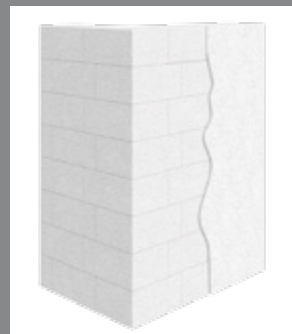
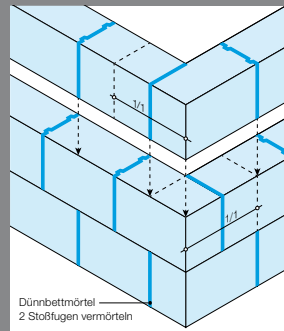
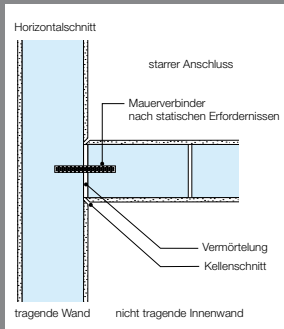


PORENBETON HANDBUCH



PORENBETON HANDBUCH

PLANEN UND BAUEN
MIT SYSTEM

7. Auflage

In Zusammenarbeit mit:
Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. · Kochstr. 6–7 · 10969 Berlin
Telefon 030 / 25 92 82 14 · www.bv-porenbeton.de

Verfasser/Redaktion

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Berlin: Dipl.-Ing. Georg Flassenberg, Petra Lieback
Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster

Gestaltung

Gräf und Team, München

Cover: Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Berlin

(Bildnachweis Titelbild Mehrfamilienhaus: © Nikolaus Herrmann, Hamburg)

Druck

AC medienhaus GmbH (Druckerei Chmielorz GmbH), Wiesbaden

Der Inhalt dieses Handbuches wurde nach bestem Wissen entsprechend dem neuesten Stand der Technik zum Zeitpunkt der Drucklegung erarbeitet. Da die Verwendung von Produkten und Bauteilen aus Porenbeton den einschlägigen DIN-Vorschriften bzw. Zulassungsbescheiden unterliegt und diese Änderungen unterworfen sind, bleiben die Angaben ohne Gewähr, Irrtümer oder Änderungen sind vorbehalten.

Für die zitierten Normen gilt: „Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.“

PORENBETON HANDBUCH

7. Auflage (Dezember 2018)

© Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

Veröffentlichungen, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers

VORWORT

Seit Jahrzehnten wird mit Porenbeton gebaut. Seit Jahrzehnten entwickeln sich die Standards für Neubauten sowie die Technischen Regeln und Methoden der Verarbeitung kontinuierlich weiter. Bauschaffende ebenso wie Lehrende und Lernende benötigen deshalb den Zugriff auf aktuelle, geprüfte und verlässliche Informationen für das Planen und Bauen mit Porenbeton – dafür steht seit fast 30 Jahren das Porenbeton-Handbuch.

Als anerkanntes Fachbuch beschreibt es das gesammelte und bewährte Wissen um den Baustoff Porenbeton, die Herstellung von Produkten aus Porenbeton und ihre Eigenschaften, die Bemessung von Porenbetonmauerwerk, Grundlagen der Bauphysik, Konstruktionsdetails und – nicht zuletzt – die sachgerechte Ausführung. Im Vordergrund stehen dabei unbewehrte Produkte und damit der Mauerwerksbau.

Das Porenbeton-Handbuch ist als Arbeitshilfe für planende Architekten und Ingenieure sowie für Studierende der Bau fakultäten konzipiert. Auch Lehrenden, Auszubildenden, Bauausführenden und anderen am Bauprozess Beteiligten liefert es – gemeinsam mit der Website www.bv-porenbeton.de – fachlich fundierte, aktuelle Informationen. Schnell wird für den Leser deutlich, dass Porenbeton mit vielfältigen Eigenschaften und Stärken ausgestattet ist, die es ermöglichen, unterschiedlichen Anforderungen im Wohn- und Wirtschaftsbaubereich mit homogenen Bauteilen aus diesem massiven Baustoff gerecht zu werden und das in hohem Maße ressourcenschonend, energiesparend, rationell, nachhaltig und sicher.

Seit im Jahr 1991 die erste Ausgabe des Porenbeton-Handbuches – von Helmut Weber und Heinz Hullmann begründet – im Bauverlag erschien, wurden mehr als 228.000 Exemplare gedruckt und verbreitet. Der 6. von Martin Homann aktualisierte Auflage folgt nun die vom Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. in Zusammenarbeit mit Martin Homann erarbeitete 7. Auflage. Neue europäische Baustoff- und Bemessungsnormen, Tabellenwerke zur Tragwerksbemessung auf Grundlage von Eurocodes, neue bauphysikalische Normen wie die DIN 4102 und DIN 4109, neue Ausführungsnormen wie die DIN 18533 und letztendlich die überarbeitete Energieeinsparverordnung (EnEV) machten eine weitere, dieses Mal komplette Neubearbeitung notwendig.

Unser besonderer Dank gilt allen Fachautoren, die seit 1991 ihr Wissen und ihre Energie investiert haben, um das Porenbeton-Handbuch zu dem zu machen, was es heute ist – eine kompakte, zeitgemäße und sachliche Darstellung der vielfältigen Fakten, die das Arbeiten mit dem Baustoff Porenbeton noch effizienter und erfolgreicher machen. Möge dieses Fachbuch möglichst vielen Bauschaffenden Inspiration und wertvolles Rüstzeug für kommende Projekte und viele Berufsjahre sein.

Berlin im Dezember 2018



Petra Lieback

Geschäftsführerin

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.



Dipl.-Ing. Georg Flassenberg

Leiter Technik & Normung

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

INHALT

1	BAUSTOFF	9
	Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.	
1.1	Idee und Entwicklung	9
1.2	Herstellung	10
1.3	Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit	14
1.3.1	Ausgangssituation	14
1.3.2	Planung	15
1.3.3	Errichtung.....	16
1.3.4	Nutzung.....	17
1.3.5	Rückbau, Recycling und Deponierung	19
2	PRODUKTE	23
	Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.	
2.1	Übersicht	23
2.2	Regeln für die Produkteigenschaften und Anwendung	23
2.3	Wandbauprodukte aus Porenbeton	25
2.3.1	Planstein.....	25
2.3.2	Planelement.....	26
2.3.3	Planbauplatte.....	26
2.3.4	Höhenausgleichsstein	27
2.3.5	Eckstein.....	27
2.3.6	Deckenrandstein.....	27
2.3.7	Flachsturz.....	28
2.3.8	Sturz.....	28
2.3.9	U-Stein/U-Schale.....	28
3	BAUSYSTEM	31
	Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.	
3.1	Übersicht	31
3.2	Porenbeton-Bausystem	31
3.3	Wandkonstruktionen aus Porenbetonmauerwerk	32
3.3.1	Außenwand	32
3.3.2	Zweischalige Haustrennwand.....	32
3.3.3	Kelleraußenwand	34
3.3.4	Innenwand.....	35
3.4	Modernisierung mit Porenbeton	35

4	BERECHNUNG	39
	Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster	
4.1	Anforderungen an Entwurf und Ausführung	39
4.2	Lastannahmen	40
4.2.1	Eigenlasten (Wichten) von Baustoffen und Bauteilen.....	40
4.2.2	Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten.....	40
4.2.3	Windlasten.....	40
4.2.4	Schneelasten.....	47
4.2.5	Erdbebenlasten gemäß DIN 4149	49
4.3	Mauerwerk	53
4.3.1	Nationale und europäische Normung	53
4.3.2	Berechnung gemäß DIN EN 1996 (Eurocode 6).....	53
4.4	Stürze	68
4.5	Mauertafeln	70
4.6	Geschosshohe stehende Wandbauteile	71
4.7	Dach- und Deckenplatten	71
5	WÄRME	75
	Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster	
5.1	Ziele des Wärmeschutzes	75
5.2	Wärmeleitung und Wärmeübergang	75
5.3	Wärmespeicherung	80
5.4	Mindestwärmeschutz im Winter	82
5.5	Energiesparender Wärmeschutz	83
5.5.1	Energieeinsparverordnung	83
5.5.2	Zu errichtende Wohngebäude.....	85
5.5.3	Zu errichtende Nichtwohngebäude	90
5.5.4	Zu errichtende kleine Gebäude und Gebäude aus Raumzellen	95
5.5.5	Dichtheit und Wärmebrücken.....	95
5.5.6	Bestehende Gebäude.....	98
5.5.7	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)	108
5.6	Sommerlicher Wärmeschutz	109
6	FEUCHTE	119
	Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster	
6.1	Feuchtegehalt von Porenbeton	119
6.2	Wasserdampfdiffusion und Flüssigwassertransport	120
6.3	Tauwasser- und schimmelpilzfreie Bauteiloberflächen	123
6.4	Schlagregenschutz von Außenwänden	123
6.5	Abdichtung von Kelleraußenwänden	126

7	SCHALL	135
	Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster	
7.1	Anforderungen	135
7.2	Luftschallübertragung zwischen Räumen	138
7.3	Trittschallübertragung	150
7.4	Luftschalldämmung von Außenlärm	153
8	BRAND	157
	Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster	
8.1	Bauaufsichtliche Anforderungen an den Brandschutz	157
8.2	Klassifizierung von Baustoffen und Bauteilen nach ihrem Brandverhalten	158
8.3	Wände, Pfeiler und Wandabschnitte aus Mauerwerk	164
8.4	Brandwände aus Mauerwerk	166
8.5	Komplextrennwände	167
8.6	Anschlüsse	168
8.7	Feuerschutzabschlüsse	169
8.8	Bekleidungen	171
9	KONSTRUKTIONEN	173
	Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.	
9.1	Übersicht	173
10	AUSFÜHRUNG	193
	Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.	
10.1	Wirtschaftlichkeit	193
10.2	Verarbeitung	195
10.2.1	Plansteine.....	195
10.2.2	Planelemente.....	198
10.2.3	Maßnahmen gegen Regen.....	200
10.2.4	Mauern bei Frost.....	200
10.3	Bearbeitung	200
10.4	Oberflächenbehandlung	201
10.4.1	Allgemeines	201
10.4.2	Kellerwandabdichtung	201
10.4.3	Putze.....	202
10.4.4	Keramische Beläge.....	206
10.4.5	Bekleidungen.....	206
10.4.6	Beschichtungen.....	207
10.5	Befestigungen	207
10.6	Ausmauerung von Holzfachwerk	208

11	OBJEKTBEISPIELE FÜR DAS BAUEN MIT PORENBETON	211
	Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.	
11.1	Planungsaspekte	211
11.2	Einfamilienhäuser, Doppel- und Reihenhäuser.....	211
11.3	Mehrfamilienhäuser	219
11.4	Bestandsersatz	224
11.5	Aufstockung.....	227
11.6	Gewerbe- und Bürogebäude.....	229
	SACHWORTVERZEICHNIS.....	233

BAUSTOFF

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

1.1 Idee und Entwicklung

Porenbeton gehört zur Gruppe der Leichtbetone. Seine Stärke liegt vor allem darin, dass er massive monolithische (einschalige) Konstruktionen ermöglicht, welche gleichzeitig die Anforderungen an Tragfähigkeit, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Schallschutz und Brandschutz erfüllen. Die Rohdichte von Porenbeton liegt zwischen 300 und 1.000 kg/m³. Die Kombination von niedriger Rohdichte und hoher Festigkeit ist die besondere Eigenschaft von Porenbeton. Auf ergänzende Baustoffe, die sonst häufig für den Wärme-, Schall- oder Brandschutz erforderlich werden, kann bei Wandkonstruktionen aus Porenbeton weitgehend verzichtet werden – ein wesentlicher Vorteil sowohl für die Wirtschaftlichkeit als auch für eine sichere, fehlerfreie Bauausführung. Die Kombination vieler erwünschter Eigenschaften macht Porenbeton zu einem technisch und wirtschaftlich interessanten Material.

Die historische Entwicklung des Baustoffs Porenbeton begann gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Ziel der Entwicklung war es, in großen Mengen und mit gleichbleibender Qualität künstliche Bausteine aus den natürlichen Rohstoffen Quarzsand und Kalk herzustellen. In ersten Versuchen kochte F. Zernikow im Jahr 1877 Kalk-Sand-Mörtel in hoch gespanntem Wasserdampf, wobei er jedoch nur geringe Festigkeiten des Produktes erzielte. In einer weiteren Entwicklungsstufe gelang es W. Michaelis, wasserarmen Kalk-Sand-Mörtel in hochgespanntem Wasserdampf in harten und festen Calciumsilikathydrat umzuwandeln. Für dieses Dampfdruck-Härtungsverfahren erhielt er im Jahr 1880 das Patent DRP 14195, die Grundlage für die Herstellung aller dampfgehärteten Baustoffe.

Im Jahr 1889 folgte die Erteilung eines Patentbeschlusses an E. Hoffmann, dem es gelungen war, das Aufblähen des Baustoffes vor der Erhärtung durch Porenbildung herbeizuführen. Er nutzte die Reaktion von verdünnter Salzsäure mit Kalksteinmehl, um Zement- und Gipsmörtel mit Luftporen herzustellen. Ein weiteres Patent wurde im Jahr 1914 an J. W. Aylsworth und F. A. Dyer für ein neues Verfahren erteilt, bei dem während der

Reaktion von Kalk mit Wasser und geringen Mengen von Metallpulver (0,1 bis 0,5 % Aluminiumpulver oder 2 bis 3 % Zinkpulver) gasförmiger Wasserstoff frei wird. Bei diesem Porosierungsverfahren bläht sich die Rohstoffmischung auf, Wasserstoff entweicht und wird durch Luft ersetzt.

Schwedische Wissenschaftler arbeiteten seit 1918 an der Entwicklung eines neuen Baustoffes, weil in Schweden infolge des ersten Weltkrieges eine teilweise dramatische Energieknappheit herrschte. Da das Land kaum über eigene Energieträger verfügte, verschärfte die Regierung die Anforderungen an die wärmetechnischen Eigenschaften von Baustoffen. Gewünscht waren Produkte mit hoher Wärmedämmung und geringem Herstellungs-Energieaufwand. Weitere gewünschte Eigenschaften waren, dass der Baustoff nicht verrotten, nicht brennbar und leicht bearbeitbar sein sollte. Die weitere Entwicklung des Porenbetons lässt sich wie folgt darstellen:

- 1923 gelingt dem Schweden Axel Eriksson erstmals die Herstellung von Porenbeton. Ein Jahr später erhält er das Patent für seine Erfindung.
- 1927 wendet Axel Eriksson ein Verfahren an, bei dem unter Zusatz eines Metallpulvers ein fein verteiltes, inniges Gemisch aus Kalk und Quarzsand angemacht wird. Durch die Kombination der anschließenden Porosierung mit der Dampfdruckhärtung legt er die Grundlagen für den modernen Porenbeton. In Anlehnung an dieses Verfahren wird 1933 auch ein Leichtstein aus Portlandzement und Quarzmehl entwickelt.
- 1929 beginnt in Schweden die industrielle Fertigung von Porenbetonernzeugnissen. Anfang der 30er Jahre werden weitere Werke gebaut, um die Nachfrage nach Produkten aus Porenbeton zu decken.
- 1945 wird in Deutschland das Schneidverfahren mit straff gespannten Stahldrähten entwickelt, bei dem der standfeste Porenbetonblock äußerst maßgenau in kleinere Produkte aufgeteilt werden kann und Materialverluste minimiert werden können. Ebenso werden erstmalig großformatige und stahlbewehrte Bauteile hergestellt.

- 1958 werden erstmals bewehrte Dach- und Deckenplatten genormt (DIN 4223).
- 1959 erfolgt die Normung von Mauersteinen und Bauplatten (DIN 4165 und DIN 4166).
- 1960 wird mit der Entwicklung von Plansteinen Mauerwerk mit Dünnbettmörtel und geringem Fugenanteil ermöglicht.
- 1977 wird mit der „Nut-und-Feder“-Verbindung eine weitere Innovation im Mauerwerksbau eingeführt. Sie erleichtert das Bauen und beschleunigt den Rohbaufortschritt. Stoßfugen werden seitdem im Regelfall nicht mehr vermörtelt.
- 1983 werden Mauersteine aus Porenbeton mit Griffaschen versehen. Sie erleichtern die Handhabung und Verarbeitung von Plansteinen.
- 1987 führt die Entwicklung von Porenbeton-Planelementen zu einer weiteren Reduzierung der Arbeitszeitrichtwerte für Mauerwerk.
- 1994 stehen Flachstürze zur Verfügung, die aufgrund ihres geringen Gewichts von Hand und ohne Kran eingebaut werden können.
- 1996 erfolgt mit dem Planelement im Doppelpack ein weiterer Schritt zum kostenoptimierten Bauen.
- 2000 ermöglicht das „lange“ Planelement die Erstellung von 1,9 m² Mauerwerk mit nur einem Kranhub.
- 2004 werden raumgroße vorgefertigte Mauertafeln erstmals genormt (DIN 1053-4).
- 2007 erreichen Porenbeton-Plansteine eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,08 \text{ W}/(\text{mK})$.

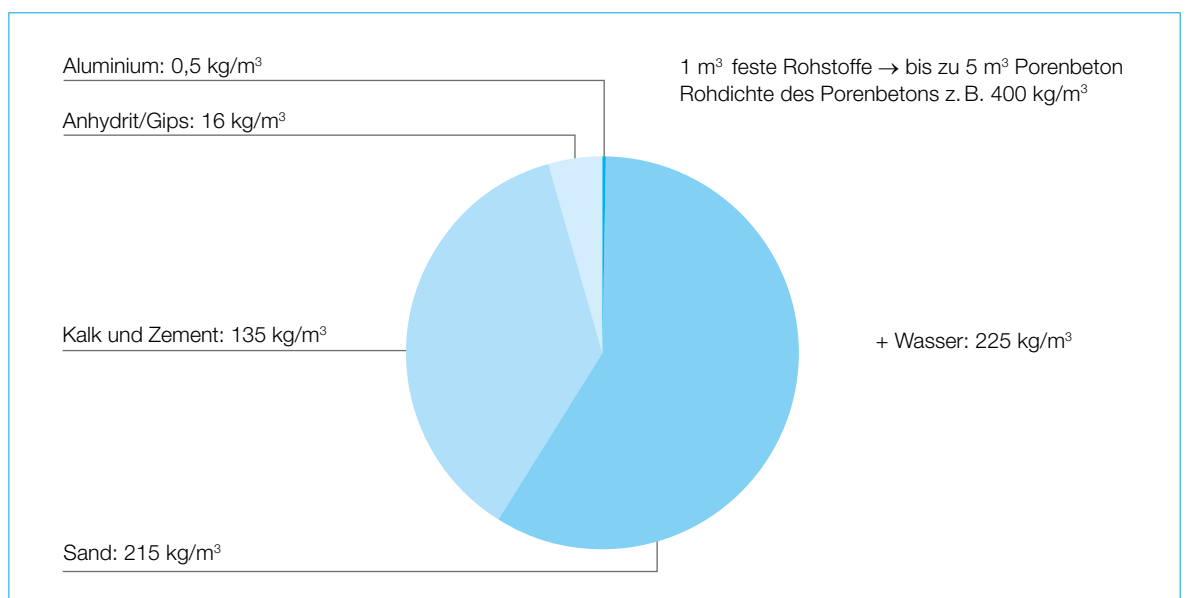
1.2 Herstellung

Produkte aus Porenbeton werden stationär in industriellen Verfahren hergestellt. Die Materialbasis von Porenbeton bilden die natürlichen Rohstoffe Quarzsand, Zement, Kalk und Wasser – sie sind nahezu unbegrenzt aus der Natur verfügbar. Als Treibmittel wird zur Porenbildung in geringen Mengen Aluminium (Recyclingprodukt) und bei bestimmten Rezepturen zusätzlich geringe Mengen Gips oder Anhydrit eingesetzt.

Aus einem Kubikmeter fester Rohstoffe können bis zu fünf Kubikmeter Porenbeton hergestellt werden, denn das Volumen des massiven Baustoffs besteht bis zu achtzig Prozent aus Luft – im Ergebnis also eine optimale Nutzung der Rohstoffressourcen. Durch den Einsatz regional abgebauter, mineralischer Rohstoffe mit kurzen Transportwegen, einen energieeffizienten Herstellungsprozess im Vergleich mit anderen Baustoffen sowie seine Langlebigkeit und Wertbeständigkeit leistet Porenbeton einen aktiven Beitrag zum nachhaltigen Bauen.

Der verwendete Sand ist ein natürlicher Rohstoff, der neben dem Hauptmineral Siliciumdioxid (SiO_2) natürliche Neben- und Spurenminerale enthält. Er ist ein wesentlicher Grundstoff für die hydrothermale Reaktion während der Dampfdruckhärtung. Sande, die z. B. Meersalz enthalten, können nicht bzw. erst nach einer Wäsche verarbeitet werden. Andere Beimischungen können besondere Rezepturen der Rohstoffmischung erforderlich machen. Vor der Verwendung wird der Sand in großen Mühlen zementfein oder zu Schlämmen gemahlen. Es können auch andere quarzhaltige Zuschlagsstoffe als Sand, z. B.

Abb. 1.1: Anteile der Rohstoffe bei der Herstellung von Porenbeton



Flugaschen, eingesetzt werden. Die wichtige Komponente für den Produktionsprozess und die Produktqualität ist der SiO_2 -Anteil.

Als Bindemittel wird gemahlener Branntkalk und Zement (Portlandzement oder auch andere Zementsorten) verwendet. Branntkalk wird durch Brennen von natürlichem Kalkstein, Zement vorwiegend aus Kalksteinmergel oder einem Gemisch aus Kalkstein und Ton hergestellt. Die natürlichen Rohstoffe werden gebrannt und anschließend gemahlen. Die Erstarrungszeit wird durch Zement und die Produkteigenschaften durch Anteile von Gips oder Anhydrit beeinflusst. Feines Pulver oder eine feinteilige Paste aus Aluminium wird mit Wasser zu einer Suspension gemischt und als Porosierungsmittel eingesetzt.

Durch Zusatz von Wasser erfolgt eine hydraulische Reaktion der Bindemittel. Außerdem ist Wasser zum Herstellen einer homogenen Suspension notwendig. Neben den Primärrohstoffen enthält die Mischung wiederverwendbaren gebrochenen und gemahlene Porenbeton aus der Produktion und sortenreines Recyclingmaterial von der Baustelle oder aus dem Rückbau. Da die Formgebung von Porenbetonprodukten während der Herstellung im nicht gehärteten Zustand erfolgt, können die anfallenden Porenbeton-schnittabfälle als Rückgutschlamm sofort wieder in den Prozess rückgeführt werden.

Die Grundstoffe werden dosiert, zu einer wässrigen Mischung verarbeitet und die Aluminium-Suspension zugegeben. Anschließend erfolgt das Einfüllen der Mischung in Stahlformen (Abb. 1.5). Dabei findet Schalöl als Trennmittel zwischen Form und Porenbeton-



Abb. 1.2: Rohstoffgewinnung Sand für die Herstellung von Porenbeton



Abb. 1.3: Rohstoffe für die Herstellung von Porenbeton

tonmasse Verwendung. Eingesetzt werden PAK-freie (PAK = polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) mineralische Öle unter Zusatz von langkettigen Additiven zur Viskositätserhöhung. Neben mineralischen Ölen finden auch natürliche Öle Anwendung.

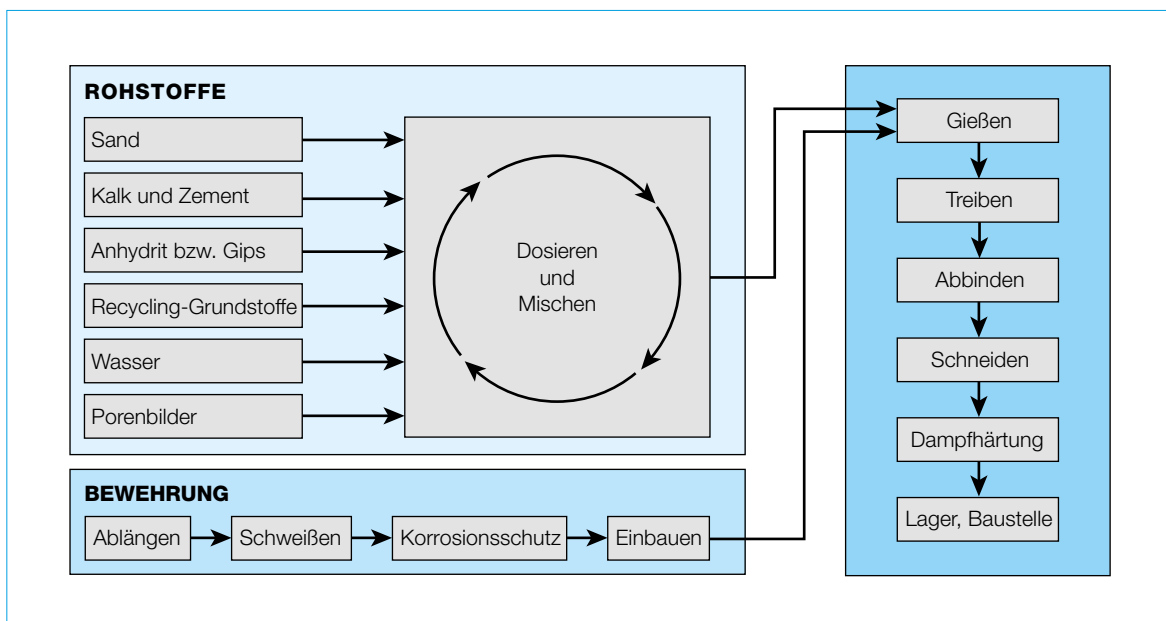


Abb. 1.4: Ablaufschema für die Herstellung von Porenbeton

Abb. 1.5: Einfüllen der Rohstoffmischung in Stahlformen



Für bewehrte Produkte wie Porenbeton-Flachstürze werden in einem vorgeschalteten Prozess Bewehrungsleitern hergestellt. Der Stahldraht wird von Rollen gezogen, gerichtet und abgelängt. Die Bewehrungsstäbe werden entsprechend den statischen Erfordernissen dimensioniert. Sie werden durch maschinelles Punktschweißen in Schweißautomaten zu Matten verbunden und ggf. zu Körben gebogen oder zusammengefügt.

Der Bewehrungsstahl wird gegen Korrosion geschützt, da Porenbeton im Vergleich zu Normalbeton einen niedrigeren pH-Wert besitzt und sich auf der Oberfläche des Stahls keine Passivschicht ausbildet. Hin-

zu kommt die Porosität, die das Eindringen von korrosionsfördernden Stoffen begünstigt. Der Korrosionsschutz wird üblicherweise in einem Tauchbad aufgebracht. In der Vergangenheit wurden vorwiegend stabile wässrige Dispersionen als organische Materialien (z. B. Bitumen oder organische Polymere mit einer Beimischung von Quarz zur Erhöhung der Haftung), aber auch anorganische Materialien (z. B. Zementschlämme mit Beimischungen zur Erhöhung der Dehnfähigkeit) eingesetzt. Aus Gründen des Umweltschutzes geht der Trend zu Wasserlacken oder Pulverbeschichtungen.

Die Bewehrungsleitern werden meistens vor dem Eingießen der Rohstoffmischung in die Formen eingebaut oder nach dem Gießen in die Masse getaucht und fixiert. Der Einbau wird äußerst exakt vorgenommen, weil der Inhalt einer Form später in mehrere Bauprodukte geschnitten wird.

Nach dem Eingießen der Masse in die Formen beginnen verschiedene chemische Reaktionen, von denen zunächst eine hervorzuheben ist: Das Aluminium reagiert mit Calciumhydroxid und Wasser (Abb. 1.6). Es entstehen Calciumaluminathydrat und Wasserstoffgas, welches die Rohstoffmischung bis zur erforderlichen Höhe in der Form auftreiben lässt. Das Gas entweicht während des ca. halb- bis einstündigen Treibvorgangs nach und nach rückstandsfrei in die

Abb. 1.6: Chemische Reaktion beim Treiben und bei der Luftporenbildung

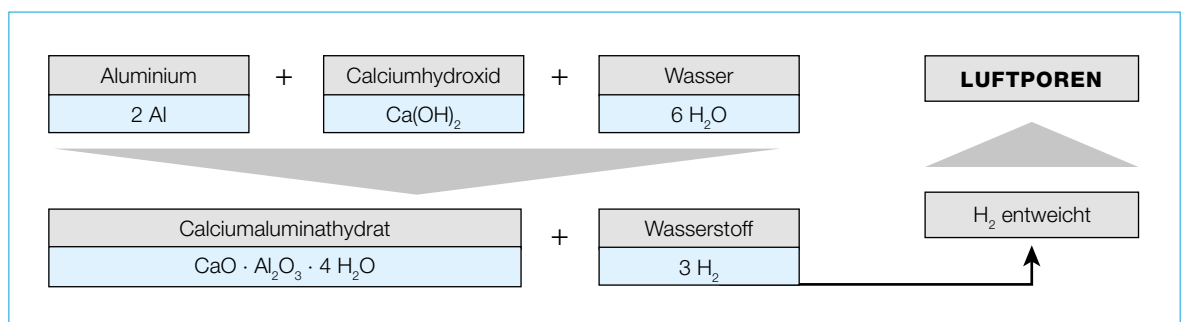


Abb. 1.7: Auftreiben der Rohmasse durch Porenbildung



Atmosphäre. In den Poren des entstehenden Baustoffs, die einen Durchmesser von 0,5 bis 1,5 mm aufweisen, wird das entweichende Wasserstoffgas durch Luft ersetzt. Kurz nach Ende des Treibens ist auch die Abbindereaktion soweit fortgeschritten, dass der Rohblock standfest ist (Abb. 1.8). Nach drei bis sechs Stunden wird er aus der Gießform entnommen.

Die standfesten Rohblöcke werden nach dem Entfernen der Gießformen mittels straff gespannter Stahldrähte präzise in die entsprechenden Formate geschnitten und profiliert. So entstehen als Ergebnis Porenbetonprodukte mit einer äußerst hohen Maßhaltigkeit und ebenen Oberflächen. Die beim Schneiden

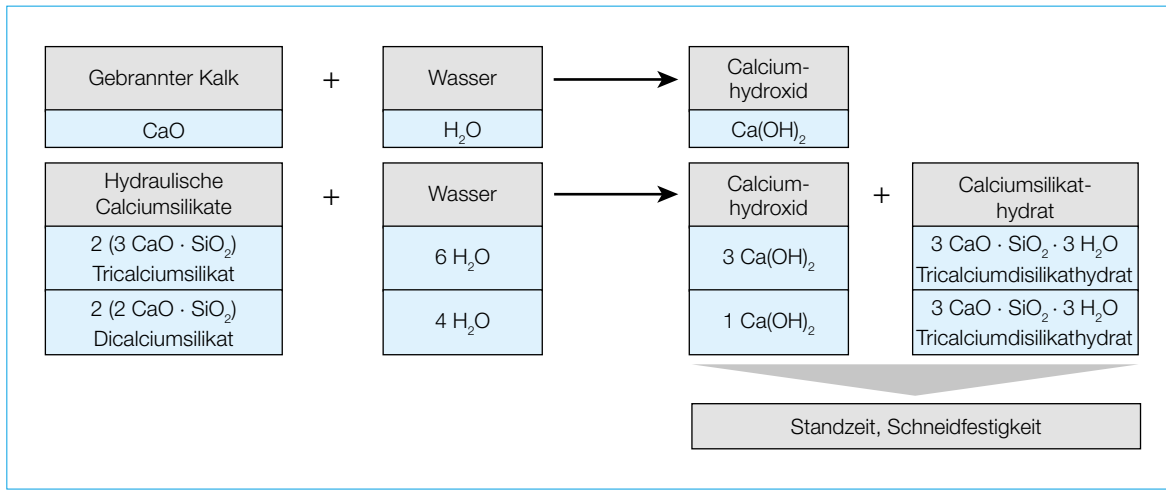


Abb. 1.8: Chemische Reaktion beim Abbinden

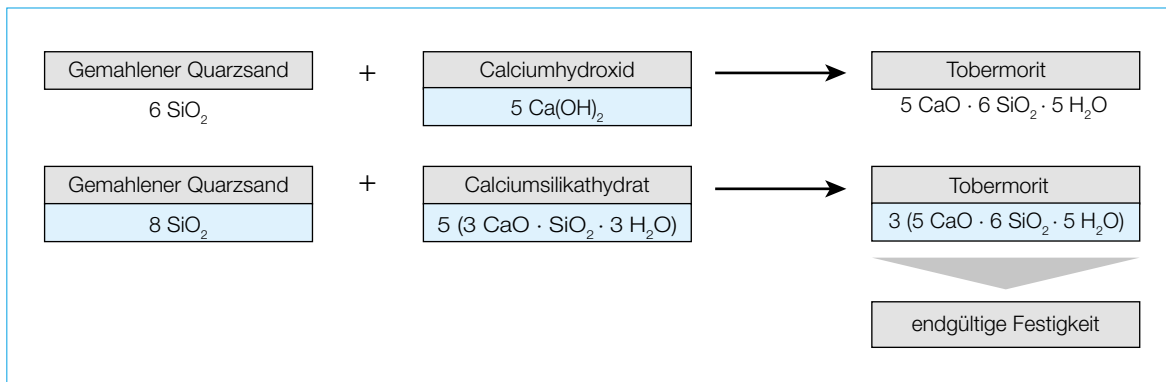


Abb. 1.9: Chemische Reaktion beim Härten

anfallenden Materialreste werden nach entsprechender Aufbereitung wieder der Rohstoffmischung zugeführt, wodurch die Porenbetonherstellung praktisch abfallfrei ist. Nach dem Schneiden folgt die Autoklavhärtung. Bei dieser Dampfdruckhärtung setzen sich das Siliciumdioxid (SiO₂) des Sandes und die Calciumoxid-Komponenten (CaO) des Zements und Kalks zu einem Calciumsilikathydrat um (Abb. 1.9). Dieser Vorgang läuft mit einer Temperatur von 170 bis 200 °C und einem Überdruck von 8 bis 11 bar über einen Zeitraum von 6 bis 10 Stunden ab. Die nun hoch druckfesten Porenbetonstege der geschlossenzelligen Porenstruktur (Abb. 1.10, Abb. 1.11) sind im Wesentlichen Calciumsilikathydrate, die dem in der Natur vorkommenden Mineral Tobermorit entsprechen.

Im Vergleich zu anderen Baustoffen ist das Verhältnis von Baustoffvolumen zu Rohstoffvolumen sehr gün-

stig. Oder anders ausgedrückt: Je nach Rohdichte entstehen aus 1 m³ fester Rohstoffe bis zu 5 m³ Porenbeton. So wird mit geringem Rohstoffeinsatz ein Produkt erzeugt, das geringes Gewicht, gute Wärmedämmeigenschaften und hohe Tragfähigkeit miteinander verbindet. Durch gezielte Einbindung der Luft als Wärmedämmstoff in die geschlossenzellige Struktur des Porenbetons wird die Wärmeleitfähigkeit des Produktes positiv beeinflusst. Unterschiedliche Rezepturen ergeben ein breites Spektrum an Rohdichten und Festigkeitseigenschaften.

Nach Abschluss des Herstellungsprozesses werden die Produkte auf Paletten von zweckmäßiger Größe gestapelt und mit einer wasserdichten Polyethylenfolie überzogen. Sie sind somit während des Transports und der Zwischenlagerung vor Beschädigungen und Witterungseinflüssen geschützt. Die Festigkeits- und

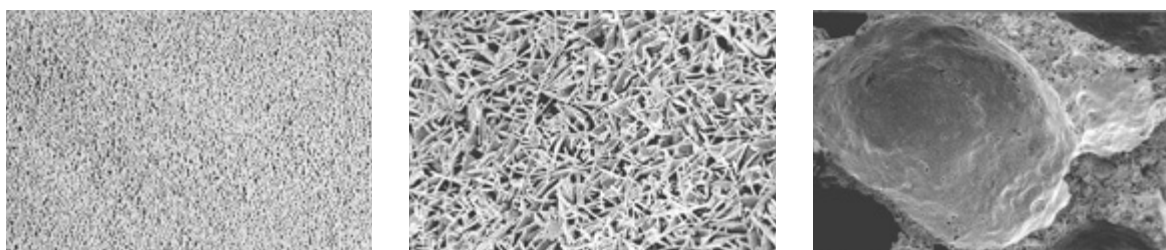


Abb. 1.10 (links): Geschlossenzellige Porenstruktur mit hoch druckfesten Porenbetonstegen

Abb. 1.11 (Mitte und rechts): Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen der Porenstruktur

Abb. 1.12: Fertige Porenbetonsteine nach Dampfhärtung im Autoklaven



Rohdichteigenschaften von Porenbeton sind nach Abschluss des Herstellungsprozesses erreicht. Bei bestimmungsgemäßer Anwendung ist er unbegrenzt beständig. Auf Grundlage europäischer Regelungen zur Gütesicherung und zur Gewährleistung eines hohen Qualitätsstandards werden Porenbetonprodukte in werkseigenen Labors im Zuge der Eigenüberwachung regelmäßig überprüft. Geprüft werden u. a. Rohstoffqualität, Rohdichte, Druckfestigkeit, Schwinden, Korrosionsschutz des Bewehrungsstahls, Wärmeleitfähigkeit und die Maßhaltigkeit.

1.3 Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit

1.3.1 Ausgangssituation

Das Thema Nachhaltigkeit stellt heute eines der wichtigsten Leitbilder für die Zukunft dar. Nachhaltigkeit bedeutet, ökologische, ökonomische und soziale Gesichtspunkte gleichberechtigt zu berücksichtigen, um nachfolgenden Generationen eine intakte Umwelt mit gleichen Lebenschancen zu hinterlassen. Auch für den Gebäudesektor ist diese Aufgabe angesichts des Klimawandels und der knapper werdenden Ressourcen wichtig. Für die Wahrnehmung der Verantwortung gegenüber Umwelt und Gesellschaft sowie zur Sicherung der Wirtschaftlichkeit ist es erforderlich, Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Gebäuden, das heißt an ihre ökologische, ökonomische und soziale Qualität zu definieren.

