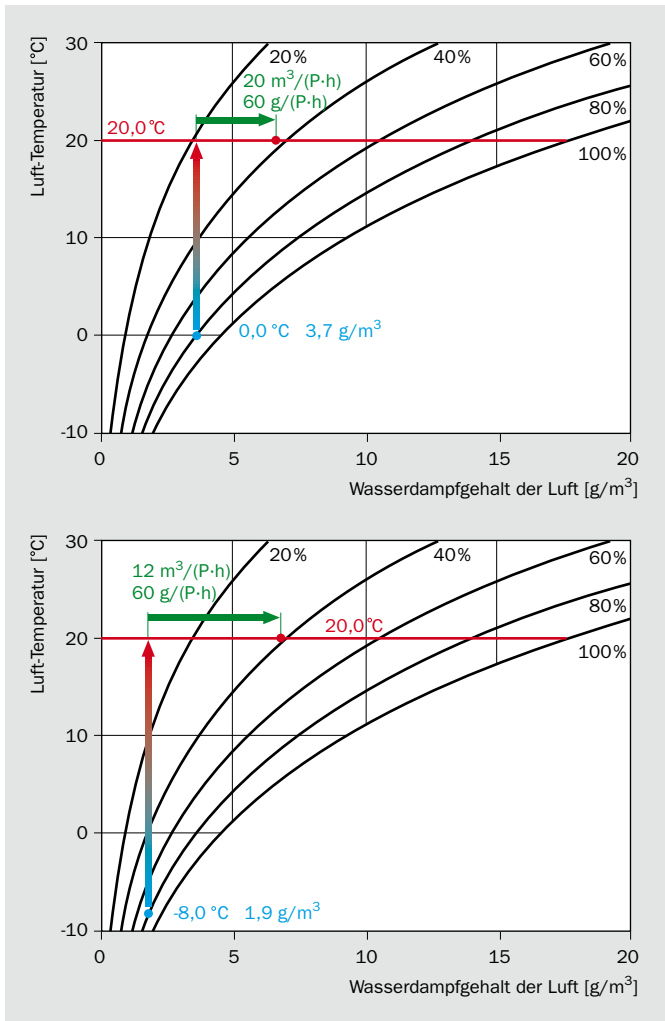


Bild 26: Lüftung und Luftfeuchte im Winter

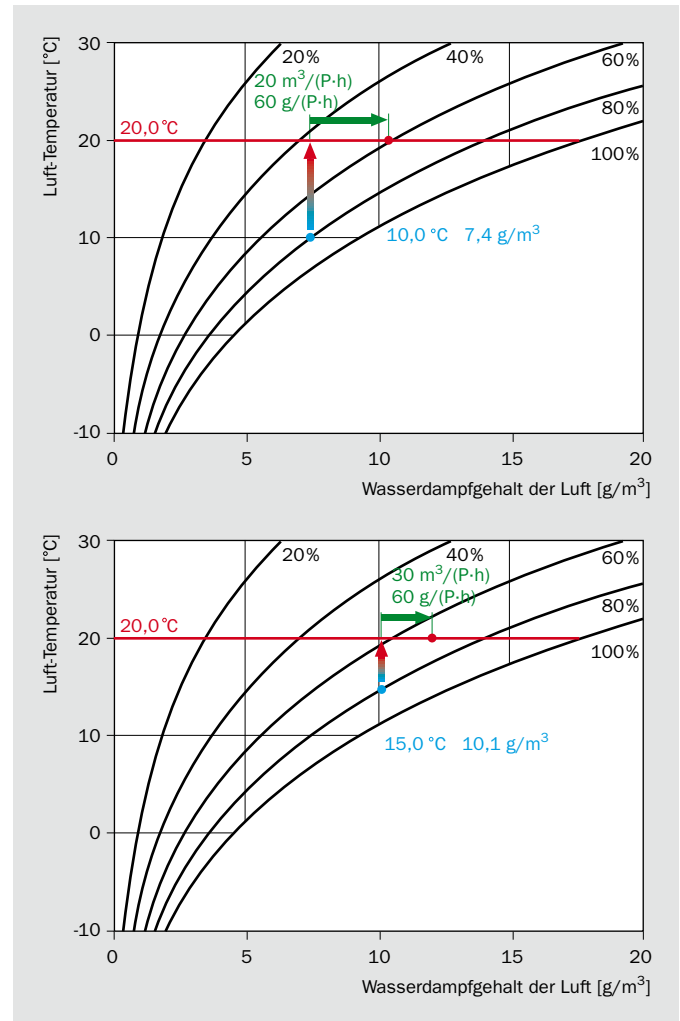


Bild 27: Lüftung und Luftfeuchte in der Übergangszeit

Anders sind die Verhältnisse in der Übergangszeit, etwa bei 10 bis 15 °C Außenlufttemperatur. An feuchten Tagen bringt die von außen kommende Frischluft bereits ohne „Befeuchtung“ durch die Menschen genügend Wasserdampf mit, um auf Innentemperatur erwärmt eine relative Feuchte im günstigen Bereich von 40 % bis 60 % zu bewirken. In diesen Fällen kann bei einem Anstieg der Innentemperatur eine beispielsweise auf 30 bis 40 m³/h pro Person erhöhte Frischluftzufuhr angebracht sein, um einen zu hohen Anstieg der Raumluftfeuchte zu verhindern (vgl. Bild 27).

Ob aufgrund der Feuchte eine erhöhte oder reduzierte Frischluftzufuhr sinnvoll ist, lässt sich mit einer Feuchtemessung im Raum feststellen. Im Fall der manuellen Fensterlüftung eignet sich dazu ein Hygrometer, das von den Nutzern abgelesen wird und mit einem entsprechenden Benutzungshinweis versehen ist. Bei Lüf-

tungsanlagen kann die Steuerung über Feuchtesensoren erfolgen.

Die Grundregeln für die Steuerung können so lauten:

1. Mit ca. 25 m³/h pro anwesender Person starten.
2. Bei relativer Feuchte (im Raum) unter 40 % die Frischluftzufuhr verringern.
3. Bei relativer Feuchte (im Raum) über 60 % die Frischluftzufuhr erhöhen. An einigen Tagen im Jahr ist die Außenluft allerdings so feucht, dass auf diese Weise eine relative Feuchte von 60 % im Raum nicht herstellbar ist.

**2.4.4 Geruchs- und Schadstoffe**

Die Raumluft kann durch Geruchs- oder Schadstoffe verunreinigt werden, z.B. solche, die von Oberflächen im Raum wie Um-

schließungsflächen und Möblierung oder von Computern und anderen Bürogeräten ausgehen. Dies wird teilweise zum Anlass für erhöhte Frischluftzufuhr genommen. Doch dieses Vorgehen ist besonders bei Schadstoffen kein geeignetes Mittel, da beim Lüften die Stoffe zwar verdünnt, aber nicht beseitigt werden. Ist die Konzentration einer unerwünschten Luftbeimengung bei normalem Lüften beispielsweise um einen Faktor 10 zu hoch und liegt damit über dem MAK-Wert, müsste die Frischluftzufuhr etwa verzehnfacht werden, um unter den entsprechenden Grenzwert zu gelangen.

Geeigneter Methoden, die Raumluft frei von Geruchs- und Schadstoffen zu halten, setzen an deren Quellen an. Falls diese nicht direkt beseitigt werden können, sollten die emittierten Stoffe direkt an der Quelle abgeführt werden. Einige Beispiele sollen das verdeutlichen:



Verschiedene Baustoffe des Innenausbaus belasten die Raumluft durch Ausgasungen, besonders in der ersten Zeit nach der Verarbeitung. Wenn bei der Baustoffauswahl emissionsarme Materialien bevorzugt werden, können viele potentielle Quellen von Luftverunreinigungen gar nicht erst entstehen. Vorsicht ist beispielsweise bei organischen Lösemitteln, etwa in Klebern, geboten.

Von einigen Kopierern und Laserdruckern können aufgrund ihrer Funktionsweise Feinstäube, schädliche organische Verbindungen sowie Ozon bzw. Stickoxide emittiert werden. Deshalb ist es günstig, diese Geräte nicht direkt an Arbeitsplätzen, sondern in einem gesonderten Raum (pro Etage oder pro Abteilung) aufzustellen, der entweder nach außen gelüftet wird oder als Abluftraum einer Lüftungsanlage genutzt wird.

Eine besonders intensive Luftbelastung stellt das Rauchen dar. Aufgrund des beschriebenen Verdünnungsprinzips ist bei vertretbarer Zuluftmenge keine für Nichtraucher akzeptable Luftqualität erreichbar. Diese Schadstoffquelle kann nur durch eine systematische Trennung von Rau-

cher- und Nichtraucherzonen eingedämmt werden, wobei in Raucherzonen eine vergleichsweise hohe Schadstoffkonzentration toleriert wird.

Ziel einer Emissionen verhindernden und beseitigenden Konstruktionsweise, Möblierung und Geräteausstattung ist es, ohne eine emissionsbedingt erhöhte Frischluftzufuhr eine gute Luftqualität zu erhalten.

#### 2.4.5 Lüftungsarten und Lüftungsstrategien

Die Lüftung der Innenräume in Bürogebäuden kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Drei Lüftungsarten kommen in Betracht:

##### Fensterlüftung (freie Lüftung)

Bei Fensterlüftung werden die Fenster in der Regel von den Nutzern betätigt. Vorteile dieser Lüftungsart sind die Einfachheit und die Möglichkeit der Nutzer, die Luftqualität des Raumes direkt zu beeinflussen. Nachteilig ist, dass es nicht so einfach ist, den Luftwechsel per Hand und Fenster nach Bedarf richtig einzustellen. Hilfreich kann in über Fenster gelüfteten Räumen ein Hygrometer zusammen mit einer Anleitung zum feuchteabhängigen Lüften (siehe oben) sein. Für Einzel- und Gruppenbüros kann Fensterlüften dann eine geeignete Lösung sein, wenn die Belastungen von außen (Lärm) nicht zu hoch sind.

##### Lüftung mit Abluftanlagen

Das Gebäude wird aufgeteilt in Zuluftzonen und Abluftzonen. Die Zuluftzonen bestehen aus den Aufenthaltsräumen (Büro- und Kommunikationsräumen), in die die Zuluft über Luftdurchlässe von außen einströmt. Aus den Abluftzonen (WCs, Kopiererräume, Raucherzonen, eventuell auch Flure) wird Luft über die Abluftanlage abgesaugt. Durch Überströmöffnungen oder geöffnete Türen gelangt die Luft von den Zuluftzonen in die Abluftzonen. Mit solchen Anlagen lässt sich die richtige Frischluftmenge relativ gut einstellen. Eine feuchte- und CO<sub>2</sub>-abhängige Steuerung ist möglich. Ein Schutz gegen Außenlärm ist mit schalldämmenden Luftdurchlässen möglich.

Sowohl Fensterlüftung als auch Abluftanlagen können gut mit einem sehr hohen Wärmedämmstandard der Gebäudehülle kombiniert werden. So kann ein niedriger Heizenergiebedarf erreicht werden. Der Passivhaus-Standard ist aber nur in Verbindung mit einer Wärmerückgewinnung aus der Abluft erreichbar.

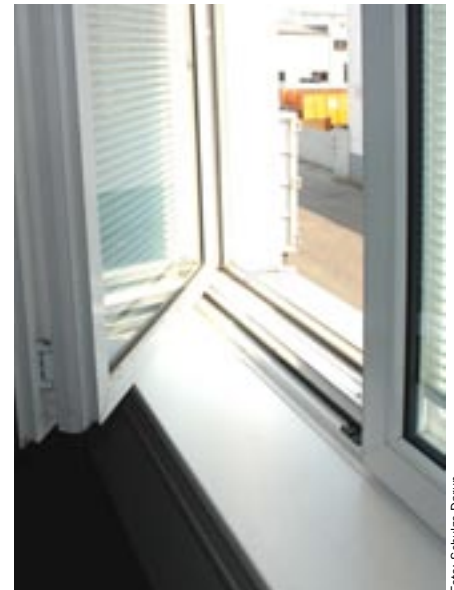


Bild 28: Fensterlüftung ist dann möglich, wenn sich die Belastung durch Außenlärm in Grenzen hält.



Bild 29: Lüftungszentrale für ein Gebäude mit ca. 1000 m<sup>2</sup> Nutzfläche



Bild 30: Lüftungszentrale für ein Bürogebäude mit über 5000 m<sup>2</sup> Nutzfläche

#### Optimales Lüften

1. Bei Büroarbeit werden pro Person rund 25 m<sup>3</sup> Frischluft in der Stunde benötigt.
2. Bei sehr kalter Außenluft ist es sinnvoll, die Frischluftzufuhr zu reduzieren und die Raumlufttemperatur eher niedrig zu wählen, damit die Raumluft nicht zu trocken wird.
3. Bei Außenluft, die viel Feuchte mitbringt, ist es sinnvoll, die Frischluftzufuhr zu erhöhen.
4. An warmen Tagen kann der Luftaustausch erhöht werden, um vermehrt Wärme abzuführen, falls die Außenluft kühler ist als die Innenluft. Dies ist besonders wirksam, wenn es in Verbindung mit thermischen Speichermassen auch nachts bei tieferer Außentemperatur erfolgt.
5. Schadstoffe und unerwünschte Geruchsstoffe sollten an den Quellen vermieden oder gleich dort abgeführt werden, so dass sie nicht in die Raumluft gelangen.

### Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

In der Regel werden solche Anlagen als Zu- und Abluftanlagen mit einem Luft-Luft-Wärmetauscher realisiert. Der Abluftweg entspricht, bis auf den Wärmetauscher, einer Abluftanlage. Die Zuluft wird an geeigneter Stelle außen angesaugt, über den Wärmetauscher geführt, falls erforderlich nachgeheizt, und in die Aufenthaltsräume geführt.

Eine geeignete Stelle kann beispielsweise die Rückseite eines Gebäudes sein, das an einer verkehrsreichen Straße steht. Wenn die Lüftungsanlage auch im Sommer betrieben werden soll, ist es außerdem günstig, die Ansaugöffnung abseits von der Sonnenstrahlung stark erwärmter Gebäudeteile anzuordnen und deren Umgebung zu begrünen.

Damit eine Lüftungsanlage wenig elektrische Antriebsenergie benötigt, sind eine strömungsgünstige Planung des Kanalnetzes und der Anlagenkomponenten (großzügige Querschnitte, gute Anpassung der Komponenten), eine wirksame Wärmerückgewinnung und effiziente Ventilatoren erforderlich. Deshalb muss schon frühzeitig, wenn Geometrie und Raumaufteilung des Baukörpers festgelegt werden, genügend Raum für Technikzentralen und Verteilernetze eingeplant werden. Dazu ist es sinnvoll, bereits zu diesem Zeitpunkt den Anlagenplaner einzubeziehen.

Um unerwünschte Nebenströme gering zu halten, bedarf es einer dichten Gebäudehülle. Mindestanforderungen dazu ergeben sich aus der Energieeinsparverordnung [L12]. Für Passivhäuser wird gefordert, dass  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$  ist. Dies lässt sich mit einem „Blower Door Test“ (vgl. DIN EN 13829 [L13]) überprüfen, sobald alle Türen und Fenster eingebaut und abgedichtet sind.

Aus hygienischer Sicht ist regelmäßig eine Inspektion und Reinigung insbesondere der Zuluftwege und der Filterwechsel wichtig. Zu Details der Lüftungsanlagen siehe Literatur zur Gebäudetechnik, z.B. [L14], und besonders zur Technik in Passivhäusern, z.B. [L15].

### Varianten von Lüftungsanlagen

Dass für die Wärmerückgewinnung die Luftströme im Wärmetauscher zusammengeführt werden müssen, kann bei größeren Gebäuden zu langen Lufttransportwegen führen. In manchen Fällen kann dann eine Trennung der Zu- und Abluftwege interessant sein, wobei die Wärme aus der Abluft über einen Luft-Wasser-Wärmetauscher an einen Wasserkreislauf übertragen wird, der sie zu einem Wasser-Luft-Wärmetauscher transportiert, wo sie wiederum an die Zuluft übergeben wird. Der Vorteil ist, dass ein Wasserkreislauf zum Transport von Wärme sowohl weniger Querschnitt als auch weniger Antriebsenergie benötigt als ein vergleichbarer Luftkanal. Nachteilig ist, dass zwei Wärmetauscher benötigt werden, was die Effizienz der Wärmerückgewinnung mindert.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Wärme aus der Abluft über eine Wärmepumpe mit angehobenem Temperaturniveau dem Heizsystem zuzuführen. Diese Art der Wärmerückgewinnung kann auch bei einer reinen Abluftanlage eingesetzt werden. Damit die Wärmepumpe effizient arbeitet, muss das Heizsystem auf eine niedrige Temperatur ausgelegt sein, etwa in Form einer Fußbodenheizung oder thermischer Bauteilaktivierung.

### Erdwärmetauscher

Um die von außen kommende Frischluft im Winter vorzuwärmen und im Sommer vorzukühlen, kann ein Erdwärmetauscher eingesetzt werden. Damit macht man sich zunutze, dass die Temperatur des Erdreichs im Jahresverlauf viel weniger schwankt als

die Lufttemperatur. In 2 m Tiefe beträgt die Jahresamplitude noch wenige Grad, in 5 m Tiefe ist die Temperatur nahezu konstant. Die mittlere Temperatur des Erdreichs in einigen Metern Tiefe entspricht dem Jahresmittel der Lufttemperatur und beträgt etwa 8 bis 10 °C.

Die einfachste Form ist ein Luft-Erdwärmetauscher (Luft-Erdregister), bei dem die Zuluft der Lüftungsanlage bei Bedarf zuerst durch einen Erdkanal geführt wird. In der kalten Jahreszeit wird die Zuluft vorgewärmt, sobald das Erdreich wärmer als die Außenluft ist. Umgekehrt kann im Sommer die Zuluft vorgekühlt werden. Letzteres ist dann von besonderem Interesse, wenn aufgrund zu hoher Wärmelasten (hohe Besetzungsdichte in Räumen, hoher Technisierungsgrad) mit einfachen Maßnahmen zur passiven Klimatisierung wie Sonnenschutz, Speicherung in Bauteilen und Nachtlüftung alleine kein zufriedenstellendes sommerliches Innenklima erreicht werden kann. Mit einem Erdwärmetauscher kann dann eine aktive Kühlung mit Kältemaschine vermieden werden.

Ein Erdkanal kann unter dem Gebäude, außen am Gebäude entlang oder unter dem Gelände neben dem Gebäude und in unterschiedlicher Tiefe verlegt werden. Die Beschaffenheit des Bodens spielt ebenfalls eine Rolle (Zusammensetzung, Feuchte, evtl. Wasser). Neben der Verlegungsart müssen für einen Erdwärmetauscher auch Länge, Querschnitt, Strömungsgeschwindigkeit sorgfältig dimensioniert werden, damit er seine Funktion gut erfüllen kann. Da er von der Zuluft durchströmt wird, muss zudem auf Hygiene geachtet werden (Filter am Eingang, periodische Reinigung, ggf. Inspektionsöffnungen, Ablauf für Kondensat).

Energetisch gesehen, stehen dem elektrischen Energieaufwand für die Luftförderung in den Erdkanälen bei einem Luft-Erdwärmetauscher die im Winter nicht benötigte Heizenergie sowie die im Sommer vermiedene Kühlenergie gegenüber. Messungen an verschiedenen gebauten Anlagen haben gezeigt, dass pro Quadratmeter Rohoberfläche (im Erdreich) ein jährlicher Ertrag über Wärme und Kälte von 1,3 bis 1,4 Wh erreicht werden kann [L9]. Es zeigt sich außerdem, dass in Verbindung mit einer Wärmerückgewinnung aus der Abluft im Winter größtenteils Erträge der Wärmerückgewinnung substituiert werden, was den winterlichen Zusatznutzen begrenzt. Dagegen kann der sommerliche Nutzen bei Vermeidung einer Klimaanlage



Bild 31: Ansaugung der frischen Außenluft

Foto: Schulze Darup



Bild 32: Lüftungszentrale im Untergeschoss des EnerGon-Gebäudes in Ulm

Foto: Schulze Darup



Foto: Schütze Darup

Bild 33: Einfachste Pumpentechnik für die Kühlung mittels Betonkerntemperierung

sehr groß sein, vorausgesetzt der Erdwärmetauscher ist gut dimensioniert. Bei den vermessenen Anlagen wurde auch das Verhältnis von thermischem Nutzen zum Aufwand an elektrischer Energie berechnet. Die entsprechenden Leistungszahlen streuten zwischen gut  $20 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{kWh}_{\text{el}}$  und knapp  $300 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ , variierten also fast um einen Faktor 15. Das offenbart den großen Einfluss unterschiedlicher Anlagenauslegungen. So kann beispielsweise der gleiche thermische Nutzen mit geringerem Rohrquerschnitt bei höherer Luftgeschwindigkeit (energetisch ungünstiger) oder mit größerem Rohrquerschnitt bei geringerer Luftgeschwindigkeit (energetisch günstiger) realisiert werden.

Bei größeren Gebäuden kann die Dimension eines Luft-Erdregisters sehr groß werden. Es kann sich dann als günstiger erweisen, einen Wasser-Erdwärmetauscher einzusetzen und mit einem weiteren Wärmetauscher die Wärme bzw. Kälte an die Luft zu übergeben. So können auch lange Luft-Transportwege vermieden werden. Ein Wasser-Erdwärmetauscher kann auch direkt zur Bauteilkühlung eingesetzt werden. In Verbindung mit einer Wärmepumpe kann ein solches System auch zur Beheizung verwendet werden.

### Berechnungsmethoden

Für die Abschätzung des Fensterluftwechsels für konkrete Fensteröffnungs-konfigurationen gibt es das Rechenblatt SommLuft [P11]. Zur Berechnung der Eigenschaften und Auslegung von Erdwärmetauschern stehen eine einfache Software [P12], ein Leitfaden [P13] sowie eine grafische Auslegung von Erdwärmetauschern [P14] zur Verfügung.

## 2.5 Unterstützende technische Anlagen

Im mitteleuropäischen Klima ist es kaum möglich, Gebäude zu realisieren, die das ganze Jahr über ein erwünschtes thermisches Innenklima einstellen, also ohne jeden Einsatz technischer Anlagen ausschließlich passiv funktionieren. Selbst sehr gut wärmegeämmte Gebäude werden an kalten Wintertagen beheizt. Merkmal thermisch optimierter Gebäude ist es aber, dass die technischen Anlagen nicht das primäre Mittel sind, mit dem das angenehme Innenklima hergestellt wird. Sie wirken unterstützend und werden oft nur wenige Tage oder Monate im Jahr benötigt.

### 2.5.1 Systeme zum Beheizen und zum Kühlen

Bei sehr gut wärmegeämmten Gebäuden ist die Heizperiode kurz, da über einen längeren Teil des Jahres die ohnehin vorhandenen Wärmequellen ausreichen, um den Wärmebedarf zu decken. Auch an kalten Wintertagen ist die erforderliche Heizleistung gering. Deshalb eröffnen sich neue Möglichkeiten der Verteilung der Heizwärme im Gebäude. So kann in Gebäuden mit Lüftungsanlage bei geringem Wärmebedarf der ohnehin zum Lüften erforderliche Luftaustausch genutzt werden, um die Heizwärme in die Räume zu verteilen. Es ist kein separates Heizverteilsystem erforderlich. Es muss dabei beachtet werden, dass die Temperatur der Zuluft ca.  $40^\circ\text{C}$  nicht überschreitet.

Wenn die Heizwärme mit einem Wasserkreislauf verteilt wird, besteht beispielsweise die Möglichkeit, in den Bauteilen angeordnete Rohre nicht nur zur sommerlichen Wärmeabfuhr, sondern auch zum Beheizen zu verwenden. Dies ist von besonderem Interesse, wenn das Erdreich über Wärmetauscher als Wärmequelle im Winter und als Wärmesenke im Sommer verwendet wird. Zum Beheizen ist dann eine Wärmepumpe erforderlich, um das Temperaturniveau der Wärme von ca.  $10^\circ\text{C}$  im Erdreich auf rund  $30^\circ\text{C}$  anzuheben. Beim Kühlen ist lediglich Antriebsenergie für das Umpumpen erforderlich, so dass

vergleichsweise wenig Strom für die abgeführte Wärme eingesetzt werden muss. Werte über  $10 \text{ kWh}_{\text{thermisch}}/\text{kWh}_{\text{elektrisch}}$  sind realistisch [L16]. Insbesondere wenn das Erdreich nicht von Grundwasser durchflossen wird, ist es sinnvoll bei der Dimensionierung von Gebäude und Anlagentechnik anzustreben, dass im Jahresmittel etwa gleich viel Wärme zum Beheizen entnommen wird, wie beim Kühlen eingespeichert wird. So wird vermieden, dass das Erdreich sich über mehrere Jahre langsam erwärmt oder abkühlt, was unter anderem die Effizienz der Anlagen mindern kann.

Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung lässt sich für die sommerliche Wärmeabfuhr verwenden, indem die Abluft aus den Innenräumen vor dem Wärmetauscher befeuchtet wird, was Verdunstungswärme verbraucht und die Luft abkühlt („Kälte-Rückgewinnung“, „Adiabatische Kühlung“). Im Wärmetauscher kann die Abluft dann der Zuluft Wärme entziehen. Damit dies gut funktioniert, darf die Raumluft nicht zu feucht sein. Das Verfahren eignet sich beispielsweise nicht zum Kühlen einer Großküche, da hier zu viel Feuchte anfällt.

Diese wenigen Beispiele können nur andeuten, dass es vielfältige Möglichkeiten gibt, ein angenehmes Innenklima mit der Unterstützung technischer Anlagen bereitzustellen. In [L17] sind die Eigenschaften und die Effizienz verschiedener Techniken zum Kühlen auch mit Entfeuchtung mithilfe von Simulationsmodellen verglichen.

### 2.5.2 Priorität der „passiven“ Lösungen

Konventionelle Bauten werden häufig zunächst ohne jede Rücksicht auf die thermischen Eigenschaften des Gebäudes geplant, beispielsweise mit zu großen Verglasungsflächen und mit geringer wirksamer Speichermasse. Diese „Fehlkonstruktion“ muss dann mit umfangreicher Technik und unter hohem Energieeinsatz aufwendig und teuer korrigiert werden.

Werden dagegen die thermischen Eigenschaften des Baukörpers von Beginn der Planung an optimiert, wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben, so zahlt sich das in mehrfacher Weise aus. Es werden kleinere technische Anlagen benötigt, Teile können ganz wegfallen, damit werden Investitionskosten eingespart. Zusätzlich sinken der Energiebedarf für die Klimatisierung des Gebäudes und damit die Betriebskosten. Letztendlich wird das Gebäude im Betrieb weniger abhängig von der korrekten Funktion der Anlagen, so dass



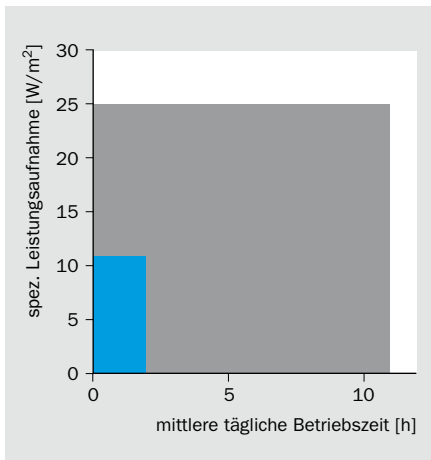


Bild 34: Vergleich des elektrischen Energieverbrauchs einer elektrisch effizienten mit einer sehr ineffizienten Beleuchtung

Störungen in der Gebäudetechnik weniger Auswirkungen auf das Innenklima haben.

Auch bei Priorität der „passiven“ Lösungen ist es sinnvoll, die technischen Anlagen schon frühzeitig einzuplanen. So müssen beispielsweise Kanäle für Lüftungsanlagen vorgesehen werden, wobei sich geringe Querschnitte und eine Vielzahl von Krümmungen ungünstig auf den Lüftungsenergieverbrauch auswirken. Es muss genügend Raum für Technikzentralen vorgesehen werden. Bei Bauteiltemperierung müssen die Rohrleitungen bereits dimensioniert sein.

**Thermisch optimierte Baukörper (passive Lösung) mit hoher wirksamer Speichermasse lassen das Gebäude „gutmütig“ reagieren. Es ist weniger störanfällig und verursacht weniger Investitions-, Betriebs- und Energiekosten.**

**2.6 Elektrische Energie**

**2.6.1 Die Rolle der elektrischen Energieverbraucher**

In vielen Bürogebäuden dominiert der Strom den gesamten Energieverbrauch. Dabei ist es auf dreifache Weise nützlich, Strom nicht zu verbrauchen, wann immer dies möglich ist:

- Strom ist eine relativ teure Energie. Den Verbrauch niedrig zu halten, ist oft eine sehr wirkungsvolle Methode, um die Betriebskosten zu senken. Häufig kann eine vergleichsweise kleine Investition eine beachtliche Reduzierung des Stromverbrauchs bewirken, so dass ein Gewinn in den Gesamtkosten entsteht.

tion eine beachtliche Reduzierung des Stromverbrauchs bewirken, so dass ein Gewinn in den Gesamtkosten entsteht.

- Strom nicht zu verbrauchen, reduziert die Belastungen für die Umwelt und das globale Klima. Denn Strom wird sehr ineffizient erzeugt. Nur ein Drittel der Primärenergie (Gas, Kohle, Uran) wird in Deutschland bei der Stromerzeugung genutzt. Ausgenommen davon ist nur der bisher prozentual geringe Anteil des in Kraft-Wärme-Kopplung oder regenerativ erzeugten Stroms.

- Strom nicht zu verbrauchen, bringt auch thermischen Nutzen. Denn nahezu der gesamte im Gebäude verbrauchte Strom wird letztlich in Wärme umgewandelt. Oberflächlich betrachtet mag das im Winter als willkommene Zusatzheizung erscheinen. Diese „Heizung“ ist aber nicht nur energetisch ineffizient und teuer, sondern zudem nicht nach dem Heizbedarf steuerbar. Vielfach bleiben diese „inneren Wärmequellen“ auch im Sommer bestehen und sind Mitursache eines zu warmen Innenklimas oder gar Grund für eine Klimaanlage, die zusätzlichen Strom verbraucht.

**2.6.2 Reduzierung des Stromverbrauchs**

Drei Ansätze können genutzt werden, um einen geringen elektrischen Energiebedarf zu bewirken:

- Zunächst sollte geprüft werden, ob ein Energieverbraucher bei guter Planung wegfällt oder durch eine einfachere und sparsamere Anlage ersetzt werden kann, etwa eine Kältemaschine durch passive Klimatisierungsmaßnahmen (Wärmespeicherung, thermische Bauteilaktivierung).
- Dann gilt es, Anlagen und Geräte effizient auszuwählen und zu dimensionieren, beispielsweise durch großzügig dimensionierte Lüftungskanäle.
- Schließlich können die Betriebszeiten optimiert werden.

Anhand eines Beispiels zur Bürobeleuchtung wird die Wirkung von Anschlussleistung und Betriebszeiten auf den Energiebedarf schnell deutlich, Bild 34. Eine effiziente Beleuchtung entsprechend dem Leitfaden „Elektrische Energie im Hochbau“ [P4] liefert 500 Lux Beleuchtungsstärke. Dank guter Tageslichtnutzung beträgt hier die mittlere tägliche Betriebszeit nur zwei Stunden, woraus ein Energiebedarf von 5,5 kWh/m²a resultiert. Eine ineffiziente Beleuchtung ent-

spricht alten Lampentypen in Leuchten mit geringem Wirkungsgrad und konventionellem Vorschaltgerät. Das Tageslicht wird hier nicht nennenswert genutzt, so dass die Beleuchtung täglich für elf Stunden in Betrieb ist. Der Energiebedarf beträgt hier 69 kWh/m²a, also mehr als das Zwölfwache des Bedarfs für die effiziente Beleuchtung.

Ausführlich ist das Thema des effizienten Stromeinsatzes im Leitfaden „Elektrische Energie im Hochbau“ [P4] erörtert. Der basiert auf der SIA 380/4 [L18] und ist deutschen Verhältnissen angepasst. Zusätzlich enthält er ausführlich beschriebene Berechnungswege und Planungshinweise.

**Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs**

1. Prüfen, ob Stromverbraucher sich durch andere Lösungen ersetzen lassen, die bei weniger Primärenergieverbrauch einen gleichwertigen Nutzen bringen.
2. Energetisch effiziente Anlagen und Geräte einsetzen.
3. Die Betriebszeiten der Anlagen und Geräte gering halten.

**3. QUALITÄTSSICHERUNG UND BEWERTUNG**

**3.1 Qualität in der Planung und im Bauprozess**

**3.1.1 Qualität beginnt am Anfang**

Die Sicherung der Qualität eines Gebäudes beginnt ganz am Anfang der Planung, indem zuerst die angestrebten Gebäudeeigenschaften festgelegt werden. Dies kann in Form eines Zielkatalogs geschehen, der auch als Grundlage für die Auftragsvergabe an Planer und Ausführende verwendet werden kann.

Die Ziele betreffen verschiedene Aspekte des Gebäudes. Eine wichtige Kategorie ist die geplante Nutzungsart, die wesentlich bestimmt, wie das Gebäude gestaltet werden soll. Je genauer die Nutzungsart spezifiziert ist, umso besser können die Gebäudeeigenschaften darauf abgestimmt werden. Andererseits ist es wahrscheinlich, dass sich die Nutzung im Laufe der langen Lebensdauer des Gebäudes wandelt. So ist die Büroarbeit zu Beginn des 21. Jahrhunderts sehr durch die Eigenschaften der verwendeten PCs geprägt, beispielsweise die Blendempfindlichkeit der Monitore.

Dies sieht möglicherweise bei zukünftigen Ein-/Ausgabe-Geräten ganz anders aus. Da solche Entwicklungen nur sehr beschränkt vorhersehbar sind, lassen sie sich nur berücksichtigen, indem die Nutzungsart nicht in allen Details festgeschrieben, sondern ein gewisser Spielraum gelassen wird.

Neben der Nutzungsart werden sinnvollerweise weitere Ziele festgelegt, die beispielsweise die Komfortbedingungen und den Energiebedarf betreffen. Dabei kann auch unterschieden werden zwischen Zielen, die zwingend einzuhalten sind, und solchen, die anzustreben sind. Das kann besonders bei Wettbewerben und Ausschreibungen von Nutzen sein, um damit einen Wettstreit um die bessere Qualität auszulösen.

Bezogen auf Büroarbeitsplätze kann ein Zielkatalog beispielsweise u.a. folgende Punkte enthalten:

- die Fläche pro Arbeitsplatz
- Arbeit soll sowohl ungestört einzeln als auch kommunikativ möglich sein
- die Arbeit soll weitgehend bei Tageslicht möglich sein
- Anforderungen an Lichtqualität
- Anforderungen an Blendfreiheit
- Anforderungen an die Raumakustik, insbesondere in Besprechungs- und Konferenzräumen
- persönliche Arbeitsgeräte (z.B. PCs) bis z.B. 100 W Wärmeabgabe sollen möglich sein
- Temperatur- und Feuchtgrenzen für das thermische Innenklima mit einer maximalen Überschreitungshäufigkeit.
- Grenz- und Zielwert für den Primärenergiebedarf des Gebäudebetriebs

und vieles mehr ...

### 3.1.2 Bewertung und Kriterien

Damit die Ziele sich als Qualitätsmaßstab eignen, müssen sie so präzisiert werden, dass sie während Planung und Bau sowie bei Bauabnahme und Inbetriebnahme überprüft werden können. Damit diese Überprüfung möglich ist, müssen die Ziele mit geeigneten Kriterien und Bewertungsmaßstäben versehen werden.

Soll beispielsweise ein Neubau den Passivhaus-Standard erfüllen, so sind mit diesem Standard bereits eine Reihe von Kriterien festgelegt [P15]. Der Passivhaus-Standard ist kein amtlicher Standard mit gesetzlicher Grundlage, er eignet sich jedoch gut als Beispiel dafür, wie sich mit wenigen Kriterien ein energetisch hochwertiger Gebäudestandard definieren lässt. Zu diesen Kriterien gehört unter anderem eine Obergrenze für den Jahresheizwärmebedarf. Damit dieser sich während der Planung vorläufig überprüfen lässt, ist ein Wärmebilanzberechnungsverfahren vorgesehen, mit dem eine Prognose des Jahresheizwärmebedarfs aufgrund von Planungsdaten möglich ist. Auf solche Verfahren wird im Abschnitt „Bewertungsmethoden“ näher eingegangen.

### 3.1.3 Qualifikation, Erfahrung und Kooperation in der Planung

Der Versuch, die Qualität eines Gebäudes bis ins letzte Detail in überprüfbare Kriterien aufzulösen, würde zu einem unüberschaubar umfangreichen und nicht mehr handhabbaren Zielkatalog führen. Es ist besser, Ziele eher einfach und grundlegend zu formulieren und Ausführungsdetails offen zu lassen.

Um dennoch eine hohe Qualität in der Umsetzung zu erreichen, ist eine hohe Qualifikation und Erfahrung der im Planungsteam Beteiligten – Architekten, Fachplaner und ggf. Sonderfachleute – gefordert. Eine wichtige Rolle dabei spielt



Bild 35: Mit dem Blower-Door-Test wird die Luftdichtigkeit geprüft.

– entsprechend dem Zusammenwirken der verschiedenen Aspekte in einem Gebäude – der Austausch und die Kooperation der Beteiligten, die von Beginn des Planungsprozesses an im Austausch stehen und die verschiedenen Aspekte im Bauteam „personell vertreten“.

### 3.1.4 Ausführung und Inbetriebnahme

Die beste Planung nutzt wenig, wenn sie nicht adäquat umgesetzt wird. Die Bauüberwachung hat die wichtige Aufgabe, zu prüfen, ob die Ausführung formell der Planung entspricht, und auch, ob sie den Qualitätszielen gerecht wird. Als energie-relevante Beispiele seien die Minimierung der Wärmebrücken und die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle genannt. Letztere lässt sich noch während des Bauens mit einer „Blower-Door“-Messung prüfen.

In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, dass bei der Auftragsvergabe nicht immer der günstigste Anbieter letztlich zu den geringsten Kosten führt. Eine qualitativ hochwertige Ausführung zu etwas höheren Baukosten kann insgesamt die „preiswerteste“ Alternative sein.

Bei der Inbetriebnahme eines Gebäudes gilt es insbesondere, für eine korrekte Funktion der technischen Anlagen zu sorgen. Damit ist nicht nur gemeint, dass diese von außen gesehen funktionieren, sondern auch, dass dies in optimierter Weise geschieht, beispielsweise mit dem geringsten möglichen Energieverbrauch. Bei komplexen Steuerungen können Programmierfehler leicht zu „suboptimaler“ Funktion führen.

Einige zusätzliche Unterzähler und Messpunkte und insbesondere der kritische Blick auf deren Messwerte können bei der Identifikation von u.U. in den Betriebskosten teuren Fehlfunktionen sehr hilfreich sein, so dass der relativ geringe Mehraufwand sich schnell bezahlt machen kann.

### 3.2 Bewertungsmethoden

Insbesondere die quantitativen Ziele eines Bauprojekts, wie komfort- oder energiebezogene Ziele, benötigen geeignete Bewertungs- und Berechnungsmethoden, um überprüfbar zu sein.

Viele Bewertungsmethoden sind sehr ausführlich in Normen und Richtlinien beschrieben. Hier werden stellvertretend einige elementare Methoden skizziert, um deutlich zu machen, wie eine Bewertung funktionieren kann.

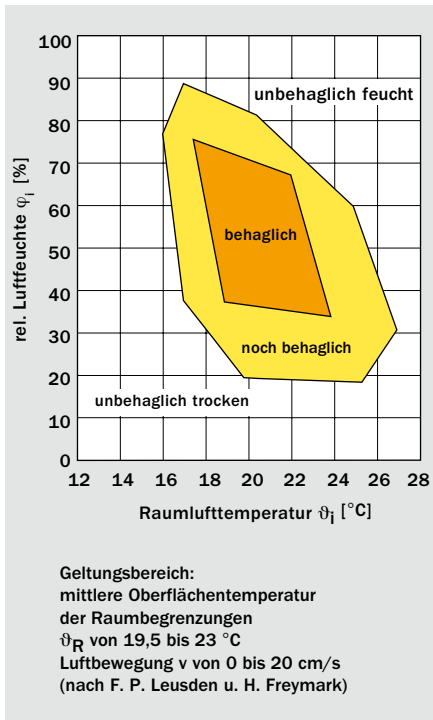


Bild 36: Behaglichkeitsfeld des Menschen in geschlossenen Räumen in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte [L19]

### 3.2.1 Behaglichkeitsmodelle

Behaglichkeitsmodelle dienen dazu, die Wirkung einer klimatischen Umgebung auf die Menschen zu modellieren, etwa des thermischen Innenklimas auf die Nutzer eines Gebäudes.

Die einfachsten Modelle definieren empirisch ermittelte „Behaglichkeitsfelder“ in Parametern wie Luft- und Strahlungstemperatur, Feuchte, Luftbewegung usw., Bild 36. Solche Behaglichkeitsfelder sind meist etwas „starr“, da sie nur unter den bestimmten Bedingungen der empirischen Ermittlung zutreffen.

Differenziertere Modelle berücksichtigen, dass die Behaglichkeit nicht nur von der Umgebung, sondern auch von der Art der Nutzung und von der Jahreszeit abhängt, vorwiegend über die Kleidung, Bild 37.