Im Jahr 2001 wurde durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung der Leitfaden Nachhaltiges Bauen herausgegeben, der in der aktualisierten Fassung 2015 vorliegt [1.11]. Zusammen mit dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen

(BNB) wurde der Leitfaden verbindlich für Bauvorhaben der öffentlichen Hand eingeführt. Die Schutzziele des Bewertungssystems lassen sich mit den folgenden Indikatoren beschreiben:

Ökologische Qualität – Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt

- Treibhauspotenzial (Global Warming Potential GWP) – Beschreibung des Beitrags von Emissionen zur Erwärmung der Luft
- Ozonschichtabbaupotenzial (Ozone Depletion Potential ODP) – Zerstörung der Ozonschicht
- Ozonbildungspotenzial (Photochemical Oxidant Creation Potential POCP) – bodennahe Ozonbildung
- Versauerungspotenzial (Acidification Potential AP) – Versauerung von Böden und Gewässern
- Überdüngungspotenzial (Eutrophication Potential EP) – Gewässer, Grundwasser und Böden
- Risiken für die lokale Umwelt – Reduzierung von Schadstoffen in Wasser, Boden, Luft bei der Verarbeitung auf der Baustelle oder durch Abwitterung in der Nutzungsphase
- Nachhaltige Materialgewinnung/Biodiversität – Schonung und Erhalt tropischer, subtropischer und borealer Waldregionen der Erde und damit verbunden der Erhalt der biologischen Vielfalt

Ökologische Qualität – Schonung natürlicher Ressourcen

- Primärenergiebedarf – Schonung begrenzter fossiler Energieträger, Erhöhung der Deckungsrate durch erneuerbare Energien
- Trinkwasserbedarf und Abfallaufkommen – Reduzierung der Umweltbelastung infolge Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung
- Flächeninanspruchnahme – Minimierung der zusätzlichen Bodenversiegelung und Maßnahmen zur Entsiegelung bereits versiegelter Flächen

Ökonomische Qualität

- Lebenszykluskosten (Baukosten, Betriebskosten, Kosten für Rückbau und Entsorgung)
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Mittleinsatz, hohe Ressourcenproduktivität, Neubau und Sanierung)
- Wertstabilität (Verkehrs- und Marktwert über die Nutzungsdauer, Wertentwicklung)

Soziokulturelle Qualität

- Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit (hygienisch unbedenkliche Innenraumqualität, Schadstoffemissionen aus Bauprodukten, thermischer Komfort im Sommer und Winter, visueller Komfort der Räume)
- Funktionalität (Barrierefreiheit, Flächeneffizienz, Umnutzungsfähigkeit, Fahrradkomfort, E-Mobilität)
- Sicherung der Gestaltungsqualität (gestalterische und städtebauliche Qualität, Kunst am Bau)
- Technische Qualität (Brandschutz, Schallschutz, Wärme- und Feuchteschutz, Reinigung und Instandhaltung, Bedienungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA), Rückbaufähigkeit des Gebäudes, Widerstandsfähigkeit gegen Naturgefahren)
- Prozessqualität (Projektvorbereitung, Integrale Planung, Komplexität und Optimierung der Planung, Ausschreibung und Vergabe, Voraussetzung für eine optimale Bewirtschaftung, Baustelle/Bauprozess, Qualität der Bauausführung)
- Standortmerkmale (Risiken am Mikrostandort, Verhältnisse am Mikrostandort, Quartiersmerkmale, Verkehrsanbindung, Nähe zu nutzungsrelevanten Einrichtungen, anliegende Medien/Erschließung)

Für die Bewertung des Gebäudes wird im Hinblick auf die Ökologie und Ökonomie ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren zugrunde gelegt. Die Qualitäten der Ökologie, der Ökonomie, des Sozialkulturellen sowie der technischen Qualität werden jeweils mit einem Anteil von 22,5 % und die Prozessqualität mit einem Anteil von 10 % berücksichtigt.

Lebenszyklusbetrachtung

Die Lebenszyklusbetrachtung gibt Aufschluss über die tatsächliche Qualität eines Gebäudes. Der Lebenszyklus eines Gebäudes setzt sich aus den Phasen Planung, Errichtung, Nutzung einschließlich Instandhaltung, Modernisierung sowie Rückbau, Verwertung und Entsorgung zusammen. Diese Lebensphasen eines Bauwerks müssen im Hinblick auf die unterschiedlichen Aspekte der Nachhaltigkeit analysiert und in ihrem Zusammenwirken optimiert werden.

1.3.2 Planung

Um die Aufwendungen und Wirkungen des Gebäudes über die gesamte Nutzungsdauer zu minimieren, kommt in der Planungsphase der ökonomischen und ökologischen Lebenszyklusbetrachtung (LCC – Life-

Cycle-Costing; LCA – Life-Cycle-Assessment) eine besondere Bedeutung zu.

Bei der ökonomischen Lebenszyklusanalyse werden die Investitionskosten nach DIN 276-1 [1.8] in Kostengruppen zusammengefasst sowie die Baunutzungskosten nach DIN 18960 [1.9] ermittelt. Die Energiekosten in der Betriebsphase können auf Grundlage des Energiebedarfs eines Gebäudes ermittelt werden. In Abhängigkeit vom Niveau des Wärmeschutzes eines Gebäudes inklusive der technischen Gebäudeausrüstung fallen 65 bis 80 % der Lebenszykluskosten als Baufolgekosten und nur 20 bis 35 % als Investitionskosten an.

Porenbeton weist als Massivbaustoff eine Wärmeleitfähigkeit ab 0,08 W/(mK) auf. Das bedeutet, dass mit hoch wärmedämmenden, monolithischen Außenwandkonstruktionen aus Porenbeton die Anforderungen der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen erfüllt und sogar übertroffen werden, was zu Einsparungen beim Energiebedarf (Heizkosteneinsparung) während der Nutzungsphase führt. Dies gilt natürlich unter Berücksichtigung einer geeigneten Anlagentechnik entsprechend den Anforderungen der Energieeinsparverordnung.

Die technische und wirtschaftliche Lebens- und Nutzungsdauer eines Gebäudes hat bei der Lebenszyklusbetrachtung eine besondere Bedeutung. Diese hängt von der Lebensdauer der Bauteile, der Dauerhaftigkeit der Bauteileigenschaften, von der Ausführungsqualität, der konkreten Beanspruchung und den Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen ab.

Bauteile, die aus Porenbeton erstellt werden, erfüllen dauerhaft die an sie gestellten Anforderungen. Wandkonstruktionen aus Porenbetonsteinen erreichen eine sehr lange Lebensdauer und übersteigen die bei einer Lebenszyklusbetrachtung üblicherweise anzusetzenden Referenzzeiträume und Nutzungsdauern von 50 Jahren bei weitem. Sie weisen darüber hinaus einen niedrigen Instandhaltungsgrad auf, der sich z. B. bei monolithischen Außenwänden auf eine eventuelle Erneuerung des außenseitigen Putzes oder der farblichen Beschichtung begrenzt.

Die Basis der ökologischen Nachhaltigkeitsbetrachtung liefert die Methodik der Ökobilanzierung nach ISO 14040 und ISO 14044. Alle Prozesse im Lebenszyklus eines Produktes werden betrachtet, von der Rohstoffgewinnung über die Produktion der Materialien, die Fertigung des Produktes, die Nutzungsphase bis hin zu allen Prozessen am Ende des

Produktlebensweges. Ökobilanzen liefern detaillierte und transparente Daten über Bauprodukte und ihre Umweltwirkungen. Diese Daten bilden unter anderem die Basis für Umwelt-Produktdeklarationen, die wiederum ein wichtiger Baustein für die fundierte Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden sind. EPD ist die Kurzform für Umwelt-Produktdeklaration und steht für die englische Bezeichnung Environmental Product Declaration. Die in EPDs enthaltenen umfassenden und zugleich detaillierten Ökobilanzdaten und Informationen sind in einem einheitlichen Format auf wenigen Seiten übersichtlich zusammengefasst. Sie schaffen die Basis für die Beschreibung und Beurteilung von Bauwerken.

1.3.3 Errichtung

Rohstoffgewinnung

Porenbeton besteht überwiegend aus mineralischen Rohstoffen. Rohstoffe für die Kalk- und Zementherstellung sind ebenso wie Sand und Wasser in ausreichendem Maße vorhanden und werden umweltschonend abgebaut – das Gleichgewicht der Natur wird dabei auf keinen Fall beeinträchtigt. Obwohl die verwendeten Rohstoffe so gut wie unerschöpflich sind, wird darauf geachtet, sparsam mit ihnen umzugehen. Wie günstig der Rohstoffverbrauch ist, zeigt, dass aus 1 m³ Rohstoff ca. 5 m³ Porenbeton entstehen. Das in geringen Mengen als porenbildender Zusatz verwendete Aluminium ist größtenteils wiederverwertetes Material.

Der Sand wird meist in unmittelbarer Umgebung der Porenbetonwerke gewonnen. Dadurch werden die Transportwege und die daraus resultierenden Umweltbelastungen für den Hauptrohstoff auf ein Minimum reduziert. Alle weiteren Grundstoffe werden aus einem Umkreis von maximal 200 km zum Werk geliefert. Sie werden von autorisierten Herstellerbetrieben bezogen und unterliegen einer zertifizierten Qualitätsüberwachung.

Unter dem Aspekt „Gesundes Wohnen“ soll die mögliche Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide und die Inhalation radioaktiver Edelgase auf ein unbedenkliches Maß eingeschränkt werden. Zum Schutz der Bevölkerung vor Strahlenexpositionen werden in Deutschland seit mehr als 20 Jahren Untersuchungen und Bewertungen der radioaktiven Stoffe in Baumaterialien durchgeführt. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat in Natursteinen, Baumaterialien und mineralischen Reststoffen die Aktivitätskonzentrationen natürlicher Radionuklide bestimmt. Alle mineralischen Rohstoffe enthalten geringe Mengen

an Stoffen, die natürlich radioaktiv sind, vor allem die Isotope Radium-226 (Ra-226), Thorium-232 (Th-232) und Kalium-40 (K-40).

Durch in Deutschland verwendete Bauprodukte, die in harmonisierten europäischen Normen geregelt sind, wird keine erhöhte Strahlenexposition beim Aufenthalt in aus diesen Bauprodukten errichteten Bauwerken verursacht. Im Vergleich zu anderen Baustoffen enthalten dabei Porenbeton-Produkte nur sehr geringe Konzentrationen an radioaktiven Isotopen, die weit unter den empfohlenen Grenzwerten liegen [1.3].

Neben der natürlichen Radioaktivität der Baustoffe ist unter Umständen die Radonbelastung im Erdboden zu beachten. Radon ist ein natürlich vorkommendes Edelgas, das aus dem radioaktiven Zerfall von Radium entsteht. Es kann aus dem Untergrund in Gebäude eindringen und zur Innenraum-Luftbelastung führen. Angaben zur regionalen Radonbelastung in der Bodenluft, die von den geologischen Formationen abhängt, können der Radonkarte Deutschland entnommen werden [1.2].

Herstellung

Porenbetonsteine erweisen sich im Vergleich zu anderen Wandbaustoffen in ökologischer Hinsicht als besonders günstig bei der Herstellung. Der Energieverbrauch für die eigentliche Produktion von Porenbeton wird im Wesentlichen durch die Dampfdruck-erzeugung im Autoklaven bei 8 bis 12 bar und vergleichsweise niedrigen Temperaturen von 170 bis 200 °C über einen Zeitraum von 6 bis 10 Stunden bestimmt, um den Porenbeton in Abhängigkeit von der gewünschten Festigkeitsklasse zu härten.

Dabei ist Erdgas der vorwiegend genutzte Energieträger, wodurch die Emissionen der Abgase gering gehalten werden können. Die Energiebilanz kann durch Verwendung von regenerativen Energien verbessert werden. Durch Mehrfachnutzung des Wasserdampfes wird zusätzlich Energie eingespart. Auch das entstehende Kondensat wird wiederverwendet: Zusammen mit Frischwasser wird es für den Prozess genutzt und dem Rohstoffgemisch beigegeben. Durch eine konsequente Mehrfachnutzung des Betriebswassers wird es möglich, dass bei der Porenbetonproduktion keine Abwässer anfallen.

Die Porenbetonsteine werden anschließend auf Holzpaletten gestapelt und mit recyclebaren Folien aus Polyethylen (PE) überzogen. Die Verpackungseinheiten für Porenbetonprodukte werden für einen optimalen Transport ausgelegt.

Transport

Aufgrund des geringen Gewichtes von Porenbeton kann pro LKW mehr Mauerwerksmaterial transportiert werden als bei anderen Steinarten. Entladegeräte auf den LKWs reduzieren den Baustellentransport. Diese Geräte können bei kleinen Baustellen auch die Bereitstellung der Mauersteine bis in das zweite Geschoss übernehmen.

Verarbeitung

Bei der Verarbeitung von Wandbauprodukten aus Porenbeton gibt es viele Möglichkeiten der Rationalisierung, die das Verarbeiten erleichtern. Griffaschen erlauben das handliche, kräfte- und gesundheitschonende Vermauern von Porenbeton-Plansteinen. Die Ausbildung mit Nut-Feder-System machen eine Vermörtelung der Stoßfugen überflüssig. Porenbeton-Plansteine und -Planelemente mit einer bauüblichen Feuchte und einem Gewicht von mehr als 25 kg werden entsprechend den Anforderungen der Bau-Berufsgenossenschaft mit Versetzgeräten vermauert.

Bei der Erstellung einer Mauerwerkswand aus Porenbeton-Planelementen kann die Anzahl der erforderlichen Steine pro m² Wand gegenüber konventionellem Mauerwerk erheblich reduziert werden. Passstücke können auf der Baustelle leicht zugeschnitten werden. Für das nachträgliche Bearbeiten, z. B. das Anlegen von Schlitzern und Aussparungen, sind Fräsen mit Staubabsaugung zu verwenden. Somit können alle Anforderungen an den Arbeitsschutz beim Verarbeiten von Porenbetonprodukten erfüllt werden.

1.3.4 Nutzung

In der Nutzungsphase sind insbesondere die nachfolgenden Kriterien von besonderer Bedeutung (weitere können gebäude-/nutzungsspezifisch hinzukommen):

- Energieverbrauch (Heizenergiebedarf, Warmwasserversorgung, Kühlung, Lüftung)
- Behaglichkeit (thermische, hygrische und akustische Behaglichkeit)
- Gesundheit (Brandschutz, Vermeidung von Schimmelpilzbildung, Raumluftqualität)
- Instandhaltung

Energieverbrauch

Der Verbrauch von Primärenergie für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung insbesondere unter Berücksichtigung erneuerbarer Energien ist im Rahmen eines gesamt-

heitlichen energetischen Bewertungskonzeptes zu begrenzen. Darüber hinaus ist es technisch möglich, Gebäude zu errichten, die einen noch geringeren Energiebedarf haben als nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) vorgeschrieben ist. Hier sind im Zusammenhang mit energiesparenden Gebäuden z. B. das KfW-Effizienzhaus, Passivhaus oder Niedrigstenergiegebäude zu nennen. Dabei muss es das Ziel sein, durch passive baukonstruktive Maßnahmen den Energiebedarf so zu reduzieren, dass aufwendige Anlagentechnik auf das notwendige Maß reduziert werden kann. Nach dem Erneuerbare-Energie-Wärme-gesetz (EEWärmeG) ist ein Mindestwert an erneuerbarer Energie zur Deckung des Heizwärme- und Kühlbedarfs beim Neubau zu erfüllen (siehe Kapitel 5 „Wärme“).

Die Energieaufwendungen werden entsprechend der Energieeinsparverordnung für Wohngebäude und Nichtwohngebäude ermittelt. Mit seinen hervorragenden wärmeschutztechnischen Eigenschaften erweist sich Porenbeton als Baustoff, der den anspruchsvollen Klimaschutzziele gewachsen ist. Als Massivbaustoff bietet er eine Wärmeleitfähigkeit ab 0,08 W/(mK) in der Rohdichteklasse 0,35. Bereits eine 36,5 cm dicke einschalige, lediglich verputzte Außenwand besitzt einen U-Wert von 0,21 W/(m²K). Im Außenwandbereich können damit die Anforderungen der Energieeinsparverordnung mit monolithischen Wänden aus Porenbeton ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen erfüllt werden. Das gilt unter der Voraussetzung, dass auch die Anlagentechnik den Anforderungen der aktuellen EnEV genügt.

Der homogene Wandaufbau erlaubt nahezu wärmebrückenfreie Konstruktionen. Eine verputzte einschalige Wand aus Porenbeton gilt ohne Zusatzmaßnahmen als luftdicht im Sinne der Energieeinsparverordnung. Auch für das Erstellen von KfW-Effizienzhäusern, Passivhäusern oder Niedrigstenergiegebäuden sind Wandbauprodukte aus Porenbeton aufgrund ihrer hervorragenden wärmeschutztechnischen Qualität bestens geeignet.

Beim Neubau ist in jedem Fall unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit zu prüfen, ob der Energiebedarf für die Warmwasserversorgung durch solarthermische Anlagen unterstützt werden kann.

Die gute Wärmespeicherfähigkeit von Porenbeton sorgt insbesondere beim sommerlichen Wärmeschutz für eine temperatenausgleichende Wirkung zwischen Außen- und Innentemperatur über die Mauerwerks-wände aus Porenbeton (siehe Kapitel 5 „Wärme“).

Behaglichkeit

Angemessene Behaglichkeit ist ein wichtiges Kriterium für ein gesundes Raumklima. Sie hängt u. a. von der Raumlufttemperatur und der Raumluftfeuchte ab (Abb. 1.13). Der geringe Wärmedurchgang durch Außenwände aus Porenbetonmauerwerk führt zu relativ hohen raumseitigen Oberflächentemperaturen der Außenbauteile, die wiederum eine größere thermische Behaglichkeit mit sich bringen (Abb. 1.14)

Durch Innen-Oberflächentemperaturen, die nur wenig unter denen der Lufttemperatur im Innenraum liegen, wird das von schlecht gedämmten Gebäuden her bekannte Gefühl der Zuglufterscheinungen in Außenwandnähe vermieden. Deshalb ist es möglich, die

Raumlufttemperatur in Räumen mit gut dämmenden Außenwänden, z. B. aus Porenbeton-Wandbauprodukten, um 1 oder 2 K zu senken, ohne dass dies als unangenehm empfunden wird.

Bei kurzzeitiger Erhöhung der Raumluftfeuchte, hervorgerufen z. B. durch Waschen oder Kochen, aber auch durch schwere körperliche Arbeit, kann der auf dem Porenbeton aufgebrachte Putz Feuchtigkeit absorbieren und bei Lüftung wieder an die Raumluft abgeben. Dies wirkt sich regulierend auf das Raumklima und die Behaglichkeit aus.

Die akustische Behaglichkeit hat eine große Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen und ist besonders wichtig im Wohnungsbau. Der Wohnraum dient dem Menschen zur Entspannung und zum Ausruhen und auch zur Abschirmung des privaten Bereiches gegenüber dem Nachbarn. Außenwandkonstruktionen und zweischalige Haustrennwände aus Porenbetonmauerwerk erreichen ohne zusätzliche Maßnahmen einen normgerechten Schallschutz (siehe Kapitel 7 „Schall“).

Gesundheit

Die konkreten Schutzziele des Brandschutzes sind durch die höchste Stufe des Gesundheitsschutzes definiert. Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind. Porenbeton ist ein mineralischer Baustoff, der keine brennbaren Bestandteile enthält und somit gemäß DIN 4102-1 der höchsten Baustoffklasse A1 „nicht brennbar“ zugeordnet ist. Je nach konstruktiver Ausbildung der Wandkonstruktion ist Porenbeton für alle Feuerwiderstandsklassen optimal einsetzbar (siehe Kapitel 8 „Brand“).

Eine Gefährdung der Gesundheit durch Schimmelpilzbildung ist gegeben, wenn in den oberflächennahen Bereichen und der Raumluft über längere Zeit eine Luftfeuchtigkeit von mehr als 80 % relativer Feuchte vorliegt. Von daher kommt bei der Außenhülle eines Gebäudes den Wärmebrücken eine besondere Beachtung zu. Bei falscher Konstruktionswahl oder fehlerhafter Planung bzw. Ausführung der Konstruktionsdetails kann es zu Tauwasserausfall/Durchfeuchtung kommen und in der Folge können Schimmelpilzbefall und Bauschäden auftreten. Homogene Außenwände aus Porenbeton erlauben nahezu wärmebrückenfreie Konstruktionen, die diese negativen Folgen weitestgehend ausschließen.

Abb. 1.13: Behaglichkeit in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und der relativen Raumluftfeuchte

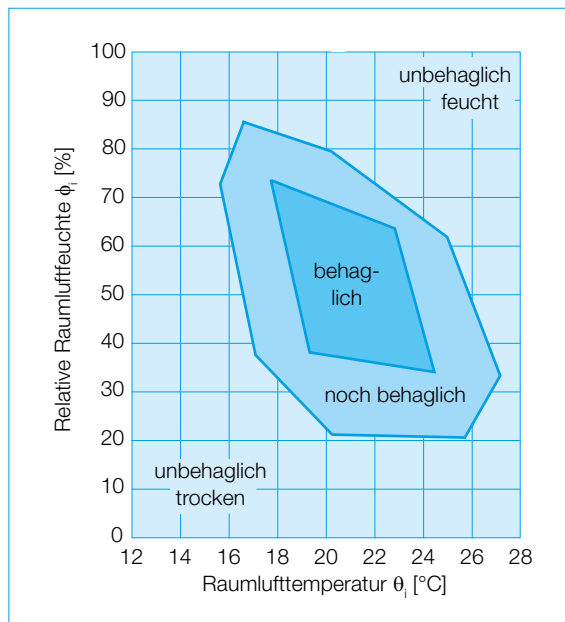
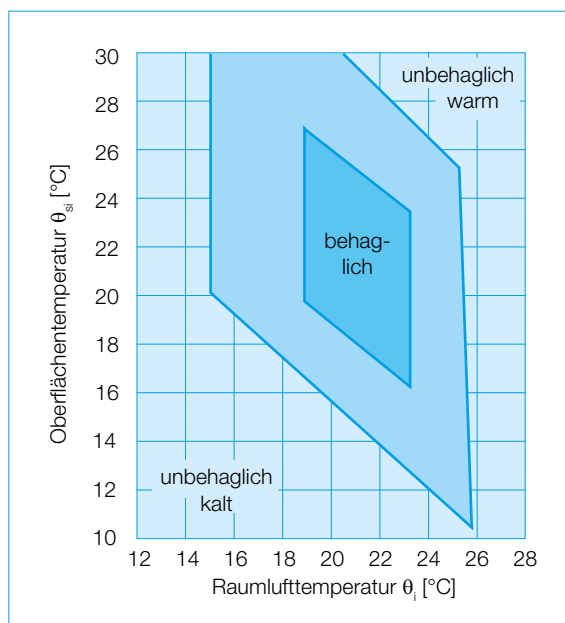


Abb. 1.14: Behaglichkeit in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und der raumseitigen Oberflächentemperatur der Außenbauteile



Zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung ist aber genauso das richtige Nutzerverhalten mit ausreichendem Heizen und ordnungsgemäßem Lüften wichtig (siehe Kapitel 5 „Wärme“ und 6 „Feuchte“).

Im Sinne des Gesundheitsschutzes ist auch der Schadstoffgehalt als Kriterium für die Raumluftqualität wichtig. Die Gesamtschadstoffkonzentration in einem Raum ist u. a. abhängig vom Schadstoffausstoß der darin lebenden Menschen, der Einrichtungsgegenstände, der verwendeten Baumaterialien und deren Oberflächenschichten sowie der technischen Ausrüstung. Eine zu hohe Schadstoffkonzentration kann sich schädigend auf die Gesundheit der Menschen auswirken. Wirksamste Gegenmaßnahme ist eine regelmäßige Lüftung mehrmals am Tage.

Da Porenbeton im eingebauten Zustand weder staub- oder faserförmige noch gasförmige Schadstoffe an die Raumluft abgibt, leistet er eine optimale Voraussetzung für eine gute Raumluftqualität. Ebenso emittiert Porenbeton keine schädlichen Stoffe wie VOC (volatile organic compounds = flüchtige organische Substanzen). Auch im Falle eines Brandes gehen vom Porenbeton keine gesundheitlichen Risiken aus. Beim Brand entstehen keine toxischen Gase oder Dämpfe.

Instandhaltung

Aufgrund ihrer Robustheit und Langlebigkeit sind Wände aus Porenbetonmauerwerk instandhaltungsfrei. Lediglich auf Porenbetonwände aufgebrachte Putze, Beschichtungen oder Bekleidungen benötigen eine regelmäßige Inspektion und gegebenenfalls eine Wartung.

1.3.5 Rückbau, Recycling und Deponierung

Am Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes steht der Rückbau mit den weiteren Prozessen Deponierung oder Recycling.

Deponierung

Die Entstehung von Abfällen ist im Sinne der Kreislaufwirtschaft soweit wie möglich zu vermeiden. Traditionell ist Baustellenabbruch Abfall und wird auf Deponien entsorgt. Erst in den letzten Jahren wird er verstärkt einer Wiederverwertung zugeführt. Dies geschieht im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, das die Deponierung von Abfällen zur Verwertung untersagt. Sortenreiner Porenbeton aus der Produktion oder dem Rückbau können als Produktionsrohstoff der Herstellung oder anderen Verwertungswegen zugeführt werden.

In manchen Fällen ist es allerdings wirtschaftlich nicht sinnvoll, Porenbetonreste in die Herstellerwerke zurückzuführen. Mindermengen, große Transportentfernungen oder Vermischungen mit anderen Baustellenabfällen können hierfür die Ursache sein.

Abbruch und Rückbau von Gebäuden bzw. Bauteilen aus Porenbeton sind gesundheitlich unbedenklich. Der entstehende Staub enthält keine lungengängigen und schwer löslichen Fasern oder andere Schadstoffe. Die Staubbelastung bei Abbrucharbeiten bzw. bei der Zwischenlagerung von Bauschutt auf dem Abrissgelände kann durch Besprühen mit Wasser und somit durch wirksame Bindung des Staubes gemindert werden.

Obwohl die Porenbetonindustrie die Wiederverwertung von Altmaterial anstrebt, hat sie umfangreiche Untersuchungen durchführen lassen, um Aufschluss über das Verhalten dieses Baustoffes unter Deponiebedingungen zu erhalten. Sämtliche Untersuchungen belegen, dass Porenbeton problemlos auf Deponien der Deponieklasse 1 nach der Deponieverordnung abgelagert und nach dem Abfallschlüssel 17 01 01 entsprechend der Anlage zur Abfallverzeichnisverordnung entsorgt werden kann. Darüber hinaus ist Porenbeton gemäß der Entscheidung des Rates (2003/33/EG) [1.10] vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien der Deponieklasse „Nicht gefährliche Abfälle“ zuzuordnen.

Recycling und Wiederverwendung

Sortenreiner Porenbeton aus der Produktion oder dem Rückbau können als Produktionsrohstoff der Herstellung zugeführt werden. Seit vielen Jahren forscht die Porenbetonindustrie mit Kooperationspartnern an weiteren Verwertungswegen außerhalb der eigenen Herstellung. Beispielhaft seien hier die folgenden Verwertungsmöglichkeiten und Untersuchungen genannt:

- Sortenreine Porenbetonreste können zu Granulaten weiterverwertet werden und z. B. als Ölbinder, Trocken- und Wärmedämmschüttungen oder Katzenstreu Verwendung finden.
- Bioaktivierung von Porenbeton- und Kalksandstein-Recyclinggranulaten mit Methan oxidierenden Bakterien zur Reduktion von Methanausgasungen aus Hausmülldeponien – ein Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz – METHANOX II:
Mit dieser Arbeit wurde im Rahmen von Laboruntersuchungen und in situ auf der Blocklanddeponie in Bremen aufgezeigt, dass fein abgestufte Gemische

aus Porenbeton- und Kalksandstein-Recyclinggranulaten als Deponieabdeckung geeignet sind. Dabei dienen diese gleichzeitig als Träger für Methan abbauende Mikroorganismen, die klimaschädliches Methan in das vergleichsweise „weniger schädliche“ CO₂ umwandeln. Dieses Projekt wurde in enger Zusammenarbeit der Forschungsvereinigungen Porenbetonindustrie e. V., Berlin und Kalksand e. V., Hannover, der Forschungsvereinigung Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen e. V., Bremen sowie dem Umweltbetrieb Bremen (Betreiber der Blocklanddeponie Bremen) durchgeführt. Das Forschungsvorhaben (AiF-Nummer: 16637 N) wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) gefördert [1.4].

- Verwertung und Behandlung von fein schluffigem Baggergut aus Gewässersedimenten durch Konditionierung mit Porenbetongranulat aus Produktionsresten:
Aufbauend auf einer Machbarkeitsstudie [1.5] wurde 2014 ein Referenzversuch zur Verwertung und Behandlung von fein schluffigem Baggergut aus Gewässersedimenten durch Konditionierung mit Porenbetongranulat aus Produktionsresten [1.6] erfolgreich durchgeführt. Ziel war es, durch die

Behandlung des bei Nassbaggerungen anfallenden Baggergutes mit Porenbetongranulat ein bodenähnliches Substrat zu gewinnen, das sich beispielsweise als Rekultivierungsmaterial im Landschaftsbau einsetzen lässt.

- Hochwertige Verwertungswege für Porenbetonbruch in Mörteln und Recycling-Leichtsteinen für Mauerwerk:
In den letzten 15 Jahren wurden von der Forschungsvereinigung für Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen e. V. (RWB) über verschiedenste Förderprogramme (AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF); Förderprogramm Angewandte Umweltforschung und aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE; Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU); Fördermittel der Hansestadt Bremen) in der MPA Bremen verschiedenste Forschungsvorhaben zur Verwendung von Porenbetonbruch aus dem Rückbau durchgeführt:
 - Verwendung von Porenbeton-Rezyklaten für Rezepturen von Werk trockenmörteln
 - Verwendung von Porenbeton-Rezyklaten für die Herstellung von Recycling-Leichtsteinen

Literatur

- [1.1] Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“, Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2015
- [1.2] Bundesamt für Strahlenschutz: Radonkarte Deutschland <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/radon-karte.html>
- [1.3] Keller, G.; Muth, H.: Strahleneinwirkungen durch Radon in Wohnhäusern, Bauphysik Jahrgang 15 (1993), H. 5, S. 141-145
- [1.4] AiF-Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V.: Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben 16637 N: Bioaktivierung von Porenbeton- und Kalksandstein-Recyclinggranulaten mit Methan oxidierenden Bakterien zur Reduktion von Methan ausgasungen aus Hausmülldeponien – ein Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz – METHANOX II“, Januar 2015
- [1.5] Labor für Umweltschutz und Chemische Analytik LUS GmbH: Machbarkeitsstudie zur Verwertung von Porenbeton aus Abriss als Zuschlagstoff für aquatisches Baggergut zur Herstellung eines „Bodenverbessers“ für den Landschaftsbau, Magdeburg Mai 2012
- [1.6] Sachverständigenbüro Dr. H. Grahlert, Labor für Umweltschutz und Chemische Analytik LUS GmbH und Kooperation mit verschiedensten Behörden und Industriepartnern: Referenzversuch zur Verwertung und Behandlung von feinschluffigem Baggergut aus Gewässersedimenten durch Konditionierung mit Porenbetongranulat aus Produktionsresten, Magdeburg 2014
- [1.7] Hlawatsch, F.; Aycil, H. und Kropp, J: Hochwertige Verwertungswege für Porenbetonbruch in Mörteln und Leichtsteinen für Mauerwerk; Kongress der Forschungsvereinigung für Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen e.V. (RWB), Bremen 2018
- [1.8] DIN 276-1:2008-12 – Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau
- [1.9] DIN 18960:2008-02 – Nutzungskosten im Hochbau
- [1.10] 2003/33/EG: Entscheidung des Rates vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gemäß Artikel 16 und Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG

Bildnachweise

Abb. 1.2: © gsz-Fachpressebüro, Berlin

Abb. 1.3/Abb. 1.5/Abb. 1.7/Abb. 1.12: © C. Schlamann | blickfein photography

Abb. 1.10/Abb. 1.11: © Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

PRODUKTE

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

2.1 Übersicht

Mauerwerksprodukte aus Porenbeton, die im eingebauten Zustand im Wesentlichen Druckkräfte aufnehmen, werden ohne Bewehrung hergestellt. Größere Mauerwerksbauteile (z. B. Mauertafeln) erhalten zusätzlich eine statisch nicht anrechenbare Transportbewehrung und gelten in Bezug auf ihr Tragverhalten als unbewehrt. Zur Erstellung von tragenden und nicht tragenden Wandbaukonstruktionen (Kellerwände, Außenwände, Innenwände, Trennwände, Brandwände etc.) kommen folgende unbewehrte Porenbetonprodukte zum Einsatz:

- Planstein
- Planelement
- Planbauplatte
- Mauertafel

Um einem großen Teil des Gebäudes gleichmäßige bauphysikalische Eigenschaften zu verleihen und im Bausystem zu bleiben, kann auf unbewehrte oder bewehrte Ergänzungsprodukte aus Porenbeton zurückgegriffen werden:

- Höhenausgleichsstein
- Eckstein
- Deckenrandstein
- Flachsturz
- Sturz
- U-Stein/U-Schale

Die hohe Maßhaltigkeit der Porenbetonprodukte sowie Nut-Feder-Profilierungen und Griffhilfen bei den Porenbetonsteinen ermöglichen eine rationelle, nahezu fugenlose Verlegung im Dünnbettmörtelverfahren und im Ergebnis planebene Wandoberflächen.

2.2 Regeln für die Produkteigenschaften und Anwendung

Als Folge des europäischen Harmonisierungsprozesses im Bauwesen sind auch in Deutschland europäische Mauersteinnormen zu beachten. Zur euro-

päischen Porenbetonsteinnorm liegt die deutsche Fassung DIN EN 771-4: „Festlegungen für Mauersteine – Teil 4: Porenbetonsteine“ vor [2.1]. Nach dieser Norm hergestellte Bauprodukte aus Porenbeton, die aus EU-Mitgliedsstaaten gehandelt und in Verkehr gebracht werden, sind mit einem CE-Zeichen zu versehen, anhand dessen die Leistungskennwerte für Porenbetonprodukte erkennbar sind.

Im Rahmen der CE-Kennzeichnung sind gemäß der europäischen Norm vom Hersteller eine Reihe von Produktdaten anzugeben. Eine vollständige CE-Kennzeichnung mit Artikelnummer und Herstellwerk ist in der Regel aufgrund der Vielzahl der Angaben nur auf einem Etikett oder Begleitdokument (z. B. Lieferschein) möglich. Darüber hinaus nimmt die CE-Kennzeichnung eindeutigen Bezug auf die seit Inkrafttreten der Bauproduktenverordnung auszustellende Leistungserklärung, welche die früher übliche Konformitätserklärung ersetzt.

Für CE-gekennzeichnete Baustoffe muss der Hersteller bereits beim Inverkehrbringen eines Bauproduktes eine Leistungserklärung (DOP – Declaration of Performance) bereithalten – ebenso der Baustoffhändler, der das Produkt auf dem Markt veräußert. Diese „Bringschuld“ an den Kunden erfolgt in der Regel in elektronischer Form, das heißt auf Plattformen einzelner Hersteller sowie auf Plattformen für die Bereitstellung von Leistungserklärungen.

Die Zuständigkeit für die Anwendung von Bauprodukten liegt in der alleinigen Verantwortung der einzelnen EU-Mitgliedsstaaten. Bei ausschließlich CE-gekennzeichneten Mauersteinen muss der Bauherr oder Planer darauf achten, dass diese Mauersteine auch in Deutschland verwendbar sind. Um Steine, die nach europäischer Porenbeton-Stoffnorm hergestellt worden sind, in Deutschland anzuwenden, ist ergänzend die DIN 20000-404 „Regeln für die Verwendung von Porenbetonsteinen nach DIN EN 771-4“ [2.2] zu beachten. Diese Norm stellt das Bindeglied zwischen europäischer Norm und der national gültigen Bemessungsnorm Eurocode 6 (DIN EN 1996 und Nationale Anhänge) her. Darin enthalten sind Angaben zu Maßen, Rohdichte- und Steifigkeits-

Tab. 2.1: Regeln für die Eigenschaften, Anwendung und Berechnung von Produkten aus Porenbeton

Produkt	Regel		
	Eigenschaften	Anwendung	Berechnung
Planstein	DIN EN 771-4 [2.1] DIN 20000-404 [2.2] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [2.3]	DIN EN 1996 + NA [2.10], [2.11] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [2.3]	DIN EN 1996 + NA [2.10], [2.11] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [2.3] DIN EN 1991 + NA [2.12], [2.13] DIN 4149 [2.14]
Planelement	DIN EN 771-4 [2.1] DIN 20000-404 [2.2] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [2.4], [2.5]	DIN EN 1996 + NA [2.10], [2.11] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [2.4], [2.5]	DIN EN 1996 + NA [2.10], [2.11] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [2.4], [2.5] DIN EN 1991 + NA [2.12], [2.13] DIN 4149 [2.14]
Planbauplatte	DIN 4166 [2.8]	DIN EN 1996 + NA [2.10], [2.11]	DIN EN 1996 + NA [2.10], [2.11] DIN EN 1991 + NA [2.12], [2.13]
Flachsturz	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [2.6]	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [2.6]	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [2.6] Typenstatik [2.7]
Sturz	DIN EN 12602 [2.9]	DIN EN 12602 [2.9] DIN 4223-102 [2.17]	DIN EN 12602 [2.9] DIN 4223-102 [2.17]
Mauertafel	DIN EN 771-4 [2.1] DIN 20000-404 [2.2]	DIN EN 1996 + NA [2.10], [2.11] DIN 1053-4 [2.15]	DIN EN 1996 + NA [2.10], [2.11] DIN 1053-4 [2.15] DIN EN 1991 + NA [2.12], [2.13] DIN 4149 [2.14]

klassen, Bestimmungen für den Entwurf und die Bemessung sowie zur Zuordnung zu den national gültigen bauphysikalischen Normen.

Da nicht alle Festigkeits-/Rohdichtekombinationen in der Anwendungsnorm enthalten sind, existieren für Porenbetonsteine noch einige wenige Zulassungsbescheide des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt). Die darin beschriebenen Regelungen für die Bemessung von Bauteilen sind zu beachten. Darüber

hinaus sollen die Inhalte dieser Zulassungen Zug um Zug in die europäische Normung bzw. in die nationale Anwendungsnorm überführt werden, so dass dann auf diese Zulassungsbescheide verzichtet werden kann. Tab. 2.1 zeigt eine Übersicht der Regeln für die Eigenschaften von Produkten aus Porenbeton, ergänzt um die der Anwendung und Berechnung. Die Druckfestigkeits- und Rohdichteigenschaften von Mauerwerksprodukten aus Porenbeton können Tab. 2.2 entnommen werden.

Tab. 2.2: Druckfestigkeits- und Rohdichteigenschaften von Mauerwerksprodukten aus Porenbeton

Produkt	Druckfestigkeit			Rohdichte	
	Klasse	Mittelwert N/mm ²	Kleinster Einzelwert N/mm ²	Klasse	Mittelwert kg/dm ³
Planstein	1,6	2,0	1,6	0,30	> 0,25 bis 0,30
				0,35	> 0,30 bis 0,35
	2	2,5	2,0	0,35	> 0,30 bis 0,35
				0,40	> 0,35 bis 0,40
				0,45	> 0,40 bis 0,45
				0,50	> 0,45 bis 0,50
				0,55	> 0,45 bis 0,50
	4	5,0	4,0	0,55	> 0,50 bis 0,55
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,70	> 0,65 bis 0,70
				0,80	> 0,70 bis 0,80
				0,80	> 0,70 bis 0,80
	6	7,5	6,0	0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,70	> 0,65 bis 0,70
8	10,0	8,0	0,80	> 0,70 bis 0,80	
			0,80	> 0,70 bis 0,80	
			0,90	> 0,80 bis 0,90	
			1,00	> 0,90 bis 1,00	

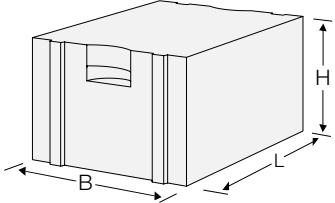
Produkt	Druckfestigkeit			Rohdichte	
	Klasse	Mittelwert N/mm ²	Kleinster Einzelwert N/mm ²	Klasse	Mittelwert kg/dm ³
Planelement	2	2,5	2,0	0,35	> 0,30 bis 0,35
				0,40	> 0,35 bis 0,40
				0,45	> 0,40 bis 0,45
				0,50	> 0,45 bis 0,50
	4	5,0	4,0	0,50	> 0,45 bis 0,50
				0,55	> 0,50 bis 0,55
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
	6	7,5	6,0	0,70	> 0,65 bis 0,70
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,70	> 0,65 bis 0,70
Planbauplatte	-	-	-	0,80	> 0,70 bis 0,80
				0,90	> 0,80 bis 0,90
				1,00	> 0,90 bis 1,00
				0,35	> 0,30 bis 0,35
				0,40	> 0,35 bis 0,40
				0,45	> 0,40 bis 0,45
				0,50	> 0,45 bis 0,50
				0,55	> 0,50 bis 0,55
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
Flachsturz und Sturz	4,4	-	-	0,70	> 0,65 bis 0,70
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,55	> 0,50 bis 0,55
Mauertafel	2	2,5	2,0	0,40	> 0,35 bis 0,40
				0,45	> 0,40 bis 0,45
				0,50	> 0,45 bis 0,50
	4	5,0	4,0	0,50	> 0,45 bis 0,50
				0,55	> 0,50 bis 0,55
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
	6	7,5	6,0	0,70	> 0,65 bis 0,70
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,80	> 0,70 bis 0,80

Tab. 2.2 (Fortsetzung): Druckfestigkeits- und Rohdichteigenschaften von Mauerwerksprodukten aus Porenbeton

2.3 Wandbauprodukte aus Porenbeton

2.3.1 Planstein

Porenbeton-Plansteine (Tab. 2.3) sind Mauersteine für massive wärmedämmende Wandkonstruktionen. Sie kommen zur Anwendung, wenn das Bauen im Zweihandformat wirtschaftlich ist, z. B. bei individuellen Bauformen, stark strukturierten Fassaden oder Fassaden mit vielen Öffnungen. Die Vorteile des Materials und des Produktes – geringe Maßtoleranzen, geringe Wärmeleitung, geringes Steingewicht, Stoßfugen mit



Länge L [mm]	304 499 599 624
Breite B [mm]	115 bis 500
Höhe H [mm]	249

Tab. 2.3: Anwendungsübliche Abmessungen von Porenbeton-Plansteinen

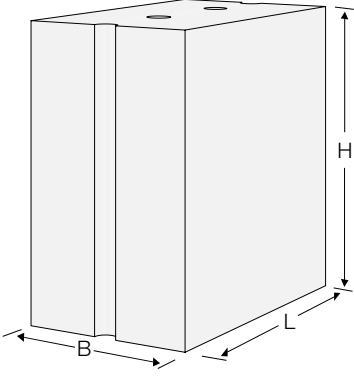
Nut und Feder oder glatt, Griffhilfen – können voll genutzt werden. Durch exakte Oberflächen und damit die Möglichkeit, Dünnbettmörtel einzusetzen, haben Wände aus Porenbeton-Plansteinen einen geringen Fugenteil. Dies wirkt sich positiv sowohl beim Wärmeschutz als auch bei den Festigkeitseigenschaften aus. Die Druckfestigkeit von Planstein-

mauerwerk ist bei gleicher Steinfestigkeitsklasse größer als die von Mauerwerk aus anderen Steinen mit Normal- oder Leichtmauermörtel.

Aufgrund ihres geringen Gewichtes sowie der einfachen Ver- und Bearbeitung eignen sich Plansteine nicht nur für hoch wärmedämmende Außenwandkonstruktionen, sondern auch für Innenwände sowie im Zuge von Umbau- oder Sanierungsmaßnahmen zum nachträglichen Einbau als leichte Trennwände oder für Aufstockungen von Gebäuden.

Weitere Einsatzbereiche sind die Ausfachung von Skelettbauten oder die Ausmauerung alter und neuer Holzfachwerke.

Tab. 2.4: Anwendungsübliche Abmessungen von Porenbeton-Planelementen



Länge L [mm]	499 624 999
Breite B [mm]	115 bis 365
Höhe H [mm]	499 624

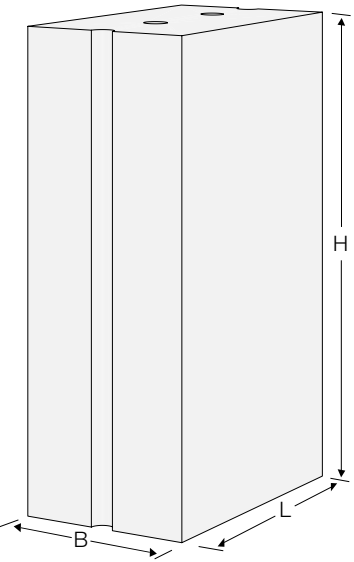
2.3.2 Planelement

Planelemente (Tab. 2.4 und 2.5) werden mit mechanischen Versetzhilfen verarbeitet und wie Plansteine im Dünnbettmörtelverfahren vermauert. Sie sind besonders wirtschaftlich für Bauvorhaben, bei denen es auf das schnelle Errichten langer, wenig gegliederter Wandflächen ankommt. Da die Stirnseiten der Planelemente glatt oder mit Nut und Feder ausgebildet sein können, ist eine Ausführung mit oder ohne Stoßfugenvermörtelung möglich.

Planelemente haben die gleichen statischen und bauphysikalischen Eigenschaften wie Plansteine. Der wesentliche Unterschied liegt im Format. Planelemente stehen in unterschiedlichen Ausführungen zur Verfügung, wobei alle Formate in Breiten bis zu 365 mm hergestellt werden:

- Porenbeton-Planelement (Tab. 2.4):
Mit leichten Hebezeugen werden maximal 0,62 m² große Elemente versetzt. Sie sind bis zu 1.000 mm lang und bis zu 625 mm hoch.
- Porenbeton-Planelement HK (Tab. 2.5)
Abweichend von üblichen Porenbeton-Planelementen sind Porenbeton-Planelemente HK (HK = hochkant) höher als lang. Sie sind bis zu 750 mm lang und bis zu 1.000 mm hoch.

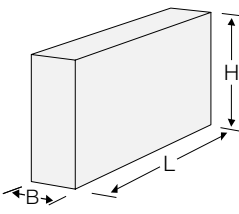
Tab. 2.5: Anwendungsübliche Abmessungen von Porenbeton-Planelementen HK



Länge L [mm]	499 624 749
Breite B [mm]	175 bis 365
Höhe H [mm]	749 999

2.3.3 Planbauplatte

Planbauplatten (Tab. 2.6) sind Produkte für die Anwendung im Innenausbau und werden als massive, leichte, nicht tragende Innenwände in Neubauten sowie bei Erweiterungen, Sanierungen und Umbauten eingesetzt. Aufgrund ihres Formates, ihres geringen Gewichtes und der leichten Ver- und Bearbeitung sind sie auch zur Abmauerung von Leitungen,



Länge L [mm]	499 599 624
Breite B [mm]	50 bis 150
Höhe H [mm]	249 399 499 599 624

Tab. 2.6: Anwendungsübliche Abmessungen von Porenbeton-Planbauplatten

Sanitäreinrichtungen oder Kaminen geeignet. Planbauplatten werden im Dünnbettverfahren vermauert. Die Stoßfugen werden mit einer Nut-Feder-Verbindung unvermörtelt oder mit glatten Stirnseiten vermörtelt ausgebildet. Die maximalen Abmessungen sind 625 mm in der Länge und Höhe sowie 150 mm in der Breite.

2.3.4 Höhenausgleichsstein

Lässt sich mit großformatigen Mauerwerksprodukten nicht die gewünschte Geschosshöhe einstellen, wird am Wandfuß zunächst eine Kimmschicht aus Porenbeton-Höhenausgleichssteinen (Tab. 2.7) in Normalmörtel verlegt, bevor die Vermauerung mit z. B. Planelementen fortgesetzt wird.

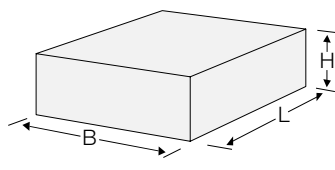
Je nach Baustellensituation kann die Kimmschicht auch am oberen Wandende eingebaut werden. Als Porenbeton-Höhenausgleichssteine werden Porenbeton-Plansteine mit niedrigen Höhen verwendet.

2.3.5 Eckstein

Zur Ausbildung von Gebäudeecken stehen Ecksteine (Tab. 2.8) aus Porenbeton-Plansteinen zur Verfügung, die im Gegensatz zu normalen Plansteinen eine glatte Stoßfuge aufweisen.

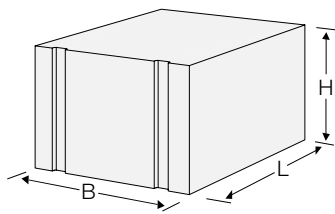
2.3.6 Deckenrandstein

Deckenrandsteine (Tab. 2.9) werden für die Abmauerung von Geschossdecken verwendet. Sie bestehen aus bis zu 115 mm breiten Porenbeton-Planbau-



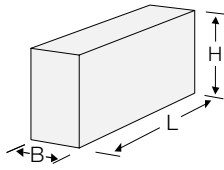
Länge L [mm]	499 599 624
Breite B [mm]	115 bis 500
Höhe H [mm]	100 124 199

Tab. 2.7: Anwendungsübliche Abmessungen von Porenbeton-Höhenausgleichssteinen



Länge L [mm]	304 499 624
Breite B [mm]	115 bis 500
Höhe H [mm]	249

Tab. 2.8: Anwendungsübliche Abmessungen von Porenbeton-Ecksteinen

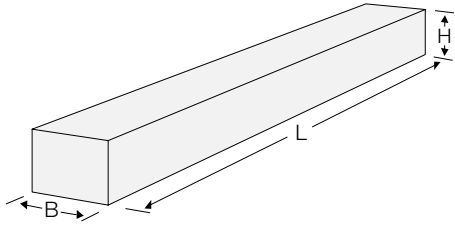


Länge L [mm]	499 599 624
Breite B [mm]	50 bis 115
Höhe H [mm]	160 180 200 240 250

Tab. 2.9: Anwendungsübliche Abmessungen von Porenbeton-Deckenrandsteinen

platten. Durch den Einbau von Deckenrandsteinen werden Transmissionswärmeverluste an der Wärmebrücke Deckenaufleger verringert und die Übertragung von Spannungen aus Deckenverformungen auf die Außenwand verhindert.

Tab. 2.10: Anwendungsübliche Abmessungen von Porenbeton-Flachstürzen



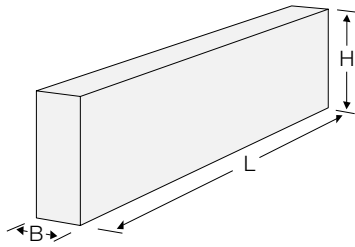
Länge L [mm]	≤ 3.000
Breite B [mm]	115 150 175 (Auflagertiefe ≥ 115 mm)
Höhe H [mm]	124 (+ Übermauerung)

2.3.7 Flachsturz

Porenbeton-Flachstürze (Tab. 2.10) sind Fertigstürze mit geringem Verarbeitungsgewicht für Tür- und Fensteröffnungen in Porenbetonmauerwerk. Die Tragwirkung des Sturzsystems wird durch eine zwischen 125 und 750 mm hohe Übermauerung des Flachsturzes mit Porenbeton-Plansteinen und/oder einer Massivdecke erreicht. Die Höhe der Übermauerung bestimmt die Tragfähigkeit des Sturzes.

Bei Überdeckung der Stürze mit Mauerwerk sind die Stoßfugen zu vermörteln. Durch Kombination der verfügbaren Flachsturzbreiten von 115 mm, 150 mm und 175 mm lassen sich alle üblichen Wanddicken ausführen.

Tab. 2.11: Anwendungsübliche Abmessungen von tragenden und nicht tragenden Porenbeton-Stürzen



Tragende Stürze	
Länge L [mm]	1.250 bis 2.250
Breite B [mm]	175 bis 365
Höhe H [mm]	249
Nicht tragende Stürze	
Länge L [mm]	1.250
Breite B [mm]	75 bis 150
Höhe H [mm]	249

2.3.8 Sturz

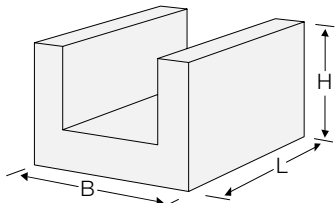
In Gebäuden mit vorwiegend ruhenden Verkehrslasten werden tragende Stürze (Fertigstürze) (Tab. 2.11) aus bewehrtem Porenbeton zur Überdeckung von Tür- und Fensteröffnungen von Porenbetonmauerwerk mit Öffnungsbreiten bis 1,75 m eingesetzt. Nicht tragende Porenbeton-Stürze (Fertigstürze) dienen zur Abdeckung von Öffnungen bis 1,10 m in leichten Porenbeton-Trennwänden.

2.3.9 U-Stein/U-Schale

U-Steine bzw. U-Schalen aus Porenbeton (Tab. 2.12) sind Schalungselemente für wärmedämmte Tür- und Fensterstürze, für Ringanker, Ringbalken und andere tragende Bauteile sowie für senkrechte Schlitz- und Aussteifungssäulen im Mauerwerk.

Die statisch erforderliche Bewehrung wird örtlich eingelegt und z. B. die U-Schale mit Beton verfüllt. Bei der Verwendung in Außenwänden wird bauseits eine zusätzliche Wärmedämmschicht außenseitig in die Schale eingefügt. Befinden sich die betongefüllten U-Schalen unter Decken, ist es wichtig, dass die Decken auf dem Betonkern aufliegen.

Tab. 2.12: Anwendungsübliche Abmessungen von Porenbeton-U-Steinen/ U-Schalen



U-Steine	
Länge L [mm]	500 bis 625
Breite B [mm]	175 bis 500
Höhe H [mm]	249
U-Schalen	
Länge L [mm]	2.500 bis 6.000
Breite B [mm]	175 bis 365
Höhe H [mm]	249

Literatur

- [2.1] DIN EN 771-4: Festlegungen für Mauersteine – Teil 4: Porenbetonsteine; Deutsche Fassung EN 771-4:2011 + A1:2015, Ausgabe 2015-11
- [2.2] DIN 20000-404: Regeln für die Verwendung von Porenbetonsteinen nach DIN EN 771-4, Ausgabe 2018-04
- [2.3] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemein bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-543: Porenbeton-Plansteine PP4-0,5, Berlin 2014, Verlängerungsbescheid Berlin 2016
- [2.4] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemein bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-484: Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen PP4-0,5 mit einem Überbindemaß von mindestens $0,4 \times H$, Berlin 2014, Verlängerungsbescheid Berlin 2016
- [2.5] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemein bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-547: Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen (bezeichnet als HK-Element), Berlin 2015
- [2.6] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemein bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-634: Porenbeton-Flachstürze, Berlin 2018
- [2.7] Landeshauptstadt Hannover: Bescheid zur Typenprüfung in statischer Hinsicht, Porenbeton-Flachstürze mit Zuggurt Typ A nach bauaufsichtlicher Zulassung Z-17.1-634. Hannover 2010
- [2.8] DIN 4166: Porenbeton-Bauplatten und Porenbeton-Planbauplatten, Ausgabe 1997-10
- [2.9] DIN EN 12602: Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton, Ausgabe 2016-12
- [2.10] DIN EN 1996: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
 - [2.10.1] Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Ausgabe 2013-02
 - [2.10.2] Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Ausgabe 2011-04
 - [2.10.3] Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk, Ausgabe 2010-12
 - [2.10.4] Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten, Ausgabe 2010-12
- [2.11] DIN EN 1996/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
 - [2.11.1] Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Ausgabe 2012-05
 - Änderung A1. Ausgabe 2014-03
 - Änderung A2. Ausgabe 2015-01
 - [2.11.2] Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Ausgabe 2013-06
 - [2.11.3] Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk, Ausgabe 2012-01
 - [2.11.4] Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten, Ausgabe 2012-01
 - Änderung A1. Ausgabe 2014-03
 - Änderung A2. Ausgabe 2015-01
- [2.12] DIN EN 1991: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
 - [2.12.1] Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
 - [2.12.2] Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten, Ausgabe 2010-12
 - [2.12.3] Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Ausgabe 2010-12
- [2.13] DIN EN 1991-1-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke

- [2.13.1] Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
- [2.13.2] Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten, Ausgabe 2010-12
- [2.13.3] Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Ausgabe 2010-12
- [2.14] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, Ausgabe 2005-04
- [2.15] DIN 1053-4: Fertigbauteile, Ausgabe 2018-05
- [2.16] DIN 4223-101: Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Entwurf und Bemessung. Ausgabe 2014-12
- [2.17] DIN 4223-102: Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Anwendung in Bauwerken. Ausgabe 2014-12

BAUSYSTEM

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

3

3.1 Übersicht

Bei der Planung, Konstruktion und Bemessung von Gebäuden sind die Standsicherheit des Tragwerks und die Lastabtragung über das statische Gesamtsystem der miteinander verbundenen Bauteile während der gesamten Nutzungsdauer maßgebend. Die Wahl des Bausystems aus Produkten mit entsprechendem Eigenschafts- und Anwendungsspektrum ist daher genauso entscheidend wie die der geeigneten Konstruktionen.

Produkte aus dem gleichen Baustoff lassen sich einfacher und sicherer zu einem Bausystem zusammenstellen als die Produktkombination unterschiedlicher Baustoffe. Konstruktive und bauphysikalische Schwachstellen können so bei der Planung und Bauausführung vermieden werden, die beispielsweise durch differierendes thermisches oder feuchtetechnisches Verhalten bei der Kombination verschiedener Materialien auftreten.

Das Porenbeton-Bausystem wurde für die Erstellung von Wandkonstruktionen im Wohn- und Wirtschaftsbau sowie bei der Modernisierung entwickelt. Es ist neben der aufeinander abgestimmten Produktpalette auch durch seine Maßgenauigkeit und einfache Verarbeitbarkeit flexibel an die funktionellen Anforderungen eines Gebäudes anpassbar sowie mit anderen tragenden Konstruktionen z. B. aus Stahl, Stahlbeton oder Holz kombinierbar.

3.2 Porenbeton-Bausystem

Aufgrund ihres Eigenschaftsprofils und homogenen Materialgefüges können Mauerwerksprodukte aus Porenbeton statische und baukonstruktive Funktionen übernehmen und die Anforderungen an den Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz moderner Massivbauwerke erfüllen. Die Einsatzgebiete von Porenbeton liegen beim Bau von Einfamilienhäusern, Doppel- und Reihenhäusern, Mehrfamilienhäusern sowie Gewerbe- und Bürogebäuden einschließlich dem Bestandersatz (Abriss und Ersatzneubau bei unwirtschaftlicher



Abb. 3.1 und 3.2: Erstellung von monolithischen (einschaligen) Außenwänden aus massivem, tragendem Porenbetonmauerwerk



Sanierung oder Modernisierung von Altbauten), bei der Modernisierung sowie der Wohnraumschaffung durch Dachaufstockung bestehender Gebäude.

Das Porenbeton-Bausystem umfasst Plansteine, Planelemente und Planbauplatten sowie ergänzende Produkte wie Höhenausgleichssteine, Ecksteine, Deckenrandsteine, Flachstürze, Stürze und U-Steine/ U-Schalen, die in allen anwendungsüblichen Steinformaten mit verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten von Festigkeitsklassen, Rohdichteklassen und Wärmeleitfähigkeiten verfügbar sind (siehe Kapitel 2 „Produkte“). Die aufeinander abgestimmten Porenbetonprodukte eignen sich für die Erstellung tragender und nicht tragender Wandkonstruktionen – von monolithischen und zweischaligen Außenwänden,

zweischaligen Haustrennwänden über Kellerwände bis zu Innenwänden – und für Detailausbildungen (z. B. Deckenaufleger, Dachanschluss, Sturzausbildung). Die hohe Maßhaltigkeit der Mauersteine in Verbindung mit Nut-Feder-Profilierung und Griffhilfen und ihr geringes Volumengewicht ermöglichen eine rationelle, nahezu fugenlose Verlegung im Dünnbettmörtelverfahren und im Ergebnis planebene Wandoberflächen.

Abb. 3.3: Verlegung von Porenbeton-Plansteinen mit Nut-Feder-Profilierung und Griffhilfen im Dünnbettmörtelverfahren



Abb. 3.4: Erstellung nahezu fugenloser, planebener Wandoberflächen



3.3 Wandkonstruktionen aus Porenbetonmauerwerk

3.3.1 Außenwand

Monolithische (einschalige) Außenwände aus massivem, tragendem Porenbetonmauerwerk werden mit Plansteinen oder Planelementen sowie den entsprechenden Ergänzungsprodukten für Detailausbildungen erstellt. Die Verlegung der Porenbetonprodukte erfolgt im Dünnbettmörtelverfahren (Mörtelauftrag in der Lagerfuge). An den Gebäudeaußenecken

und bei der Flachsturz-Übermauerung wird zusätzlich ein Mörtelauftrag von im Mittel 2 mm in der Stoßfuge ausgeführt. Bei monolithischen Außenwänden erfolgt der Witterungsschutz durch einen auf Porenbeton abgestimmten Außenputz. Grundsätzlich sind auch hinterlüftete Vorsatzschalen als Witterungsschutz möglich, beispielsweise aus Faserzementplatten, Schiefer, Metall oder Holz.

Bei zweischaligen Außenwänden mit Wärmedämmung und Vormauerschale wird die massive, tragende Innenschale wie die monolithische Außenwand mit Porenbeton-Plansteinen oder Porenbeton-Planelementen und den entsprechenden Ergänzungsprodukten für Detailausbildungen erstellt. Die Verbindung der Mauerwerksschalen erfolgt durch Maueranker, die in den Lagerfugen-Mörtel der Innenschale und der Vormauerschale eingebettet werden. Auf die Maueranker werden im Schalenzwischenraum die Mineralwolle-Dämmplatten gesteckt und die Maueranker-Klemmscheiben aufgeschoben. Nach einer verbleibenden Luftschicht (Fingerspalt) wird abschließend die Vormauerschale aus z. B. Klinkerverblendern errichtet, die bei dieser Wandkonstruktion den Witterungsschutz übernimmt.

3.3.2 Zweischalige Haustrennwand

Massive, tragende Haustrennwände bei Doppel- und Reihenhäusern werden aus Porenbetonmauerwerk mit Plansteinen oder Planelementen in allen anwendungsüblichen Steinformaten mit verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten von Festigkeitsklassen (mindestens Festigkeitsklasse 4), Rohdichteklassen (mindestens Rohdichteklasse 0,6) und Wärmeleitfähigkeiten erstellt. Für Detailausbildungen können ergänzende Porenbetonprodukte wie Höhenausgleichsteine und Deckenrandsteine eingesetzt werden.

Die Verlegung der Porenbetonprodukte erfolgt im Dünnbettmörtelverfahren (Mörtelauftrag in der Lagerfuge). Dabei ist aus schallschutztechnischen Gründen die richtige Ausbildung der Schalenfuge (≥ 50 mm) und deren Verfüllung mit Mineralfaser-Dämmplatten (Typ WTH nach DIN 4108-10 [3.1]), 40 mm breit) wichtig (siehe Kapitel 9 „Konstruktionen“).

Der Anschluss der Haustrennwand an die monolithische Außenwand aus Porenbeton erfolgt in Stumpfstoßtechnik mit voll vermörtelten Stoßfugen, wobei an der Anschlussfuge zur Haustrennwand je nach statischen Erfordernissen in jeder zweiten Lagerfuge ein Maueranker im Mörtel eingebettet wird.

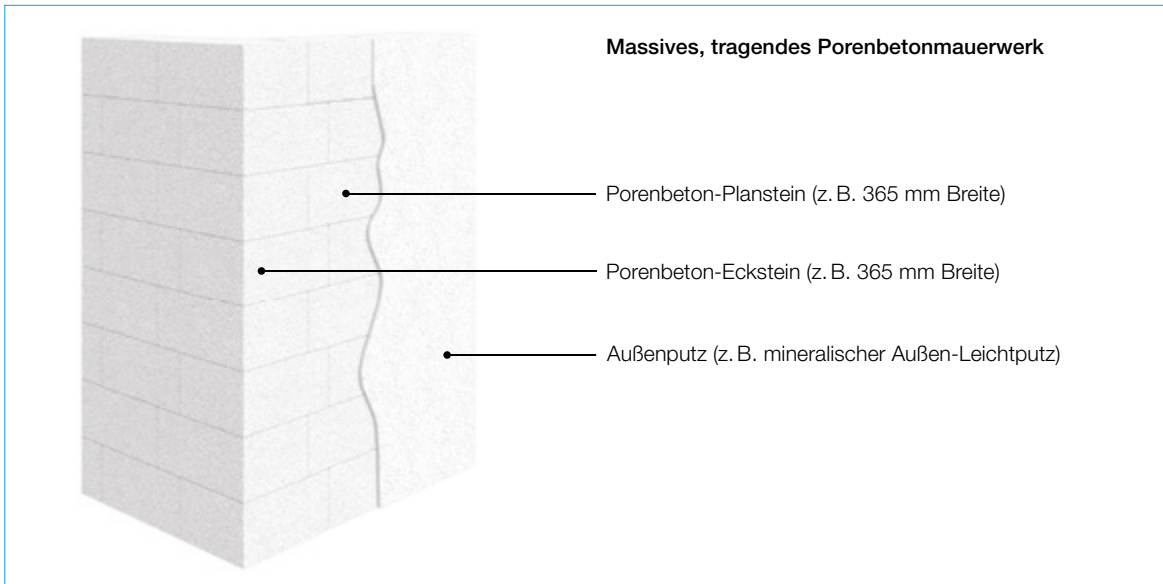


Abb. 3.5: Monolithische (einschalige) Außenwand

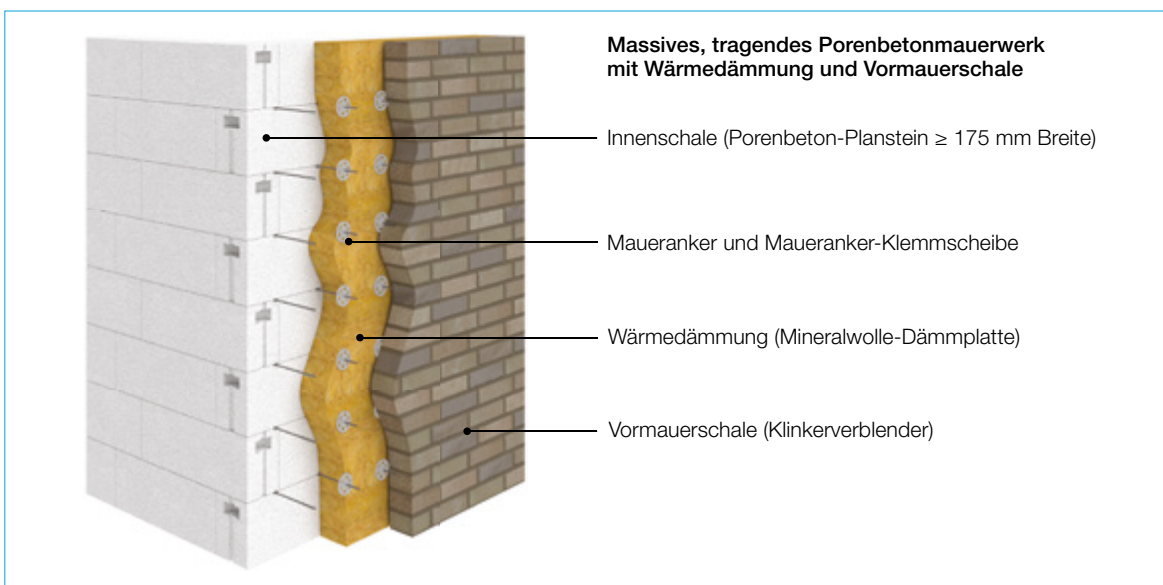


Abb. 3.6: Zweischalige Außenwand

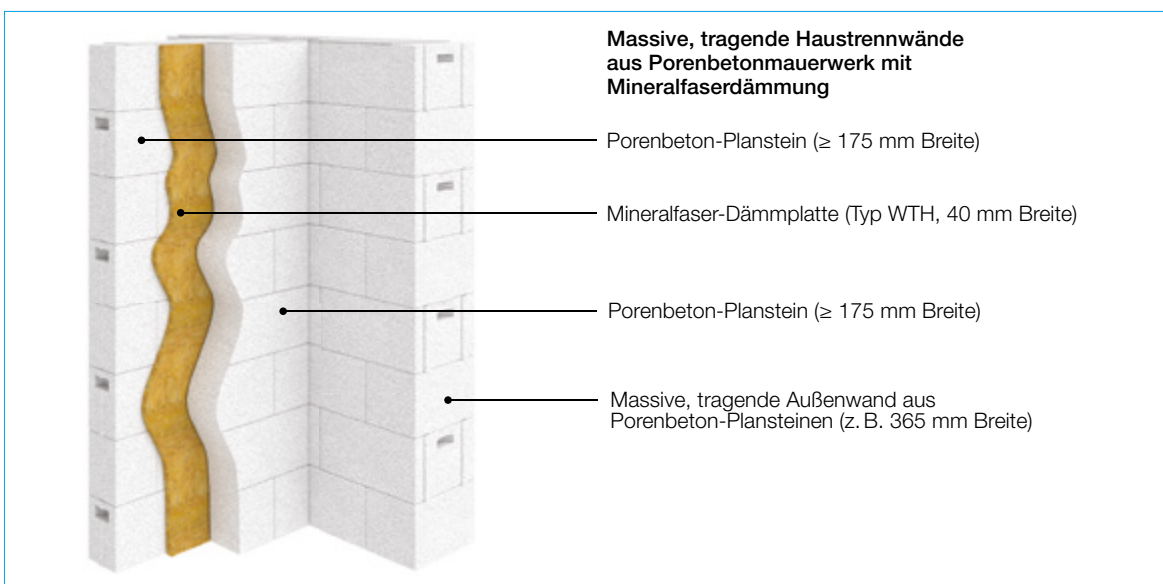


Abb. 3.7: Zweischalige Haustrennwand

3.3.3 Kelleraußenwand

Kelleraußenwände können in monolithischer Ausführung mit Porenbeton-Plansteinen oder Porenbeton-Planelementen sowie den entsprechenden Ergänzungsprodukten für Detailausbildungen errichtet werden. Die Verlegung der Porenbetonprodukte erfolgt im Dünnbettmörtelverfahren (Mörtelauftrag in der Lagerfuge), wobei an den Gebäudeaußenecken zusätzlich ein Mörtelauftrag von im Mittel 2 mm in der Stoßfuge ausgeführt wird. Auf einen Kellerwand-Außenputz kann verzichtet werden, da die ebene Oberfläche des Untergrundes wegen der geringen Maßtoleranzen der Porenbetonprodukte für den Aufbau der äußeren Abdichtungsebene ausreichend glatt ist.

Die notwendige außenseitige Kellerwandabdichtung kann gemäß DIN 18533-1 [3.2] mit polymermodifizierten Bitumendickbeschichtungen (PMBC) ausgeführt werden, wobei je nach Anwendungsfall die Ausführung dieser erdberührenden Bauwerksabdichtung nach Wassereinwirkungsklassen variieren kann (siehe Kapitel 6 „Feuchte“ und 9 „Konstruktionen“). So können beispielsweise auf die abgedichteten Kelleraußenwände zum Schutz vor Beschädigungen Noppenbahnen und als zusätzlicher Wärmeschutz eine Perimeterdämmung (mit entsprechender Drainage) aufgebracht werden. Für die Querschnittsabdichtung am Wandfuß eignen sich gemäß DIN 18533-1 neben bahnenförmigen Abdichtungen rissüberbrückende mineralische Dichtungsschlämmen (MDS).

Abb. 3.8: Anschluss Kelleraußenwand an Stahlbeton-Bodenplatte

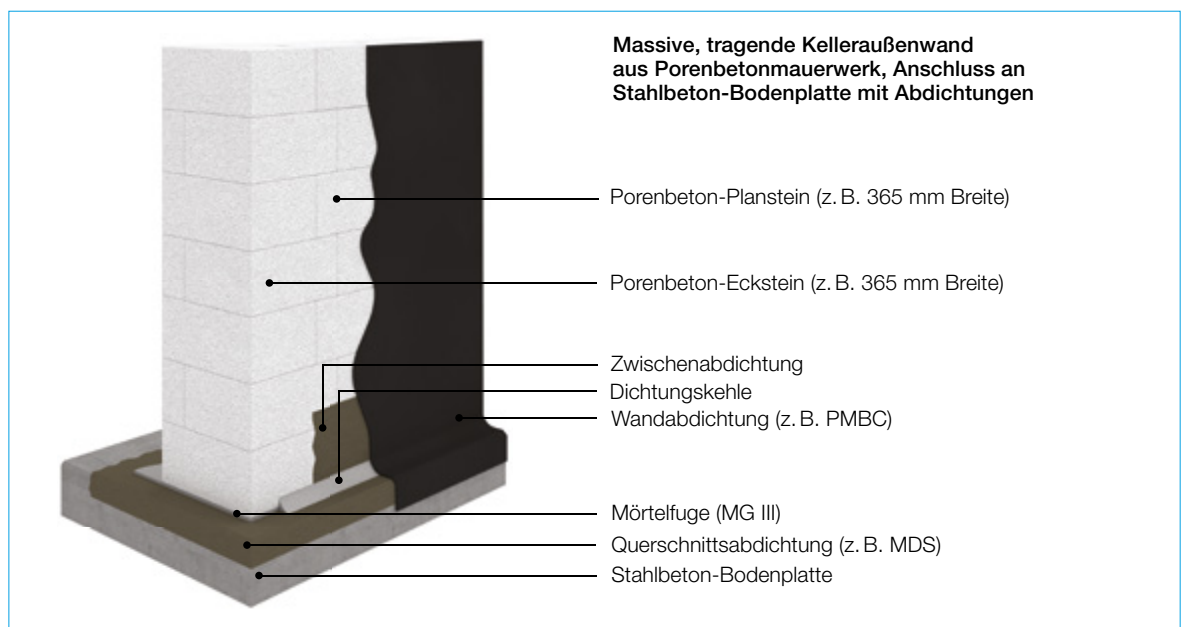
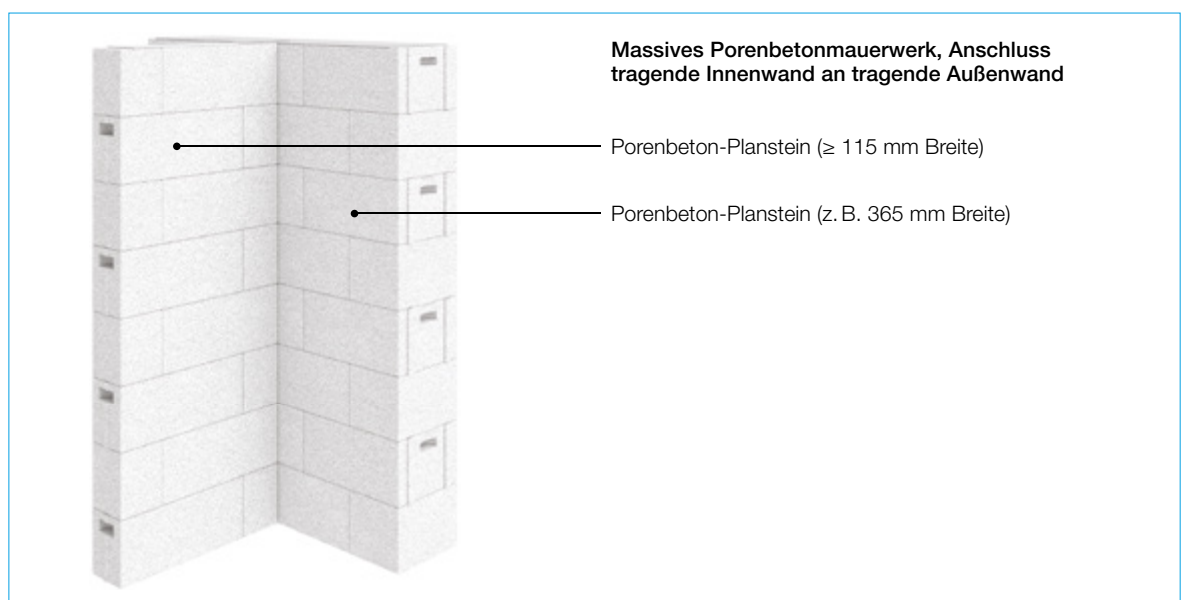


Abb. 3.9: Anschluss Innenwand an monolithische (einschalige) Außenwand



3.3.4 Innenwand

Tragende und nicht tragende Innenwände aus massivem Porenbetonmauerwerk können ebenfalls mit Plansteinen oder Planelementen sowie den entsprechenden Ergänzungsprodukten für Detailausbildungen erstellt werden, nicht tragende Innenwänden zusätzlich mit Planbauplatten. Die Verlegung der Porenbetonprodukte erfolgt im Dünnbettmörtelverfahren (Mörtelauftrag in der Lagerfuge). Der Anschluss der Innenwand an die Außenwand aus Porenbetonmauerwerk erfolgt in Stumpfstoßtechnik mit voll vermörtelten Stoßfugen, wobei an der Anschlussfuge zur Innenwand je nach statischen Erfordernissen in jeder zweiten Lagerfuge ein Maueranker im Mörtel eingebettet wird. Für die Oberflächengestaltung von Innenwänden sind Beläge wie Putze und Tapeten, im Feucht- und Nassraumbereich keramische Beläge üblich.