Per Ole Fanger hat ein solches Modell entwickelt, das die Menschen mit einem Aktivitätsgrad und einem Bekleidungswert beschreibt und damit an verschiedene Nutzungsarten und an Jahreszeiten angepasst werden kann. Das thermische Innenklima wird mit den Größen Luft- und Strahlungstemperatur, Luftfeuchte und Luftbewegung beschrieben. Dieses Modell ist Grundlage der internationalen Norm DIN EN ISO 7730 [L20].

Für Büroarbeit (Aktivität = 1,2 met) ergibt das Modell bei 50 % relativer Luftfeuchte und vernachlässigbar geringer Luftbewegung für Personen mit winterlicher Innenbekleidung (1,0 clo) einen optimalen Bereich der operativen Temperatur von 20 bis 24 °C, bei sommerlicher Innenbekleidung (0,5 clo) von 23 bis 26 °C. Dabei beschreibt die operative Temperatur den Mittelwert aus Lufttemperatur und mittlerer Strahlungstemperatur (etwa

der mittleren Temperatur der sichtbaren Oberflächen).

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass das Fanger-Modell die Wahrnehmung der Nutzer in rein technisch klimatisierten Gebäuden gut wiedergibt. In frei belüfteten Gebäuden sind die Nutzer offenbar toleranter gegenüber den für die Jahreszeit typischen Temperaturen, vgl. Bild 38. Mit anderen Worten: Die ISO 7730 beurteilt das Innenklima strenger, als die Nutzer es tun, wenn sie z.B. mit dem Öffnen von Fenstern Einfluss darauf haben. Ein neuer Normungsansatz aus den Niederlanden versucht dem Rechnung zu tragen [L21].

### 3.2.2 Simulation von Gebäudeeigenschaften

Mit Simulationsmodellen lassen sich recht gute Prognosen verschiedener Gebäudeeigenschaften erstellen. Diese Prognosen ermöglichen dann bereits in der Planung eine Bewertung dieser Eigenschaften.

Beispielsweise kann eine dynamische thermische Simulation den zeitlichen Verlauf von Innentemperaturen für ein ganzes Jahr berechnen. Mit diesem Ergebnis kann ein Behaglichkeitsmodell auf alle Betriebsstunden des Gebäudes angewendet werden.

Für eine Simulation müssen alle Bauteile in das Computermodell eingegeben werden, die das thermische Verhalten bestimmen. Dazu gehören neben allen Außenbauteilen mit jeweiligem Schichtaufbau auch die speicherfähigen Bauteile, wie schwere

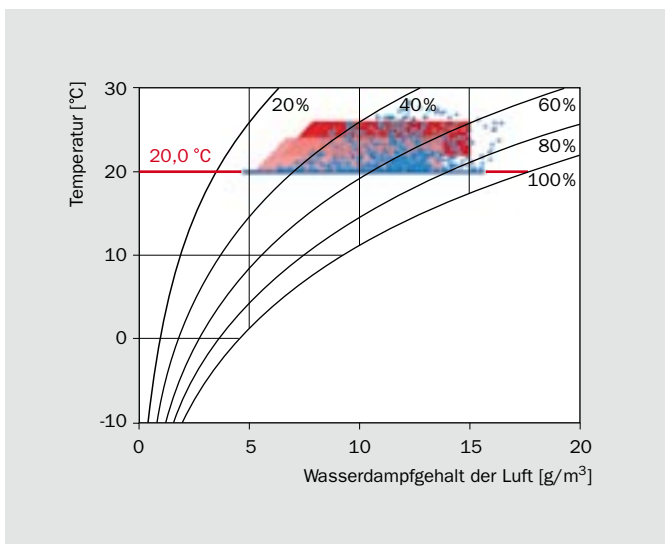


Bild 37: Bewertung des thermischen Innenklimas mit einem einfachen Behaglichkeitsmodell

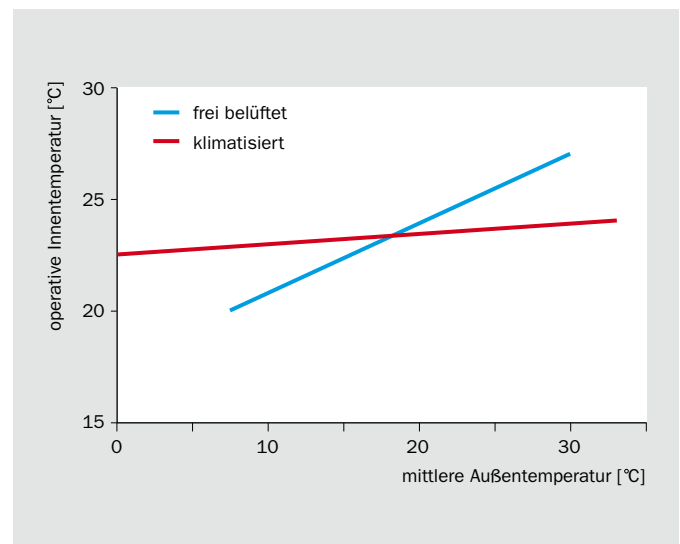


Bild 38: Trendlinien für das unterschiedliche Behaglichkeitsempfinden bei technisch klimatisierten und bei frei belüfteten Gebäuden [L21]





Bild 39: Geometriemodell eines einfachen Bürogebäudes in einer Simulationssoftware

Wände und Decken. Die Geometrie des Baukörpers mit Fenstern sowie umliegenden Hindernissen ist erforderlich, damit die Besonnung und Verschattung sowie die solaren Wärmegewinne realistisch in die Rechnung eingehen. Das Rechenmodell wird dann einem virtuellen Außenklima in Form eines meteorologischen Referenzjahres ausgesetzt. Rechenergebnis ist dann die Reaktion des Gebäudes auf das virtuelle Wetter. Wichtige technische Anlagen, wie z.B. die Heizung (mit virtueller Regelung auf Solltemperatur), werden mitberechnet, so dass auch der Heizenergiebedarf und die maximal erforderliche Heizleistung aus den Ergebnissen abzulesen sind.

Meist ist es nicht notwendig, jeden Innenraum einzeln zu simulieren. Räume mit ähnlichen Eigenschaften, also gleichartiger Nutzung und ähnlicher Besonnung, können zu jeweils einer „Zone“ zusammengefasst werden. Bei einem Büroriegel, dessen Hauptfassaden nach Nord und Süd weisen, kann beispielsweise bei einheitlicher Nutzung pro Etage in die Zonen Büro-Nord, Büro-Süd, Endbüro-Ost, Endbüro-West und Verkehrszone unterteilt werden. Bei unterschiedlicher äußerer Verschattung kann eine zusätzliche Unterteilung notwendig werden. In manchen Fällen lässt sich Aufwand sparen, indem nicht das gesamte Gebäude, sondern nur wenige thermisch besonders kritische Räume, etwa solche mit besonders großer Verglasungsfläche, simuliert werden.

Einfache thermische Simulationen mit Heizung, Lüftung und ggf. Kühlung über ein Modelljahr benötigen auf heutigen PCs wenige Minuten pro modellierter „Zone“. Der Zeitaufwand für das Erstellen des Modells übersteigt die eigentliche Rechenzeit meist bei weitem.

Simulationsmodelle können aber auch sehr umfangreich werden und erheblichen Rechenaufwand bedingen – beispielsweise

wenn thermisch angetriebene Luftströmungen innerhalb großer Räume, wie Atrien, berechnet werden.

In der Planungspraxis gilt es im Einzelfall, den Aufwand einer Simulation in Relation zum erwarteten Nutzen zu setzen. Um den Heizwärmebedarf zu ermitteln, ist sie fast immer überflüssig. Sie kann aber hilfreich sein, um vorab zu entscheiden, in welcher Weise ein Gebäude klimatisiert werden soll.

### 3.2.3 Wärmebilanzen

Die Wärmebilanz ist ein einfaches Verfahren, in dem alle Wärmegewinne und Wärmeverluste eines Gebäudes unter der Annahme einer bestimmten Innentemperatur aufsummiert werden. Als Bilanzzeitraum sind sowohl eine Heizperiode (Jahresverfahren) als auch die einzelnen Monate (Monatsverfahren) üblich. Eine Wärmebilanz erlaubt sowohl eine Beurteilung des winterlichen Wärmeschutzes eines Gebäudes als auch eine Prognose des zu erwartenden Heizwärmebedarfs.

Eine besondere Qualität einer Wärmebilanz ist es, dass schon mit einem sehr einfachen Verfahren (Bild 41) die Möglichkeit besteht, die Beiträge einzelner Bauteile

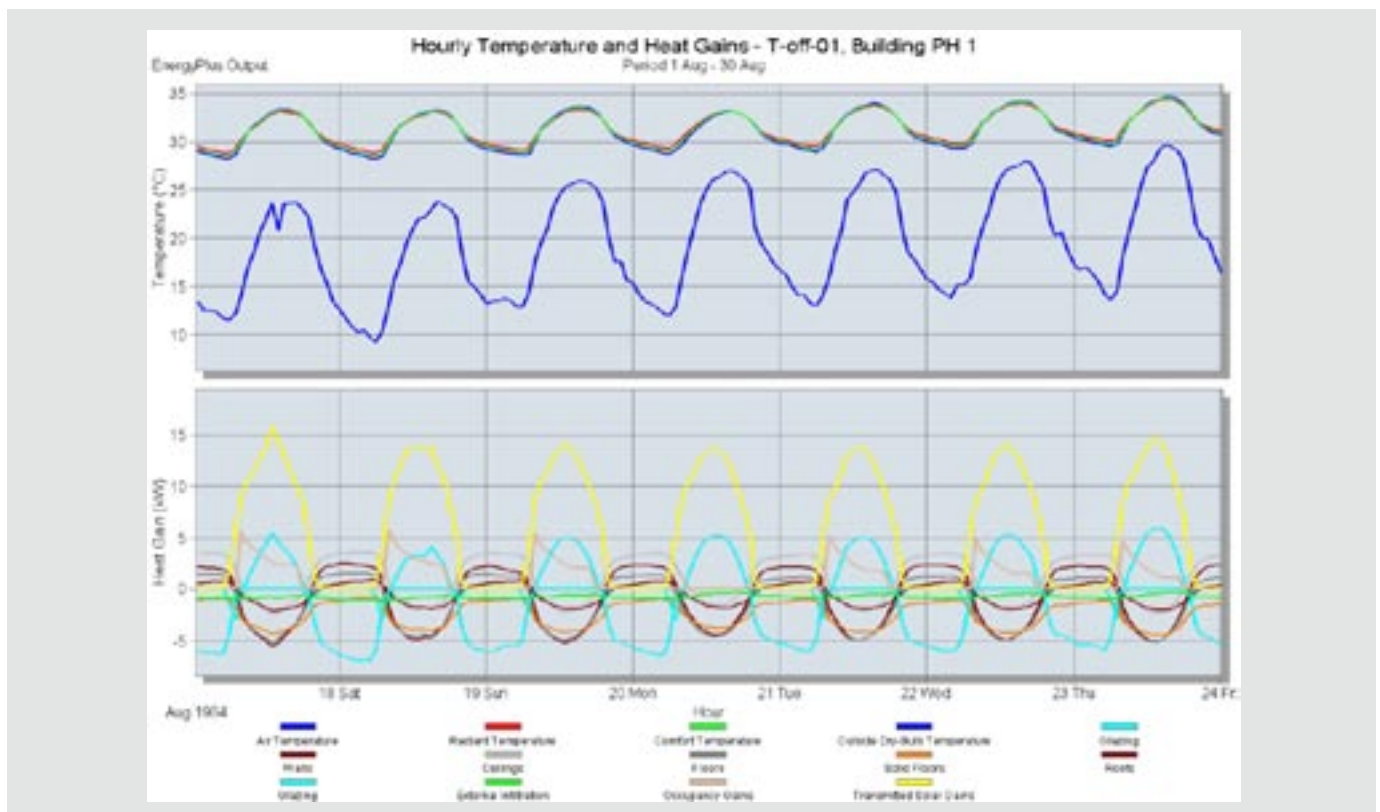
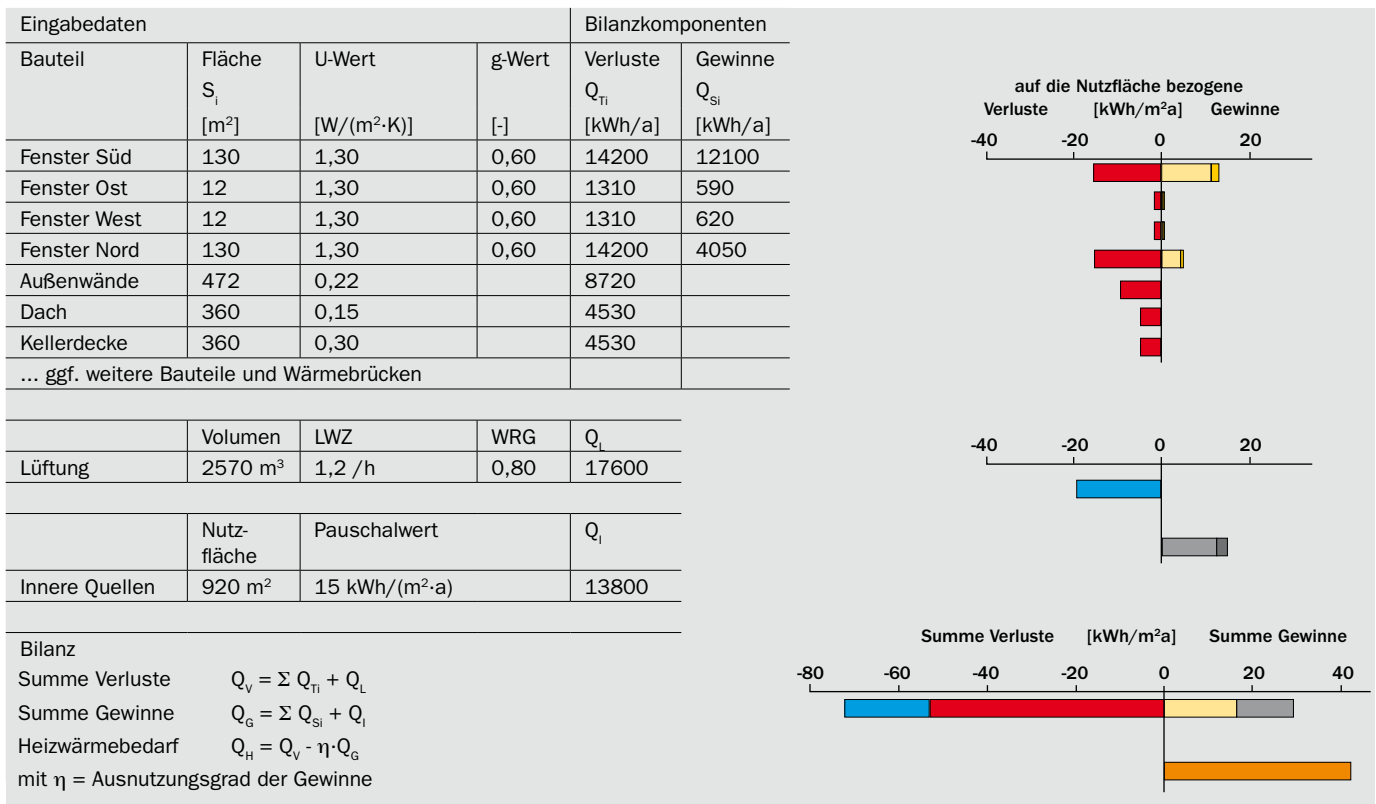


Bild 40: Grafische Ausgabe von Simulationsergebnissen für eine Sommerwoche, hier ein Beispiel mit unzureichendem Sonnenschutz, gerechnet mit meteorologischen Testdaten aus dem Jahr 1984

Bild 42: Die Beiträge der einzelnen Komponenten zur Jahreswärmebilanz in vereinfachter Darstellung, am Beispiel eines Büroriegels



zur Bilanz zu identifizieren, und damit zu erkennen, wo Verbesserungen von besonderem Nutzen sind.

Ein detailliertes Wärmebilanzverfahren ist in Teil 2 der neuen DIN V 18599 [L22] beschrieben, die in Zukunft als Nachweisverfahren für Nichtwohngebäude verbindlich sein wird.

### 3.2.4 Energetische Bewertung

In der energetischen Bewertung wird der *Energiekonsum* des Gebäudes systematisch untersucht. Wenn dies als Prognose aufgrund der Gebäude- und Nutzungsdaten geschieht, werden die Resultate als *Energiebedarf* bezeichnet. Die tatsächlich gemessenen Werte heißen *Energieverbrauch*.

Der bei fast allen bisherigen Gebäuden bei weitem dominierende Anteil des Energieverbrauchs ist durch den Betrieb des Gebäudes bedingt, also durch Heizen, Beleuchten, Lüften usw. In den Baumaterialien und im Bauprozess wird ebenfalls Energie in das Gebäude „eingebaut“. Diese wird als *Herstellungsenergie* oder auch als *graue Energie* bezeichnet. Daneben

Tafel 6: Bilanzierung des Betriebsenergiebedarfs eines Bürogebäudes (einige wichtige Anteile sind explizit aufgeführt)

Energiedienstleistung	Nutzenergie $Q_b$	Endenergie $Q_f$	Primärenergie $Q_p$	Berechnungsverfahren
Raumwärme	Heizwärmebedarf $Q_{b,h}$ aus einer Wärmebilanz oder therm. Simulation	Heizenergiebedarf $Q_{f,h}$ aus Anlagenbilanz od. Anlagensimulation	$Q_{p,h}$	[L22] Teile 2, 5, ggf 3, 7 oder [L24] bzw. [P17] oder Simulation
Beleuchtung	Licht	Beleuchtungsenergie $Q_{f,l}$ aus Beleuchtungsberechnung	$Q_{p,l}$	[L22] Teil 4 oder [P4] oder Softwareverfahren: z.B. [P5] in [P18]
Lüftung	Luftförderung	Lufttransportenergie $Q_{f,v}$	$Q_{p,v}$	[L22] Teil 3 oder [P4] oder Simulation
Raumkühlung	Kältebedarf $Q_{b,c}$	Kühlenergiebedarf $Q_{f,c}$	$Q_{p,c}$	[L22] Teile 3, 7 oder [P4] oder Simulation
weitere „xy“	weitere Anteile $Q_{b,xy}$	$Q_{f,xy}$	$Q_{p,xy}$	
gesamter Primärenergiebedarf:			$Q_{p,ges}$	Primärenergie nach [P4] oder [L22] Teil 1

Anmerkung: - Die Indizes der Bilanzanteile  $Q$  sind angelehnt an DIN V 18599 gewählt.

- Verschiedene Berechnungsverfahren sind auch als Softwarelösung erhältlich, bzw. zur neuen DIN V 18599 in Zukunft zu erwarten.

induziert ein Gebäude externe Energieverbräuche, wie der durch die Standortwahl und die örtliche Infrastruktur bestimmte Verkehrsenergieverbrauch der Gebäudenutzer.

Im Folgenden wird die Betrachtung auf die Betriebsenergie konzentriert, wo mit geschickter Planung die größten Einsparungen gegenüber konventionellen Gebäuden zu erreichen sind.

Die einzelnen Anteile der Betriebsenergie sind durch *Energiedienstleistungen* bedingt, beispielsweise der Heizenergiebedarf durch die Dienstleistung Raumwärme. Dazu wird dem Gebäudeinneren eine *Nutzenergie* zugeführt, im Beispiel die Heizwärme. Die Nutzenergie wird durch Umwandlung aus einer *Endenergie* gewonnen, die an das Gebäude „angeliefert“ wird, wie etwa Erdgas, Erdöl oder Strom. Diese werden wiederum aus *Primärenergie*-Quellen gewonnen, mit weiteren Prozessen wie Förderung, Umwandlung und Transport.

Die Prozesse (Umwandlung usw.) sind in der Regel mit Verlusten behaftet, die durch *Nutzungsgrade*  $\eta$  beschrieben werden, die den nach dem Prozess verbleibenden Energieanteil angeben.

Besonders hoch sind diese Verluste bei der Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken. Bei sehr alten Kraftwerken beträgt der Nutzungsgrad der Primärenergie unter 30 %, bei modernen Kraftwerken über 45 %. Insgesamt wird bei der Bereitstellung von Strom im deutschen „Mix“ nur rund ein Drittel der Primärenergie genutzt, zwei Drittel gehen als Abwärme verloren. Mit diesen Primärenergie-Faktoren lässt sich aus einem Endenergiebedarf der entsprechende Primärenergiebedarf berechnen. Einige Werte, berechnet mit [P16], aus [L23]:

Erdgas H	1,14
Heizöl EL	1,11
Strom-Mix (D)	2,99

In Tafel 6 sind die Berechnungsschritte für wichtige Anteile des Betriebsenergiebedarfs eines Bürogebäudes und zugehörige Berechnungsverfahren zusammengestellt. Neben der neuen DIN V 18599 [L22], die in Zukunft das verbindliche Rechenverfahren sein wird, sind in Tafel 6 auch einige andere Verfahren aufgeführt, die zwar weniger Details berücksichtigen, sich deshalb aber teilweise besser für eine schnelle Ermittlung des ungefähren Energiebedarfs eignen.

Der resultierende Primärenergiebedarf eignet sich als Kriterium, um die energetische Qualität eines Gebäudes zu bewerten. Als Maßstab können Grenz- und Zielwerte gesetzt werden. Dabei soll ein Grenzwert in jedem Fall eingehalten werden, ein Zielwert soll durch optimierte Planung und Ausführung angestrebt werden. Solche Grenz- und Zielwerte sind in [L24], [L18] und in [P4] auch für verschiedene Anteile des Betriebsenergiebedarfs standardisiert. Die Energieeinsparverordnung setzt nur Grenzwerte.

Als Beispiel für eine anspruchsvolle „state of the art“-Vorgabe – eine Art weiterentwickelter Passivhaus-Standard für Bürogebäude – kann bei einem Neubau ein Primärenergiebedarf für den gesamten Gebäudebetrieb (Heizen, Beleuchten, Lüften, ggf. Klimatisieren) gefordert werden, vgl. [L25], von:

Grenzwert:	100 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Zielwert:	75 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)

Dass diese Werte bei normalen Baukosten erreicht und unterschritten werden können, haben gebaute und messtechnisch untersuchte Beispiele gezeigt [L26].

In dieser Checkliste sind einige wichtige Punkte zusammengestellt, die es bei der Planung zu beachten gilt

Thema	Gesichtspunkte	Hinweise, Orientierungswerte	Bemerkungen
Tageslicht-orientiert planen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tageslicht auf der Arbeitsfläche</li> <li>– Sicht nach Außen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster von Oberkante Schreibtisch bis sturzfrei unter die Decke</li> <li>– Arbeitsplätze fensternah</li> </ul>	– bedeckten Himmel besonders beachten
Sommerliche Überwärmung verhindern	<ul style="list-style-type: none"> <li>– solare Gewinne begrenzen</li> <li>– innere Gewinne senken</li> <li>– speicherfähig bauen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mit Sonnenschutz <math>g &lt; 0,15</math></li> <li>– ohne Sonnenschutz <math>\tau &gt; 0,60</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tageslichtversorgung bei aktiviertem Sonnenschutz</li> <li>– Speicherfähige Wände und Decken großflächig offen</li> </ul>
Winterliche Wärmeverluste minimieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wärmedämmung der Gebäudehülle</li> <li>– Wärmebrücken vermeiden</li> </ul>	z.B. $U_{\text{Wand}} = 0,15 \dots 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $U_{\text{Dach}} = 0,1 \dots 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $U_{\text{Fenster}} = 0,7 \dots 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	– wirkt sich auch positiv auf das Innenklima aus
Bedarfsgerecht lüften	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Frischluftbedarf Menschen</li> <li>– feuchteabhängig lüften</li> <li>– Wärmeüberschuss weglüften</li> </ul>	– Frischluft ca. 25 m <sup>3</sup> /(h·Pers.) feucht → mehr; trocken → weniger	– Schadstoffemissionen in Innenräumen reduzieren
Mit Gebäudetechnik unterstützen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Heizanlage</li> <li>– Lüftung und Wärmeabfuhr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– auf effiziente Antriebe achten</li> <li>– Leitungsnetze auf geringen Strömungswiderstand optimieren</li> </ul>	– zuerst den Baukörper optimieren (Sonnenschutz, Speichermassen usw.), dann die Anlagen auslegen
Elektrischen Energiebedarf minimieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beleuchtung, Lüftung, andere Haustechnik</li> <li>– Büroausstattung, Computer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beleuchtung Tageslicht- und Präsenz-abhängig steuern</li> <li>– energieeffiziente Computer</li> </ul>	– hilft zugleich, sommerliche Überwärmung zu vermeiden



**Literatur**

[L1] Kalksandstein. Das Passivhaus. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover 2006

[L2] DIN 5034: Tageslicht in Innenräumen

[L3] DIN EN 12464: Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen

[L4] Nitz, P.: Schaltbare Gläser, in [L27], S. 253 ff.

[L5] Balcomb, J. D. (Ed.): Passive Solar Buildings, Cambridge MA: MIT-Press, 1992, S. 194 f.

[L6] DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden

[L7] DIN EN ISO 13786: Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch thermische Kenngrößen (Entwurf)

[L8] Pafferott, J.: Wärmeabfuhr durch Nachtlüftung, in [L27], S. 95 ff.

[L9] Pafferott, J.; Reise, C.: Luft-Erdregister, in [L27], S. 108 ff.

[L10] KS-Quadro e.V. (Hrsg.): KS-Quadro E im Klimahaus, Durmersheim 2005

[L11] DIN EN ISO 10211-1: Wärmebrücken im Hochbau, Teil 1: Wärmeströme und Oberflächentemperaturen (Entwurf)

[L12] Neufassung der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 7. Dez. 2004. BMWi, BMVBW, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004 Teil I Nr. 64, S. 3146-3162

[L13] DIN EN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert)

[L14] Pistohl, W.: Handbuch der Gebäudetechnik, Bd. 1: Sanitär, Elektro, Förderanlagen, Bd. 2: Heizung, Lüftung, Energiesparen, Düsseldorf, 2004 und 2005

[L15] Tagungsbände zu den Passivhaustagungen, erscheinen jährlich, Hrsg. Passivhaus-Institut, Darmstadt, www.passiv.de

[L16] Voss, K.; Treiber, M.: Bauteiltemperierung, in [L27], S. 100 ff.

[L17] Pfluger, R.: Technologien zur energieeffizienten Raumkühlung: passiv, hybrid, aktiv, in: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 31: Energieeffiziente Raumkühlung, Hrsg. Feist, W., Passivhaus-Institut, Darmstadt 2005, www.passiv.de

[L18] SIA 380/4 – Schweizer Norm: Elektrische Energie im Hochbau

[L19] Biasin, K.: RWE Energie Bau-Handbuch, 12. Ausgabe, VWEV Energie Verlag, Heidelberg 1998

[L20] DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit

[L21] Hellwig, R.T.: Komfortforschung, in [L27], S. 220 ff.

[L22] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden, Teile 1 bis 10.

[L23] Großklos, M.: Primärenergiefaktoren von Energieträgern (Kumulierter Energieaufwand verschiedener Energieträger und -versorgungen), unter: www.iwu.de

[L24] SIA 380/1 – Schweizer Norm: Thermische Energie im Hochbau

[L25] Hennings, D.; Knissel, J.: Energieeffiziente Bürogebäude, BINE-Profi-Info 2/2000, FIZ-Karlsruhe, 2000, erhältlich bei: BINE, Bonn, www.bine.info

[L26] Voss, K.: Energieverbrauch und Energiemonitoring, in [L27], S. 182 ff.

Weitere, nicht zitierte Literatur

[L27] Bürogebäude mit Zukunft, Hrsg. Voss, K.; Löhner, G.; Herkel, S.; Wagner, A.; Wambsganß, M., 2. Auflage, Berlin 2006

[L28] Planung, Konstruktion, Ausführung. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover, 4. Auflage 2003, Stand 2005

[L29] DIN 5035: Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht, die Norm wird teilweise von DIN EN 12464-1 ersetzt

[L30] Ebel, W.; Eicke-Hennig, W.; Feist, W.; Groscurth, H.: Energieeinsparung bei Alt- und Neubauten, Heidelberg, 2000.

[L31] Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, erscheint periodisch in neuer Ausgabe, zuletzt 2005/2006.

**Planungshilfen und Planungssoftware**

[P1] Dietrich, U. u.a.: Primero – Planungssoftware zur Berechnung des gesamten Primärenergiebedarfs eines Gebäudes, mit grafischer Oberfläche, siehe www.alware.de

[P2] SuperLite, „betagtes“ Rechenmodul, berechnet Tageslichtfaktoren mit der Radiosity-Methode, erlaubt komplexere Geometrien als DIN 5034.

[P3] Ward, G. u.a.: Radiance – Raytracing-Software für Licht und Beleuchtung, kann komplexe Szenen photorealistisch und zugleich physikalisch richtig berechnen, verschiedene freie und kommerzielle Benutzeroberflächen sind verfügbar, siehe <http://radsite.lbl.gov>

[P4] Hennings, D. u.a.: Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE), Hrsg. Hessisches Umweltministerium, Wiesbaden, siehe www.iwu.de

[P5] Hennings, D.: DL\_frac – Rechenmodul, berechnet die Tages- und Kunstlichtanteile mit einem einfachen, für frühe Planungsphasen geeigneten Modell, Weiterentwicklung der Methode in [P4]. Wird u.a. in [P1] verwendet. siehe www.eclim.de

[P6] SunPath – Programm zur Berechnung von Sonnenbahnen für beliebige Standorte, siehe www.eclim.de

[P7] Interaktive Online-Beratung zu Sonnenschutz-Systemen der VBG, siehe <http://vbg.de/wbt/sonnenschutz>

[P8] Parasol – Software zur thermischen Simulation eines Raums mit Fenster und detailliert modelliertem Sonnenschutz, siehe <http://parasol.se>

[P9] Wärmebrücken-katalog Kalksandstein, Datenbank-Software, siehe www.kalksandstein.de

[P10] TrnSys – Modulare dynamische Simulationssoftware für technische Anlagen, erlaubt auch ein Gebäude mit zu berechnen, sehr flexibel, vom Benutzer entwickelte Module können integriert werden. Info unter: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/default.htm>

[P11] SommLuft – Rechenblatt zur Abschätzung des Fensterluftwechsels für konkrete Fensteröffnungs-Konfigurationen, siehe www.passiv.de

[P12] Pfluger, R.: PH-Luft, einfache Software zur Berechnung von Eigenschaften von Erdwärmetauschern und Gegenstromwärmetauschern in Lüftungsanlagen, siehe www.passiv.de

[P13] Dibowski, G. u.a.: Leitfaden und Software zur Auslegung von Luft-Erdwärmetauschern, Teil 1 für Anlagen bis 1000 m³/h, Teil 2 für größere Anlagen, siehe www.ag-solar.de

[P14] Grafische Auslegung von Erdwärmetauschern (für Wohngebäude), siehe www.ag-solar.de

[P15] Feist, W. u.a.: PassivhausProjektierungspaket, Projektierungswerkzeug für Passivhäuser, siehe www.passiv.de

[P16] GEMIS – Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Datenbank und Berechnung der Umweltbelastungen durch Prozesse, Öko-Institut, siehe www.gemis.de

[P17] Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung (LEG), Hrsg. Hessisches Umweltministerium, Wiesbaden, siehe www.iwu.de

[P18] Primero Licht – auf Tageslicht und elektrische Beleuchtung beschränkte Version von [P1]. Berechnet Tageslichtfaktoren ähnlich [P2] und elektrische Ergänzungsbeleuchtung mit [P5].

Weitere, nicht zitierte Planungshilfen und Planungssoftware

[P19] BSim 2000 – Danish Building Research Institute: Software für dynamische thermische Simulation von Gebäuden einschließlich Anlagen für Heizung, Lüftung und Klimatisierung mit grafischer Oberfläche und 3D-Darstellung, kann u.a. geregelte Tageslichtversorgung berechnen, siehe www.bsimm.dk

[P20] DaySim beruht auf dem Raytracing-Modell von [P3], kann die gesamte Beleuchtung eines Büros einschließlich Sonnenschutz, geregelt elektrischem Licht und Benutzer-Zeitprofil berechnen. Ohne Benutzeroberfläche. siehe www.daysim.com, stark eingeschränkte Online-Version unter [www.buildwiz.com/lightswitch](http://www.buildwiz.com/lightswitch)

[P21] DesignBuilder – Komfortable grafische Benutzeroberfläche mit 3D-Darstellung für [P22], siehe <http://designbuilder.co.uk>

[P22] EnergyPlus – Software des Lawrence Berkeley Lab (Univ. of California) für dynamische thermische Simulation von Gebäude einschließlich Anlagen für Heizung, Lüftung und Klimatisierung, verschiedene freie und kommerzielle Benutzeroberflächen sind verfügbar; siehe www.energyplus.gov

[P23] Großklos, M.: Fenestra, Programm zur Berechnung des Fenster-U-Werts für verschiedene Kombinationen aus Rahmen und Verglasung und beliebige Fenster-Abmessungen, siehe www.iwu.de

[P24] Gradtagszahlen Deutschland – Berechnungsblatt zur Bestimmung der tatsächlichen Heizgradtage bzw. der Gradtagszahl für 42 deutsche Wetterstationen seit 1990 bis 2005, wird jährlich aktualisiert, siehe www.iwu.de

[P25] Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden, siehe www.iwu.de

[P26] Rayfront – Benutzer-Interface für [P3], erlaubt mit zusätzlicher 3D-Geometrie-Eingabe komfortable Licht-Berechnungen und komplexe Geometrien, siehe www.alware.de

[P27] TAS – Software für dynamische thermische Simulation von Gebäude einschließlich Anlagen für Heizung, Lüftung und Klimatisierung mit grafischer Oberfläche und 3D-Darstellung, siehe <http://edsl.net>

[P28] Therm – Software für zweidimensionale Wärmebrücken-Berechnung mit grafischer Benutzeroberfläche, berechnet nach ISO. siehe <http://windows.lbl.gov/software/therm>

**ARBEITEN IM PARADIES**

**Fraunhofer-Zentrum Kaiserslautern**

Das Fraunhofer-Zentrum wurde in Kaiserslautern in großer Nähe zur Universität errichtet. Beim Bau des Instituts für Experimentelles Software Engineering (IESE) und des Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) war es erklärtes Ziel, eine attraktive Arbeitsplatzsituation zu schaffen, um hochkarätige Wissenschaftler dauerhaft an diesen Standort binden zu können. Intensive Kommunikation sollte nicht nur zum universitären Bereich, sondern vor allem innerhalb der Institute geschaffen werden.

**Gebäudekonzept**

Das Gebäude gliedert sich in einen zentralen Erschließungs- und Funktionsbereich und zwei beidseitig angegliederte Bürotrakte. Der Zentralbereich des Gebäudes übernimmt neben dem Empfang im großzügigen Foyer und der Erschließung für die im Endausbau drei Institute zahlreiche weitere Funktionen: Es gibt Konferenz- und Seminarräume, Besprechungszonen in unterschiedlicher Ausprägung, verbunden mit Treppensituationen, die dem Gebäude eine besondere Prägung geben. Darüber hinaus stehen eine Mitarbeiterküche und



Reinhard Hens aus dem Büro AS Plan Architekten BDA Ermel Horinek Weber

eine Cafeteria zur Verfügung, die sehr gut angenommen werden. Ein besonderes Kennzeichen ist die integrierte Kindertagesstätte, durch die der Anspruch, Familie und Beruf zu verbinden, in bestmöglicher Form unterstützt wird: In den spezialisierten Bereichen der Fraunhofer Institute liegt die Halbwertszeit der Wissensentwicklung so niedrig, dass nach einer dreijährigen Kinderpause der Wiedereinstieg sehr schwierig ist.

Die Bürobereiche entwickeln sich beidseitig des Zentralbereichs kammförmig zu beiden Seiten. Die entstehenden Innenhöfe sind voll verglast und werden mit Rechnerabwärme geheizt. Dadurch wird das



Innenhofsituation zwischen zwei Bürotrakten

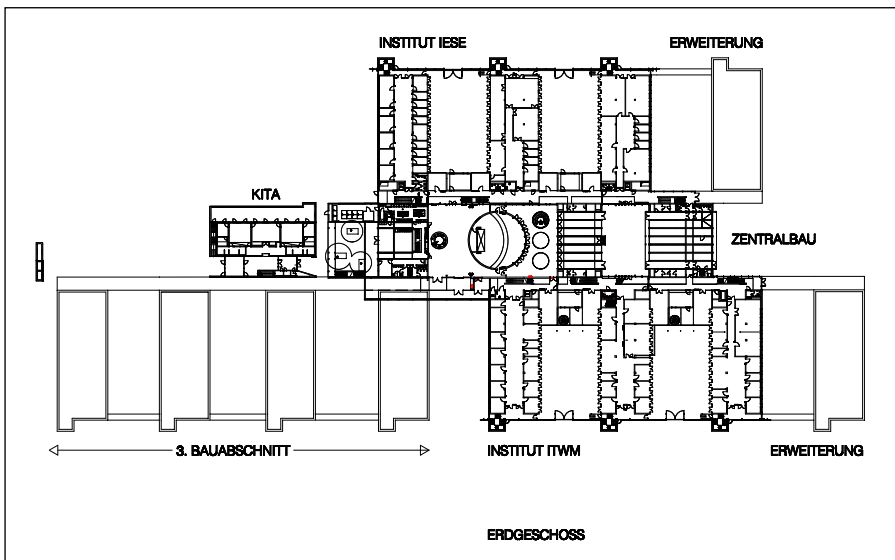


Ansicht Ost: Fraunhofer-Zentrum in Kaiserslautern





Ansicht Nord



Grundriss des Erdgeschosses



Foyer im Zentralbereich des Gebäudes

A/V-Verhältnis des Gebäudes enorm verbessert und die Wände der Büros zu den Höfen konnten in extrem kostengünstigem, 24 cm dickem Sichtmauerwerk einschalig ausgeführt werden.

Intensive Kommunikation ist auch in der Büroorganisation gefragt, so dass eine Kombibüro-Lösung gewählt wurde aus Gemeinschaftszonen und kleinen „Denkzellen“ mit 8,4 m<sup>2</sup> für eine Person und 16,8 m<sup>2</sup> bei Doppelbüros. Entgegen den förderfähigen Bürogrößen von 12 m<sup>2</sup> (1 Person) und 18 m<sup>2</sup> (2 Personen) konnte so Fläche eingespart werden, die den Kombibereichen zugeschlagen werden konnten. Dadurch entstanden kommunikative Gemeinschaftsflächen, die je nach Erfordernis von den Mitarbeitern in sehr unterschiedlicher Form genutzt werden.



**Gebäudehülle & Konstruktion**

Außenwände wurden als zweischalige Konstruktionen aus 24 cm Kalksandstein, 11 cm Wärmedämmung mit  $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , einem Luftzwischenraum von 4 cm und KS-Fasenstein-Sichtmauerwerk hergestellt. Der U-Wert beträgt  $0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Im Bürobereich wurden die Innenwände für die „Denkzellen“ in einem Raster von 2,40 m für Einzelbüros und 4,80 m für Doppelbüros erstellt.

Die Bodenplatten bestehen aus 30 cm Stahlbeton mit Dampfsperre als Bitumenbahn und 5,5 cm Estrichüberdeckung. Die Dämmung erfolgt unterhalb mit 8 cm PS-Perimeterdämmung  $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , woraus sich ein U-Wert von  $0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  ergibt.

Die Institutsdächer wurden als extensiv begrüntes Flachdach erstellt mit folgendem Aufbau: 30 cm Stahlbetondecke, Ausgleichsschicht mit Dampfsperre V60S4, darauf 4 cm bis 14 cm Gefälle-Zementestrich und zweilagige Bitumen-Dachabdichtung, darauf PS-Perimeterdämmung von im Mittel 14 cm. Der U-Wert beträgt  $0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Für die Fenster wurden Aluminium-Elemente und Pfosten-Riegel-Konstruktionen gewählt. Der  $U_w$ -Wert beträgt  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , der g-Wert 0,30. Die Verschattung erfolgt im Allgemeinen über außen liegende Raffstores. Im Lichthofbereich zwischen den Büros wurden die Glasfassaden in der Vertikalen für ca. 550 €/m<sup>2</sup> erstellt und

Bild: AS Plann





Treppe Zentralbereich



Treppendetail im Zentralbereich

die Dachverglasung inklusive Tragkonstruktion und Verschattung für ca. 1100 €/m<sup>2</sup> Konstruktionsfläche.

Die Fenster von den Büros zu den beheizten Zwischenbereichen konnten als einfachste kostengünstige Fenster ohne thermische Anforderungen erstellt werden.



**Lüftung**

Die Außenluft wird für das Gebäude über zwei gesonderte Ansaugbauwerke angesaugt. Sie wird durch ein Register aus Erdreichwärmetauschern aus zwanzig

Rohren mit einem Durchmesser von 50 cm und einer Länge von je 85 m zur Lüftungszentrale geleitet und konditioniert – im Sommer vorgekühlt und im Winter vorerwärmt. Es schließen sich Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung an, die mittels Rotationswärmetauschern einen hohen Wärmebereitstellungsgrad errei-



„Denkzelle“ im Bürobereich



Zulufrost im Innenhofbereich



Rohbau



Rohbaudetail mit Dämmung und Befestigung des Verblendmauerwerks aus KS-Fasenstein



Seminarraum

chen. Für die Büros wurde eine Auslegung der Luftleistung mit 30 m<sup>3</sup>/h durchgeführt. Für die Vortragsbereiche und einige weitere Räume wird eine Teilklimatisierung gewählt, für die Rechenzentren eine Vollklimatisierung. Die Kälteleistung wird über eine Kompressionskältemaschine und durch eine Absorptionskältemaschine bereitgestellt.