3.4 Modernisierung mit Porenbeton

Modernisierungsmaßnahmen sind insbesondere im Wohnungsbau von großer Bedeutung, da sie nicht nur die technische Gebäudequalität sondern auch die Wohnverhältnisse verbessern. Sie erhöhen somit den Nutzwert und in Folge die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes und sind gleichermaßen vorteilhaft für Investoren und/oder Eigentümer sowie Nutzer.

In gut erschlossenen innerstädtischen Bereichen ist ausreichend Bausubstanz vorhanden, deren baulicher Zustand jedoch verbessert werden muss, damit er den heutigen Anforderungen der Nutzer an Wohnwert und Wohnqualität gerecht wird. Dies gilt insbesondere für Gebäude, die oft älter als 50 Jahre sind oder auch mehr als 100 Jahre und somit möglicherweise unter Denkmalschutz stehen. In vielen Fällen handelt es sich um Wohngebäude, die z. B. nach einem Eigentümerwechsel energetisch, schall- und/oder brandschutztechnisch ertüchtigt, erweitert oder räumlich neu angeordnet werden.

Die Gründe für Modernisierungsmaßnahmen liegen hauptsächlich in der notwendigen Verbesserung des technischen Standards dieser Gebäude. Dies gilt für den Wärme-, Schall- und Brandschutz, für die Anlagentechnik sowie für Sanitär- und Elektroinstalltionen. Beispiele dafür sind der nachträgliche, energieeinsparende Wärmeschutz durch die Dämmung von Gebäudehülle und Dach sowie durch den Austausch von alten Fenstern durch Wärmeschutz-

fenster, die schallschutztechnische Ertüchtigung von Wohnungstrennwänden und Fußböden, die Verbesserung des Brandschutzes von Bauteilen und der Einbau einer energiesparenderen und leistungsfähigeren Heizungsanlage. Auslöser für Änderungen der Baukonstruktion sind dabei häufig Nutzungsänderungen, die Vergrößerungen, Verkleinerungen oder andere Anordnungen von Räumen und Wohneinheiten sowie Umbauten für altersgerechtes, barrierefreies Wohnen nach sich ziehen.

Weitere baukonstruktive Veränderungen werden auch bei der Schaffung von zusätzlichem Wohnraum in einem Gebäude notwendig. Dazu zählen z. B. der Aus- oder Umbau des Dachgeschosses, der Umbau von Keller- oder Abstellräumen zu Wohnräumen und die Dachaufstockung, die gleichermaßen eine Modernisierungs- und eine Neubaumaßnahme ist.

Das Porenbeton-Bausystem kann aufgrund der Material- und Verarbeitungseigenschaften von Porenbeton flexibel an die jeweiligen Anforderungen bei der Gebäudemodernisierung angepasst werden. Diese Anpassbarkeit ist bei Modernisierungsmaßnahmen wesentlich wichtiger als beim Neubau. Porenbeton wird bei Gebäudemodernisierungen aus folgenden Gründen besonders gern eingesetzt:

- Das geringe Massegewicht des Porenbetons erfordert in der Regel keine Verstärkung der vorhandenen Tragkonstruktion durch z. B. Zusatzmaßnahmen oder ergänzende Baustoffe. Denn Porenbeton weist bei geringer Rohdichte gleichzeitig eine hohe Festigkeit auf, die Mittelwerte der Steindruckfestigkeit liegen zwischen 2,5 und 10,0 N/mm². Auch aufgrund seiner geschlossenzelligen Porenstruktur erfolgt die Lastabtragung über die volle Steinfläche – Lastkonzentrationen an sich überschneidenden Stegen sind ausgeschlossen.
- Porenbeton kann mit anderen – auch tragenden – Konstruktionen z. B. aus Stahl, Stahlbeton oder Holz kombiniert werden.
- Die leichte Bearbeitbarkeit von Porenbeton ermöglicht eine gute Anpassung an komplizierte Grundrisse und Formen und das geringe Volumengewicht des Baustoffs einen leichten Transport.
- Der Aufwand bei Folgearbeiten ist gering: Löcher für Schalter, Steckdosen und Durchbrüche sowie Aussparungen und Schlitze für elektrische Leitungen können mit geeignetem Werkzeug leicht hergestellt werden.

- Die hohe Maßhaltigkeit der Porenbetonsteine ermöglicht eine rationelle, nahezu fugenlose Verlegung im Dünnbettmörtelverfahren und im Ergebnis planebene, glatte Wandoberflächen – sie machen ein anschließendes Verputzen überflüssig, ggf. genügt eine Verspachtelung.

Veränderung von Bauteilen

Bei nahezu jeder Modernisierungsmaßnahme sind Veränderungen an der vorhandenen Bausubstanz erforderlich. Beispielsweise werden Öffnungen für Fenster und Türen geschlossen oder neu angelegt, tragende oder nicht tragende Wände bzw. Wandstücke entfernt oder neu eingebaut und an bestehende Bauteile angeschlossen. Für solche baulichen Änderungs- und Anpassungsarbeiten sind Porenbetonprodukte sehr gut geeignet:

- Plansteine stehen in anwendungsüblichen Rohdichteklassen zwischen 0,30 und 0,80 und in Festigkeitsklassen von 1,6 bis 8 für tragende Wandkonstruktionen zur Verfügung. Dadurch kann jeweils das Material eingesetzt werden, welches die erforderliche Tragfähigkeit besitzt.
- Der verwendete Porenbeton wird üblicherweise bei gleicher Tragfähigkeit eine geringere Rohdichte und damit eine geringere Wärmeleitung haben als das anzuschließende Mauerwerk.
- Für Detailausbildungen eignen sich die entsprechenden Ergänzungsprodukte und für die Erstellung nicht tragender Wandkonstruktionen (Innenwände) zusätzlich Planbauplatten aus Porenbeton.
- Porenbetonprodukte können z. B. mit Säge, Schleifbrett, Fräse, Hobel oder Bohrer einfach und leicht bearbeitet werden, sodass sie genau an die anschließenden Bauteile angepasst werden können.

Einbau von Innenwänden

Auch für tragende und nicht tragende Innenwände wird bei Modernisierungsmaßnahmen Porenbeton eingesetzt. Die Eigenschaften der Plansteine und Planbauplatten werden hier besonders wirksam:

- Innenwände aus Porenbetonmauerwerk werden im Dünnbettmörtelverfahren errichtet und haben einen geringeren Feuchteanteil als bei der Verwendung herkömmlichen Mörtels.
- Die geringen Maßtoleranzen der Produkte erlauben die Verwendung von dünnlagigen Innenputzen oder Spachtelmassen, was wiederum den Feuchteeintrag ins Gebäude verringert.
- Das geringe Massegewicht der Porenbetonprodukte bewirkt, dass die zulässigen Lasten für das

Gebäude leicht eingehalten werden können. Außerdem gestattet es kurze Ausführungszeiten und entlastet die Ausführenden.

Verkleidung von Installationen

Im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen ergibt sich oft die Notwendigkeit, Installationen zu verkleiden. Auch hier sind die geringen Fertigungstoleranzen und das geringe Gewicht von Porenbetonprodukten von Vorteil für eine präzise und schnelle Herstellung von Installationskanälen. In den meisten Fällen werden Planbauplatten mit einer Breite von maximal 5 cm oder U-Schalen verwendet. Die leichte Bearbeitbarkeit erlaubt beliebige Anpassungen an vorhandene Bauteile und Installationen. Fliesen können im Dünnbettverfahren aufgebracht werden, da die Oberflächen hierfür ausreichend exakt sind. Durchbrüche können problemlos ausgeführt und Befestigungselemente leicht angebracht werden.

Dachaufstockung

Die Aufstockung eines Gebäudes ist gleichermaßen eine Modernisierungs- und eine Neubaumaßnahme. Einerseits werden durch die Aufstockung Mängel des bestehenden Gebäudes beseitigt, z. B. bei einem schadhafte oder unzureichend gedämmten Flachdach. Andererseits wird neuer Raum geschaffen und das Gebäude so stark verändert, dass viele baurechtliche, statische, konstruktive und haustechnische Aspekte zu berücksichtigen sind.

Bei der Wohnraumschaffung durch Dachaufstockung eignen sich monolithische Wandkonstruktionen aus Porenbeton besonders gut, denn mit seinem geringen Volumengewicht bei gleichzeitig hoher Festigkeit erfüllt der Baustoff die Anforderungen an die Tragfähigkeit ebenso wie an den Wärme-, Brand-, Feuchte- und Schallschutz. Für die Erstellung tragender und nicht tragender Wandkonstruktionen aus massivem Porenbetonmauerwerk können Plansteine oder Planelemente sowie die entsprechenden Ergänzungsprodukte für Detailausbildungen eingesetzt werden, für nicht tragende Innenwände zusätzlich Planbauplatten. Der mögliche Umfang einer Aufstockung ergibt sich aus den baurechtlichen Bedingungen, die in den Landesbauordnungen sowie im Bebauungsplan geregelt sind. Zu den wichtigsten baurechtlichen Bedingungen zählen:

■ Abstandsflächen zur Grundstücksgrenze bzw. zur benachbarten Bebauung

Die Abstandsflächen haben ihre Begründung vor allem in der Sicherstellung einer ausreichenden Belichtung und im Brandschutz. Sie sind deshalb

unmittelbar von der Höhe eines Gebäudes abhängig und bei einer Aufstockung einzuhalten.

■ Geschossflächenzahl (GFZ)

Durch eine Aufstockung ändert sich die Bruttogeschossfläche des Gebäudes und damit das Verhältnis der Bruttogeschossfläche zur Grundstücksfläche. Es ist sicherzustellen, dass die Geschossflächenzahl im zulässigen Rahmen bleibt.

■ Grundflächenzahl (GRZ)

Die Grundfläche eines Gebäudes und damit die Grundflächenzahl ändert sich durch eine Aufstockung nicht.

■ Geschosszahl

Die maximal zulässige Anzahl von Vollgeschossen kann dem Bebauungsplan entnommen werden. Sie hat Einfluss auf viele bauaufsichtliche Aspekte. Bei einer Aufstockung ändert sich die Zahl der Vollgeschosse, wenn das zusätzliche errichtete Geschoss über mindestens 2/3 seiner Grundfläche die für Aufenthaltsräume erforderliche Raumhöhe hat.

■ Mindestraumhöhe

Die Mindestraumhöhen für Aufenthaltsräume in Vollgeschossen oder Dachgeschossen sind der jeweilig gültigen Landesbauordnung (LBO) zu entnehmen.

■ Weitere Festlegungen

Sie können entsprechend den Vorgaben des Bebauungsplanes First- oder Traufhöhen, die Dachneigung oder Einzelheiten der Außenbauteilgestaltung betreffen sowie Baulinien und Baugrenzen vorgeben.

Ausfachung von Holzfachwerk

Gefache von Holzfachwerkkonstruktionen weichen aus statischen oder architektonischen Gründen häufig von der Rechteckform ab, darüber hinaus sind Fachwerkhölzer nicht maßhaltige Bauteile. Viele ältere Gefache sind zudem oft aufgrund von Setzungen oder Belastungen durch z. B. Schwind- und Quellvorgänge verformt.

Daher eignet sich Porenbeton – insbesondere Plansteine – optimal für die Ausmauerung unterschiedlichster Gefachevarianten. Zum einen ermöglicht seine leichte Bearbeitbarkeit die ideale Anpassung an Schrägen, Lotabweichungen oder Verformungen sowie an die Dicke des Fachwerks (siehe Kapitel 10 „Ausführung“).

Zum anderen zeigt ein Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten von Holz mit $\lambda = 0,13 \dots 0,18 \text{ W/(mK)}$ und Porenbeton mit $\lambda = 0,08 \dots 0,21 \text{ W/(mK)}$, dass sich diese in gleichen Größenordnungen bewegen und Porenbeton somit zum Teil die Funktion der Wärmedämmung und die des Feuchtigkeitsausgleichs übernehmen kann. Die Ausfachungen können mit einem auf Porenbeton abgestimmten Außenputz als Witterungsschutz versehen werden und bleiben außen sichtbar.

Literatur

- [3.1] DIN 4108-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe, Ausgabe 2015-12
- [3.2] DIN 18533-1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze, Ausgabe 2017-07

Bildnachweise

Abb. 3.1: © Thomas Lehmann, Tauscha | ARGE Nadja Häupl Architektin – Heidelmann & Klingebiel Planungsgesellschaft mbH

Abb. 3.2/Abb. 3.3/Abb. 3.4: © C. Schlamann | blickfein photography

Abb. 3.5/Abb. 3.6/Abb. 3.7/Abb. 3.8/Abb. 3.9: Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

BERECHNUNG

Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster

4.1 Anforderungen an Entwurf und Ausführung

Während der Errichtung und der vorgesehenen Nutzung sowie bei Instandsetzungsmaßnahmen unterliegen Bauwerke in unterschiedlichem Maße ständigen, veränderlichen, außergewöhnlichen oder seismischen Einwirkungen (Tab. 4.1). Dementsprechend sind Bauwerke so zu entwerfen und auszuführen, dass diese Beanspruchungen mit angemessener Zuverlässigkeit nicht zu folgenden Konsequenzen führen können:

- Einsturz des Bauwerks
- Beschädigungen von Bauteilen oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu großer Verformungen des Tragwerks
- Beschädigungen durch außergewöhnliche Ereignisse, z. B. durch Brand, Explosion oder Anprall eines Fahrzeugs
- Versagen durch Erdbeben

Im Tragfähigkeitsnachweis wird nachgewiesen, dass diese Anforderungen erfüllt werden. Darüber hinaus

dient der Gebrauchstauglichkeitsnachweis dazu, sicherzustellen, dass das Bauwerk während der vorgesehenen Nutzungsdauer neben seiner Tragfähigkeit auch seine Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit bei angemessenem Aufwand für den Unterhalt behält.

Die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit, die grundlegend in DIN EN 1990 [4.17] und DIN EN 1990/NA [4.18] genormt sind, umfassen alle Bemessungssituationen, die während der Errichtungsphase und der geplanten Nutzungsdauer eines Bauwerks auftreten können und die entsprechend den Einwirkungen folgendermaßen klassifiziert werden:

- Ständige, während der Nutzungszeit planmäßig auftretende Bemessungssituationen
- Vorübergehende und zeitlich begrenzt auftretende Bemessungssituationen, z. B. im Bauzustand oder bei Instandsetzungsarbeiten
- Außergewöhnliche Bemessungssituationen, z. B. im Brandfall
- Bemessungssituation bei Erdbeben

Art der Einwirkung	Beispiele
Ständige Einwirkungen (G)	Eigenlasten
	Vorspannung (P)
	Erddruck
	Ständiger Flüssigkeitsdruck
Veränderliche Einwirkungen (Q)	Nutzlasten
	Verkehrslasten
	Windlasten
	Schnee- und Eislasten
	Veränderlicher Flüssigkeitsdruck
	Baugrundsetzungen
Außergewöhnliche Einwirkungen (A _d)	Windlasten
	Schnee- und Eislasten
	Explosion
	Fahrzeuganprall
Einwirkungen infolge Erdbeben (A _{Ed})	

Tab. 4.1: Einwirkungen auf Gebäude gemäß DIN EN 1990 [4.17]

Auf dieser Grundlage werden statisch erforderliche Nachweise geführt. Für Mauerwerk gelten außerdem DIN EN 1996 [4.21] und DIN EN 1996/NA [4.22]. Für bewehrte Wand-, Dach- und Deckenplatten gilt DIN EN 12602 [4.24] mit den zugehörigen nationalen Anhängen, bestehend aus DIN 4223-100 bis Teil 103 [4.11].

Tab. 4.2: Eigenlasten (Wichten) von Mauerwerk aus unbewehrten Porenbeton-Plansteinen, Porenbeton-Planelementen und Porenbeton-Mauer tafeln gemäß DIN EN 1991-1-1/NA [4.20.1]

Festigkeitsklasse	Rohdichteklasse	Wichte ¹⁾ kN/m ³
2	0,35	4,5
	0,40	5,0
	0,45	5,5
	0,50	6,0
4	0,50	6,0
	0,55	6,5
	0,60	7,0
	0,65	7,5
	0,70	8,0
	0,80	9,0
6	0,60	7,0
	0,65	7,5
	0,70	8,0
8	0,80	9,0
	0,90	10,0
	1,00	11,0

¹⁾ Die Werte schließen den Dünnbett-Fugenmörtel und die übliche Feuchte ein.

Tab. 4.3: Eigenlasten (Wichten) von Planbauplatten aus unbewehrtem Porenbeton mit Dünnbettmörtel gemäß DIN EN 1991-1-1/NA [4.20.1]

Rohdichteklasse	Wichte kN/m ³
0,40	5,0
0,45	5,5
0,50	6,0
0,55	6,5
0,60	7,0
0,65	7,5
0,70	8,0

Tab. 4.4: Eigenlasten (Wichten) von Wand-, Dach- und Deckenplatten aus bewehrtem Porenbeton gemäß DIN 4223 [4.11] und DIN EN 1991-1-1/NA [4.20.1]

Rohdichteklasse	Wichte kN/m ³
0,40	5,2
0,45	5,7
0,50	6,2
0,55	6,7
0,60	7,2
0,65	7,8
0,70	8,4
0,80	9,5

4.2 Lastannahmen

4.2.1 Eigenlasten (Wichten) von Baustoffen und Bauteilen

Angaben zu Eigenlasten (Wichten) von Porenbetonbauteilen gemäß DIN EN 1991-1-1 [4.19.1] und DIN EN 1991-1-1/NA [4.20.1] können den Tabellen 4.2, 4.3 und 4.4 entnommen werden.

4.2.2 Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten

Eigenlasten sind ständig vorhandene und in der Regel unveränderliche Einwirkungen, welche aus dem Gewicht der tragenden oder stützenden Bauteile sowie den unveränderlichen, von den tragenden Bauteilen dauernd aufzunehmenden Lasten (z. B. Auffüllungen, Fußbodenbeläge) resultieren. Bei der Bemessung werden sie als unabhängige ständige Einwirkungen betrachtet. Die charakteristischen Werte der Eigenlasten des Tragwerks und von nicht tragenden Teilen des Bauwerks werden aus den Wichten bzw. Flächenlasten gemäß DIN EN 1991-1-1 ermittelt.

Nutzlasten sind veränderliche oder bewegliche Einwirkungen auf ein Bauteil (z. B. Personen, Einrichtungsgegenstände, unbelastete leichte Trennwände, Maschinen, Lagerstoffe, Fahrzeuge). Bei der Bemessung werden sie als unabhängige Einwirkungen betrachtet.

Werte sowie Regelungen zu lotrechten und horizontalen Nutzlasten q_k und Q_k können DIN EN 1991-1-1 entnommen werden.

4.2.3 Windlasten

Windlasten sind keine ständigen Einwirkungen auf ein Bauwerk, sondern zählen zu den veränderlichen Einwirkungen. Sie können dazu führen, dass ein Bauwerk in Schwingungen gerät. Nach DIN EN 1991-1-4/NA [4.20.3] gilt ein Bauwerk als nicht schwingungsanfällig gegenüber Böenwirkung, wenn seine Verformungen unter Windeinwirkungen durch Böenresonanz um nicht mehr als 10 % vergrößert werden. Ohne besonderen Nachweis dürfen Wohn-, Büro- und Industriegebäude mit einer Höhe bis zu 25 m und ihnen in Form oder Konstruktion ähnliche Gebäude in der Regel als nicht schwingungsanfällig angenommen werden. Ihre Windlasten werden unter bestimmten Voraussetzungen nach einem vereinfachten Verfahren berechnet.

Winddruck

Der Winddruck w_e , der bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken auf die Außenflächen wirkt, berechnet sich aus dem Geschwindigkeitsdruck q_p in Abhängigkeit von der Bezugshöhe z_e und dem aerodynamischen Beiwert c_{pe} für den Außendruck:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad \text{Gl. (4.1)}$$

Geschwindigkeitsdruck

Bei Bauwerken bis zu einer Höhe von 25 m über Grund wird ein Geschwindigkeitsdruck q_p in Abhängigkeit von Windzonen mit den Bezeichnungen WZ 1 (z. B. Binnenland) bis WZ 4 (z. B. Nordseeküste) vereinfachend konstant über die gesamte Gebäudehöhe angenommen (Abb. 4.1 und Tab. 4.5). Im Regelfall wird der Geschwindigkeitsdruck aber auch durch Bodenrauigkeit, Bewuchs und Bebauung beeinflusst. Eine genauere Berücksichtigung erfolgt jedoch nur für Bauwerke, die höher als 25 m sind.



Abb. 4.1: Windzonenkarte für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gemäß DIN EN 1991-1-4/NA [4.20.3]

Windzone		Geschwindigkeitsdruck q_p [kN/m ²] bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10$ m	10 m < $h \leq 18$ m	18 m < $h \leq 25$ m
1	Binnenland	0,50	0,65	0,75
	Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
2	Binnenland	0,65	0,80	0,90
	Küste und Inseln der Ostsee	1,05	1,20	1,30
3	Binnenland	0,80	0,95	1,10
	Küste und Inseln der Ostsee	1,25	1,40	1,55
4	Binnenland	0,95	1,15	1,30
	Küste der Nord- und Ostsee und Inseln an der Ostsee	1,25	1,40	1,55
	Inseln der Nordsee	1,40	–	–

Tab. 4.5: Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe gemäß DIN EN 1991-1-4/NA [4.20.3]

Außendruckbeiwert

Für den Außendruckbeiwert c_{pe} ist neben der Gebäudeform die Last-einzugsfläche A eine maßgebende Einflussgröße. Für unterschiedliche

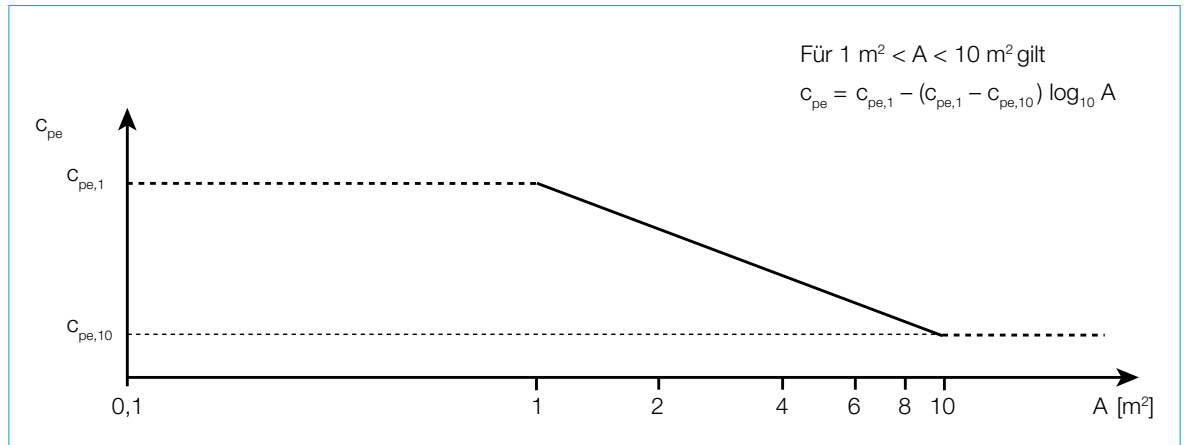
Gebäudeformen können Außen-druckbeiwerte c_{pe} z. B. für vertikale Wände rechteckiger Gebäude, Flachdächer und Satteldächer ta-bellarisch ermittelt werden. Die von

den Last-einzugsflächen $A = 1$ m² und $A = 10$ m² beeinflussten Bei-werte werden jeweils als $c_{pe,1}$ und $c_{pe,10}$ angegeben. Für Last-einzugs-flächen abweichender Größe

ändert sich der Beiwert entsprechend Abb. 4.2. Die Außendruckbeiwerte gelten für nicht hinterlüftete Wand- und Dachflächen. Bei einer luftdichten Außen-

wandbekleidung ist der Winddruck wie bei einer einschaligen Wand anzusetzen. Weitere Regelungen finden sich in DIN EN 1996-1-4.

Abb. 4.2: Außendruckbeiwerte c_{pe} in Abhängigkeit von der Lasteinzugsfläche A gemäß DIN EN 1991-1-4 [4.19.3]

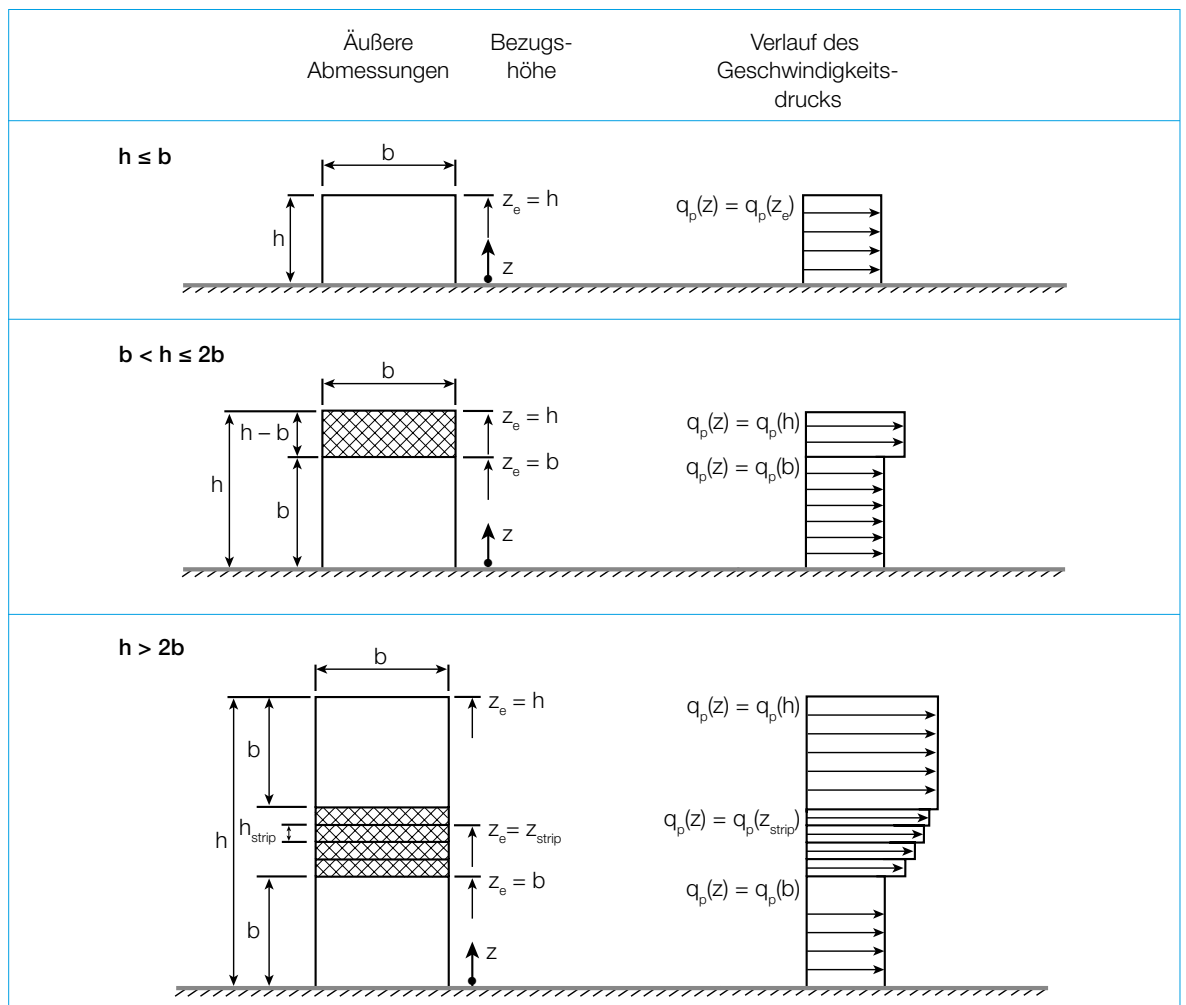


■ Vertikale Wände rechteckiger Gebäude

Geschwindigkeitsdrücke für vertikale Wände rechteckiger Gebäude werden nach Gebäudehöhe gestaffelt angesetzt. Die Staffelung erfolgt in Abhängigkeit von dem Verhältnis Baukörperhöhe/Baukörper-

breite h/b in drei Kategorien (Abb. 4.3). Die Außendruckbeiwerte $c_{pe,1}$ und $c_{pe,10}$ werden für Wandbereiche A bis E (Abb. 4.4) in Abhängigkeit vom Verhältnis Baukörperhöhe/Baukörperabmessung parallel zur Anströmrichtung h/d angegeben (Tab. 4.6).

Abb. 4.3: Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von der Höhe h und der Breite b sowie der Winddruckverteilung gemäß DIN EN 1991-1-4 [4.19.3]



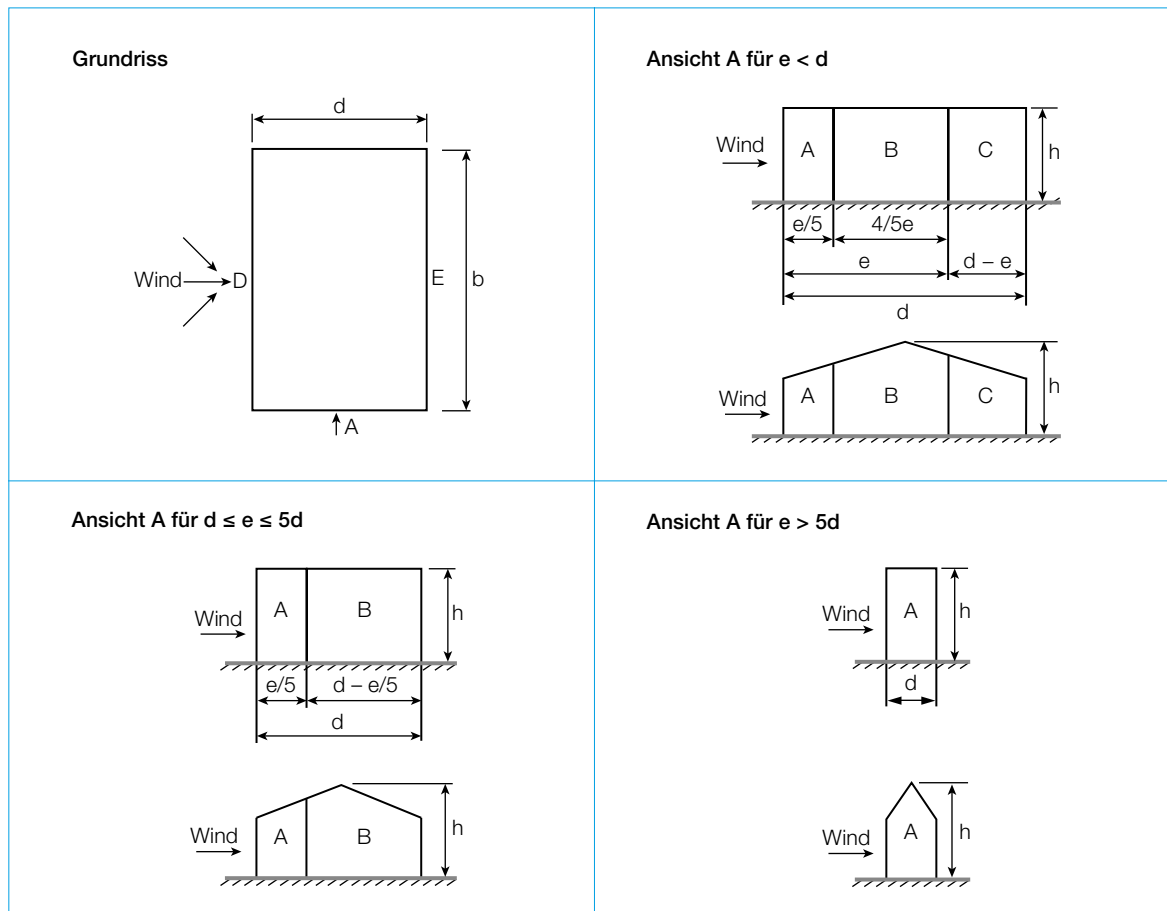


Abb. 4.4: Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden gemäß DIN EN 1991-1-4 [4.19.3]

$e = b$ oder $2h$, der kleinere Wert ist maßgebend
 b : Abmessung quer zur Anströmrichtung

Bereich	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe, 10}$	$C_{pe, 1}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pe, 1}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pe, 1}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pe, 1}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pe, 1}$
≥ 5	-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,5	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	-0,5

Tab. 4.6: Außendruckbeiwert c_{pe} für vertikale Wände rechteckiger Gebäude gemäß DIN EN 1991-1-4/NA [4.20.3]

Für einzeln in offenem Gelände stehende Gebäude können im Sogbereich auch größere Sogkräfte auftreten. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Für Gebäude mit $h/d > 5$ ist die Gesamtwindlast anhand der Kraftbeiwerte gemäß DIN EN 1991-1-4 zu ermitteln.

■ Flachdächer

Außendruckbeiwerte $c_{pe,1}$ und $c_{pe,10}$ für Flachdächer (Tab. 4.7) werden in Abhängigkeit von Bereichen F bis I (Abb. 4.5) ermittelt, in die das Flachdach unterteilt wird. Der Einfluss einer Attika oder von abgerundeten Traufbereichen wird mit berücksichtigt.

Tab. 4.7: Außendruckbeiwerte c_{pe} für Flachdächer gemäß DIN EN 1991-1-4 [4.19.3]

Dachtyp		Bereich							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Scharfkantiger Traufbereich		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2 -0,6	
Mit Attika	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2 -0,6	
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2 -0,6	
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2 -0,6	
Abgerundeter Traufbereich	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2 -0,2	
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2 -0,2	
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2 -0,2	
Mansardenartig abgeschrägter Traufbereich	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2 -0,2	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2 -0,2	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2 -0,2	

Bei Dächern mit Attika oder abgerundetem Traufbereich darf für Zwischenwerte h_p/h und r/h linear interpoliert werden.

Bei Dächern mit mansardendachartigem Traufbereich darf für Zwischenwerte von α zwischen $\alpha = 30^\circ$, 45° und 60° linear interpoliert werden. Für $\alpha > 60^\circ$ darf zwischen den Werten für $\alpha = 60^\circ$ und den Werten für Flachdächer mit scharfkantigem Traufbereich linear interpoliert werden.

Im Bereich I, für den positive und negative Werte angegeben werden, sollten beide Werte berücksichtigt werden.

Für die Schräge des mansardendachartigen Traufbereichs selbst werden die Außendruckbeiwerte in Tab. 4.8 „Außendruckbeiwerte für Satteldächer und Trogdächer“ Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$, Bereiche F und G, in Abhängigkeit von dem Neigungswinkel des mansardendachartigen Traufbereichs angegeben.

Für den abgerundeten Traufbereich selbst werden die Außendruckbeiwerte entlang der Krümmung durch lineare Interpolation entlang der Kurve zwischen den Werten der vertikalen Wand und auf dem Dach ermittelt.

Bei mansardenartig abgeschrägten Traufbereichen mit einem horizontalen Maß weniger als $e/10$ sollten die Werte für scharfkantige Traufbereiche verwendet werden. Für die Definition von e siehe Abb. 4.5.

Bei den Dachtypen „scharfkantiger Traufbereich“ und „mit Attika“ ist im Bereich I der negative Druckbeiwert mit $-0,6$ anzunehmen.

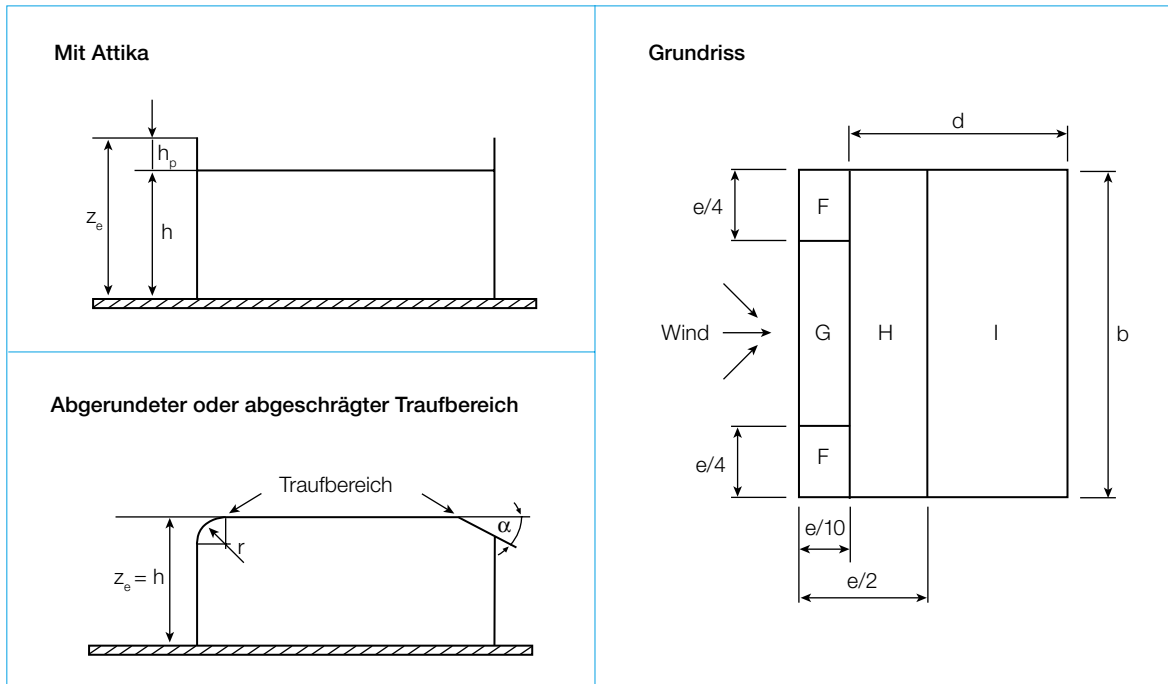


Abb. 4.5: Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern gemäß DIN EN 1991-1-4 [4.19.3]

$e = b$ oder $2h$, der kleinere Wert ist maßgebend
 b: Abmessung quer zum Wind

Satteldächer

Satteldächer werden zunächst in Bereiche F bis J eingeteilt (Abb. 4.6). Die Bezugshöhe z_e entspricht der Gebäudehöhe h . Je nach Bereich, Neigungswinkel des Daches und Anströmrichtung werden die Außendruckbeiwerte $c_{pe,1}$ und $c_{pe,10}$ ermittelt (Tab. 4.8).

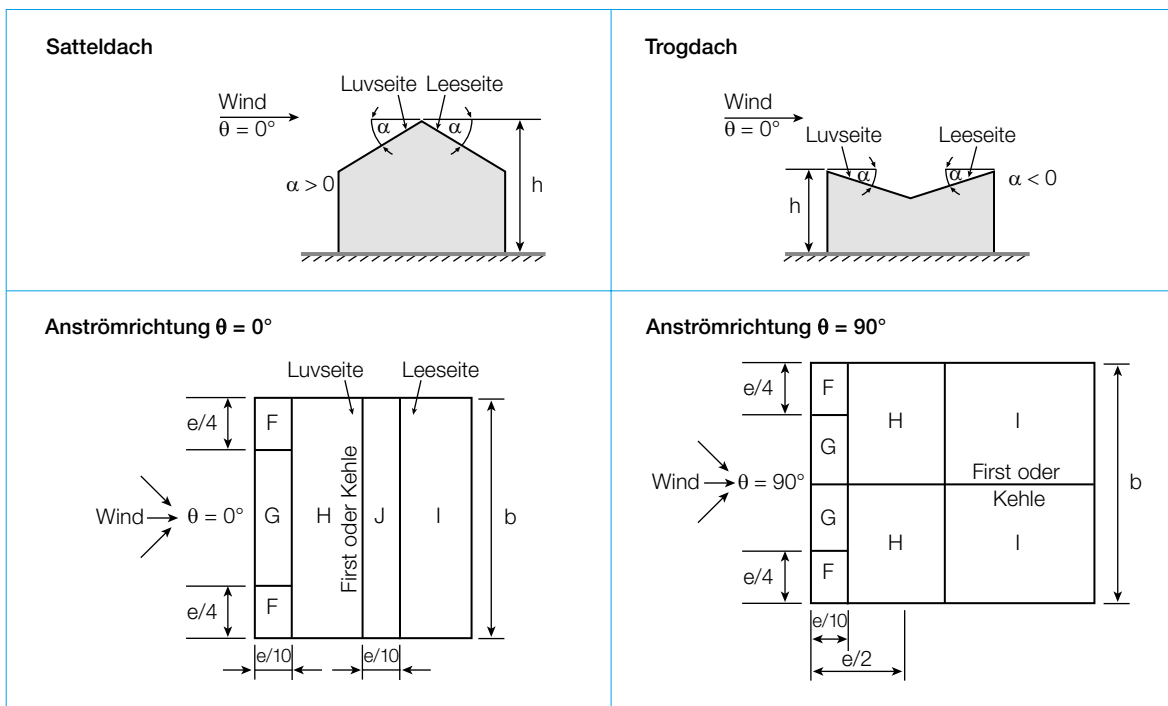


Abb. 4.6: Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogdächern gemäß DIN EN 1991-1-4 [4.19.3]

$e = b$ oder $2h$, der kleinere Wert ist maßgebend
 b: Abmessung quer zum Wind

Tab. 4.8: Außendruckbeiwerte c_{pe} für Sattel- und Trogdächer gemäß DIN EN 1991-1-4 [4.19.3]

Bereich für die Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$										
Neigungswinkel α	Bereich									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,6/+0,2		-0,6/+0,2	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Für die Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$ und einen Neigungswinkel von $\alpha = -5^\circ$ bis $+45^\circ$ ändert sich der Druck schnell zwischen positiven und negativen Werten; daher werden sowohl der positive als auch der negative Wert angegeben. Bei solchen Dächern sind vier Fälle zu berücksichtigen, bei denen jeweils der kleinste bzw. größte Wert für die Bereiche F, G und H mit den kleinsten bzw. größten Werten der Bereiche I und J kombiniert werden. Das Mischen von positiven und negativen Werten auf einer Dachfläche ist nicht zulässig.

Für Dachneigungen zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden, sofern nicht das Vorzeichen der Druckbeiwerte wechselt (zwischen den Werten $\alpha = +5^\circ$ und $\alpha = -5^\circ$ darf nicht interpoliert werden, stattdessen sind die Werte für Flachdächer nach Tab. 4.7 zu benutzen). Der Wert Null ist für Interpolationszwecke angegeben.

Bereich für die Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$								
Neigungswinkel α	Bereich							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

4.2.4 Schneelasten

Schneelast auf dem Boden

Grundlage für die Ermittlung von Schneelasten sind DIN EN 1991-1-3 [4.19.2] und DIN EN 1991-1-3/NA [4.20.2]. Charakteristische Werte für Schneelasten s_k auf dem Boden werden in Abhängigkeit von den Schneelastzonen 1 (z. B. Düsseldorf) bis 3 (z. B. Garmisch-Partenkirchen) und der Geländehöhe A über Meeresniveau ermittelt (Abb. 4.7). Für die Schneelastzonen 1a und 2a ergeben sich die charakteristischen Werte jeweils durch Erhöhung der Werte aus den Zonen 1 und 2 mit einem Faktor 1,25. Die Sockelbeträge werden in gleicher Weise angehoben (Abb. 4.8).

Zone 1:

$$s_k = 0,19 + 0,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2 \text{ Gl. (4.2)}$$

Zone 2:

$$s_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2 \text{ Gl. (4.3)}$$

Zone 3:

$$s_k = 0,31 + 2,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2 \text{ Gl. (4.4)}$$

Schneelast auf Dächern

Die Schneelast auf Dächern wird in Abhängigkeit von der Bemessungssituation, dem Umgebungskoeffizienten C_e , dem Temperaturkoeffizienten C_t sowie aus einem Formbeiwert für Schneelasten μ_i zur Berücksichtigung der Dachform und dem charakteristischen Wert der Schneelast auf dem Boden s_k ermittelt:

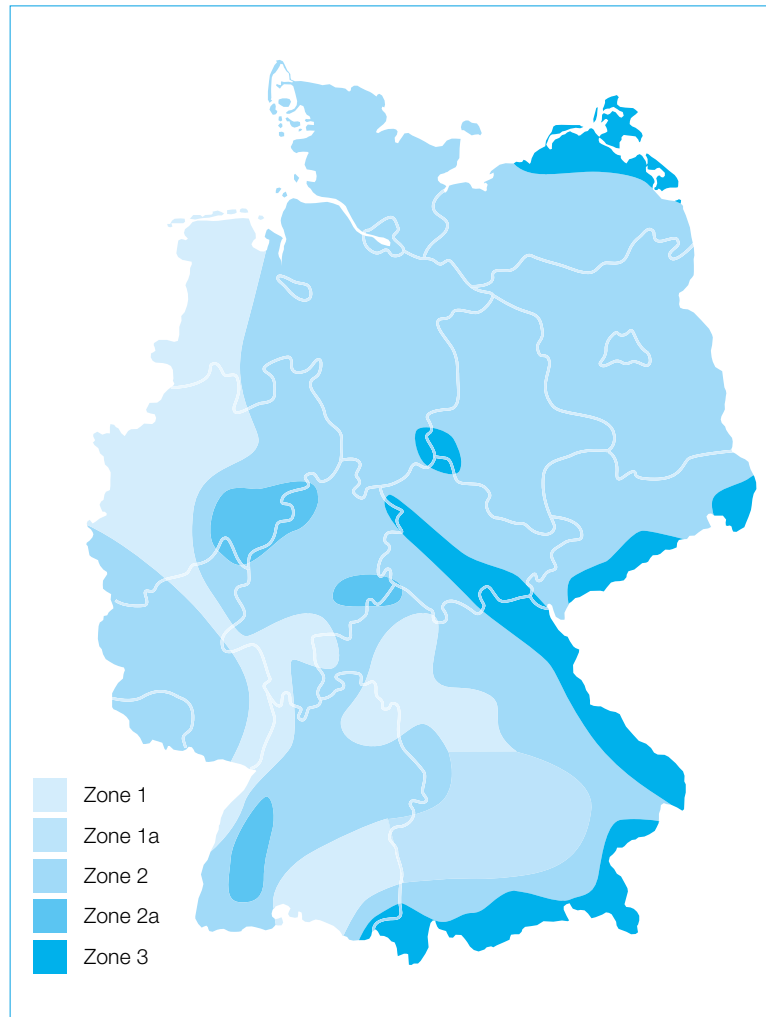


Abb. 4.7: Schneelastzonenkarte gemäß DIN EN 1991-1-3/NA [4.20.2]

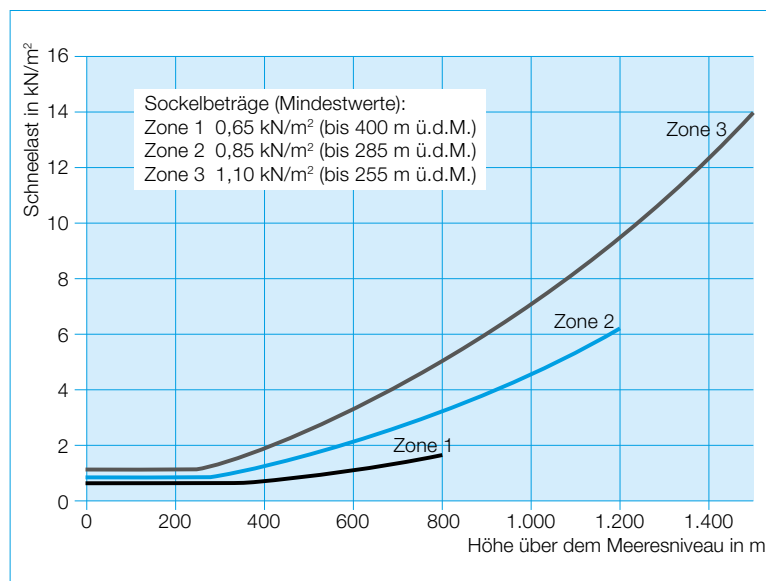
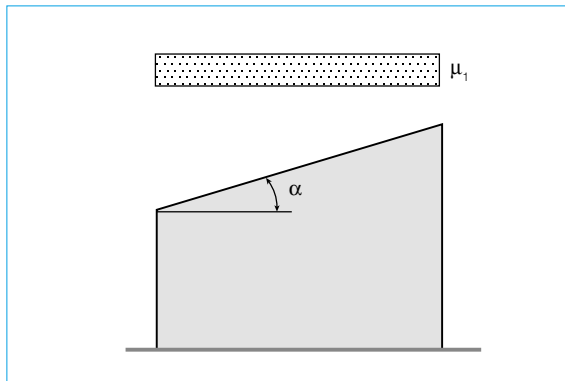


Abb. 4.8: Charakteristischer s_k Wert der Schneelast auf dem Boden gemäß DIN EN 1991-1-3/NA [4.20.2]

Abb. 4.9: Lastbild der Schneelasten auf Pultdächern gemäß DIN EN 1991-1-3 [4.19.2]



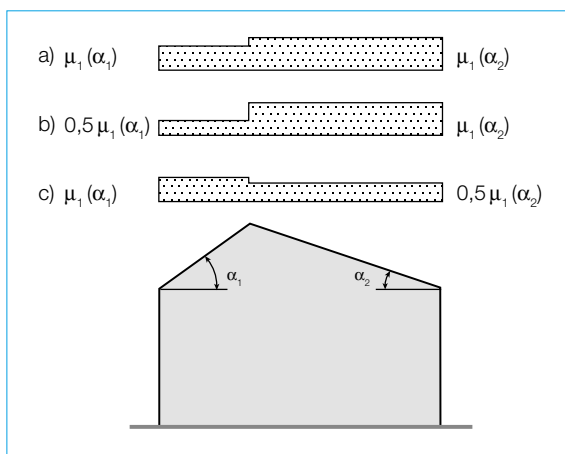
■ Ständige und veränderliche Bemessungssituationen

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad \text{Gl. (4.5)}$$

■ Außergewöhnliche Bemessungssituationen, bei denen die außergewöhnliche Schneelast den außergewöhnlichen Einwirkungen entspricht

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{Ad} \quad \text{Gl. (4.6)}$$

Abb. 4.10: Lastbild der Schneelasten auf Satteldächern und Formbeiwerte μ gemäß DIN EN 1991-1-3 [4.19.2]



■ Außergewöhnliche Bemessungssituationen, in denen Schneeverwehung die außergewöhnliche Einwirkung darstellt

$$s = \mu_1 \cdot s_k \quad \text{Gl. (4.7)}$$

Der Umgebungskoeffizient C_e und der Temperaturkoeffizient C_t werden gemäß DIN EN 1991-1-3/NA mit 1 angenommen. Die Last ist als lotrecht wirkend anzunehmen und bezieht sich auf die waagrechte Projektion der Dachfläche.

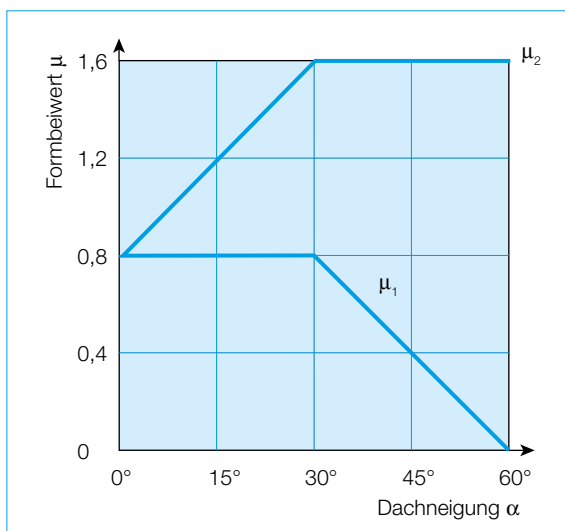
Die Lastbilder der Schneelast sind beispielhaft für Pultdächer in Abb. 4.9 und für Satteldächer in Abb. 4.10 enthalten. Bei Flachdächern wird die anzusetzende Schneelast als gleichmäßig verteilte Voll-Last angenommen, während bei Satteldächern je nach Lastbild der ungünstigste Fall zu berücksichtigen ist.

Formbeiwert der Schneelast

Formbeiwerte zur Berechnung von Schneelasten auf Dächern beziehen sich auf ausreichend wärmege-dämmte Konstruktionen ($U \leq 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) mit üblicher Dacheindeckung. Sofern im Einzelfall keine weiteren Angaben vorliegen, gelten sie näherungsweise auch für Glaskonstruktionen. Formbeiwerte werden u. a. in Abhängigkeit von der Dachform und der Dachneigung ermittelt.

Für Pultdächer können die Formbeiwerte Abb. 4.11 und Tab. 4.9 entnommen werden. Für Satteldächer gelten Abb. 4.10 und μ_1 -Werte aus Tab. 4.9. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Schnee ungehindert vom Dach abrutschen kann. Ist z. B. ein Schneefanggitter oder ein anderes Hindernis vorhanden, ist als Formbeiwert der Schneelast mindestens $\mu = 0,8$ zu wählen.

Abb. 4.11: Formbeiwert μ für Schneelasten gemäß DIN EN 1991-1-3 [4.19.2]



Tab. 4.9: Formbeiwerte μ für Schneelasten gemäß DIN EN 1991-1-3 [4.19.2]

Neigungswinkel α des Pultdachs	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
Formbeiwert μ_1	0,8	$0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
Formbeiwert μ_2	$0,8 + \frac{0,8 \alpha}{30^\circ}$	1,6	-

4.2.5 Erdbebenlasten gemäß DIN 4149

Die Ermittlung von Erdbebenlasten auf Hochbauten ist Bestandteil von DIN 4149 [4.10]. Sie gilt für den Entwurf, die Bemessung und die Konstruktion baulicher Anlagen des üblichen Hochbaus aus Stahlbeton, Stahl, Holz oder Mauerwerk in deutschen Erdbebengebieten. Wesentliches Ziel der Norm ist es, im Falle eines Erdbebens durch Sicherstellung der Standsicherheit von Bauwerken Menschenleben zu schützen. Leichte Schäden und Einschränkungen in der Gebrauchstauglichkeit werden hingenommen. Beim Erdbeben dürfen z. B. durchaus Risse in Mauerwerk entstehen, jedoch darf die Standsicherheit nicht gefährdet werden.

Grundsätze des erdbebengerechten Entwerfens

Zu einer erdbebengerechten Konzeption von Bauwerken gehört ein erdbebengerechter Entwurf, der bestimmte Konstruktionsmerkmale wie Regelmäßigkeitskriterien hinsichtlich der Grundriss- und Aufrissgestaltung berücksichtigt.

Die Kriterien für die Regelmäßigkeit im Grundriss besagen, dass ein Gebäudegrundriss bezüglich der Horizontalsteifigkeit und der Massenverteilung um zwei zueinander senkrechte Achsen nahezu symmetrisch ist. Außerdem ist der Gebäudegrundriss kompakt, damit die Geschossdecken bei einem Erdbeben ihre Form und Steifigkeit behalten. Rückspringende Ecken und Nischen im Grundriss können das Aussteifungssystem beeinträchtigen und sind daher zu vermeiden. Die Steifigkeit von Decken in ihrer Ebene muss im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der durch die Decken gekoppelten Stützen und Wände ausreichend groß sein.

Bei der Aufrissgestaltung ist z. B. zu beachten, dass die Steifigkeit über die Bauwerkshöhe gleichmäßig verteilt wird. Alle an der Aufnahme von Horizontallasten beteiligten Tragwerksteile verlaufen ohne Unterbrechung von der Gründung bis zur Oberkante des Gebäudes. Größere sprunghafte Veränderungen mit der Bauwerkshöhe werden vermieden. Bei Skelettbauten bleibt das Verhältnis der tatsächlich vorhandenen Tragfähigkeit für Horizontallasten zur rechnerisch erforderlichen Tragfähigkeit für aufeinanderfolgende Geschosse möglichst gleich.

Gebäude mit einer Regelmäßigkeit im Grundriss und Aufriss verhalten sich im Erdbebenfall günstiger. Dies kann wirtschaftliche Vorteile bieten und das Erdbebenverhalten lässt sich rechnerisch einfacher erfassen.

Empfehlungen für einen erdbebengerechten Entwurf

Zum Entwurf von baulichen Anlagen in Erdbebengebieten empfiehlt DIN 4149 die Einhaltung folgender Kriterien:

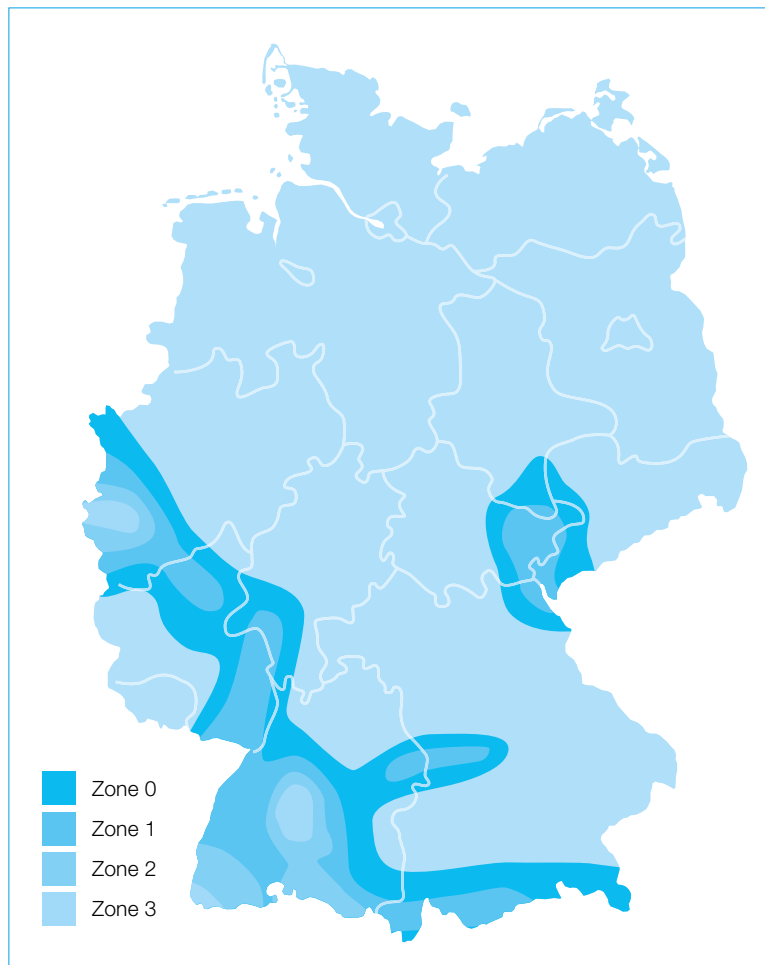
- Das Tragwerk ist einfach konzipiert, d. h. es wird ein System mit eindeutigen und direkten Wegen für die Übertragung der Erdbebenkräfte gewählt.
- In jeder der Hauptrichtungen werden aussteifende Tragwerksteile mit ähnlicher Steifigkeit und Tragfähigkeit gewählt.
- Steifigkeitssprünge zwischen übereinander liegenden Geschossen werden vermieden.
- Unterschiedliche Höhenlagen horizontal benachbarter Geschosse werden vermieden.
- Bei gleichzeitiger Vermeidung von Massenexzentrizitäten, die zu erhöhten Torsionsbeanspruchungen führen, werden torsionssteife Konstruktionen gewählt.
- Imperfektionsempfindliche und stabilitätsgefährdete Konstruktionen sowie Bauteile, deren Standsicherheit schon bei kleinen Auflagerbewegungen gefährdet ist, werden vermieden.
- Geschossdecken werden als Scheiben zur Verteilung der horizontalen Trägheitskräfte auf die aussteifenden Elemente ausgebildet.
- Es werden Gründungskonstruktionen ausgewählt, die eine einheitliche Verschiebung der verschiedenen Gründungsteile bei Erdbebenanregung sicherstellen.
- Es werden duktile Konstruktionen mit der Fähigkeit zu möglichst großer Energiedissipation gewählt.
- Große Massen in oberen Geschossen werden vermieden.
- Falls erforderlich: Das Tragwerk wird mittels Fugen in dynamisch unabhängige Einheiten aufgeteilt.

Erdbebeneinwirkung

Im größten Teil der Bundesrepublik Deutschland sind in den letzten Jahrhunderten keine intensitätsstarken Erdbeben verzeichnet worden, so dass eine Bemessung hinsichtlich besonderer seismischer Einwirkungen nicht erforderlich ist.

Erdbebengefährdete Gebiete gibt es nur wenige. Sie teilen sich auf in einen Übergangsbereich, der als Erdbebenzone 0 (z. B. Frankfurt/Main) definiert ist, und in die Erdbebenzonen 1 (z. B. Karlsruhe) bis 3

Abb. 4.12: Erdbebenzonen in der Bundesrepublik Deutschland gemäß DIN 4149 [4.10]



(z. B. Tübingen) (Abb. 4.12). Als zonenpezifischer Einwirkungsparameter gilt der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g , der den Erdbebenzonen zugeordnet ist. Darüber hinaus sind innerhalb einer Erdbebenzone die Eigenschaften des Baugrundes (Baugrundklassen A, B und C) von Einfluss. Die darunter liegenden Schichten stellen den geologi-

schen Untergrund (geologische Untergrundklassen R, S und T) dar.

Auf Grundlage der Erdbebenzonierung wird die seismische Einwirkung durch ein sogenanntes elastisches Antwortspektrum erfasst, das die Antwort eines elastisch sich verformenden Bauwerks auf ein Erdbeben beschreibt. Entsprechend ihrer Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit und

der mit einem Einsturz verbundenen Folgen (z. B. Gefahr für Menschenleben oder Verlust von Sachwerten) werden Hochbauten nach Bedeutungskategorien klassifiziert (Tab. 4.10).

Nachweis der Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann für Hochbauten der Bedeutungskategorien I bis III als erbracht angesehen werden, wenn zwei wesentliche Bedingungen erfüllt sind:

- Die für die Kombination in der Erdbebenbemessungssituation mit einem Verhaltensbeiwert $q = 1,0$ ermittelte horizontale Gesamterdbebenkraft ist kleiner als die maßgebende Horizontalkraft, die sich aus den anderen zu untersuchenden Einwirkungskombinationen ergibt.
- Die zu Beginn dieses Abschnitts aufgelisteten Empfehlungen für einen erdbebengerechten Entwurf werden eingehalten.

Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, wird die Standsicherheit gemäß DIN 4149 nach einem vereinfachten Verfahren oder rechnerisch nachgewiesen.

Besondere Regeln für Mauerwerksbauten

Für Mauerwerksbauten gelten besondere Regeln. Sie enthalten Definitionen, zusätzliche Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe,

Tab. 4.10: Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte für Hochbauten gemäß DIN 4149 [4.10]

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_I
I	Bauwerke von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Bauten usw.	0,8
II	Gewöhnliche Bauten, die nicht zu den anderen Kategorien gehören, z. B. Wohngebäude	1,0
III	Bauwerke, deren Widerstandsfähigkeit gegen Erdbeben im Hinblick auf die mit einem Einsturz verbundenen Folgen wichtig ist, z. B. große Wohnanlagen, Verwaltungsgebäude, Schulen, Versammlungshallen, kulturelle Einrichtungen, Kaufhäuser usw.	1,2
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit im Erdbebenfall von Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist, z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehrhäuser usw.	1,4

spezielle Konstruktionsregeln und die Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

Definitionen

Mauerwerksbauten sind als Bauten definiert, bei denen Horizontallasten überwiegend über tragende Wände aus Mauerwerk abgetragen werden. Tragende Wände, die der Aussteifung gegen horizontale Einwirkungen dienen, werden als Schubwände bezeichnet.

Für Hochbauten aus Mauerwerk in den Erdbebenzonen 1 bis 3 gelten die unten genannten Festlegungen zu Baustoffen und Konstruktionen zusätzlich zu denen nach DIN EN 1996 [4.21] und DIN 1053-4 [4.7.3]. Für nicht tragende Außenschalen von zweischaligem Mauerwerk nach DIN EN 1996 in Gebäuden, die Tab. 4.11 entsprechen, ist ein rechnerischer Nachweis für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich. In Abhängigkeit von der Art des für erdbebenwiderstandsfähige Bauteile verwendeten Mauerwerks sind Mauerwerksbauten einem der folgenden Bauwerkstypen zuzuordnen:

- Bauwerke aus unbewehrtem Mauerwerk
- Bauwerke aus eingefasstem Mauerwerk
- Bauwerke aus bewehrtem Mauerwerk

Besondere Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe

Für Hochbauten aus Mauerwerk in deutschen Erdbebengebieten ist die Verwendung von Mauersteinen und Mauerermörteln nach DIN EN 1996 zugelassen. Mauersteine für Schubwände aus Mauerwerk, die keine in Wandlängsrichtung durchlaufenden Innenstege haben, müssen in den Erdbebenzonen 2 und 3 in der in Wandlängsrichtung vorgesehenen Steinrichtung eine mittlere Steindruckfestigkeit von mindestens 2,5 N/mm² aufweisen.

Allgemeine Konstruktionsregeln

Neben den oben genannten Empfehlungen für den Entwurf von baulichen Anlagen in Erdbebengebieten ist zu beachten, dass Hochbauten aus Mauerwerk in allen Vollgeschossen durch Geschossdecken ausgesteift werden. Die Aussteifungswirkung muss in allen Horizontalrichtungen gegeben sein. Wände können nur dann zur Aussteifung herangezogen werden, wenn die Mindestanforderungen an Schubwände nach Tab. 4.12 erfüllt sind.

Zusätzliche Konstruktionsregeln für eingefasstes Mauerwerk

Horizontale und vertikale Einfassungsbauteile sind miteinander zu verbinden und in den Bauteilen des

Erdbebenzone	Bedeutungskategorie	Maximale Anzahl von Vollgeschossen
1	I bis III	4
2	I und II	3
3	I und II	2

Tab. 4.11: Bedeutungskategorie und zulässige Anzahl der Vollgeschosse für Hochbauten ohne rechnerischen Standsicherheitsnachweis gemäß DIN 4149 [4.10]

Erdbebenzone	h_k/t	t mm	l mm
1	nach DIN EN 1996		≥ 740
2	≤ 18	≥ 150 ¹⁾	≥ 980
3	≤ 15	≥ 175	≥ 980

Tab. 4.12: Mindestanforderungen an aussteifende Wände (Schubwände) gemäß DIN 4149 [4.10]

¹⁾ Wände der Wanddicke ≥ 115 mm dürfen zusätzlich berücksichtigt werden, wenn $h_k/t \leq 15$ ist

h_k Knicklänge nach DIN 1053-1 bzw. DIN EN 1996

t Wanddicke

l Wandlänge

Haupttragwerks zu verankern. Um einen wirksamen Verbund zwischen den Einfassungsbauteilen und dem Mauerwerk zu erzielen, sind Einfassungsbauteile erst nach Ausführung des Mauerwerks zu betonieren. Die Querschnittsabmessung sowohl der horizontalen als auch der vertikalen Einfassungselemente soll nicht kleiner als 100 mm in jeder Richtung sein. Vertikale Einfassungselemente, die rechnerisch in Ansatz gebracht werden, sind folgendermaßen anzuordnen:

- An den freien Enden jedes tragenden Wandbauteils.
- Zu beiden Seiten jeder Wandöffnung mit einer Fläche von mehr als 1,5 m².
- Innerhalb einer Wand, wenn ein Abstand von 5 m zwischen zwei Einfassungselementen überschritten wird.
- An Kreuzungspunkten von tragenden Wänden, wenn die nach den o. g. Regeln angeordneten Einfassungselemente einen Abstand von mehr als 1,5 m von diesem Kreuzungspunkt haben.

Horizontale Einfassungselemente sind in der Wandebene, in der Höhe jeder Decke und in jedem Fall in vertikalen Abständen von nicht mehr als 4 m anzuordnen. Als horizontale Einfassungselemente gelten entsprechend bewehrte Stahlbetondecken, Ringbalken usw. Die Bewehrung von Einfassungselementen soll einen Mindestquerschnitt von 1 cm² oder 1 % der Querschnittsfläche des Einfassungselements nicht unterschreiten. Die Verbügelung der Längsbewehrung ist nach DIN 1045 [4.6] auszuführen, wobei Bewehrungsstahl nach DIN 488 [4.4] oder allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu verwenden ist. Für die Verankerung der Bewehrungsstäbe gilt DIN 1045.

■ Zusätzliche Konstruktionsregeln für bewehrtes Mauerwerk

In die Lagerfugen oder in geeignete Nuten der Mauersteine ist mit einem vertikalen Abstand von nicht mehr als 625 mm eine horizontale Bewehrung einzulegen. Für den Mindestbewehrungsgehalt gilt DIN EN 1996. Hohe Bewehrungsgehalte der Horizontalbewehrung, die gegebenenfalls zum Druckversagen der Mauersteine vor dem Fließen des Stahls führen könnten, sind zu vermeiden. In geeigneten Aussparungen von Mauersteinen ist eine vertikale Bewehrung mit einer Querschnittsfläche von nicht weniger als 1 cm^2 an folgenden Stellen anzuordnen:

- An beiden freien Enden jedes Wandbauteils.
- An jeder Wandkreuzung.
- Innerhalb der Wand, falls ein Abstand von 5 m zwischen zwei Vertikalbewehrungen überschritten wird.

Die Bestimmungen zur Verbügelung der Längsbewehrung, zum Bewehrungsstahl und zur Verankerung der Bewehrungsstäbe gelten sinngemäß wie im vorhergehenden Abschnitt.

■ Konstruktive Regeln für Mauerwerksbauten ohne rechnerischen Nachweis der Standsicherheit

Auf einen rechnerischen Nachweis der Standsicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann verzichtet werden, wenn zusätzlich zu den in den vorhergehenden Abschnitten genannten Anforderungen folgende wesentliche konstruktive Regeln eingehalten werden:

- Der Gebäudegrundriss ist kompakt, d. h. das Breiten-Längen-Verhältnis beträgt $b/l \geq 0,25$.
- Die maximale Anzahl der Vollgeschosse entspricht Tab. 4.11.
- Die maximale Geschosshöhe beträgt 3,50 m.

- Bei der Anordnung aussteifender Wände: Der Steifigkeitsmittelpunkt und der Massenschwerpunkt liegen nahe beieinander.
- Eine ausreichende Torsionssteifigkeit ist sichergestellt.
- Aussteifende Wände gehen über alle Geschosse durch.
- Aussteifende Wände tragen den überwiegenden Teil der vertikalen Lasten.
- Vertikallasten werden auf die aussteifenden Wände in beiden Gebäuderichtungen verteilt.
- Das Gebäude ist in beide Richtungen durch genügend lange Schubwände ausreichend ausgesteift.
- Die Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden gemäß Tab. 4.13 werden eingehalten.
- Je Gebäuderichtung sind mindestens zwei Schubwände vorhanden, die mindestens 1,99 m lang sind.
- Für den Bemessungswert $a_g \cdot S \cdot \gamma_I \leq 0,09 \cdot g \cdot k$ müssen mindestens 50 % der Wandquerschnittsflächen gemäß Tab. 4.13 aus Wänden mit mindestens 1,99 m Länge bestehen.
- Die Verwendung der Steifigkeitsklasse 2 für Außenwände ist zulässig, wenn in jeder Richtung wenigstens 50 % der erforderlichen Wandquerschnittsfläche der Schubwände aus Mauerwerk der Festigkeitsklasse 4 oder höher bestehen. Die Gesamtquerschnittsfläche der Schubwände entspricht dann den in Tab. 4.13 genannten Werten für die Steifigkeitsklasse 4.

Die prozentuale Bestimmung der Mindestquerschnittsflächen der Schubwände je Gebäudeausrichtung ist von der Anzahl der Vollgeschosse, der Steifigkeitsklasse, dem Bemessungswert der Boden-

Tab. 4.13: Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden je Gebäudeausrichtung gemäß DIN 4149 [4.10]

Anzahl der Vollgeschosse	$a_g \cdot S \cdot \gamma_I \leq 0,06 g \cdot k^1)$			$a_g \cdot S \cdot \gamma_I \leq 0,09 g \cdot k^1)$			$a_g \cdot S \cdot \gamma_I \leq 0,12 g \cdot k^1)$		
	Steifigkeitsklasse nach DIN 1053-1 bzw. DIN EN 1996 ²⁾³⁾								
	4	6	≥ 12	4	6	≥ 12	4	6	≥ 12
1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,025	0,02	0,04	0,03	0,02
2	0,035	0,03	0,02	0,055	0,045	0,03	0,08	0,05	0,04
3	0,065	0,04	0,03	0,08	0,065	0,05	Kein vereinfachter Nachweis zulässig (KvNz)		
4	KvNz	0,05	0,04	KvNz					

¹⁾ Für Gebäude, bei denen mindestens 70 % der betrachteten Schubwände in einer Richtung länger als 2 m sind, beträgt der Beiwert $k = 1 + (l_{\text{av}} - 2)/4 \leq 2$. Dabei ist l_{av} die mittlere Wandlänge der betrachteten Schubwände in m. In allen anderen Fällen beträgt $k = 1$. Der Wert γ_I wird nach DIN 4149, Abschnitt 5.3 bestimmt.

²⁾ Bei Verwendung unterschiedlicher Steifigkeitsklassen, z. B. für Innen- und Außenwände, sind die Anforderungswerte im Verhältnis der Flächenanteile der jeweiligen Steifigkeitsklasse zu wichten.

³⁾ Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

beschleunigung a_g , dem Untergrundparameter S sowie dem Bedeutungsbeiwert γ_1 abhängig. Mit diesen einfachen Regeln kann der vereinfachte Nachweis leicht erbracht werden und sollte daher dem rechnerischen Nachweis vorgezogen werden.

Falls der Nachweis der Standsicherheit aus bestimmten Gründen rechnerisch geführt werden soll, werden die Rechenverfahren gemäß DIN EN 1996 sowie Abschnitt 11.7 der DIN 4149 angewendet.

4.3 Mauerwerk

4.3.1 Nationale und europäische Normung

Mauerwerk wurde früher entweder nach einem globalen Sicherheitskonzept gemäß DIN 1053-1 oder nach einem Teilsicherheitskonzept gemäß DIN 1053-100 [4.7.4] berechnet. Durch die bauaufsichtliche Einführung von DIN EN 1996 (Eurocode 6) und der nationalen Anhänge in allen Bundesländern gilt diese Norm alleine für die Bemessung und Ausführung von Mauerwerk. Der Eurocode enthält umfassende Regelungen für unbewehrtes, bewehrtes, vorgespanntes und eingefasstes Mauerwerk.

Es handelt sich hierbei um einen auf europäischer Ebene getroffenen Kompromiss, denn insbesondere bei der Bemessung und der Ausführung von Mauerwerk gab es in den europäischen Staaten große Unterschiede. Ergänzend zur europäischen Normenreihe gibt es nationale Anhänge, in denen national festgelegte Parameter zu finden sind.