**Wärmeversorgung**

Die Wärmeversorgung erfolgt über Fernwärme und zwei Blockheizkraftwerke (BHKWs) mit jeweils 200 kW thermischer und 124 kW elektrischer Leistung. Der Strom wird in das öffentliche Netz zurückgespeist. Zugleich werden die BHKWs als Notstrom- und Notkühlaggregate eingesetzt. Sie werden im Sinn von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung in Abhängigkeit vom jahreszeit-



Dach des Innenhofbereichs



Lüftung: Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung für einen Teilbereich des Gebäudes



Heizung: Verteilung





Ansicht Süd: Eingangsseite



Eingangssituation

lichen Anforderungsprofil gefahren. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, sind sie mit einem 5000-Liter-Pufferspeicher gekoppelt, der als Pendspeicher zudem dem hydraulischen Abgleich der BHKW-Anlage dient.

Die Innenhöfe werden über Rechnerabwärme geheizt. Daraus ergeben sich analog zur Rechnerleistung für die Bereiche des ITWM Temperaturen um 20 °C und für das IESE um 16 °C.

**Resümee**

Das Konzept der Arbeitgeber und Planer scheint aufgegangen zu sein, die Atmosphäre in dem Gebäude fühlt sich für den Besucher ausgesprochen gut an. Das scheint auch für die Stimmung unter den Mitarbeitern zu gelten. Jedenfalls berichtete eine regionale Zeitung über eine Mitarbeiterin und Mutter in äußerst positiver Weise. Auf die Frage ihrer Tochter „Mama, gehst Du zur Arbeit?“ antwortete sie: „Nein ich geh ins Paradies!“

**Projektdaten**

Objekt	Fraunhofer-Zentrum, Kaiserslautern	
Ort	67663 Kaiserslautern	
Bauherr	Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München	
Architekt	AS Plan Architekten BDA Ermel Horinek Weber Projektleitung: Architekten Horst Ermel und Reinhard Hens 67655 Kaiserslautern, KL@asplan.de	
Flächen	Nettogrundfläche: 20500 m <sup>2</sup> Hauptnutzfläche: 10070 m <sup>2</sup> Nebennutzfläche: 1100 m <sup>2</sup>	Verkehrsfläche: 4110 m <sup>2</sup> Funktionsfläche: 2660 m <sup>2</sup> BRI 123000 m <sup>3</sup>
Flächeneffizienz Gebäudetechnik	Anteil der Funktionsfläche zur Nettogrundfläche: 13,0 %	
Arbeitsplätze (bzw. Nutzungskennwerte)	ca. 560 Arbeitsplätze	
Konstruktion	Zentralbereich Stahlbetonskelettbauweise Institutsbereiche Mauerwerksbau mit Stahlbetondecken/Stützen	
Außenwand (zweischalige Wand Institutsgebäude)	24 cm Kalksandstein, KS-Fasenstein-Sichtmauerwerk 11 cm Wärmedämmung, λ = 0,040 W/(m·K), 4 cm Luftschicht, 11,5 cm KS-Fasenstein, RDK 1,6, U-Wert: 0,34 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Bodenplatte Institutsbereiche	Bodenbelag Nadelvlies 5,5 cm Zementestrich als Überdeckung Hohlraumboden, 15 cm Hohlraumboden, beheizt, Bitumenbahn/Dampfsperre 30 cm tragende Bodenplatte aus Stahlbeton 8 cm PS-Perimeterdämmung λ = 0,035 W/(m·K) gem. EN 12524 5 cm Betonsauberkeitsschicht, U-Wert: 0,43 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Dach Institutsbereiche als begrüntes Flachdach	30 cm Stahlbetondecke, raumseitig gespachtelt Voranstrich, Ausgleichsschicht Dampfsperre V60S4 4–14 cm Gefälle-Zementestrich, Bitumen-Dachabdichtung, zweilagig PS-Perimeterdämmung λ = 0,040 W/(m·K) gem. EN 12524 div. Dachaufbauten (int./ext. Gründach, Terrassenplatten, Kiesschüttung), U-Wert: 0,34 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Fenster	Aluminium Element- und Pfosten-Riegel-Fensteranlagen U-Wert: U <sub>w</sub> = 1,3 W/(m <sup>2</sup> ·K), g-Wert: 0,30	
Gebäudetechnik		
Heizung	Fernwärme und Blockheizkraftwerk (Gas), Erdwärmetauscher, Wärmerückgewinnung, Nutzung der Rechnerabwärme zur Beheizung der überdachten Innenhöfe	
Warmwasser	Dezentrale Warmwasserversorgung, Elektro-Durchlauferhitzer bzw. WW-Boiler	
Lüftung, Klimatisierung	Klimaanlagen für Büros, Vortragsbereiche, Rechenzentren etc. Zusätzliche Luftkonditionierung durch Erdwärmetauscher	
Photovoltaik	Anlagentyp: Shell polykristalin blau, Herst: Saint Gobain kWpeak (kW): 11,25; jährlicher Ertrag ca. 10000 kWh	
Planung Gebäudetechnik	Haustechnik: Obermeyer Planen und Beraten, München Elektro: Ing.-Büro Jergler, Rheinstetten Statik: Ing.-Büro ISK, Kaiserslautern Außenanlagen: Ing.-Büro LAUB, Kaiserslautern	
Baukosten	nach DIN 276 inkl. MWSt.: Kostengruppe 300: Kostengruppe 400:	1963 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche 749 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche
Baujahr	November 2003 bis Dezember 2005	
Energiekennwerte		
EnEV-Berechnung	Heizwärmebedarf Wasserwärmebedarf (elektr. Energie) A/V-Verhältnis: Jahresprimärenergiebedarf	41,8 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) 2 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) 0,22 54,5 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Maßnahmen sommerlicher Wärmeschutz	Verschattungsanlagen, außen/innen liegend Nachtlüftung in Institutsbereichen (Büros) Klimatisierung Luftkonditionierung durch Erdreichkühlung	



### ZU NEUEN UFFERN!

#### Riverboat Leipzig-Plagwitz

In der Leipziger Pionierzeit erlebte Plagwitz ab 1870 eine intensive Aufbruchstimmung. Einer der Protagonisten war Karl Heine, der nicht nur zahlreiche Manufakturen errichten ließ, sondern auch die Idee der Verbindung von Elbe und Saale durch einen Kanal vorantrieb. Es hat Symbolcharakter, dass an der Einmündung des Karl-Heine-Kanals in die Elster ein ganz besonderes Projekt im Rahmen der Erneuerung dieses Stadtteils errichtet wurde. Aus einem maroden Industrie- und Arbeiterviertel wurde seit 1990 innerhalb weniger Jahre ein attraktives Quartier, das gekennzeichnet ist durch höchste Freizeitqualität direkt vor der Haustür mit Urlaubsstimmung auf den zahlreichen Wasserläufen.

Der Architekt Manfred Denda schuf mit seinem Entwurf nicht nur einen neuen Sendeort für die traditionsreiche MDR-Talkshow „Riverboat“, das Gebäude unterstützt in hohem Maß die neue Identität des Stadtteils. Es sind angenehm ruhige Besucher, die auf Flößen, Besichtigungsböten oder per Kanu mit großen Augen die Vielfalt der Plagwitzer Flusslandschaft bewundern – und sie drücken durch ihren Besuch aus, dass hier etwas Besonderes entstanden ist.



Architekt Manfred Denda, Markkleeberg



Ansicht Ost mit Umfeld

#### Gebäudekonzept

Auf einer alten Eisenbahnbrücke über den Karl-Heine-Kanal entstand ein 13 Meter breites und 38 Meter langes „Boot“, das nicht nur als Referenz an den ehemaligen Aufnahmeort auf einem Dresdener Elbdampfer zu verstehen ist, sondern an dieser Stelle zusammen mit der angrenzenden Villa Rossa und der neu geschaffenen Hafensituation mit Bootsanlegestelle und Stegen über den Kanal ein stimmiges Ensemble bildet.

Ausgehend von der sehr einladenden Eingangssituation über das Foyer bis in den sehr großzügig wirkenden Saal sind die Räume innenarchitektonisch bis ins Detail

vom Architekten durchgestaltet worden. Komplementär zur Schiffsrumpfform des Baukörpers betont der ovale Aufbau nicht nur die städtebauliche Intention, sondern erfüllt zugleich die Raum- und Höhenanforderungen für Beleuchtung, Luftvolumen und Raumakustik.

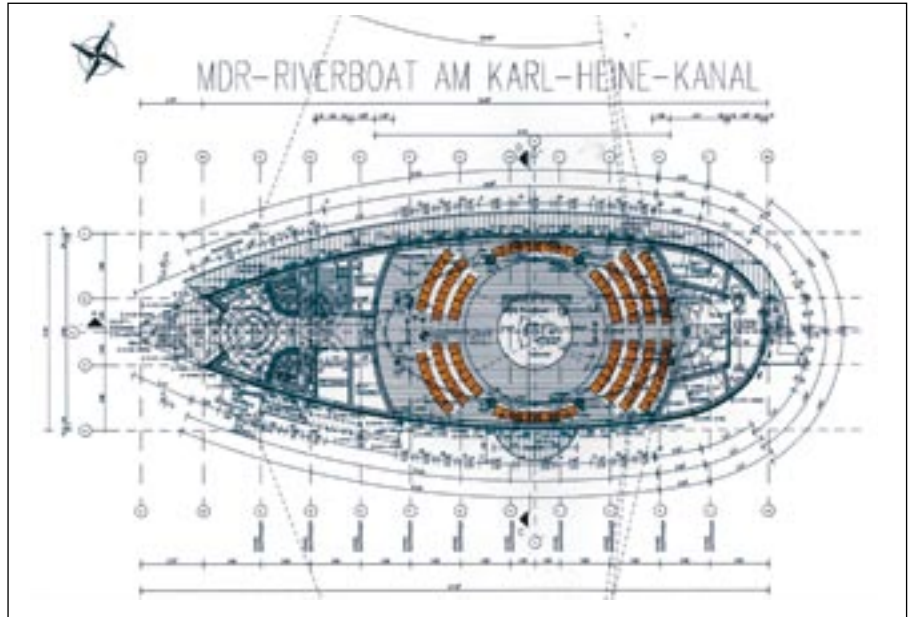
Aufgrund der vielfältigen funktionalen Anforderungen durch den MDR war ein umfangreiches Team von Sonderfachleuten in die Planung einbezogen: Das Anforderungsprofil ging über zahlreiche Nutzungsvarianten, Brandschutz, Belichtung, Beleuchtung und Akustik bis hin zu sehr hohen Anforderungen an das Raumklima.



Ansicht West: Riverboat Leipzig



Bodenplatte auf zwei Stahlbetonträgern oberhalb der alten Brücke



Grundriss Erdgeschoss

Bild: Denda

Bei den Talkshows können 115 Sitzplätze um ein rundes Moderationspodest platziert werden. Der Raum wird multifunktional genutzt: für Theater, Firmenjubiläen, Events, Aufsichtsratssitzungen, Hochzeiten und viele weitere Anlässe.



**Gebäudehülle & Konstruktion**

Die Wände wurden sowohl auf der Saalebene als auch im ovalen Aufbaubereich aus Kalksandstein mit einer Dicke von 24 cm erstellt. Innen erfolgte eine Verkleidung mit hochwertigen Holzwerkstoff-Akustikplatten, hinterlegt mit einer schallabsorbierenden Schalldämmmatte. Die Außenverkleidung erfolgte mit Aluwellen und Lärchenholz. Die Dämmung mit 8 cm befindet sich im Bereich der Unterkonstruktion. Der U-Wert beträgt 0,28 W/(m<sup>2</sup>·K).

Die Gründung hat bei diesem Gebäude eine besondere Bedeutung. Die alte Brücke wurde zwar erhalten, wird aber statisch durch zwei Stahlbetonträger überspannt. Die Bodenplatte, ebenfalls in Stahlbeton, liegt auf dieser Tragkonstruktion auf. Der weitere Aufbau ist klassisch: Wärmedämmung und Holzfußboden mit Unterkonstruktion. Der U-Wert liegt bei 0,30 W/(m<sup>2</sup>·K).

Das Dach besteht aus einer Stahlbetonplatte. Unterhalb befindet sich eine abgehängte Schallschutzdecke aus Gipskarton, die eine Installationsebene für Elektro- und Lüftungsleitungen abdeckt. Oberhalb schließt ein Warmdachaufbau



Entree



**Lüftung und Klimatechnik**

die Konstruktion ab. Der U-Wert beträgt 0,25 W/(m<sup>2</sup>·K).

Die Fenster wurden als Aluminiumfenster mit Wärmeschutzverglasung und hohem Schallschutz ausgeführt. Im „Oberdeck“ wurden Kunststofffenster eingesetzt. Alle Öffnungen können durch ein innenseitig vorgesetztes Verdunklungsrollo vollständig abgedunkelt werden.

Das Anforderungsprofil ist wenig charakteristisch für sonstige Gebäude: Durch achtzig Scheinwerfer mit durchschnittlich 250 Watt auf einer Fläche von 115 m<sup>2</sup> entstehen selbst bei mäßigem Gleichzeitigkeitsfaktor sehr hohe interne Wärmegewinne. Zusammen mit den solaren Einträgen und den internen Gewinnen, die vor allem aus der Körperwärme der 115 Besucher her-





Alufenster



Abdeckung eines der vier Klimageräte



Heizkörper



Verkleidung der Säulen

rühren, ergibt sich eine erhebliche Kühllast. Die Leistung wird durch vier Kühlgeräte bereitgestellt, die rund um den Saal architektonisch geschickt mit geringstem Flächenbedarf untergebracht sind. Das Luftvolumen pro Gerät beträgt 3000 m<sup>3</sup>/h. Ergänzt wird das Kühlkonzept durch ein Umluftkühlgerät im MDR-Technikraum.

Es bestand ein hohes Anforderungsprofil an Zugfreiheit, Schallschutz und die bereitzustellenden Temperaturen: Selbst bei hohen Außenlufttemperaturen dürfen innen nur maximal 25 °C herrschen. Damit Moderatoren und prominente Gäste nicht ins Schwitzen kommen, wird im Bereich des zentralen Podests Quelllüftung mit hohem Komfort für drei verschiedene Anordnungs-konfigurationen bereitgestellt.



#### Wärmeversorgung

Die Wärmeversorgung erfolgt mittels Gasbrennwerttechnik über eine kleine Nahwärmeleitung von der Zentrale in der angrenzenden Villa Rossa. Der Raum für Installationen wurde beim Entwurfsprozess minimiert, indem alle Versorgungsleitungen zwischen den beiden Stahlbetonbalken der tragenden Konstruktion verzogen werden. Die Wärmeübergabe erfolgt über Heizkörper.



#### Elektro

Schon beim ersten Blick in den Saal ist deutlich erkennbar, dass die Elektroinstallation deutlich von der Beleuchtungstechnik dominiert wird. Darüber hinaus wurden Kabeltrassen verlegt zwischen Podest und Aufnahmetechnikern, die während der Sendungen abgeschirmt im Hintergrund operieren. Die Beleuchtung wurde detailliert geplant und mit hochwertigen Leuchten ausgeführt.



Saal mit Beleuchtungstechnik





Foto: MDR

„Riverboat“-Sendung im Riverboat



Foto: Armin Kühne

Luftbild Eingangsseite

**Betriebserfahrungen**

Bereits kurz nach Fertigstellung wurde das Gebäude zum Anziehungspunkt für viele Besucher. Nicht nur durch die Ausstrahlung der Talkshows, sondern auch durch die hochwertige und einfühlige Architektur mit der wunderschönen Einbettung des Gebäudes in sein Umfeld wird das Bauwerk zu einem Identifikationspunkt für den Stadtteil.

**Projektdaten**

Objekt	Riverboat des MDR, Leipzig		
Ort	04229 Leipzig		
Bauherr	Rene Gauglitz		
Architekt	Dipl.-Ing. Manfred Denda, Büro für Architektur + Stadtplanung 04416 Markkleeberg		
Flächen	Nettogrundfläche:	257,9 m <sup>2</sup>	Nutzfläche: 224,2 m <sup>2</sup>
	Hauptnutzfläche:	199,0 m <sup>2</sup>	Verkehrsfläche: 28,2 m <sup>2</sup> Funktionsfläche: 5,5 m <sup>2</sup>
Konstruktion			
Außenwand	Schichtaufbau von innen nach außen: Lärchenholzverschalung 25–30 mm bzw. Aluminium-Wellblechverkleidung auf entsprechender Unterkonstruktion, 4 cm Hinterlüftung, 8 cm Wärmedämmung $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ Mineralwolle, 24 cm KS-Mauerwerk bzw. teilweise Stahlbeton nach Statik, Akustikverkleidung aus MDF-Material (Saal) bzw. Kalk-Zement-Putz 10 mm (sonstige Bereiche), U-Wert: 0,28 W/(m <sup>2</sup> ·K)		
	Bodenplatte/ Kellerdecke		
Dach	Schichtaufbau von innen nach außen: Saal: 20 cm Stahlbetonbodenplatte gemäß Statik, Abdichtung gegen aufsteigende Feuchtigkeit V60S4, Schutzabdeckung, Lagerhölzer 12 cm hoch mit dazwischenliegender Wärmedämmung 12 cm $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ Mineralwolle, PE-Folie als Dampfsperre, Douglasie – Dielung 23 mm, U-Wert: 0,30 W/(m <sup>2</sup> ·K) Sonstige Räume: 20 cm Stahlbetonbodenplatte gemäß Statik, Abdichtung gegen aufsteigende Feuchtigkeit V60S4, PE-Folie als Trennlage, 8 cm Wärmedämmung PS-Hartschaum, Zementestrich schwimmend ZE 20 4,5 cm, Oberbodenbeläge: Marmor (Foyer), Fliesen (WCs), Linoleum (Bar/Lager), Anstrich (Technik), U-Wert: 0,35 W/(m <sup>2</sup> ·K)		
	Fenster		
Aluminium-Fenster (Hauptdeck), Kunststoffenster (Oberdeck-Laterne), U-Wert: $U_w = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , g-Wert: 60 %			
Gebäudetechnik			
Heizung	Nahwärmeversorgung mit Gasbrennwerttechnik aus dem Bestandsgebäude Raumheizflächen als formschöne Wärmekörper: Kompaktheizkörper als Plattenheizkörper (Senderraum), Röhrenradiatoren (Garderobe/Haupteingang)		
Warmwasser	Dezentrale Warmwasseraufbereitung über Untertischspeicher		
Lüftung, Klimatisierung	4 Stück Teilklimaanlagen im Sende-/Veranstaltungsraum, Luftleistung je Anlage 3000 m <sup>3</sup> /h, 1 Umluftkühlgerät MDR-Technikraum, Kühlleistung Dimmerschrank 700 W		
Wassernutzung, Regenwassernutzung	Einleitung des Regenwassers in den Karl-Heine-Kanal		
Planung Gebäudetechnik	WINTER Beratende Ingenieure für Energie- und Gebäudetechnik GmbH 04109 Leipzig		
Baukosten	nach DIN 276 inkl. MWSt.:		
	Kostengruppe 300:		2028 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche
	Kostengruppe 400: Gesamt:		1183 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche 3211 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche
Baujahr	2003		
Energiekennwerte			
EnEV-Berechnung	Heizwärmebedarf:		57 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
	Wasserwärmebedarf:		2 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
	A/V-Verhältnis:		0,7
	Jahresprimärenergiebedarf ohne Kühlung:		78 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)

## „SIEBENGEIRGE“ UND „SILO“ IM RHEINAHAFEN KÖLN\*

\* Dr.-Ing. Burkhard Schulze Darup, Nürnberg

### VOM GETREIDESPEICHER ZUR ERSTEN ADRESSE

#### „Siebengebirge“ und „Silo“ im Rheinauhafen Köln

Der Rheinauhafen entstand seit Mitte des 19. Jahrhunderts durch die Anbindung einer kleinen Insel im Rhein an das westliche Flussufer. Das markanteste Gebäude in der Hafenkulisse wurde 1908/09 von Hans Verbeek unter der Bezeichnung „Danziger Lagerhaus“ erbaut. Der Volksmund nannte den Getreidespeicher aufgrund der sieben Giebel, die zur Straßenseite weisen, sehr bald „Siebengebirge“.

1938 wurde der 200 m lange Speicher durch das „Silo“ ergänzt. Bis 1996 blieb die Funktion erhalten, zuletzt zur Lagerung der nationalen Getreidenotreserve. Diese Anforderung wurde mit der Wiedervereinigung gegenstandslos.