DIN EN 1996 „Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ besteht aus folgenden Teilen und den zugehörigen nationalen Anhängen:

- Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Ausgabe 2010-12 (Teil 1-1 ersetzt zum Teil DIN 1053-1, zum Teil DIN 1053-3 und zum Teil die zurückgezogene DIN 1053-100)
- Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Ausgabe 2011-04 (Teil 1-2 ersetzt zum Teil DIN 4102-4 [4.8])
- Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk, Ausgabe 2010-12 (Teil 2 ersetzt zum Teil DIN 1053-1 und zum Teil DIN 1053-3)

- Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten, Ausgabe 2010-12 (Teil 3 ersetzt zum Teil DIN 1053-1 und zum Teil die zurückgezogene DIN 1053-100)

4.3.2 Berechnung gemäß DIN EN 1996 (Eurocode 6)

Sicherheitskonzept

Nachweis

Mauerwerk wird im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach dem Sicherheitskonzept gemäß DIN EN 1990/NA nachgewiesen. Der Bemessungswert E_d einer Schnittgröße infolge von Einwirkungen in einem Querschnitt darf den Bemessungswert R_d des Tragwiderstandes dieses Querschnitts nicht überschreiten:

$$E_d \leq R_d \tag{Gl. (4.8)}$$

Einwirkungen

Für den Bemessungswert E_d der Beanspruchungen in einem Querschnitt sind die maßgebenden Einwirkungen relevant. Im Hochbau wird zwischen ständigen Einwirkungen (z. B. Eigen- und Ausbaulasten), veränderlichen Einwirkungen (z. B. Nutz-, Schnee- und Windlasten) und außergewöhnlichen Einwirkungen (z. B. Explosion oder Fahrzeuganprall) unterschieden:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \tag{Gl. (4.9)}$$

Außergewöhnliche Bemessungssituation

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus A_d \oplus \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \tag{Gl. (4.10)}$$

- A_d : Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkung
- E : Auswirkung der Einwirkungen
- G_k : Charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung
- Q_k : Charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung
- γ_G : Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite (ständige Einwirkung)
- γ_{GA} : Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite (außergewöhnliche Einwirkungen)
- γ_Q : Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite (veränderliche Einwirkungen)
- Teilsicherheitsbeiwerte können Tab. 4.14 entnommen werden
- Ψ : Kombinationsbeiwerte gemäß Tab. 4.15
- \oplus : Einwirkende Lasten sind ungünstig miteinander zu kombinieren

Tab. 4.14: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen für den Nachweis im Grenzzustand gemäß DIN EN 1990/NA [4.18]

Einwirkung	Teilsicherheitsbeiwert γ		
	Ungünstige Auswirkung	Günstige Auswirkung	Außergewöhnliche Bemessungssituation
Ständig (G)	$\gamma_{g,sup} = 1,35$	$\gamma_{G,inf} = 1,00$	$\gamma_{GA} = 1,00$
Veränderlich (Q)	$\gamma_{Q,sup} = 1,50$	$\gamma_{Q,inf} = 0$	$\gamma_{GA} = 1,00$

Tab. 4.15: Zahlenwerte für Kombinationsbeiwerte im Hochbau gemäß DIN EN 1990/NA [4.18]

Einwirkungen	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Nutzlasten im Hochbau (Kategorien siehe EN 1991-1-1)¹⁾			
■ Kategorie A: Wohn- und Aufenthaltsräume	0,7	0,5	0,3
■ Kategorie B: Büros	0,7	0,5	0,3
■ Kategorie C: Versammlungsräume	0,7	0,7	0,6
■ Kategorie D: Verkaufsräume	0,7	0,7	0,6
■ Kategorie E: Lagerräume	1,0	0,9	0,8
■ Kategorie F: Verkehrsflächen, Fahrzeuglast ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
■ Kategorie G: Verkehrsflächen, 30 kN \leq Fahrzeuglast ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
■ Kategorie H: Dächer	0	0	0
Schnee- und Eislasten, siehe DIN EN 1991-1-3			
■ Orte bis zu NN + 1.000 m	0,5	0,2	0
■ Orte über NN + 1.000 m	0,7	0,5	0,2
Windlasten, siehe DIN EN 1991-1-4	0,6	0,2	0
Temperatureinwirkungen (nicht Brand), siehe DIN EN 1991-1-5	0,6	0,5	0
Baugrundsetzungen, siehe DIN EN 1997	1,0	1,0	1,0
Sonstige Einwirkungen^{2),3)}	0,8	0,7	0,5

¹⁾ Abminderungsbeiwerte für Nutzlasten in mehrgeschossigen Hochbauten siehe DIN EN 1991-1-1.
²⁾ Flüssigkeitsdruck ist im Allgemeinen als eine veränderliche Einwirkung zu behandeln, für die die Ψ -Beiwerte standortbedingt festzulegen sind. Flüssigkeitsdruck, dessen Größe durch geometrische Verhältnisse begrenzt ist, darf als eine ständige Einwirkung behandelt werden, wobei alle Ψ -Beiwerte gleich 1,0 zu setzen sind.
³⁾ Ψ -Beiwerte für Maschinenlasten sind betriebsbedingt festzulegen.

Tragwiderstand

Der Tragwiderstand R_d ergibt sich aus den Tragwerksdaten (Abmessung des Bauteils und Baustoffkenngröße), d. h. er ist der Quotient aus Festigkeitseigenschaften f von Mauerwerk und einem Teilsicherheitsbeiwert γ_M für Baustoffeigenschaften:

$$R_d = R \left\{ \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot \zeta ; \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \right\} \quad \text{Gl. (4.11)}$$

R: Widerstand
 f_k : Charakteristischer Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit
 f_{vk} : Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit
 γ_M : Teilsicherheitsbeiwert für Mauerwerk aus Porenbeton (Kategorie I mit Mörtel nach Eignungsprüfung oder Rezeptmörtel)
 - ständige und vorübergehende Bemessungssituation: $\gamma_M = 1,5$
 - außergewöhnliche Bemessungssituation: $\gamma_M = 1,3$
 ζ : Dauerstandsfaktor
 - dauernde Beanspruchung infolge Eigengewicht, Schnee- und Verkehrslasten: $\zeta = 0,85$
 - kurzzeitige Beanspruchungsarten: $\zeta = 1$

Druckfestigkeit

Der Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit $f_{d,k}$ wird aus der charakteristischen Druckfestigkeit f_k ,

dem Teilsicherheitsbeiwert für das Material γ_M und dem Dauerstandsfaktor ζ wie folgt ermittelt:

$$f_{d,k} = \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot \zeta \quad \text{Gl. (4.12)}$$

Dabei wird gemäß DIN EN 1996-1-1 die charakteristische Druckfestigkeit f_k von Mauerwerk aus dem Rechenwert für die mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} von Mauerwerk (Tab. 4.16) und der Druckfestigkeit f_m des Dünnbettmörtels von 10 N/mm² sowie einer Konstante K, den Exponenten α und β (Tab. 4.17) berechnet:

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta \quad \text{Gl. (4.13)}$$

Für Dünnbettmörtel-Mauerwerk aus Porenbeton ergeben sich daraus die in Tab. 4.18 vertafelten Werte.

Schubfestigkeit

Der Bemessungswert der Mauerwerksschubfestigkeit $f_{v,d}$ wird im genaueren Nachweisverfahren aus dem charakteristischen Wert der Schubfestigkeit f_{vk} und

dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M ermittelt, wobei nach Scheibenschub und Plattenschub zu differenzieren ist:

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \quad \text{Gl. (4.14)}$$

Scheibenschub

Die charakteristische Schubkraft f_{vk} von Mauerwerk ist der kleinere Wert aus Reibungs- oder Steinzugversagen:

$$f_{vk} = \min \{f_{vlt1}; f_{vlt2}\} \quad \text{Gl. (4.15)}$$

Reibungsversagen:

- Vermörtelte Stoßfugen

$$f_{vlt1} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{Dd} \quad \text{Gl. (4.16)}$$
- Unvermörtelte Stoßfugen

$$f_{vlt2} = 0,5 \cdot f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{Dd} \quad \text{Gl. (4.17)}$$

Steezugversagen (vermörtelte und unvermörtelte Stoßfugen):

$$f_{vlt2} = 0,45 \cdot f_{bt,cal} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{bt,cal}}} \quad \text{Gl. (4.18)}$$

$f_{bt,cal}$: Rechnerische Steezugfestigkeit
 Für Porenbeton-Plansteine der Länge $l \geq 498$ mm und der Höhe $h \geq 248$ mm gilt:

$$f_{bt,cal} = \frac{0,082}{1,25} \cdot \frac{1}{0,7 + \left(\frac{f_{st}}{25}\right)^{0,5}} \cdot f_{st} \quad \text{Gl. (4.19)}$$

Werte sind in Tab. 4.19 vertafelt

f_{vk0} : Haftscherfestigkeit von Mauerwerk ohne Auflast
 Dünnbettmörtel: $f_{vk0} = 0,22$ N/mm²

σ_{Dd} : Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung an der Stelle der maximalen Druckspannung

- Rechteckquerschnitte:

$$\sigma_{Dd} = N_{Ed}/A \quad \text{Gl. (4.20)}$$
- Im Regelfall ist als minimale Einwirkung maßgebend:

$$N_{Ed} = 1,0 \cdot N_{Gk} \quad \text{Gl. (4.21)}$$

A: Überdrückte Querschnittsfläche

Bei Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit glatten Stirnflächen und vollflächig vermörtelten Stoßfugen kann der Wert f_{vlt2} um den Faktor 1,2 erhöht werden.

Druckfestigkeitsklasse der Mauersteine und Planelemente	Umgerechnete mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} N/mm ²
2	2,5
4	5,0
6	7,5
8	10,0

Tab. 4.16: Rechenwerte für die mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} von Mauerwerk in Abhängigkeit von der Druckfestigkeitsklasse gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [4.22.1]

Mittlere Steeindruckfestigkeit f_{st} N/mm ²	Parameter		
	K	α	β
$2,5 \leq f_{st} < 5,0$	0,9	0,76	–
$5,0 \leq f_{st} \leq 10,0$	0,9	0,75	–

Tab. 4.17: Parameter zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Einsteinauerwerk aus Porenbeton mit Dünnbettmörtel gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [4.22.1]

Steeindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²
2	1,8
4	3,0
6	4,1
8	5,1

Tab. 4.18: Charakteristische Druckfestigkeit f_k von Einsteinauerwerk aus Porenbetonsteinen mit Dünnbettmörtel gemäß DIN EN 1996-3/NA [4.22.4]

Plattenschub

■ Vermörtelte Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = f_{vk0} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd} \quad \text{Gl. (4.22)}$$

■ Unvermörtelte Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = \frac{2}{3} \cdot f_{vk0} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd} \quad \text{Gl. (4.23)}$$

Verformungseigenschaften

Elastizitätsmodul

Der Kurzzeitelastizitätsmodul E wird aus einer Kennzahl K_E und der charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit f_k ermittelt:

$$E = K_E \cdot f_k \quad \text{Gl. (4.24)}$$

Steeindruckfestigkeitsklasse	Mittlere Steeindruckfestigkeit f_{st} N/mm ²	Rechnerische Steezugfestigkeit $f_{bt,cal}$ N/mm ²
2	2,5	0,16
4	5,0	0,29
6	7,5	0,39
8	10,0	0,49

Tab. 4.19: Rechnerische Steezugfestigkeit $f_{bt,cal}$ von Porenbeton-Plansteinen in Abhängigkeit von der mittleren Steeindruckfestigkeit f_{st} gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [4.22.1]

Tab. 4.20: Kennwerte für Kriechen, Quellen oder Schwinden und Wärmedehnung von Porenbetonsteinen mit Dünnbettmörtel gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [4.22.1]

Kenngröße	Rechenwert	Wertebereich
Endkriechzahl ¹⁾ ϕ_{∞}	0,5	0,2 bis 0,7
Endwert der Feuchtedehnung ²⁾ ε_f [mm/m]	-0,1	-0,2 bis +0,1
Wärmeausdehnungskoeffizient α_t [$10^{-6}/K$]	8	7 bis 9

¹⁾ Endkriechzahl $\phi_{\infty} = \varepsilon_{\infty}/\varepsilon_{gr}$, mit ε_{∞} als Endkriechmaß und $\varepsilon_{gr} = \sigma/E$.

²⁾ Endwert der Feuchtedehnung ist bei Stauchung negativ und bei Dehnung positiv angegeben.

Der Rechenwert der Kennzahl für Porenbetonsteine beträgt gemäß DIN EN 1996-1-1/NA $K_E = 550$, wobei der Wertebereich mit 500 bis 650 angegeben wird. Für den Nachweis der vertikalen Belastung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Knicksicherheitsnachweis) ist abweichend davon ein Elastizitätsmodul von $E_0 = 700 \cdot f_k$ zu verwenden.

Kriechen, Quellen, Schwinden und Wärmedehnung

Die Werte für Kriechen, Quellen, Schwinden und Wärmedehnung können Tab. 4.20 entnommen werden.

Vereinfachtes und genaueres Verfahren

Für die Berechnung gemäß DIN EN 1996 stehen ein vereinfachtes und ein genaueres Verfahren zur Verfügung. Teil 1-1 der Norm enthält das genauere Verfahren. Vereinfachte Berechnungsmethoden gemäß Teil 3 können unter bestimmten Anwendungsbedingungen für die Bemessung und Konstruktion folgender unbewehrter Mauerwerkswände angewendet werden:

- Wände, die vertikal und durch Wind beansprucht werden
- Wände, die horizontal, jedoch nicht vertikal beansprucht werden
- Wände, die durch Einzellasten beansprucht werden
- Wandscheiben
- Kellerwände, die durch horizontalen Erddruck und vertikale Lasten beansprucht werden

Die vereinfachten Berechnungsmethoden gelten nicht bei außergewöhnlichen Einwirkungen, es sei denn, Wind- und Schneelasten sind als solche definiert.

Hinsichtlich der Aussteifung und Beanspruchung eines Gebäudes, zu dem die betreffenden Wände gehören, sind folgende Voraussetzungen zu berücksichtigen:

- Auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung darf verzichtet werden, wenn die Geschossdecken als steife Scheiben ausgebildet sind bzw. statisch nachgewiesene, ausreichend steife Ringbalken

vorliegen und wenn in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen aussteifenden Wänden vorhanden ist, die ohne größere Schwächungen und ohne Versprünge bis auf die Fundamente geführt sind.

- Bei Elementmauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß l_{gr} , das weniger als das 0,4-fache der Steinhöhe h_u beträgt, ist bei einem Verzicht auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung des Gebäudes die gegebenenfalls geringere Schubtragfähigkeit bei hohen Auflasten zu berücksichtigen.
- Ist bei einem Bauwerk nicht von vornherein erkennbar, dass seine Aussteifung gesichert ist, so ist ein rechnerischer Nachweis der Schubtragfähigkeit nach dem genaueren Verfahren gemäß DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-1-1/NA zu führen.

Wände, die vertikal und durch Wind beansprucht werden

Für Mauerwerk aus Porenbeton dürfen die vereinfachten Berechnungsmethoden angewendet werden, wenn allgemeine Bedingungen erfüllt sind:

- Die Gebäudehöhe h_m über Geländeoberfläche darf nicht mehr als 20 m betragen. Hat das Gebäude ein geneigtes Dach, darf als Gebäudehöhe das Mittel aus First- und Traufhöhe gelten.
- Die Stützweite l der auf den Wänden aufliegenden Decken darf nicht mehr als 6 m betragen, sofern die Biegemomente aus dem Deckendrehwinkel nicht durch konstruktive Maßnahmen, z. B. Zentrierleisten, begrenzt werden. Bei zweiachsig gespannten Decken ist für l die kürzere der beiden Stützweiten anzusetzen.
- Bestimmte Beanspruchungen, z. B. Biegemomente aus Deckeneinspannungen oder Deckenauflagerungen, ungewollte Ausmitten beim Knicknachweis und Wind auf tragende Wände brauchen nicht nachgewiesen zu werden, da sie in den Sicherheiten, die dem Nachweisverfahren zugrunde liegen oder durch konstruktive Regeln berücksichtigt sind. Dabei wird vorausgesetzt, dass in halber

Geschosshöhe der Wand nur Biegemomente aus der Deckeneinspannung oder -auflagerung und aus Windlasten auftreten.

- Greifen davon abweichend an tragenden Wänden größere horizontale Lasten an, ist der Nachweis nach dem genaueren Berechnungsverfahren gemäß DIN EN 1996-1-1 zu führen. Ein Versatz der Wandachsen infolge einer Änderung der Wanddicken gilt dann nicht als größere Ausmitte, wenn der Querschnitt der dickeren tragenden Wand den Querschnitt der dünneren tragenden Wand umschreibt. Gleiches gilt für Lastausmitten aus nicht vollflächig aufgelagerten Decken, wenn diese nach DIN EN 1996-3/NA berücksichtigt werden.
- Sofern kein genauere Nachweis geführt wird, darf für Wände, die als Endauflager für Decken oder Dächer dienen und durch Wind beansprucht werden, der Bemessungswert N_{Ed} der kleinsten vertikalen Belastung in Wandmittenhöhe im betrachteten Geschoss vereinfacht berechnet werden. Der Bemessungswert q_{Ewd} , die lichte Geschosshöhe h , die über die vertikale Belastung wirkende Breite b und die Deckenaufлагertiefe a werden dabei wie folgt berücksichtigt:

$$N_{Ed} \geq \frac{3 \cdot q_{Ewd} \cdot h^2 \cdot b}{16 \cdot \left(a - \frac{h}{300} \right)} \quad \text{Gl. (4.25)}$$

- Der Einfluss der Windlast senkrecht zur Wandebene von tragenden Wänden darf vernachlässigt

werden, wenn die Bedingungen zur Anwendung der vereinfachten Berechnungsmethoden eingehalten sind und ausreichende horizontale Halterungen vorhanden sind. Als solche gelten z. B. Decken mit Scheibenwirkung oder statisch nachgewiesene Ringbalken im Abstand der zulässigen Wandhöhen.

- Das planmäßige Überbindemaß l_{oi} muss mindestens das 0,4-fache der Steinhöhe h_u und mindestens 45 mm betragen. Nur bei Elementmauerwerk darf das planmäßige Überbindemaß l_{oi} auch mindestens $0,2 \cdot h_u$ und mindestens 125 mm betragen.
- Die Deckenaufлагertiefe a muss mindestens die halbe Wanddicke t ($0,5 \cdot t$), jedoch mehr als 100 mm betragen. Bei einer Wanddicke von 365 mm darf die Mindesttiefe des Deckenaufлагers auf $0,45 \cdot t$ reduziert werden.
- Freistehende Wände sind nach DIN EN 1996-1-1 nachzuweisen.
- Die Schlankheit λ von Wänden darf nicht größer als 27 sein.
- Weitere Voraussetzungen gemäß Tab. 4.21 werden erfüllt.

Nachweis der Tragfähigkeit von Mauerwerk

Die Tragfähigkeit von Mauerwerk wird dadurch nachgewiesen, dass die vertikale Belastung N_{Ed} einer Wand den vertikalen Tragwiderstand N_{Rd} nicht überschreitet:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad \text{Gl. (4.26)}$$

Bauteil	Voraussetzungen			
	Wanddicke	Lichte Wandhöhe	Aufliegende Decke	
			Stützweite	Nutzlast ¹⁾
t mm	h m	l_t m	q_k kN/m ²	
Tragende Innenwände	≥ 115 < 240	≤ 2,75	≤ 6,00	≤ 5
	≥ 240	–		
Tragende Außenwände und zweischalige Haustrennwände	≥ 115 ²⁾ < 150 ²⁾	≤ 2,75	≤ 6,00	≤ 3
	≥ 150 ³⁾ < 175 ³⁾			
	≥ 175 < 240			
	≥ 240	≤ 12 t		≤ 5

Tab. 4.21: Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens gemäß DIN EN 1996-3/NA [4.22.4]

¹⁾ Einschließlich Zuschlag für nicht tragende innere Trennwände.

²⁾ Als einschalige Außenwand nur bei eingeschossigen Garagen und vergleichbaren Bauwerken, die nicht zum dauernden Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind.
Als Tragschale zweischaliger Außenwände und bei zweischaligen Haustrennwänden bis maximal zwei Vollgeschosse zuzüglich ausgebautes Dachgeschoss; aussteifende Querwände im Abstand ≤ 4,50 m bzw. Randabstand von einer Öffnung ≤ 2,0 m.

³⁾ Bei charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeiten $f_k < 1,8 \text{ N/mm}^2$ gilt zusätzlich Fußnote 2.

Vertikale Belastung N_{Ed} einer Wand

Die vertikale Belastung N_{Ed} einer Wand (einwirkende Normalkraft) wird im Allgemeinen vereinfacht aus dem charakteristischen Wert der Normalkraft aus Eigen-
gewicht N_{Gk} und dem charakteristischen Wert der Normalkraft aus Verkehrslast N_{Qk} ermittelt:

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot N_{Gk} + 1,50 \cdot N_{Qk} \quad \text{Gl. (4.27)}$$

In Hochbauten mit Stahlbetondecken und charakteristischen Nutzlasten einschließlich Trennwandzuschlag von maximal $q_k \leq 3,0 \text{ kN/m}^2$ darf vereinfachend angesetzt werden:

$$N_{Ed} = 1,4 \cdot (N_{Gk} + N_{Qk}) \quad \text{Gl. (4.28)}$$

Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands N_{Rd} einer Wand

Der Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands N_{Rd} einer Wand wird aus dem Abminderungsbeiwert Φ_s zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte, dem Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks f_d und der belasteten Bruttoquerschnittsfläche A der Wand ermittelt:

$$N_{Rd} = \Phi_s \cdot f_d \cdot A \quad \text{Gl. (4.29)}$$

Abminderungsbeiwert Φ_s zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte

Für die Ermittlung des Abminderungsbeiwertes Φ_s zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte stehen unter bestimmten Bedingungen zwei Methoden zur Auswahl:

■ Vereinfachte Methode

Soll Φ_s gemäß DIN EN 1996-3 Anhang A vereinfacht ermittelt werden, sind zusätzlich zu den Voraussetzungen des vereinfachten Berechnungsverfahrens folgende Bedingungen einzuhalten:

- Das Gebäude hat nicht mehr als drei Geschosse über Geländehöhe.
- Die Wände sind rechtwinklig zur Wandebene durch die Decken und das Dach in horizontaler Richtung gehalten, entweder durch die Decken und das Dach selbst oder durch geeignete Konstruktionen, z. B. Ringbalken mit ausreichender Steifigkeit.
- Die Auflagertiefe der Decken und des Daches auf der Wand beträgt mindestens 2/3 der Wanddicke, jedoch nicht weniger als 85 mm.
- Die lichte Geschosshöhe ist nicht größer als 3,0 m.
- Die kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss beträgt mindestens 1/3 der Gebäudehöhe.
- Die charakteristischen Werte der veränderlichen Einwirkungen auf den Decken und dem Dach sind nicht größer als 5,0 kN/m².
- Die größte lichte Spannweite des Daches beträgt 6,0 m, ausgenommen Leichtgewichts-Dachkonstruktionen, bei denen die Spannweite 12,0 m nicht überschreiten darf.
- Das Verhältnis aus Knicklänge h_{ef} der Wand und der effektiven Wanddicke t ist nicht größer als 21.

Unter diesen Voraussetzungen wird die Größe des Abminderungsbeiwertes Φ_s in Abhängigkeit von der Schlankheit der Wand λ ermittelt (Tab. 4.22), die sich aus der Knicklänge h_{ef} und der effektiven Wanddicke t ergibt:

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t} \quad \text{Gl. (4.30)}$$

■ Allgemein gültige Methode

Bei Traglastminderung infolge der Lastausmitte bei Endauflagern auf Außen- und Innenwänden darf in Abhängigkeit vom charakteristischen Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit f_k folgendermaßen unter Berücksichtigung der Stützweite l_f der angrenzenden Geschossdecke und des Verhältnisses a/t

Tab. 4.22: Abminderungsbeiwert Φ_s gemäß DIN EN 1996-3 [4.21.4] und DIN EN 1996-3/NA [4.22.4]

Schlankheit der Wand λ	Abminderungsbeiwert Φ_s	
	Vollaufliegende Decke	Teilaufliegende Decke
≤ 10	0,70	0,45 ¹⁾
$10 < \lambda \leq 18$	0,50	
$18 < \lambda \leq 21$	0,36	

¹⁾ Mindestwanddicke $t \geq 300 \text{ mm}$

aus Deckenaufлагertiefe zur Wanddicke abgeschätzt werden (Abb. 4.13):

für $f_k \geq 1,8 \frac{N}{\text{mm}^2}$

$$\Phi_1 = 1,6 - \frac{l_f}{6} \leq 0,9 \cdot \frac{a}{t} \tag{4.31}$$

für $f_k < 1,8 \frac{N}{\text{mm}^2}$:

$$\Phi_1 = 1,6 - \frac{l_f}{5} \leq 0,9 \cdot \frac{a}{t} \tag{4.32}$$

Für die Stützweite l_f der angrenzenden Geschossdecke bei zweiachsig gespannten Decken ist die kürzere der beiden Stützweiten einzusetzen. Bei Decken über dem obersten Geschoss, insbesondere bei Dachdecken, gilt für den Abminderungswert aufgrund geringerer Lasten $\Phi_1 = 0,333$.

Wird die Traglastminderung infolge Deckenverdrehung durch konstruktive Maßnahmen vermieden, z. B. durch Zentrierleisten mittig unter dem Deckenaufleger, so gilt unabhängig von der Deckenstützweite:

- bei teilweise aufliegender Deckenplatte:

$$\Phi_1 = 0,9 \cdot \frac{a}{t} \tag{4.33}$$

- bei vollaufliegender Deckenplatte:

$$\Phi_1 = 0,9 \tag{4.34}$$

Zur Berücksichtigung der Traglastminderung bei Knickgefahr gilt:

$$\Phi_2 = 0,85 \cdot \frac{a}{t} - 0,0011 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t}\right)^2 \tag{4.35}$$

Maßgebend für die Bemessung der Wand ist der kleinere der beiden Werte Φ_1 und Φ_2 . Es wird vo-

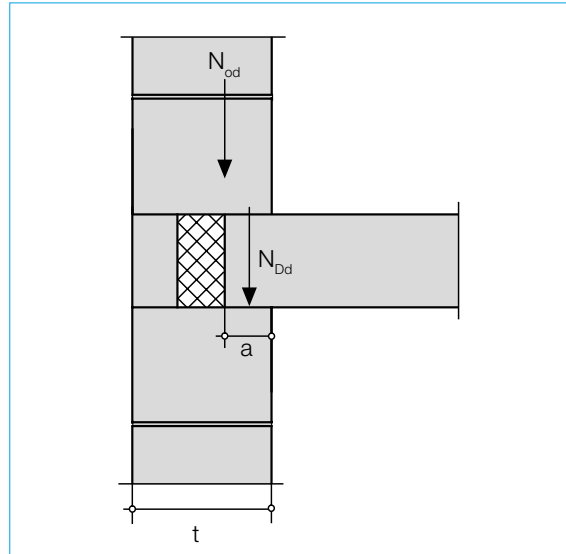


Abb. 4.13: Teilweise aufliegende Deckenplatten, Bezeichnungen gemäß DIN EN 1996-3/NA [4.22.4]

rausgesetzt, dass in halber Geschosshöhe nur Biegemomente aus der Deckeneinspannung und aus Windlasten auftreten.

Knicklänge h_{ef}

Bei Berechnung der Knicklänge h_{ef} ist nach zwei- und mehrseitig (drei- und vierseitig) gehaltenen Mauerwerkswänden zu unterscheiden.

■ **Zweiseitig gehaltene Wände**

Im Falle flächig aufgelagerter Decken, z. B. massiven Plattendecken oder Rippendecken mit lastverteilenden Auflagerbalken, wird bei Berechnung der Knicklänge h_{ef} zweiseitig gehaltener Wände außer der lichten Geschosshöhe h auch die Einspannung der Wand in den Decken durch einen Abminderungsfaktor ρ_2 (Tab. 4.23) berücksichtigt:

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h \tag{4.36}$$

■ **Dreiseitig gehaltene Wände**

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\alpha_3 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot b'}\right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \geq 0,3 \cdot h \tag{4.37}$$

Tab. 4.23: Abminderungsfaktor ρ_2 der Knicklänge h_{ef} gemäß DIN EN 1996-3/NA [4.22.4]

Wanddicke t mm	Auflagertiefe a mm	Abminderungsfaktor ρ_2
≤ 175	t	0,75
$175 < t \leq 250$	t	0,90
> 250	≥ 175	1,00

■ Vierseitig gehaltene Wände

bei $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} \leq 1$:

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\alpha_4 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{b} \right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \quad \text{Gl. (4.38)}$$

bei $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} > 1$:

$$h_{ef} = \alpha_4 \cdot \frac{b}{2} \quad \text{Gl. (4.39)}$$

Anpassungsfaktoren α_3 und α_4

Für Mauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß $l_o/h_u \geq 0,4$ sind die Anpassungsfaktoren α_3 und α_4 gleich Null zu setzen.

Für Elementmauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß $0,2 \leq l_o/h_u < 0,4$ sind die Anpassungsfaktoren nach Tab. 4.24 zu ermitteln.

Tab. 4.24: Anpassungsfaktoren α_3 und α_4 zur Abschätzung der Knicklänge von Wänden aus Elementmauerwerk mit einem Überbindemaß von $0,2 \leq l_o/h_u < 0,4$ gemäß DIN EN 1996-3/NA [4.22.4]

Steingeometrie h_u/l_u	0,5	0,625	1	2
3-seitige Lagerung α_3	1,0	0,90	0,83	0,75
4-seitige Lagerung α_4	1,0	0,75	0,67	0,60

Abstand des freien Randes von der Mitte der haltenden Wand b' und Mittenabstand der haltenden Wände b (Abb. 4.14)

Ist $b' > 15 \cdot t$ bei dreiseitig bzw. $b > 30 \cdot t$ bei vierseitig gehaltenen Wänden, so darf keine seitliche Halterung angesetzt werden. Diese Wände sind wie zwei-seitig gehaltene Wände zu behandeln. Hierbei ist t die Dicke der gehaltenen Wand. Ist die Wand im Bereich des mittleren Drittels der Wandhöhe durch vertikale Schlitzte oder Aussparungen geschwächt, so ist für t die Restwanddicke einzusetzen oder ein freier Rand anzunehmen. Unabhängig von der Lage eines vertikalen Schlitztes oder einer Aussparung ist

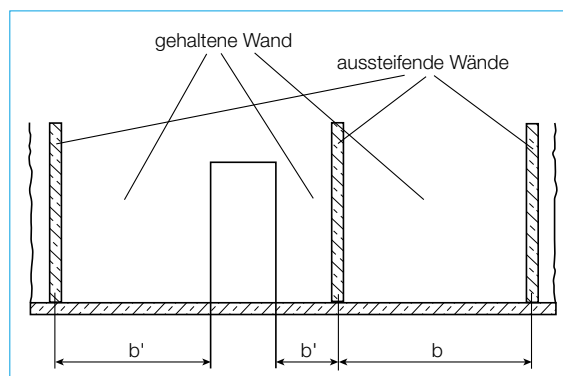


Abb. 4.14: Darstellung der Größen b und b' für drei- und vierseitig gehaltene Wände gemäß DIN EN 1996-3/NA [4.22.4]

an ihrer Stelle ein freier Rand anzunehmen, wenn die Restwanddicke kleiner als die halbe Wanddicke oder kleiner als 115 mm ist.

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks f_d

Der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks f_d ergibt sich gemäß DIN EN 1990/NA aus dem Dauerstandsfaktor ζ , dem charakteristischen Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit f_k (Tab. 4.18) und dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M auf der Widerstandsseite:

$$f_d = \zeta \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \quad \text{Gl. (4.40)}$$

Bei Wand-Querschnittsflächen $\leq 0,1 \text{ m}^2$ ist die Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerks mit dem Faktor 0,8 zu multiplizieren.

Belastete Bruttoquerschnittsfläche A

Für die belastete Bruttoquerschnittsfläche A der Wand ist der maßgebende Wandabschnitt (bezogen auf einen Meter Wandlänge) anzusetzen.

Kelleraußenwände, die durch horizontalen Erddruck beansprucht werden

Kellerwände unter Erddruck dürfen vereinfacht bemessen werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten sind:

- Die lichte Höhe h der Kellerwand ist maximal 2,60 m.
- Die Wanddicke t ist mindestens 20 cm.
- Die Kellerdecke wirkt als aussteifende Scheibe und kann die aus dem Erddruck resultierenden Kräfte aufnehmen.
- Im Einflussbereich des Erddrucks auf die Kellerwand ist die charakteristische Verkehrslast nicht größer als 5 kN/m^2 und im Abstand von weniger als 1,50 m zur Wand ist keine Einzellast von mehr als 15 kN vorhanden.
- Der Erddruckbeiwert beträgt höchstens $1/3$.
- Die Geländeoberfläche steigt ausgehend von der Wand nicht an.
- Die Anschütthöhe h_g darf höchstens $1,15 \cdot h$ betragen.
- Es wirkt kein hydrostatischer Druck auf die Wand.
- Es ist entweder keine Gleitfläche vorhanden, z. B. infolge einer Feuchtigkeitssperschicht, oder es sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Schubkraft aufnehmen zu können. Der Einfluss einer

Feuchtesperrschicht darf vernachlässigt werden, wenn die waagerechte Abdichtung (Querschnittsabdichtung) aus einer besandeten Bitumendachbahn (R 500 nach DIN EN 13969 [4.25]) in Verbindung mit DIN SPEC 20000-202 [4.26] aus mineralischen Dichtungsschlämmen nach DIN 18533-1 [4.12] oder aus Material mit gleichwertigem Reibungsverhalten besteht, für das die jeweiligen Bestimmungen der Zulassungen gelten.

■ Bezüglich der Verfüllung und Verdichtung des Arbeitsraumes ist sicherzustellen, dass nur nichtbindiger Boden nach DIN 1045 und nur Rüttelplatten oder Stampfer mit folgenden Eigenschaften zum Einsatz kommen:

- Breite des Verdichtungsgerätes ≤ 50 cm
- Wirktiefe ≤ 35 cm
- Gewicht bis etwa 100 kg bzw. Zentrifugalkräfte bis maximal 15 kN

Können diese Bedingungen nicht eingehalten werden, sind entsprechende Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit während des Einbaus der Verfüllmassen zu ergreifen oder es ist ein gesonderter Nachweis unter Berücksichtigung höherer Verdichtungslasten zu führen. Die Verfüllung des Arbeitsraumes darf erst erfolgen, wenn sichergestellt ist, dass die in den rechnerischen Nachweisen angesetzten Auflasten vorhanden sind.

Werden Kellerwände, die durch horizontalen Erddruck beansprucht werden, unter Einhaltung dieser Bedingungen vereinfacht bemessen, gilt der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (Plattenschub) als erbracht.

Vertikale Belastung N_{Ed} einer Wand

Die Bemessungswerte $N_{Ed,max}$ und $N_{Ed,min}$ der vertikalen Belastung der Wand in halber Höhe der Anschüttung je Meter Wandlänge werden nach folgenden Beziehungen ermittelt, wobei hinsichtlich des Maximalwertes eine Lastexzentrizität von $e = 1/3$ vorausgesetzt wird:

- Bemessungswert $N_{Ed,max}$ der größten vertikalen Belastung der Wand in halber Höhe der Anschüttung:

$$N_{Ed,max} \leq \frac{t \cdot b \cdot f_d}{3} \tag{Gl. (4.41)}$$

- Bemessungswert $N_{Ed,min}$ der kleinsten vertikalen Belastung der Wand in halber Höhe der Anschüttung:

$$N_{Ed,min} \geq \frac{\rho_e \cdot b \cdot h \cdot h_e^2}{\beta \cdot t} \tag{Gl. (4.42)}$$

- b: Breite der Wand
- f_d : Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks
- h: Lichte Höhe der Kellerwand
- h_e : Höhe der Anschüttung
- t: Wanddicke
- β : Faktor zur Berücksichtigung des Abstandes zwischen aussteifenden Querwänden oder anderen aussteifenden Elementen (Tab. 4.25)
- ρ_e : Wichte der Anschüttung

Die Größen für die vereinfachte Bemessung von Kellerwänden unter Erddruck werden in Abb. 4.15 erläutert.

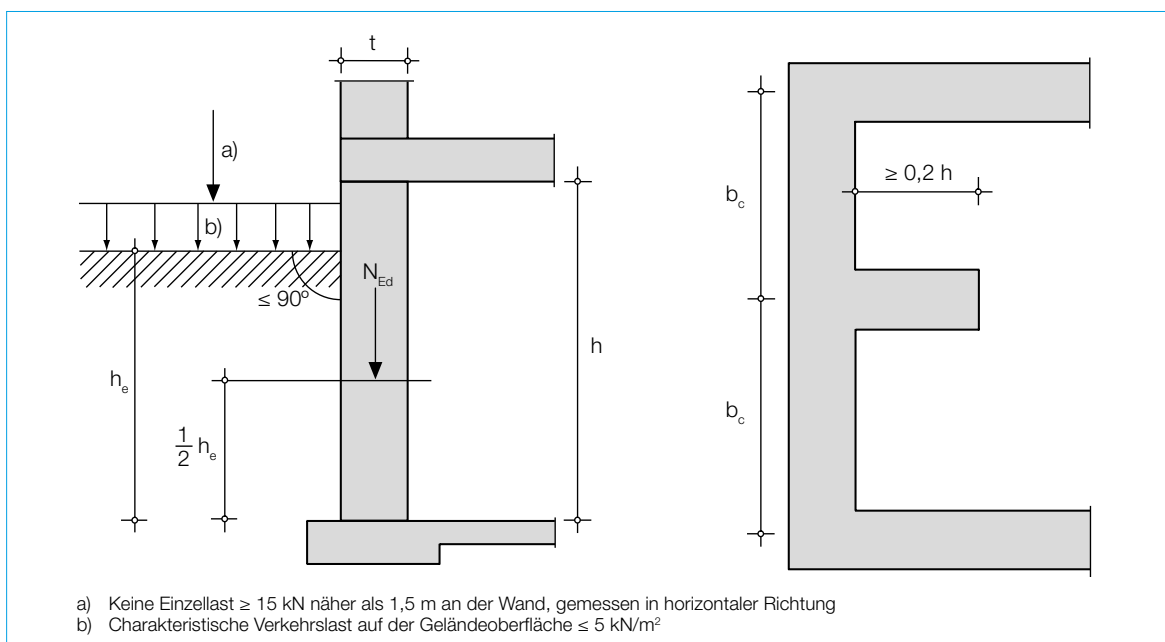


Abb. 4.15: Größen für die vereinfachte Bemessung von Kellerwänden unter Erddruck im Vertikalschnitt (links) und im Horizontalschnitt (rechts) gemäß DIN EN 1996-3 [4.21.4]

Tab. 4.25: Faktor β zur Berücksichtigung des Abstandes zwischen aussteifenden Querwänden oder anderen aussteifenden Elementen gemäß DIN EN 1996-3 [4.21.4] und DIN EN 1996-3/NA [4.22.4]

Abstand zwischen aussteifenden Querwänden oder anderen aussteifenden Elementen b_c m	Faktor β
$\geq 2 \cdot h$	20
$h < b_c < 2 \cdot h$	$60 - 20 \cdot b_c/h$
$\leq h$	40

Für Elementmauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß von $0,2 \cdot h_u \leq l_{oi} < 0,4 \cdot h_u$ ist generell $\beta = 20$ einzusetzen.