1980 war seitens der Stadt Köln die Auflösung der Nutzung des Rheinauhafens als Industriehafen beschlossen worden. 1992 erbrachte ein städtebaulicher Wettbewerb die Sektoren Gewerbe, Kultur und Wohnen als neuen Nutzungsmix. Angesichts



Architekten Prof. Johannes Kister, Reinhard Scheithauer und Prof. Susanne Gross



Ansicht Stadtseite vor der Sanierung

Foto: Andrea Seppi / ANOYO

der Nähe zur Innenstadt handelt es sich um einen sehr attraktiven Standort. Das „Siebengebirge“ und vor allem das „Silo“ galten allerdings lange als nicht sanierbar, weil aufgrund der Gebäudegeometrie keine wirtschaftlich umsetzbaren Lösungen für die ansonsten sehr interessierten Investoren gefunden wurden.

#### Gebäudekonzept

Die Architekten kister scheithauer gross entwarfen ein Konzept aus Büro- und Wohnnutzung und gingen damit auf Inves-

toresuche. Der Denkmalschutz war von vorneherein intensiv eingebunden. Bei der Lösung wurde hoher Wert auf Authentizität gelegt: Der Charme des industriellen Stahlbeton-Skelettbbaus verbunden mit den charakteristischen Gestaltungselementen in Fassade, Konstruktion und Oberflächen wurden nicht nur bei der Nutzungskonzeption, sondern auch bei Konstruktions- und Detaillösungen sowie der Materialwahl in sehr detailgenauen, mutigen und zukunfts zugewandten Interpretationen aufgenommen.



Die sieben Giebel mit den im Bau befindlichen Gebäuden inkl. „Silo“ von der Stadtseite her gesehen





Erdgeschoss im „Silo“: Die Gestaltung bleibt für die Gastronomie erhalten.



Parkhaus im Untergeschoss der Gebäude in hochwassersicherer Ausführung

Das „Silo“ erfährt eine Umnutzung in Büroflächen: Sechs Obergeschosse als wiederkehrende „Normebenen“ – jedoch jedes Geschoss mit einer individuellen Besonderheit. Für die Bürobreiten ergibt sich durch die vorhandene Stützenkonstruktion der Außenwand ein Achsmaß von 3,60 m. Das siebte bis elfte Obergeschoss verjüngen sich in der Gebäudekrone zunehmend und bieten eine atemberaubende Aussicht über die Dächer von Köln und in das Umland. Die obersten drei Etagen bilden das Sahnehäubchen und umfassen eine Nutzungseinheit, weil für das Sicherheits- und Brandschutzkonzept kein zweites Treppenhaus bis ganz nach oben gezogen werden kann. Das Erdgeschoss wird als Restaurant genutzt und behält in der Decke als gelungenes Gestaltungsmerkmal die Siloauslässe.

Das „Siebengebirge“ wurde entsprechend der Anzahl seiner Straßengiebel in sieben Gebäude unterteilt. Das Erdgeschoss wird zu hochwertigen Büros im Dienstleistungssektor umgenutzt. Auch der Investor zieht dort mit Immobilienleistungen ein und die Architekten mit ihrem Büro. Die bis zu acht Obergeschosse wurden als Wohnungen ausgebaut. Für die große Gebäudetiefe bis zu

22 m entstand ein attraktives Wohnkonzept, das sich durch offene und gut belichtete Aufenthaltsräume im Außenbereich sowie großzügige Sanitär-, Umkleide- und Nebenräume im Gebäudekern auszeichnet, die von den Bewohnern sehr positiv aufgenommen werden.



#### Gebäudehülle & Konstruktion

Beim „Silo“ bleiben von der ursprünglichen Gebäudemasse nur 20 % erhalten. In der Fassade wurden die Ausfachungen zwischen den Tragstützen für die Fensterbänder herausgenommen und die gesamte innere Konstruktion der Silos inklusive der 19 Stützen mit einem quadratischen Grundriss von 1,10 m Seitenmaß entfernt. Dafür wurde die neue Tragkonstruktion mit den Stahlbetondecken von unten sukzessive hochgezogen und nach jeweiliger Fertigstellung das alte Tragwerk entfernt. Die Deckendurchdringungen der alten Stützen sind jeweils in der Decke sichtbar markiert, um ein Gefühl für die alte Struktur zu erhalten.

In die großvolumigen Lagerhallen des „Siebengebirges“ wurden Gebäudetrennwände und Treppenhäuser sowie Ausfa-

chungen mit Kalksandstein eingebaut und dadurch eine völlig neue Gebäudestruktur geschaffen. Die Stahlbetondecken mit Raumhöhen von 2,40 m bis 2,70 m blieben erhalten und wurden unterseitig mit 3 cm Spritzbeton zum Erreichen der F-90-Anforderung beschichtet. Das Brandschutzkonzept beinhaltet die Ausführung der Fluchtwege mit Sicherheitstreppehäusern, die u.a. durch eine Schleuse zu den Erschließungsfloren und durch Frischluftzufuhr mit Überdruck im Brandfall gesichert sind.

Bodenplatte und Decke des Kellergeschosses mussten neu erstellt werden. Dabei waren erhebliche Anforderungen an den Hochwasserschutz zu erfüllen: Die Ebenen wurden angehoben und im Erdgeschoss wurde zudem eine 50 cm hohe Wanne ausgebildet – als zusätzliche Sicherheit ein paar Zentimeter oberhalb der 100-jährigen Hochwasserlinie von 11,30 m (Kölner Pegel), die als Grundlage für alle umliegenden Damm- und Wannenhöhen zum Hinterland gelten. Mit einer Besonderheit sahen sich die Planer konfrontiert, weil als Genehmigungsaufgabe die Nutzung der Tiefgarage im Keller als Retentionsvolumen für Hochwasser gefordert wurde. Die Lösung wurde mittels auf-



Erdgeschossnutzung: links der quadratische Grundriss des „Silos“ als Gastronomiebereich, daran anschließend die sieben Abschnitte des „Siebengebirges“ mit hochwertigen Büros

Bild: Kister schelthauer gross





Dachverglasung mit Lamellen als partiellem Verschattungselement



Lüftungsschacht



Fernwärmeübergabe für die Heizung

wändiger Schottung und der Flutungsmöglichkeit durch eine Grundwasserpumpe im Hochwasserfall realisiert, um im Ernstfall das Beschädigungs- und Verschmutzungspotenzial zu minimieren.

Die Außenwände erhalten ein Wärmedämm-Verbundsystem mit 3 cm Edelkratzputz. Die Dämmdicken betragen beim „Siebengebirge“ 12 cm  $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  mit einem resultierenden U-Wert von  $0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , beim „Silo“ 8 cm  $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  mit einem U-Wert von  $0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Die Dachkonstruktion der sieben Giebel über den Wohnbereichen weist aus Brandschutzgründen oberhalb der bestehenden 10 cm dicken Stahlbetonschräge außen eine mineralische Dämmebene und innerhalb 10 cm Dämmung auf mit einem U-Wert von  $0,32 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , beim „Silo“ 12 cm Wärmedämmung auf der bestehenden Konstruktion mit einem U-Wert von  $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Die Fenster mit erhöhten Schallschutzwerten von 40 dB in den Wohnbereichen sind als Alu-Rahmenkonstruktion in Stahl-optik erstellt worden mit einem  $U_w$ -Wert von  $1,70 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  und einem g-Wert von 58 %. Die Dächer weisen umfangreiche Schrägverglasungen auf. Diese sind mit dunklen Metall-„Screens“ überdeckt. Dadurch soll einerseits eine Teilverschattung und andererseits vor allem aus Denkmalschutzgründen eine Anpassung an die hochwertige Schieferdeckung bei Betrachtung der Gebäude aus der Ferne erzielt werden.

Die Fenster im Bürobereich des „Silos“ werden vor allem aus Schallschutzgründen als zweischalige Konstruktion aus einer außen liegenden einscheibigen VSG-Prallscheibe mit Lüftungsöffnungen und der ca. 30 cm weiter innen liegenden thermischen Ebene als Holzfenster mit Wärmeschutzverglasung ausgeführt. Der Sonnenschutz liegt windsicher im Zwischenraum.



#### Lüftung

Die Büros im „Silo“ werden mittels natürlicher Lüftung über die doppelschaligen Fenster gelüftet. Durch die Fensterkonstruktion ist es möglich, kontinuierliche sommerliche Nachtkühlung durchzuführen. Im Sanitärbereich befinden sich mechanische Abluftanlagen. In den obersten Geschossen vom siebten bis elften Obergeschoss wird eine Klimatisierung über Kühldecken im Bereich der Dachschrägen durchgeführt. Die Kältetechnik ist im nebenliegenden Bürogebäude untergebracht. Für die Normalgeschosse ist Kühltechnik vorbereitet und kann optional durch die Nutzer installiert werden.

Ein anderes Konzept wird in den Wohnungen verfolgt: Ebenfalls aus Schallschutzgründen soll auf das Öffnen der Fenster verzichtet werden können. Abluft wird aus den innen liegenden Räumen wie



Foto: Martin Claßen

Dachlandschaft mit einem Giebel des Siebengebirges



Foto: Martin Claßen

Metall-„Screens“ im Bereich der Schrägverglasung



Ansicht Stadtseite

Bädern und Nebenräumen abgesogen sowie in den Küchen über Herdabzüge mit entsprechend erhöhtem Luftdurchsatz. Zuluftdurchlässe mit hochwertiger Schalldämpfung befinden sich unter den Fenstern der Aufenthaltsräume.



**Wärmeversorgung**

Die energetische Planung wurde gemäß Anforderungsprofil der Energieeinsparverordnung (EnEV) durchgeführt. Wärme wird für beide Gebäude über Fernwärme bereitgestellt und mittels Fußbodenheizung bzw. mit Heizkörpern an die Räume abgegeben.

Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral ebenfalls über Fernwärme.

**Resümee**

Es handelt sich um ein hervorragendes Beispiel für die grundlegende Umnutzung von zwei Gebäuden: Aus Lagerfläche entstand hochwertige Büro- und Wohnfläche in attraktiver Innenstadtlage direkt am Rhein. Es ist den Architekten gelungen, trotz der großen Baumasse Maßstäblichkeit zu bewahren und dem Besucher bzw. Bewohner ein angenehmes Umfeld zu schaffen – mit spannungsreichen Raumsituationen und mitunter spektakulären Ausblicken auf die Stadt Köln und das Umland: über den Rhein bis hin zum Siebengebirge.

**Projektdaten**

Objekt	„Siebengebirge“	„Silo“
Ort	50678 Köln	
Bauherr	PANDION Projektentwicklung GmbH, Bonn	Silo-Rheinauhafen Köln GmbH & Co. KG, Köln
Architekt	kister scheithauer gross architekten und stadtplaner GmbH 50676 Köln, www.ksg-architekten.de	
Projektleitung	Christian Böhmer	Meike Könemund
Flächen	Nettogrundfläche: 20500 m <sup>2</sup> Hauptnutzfläche: 18750 m <sup>2</sup> Nutzfläche: 18750 m <sup>2</sup> Verkehrsfläche: 1400 m <sup>2</sup> Funktionsfläche: 2000 m <sup>2</sup>	Nettogrundfläche: 4137 m <sup>2</sup> Hauptnutzfläche: 3928 m <sup>2</sup> Nutzfläche: 3928 m <sup>2</sup> Verkehrsfläche: 209 m <sup>2</sup> Funktionsfläche: 620 m <sup>2</sup>
Flächeneffizienz Gebäudetechnik	Prozentanteil der Funktionsfläche zur Nettogrundfläche: 9,8 %	Prozentanteil der Funktionsfläche zur Nettogrundfläche: 15,0 %
Arbeitsplätze	ca. 130	ca. 200
Konstruktion		
Außenwände	Innenputz, 10 cm Stahlbeton Bestand, 12 cm mineralische Wärmedämmung, 15 mm Außenputz, U-Wert: 0,31W/(m <sup>2</sup> ·K)	Bestandswand, in Teilbereichen Aufdopplung mit Porenbeton, 8 cm Wärmedämmung, 3 cm Edelkratzputz, U-Wert: 0,43W/(m <sup>2</sup> ·K)
Innenwände	Gebäudetrennwände, Treppenhäuswände und tragende Wände aus Kalksandstein	Gebäudetrennwände, Treppenhäuswände und tragende Wände aus Kalksandstein
Bodenplatte/ Kellerdecke	Oberboden nach Nutzerwunsch Variante 1: 25 cm Hohlraumboden Variante 2: 7 cm Estrich mit Fußbodenheizung ca. 15 cm Wärmedämmung, Trittschalldämmung, 25 cm Stahlbeton, U-Wert: 0,35 W/(m <sup>2</sup> ·K)	in Teilbereichen Natursteinboden Travertin, Dampfsperre, 2,6 cm Trittschalldämmung, 6 cm Wärmedämmung, 30 cm Bestandsdecke, wasserundurchlässiger Anstrich, U-Wert: 0,63 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Dach	25 mm Gipskartonplatte, Dampfsperre, 10 cm Wärmedämmung, ca. 10 cm Stahlbeton (Bestand), 17,5 cm Porenbeton, Schieferdeckung, U-Wert: 0,32 W/(m <sup>2</sup> ·K)	Bestandswand, Dampfsperre, 12 cm Wärmedämmung, Hartholzbohlen als Untergrund für Holzwerkstoffplatte, Holzwerkstoffplatte, Abdichtungsbahn, Schieferdeckung, U-Wert: 0,28 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Fenster	Alu-Rahmenkonstruktion in Stahl-optik, Fa. Alcoa, U-Wert: U <sub>w</sub> = 1,70 W/(m <sup>2</sup> ·K), g-Wert: 58 %	Doppelschalige Fenster: außen Alu-Rahmenkonstruktion, Fa Schüco, innen Holzkonstruktion, U-Wert: 1,7 W/(m <sup>2</sup> ·K), g-Wert: > 0,55
Gebäudetechnik		
Heizung	Fernwärme	Fernwärme
Warmwasser	Fernwärme	Fernwärme
Lüftung, Klimatisierung	Dezentral nach Bedarf	Dezentral nach Bedarf
Planung Gebäudetechnik	Dr.-Ing. W. Naumann & Partner, Köln/Leipzig; Wolfferts GmbH, Köln; Chr. Pfeiffer GmbH & Co. KG, Düren	Ingenieurgemeinschaft AWD Agne-Wahlen-Daubenbüchel, Köln; EGC Energie- und Gebäudetechnik Control GmbH & Co. KG, Aachen; K+S Haustechnik, Planungsgesellschaft mbH, Rheinbach
Baukosten	nach DIN 276 inkl. MWSt.: Kostengruppe 300: 1120,96 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche Kostengruppe 400: 320,27 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche	nach DIN 276 inkl. MWSt.: Kostengruppe 300: 916,50 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche Kostengruppe 400: 381,88 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche
Baujahr	2004–2006	2005–2007



### MODERNISIERUNG UND PASSIVHAUSNEUBAU

#### Beschäftigungsgesellschaft ELAN in Fürth

Das Gebäude am Lindenhain wurde Anfang der sechziger Jahre als städtisches Jugendzentrum errichtet. Es kommt ein Leuchten in manche Augen, wenn Erinnerungen an Partys aus dieser Zeit geweckt werden. Bei der Entscheidungsfindung zur Modernisierung wurde schnell klar, dass dieser Teil der Stadtgeschichte nicht durch einen vollständigen Neubau ersetzt werden sollte.

Was zunächst als energetisches Gutachten begann, führte schnell zu der Erkenntnis, dass nach vierzig Jahren eine grundlegende Modernisierung erforderlich war. Der Wärmeschutz des Gebäudes war sehr schlecht, so dass im Winter ein extrem unbehagliches Raumklima vorherrschte. Das führte zu einem hohen Krankenstand unter den Angestellten.

Die Nutzung des Gebäudekomplexes hatte sich im Laufe der Jahre sukzessive geändert. Der größte Teil der Fläche wur-



Dr. Burkhard Schulze  
Darup, Nürnberg



Thomas Meyer,  
Cadolzburg

de als Büro- und Betriebsgebäude für die Beschäftigungsgesellschaft ELAN genutzt. Arbeitslose Jugendliche erhalten dort Zusatzqualifikationen, um in den Arbeitsprozess reintegriert zu werden.

#### Gebäudekonzept

Die eingeschossige Bauweise führt zu einer geringen Grundstücksausnutzung und hohem Energieverbrauch. Der Vorteil liegt in einer hohen Variabilität, die den jeweiligen Erfordernissen der Beschäftigungs-



Büro spätabends

gesellschaft kleinteilig angepasst werden kann. Deshalb wurde das Grundkonzept beibehalten und die Nutzungszonen neu geordnet in Verbindung mit einem zweigeschossigen Neubau im zentralen Gebäudereich, der bisher nur sehr extensiv verwendet werden konnte.

Der Neubau umfasst zentrale Verwaltungsfunktionen sowie Seminarräume und wurde in Passivhausbauweise errichtet. Die Modernisierung der sonstigen Gebäu-



Südwestansicht: Seminar- und Verwaltungsgebäude





Multifunktionshalle

deberische erfolgte ebenfalls möglichst weitgehend mit Passivhauskomponenten. Der zentrale Eingangsbereich des Verwaltungs- und Veranstaltungsbereichs erfuhr eine grundlegende Neuordnung. Der Foyerbereich wurde durch eine Neubaueverbindung in einer angemessen repräsentativen Form erstellt und die Büroräume den aktuellen Anforderungen angepasst.



**Gebäudehülle & Konstruktion**

Die Außenwandkonstruktion der Neubaubereiche wurde klassisch erstellt: 17,5 cm Kalksand-Planstein mit 30 cm Wärmedämm-Verbundsystem. Der resultierende U-Wert liegt bei 0,12 W/(m<sup>2</sup>·K).

Die tragende Bodenplatte liegt lückenlos auf einer umfassenden unteren Dämmlage, um Wärmebrücken zu reduzieren. Von der PS-Dämmung befinden sich 10 cm unterhalb und 15 cm oberhalb der Betonplatte unter dem Estrich. Der U-Wert beträgt 0,14 W/(m<sup>2</sup>·K).

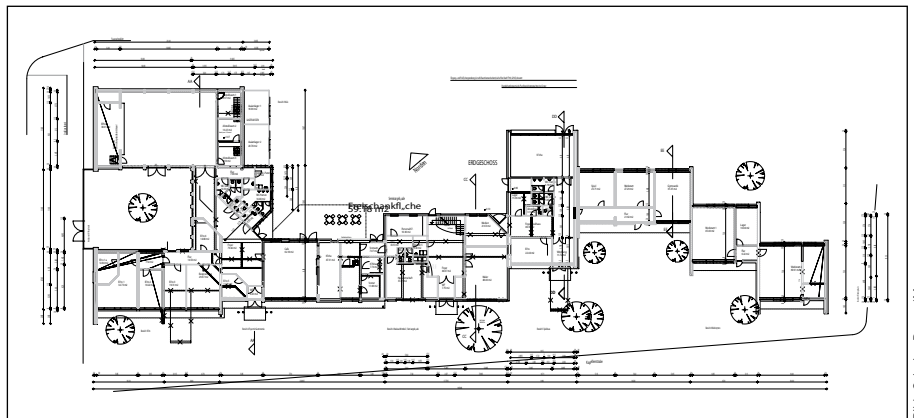
Die Dachkonstruktion besteht aus TJI-Trägern mit ca. 40 cm Konstruktionshöhe und Mineralfaserdämmung mit einem U-Wert von 0,1 W/(m<sup>2</sup>·K).

Die Fenster wurden als Passivhaus-Kunststofffenster ausgeführt mit einem sehr günstigen U<sub>w</sub> von 0,8 W/(m<sup>2</sup>·K) und einem g-Wert von 50 %.

Die Wärmedämmstandards im modernisierten Bereich liegen im Bereich von 0,16 W/(m<sup>2</sup>·K) für Wände und Dächer. Der Wert für die Bodenplatte ist ungünstiger, weil die bestehende Betonplatte aus Kostengründen beibehalten und der Dämmaufbau auf acht bis zehn Zentimeter Dicke begrenzt werden musste. Ergänzend wurde die Perimeterdämmung an den Außenfundamenten ca. 1 m tief herabgezogen, wodurch



Ansicht von der Hofseite



Grundriss der Erdgeschossenebene

Bild: Schütze Danz/Meyer



Blick in die Cafeteria



Rohbau



Dachgeschoss des Seminar- und Verwaltungsgebäudes im Rohbau

die Wärmeverluste durch die Bodenplatte deutlich reduziert werden können.

Wärmebrücken wurden im Rahmen der Passivhaus-Projektierung detailliert ermittelt und optimiert. Luft- und Winddichtigkeit erfuhren bei der Detailplanung eine sehr sorgfältige Planung. Die Überprüfung erfolgte durch Blower-Door-Tests, bei denen ein  $n_{50}$ -Wert unter  $0,6 \text{ h}^{-1}$  nachgewiesen wurde.



**Lüftung**

Die Gebäude erhielten eine vollständige Ausstattung mit Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung. Da die Nutzungsbereiche sehr unterschiedliche Anforderungen an die Anlagen stellen, wurden dezentrale Geräte mit gutem Preis-Leistungs-Verhältnis mit einem jeweiligen Luftvolumen um  $500 \text{ m}^3/\text{h}$  gewählt. Dadurch kann eine sehr gezielte und einfache Regelung erfolgen.

Nur für die Halle im Veranstaltungsbereich musste eine Anlage mit einem deutlich größeren Volumen und einem stündlichen Umsatz von  $3000 \text{ m}^3$  gewählt werden. Für selten eintretende Spitzenlasten wird sie durch eine Abluftanlage auf die doppelte Luftleistung ergänzt.



**Wärmeversorgung**

Die Wärmebereitstellung wird mit zwei kompakten Gas-Brennwertthermen sichergestellt. Für die Heizlast wäre ein Gerät mit  $25 \text{ kW}$  Leistung ausreichend gewesen. Aufgrund von Gleichzeitigkeitsfaktoren im Veranstaltungs- und Gastronomiebereich wurde ein deutlicher Sicherheitszuschlag gewählt. Eine Solarthermieanlage im Küchenbereich ergänzt die Anlage.

Die Wärmeverteilung erfolgt über ein zentrales Warmwassersystem innerhalb der thermischen Gebäudehülle und die Wärmeübergabe über Heizkörper.

Durch den hohen Standard der Gebäudehülle konnte der Platzbedarf für die Gebäudetechnik (Funktionsfläche) auf einen extrem günstigen Wert von  $2,2 \%$  beschränkt werden.



**Elektro**

Da die Nutzer über eine bestehende Geräteausstattung verfügen, kann erst mit einer neuen Gerätegeneration eine verbesserte Elektroeffizienz erzielt werden. Insbesondere die PCs in den Bürobereichen haben derzeit noch eine mittlere Leistung von  $300 \text{ W}$ . Das Gleiche gilt für die Ausstattung der Computerplätze in den Seminarräumen. Bei Umstellung des gesamten Computerbereichs auf optimierte PCs werden die internen Gewinne so stark reduziert, dass die Temperaturen im Sommer in diesen Bereichen um ca.  $2 \text{ K}$  niedriger liegen werden.

Wegweisend ist dagegen die Ausstattung des Gebäudes mit Photovoltaik. Sei-



Wärmebrückenfreie Ausführung des Details Bodenplatte – aufgehende Wand



Fensteranschluss vor Anbringen des WDVS



Lüftungsanlage für den Seminarbereich





Schulungsraum



Photovoltaikanlage auf dem Seminargebäude

tens der Stadt Fürth wurde mittels eines Betreibermodells eine Anlage mit 30 kW<sub>peak</sub> errichtet. Entlang der Straßenfront soll bei dem Gebäude deutlich ein Signal für die „Solarstadt“ Fürth gegeben werden. Deshalb wurde die Architektur auf Erfordernisse der solaren Gestaltung ausgerichtet und das Seminargebäude in der Dachform in diese Richtung modifiziert.

**Betriebserfahrungen**

Durch die Modernisierung konnten die vierzig Jahre alten Bestandgebäude für neue Nutzungsanforderungen mit multifunktionalen Anforderungen ertüchtigt werden. Die neuen energetischen Standards erzielen eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs auf ein Zehntel des Ausgangswerts. Sie führen auch zu einem erheblichen Komfortgewinn im Winter.

**Resümee**

Das Projekt stellt ein gelungenes Beispiel dafür dar, wie mittels einer Kombination aus Neubau und Modernisierung ein Gebäude an aktuelle Anforderungen angepasst werden kann. Städtebaulich ist durch die Verdichtung eine angemessene Situation entstanden; die Nutzer haben eine sehr multifunktionale Nutzungsstruktur, die an die immer wieder aktuellen Anforderungen in einfacher Form anzupassen ist. Aus ökonomischer und ökologischer Sicht ist durch die hohe Energieeffizienz eine zukunftsfähige Lösung geschaffen worden: Auch bei deutlich steigenden Energiepreisen wird das Heizungsbudget nicht über die Maßen belastet werden.

**Projektdaten**

Objekt	Beschäftigungsgesellschaft ELAN Verwaltungs- und Betriebsgebäude		
Ort	90762 Fürth		
Bauherr	Stadt Fürth		
Architekt	Architekturbüro Dr. Burkhard Schulze Darup 90475 Nürnberg www.schulze-darup.de	Architekturbüro Thomas Meyer 90556 Cadolzburg	
Flächen	Nettogrundfläche: 1459 m <sup>2</sup> Hauptnutzfläche: 1202 m <sup>2</sup>	Nutzfläche: 1366 m <sup>2</sup> Verkehrsfläche: 64 m <sup>2</sup> Funktionsfläche: 32 m <sup>2</sup>	
Flächeneffizienz Gebäudetechnik	Prozentanteil der Funktionsfläche zur Nettogrundfläche: 2,2 %		
Konstruktion			
Außenwand	Innenputz, 17, 5 cm Kalksandstein, 30 cm WDVS aus Polystyrol, λ = 0,040 W/(m·K), U-Wert = 0,12 W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Bodenplatte/ Kellerdecke	Oberboden, 6 cm Zementestrich, 15 cm PS-Dämmung λ = 0,035 W/(m·K), Abdichtung, Stahlbetonbodenplatte 10 cm Perimeterdämmung λ = 0,035 W/(m·K), U-Wert = 0,14 W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Dach	Gipskarton, Dampfbremse (Luftdichtheitsebene), Tragwerk TJI-Träger mit 40 cm Konstruktionshöhe, Mineralfaserdämmung λ = 0,035 W/(m·K), U-Wert = 0,10 W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Fenster	Kunststofffenster U <sub>w</sub> = 0,78 W/(m <sup>2</sup> ·K), g-Wert = 50 % Fabrikat: REHAU Climaplust Design		
Luftdichtheit	Ergebnis Blower-Door-Test: n <sub>50</sub> = 0,55 h <sup>-1</sup>		
Gebäudetechnik			
Heizung	Gasbrennwerttechnik, 2 Thermen à 40 kW		
Warmwasser	Solarthermie zur Warmwasserbereitung im Gastronomiebereich		
Lüftung, Klimatisierung	Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung, 8 dezentrale Geräte mit je 500 m <sup>3</sup> /h (Fa. Aerex, Recco-Box-Max) Zentrale Zu-/Abluftanlage im Hallenbereich 3000 m <sup>3</sup> /h zzgl. Abluftanlage 3000 m <sup>3</sup> /h für Spitzenbetrieb		
Photovoltaik	Anlage im Dachbereich des Büro und Seminargebäudes, des Foyers und entlang des Bürotraktes Leistung: 30 kW <sub>peak</sub> mittlerer jährlicher Ertrag (kWh): 27500 kWh		
Baukosten	nach DIN 276 inkl. MWSt.: Kostengruppe 300: Kostengruppe 400: Gesamt:	910 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche 287 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche 1197 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche	
Baujahr	Neubau und Modernisierung 2005		
Energiekennwerte			
EnEV-Berechnung / DIN 18599 / (PHPP)	Heizwärmebedarf (Berechnung nach PHPP) im Neubaubereich: im Sanierungsbereich: Wasserwärmebedarf: Jahresprimärenergiebedarf:	14 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) 35 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) 2,5 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) 17 / 38 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	
Maßnahmen sommerlicher Wärmeschutz	Verschattungsmaßnahmen in Form von Raffstores und Festverschattungen über den Fenstern		



## PASSIVHAUS-BÜROGEBÄUDE IN BREMEN\*

\* Dr.-Ing. Burkhard Schulze Darup, Nürnberg

### RECYCLING & ENERGIEEFFIZIENZ

#### Passivhaus-Bürogebäude in Bremen

Der Seniorchef des Familienunternehmens Richard Becker GmbH & Co. KG gründete seinen Recycling- und Entsorgungsbetrieb nach dem Zweiten Weltkrieg. Er begann als Kleinunternehmer mit dem Ankauf von Reststoffen. Insofern hatte er einen intensiven Bezug zum Thema Stoffströme und Nachhaltigkeit, als aufgrund stetiger Expansion ein neuer Firmensitz gebaut werden sollte. Zunächst war ein höchst repräsentatives Gebäude nach tradierten Aspekten geplant. Als das Architekturbüro Lass jedoch das Thema Passivhaustechnik einbrachte, erfolgte schnell ein Umdenken und eine grundlegende Neuplanung. Der Effizienzgedanke beschränkte sich nicht nur auf die Energie: Die Gebäudeform wurde möglichst kompakt und kubistisch gestaltet, das Foyer und die Erschließungssituation reduziert und die Konstruktionsdetails und Materialien in Bezug auf die Kosten optimiert.

#### Gebäudekonzept

Das Gebäude dient der Verwaltung des direkt angrenzenden Entsorgungsbetriebs. Auf den vier Ebenen sind Büros und Besprechungsräume untergebracht sowie eine Hausmeisterwohnung an der Nordseite



Angelika Lass und Jochen Schmidt,  
Planungsbüro Lass, Bremen

des Erdgeschosses. Südseitig erstreckt sich über zwei Geschosse der Anlauf- und Aufenthaltsbereich für die Fahrer.

Die Büros sind als individuelle Büros für ein bis vier Mitarbeiter ausgelegt und großzügig geschnitten. Der Flurbereich ist zwar wirtschaftlich ausgelegt, wirkt durch eine kräftige Farbgestaltung aber offen und freundlich.

Die Funktionsflächen sind auf ein Mindestmaß reduziert. Der ursprüngliche Technikraum beherbergt nur die Hausanschlüsse und wird als zusätzlicher Abstellraum genutzt.



Fassadendetails auf der Hofseite



Ansicht von der Straßenseite: Bürogebäude im Passivhausstandard



Blick von der Hofseite



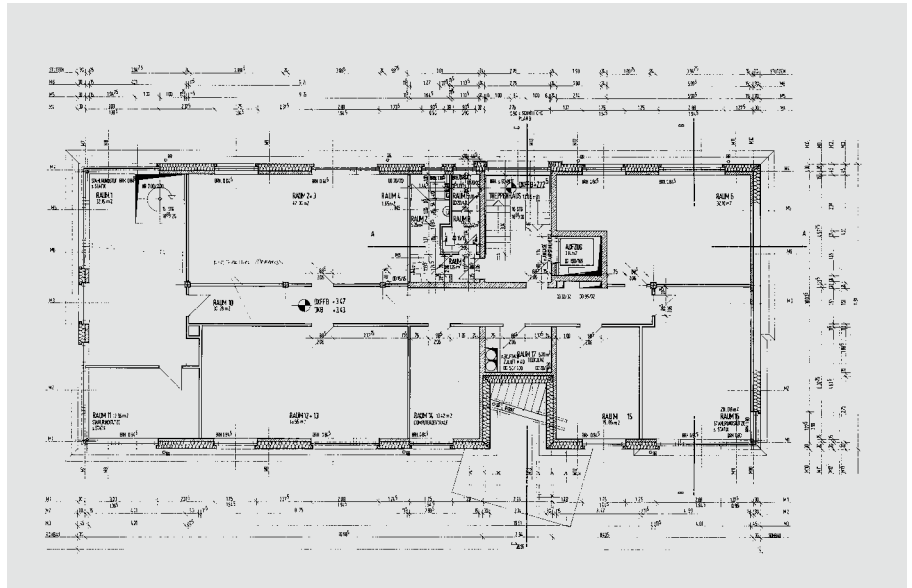
### Gebäudehülle & Konstruktion

Das Gebäude wurde als Stahlbetonskelettbau erstellt und die Außenwände mit Kalksandstein in einer Dicke von 11,5 cm ausgefacht. Die Dämmung erfolgt mit 30 cm Wärmedämm-Verbundsystem mit einem resultierenden U-Wert von 0,13 W/(m<sup>2</sup>·K). Innenwände und Treppenhauswände wurden ebenfalls in Kalksandstein ausgeführt.

Die tragende Stahlbetonbodenplatte ist 30 cm dick und liegt auf Perimeterdämmung  $\lambda = 0,035$  W/(m·K) mit einer Dicke von 24 cm. Dadurch entsteht eine wärmebrückenfreie Situation bei den unteren Sockel- und Wandanschlüssen. Der U-Wert beträgt 0,16 W/(m<sup>2</sup>·K).

Der obere Abschluss erfolgt durch eine raumseitig gespachtelte Stahlbetondecke in Verbindung mit einem Warmdachaufbau, der eine Dämmschicht aus EPS-Perimeterdämmung  $\lambda = 0,040$  W/(m·K) mit 50 cm Höhe umfasst. Der U-Wert beträgt 0,085 W/(m<sup>2</sup>·K).

Die Fenster wurden als Kasten-Verbundfenster mit einem  $U_w$ -Wert von



Grundriss 1. Obergeschoss

Bild: Planungsbüro Lass



Erschließung durch das Treppenhaus



Büroflur



Besprechungsbereich im Chefbüro 1





Fenster mit Jalousien im Zwischenbereich



Lüftungsgerät in der Teeküche



Weitwurfdüse der Lüftungsanlage

0,78 W/(m<sup>2</sup>·K) erstellt. Der g-Wert beträgt 0,45. Im Fensterzwischenraum befinden sich elektrisch betriebene Jalousien zur Verschattung.

Wärmebrücken wurden im Rahmen der Passivhaus-Projektierung detailliert ermittelt und optimiert. Ein Blower-Door-Test zur Überprüfung der Luftdichtheit ergab einen hervorragenden n<sub>50</sub>-Wert von 0,49 h<sup>-1</sup>. Das Passivhaus Institut Darmstadt führte eine Zertifizierung des Gebäudes durch.



### Lüftung

Bei der Planung der Lüftungstechnik ging es einerseits darum, den unterschiedlichen Anforderungsprofilen der Gebäudebereiche gerecht zu werden. Für die unterschiedlich genutzten Büros bis hin zur Hausmeisterwohnung war es sinnvoll, zur individuellen Regelbarkeit jeweils Einzelgeräte zu installieren. Zugleich konnte dadurch eine Lüftungszentrale im Dachbereich eingespart werden. Die Lüftungsgeräte sind dezentral

und sehr raumsparend je Geschoss untergebracht: Im Erdgeschoss in einer Nische des Empfangsbüros, in den sonstigen Geschossen jeweils in der Teeküche. Die Zu-/Abluftgeräte mit Gegenstrom-Kanalwärmetauscher und einem effektiven Wärmebereitstellungsgrad von 88 % sind mit zwei Energie sparenden Gleichstrom-(DC-)Radialventilatoren ausgestattet. Das stündliche Luftvolumen beträgt im Mittel etwa 30 m<sup>3</sup> je Person bzw. ca. 500 m<sup>3</sup> je Ebene. Die Verteilung erfolgt im Flur und die Luft wird über Weitwurfdüsen in die Büros eingebracht. Die Abluftbereiche liegen in den WCs und den Nebenräumen. Der Serverraum erhielt nachträglich eine Kühlmöglichkeit, die bereits bei der Planung vorkonfiguriert worden war.



### Wärmeversorgung

Die Wärmebereitstellung erfolgt über eine kleine Gasbrennwerttherme im obersten Geschoss mit Abgasführung direkt

über das Dach. Aufgrund der internen Gewinne durch die Bürotechnik bildet der Einsatz des Gerätes zu Heizzwecken die Ausnahme. Die Wärmeübertragung erfolgt über ein Heizregister hinter den Lüftungsgeräten. Der Verzicht auf Heizkörper war zunächst von der Chefetage intensiv hinterfragt worden und Alternativen zum Bereitstellen haptischer Wärme – wie sonst über Heizkörper üblich – entworfen worden. Nach zwei Jahren Betriebserfahrung waren diese Bedenken aber ausgeräumt.

### Betriebserfahrungen

Wie bei den meisten Passivhäusern zeigte sich sehr schnell, dass sich eine hohe Behaglichkeit und gute Raumluftqualität beim Betrieb des Gebäudes einstellte, ohne dass große Erfordernisse an das Verhalten der Nutzer gestellt waren: Es entfiel schlichtweg der Zwang zum Fensterlüften. Konfliktpotenzial ergab sich allenfalls in Raucherbereichen. Insbesondere im Aufenthaltsbereich der Fahrer wird die Fensterlüftung ergänzend eingesetzt.



Chefbüro 2



Gasbrennwertgerät im Dachgeschoss



Sommerlicher Wärmeschutz wird u.a. durch die Verschattungselemente im Zwischenraum der Fensterelemente betrieben. In Kombination mit den speicherfähigen Kalksandsteinwänden wird bei ausreichender Nachtlüftung über die Fenster eine deutliche Reduktion der Tagesspitzen im Innenraum erzielt. Tagsüber sollten an heißen Tagen die Fenster geschlossen bleiben, weil auf diesem Weg sehr warme Luft eingebracht wird, die sich an den Fassaden über das Außentemperaturniveau hinaus aufwärmt. Die Lüftungsanlagen sind darauf ausgelegt, auch im Sommer die Frischluftzufuhr ausreichend sicherzustellen. Die Wärmerückgewinnung senkt im Sommer die Temperatur der einströmenden wärmeren Außenluft. Das darf aber nicht mit dem Effekt einer aktiven Kühlung durch eine Klimaanlage verwechselt werden.

**Resümee**

Das Büro mit Passivhaustechnik entspricht in seiner Funktion und den resultierenden minimalen Betriebskosten dem Nachhaltigkeitsdenken, welches auch in der Abfallwirtschaft Maxime der Betriebsführung ist. Insofern spiegelt das Verwaltungsgebäude auf positivste Weise den Grundgedanken des Bauherrn wider. Eine schöne Ergänzung erfährt der Besucher durch die vielfältigen künstlerisch hochwertigen Bilder und Attribute, die an vielen Stellen des Gebäudes auf liebevolle Weise angebracht sind.



Kunst im Büro

**Projektdaten**

Objekt	Bürogebäude im Passivhaus-Standard	
Ort	28197 Bremen	
Bauherr	Richard Becker Holding GmbH & Co. KG	
Architekt	Planungsbüro Lass, 28203 Bremen, www.planungsbuero-lass.de	
Flächen	Nettogrundfläche:	1010 m <sup>2</sup>
	Nutzfläche:	934 m <sup>2</sup>
	Wohnfläche Hausmeisterwohnung:	68 m <sup>2</sup>
	Verkehrsfläche:	30 m <sup>2</sup>
	Funktionsfläche:	21 m <sup>2</sup>
Flächeneffizienz Gebäudetechnik	Anteil der Funktionsfläche zur Nettogrundfläche: 2,1 %	
Arbeitsplätze (bzw. Nutzungskennwerte)	60 Arbeitsplätze und eine Hausmeisterwohnung	
Konstruktion	Stahlbetonskelettbauweise Ausfachungen und Innenmauerwerk mit Kalksandstein	
Außenwand	Schichtaufbau von innen nach außen: Innenputz, 11,5 cm Kalksandstein, 30 cm Wärmedämmung, λ = 0,040 W/(m·K), Oberputz, U-Wert: 0,13 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Bodenplatte/Kellerdecke Institutsbereiche	Schichtaufbau von innen nach außen: Bodenbelag, Estrich, Tragende Bodenplatte, Stahlbeton, 30 cm, Perimeterdämmung λ = 0,035 W/(m·K), 24 cm (Styrodur 5000 CS, 0,22 N/mm <sup>2</sup> ), Betonsauberkeitsschicht 5 cm, U-Wert: 0,16 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Dach	Stahlbetondecke, raumseitig gespachtelt, Voranstrich, Ausgleichsschicht Dampfsperre V60S4, Gefälle-Zementestrich 4–14cm, Dachabdichtung, zweilagig, EPS-Perimeterdämmung λ = 0,040 W/(m·K), 50 cm, Dachaufbau, U-Wert: 0,085 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Fenster	KBE Kasten-Verbundfenster U-Wert: U <sub>w</sub> = 0,78 W/(m <sup>2</sup> ·K), g-Wert: 0,45	
Luftdichtheit	Ergebnis Blower-Door-Test: n <sub>50</sub> = 0,6 h <sup>-1</sup>	
Gebäudetechnik		
Heizung	Zentraler Gasbrennwertkessel im Dachgeschoss, Wärmeverteilung über Zuluflheizregister nach den Lüftungsgeräten	
Warmwasser	Zentrale Warmwasserversorgung über Gas-Brennwertkessel	
Lüftung, Klimatisierung	Lüftung dezentral je Geschoss Fabr. Paul Campus 500 DC (Dachgeschoss: Paul Multi 150 DC) Wärmebereitstellungsgrad (effektiv): 88 % Elektroeffizienz: 0,31 Wh/m <sup>3</sup> Frostschutz des Wärmetauschers: Erdsonden mit Solekreislauf	
Planung Gebäudetechnik	Dipl.-Ing. Günther Schlagowski & Carl Cordes	
Baukosten	nach DIN 276 inkl. MWSt.:	
	Kostengruppe 300:	980 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche
	Kostengruppe 400:	350 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche
Baujahr	Fertigstellung 2002	
Energiekennwerte		
Energetische Berechnung nach Passivhaus Projektierungs Paket	Heizwärmebedarf	15 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
	Wasserwärmebedarf	3 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
	A/V-Verhältnis:	0,44
	Jahresprimärenergiebedarf (Heizung, Hilfsenergie, Strom):	38 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Maßnahmen sommerlicher Wärmeschutz	Verschattung durch elektrisch betriebene Sonnenschutz zwischen den Kastenverbundfenstern; Kühlgerät für den Serverraum	

## EIN NEUES SCHIFF AUF DER NEPTUNWERFT

### Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Rostock

Nach der Wiedervereinigung beschloss die Föderalismuskommission eine Verlagerung von etwa 150 Dienstposten im Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie von Hamburg nach Rostock. Bei der Standortanalyse fiel die Entscheidung auf das ehemalige Gelände der Neptunwerft: Dort wurde zu Kriegszeiten für die Marine gebaut, zu DDR-Zeiten arbeiteten hier 15000 Menschen. Viele Rostocker haben darüber hinaus einen Bezug zu dem Gelände, weil mit dem Clubhaus der Neptunwerft zahlreiche Feiern verknüpft waren.