Wände, die vertikal nicht beansprucht werden und deren horizontale Bemessungslast gleichmäßig verteilt ist (nicht tragende Ausfachungswände)

Vorwiegend windbelastete, nicht tragende Ausfachungswände dürfen unter bestimmten Voraussetzungen vereinfacht bemessen werden:

- Die Wände werden durch Verzahnung, Versatz oder Anker vierseitig gehalten.
- Die Größe der Ausfachungsflächen, ermittelt aus der Höhe h_i und der Länge l_i gemäß Tab. 4.26 wird nicht überschritten.
- Der horizontale Abstand zwischen senkrechten Dehnungsfugen in nicht tragenden Außenwänden aus Porenbetonmauerwerk sollte nicht größer als $l_m = 6$ m sein.

Innenwände, die vertikal nicht beansprucht werden und deren horizontale Belastung begrenzt ist (nicht tragende Innenwände)

Die Mindestdicke und die maximalen Abmessungen nicht tragender Innenwände können in Abhängigkeit von der seitlichen Halterung unter bestimmten Be-

dingungen vereinfacht berechnet werden. Sie gelten dann, wenn es sich um Bereiche mit geringer Menschenansammlung handelt, in denen eine horizontale Nutzlast von 0,5 kN/m nicht überschritten wird.

Hinsichtlich der Maße und der Ausführung gelten folgende Anforderungen:

- Die lichte Höhe h der Wand ist nicht größer als 6 m.
- Die lichte Länge l der Wand zwischen den seitlichen Halterungen ist nicht größer als 12 m.
- Die Wanddicke t ist nicht kleiner als 50 mm. Dabei wird der Putz nicht berücksichtigt.
- Die verwendeten Mauersteine entsprechen DIN EN 1996-1-1.

Im Weiteren gelten folgende Voraussetzungen:

- Die Wand ist innerhalb eines Gebäudes angeordnet.
- Die Außenfassade des Gebäudes ist nicht durch eine große Tür oder durch ähnliche Öffnungen durchbrochen.
- Die Wand ist außer ihrem Eigengewicht keiner weiteren ständigen oder zeitweise auftretenden veränderlichen Belastung einschließlich Windbelastung ausgesetzt.
- Die Wand wird nicht als Auflager schwerer Gegenstände wie Möbel, Sanitär- oder Heizungsanlagen verwendet.
- Die Stabilität der Wand wird nicht durch Verformungen anderer Teile des Gebäudes, z. B. infolge von Deckendurchbiegungen oder durch Betriebsabläufe im Gebäude ungünstig beeinflusst.

Tab. 4.26: Größte zulässige Werte der Ausfachungsfläche von nichttragenden Außenwänden ohne rechnerischen Nachweis gemäß DIN EN 1996-3/NA [4.22.4]

Wanddicke t mm	1	2	3	4	5
	Größte zulässige Werte ^{1),2)} der Ausfachungsfläche in m ² bei einer Höhe über Gelände von				
	0 m bis 8 m		8 m bis 20 m ³⁾		
	$h_i/l_i = 1,0$	$h_i/l_i \geq 2,0$ oder $h_i/l_i \geq 0,5$	$h_i/l_i = 1,0$	$h_i/l_i \geq 2,0$ oder $h_i/l_i \geq 0,5$	
115 ^{3),4)}	12	8	–	–	
150 ⁴⁾	12	8	8	5	
175	20	14	13	9	
240	36	25	23	16	
≥ 300	50	33	35	23	

¹⁾ Bei Seitenverhältnissen $0,5 < h_i/l_i < 1,0$ und $1,0 < h_i/l_i < 2,0$ dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.

²⁾ Die angegebenen Werte gelten für Mauerwerk mindestens der Steindruckfestigkeitsklasse 4 mit Normalmauermörtel mindestens der Gruppe NM IIa und Dünnbettmörtel.

³⁾ In Windlastzone 4 nur im Binnenland zulässig.

⁴⁾ Bei Verwendung von Steinen der Festigkeitsklassen ≥ 12 dürfen die Werte dieser Zeile um 1/3 vergrößert werden.

- Die Auswirkung von Türen oder anderen Öffnungen in der Wand wird berücksichtigt.
- Die Auswirkung von Schlitzfenstern in der Wand wird berücksichtigt.

In Abhängigkeit von der seitlichen Halterung der Wand werden die Mindestdicke t und die maximale Abmessung nach Abb. 4.16 bestimmt. Dabei werden vier Arten der seitlichen Halterung unterschieden:

- Typ a: Wände, die an allen vier Rändern gehalten werden.
- Typ b: Wände, die an allen Rändern gehalten werden, außer an einem vertikalen Rand.
- Typ c: Wände, die an allen Rändern gehalten werden, außer am oberen Rand.
- Typ d: Wände, die nur am oberen und am unteren Rand gehalten werden.

Für Wände mit Öffnungen dürfen die Mindestdicke und die Grenzabmessungen ebenfalls nach Abb. 4.16 bestimmt werden, wenn der Wandtyp auf Grundlage von Abb. 4.17 abgeleitet wird. Der Einfluss von Öffnungen in der Wand darf vernachlässigt werden, wenn die Gesamtfläche der Öffnungen nicht größer als 2,5 % der Wandfläche ist, sowie die größte Fläche einer Einzelöffnung nicht größer als $0,1 \text{ m}^2$ und die Länge oder Breite einer Einzelöffnung nicht größer als $0,5 \text{ m}$ ist.

Wandtyp a mit Öffnung ist als Wandtyp b zu berücksichtigen, wobei l der größere Wert von l_1 und l_2 ist (Abb. 4.17). Für Wandtyp c mit Öffnung ist die vereinfachte Berechnung nicht möglich. Für Wandtyp d mit Öffnungen sind diese Regelungen für den linken, mittleren und rechten Teil der Wand anwendbar, wenn $l_3 \geq 2/3 \cdot l$ und $l_3 \geq 2/3 \cdot h$ ist (Abb. 4.18).

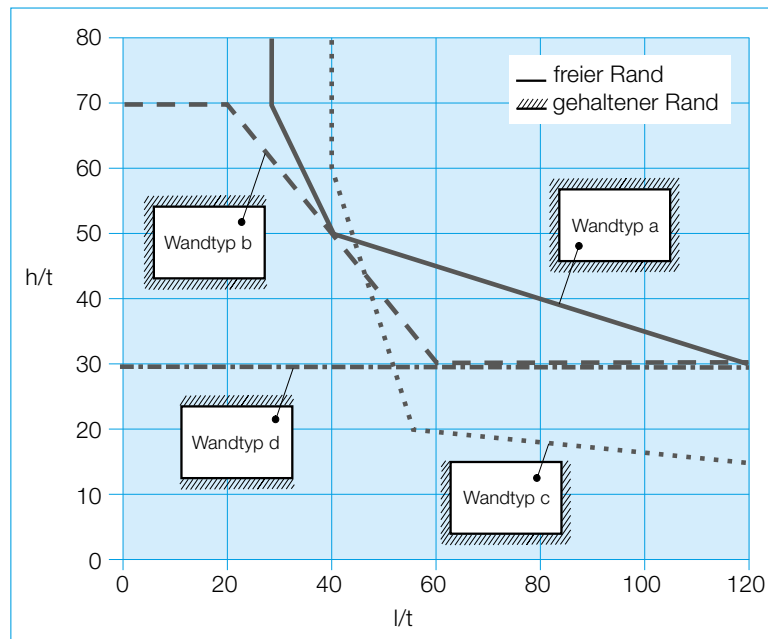


Abb. 4.16: Mindestdicke und Grenzabmessungen von vertikal nicht beanspruchten Innenwänden mit begrenzter horizontaler Belastung gemäß DIN EN 1996-3 [4.21.4]

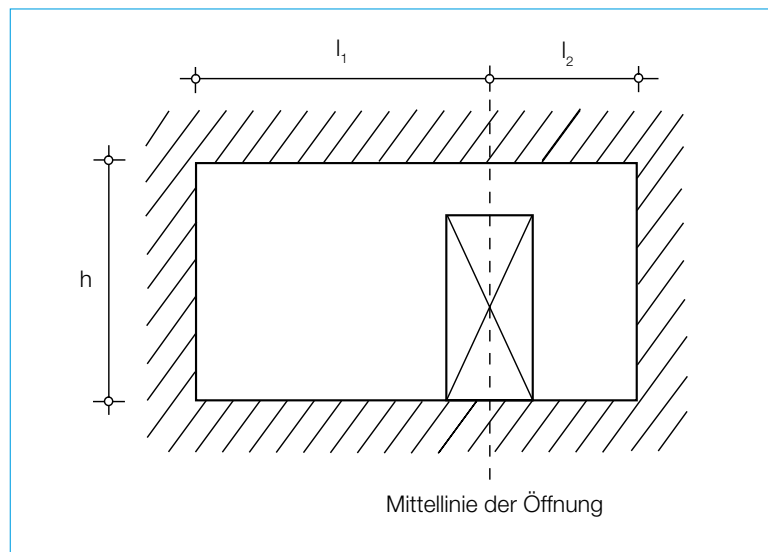


Abb. 4.17: Wandtyp a mit einer Öffnung gemäß DIN EN 1996-3 [4.21.4]

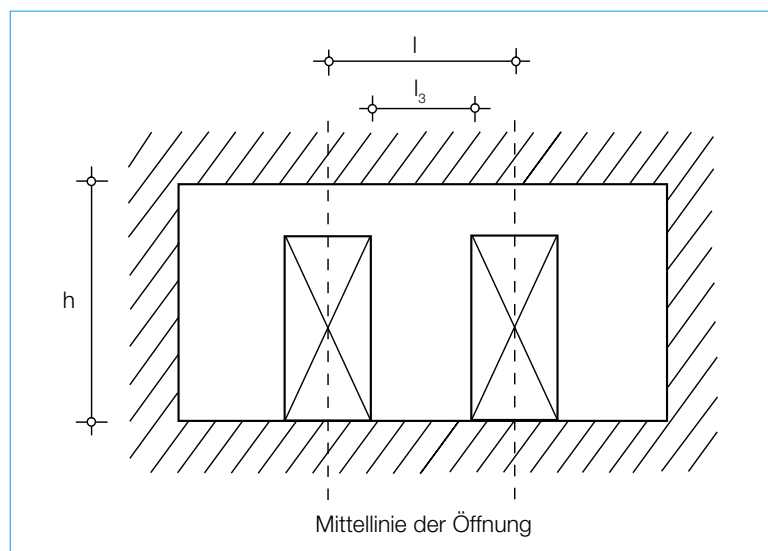


Abb. 4.18: Wandtyp d mit Öffnungen gemäß DIN EN 1996-3 [4.21.4]

Berechnungsbeispiele

Ausführliche Beispielbemessungen nach Eurocode 6 für Mauerwerk aus Porenbeton enthält der Porenbetonbericht 14 [4.1]. Die dabei zugrunde liegenden Mauerwerkskonstruktionen entstammen bereits ausgeführten Bauvorhaben.

Zur schnellen und effizienten Nachweisführung von Mauerwerkswänden aus Porenbeton liegen Tragfähigkeitstabellen für die Bemessung von Außen- und Innenwänden aus Porenbeton nach dem vereinfachten Nachweisverfahren der DIN EN 1996-3/NA [4.2] vor. In Tab. 4.27 ist die Tragfähigkeitstabelle für die Mauerwerksdruckfestigkeit $f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$ beispielhaft dargestellt.

Voraussetzung für die Anwendung der Tragfähigkeitstabelle ist die Einhaltung der Anwendungsgrenzen und Randbedingungen des vereinfachten Berechnungsverfahrens nach DIN EN 1996-3/NA Kap. 4.2

Des Weiteren ist Folgendes zu beachten:

- Zwischenwerte dürfen nicht interpoliert werden.
- Abminderung der Knicklänge durch flächenaufgelagerte Stahlbetondecken ist bereits integriert (Annahme: zweiseitige Halterung)
- Teilsicherheitsbeiwert Material $\gamma_M = 1,5$;
Dauerstandsfaktor $\zeta = 0,85$

Abb. 4.19: Überbindemaß von Mauersteinen gemäß DIN EN 1996-1-1 [4.21.1]

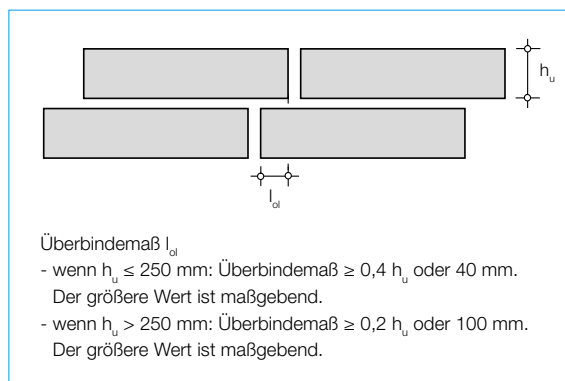
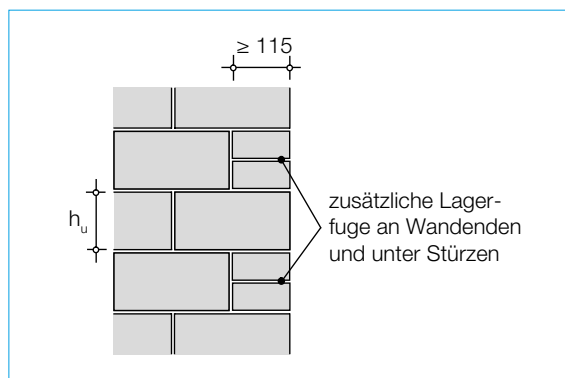


Abb. 4.20: Zusätzliche Lagerfugen gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [4.22.1]



- Nach DIN EN 1996-3/NA Abs. 4.2 ist neben dem Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft bei windbeanspruchten Außenwänden mit geringer Auflast aus Decken und Dächern – z. B. bei parallel zur Wand gespannten Decken – stets eine Mindestauflast nachzuweisen. In den Windzonen 1 und 2 im Binnenland können die praxisüblichen lichten Geschosshöhen problemlos realisiert werden, d. h. der Nachweis der Mindestauflast kann in diesen Windzonen in aller Regel entfallen.

- Die Tafelwerte gelten nicht für erddruckbelastete Kellerwände

Bauliche Durchbildung

Mindestwanddicken

Die erforderliche Wanddicke t_{\min} von tragenden Innen- und Außenwänden muss mindestens 115 mm betragen, sofern aus Gründen der Standsicherheit, der Bauphysik oder des Brandschutzes nicht größere Dicken erforderlich sind. Wenn die gewählte Wanddicke offensichtlich ausreicht, darf auf einen rechnerischen Nachweis verzichtet werden.

Die Nettoquerschnittsfläche einer tragenden Wand muss unter Berücksichtigung von Schlitz- und Aussparungen mindestens $0,04 \text{ m}^2$ betragen.

Mauerwerksverband und Mörtelfugen

Für Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen beträgt das Überbindemaß l_{oi} der Mauersteine ($h_u \leq 250 \text{ mm}$) mindestens das 0,4-fache der Mauersteinhöhe h_u oder mindestens 45 mm . Dabei ist der größere Wert maßgebend (Abb. 4.19). Für Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen ist ein Überbindemaß l_{oi} von mindestens dem 0,2-fachen der Elementhöhe oder mindestens 125 mm erforderlich ($h_u > 250 \text{ mm}$). Es wird vorausgesetzt, dass die Reduzierung des Überbindemaßes bei Planelementen in der statischen Berechnung und in den Ausführungsunterlagen, z. B. im Versetzplan oder im Positionsplan ausgewiesen ist.

Plansteine oder Planelemente einer Schicht müssen die gleiche Höhe aufweisen. An Wandenden und unter Einbauteilen wie Stürzen ist eine zusätzliche Lagerfuge in jeder zweiten Schicht zum Längen- und Höhenausgleich zulässig, sofern die Aufstandsfläche der Steine mindestens 115 mm lang ist und Steine und Mörtel mindestens die gleiche Festigkeit haben wie im übrigen Mauerwerk (Abb. 4.20). In Schichten mit Längsfugen darf die Steinhöhe nicht größer als die Steinbreite sein. Abweichend davon muss die Aufstandsweite von Steinen der Höhe 175 mm und 240 mm mindestens 115 mm betragen.

Bemessungswert der Wandtragfähigkeit n_{Rd} in kN/m am Wandkopf nach DIN EN 1996-3/NA für Porenbetonsteine mit Dünnbettmörtel											
Steindruckfestigkeitsklasse 2; Rohdichteklasse $\leq 0,5$ (Wichte Mauerwerk $\gamma_{MW} \leq 6,0$ kN/m ³)											
Wanddicke t cm	Lichte Wandhöhe h m	Innen- wand l _r m $\leq 6,00$	Außenwand								
			Decke im Regelgeschoss					Decke mit geringen Auflasten (z. B. Dachdecke)			
			vollaufliegende Decke a/t = 1,0			a/t = 2/3	a/t = 1/2 ¹⁾	a/t = 1,0	a/t = 2/3	a/t = 1/2 ¹⁾	
			Deckenspannweite l ₁ [m]				Deckenspannweite l ₁ [m]				
			$\leq 4,50$	5,00	5,50	6,00	$\leq 6,00$	$\leq 6,00$	$\leq 6,00$	$\leq 6,00$	
11,5 ²⁾³⁾	$\leq 2,50$	64	64				- ⁴⁾	- ⁴⁾	39	- ⁴⁾	- ⁴⁾
15,0 ³⁾		102	102		101	88	- ⁵⁾	- ⁴⁾	50	- ⁵⁾	- ⁴⁾
17,5		127	127		118	103	- ⁵⁾	- ⁴⁾	59	- ⁵⁾	- ⁴⁾
20,0		142	142		135	118	- ⁵⁾	- ⁵⁾	67	- ⁵⁾	- ⁵⁾
24,0		181	181		162	142	- ⁵⁾	- ⁵⁾	81	- ⁵⁾	- ⁵⁾
30,0		233	233	228	203	177	145	103	101	101	101
36,5		293	293	278	247	215	185	119	123	123	119
42,5		347	347	323	287	251	222	163	144	144	144
48,0		396	396	365	324	284	255	188	163	163	163
11,5 ²⁾³⁾		$\leq 2,75$	56	56				- ⁴⁾	- ⁴⁾	39	- ⁴⁾
15,0 ³⁾	96		96			88	- ⁵⁾	- ⁴⁾	50	- ⁵⁾	- ⁴⁾
17,5	122		122		118	103	- ⁵⁾	- ⁴⁾	59	- ⁵⁾	- ⁴⁾
20,0	136		136		134	117	- ⁵⁾	- ⁵⁾	67	- ⁵⁾	- ⁵⁾
24,0	176		176		161	141	- ⁵⁾	- ⁵⁾	81	- ⁵⁾	- ⁵⁾
30,0	228		228	227	202	176	140	98	101	101	98
36,5	289		289	277	246	215	181	115	123	123	115
42,5	343		343	322	286	250	218	159	144	144	144
48,0	393		393	364	323	283	251	185	163	163	163
24,0	171		- ⁶⁾				- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾
30,0	222	222		201	176	134	92	101	101	92	
36,5	284	284	276	245	214	176	110	123	123	110	
42,5	339	339	322	285	249	214	155	144	144	144	
48,0	389	389	363	322	282	247	181	163	163	163	
24,0	164	- ⁶⁾				- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾
30,0	216	216		201	175	128	86	101	101	86	
36,5	279	279	275	244	213	171	105	123	123	105	
42,5	334	334	321	285	248	209	150	144	144	144	
48,0	385	385	362	321	281	243	177	163	163	163	
24,0	158	- ⁶⁾				- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾
30,0	210	210		200	175	121	79	101	101	79	
36,5	273	273		244	213	166	99	123	123	99	
42,5	330	330	320	284	248	204	145	144	144	144	
48,0	380	380	361	320	280	239	172	163	163	163	
24,0	151	- ⁶⁾				- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾
30,0	202	- ⁶⁾				- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾	- ⁶⁾
36,5	267	267		243	212	160	93	123	123	93	
42,5	324	324	319	283	247	199	140	144	144	140	
48,0	375	375	360	319	279	234	167	163	163	163	

Zwischenwerte dürfen nicht interpoliert werden

¹⁾ Bei t = 36,5 ist a/t = 0,45 angesetzt (a = 16,5 mm)

²⁾ Als einschalige Außenwand nur bei eingeschossigen Garagen und vergleichbaren Bauwerken, die nicht zum dauernden Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind. Als Tragschale zweischaliger Außenwände und bei zweischaligen Haustrennwänden bis maximal zwei Vollgeschosse zuzüglich ausgebautes Dachgeschoss; aussteifende Querwände im Abstand $\leq 4,50$ m bzw. Randabstand von einer Öffnung $\leq 2,0$ m

³⁾ Nur für Außenwände: Nutzlast $q_n \leq 3,0$ kN/m² einschließlich Zuschlag für nichttragende innere Trennwände

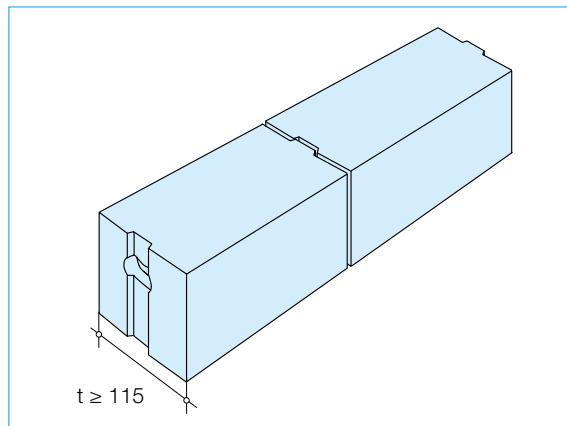
⁴⁾ Nicht zulässig, da Mindestauflagertiefe nicht eingehalten

⁵⁾ Wände t ≤ 24 cm werden in der Praxis in der Regel nur mit a/t = 1 ausgeführt

⁶⁾ Für Außenwände nicht zulässig, da h > 12 ·

Tab. 4.27: Tragfähigkeitstafel für die Mauerwerksdruckfestigkeit $f_k = 1,8$ N/mm² nach dem vereinfachten Nachweisverfahren nach DIN EN 1996-3/NA [4.2]

Abb. 4.21: Vermauerung von Plansteinen und Planelementen ohne Stoßfugenvermörtelung gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [4.22.1]



Bei Vermauerung der Plansteine oder Planelemente beträgt die Dicke der Lagerfuge mindestens 1 mm und höchstens 3 mm. Dabei ist darauf zu achten, dass der Dünnbettmörtel vollflächig aufgetragen wird. Plansteine und Planelemente aus Porenbeton können aufgrund ihrer Form und Maßgenauigkeit ohne Stoßfugen vermörtelt werden. Die Steine werden stumpf oder mit Verzahnung durch ein Nut- und Federsystem versetzt (Abb. 4.21). Sind die Stoßfugenbreiten größer als 5 mm, werden die Fugen beidseitig an den Wandoberflächen mit einem geeigneten Mörtel verschlossen.

Ringanker

Sofern die Decke nicht als Scheibe ausgebildet ist, werden Ringanker zur Übertragung horizontaler Lasten auf Außenwände oder andere aussteifende Bauteile in jeder Deckenlage oder unmittelbar darunter z. B. in Form von mit Bewehrung versehenen und ausbetonierten U-Schalen aus Porenbeton angeordnet. Solchermaßen ausgebildete U-Schalen sollten in der Lage sein, eine Zugkraft mit einem Bemessungswert von 45 kN zu übertragen. Ringanker aus Stahlbeton enthalten mindestens zwei Bewehrungsstäbe mit einem Querschnitt von jeweils mindestens 150 mm².

Bei der Ausführung ist darauf zu achten, dass in der Ebene des Ringankers außenseitig eine ausreichend dicke Wärmedämmschicht vorhanden ist. Sie kompensiert Wärmeverluste, die aus der hohen Wärmeleitfähigkeit des Stahlbetons resultieren. Außerdem verhindert sie eine Haftwirkung zwischen Stahlbeton und Porenbeton-Deckenrandstein, die aufgrund von Verformungen des Stahlbetons zu Rissen in der Außenwand führen könnte (siehe Kapitel 9 „Konstruktionen“).

Anschlüsse zwischen Wänden

Aneinander anschließende Wände werden durch Mauerwerksverband oder über Maueranker miteinander verbunden. An Wandecken wird Mauerwerk aus

Porenbeton als einbindende Verzahnung ausgebildet. Alle übrigen Anschlüsse, z. B. zug- und druckfeste Verbindungen von aussteifenden Innenwänden und auszusteifenden Außenwänden, werden in Stumpfstoßtechnik mit Mauerankern hergestellt (siehe Kapitel 8 „Ausführung“).

Zweischalige Außenwände

Zweischalige Außenwände mit tragenden Innenschalen aus Porenbetonmauerwerk werden im Regelfall mit einer Wärmedämmschicht und einer Vormauerschale erstellt. Die Vormauerschale darf statisch nicht angesetzt werden, so dass bei der Bemessung nur die tragende Schale zugrunde liegt. Für die Ausführung zweischaliger Außenwände gelten folgende Bestimmungen:

- Tragende Innenschalen sind mindestens 115 mm dick. Anforderungen aus Standsicherheit, Bauphysik oder Brandschutz können dickere Schalen zur Folge haben.
- Die Dicke einer Außenschale beträgt mindestens 90 mm. Dünnere Außenschalen sind Bekleidungen, deren Ausführung in DIN 18515 [4.14] geregelt ist. Die Länge von gemauerten Pfeilern in der Außenschale, die nur Lasten aus der Außenschale zu tragen haben, beträgt mindestens 240 mm. Die Außenschale muss in der Regel über ihre ganze Länge und vollflächig aufgelagert sein. Bei unterbrochener Auflagerung (z. B. auf Konsolen) müssen in der Abfangebene alle Steine beidseitig aufgelagert sein.
- Außenschalen müssen aus frostwiderstandsfähigen Mauersteinen bestehen oder aus nicht frostwiderstandsfähigen Mauersteinen mit Außenputz, der die Anforderungen nach DIN EN 998-1 [4.5] in Verbindung mit DIN 18550 [4.15] erfüllt.
- Außenschalen von 115 mm Dicke sollen in Höhenabständen von etwa 12 m abgefangen werden. Sie dürfen bis zu 25 mm über ihr Auflager vorstehen. Ist eine 115 mm dicke Außenschale nicht höher als zwei Geschosse oder wird sie alle zwei Geschosse abgefangen, darf sie bis zu 38 mm über ihr Auflager vorstehen. Diese Überstände sind beim Nachweis der Auflagerpressung zu berücksichtigen. Bei nachträglicher Verfüllung müssen Fugen der Sichtflächen mindestens 15 mm tief flankensauber ausgekratzt und anschließend handwerksgerecht ausgefügt werden.
- Außenschalen mit Dicken von $t \geq 105$ mm und $t < 115$ mm dürfen nicht höher als 25 m über Gelände geführt werden und sind in Höhenabständen

von etwa 6 m abzufangen. Bei Gebäuden mit bis zu zwei Vollgeschossen darf ein Giebel dreieck bis 4 m Höhe ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden. Solche Außenschalen dürfen höchstens 15 mm über ihr Auflager vorstehen. Die Ausführung der Fugen erfolgt in der Regel im Fugenglattstrich. Bei nachträglicher Verfügung müssen die Fugen der Sichtflächen mindestens 15 mm tief flankensauber ausgekratzt und anschließend handwerksgerecht ausgefügt werden.

- Außenschalen mit Dicken von $t \geq 90$ mm und $t < 105$ mm dürfen nicht höher als 20 m über Gelände geführt werden und sind in Höhenabständen von etwa 6 m abzufangen. Bei Gebäuden bis zu zwei Vollgeschossen darf ein Giebel dreieck bis 4 m Höhe ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden. Die Fugen der Sichtflächen dieser Verblendschalen müssen im Fugenglattstrich ausgeführt werden. Diese Außenschalen dürfen höchstens 15 mm über ihr Auflager vorstehen.
- Mauerwerksschalen mit tragender Schale aus Porenbeton sind durch Anker aus nichtrostendem Stahl nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder durch Anker aus nichtrostendem Stahl nach DIN EN 845-1 [4.16] zu verbinden, deren Verwendung in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung geregelt ist.
- Innenschalen und Geschossdecken sind an den Fußpunkten des Schalenzwischenraums gegen Feuchte zu schützen. Dies gilt auch bei Fenster- und Türstürzen sowie im Bereich von Sohlbänken. Die Mauerwerksschalen sind an ihren Berührungspunkten, z. B. Fenster- und Türanschlügen, gegen Feuchtigkeit abzudichten. Die Aufstandsfläche muss so beschaffen sein, dass ein Abrutschen der Außenschale auf ihr nicht eintritt. Die erste Ankerlage ist so tief wie möglich anzuordnen. Die Querschnittsabdichtung und deren Lage müssen DIN 18533-1 [4.12] entsprechen. Andere Querschnittsabdichtungen sind zulässig, wenn deren Eignung nach den bauaufsichtlichen Vorschriften nachgewiesen ist, z. B. durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.
- Abfangkonstruktionen, die nach dem Einbau nicht mehr kontrolliert werden können, müssen aus Materialien bestehen, die dauerhaft korrosionsbeständig sowie für die Anwendung genormt oder bauaufsichtlich zugelassen sind.
- In der Außenschale sollten vertikale Dehnungsfugen angeordnet werden. Ihre Abstände richten sich

nach der klimatischen Beanspruchung, z. B. Temperatur und Feuchte, der Art der Baustoffe und dem Farbton der äußeren Wandfläche. Darüber hinaus muss die freie Beweglichkeit der Außenschale auch in vertikaler Richtung sichergestellt sein. Die unterschiedlichen Verformungen der Außen- und Innenschale sind insbesondere bei Gebäuden mit über mehrere Geschosse durchgehender Außenschale auch bei der Ausführung der Türen und Fenster zu beachten.

- Wird eine Luftschicht im Schalenzwischenraum angeordnet, muss diese mindestens 60 mm betragen. Die Dicke der Luftschicht darf bis auf 40 mm vermindert werden, wenn der Mauermörtel mindestens an einer Hohlraumseite abgestrichen wird.
- Die Dicke der Luftschicht wird als Planungsmaß festgelegt. Abweichungen vom Planungsmaß sind in den durch DIN 18202 [4.13] bestimmten Grenzen zulässig.
- Die Außenschale darf oberhalb von Abdichtungen mit Entwässerungsöffnungen oder Lüftungsöffnungen, z. B. offenen Stoßfugen versehen werden. Dies gilt auch für die Brüstungsbereiche der Außenschale.

Für zweischalige Außenwände, die mit Wärmedämmung ausgebildet werden, sind weitere Aspekte zu beachten:

- Es sind Wärmedämmstoffe des Anwendungstyps WZ nach DIN 4108-10 [4.9] zu verwenden.
- Platten- und mattenförmige Mineralfaserdämmstoffe sowie Platten aus Schaumkunststoffen und Schaumglas sind an der Innenschale so zu befestigen, dass eine gleichmäßige Schichtdicke sichergestellt ist.
- Platten- und mattenförmige Mineralfaserdämmstoffe sind so dicht zu stoßen, Platten aus Schaumkunststoffen so auszubilden und zu verlegen (Stufenfalz, Nut und Feder oder versetzte Lagen), dass ein Wasserdurchtritt an den Stoßstellen dauerhaft verhindert wird.
- Bei lose eingebrachten Wärmedämmstoffen (z. B. Mineralfasergranulat, Polystyrolschaumstoff-Partikeln, Blähperlit) ist darauf zu achten, dass der Dämmstoff den Hohlraum zwischen Außen- und Innenschale vollständig ausfüllt.

Schlitze und Aussparungen

Vertikale Schlitze und Aussparungen in Wänden aus Porenbetonmauerwerk brauchen in die Berechnung nicht mit einbezogen zu werden, wenn die in Tab.

Tab. 4.28: Ohne Nachweis zulässige vertikale Schlitz- und Aussparungen in Mauerwerk gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [4.22.1]

1	2	3	4	5	6	7
Wanddicke mm	Nachträglich hergestellte Schlitz- und Aussparungen ³⁾		Mit der Errichtung des Mauerwerks hergestellte Schlitz- und Aussparungen im gemauerten Verband			
	Maximale Tiefe ¹⁾ $t_{ch,v}$ mm	Maximale Breite (Einzelschlitz) ²⁾ mm	Verbleibende Mindestwanddicke mm	Maximale Breite ²⁾ mm	Mindestabstand der Schlitz- und Aussparungen	
					Von Öffnungen	Untereinander
115 – 149	10	100	–	–	≥ 2-fache Schlitzbreite bzw. ≥ 240 mm	≥ Schlitzbreite
150 – 174	20	100	–	–		
175 – 199	30	100	115	260		
200 – 239	30	125	115	300		
240 – 299	30	150	115	385		
300 – 364	30	200	175	385		
≥ 365	30	200	240	385		

¹⁾ Schlitz- und Aussparungen, die bis maximal 1 m über den Fußboden reichen, dürfen bei Wanddicken ≥ 240 mm bis 80 mm Tiefe und 120 mm Breite ausgeführt werden.

²⁾ Die Gesamtbreite von Schlitz- und Aussparungen nach Spalte 3 und Spalte 5 darf je 2 m Wandlänge die Maße in Spalte 5 nicht überschreiten. Bei geringeren Wandlängen als 2 m sind die Werte in Spalte 5 proportional zur Wandlänge zu verringern.

³⁾ Abstand der Schlitz- und Aussparungen von Öffnungen ≥ 115 mm.

4.28 aufgeführten Grenzwerte zu Schlitztiefe und -breite, Mindestwanddicke sowie Mindestabständen zwischen Schlitz- und Aussparungen eingehalten werden. Werden die Anforderungen an Restwanddicke und Mindestabstand eingehalten, sind vertikale Schlitz- und Aussparungen auch dann ohne Nachweis zulässig, wenn die Querschnittsschwächung, bezogen auf 1 m Wandlänge, nicht mehr als 6 % beträgt und die Wand nicht drei- oder vierseitig gehalten gerechnet wird.

Tab. 4.29 enthält Angaben zur maximalen Schlitztiefe von horizontalen und schrägen Schlitz- und Aussparungen, die ohne gesonderten Nachweis der Tragfähigkeit des reduzierten Mauerwerksquerschnitts auf Druck, Schub

und Biegung zulässig sind, sofern eine Begrenzung der zusätzlichen Ausmitte in diesem Bereich vorgenommen wird.

4.4 Stürze

Für die Berechnung von Stürzen sind DIN EN 1991, DIN 4149, DIN EN 12602 sowie die Bestimmungen allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen [4.3] maßgebend.

Tragende Porenbeton-Fertigstürze

Für Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen werden steinhohe, tragende Porenbeton-Fertigstürze gemäß DIN EN 12602 angeboten. Eingesetzt werden sie in Gebäuden mit vorwiegend ruhenden Verkehrslasten. Fertigstürze sind bauaufsichtlich zugelassen und in vielen Abmessungen erhältlich. Sie werden mit den Abmessungen eingebaut, in denen sie angeliefert wurden; Stemm- oder Fräsarbeiten an Stürzen sind nicht zulässig.

Tragende Flachstürze

Flachstürze sind Fertigstürze aus bewehrtem Porenbeton AAC 4,5 mit einer Höhe von 124 mm. Durch die niedrige Höhe haben Flachstürze, die über Tür- und Fensteröffnungen eingebaut werden, ein sehr geringes Verarbeitungsgewicht. Die Tragwirkung des Sturzsystems wird durch eine 125 bis 750 mm hohe Übermauerung des Flachsturzes mit Porenbeton-Mauersteinen und/oder einer Massivdecke erreicht. Die Höhe der Übermauerung bestimmt die Tragfähigkeit des Sturzes. Bei der Bemessung ist zu berücksichtigen, dass die Auflagerlänge an beiden Enden

Tab. 4.29: Ohne Nachweis zulässige horizontale und schräge Schlitz- und Aussparungen in Mauerwerk gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [4.22.1]

Wanddicke mm	Maximale Schlitztiefe $t_{ch,h}$ ¹⁾ mm	
	Unbeschränkte Länge	Länge ²⁾ ≤ 1.250 mm
115 – 149	–	–
150 – 174	–	0 ³⁾
175 – 239	0 ³⁾	25
240 – 299	15 ³⁾	25
300 – 364	20 ³⁾	30
≥ 365	20 ³⁾	30

¹⁾ Horizontale und schräge Schlitz- und Aussparungen sind nur zulässig in einem Bereich ≤ 0,4 m ober- oder unterhalb der Rohdecke sowie jeweils an einer Wandseite. Sie sind nicht zulässig bei Langlochziegeln.

²⁾ Mindestabstand in Längsrichtung von Öffnungen ≥ 490 mm, vom nächsten Horizontalschlitz zweifache Schlitzlänge.

³⁾ Die Tiefe darf um 10 mm erhöht werden, wenn Werkzeuge verwendet werden, mit denen die Tiefe genau eingehalten werden kann. Bei Verwendung solcher Werkzeuge dürfen auch in Wänden ≥ 240 mm gegenüberliegende Schlitz- und Aussparungen mit jeweils 10 mm Tiefe ausgeführt werden.