Bis 1998 befand sich die Neptun-Industrie auf dem Areal, gekennzeichnet von mehrfachen Verkäufen. Danach wurde das Areal vermarktet. Seitdem setzt eine langsame Revitalisierung des Geländes ein.



Ansicht vom Warnowufer: Die beiden Hallen links beherbergen Buchdruck, Versand und Kartographie

Gewerbeflächen in Verbindung mit Wohnbebauung kennzeichnen den langsamen Wachstumsprozess. Von der Innenstadt her entsteht langsam eine Flaniermeile entlang des Warnowufers bis zum Gelände der Internationalen Gartenausstellung. Jährlich zieht es 1,5 Mio. Besucher zur Hanse-Sail hierhin.



Foto: GMSH

Luftbild der Gesamtanlage



Gebäudeansicht vom Süden: das Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie



**Gebäudekonzept**

Der Neubau des Dienstgebäudes für das Bundesamt wurde in Ergänzung zu einem bestehenden Verwaltungs-Plattenbau aus dem Jahr 1966 erstellt. Entlang der Neptunallee entstand ein Baukörper, der deutliche Anleihen im Schiffsbau nimmt: Der Bug zeigt in Richtung Warnow. Landgang-Assoziationen befallen den Besucher im Entreebereich des fünfgeschossigen Neubaus. Viele liebevolle Details unterstützen das Thema, und die wuchtigen Hafenkranne, die um das Gebäude herum erhalten geblieben sind, vermitteln sehr eindrücklich die Vergangenheit des Geländes. Rückseitig wurden zwei ehemalige Werkstattgebäude aus den Jahren 1933/36 erhalten und vollständig saniert sowie durch einen Querriegel verbunden. Die Nutzung umfasst Buchdruck, Falzerei, Versand und Kartografie. Ein Druckgebäude wurde daran anschließend auf der Südwestseite des Geländes neu erstellt. Zwei Liegeplätze für Messschiffe runden das Gelände ab. Der Aufgabenbereich umfasst neben den Verwaltungstätigkeiten die Seevermessung bis hin zur Erstellung von Seekarten.



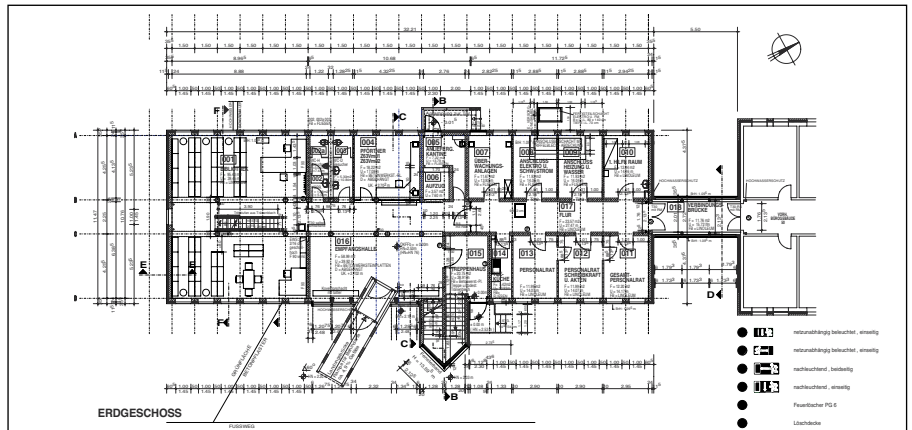
**Gebäudehülle & Konstruktion**

Die Gründung erfolgte mittels einer 25 cm dicken Stahlbetonbodenplatte aus WU-Beton auf Bohrpfählen. Die Wärmedämmung beträgt 7 cm oberhalb und 5 cm Perimeterdämmung unterhalb der Bodenplatte. Der resultierende U-Wert beträgt 0,28 W/(m<sup>2</sup>·K).

Die Außenwandkonstruktion des Dienstgebäudes wurde in Massivbauweise erstellt: 24 cm Kalksand-Planstein mit 10 cm Wärmedämm-Verbundsystem und Metall-Vorhangsfassade. Der resultierende U-Wert liegt bei 0,29 W/(m<sup>2</sup>·K). Im Erdgeschoss ist aus Gründen des Hochwasserschutzes eine Wanne aus wasserundurchlässigem Beton bis auf ca. 60 cm Höhe ausgebildet worden.

Das Dach besteht aus einer Stahlkonstruktion mit Trapezblech und einem Warmdach mit 10 cm bis 27,5 cm Dämmung aus Gefälledämmkeilen. Unterseitig wurde eine Gipskartondecke abgehängt. Der U-Wert beträgt im Mittel 0,2 W/(m<sup>2</sup>·K).

Die Fenster wurden als wärmege-dämmte Aluminiumprofile mit Zweischieben-Wärmeschutzverglasung ausgeführt mit einem U<sub>w</sub> von 1,8 W/(m<sup>2</sup>·K) und einem g-Wert von 60 %.



Grundriss des Erdgeschosses



Ansicht Bug, hinten rechts der Querriegel zur Verbindung der beiden Gebäudeteile



Druckerei

Bild: GMSH





Foto: GMSH

Rohbau von Südost



Foto: GMSH

Detail der Hochwasserschutzvorrichtung

Der sommerliche Wärmeschutz erfolgt in den Büros mittels Innenverschattung. Außen liegende Verschattung wurde aus Kosten- und Wartungsgründen vom Bauherrn nicht gewünscht. Nur im Druckgebäude befindet sich ein Verschattungssystem, das scheinbar integriert ausgeführt wurde.

Eine Klimaanlage wurde nicht in das Konzept einbezogen. Die hohe Gebäudemasse des Massivbaus bringt einen gewissen Ausgleich für die fehlenden aktiven Systeme.

Die weiteren Gebäude wurden aus energetischer Sicht mit einem vergleichbaren Wärmedämmstandard ausgeführt.



Foto: GMSH

Fassadenmontage



Detail Fenster



### Lüftung

Die Dienstgebäude weisen nur Abluftanlagen im Bereich der Sanitärbereiche auf. Die Büroräume werden manuell gelüftet.

In der Druckerei und im Papierlager ist eine beheizte Zu- und Abluftanlage erforderlich, um den erforderlichen Ausgleich für die Luftfeuchtigkeit zu erzielen. Es wird ein konstanter Wert um 45 % r. F. für das Papierlager und 50 % r. F. für die Druckerei angestrebt, damit das Papier eine gleich bleibende Qualität aufweist.



Cafeteria



Hausanschlussraum und Heizungsverteilung



Lüftung Halle Druckerei



Treppe zur Bibliothek



Eingangssituation



**Wärmeversorgung**

Die energetische Planung erfolgte noch vor Einführung der EnEV und wurde nach den Vorgaben der Wärmeschutzverordnung von 1995 durchgeführt.

Die Wärme wird durch Fernwärme bereitgestellt, die Verteilung erfolgt über ein Warmwassersystem mit Vor-/Rücklauftemperatur von 70/50 °C, die Wärmeübergabe wird mittels Heizkörper durchgeführt.

Die Warmwasserversorgung erfolgt dezentral über Warmwasserboiler.

**Resümee**

Im Rostocker Bundesamt wurden Arbeitsplätze für 210 Mitarbeiter geschaffen. Die Wahl des Investitionsstandorts gab wichtige Impulse für neues Wachstum an diesem geschichtsträchtigen Standort. Es ist nicht nur so, dass im Umfeld weitere neue Nutzungen induziert wurden. Das Gebiet am Warnowufer beginnt, einen Charme zu entfalten, der nicht unwesentlich vom Bewahren des Werft-Charakters geprägt ist. Wenn die Verbindung am Ufer zur Innenstadt einmal geschlossen und die derzeit in Planung befindliche Wohnbebauung realisiert ist, wird der Standort eine sehr hohe Attraktivität aufweisen.

**Projektdaten**

Objekt	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie		
Ort	18057 Rostock		
Bauherr	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie		
Architekt	Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AöR (GMSH), Zweigniederlassung Lübeck, www.gmsH.de Entwurf: Peter Wickert, Projektleitung: Rainer Brüggemann		
Flächen (Dienstgebäude)	Nettogrundfläche:	1490 m <sup>2</sup>	Nutzfläche: 1168 m <sup>2</sup>
	Hauptnutzfläche:	1079 m <sup>2</sup>	Verkehrsfläche: 274 m <sup>2</sup> Funktionsfläche: 48 m <sup>2</sup>
Flächeneffizienz Gebäudetechnik	Anteil der Funktionsfläche zur Nettogrundfläche: 3,2 %		
Arbeitsplätze	ca. 210		
Konstruktion			
Außenwand	2 cm Zementinnenwandputz, 24 cm Kalksandsteinmauerwerk, großformatig, 10 cm Wärmedämmung, 1 cm Luftschicht, Metallvorhangfassade (Fabr. ALCAN), U-Wert: 0,29 W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Bodenplatte/ Kellerdecke	Linoleumbelag/Fliesenbelag, 7 cm Verbundestrich, 7 cm Wärmedämmung, Schweißbahn, 25 cm Betonsohle aus WU Beton, 5 cm Wärmedämmung, U-Wert: 0,28 W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Dach	Schweißbahn, Wärmedämmung aus Gefälledämmkeilen, min. 10 cm bis max. 27,5 cm, Trapezbleche, abgehängte glatte Gipskartondecke, U-Wert: 0,2 W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Fenster	Wärmegeädämmte Aluminiumprofile, einbrennlackiert, Fabr. Schüco mit Zweischeiben-Wärmedämmverglasung U-Wert: U <sub>w</sub> = 1,8 W/(m <sup>2</sup> ·K), g-Wert: 60 %		
Gebäudetechnik			
Heizung	Fernwärme, Pumpenwarmwasserheizung Vor-/Rücklauf: 70/50 °C Raumheizflächen als Heizkörper		
Warmwasser	Boiler 200 Liter		
Lüftung, Klimatisierung	Beheizte Be- und Entlüftungsanlage zum Luftfeuchteausgleich in Druckerei und Papierlager		
Planung Gebäudetechnik	GMSH Lübeck		
Baukosten	nach DIN 276 inkl. MWSt.:		
	Kostengruppe 300: Kostengruppe 400:	1652 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche 548 €/m <sup>2</sup> Nutzfläche	
Baujahr	2003		
Energiekennwerte			
EnEV-Berechnung	Heizwärmebedarf:	57 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	
	Wasserwärmebedarf	5 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	
	A/V-Verhältnis:	0,34	
	Jahresprimärenergiebedarf (Fernwärme 0,7):	49 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	
Maßnahmen sommerlicher Wärmeschutz	Dienstgebäude: innen liegende Verschattung Druckerei: Verschattung im Scheibenzwischenraum der Wärmeschutzverglasung		





Ansicht Treppenhaus Büro-Neubau





Kompetenz- und Gründerzentrum (2004), 18190 Groß Lüsewitz,  
Außenwand: KS-Thermohaut  
Entwurf: REKOPLAN NORD GMBH, 18059 Rostock,  
[www.rekoplan-nord.de](http://www.rekoplan-nord.de)



Rathaus Demmin (1998), 17109 Demmin,  
Außenwand: KS-Thermohaut  
Entwurf: S.M. zu Verl, Demmin



Bürogebäude Studtmann ( 2004), 27386 Hemsbünde,  
Außenwand: KS-Thermohaut  
Entwurf: Architekturbüro Röndigs, 27356 Rotenburg/Wümme

Foto: Architekturbüro Röndigs



Bürozentrum als Passivhaus (2000), 33332 Gütersloh,  
Außenwand: KS-Thermohaut  
Entwurf: Architekten Hauer & Kortemeier, 33332 Gütersloh,  
[www.hauer-und-kortemeier.de](http://www.hauer-und-kortemeier.de)



Bürogebäude mit Ausstellungsräumen der SOMAform GmbH  
(2000), 33428 Marienfeld,  
Außenwand: Kalksandstein mit Vorhangfassade  
Entwurf: Herzog & Kordtomeikel, 33330 Gütersloh,  
[www.herzog-kordtomeikel.de](http://www.herzog-kordtomeikel.de)



Bürogebäude als Passivhaus (2004), 38228 Salzgitter,  
Außenwand: KS-Thermohaut  
Entwurf: architecten gih – Guder – Jung – Hämmerli,  
38228 Salzgitter

# KS\* Partner in Ihrer Nähe.



Stand: 2019  
 ▶ KS-Bauberatung  
 ▶ KS\* Marketing-Zentrale  
 ▶ KS\* Vertrieb  
 ▶ KS\* Werk & Vertrieb  
 ▶ KS\* Werk

→ [ks-original.de/partner](http://ks-original.de/partner)

☎ 0800 7002070

## KS\* Partner im Überblick.

- 01 Baustoffwerk Kastendiek von Fehm → [ks-we.de](http://ks-we.de) <sup>1)</sup>
- 02 Baustoffwerke Dresden → [heidelberg-kalksandstein.de](http://heidelberg-kalksandstein.de)
- 03 Baustoffwerke Horsten → [bauhorst.de](http://bauhorst.de)
- 04 BMO KS-Vertrieb Bielefeld-Münster-Osnabrück → [bmo-ks.de](http://bmo-ks.de)

- 05 Cirkel → [cirkel.de](http://cirkel.de)
- 06 Dennert Baustoffwelt → [dennert.de](http://dennert.de)
- 07 E. Bayer Baustoffwerke → [eb-bayer.de](http://eb-bayer.de)
- 08 Eifeler Kalksandstein- und Quarzwerke → [ekqw.de](http://ekqw.de)
- 09 Emsländer Baustoffwerke → [emslaender.de](http://emslaender.de)
- 10 Hessisches Bausteinwerk Dr. Blasberg → [swkv.de](http://swkv.de) <sup>1)</sup>
- 11 Höltinghauser Industriewerke → [ks-we.de](http://ks-we.de) <sup>1)</sup>
- 12 Kalksandsteinwerk Amberg → [kalksandstein-amberg.de](http://kalksandstein-amberg.de)
- 13 Kalksandsteinwerk Bookholzberg
- 14 Kalksandsteinwerk Bösel → [ks-we.de](http://ks-we.de) <sup>1)</sup>

- 15 Kalksandsteinwerk Krefeld-Rheinhafen → [ksw-krefeld.de](http://ksw-krefeld.de)
- 16 Kalksandsteinwerk Rückersdorf → [h-niemeier.de](http://h-niemeier.de)
- 17 Kalksandsteinwerk Wemding → [ks-wemding.de](http://ks-wemding.de)
- 18 Kalksandsteinwerk Wendeburg Radmacher → [ks-radmacher.de](http://ks-radmacher.de)
- 19 Kalksandsteinwerke Schencking → [ksvertrieb.de](http://ksvertrieb.de)  
→ [fasenstein.de](http://fasenstein.de)
- 20 Peter Kalksandsteinwerk → [swkv.de](http://swkv.de) <sup>1)</sup>
- 21 Zapf Daigfuss Vertrieb → [zapf-daigfuss.de](http://zapf-daigfuss.de)





Bürogebäude mit Gewerbehalle (1999), 38543 Hillerse,  
Außenwand: zweischaliges KS-Mauerwerk,  
Entwurf: Jörn Dökel, 38543 Hillerse, [www.ingdoekel.de](http://www.ingdoekel.de)



Bürogebäude (2001), 58097 Hagen,  
Außenwand: zweischaliges KS-Mauerwerk  
Entwurf: Planungsbüro Dipl.-Ing. Martin + Simon Müller,  
79594 Inzlingen, [www.idealbau-inzlingen.de](http://www.idealbau-inzlingen.de)



Foto: Hariolf Brenner

Bürogebäude als Passivhaus (2001), 73479 Ellwangen,  
Außenwand: KS-Thermohaut  
Entwurf: Architekt Hariolf Brenner, 73479 Ellwangen,  
[www.architekt-brenner.de](http://www.architekt-brenner.de)



Bürogebäude Fa. Feinauer (1999), 74673 Mulfingen,  
Außenwand: zweischaliges KS-Mauerwerk,  
Entwurf: Cordula Feinauer, 74673 Mulfingen-Hollenbach,  
[www.feinauerbaut.de](http://www.feinauerbaut.de)



Spedition Schwarz GmbH (2003), 92507 Nabburg,  
Außenwand: Kalksandstein mit Vorhangfassade (KS+VHF),  
Entwurf: Dipl.-Ing. Franz Balzer, 92224 Eglsee



Verwaltungsgebäude Korbena Korkfabrik (2003),  
92318 Neumarkt, Außenwand: KS-Thermohaut  
Entwurf: Kölbl Bau GmbH, 92318 Neumarkt/Opf.,  
[www.koelblbau.de](http://www.koelblbau.de)



# KS\* Partner in Ihrer Nähe.



→ [ks-original.de/partner](http://ks-original.de/partner)

☎ 0800 7002070

## KS\* Partner im Überblick.

- 01 Baustoffwerk Kastendiek von Fehm → [ks-we.de](http://ks-we.de) <sup>1)</sup>
- 02 Baustoffwerke Dresden → [heidelberg-kalksandstein.de](http://heidelberg-kalksandstein.de)
- 03 Baustoffwerke Horsten → [bauhorst.de](http://bauhorst.de)
- 04 BMO KS-Vertrieb Bielefeld-Münster-Osnabrück → [bmo-ks.de](http://bmo-ks.de)

- 05 Cirkel → [cirkel.de](http://cirkel.de)
- 06 Dennert Baustoffwelt → [dennert.de](http://dennert.de)
- 07 E. Bayer Baustoffwerke → [eb-bayer.de](http://eb-bayer.de)
- 08 Eifeler Kalksandstein- und Quarzwerke → [ekqw.de](http://ekqw.de)
- 09 Emsländer Baustoffwerke → [emslaender.de](http://emslaender.de)
- 10 Hessisches Bausteinwerk Dr. Blasberg → [swkv.de](http://swkv.de) <sup>1)</sup>
- 11 Höltinghauser Industriewerke → [ks-we.de](http://ks-we.de) <sup>1)</sup>
- 12 Kalksandsteinwerk Amberg → [kalksandstein-amberg.de](http://kalksandstein-amberg.de)
- 13 Kalksandsteinwerk Bookholzberg
- 14 Kalksandsteinwerk Bösel → [ks-we.de](http://ks-we.de) <sup>1)</sup>

- 15 Kalksandsteinwerk Krefeld-Rheinhafen → [ksw-krefeld.de](http://ksw-krefeld.de)
- 16 Kalksandsteinwerk Rückersdorf → [h-niemeier.de](http://h-niemeier.de)
- 17 Kalksandsteinwerk Wemding → [ks-wemding.de](http://ks-wemding.de)
- 18 Kalksandsteinwerk Wendeburg Radmacher → [ks-radmacher.de](http://ks-radmacher.de)
- 19 Kalksandsteinwerke Schencking → [ksvertrieb.de](http://ksvertrieb.de)  
→ [fasenstein.de](http://fasenstein.de)
- 20 Peter Kalksandsteinwerk → [swkv.de](http://swkv.de) <sup>1)</sup>
- 21 Zapf Daigfuss Vertrieb → [zapf-daigfuss.de](http://zapf-daigfuss.de)

**Keine Sorgen. – Mit dem KS\* Partner in Ihrer Nähe:**

Finden Sie Ihren regionalen KS\* Partner sowie detaillierte Informationen rund um den Wandbaustoff Kalksandstein auf [ks-original.de](http://ks-original.de)



**KS-ORIGINAL GMBH**  
Entenfangweg 15  
30419 Hannover

Tel.: +49 511 27953-0  
Fax: +49 511 27953-31  
[info@ks-original.de](mailto:info@ks-original.de)  
[ks-original.de](http://ks-original.de)



Einfach einscannen und  
Fachinformationen entdecken.

Titelbild: Csaba Mester/KS-ORIGINAL GMBH

KS-9037-07/11-2.000