Sturz- abmessungen L/B/H mm	Stütz- weite mm	Max. lichte Öffnungs- weite mm	Auflager- tiefe mm	Maßgebliche maximale Belastung gemäß q_k in kN/m (Eigenlast des Flachsturzes einschließlich Übermauerung bereits berücksichtigt)					
				Übermauerungshöhe \bar{u}					
				125 mm	250 mm	375 mm	500 mm	625 mm	750 mm
1.250/100/125	1.005	760	245	5,65	13,24	15,38	15,30	15,21	15,13
1.250/100/125	1.068	885	183	4,98	11,96	14,34	14,37	14,29	14,21
1.250/100/125	1.130	1.010	120	4,43	10,85	13,18	13,56	13,48	13,40
1.500/100/125	1.375	1.250	125	2,94	7,37	9,67	10,98	10,99	10,91
1.750/100/125	1.625	1.500	125	2,06	5,21	7,24	8,47	9,22	9,14
2.000/100/125	1.875	1.750	125	1,51	3,85	5,53	6,66	7,44	7,85
2.250/100/125	2.125	2.000	125	1,26	2,86	4,28	5,31	6,05	6,58
2.500/100/125	2.375	2.250	125	0,97	2,11	3,34	4,28	4,96	5,47
2.750/100/125	2.625	2.500	125	0,77	1,57	2,63	3,47	4,10	4,58
3.000/100/125	2.875	2.750	125	0,61	1,15	2,08	2,83	3,41	3,86
1.250/115/125	1.005	760	245	6,68	15,23	17,68	17,59	17,50	17,40
1.250/115/125	1.068	885	183	5,89	13,75	16,49	16,52	16,43	16,34
1.250/115/125	1.130	1.010	120	5,24	12,25	15,16	15,59	15,50	15,41
1.500/115/125	1.375	1.250	125	3,48	8,18	11,12	12,62	12,64	12,54
1.750/115/125	1.625	1.500	125	2,44	5,78	8,33	9,74	10,61	10,51
2.000/115/125	1.875	1.750	125	1,79	4,27	6,36	7,66	8,56	9,03
2.250/115/125	2.125	2.000	125	1,47	3,29	4,92	6,11	6,96	7,56
2.500/115/125	2.375	2.250	125	1,14	2,43	3,84	4,92	5,71	6,29
2.750/115/125	2.625	2.500	125	0,90	1,80	3,03	3,99	4,72	5,27
3.000/115/125	2.875	2.750	125	0,72	1,33	2,39	3,25	3,92	4,44
1.250/125/125	1.005	760	245	6,66	16,55	19,22	19,12	19,02	18,92
1.250/125/125	1.068	885	183	5,88	14,95	17,92	17,96	17,86	17,76
1.250/125/125	1.130	1.010	120	5,23	13,48	16,48	16,95	16,85	16,75
1.500/125/125	1.375	1.250	125	3,47	9,01	12,09	13,72	13,74	13,64
1.750/125/125	1.625	1.500	125	2,42	6,36	9,05	10,59	11,53	11,43
2.000/125/125	1.875	1.750	125	1,77	4,70	6,91	8,33	9,30	9,81
2.250/125/125	2.125	2.000	125	1,57	3,57	5,35	6,64	7,56	8,22
2.500/125/125	2.375	2.250	125	1,22	2,64	4,18	5,34	6,21	6,84
2.750/125/125	2.625	2.500	125	0,96	1,96	3,29	4,33	5,13	5,73
3.000/125/125	2.875	2.750	125	0,77	1,44	2,60	3,53	4,27	4,83
1.250/150/125	1.005	760	245	8,21	19,70	23,06	22,94	22,82	22,70
1.250/150/125	1.068	885	183	7,24	17,40	21,50	21,55	21,43	21,31
1.250/150/125	1.130	1.010	120	6,44	15,51	19,77	20,34	20,22	20,09
1.500/150/125	1.375	1.250	125	4,27	10,36	14,51	16,46	16,48	16,36
1.750/150/125	1.625	1.500	125	2,99	7,31	10,87	12,71	13,84	13,71
2.000/150/125	1.875	1.750	125	2,19	5,40	8,29	9,99	11,17	11,77
2.250/150/125	2.125	2.000	125	1,77	4,29	6,42	7,97	9,07	9,86
2.500/150/125	2.375	2.250	125	1,37	3,17	5,01	6,41	7,45	8,20
2.750/150/125	2.625	2.500	125	1,07	2,35	3,95	5,20	6,16	6,88
3.000/150/125	2.875	2.750	125	0,85	1,73	3,12	4,24	5,12	5,79
1.250/175/125	1.005	760	245	9,22	22,28	26,91	26,77	26,62	26,48
1.250/175/125	1.068	885	183	8,13	19,68	25,09	25,15	25,00	24,86
1.250/175/125	1.130	1.010	120	7,24	17,54	23,07	23,73	23,59	23,44
1.500/175/125	1.375	1.250	125	4,80	11,71	16,93	19,21	19,23	19,09
1.750/175/125	1.625	1.500	125	3,35	8,26	12,68	14,83	16,14	16,00
2.000/175/125	1.875	1.750	125	2,45	6,10	9,67	11,66	13,03	13,73
2.250/175/125	2.125	2.000	125	2,08	5,00	7,49	9,29	10,59	11,51
2.500/175/125	2.375	2.250	125	1,61	3,70	5,85	7,48	8,69	9,57
2.750/175/125	2.625	2.500	125	1,27	2,74	4,60	6,07	7,18	8,02
3.000/175/125	2.875	2.750	125	1,01	2,02	3,64	4,95	5,97	6,76

Tab. 4.30-1: Maßgebliche maximale Belastung von Flachstürzen gemäß Typenstatik und allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [4.3]

Tab. 4.30-2: Maßgebliche maximale Belastung von Flachstürzen gemäß Typenstatik und allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [4.3]

Sturz- abmessungen L/B/H mm	Stütz- weite mm	Max. lichte Öffnungs- weite mm	Auflager- tiefe mm	Maßgebliche maximale Belastung gemäß q_k in kN/m (Eigenlast des Flachsturzes einschließlich Übermauerung bereits berücksichtigt)					
				Übermauerungshöhe \bar{u}					
				125 mm	250 mm	375 mm	500 mm	625 mm	750 mm
1.250/200/125	1.005	760	245	10,24	24,33	30,75	30,59	30,43	30,27
1.250/200/125	1.068	885	183	9,03	21,49	28,67	28,74	28,58	28,41
1.250/200/125	1.130	1.010	120	8,03	19,15	26,37	27,12	26,95	26,79
1.500/200/125	1.375	1.250	125	5,32	12,77	19,35	21,95	21,98	21,82
1.750/200/125	1.625	1.500	125	3,72	9,01	14,49	16,95	18,45	18,29
2.000/200/125	1.875	1.750	125	2,71	6,65	11,06	13,33	14,89	15,70
2.250/200/125	2.125	2.000	125	2,28	5,72	8,56	10,62	12,10	13,15
2.500/200/125	2.375	2.250	125	1,76	4,23	6,69	8,55	9,93	10,94
2.750/200/125	2.625	2.500	125	1,38	3,13	5,26	6,93	8,21	9,17
3.000/200/125	2.875	2.750	125	1,10	2,30	4,16	5,65	6,83	7,73

des Sturzes durch Nachweis der Verankerung und Tragfähigkeit des Auflagers nachgewiesen wird; sie muss jedoch mindestens 115 mm betragen. Die aufnehmbare Gesamtlast geht aus Tab. 4.35-1 und 4.35-2 hervor.

Stürze aus U-Schalen

Bei der Herstellung von Stürzen aus U-Schalen werden die aneinandergereihten U-Elemente für die Montage unterstützt, mit einem Bewehrungskorb gemäß DIN EN 1992 bewehrt und mit Beton vergossen. Ein statischer Nachweis ist in jedem Einzelfall erforderlich.

Nicht tragende Porenbeton-Fertigstürze

Sofern Öffnungen in nicht tragenden Trennwänden aus Porenbeton-Plansteinen oder Porenbeton-Planbauplatten nicht geschosshoch ausgestaltet werden, werden für die Abdeckung der Öffnungen nicht tragende Porenbeton-Fertigstürze eingesetzt.

4.5 Mauertafeln

Grundlage der Bemessung von Mauertafeln sind DIN 1053-4 und DIN EN 1996-1-1. Außerdem gelten DIN EN 1991, DIN 4149 und die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

Die Zulassung enthält für die Bemessung u. a. folgende Bestimmungen:

- Angaben zu den Grundwerten σ_0 der zulässigen Druckspannungen bzw. zu charakteristischen Druckfestigkeiten f_k .

- Das Mauerwerk wird als zweiseitig gehalten in Rechnung gestellt. Bei Mauertafeln aus 750 mm hohen Planelementen ist für die Knicklänge stets die lichte Geschosshöhe in Rechnung zu stellen.
- Bei Wänden, die rechtwinklig zu ihrer Ebene belastet werden, dürfen Biegezugspannungen nicht in Rechnung gestellt werden. Ist ein rechnerischer Nachweis der Aufnahme dieser Belastung erforderlich, so darf eine Tragwirkung nur senkrecht zu den Lagerfugen unter Ausschluss von Biegezugspannungen angenommen werden.
- Für den Nachweis der räumlichen Steifigkeit und Stabilität dürfen zur Aufnahme der horizontalen Kräfte nur Wandabschnitte als Scheibe angenommen werden, die aus Mauertafeln ohne Stoß in Wandebene bestehen (raumbreite Mauertafeln). Wandabschnitte mit in Scheibenebene gestoßenen Mauertafeln dürfen herangezogen werden, wobei die Mauertafeln als Einzelscheiben anzusetzen sind, wenn die Lastweiterleitung sichergestellt ist und der rechnerische Nachweis unter Ausschluss von Schubspannungen in den lotrechten Mauertafelfugen geführt werden kann. Für den rechnerischen Nachweis dürfen nur Wandabschnitte einer Scheibenebene, jedoch keine zusammengesetzten Querschnitte in Rechnung gestellt werden.
- In lotrechten Fugen von Mauertafelverbindungen dürfen keine Schubspannungen in Ansatz gebracht werden.
- Die Beanspruchungen aus Lagerung, Transport, Montage und Bauzustand sind bei der Bemessung zu berücksichtigen.

4.6 Geschosshohe stehende Wandbauteile

Geschosshohe stehende Wandbauteile aus Porenbeton werden als tragende Bauteile für Außen- und Innenwände eingesetzt. Sie verfügen je nach Anwendungsbereich über statisch anrechenbare oder statisch nicht anrechenbare Bewehrung.

Wandbauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung

Wandelemente aus Porenbeton mit statisch anrechenbarer Bewehrung werden nach DIN EN 1991, DIN 4149, DIN EN 12602 und DIN 4223-101 [4.11.2] berechnet. Sie können Biegebeanspruchungen senkrecht zur Wandebene, z. B. aus Erddruck, aufnehmen.

Wandbauteile mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung

Wandbauteile aus Porenbeton mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung werden nach DIN EN 1991, DIN 4149, DIN EN 12602 und DIN 4223-101 berechnet.

4.7 Dach- und Deckenplatten

Dach- und Deckenplatten aus Porenbeton werden nach DIN EN 1991, DIN 4149, DIN EN 12602 und DIN 4223-101 berechnet. Die Ausführung erfolgt nach DIN 4223-102 [4.11.3].

Literatur

- [4.1] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (Herausgeber): Mauerwerk aus Porenbeton – Beispiele zur Bemessung nach Eurocode 6, Bericht 14
- [4.2] Graubner, C.-A.: Tragfähigkeitstabellen für die Bemessung von Außen- und Innenwänden aus Porenbetonsteinen der Steindruckfestigkeitsklassen 2 - 8 nach dem vereinfachten Nachweisverfahren nach DIN EN 1996-3/NA; Stellungnahme Az 150177 vom 1.11.2015
- [4.3] Landeshauptstadt Hannover: Bescheid zur Typenprüfung in statischer Hinsicht, Porenbeton-Flachstütze mit Zuggurt Typ A nach bauaufsichtlicher Zulassung Z-17.1-634. Hannover 2010
- [4.4] DIN 488: Betonstahl, mehrere Teile
- [4.5] DIN EN 998-1: Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel; Ausgabe 2017-02
- [4.6] DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, mehrere Teile
- [4.7] DIN 1053: Mauerwerk
- [4.7.1] Teil 1: Berechnung und Ausführung, Ausgabe 1996-11
- [4.7.2] Teil 3: Bewehrtes Mauerwerk; Berechnung und Ausführung, Ausgabe 1990-02
- [4.7.3] Teil 4: Fertigbauteile, Ausgabe 2018-05
- [4.7.4] Teil 100: Berechnung auf Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts, Ausgabe 2007-09
- [4.8] DIN 4102-4: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Ausgabe 1994-03
- [4.9] DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe, Ausgabe 2015-12
- [4.10] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, Ausgabe 2005-04
- [4.11] DIN 4223: Anwendung von vorgefertigten bewehrten Bauteilen aus dampfgehärtetem Porenbeton
- [4.11.1] Teil 100: Eigenschaften und Anforderungen an Baustoffe und Bauteile. Ausgabe 2014-12
- [4.11.2] Teil 101: Entwurf und Bemessung. Ausgabe 2014-12
- [4.11.3] Teil 102: Anwendung in Bauwerken. Ausgabe 2014-12
- [4.11.4] Teil 103: Sicherheitskonzept. Ausgabe 2014-12
- [4.12] DIN 18533-1: Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze, Ausgabe 2017-07
- [4.13] DIN 18202: Toleranzen im Hochbau – Bauwerke, Ausgabe 2013-04
- [4.14] DIN 18515: Außenwandbekleidungen, mehrere Teile
- [4.15] DIN 18550: Putz und Putzsysteme – Ausführung, Ausgabe 2018-01
- [4.16] DIN EN 845-1: Festlegungen für Ergänzungsbauteile für Mauerwerk – Teil 1: Maueranker, Zugbänder, Auflager und Konsolen, Ausgabe 2016-12
- [4.17] DIN EN 1990: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
- [4.18] DIN EN 1990/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
Änderung A1, Ausgabe 2012-08

- [4.19] DIN EN 1991: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
- [4.19.1] Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
- [4.19.2] Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten, Ausgabe 2010-12
- [4.19.3] Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Ausgabe 2010-12
- [4.20] DIN EN 1991-1-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
- [4.20.1] Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
Änderung A1, Ausgabe 2015-05
- [4.20.2] Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten, Ausgabe 2010-12
Änderung A1, Ausgabe 2015-12
- [4.20.3] Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Ausgabe 2010-12
- [4.21] DIN EN 1996: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
- [4.21.1] Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Ausgabe 2013-02
- [4.21.2] Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Ausgabe 2011-04
- [4.21.3] Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk, Ausgabe 2010-12
- [4.21.4] Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten, Ausgabe 2010-12
- [4.22] DIN EN 1996/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
- [4.22.1] Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Ausgabe 2012-05
Änderung A1. Ausgabe 2014-03
Änderung A2. Ausgabe 2015-01
- [4.22.2] Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Ausgabe 2013-06
- [4.22.3] Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk, Ausgabe 2012-01
- [4.22.4] Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten, Ausgabe 2012-01
Änderung A1. Ausgabe 2014-03
Änderung A2. Ausgabe 2015-01
- [4.23] DIN EN 10025: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen, mehrere Teile
- [4.24] DIN EN 12602: Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton. Ausgabe 2016-12
- [4.25] DIN EN 13969: Abdichtungsbahnen – Bitumenbahnen für die Bauwerksabdichtung gegen Bodenfeuchte und Wasser – Definitionen und Eigenschaften, Ausgabe 2007-03
- [4.26] DIN SPEC 20000-202: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 202: Anwendungsnorm für Abdichtungsbahnen nach Europäischen Produktnormen zur Verwendung als Abdichtung von erdberührten Bauteilen, Ausgabe 2016-03

WÄRME

Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster

5.1 Ziele des Wärmeschutzes

Energie einzusparen ist ein wichtiges Ziel bei der Herstellung von Baustoffen und Gebäuden, aber auch bei der Nutzung von Gebäuden. Anzustreben ist dieses Ziel im Hinblick auf die Schonung der Ressourcen fossiler Energieträger und der Entlastung unserer Umwelt von Schadstoffen, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen. Hierzu zählt auch das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂).

Daher ist der Wärmeschutz von Gebäuden, insbesondere die wärmetechnische Qualität der Außenbauteile, eine wichtige Einflussgröße für den Heizenergieverbrauch während der Nutzung. Hinzu kommt, dass die wärmetechnische Qualität von Außenbauteilen, bedingt durch ihre inneren Oberflächentemperaturen, einen wesentlichen Einfluss auf die Behaglichkeit innerhalb von Räumen hat. Auch zur Vermeidung von Bauschäden sind ausreichend hohe Oberflächentemperaturen erforderlich. Diesen Zielsetzungen entsprechen die unterschiedlichen Schwerpunkte des Wärmeschutzes:

■ Mindestwärmeschutz im Winter

An die Wärmedämmung von Bauteilen und Wärmebrücken werden Mindestanforderungen gestellt, um ein hygienisches Raumklima und einen dauerhaften Schutz der Baukonstruktion gegen klimabedingte Feuchteinwirkungen sicherzustellen. Die Vermeidung von Schimmelpilzbildung oder Tauwasser steht dabei im Vordergrund.

■ Energieeinsparung in Gebäuden

Der Verbrauch von Primärenergie für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung insbesondere unter Berücksichtigung erneuerbarer Energien ist im Rahmen eines gesamtheitlichen energetischen Bewertungskonzeptes zu begrenzen. Darüber hinaus ist es technisch möglich, Gebäude zu errichten, die einen noch geringeren Energiebedarf haben als nach der Energieeinsparverordnung zulässig wäre. Begriffe, die in Zusammenhang mit energiesparenden Gebäuden genannt werden, sind z. B. KfW-Effizienzhaus, Passivhaus oder Niedrigstenergiegebäude.

■ Sommerlicher Wärmeschutz

Durch Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz im Sommer soll eine zu starke Erwärmung von Aufenthaltsräumen vermieden werden, um möglichst auch ohne Kühlung der Raumluft unter Einsatz von Energie ein behagliches Raumklima zu erreichen.

5.2 Wärmeleitung und Wärmeübergang

Die wärmetechnischen Transportmechanismen Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Wärmekonvektion führen zu einem Wärmestrom durch ein Bauteil in Richtung eines Temperaturgefälles und damit zu einem Wärmedurchgang von innen nach außen. Die Mechanismen Wärmestrahlung und Wärmekonvektion, die das Maß des Wärmeübergangs an Bauteiloberflächen kennzeichnen, werden bei Berechnungen zur wärmetechnischen Qualität von Bauteilen im Allgemeinen zusammengefasst.

Die Kenngrößen sind der innere Wärmeübergangswiderstand R_{si} und der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} in m²K/W, welche nach DIN EN ISO 6946 [5.8] in Abhängigkeit von der Richtung des Wärmestroms bzw. der Neigung eines Bauteils für innere und äußere Oberflächen unterschieden werden (Tab. 5.1). Grenzt ein Bauteil an Erdreich, entfallen Strahlung und Konvektion und R_{se} ist Null. Im Falle hinterlüfteter Konstruktionen gilt allgemein die Regel $R_{se} = R_{si}$.

	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tab. 5.1: Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} in m²K/W gemäß DIN EN 6946 [5.8]

Für den Anteil des Wärmedurchgangs, der über die Wärmeleitung der Baustoffschichten erfolgt, sind die Schichtdicken d der Baustoffe und deren Wärmeleitfähigkeiten λ maßgebend.

Tab. 5.2 enthält eine Übersicht zu den Wärmeleitfähigkeiten λ in W/(mK) von Produkten aus Porenbeton.

Das Spektrum reicht von $\lambda = 0,08$ W/(mK) bis zu $\lambda = 0,25$ W/(mK). Gemäß DIN 4108-4 [5.6.2] hat Mauerwerk mit Steinhöhen von mehr als 238 mm ohne Stoßfugenvermörtelung und Lagerfugen aus

Dünnbettmörtel im Bereich von $\lambda = 0,08$ W/(mK) bis $\lambda = 0,18$ W/(mK) die gleiche Wärmeleitfähigkeit wie der Mauerstein, da bei einer mittleren Fugendicke von 2 mm die Wärmeleitfähigkeit des Dünnbettmörtels nur einen geringen rechnerischen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks hat.

Tab. 5.2: Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B von Produkten aus Porenbeton

Produkt	Festigkeitsklasse	Rohdichteklasse	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B [W/(mK)]		
			Nach DIN 4108-4 [5.6.2]	Gemäß Herstellerangabe ¹⁾	
Plansteine, Planelemente	2	0,35	–	0,08	
			0,11	0,09	
		0,40	0,13	0,10	
		0,50	0,16	0,13	
	4				0,14
		0,50	0,16	0,12	
					0,13
		0,55	0,18	0,14	
		0,60	0,19	0,13	
					0,14
	6	0,60	0,19	0,16	
					0,16
		0,65	0,21	0,16	
					0,18
		0,70	0,22	0,21	
				0,21	
0,75		0,24	–		
0,80	0,25	0,21			
Planbauplatten	-	0,35	0,11	–	
		0,40	0,13		
		0,45	0,15		
		0,50	0,16		
		0,55	0,18		
		0,60	0,19		
		0,65	0,21		
		0,70	0,22		
		0,75	0,24		
		0,80	0,25		
Stürze	4,4	0,55	0,16	0,14	
		0,60	0,18	0,16	
		0,65	0,19	0,18	
		0,70	0,20	0,18	
Flachstürze	4,5	0,55	–	0,14 ²⁾	
		0,60		0,16 ²⁾	
		0,65		0,18 ²⁾	
		0,70		0,21 ²⁾	

¹⁾ Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit ergibt sich aus dem CE-deklarierten $\lambda_{10,dry,unit,100\%}$ -Wert und dem F_m -Wert zur Berücksichtigung des Einflusses des Feuchtegehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit: $\lambda_B = \lambda_{design,unit,100\%} = \lambda_{10,dry,unit,100\%} \cdot F_m$

²⁾ gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung/allgemeiner Bauartgenehmigung

Der Quotient aus d und λ ist der Wärmedurchlasswiderstand R_i in m^2K/W einer Baustoffschicht. Fasst man die Wärmedurchlasswiderstände aller Baustoffschichten zusammen, erhält man den Wärmedurchlasswiderstand R des gesamten Bauteils. Er ist bedeutend für den Nachweis der Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilflächen und die weitere Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U in $W/(m^2K)$.

Der bei gleich bleibender Wärmeleitfähigkeit λ vorausgesetzte lineare Zusammenhang zwischen der Baustoffdicke d und dem Wärmedurchlasswiderstand R_i hat bei Luftschichten keine Gültigkeit. Daher ist bei Bauteilen, die eine ruhende Luftschicht aufweisen, der Wärmedurchlasswiderstand R_g von Luftschichten tabellarisch für bestimmte Luftschichtdicken d und in Abhängigkeit von der Richtung des Wärmestroms zu ermitteln (Tab. 5.3). Streng genommen ist noch das Emissionsvermögen der die Luftschicht begrenzenden Oberflächen relevant. Es wird jedoch bei Baustoffschichten mit mineralischen Oberflächen bei der Berechnung der wärmetechnischen Qualität eines Bauteils im Allgemeinen nicht im Einzelnen berücksichtigt.

Die Summe aus dem inneren Wärmeübergangswiderstand R_{si} , dem äußeren Wärmeübergangswiderstand R_{se} und dem Wärmedurchlasswiderstand R der Baustoffschichten ist der Wärmedurchgangswiderstand R_T . Sein Kehrwert, der Wärmedurchgangskoeffizient U , ist eine Kenngröße zur Beurteilung der wärmetechnischen Eigenschaften eines Bauteils.

Er gibt an, welcher Wärmestrom in Watt auf einer Fläche von $1 m^2$ zwischen zwei Medien, die durch eine oder mehrere feste Schichten voneinander getrennt sind, übertragen wird, wenn die Temperaturdifferenz 1 Kelvin beträgt.

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad \text{Gl. (5.1)}$$

Zu berücksichtigen ist bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U , dass zwischen Bauteilen aus homogenen Schichten wie massiven Mauerwerkskonstruktionen und Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten, wie Holzrahmenbauweisen zu unterscheiden ist. Im letztgenannten Fall ist die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten

Dicke der Luftschicht mm	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Zwischenwerte können mittels linearer Interpolation ermittelt werden

U nach DIN EN ISO 6946 [5.8] aufwendiger, weil durch die Wärmebrückenwirkung neben dem Wärmestrom senkrecht zur Bauteiloberfläche auch ein Wärmestrom parallel zur Bauteiloberfläche, z. B. durch die Wechselwirkung zwischen Sparren und Wärmedämmung im Gefachbereich, ermittelt werden muss. Nach Berechnung eines oberen Grenzwertes für den Wärmedurchgangskoeffizienten $R_{T'}$ (senkrecht) und eines unteren Grenzwertes $R_{T''}$ (parallel) ergibt sich der Wärmedurchgangswiderstand R_T durch Mittelung. Der Kehrwert von R_T ergibt den Wärmedurchgangskoeffizienten U .


Tab. 5.4 bis 5.7 enthalten Wärmedurchgangskoeffizienten U für Außenwände aus Porenbeton mit folgenden Schichtaufbauten:

- Einschalig (monolithisch)
- Zweischalig mit Wärmedämmung und mit Luftschicht
- Zweischalig mit Wärmedämmung
- Einschalig mit Wärmedämmverbundsystem

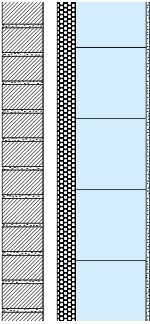
Die Werte zeigen, dass Porenbeton aufgrund seiner Baustoffeigenschaften, insbesondere der geringen Wärmeleitfähigkeit bei hoher Festigkeit, eine weitgehend monolithische Bauweise mit Wärmedurchgangskoeffizienten von bis zu $U = 0,15 W/(m^2K)$ ermöglicht. Durch zusätzliche Wärmedämmschichten kann der Wert weiter auf $U = 0,12 W/(m^2K)$ gesenkt werden.

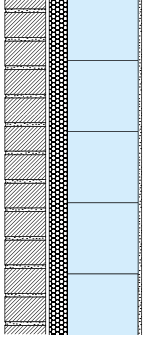
Tab. 5.3: Wärmedurchlasswiderstand R_g von ruhenden Luftschichten in m^2K/W gemäß DIN EN ISO 6946 - Oberflächen mit hohem Emissionsgrad [5.8]

Tab. 5.4: Wärmedurchgangskoeffizienten U von monolithischen Außenwänden aus Porenbeton (einschalig)

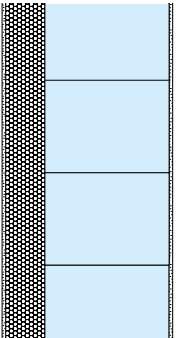
System Putz innen 1 cm $\lambda = 0,7 \text{ W/(mK)}$ Mauerwerk Putz außen 1,5 cm $\lambda = 0,32 \text{ W/(mK)}$	Wanddicke d cm		Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils [W/(m ² K)] bei einer Wärmeleitfähigkeit λ des Porenbetons von W/(mK)								
	Mauerwerk	gesamt	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
	24,0	26,5	0,31	0,35	0,38	-	-	-	-	-	-
	30,0	32,5	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	-	-	-
	36,5	39,0	0,21	0,23	0,26	0,28	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40
	42,5	45,0	0,18	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35
	48,0	50,5	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31
	50,0	52,5	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30

Tab. 5.5: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenwänden aus Porenbeton (zweischalig mit zusätzlicher Wärmedämmung und mit schwach belüfteter Luftschicht)

System Putz innen 1 cm $\lambda = 0,7 \text{ W/(mK)}$ Mauerwerk Wärmedämmung Luftschicht 4 cm Vormauerschale 11,5 cm $\lambda = 0,96 \text{ W/(mK)}$	Wanddicke d cm			Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils [W/(m ² K)] bei einer Wärmeleitfähigkeit λ des Porenbetons von W/(mK)								
	Mauerwerk	Wärmedämmung $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$	gesamt	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
	17,5	4	38,0	0,26	0,28	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37
	17,5	6	40,0	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30
	17,5	8	42,0	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26
	17,5	10	44,0	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23
	24,0	4	44,5	0,22	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
	24,0	6	46,5	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27
	24,0	8	48,5	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23
	24,0	10	50,5	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21

System Putz innen 1 cm $\lambda = 0,7 \text{ W/(mK)}$ Mauerwerk Wärmedämmung Vormauerschale 11,5 cm $\lambda = 0,96 \text{ W/(mK)}$	Wanddicke d cm			Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils [W/(m²K)] bei einer Wärmeleitfähigkeit λ des Porenbetons von W/(mK)								
	Mauerwerk	Wärmedämmung $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$	gesamt	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
	17,5	4	34,0	0,28	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39
	17,5	6	36,0	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32
	17,5	8	38,0	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,27
	17,5	10	40,0	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24
	17,5	12	42,0	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21
	17,5	14	44,0	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19
	24,0	4	40,5	0,22	0,24	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34
	24,0	6	42,5	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28
	24,0	8	44,5	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24
	24,0	10	46,5	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21
	24,0	12	48,5	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19
	24,0	14	50,5	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17

Tab. 5.6: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenwänden aus Porenbeton (zweischalig mit zusätzlicher Wärmedämmung)

System Putz innen 1 cm $\lambda = 0,7 \text{ W/(mK)}$ Mauerwerk Wärmedämmverbundsystem	Wanddicke d cm			Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils [W/(m²K)] bei einer Wärmeleitfähigkeit λ des Porenbetons von W/(mK)				
	Mauerwerk	Wärmedämmung $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$	gesamt	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16
	17,5	10	30	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
	17,5	14	34	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19
	17,5	18	38	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16
	17,5	20	40	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14
	24,0	10	36,5	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22
	24,0	14	40,5	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
	24,0	18	44,5	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15
	24,0	20	46,5	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13

Tab. 5.7: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenwänden aus Porenbeton (einschalig mit Wärmedämmverbundsystem, Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$)

5.3 Wärmespeicherung

Die Wärmespeicherung von Baustoffen und Bauteilen hat im Wesentlichen zwei Bedeutungen:

- Beeinflussung der Raumlufttemperatur und damit der Transmissionswärmeverluste bei intermittierendem Heizen
- Ausnutzung der passiven Solarenergie sowie Verringerung von Temperaturspitzen im Sommer durch Speicherung der Wärme in Bauteilen

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit von Räumen hängt u. a. vom Bauteilaufbau und den spezifischen Wärmekapazitäten seiner Baustoffe ab. Sie hat Auswirkungen auf das Auskühl- und Aufheizverhalten von Räumen. Wird die Wärmespeicherfähigkeit größer, kühlt ein Raum langsamer aus und heizt sich je nach Beheizungsgewohnheiten langsamer auf.

Intermittierendes Heizen

Gebäude aus schwerem und dickem Mauerwerk mit einer hohen Wärmespeicherfähigkeit galten in der Vergangenheit gegenüber leichten Konstruktionen wie Holzrahmenbauten als besonders komfortabel. Den thermischen Komfort solcher Gebäude im Winter lieferten die früher üblichen Heizsysteme. Beispielsweise unterlagen extrem schlecht regelbare Ofenheizungen starken Schwankungen bei der Wärmeabgabe. Überhitzung und Verlöschen des Feuers wechselten sich ab. Eine gut speicherfähige Bauweise bewirkte, dass die Wände nach dem Verlöschen des Feuers im Ofen die vorher aufgenommene Wärme wieder in den Raum abgaben, wodurch eine zu schnelle Auskühlung der Räume verhindert wurde und die Raumlufttemperatur im behaglichen Bereich blieb.

Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, dass mit einer hohen Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile bei intermittierendem Heizen (Nachtabsenkung oder Nachtabschaltung) Energie eingespart werden kann. Tatsächlich muss die gleiche Wärmemenge, die nach dem Ausschalten der Heizung von den Bauteilen abgegeben wird, beim Anheizen wieder in die Bauteile eingespeichert werden und dann erst findet eine spürbare Raumerwärmung statt. Insofern können Räume mit Begrenzungsflächen aus leichten Bauteilen mit geringer Wärmespeicherfähigkeit schneller aufgeheizt werden.

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} in Wh/K eines Raumes wird gemäß DIN V 4108-6 [5.6.3] aus der spezifischen Wärmekapazität des Baustoffs c , der Rohdichte ρ , der wirksamen Schichtdicke d und der Bauteilfläche A ermittelt:

$$C_{\text{wirk}} = \sum_i (c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot A_i) \quad \text{Gl. (5.2)}$$

Danach erfolgt eine Einteilung in schwere, mittlere oder leichte Bauweise. Gemäß DIN 4108-2 [5.6.1] gilt folgende Einstufung:

$$C_{\text{wirk}} / A_G \rightarrow \text{Bauart} \quad \text{Gl. (5.3)}$$

- $C_{\text{wirk}} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
→ Leichte Bauart
- $50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K}) \leq C_{\text{wirk}} / A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
→ Mittlere Bauart
- $C_{\text{wirk}} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
→ Schwere Bauart

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit ist nicht mit dem Wärmespeichervermögen eines Bauteils gleichzusetzen, weil z. B. für Heizwärmebedarfsberechnungen nur eine wirksame Schichtdicke der raumbegrenzenden Bauteile von maximal 10 cm berücksichtigt werden darf. Trennwände zwischen zwei Räumen dürfen höchstens mit ihrer halben Dicke Eingang in die Berechnung finden. Außerdem werden Baustoffschichten nur raumseitig bis zur Wärmedämmebene berücksichtigt, da die Wärmedämmung dahinter liegende Speichermassen sozusagen abschottet. Im Regelfall gehören Gebäude aus Porenbeton zur mittleren, Holzrahmenkonstruktionen zur leichten und Bauten mit Außen- und Innenwänden aus Kalksandstein zur schweren Bauweise.

Bei kontinuierlichem Heizbetrieb, d. h. ohne Absenkung oder Abschaltung der Heizung in der Nacht oder bei Abwesenheit besteht hinsichtlich des Heizenergieverbrauchs praktisch kein Unterschied zwischen leichter und schwerer Bauweise. Jedoch ist bei intermittierendem Heizbetrieb durch Absenkung der Raumtemperaturen θ_i in der Nacht oder bei Abwesenheit grundsätzlich eine leichtere Bauweise von Vorteil (Abb. 5.1).

Bei gleichen wärmeschutztechnischen Eigenschaften der raumumschließenden Bauteile und bei gleicher mittlerer Außenlufttemperatur θ_e sind die Transmissionswärmeverluste von der mittleren Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ zwischen Raumlufttemperatur θ_i und Außenlufttemperatur θ_e abhängig. Diese Temperaturdifferenz ist bei leichter Bauweise mit geringer Wärmespeicherfähigkeit ($\Delta\theta$) niedriger als bei schwerer

Bauweise mit hoher Wärmespeicherfähigkeit ($\Delta\theta_s$), da die Raumlufttemperatur nach Absenkung der Heiztemperatur schneller und tiefer absinkt.

Passive Solarenergienutzung

Die passive Nutzung der Solarenergie durch Fenster setzt die Möglichkeit zur Wärmespeicherung in den raumumschließenden Bauteilen voraus. Bei Sonneneinstrahlung ist die Erhöhung der Raumlufttemperatur bei schwerer Bauart ($\Delta\theta_s$) niedriger als bei leichter Bauart ($\Delta\theta_l$) (Abb. 5.2). Die eingestrahelte Energie wird in die Bauteile eingespeichert und zeitversetzt an den Raum wieder abgegeben.

Energieeinspareffekte

Die möglichen Energieeinspareffekte aus intermittierendem Heizen und passiver Solarenergienutzung liegen im Allgemeinen in einer Größenordnung von 5 bis 10 % des Heizenergieverbrauchs und sind situationsbezogen gegenläufig:

- Bei intermittierendem Heizen wird durch geringere Wärmespeicherung eine größere Einsparung an Heizenergie erzielt.
- Bei passiver Solarenergienutzung sind große Speichermassen erforderlich, um die Gewinne aus der Sonneneinstrahlung zeitversetzt nutzen zu können.

Je nach den Gegebenheiten des Einzelfalles, insbesondere nach der Art der Gebäudenutzung und dem Heizverhalten der Nutzer, kann eine größere Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile von Vorteil oder auch von Nachteil für den Heizenergieverbrauch sein. Häufig wird daher bei der Baustoffauswahl in der Praxis ein Mittelwert angestrebt.

Die in einem Baustoff gespeicherte Wärmemenge Q in Wh berechnet sich aus der Rohdichte ρ , der spezifischen Wärmekapazität c, der wirksamen Schichtdicke d, der Fläche A und der Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ zwischen dem Baustoff und der Umgebung:

$$Q = \rho \cdot c \cdot d \cdot A \cdot \Delta\theta \tag{Gl. (5.4)}$$

Das flächenbezogene Wärmespeichervermögen W in Wh/(m²K) einer Baustoffschicht wird folgendermaßen ermittelt:

$$W = c \cdot \rho \cdot d \tag{Gl. (5.5)}$$

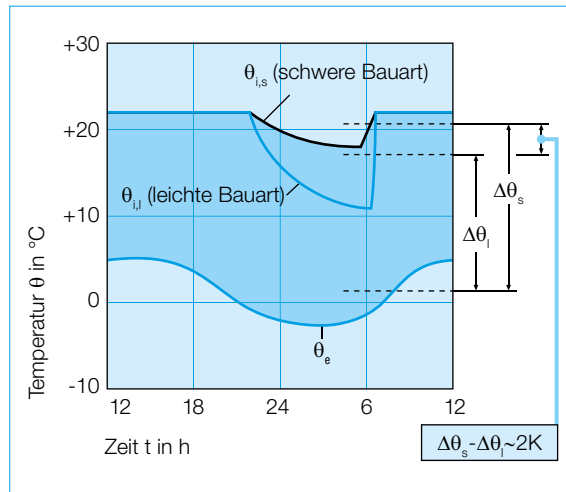


Abb. 5.1: Mittlere Temperaturdifferenzen $\Delta\theta_l$ (leichte Bauart) und $\Delta\theta_s$ (schwere Bauart) zwischen Raumlufttemperatur θ_l und Außenlufttemperatur θ_e bei intermittierendem Heizen

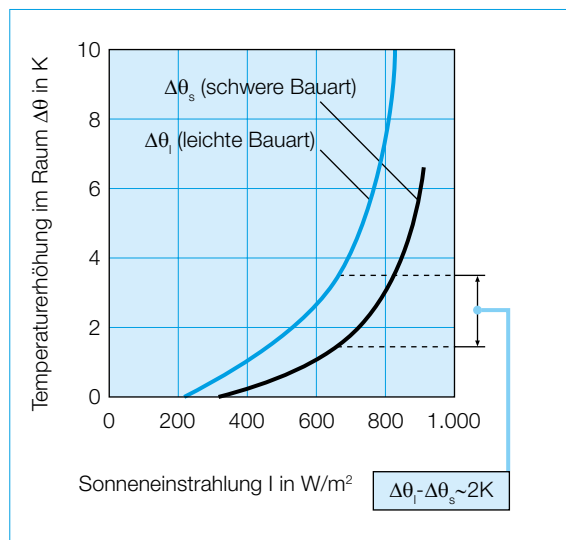


Abb. 5.2: Temperaturerhöhung $\Delta\theta_l$ (leichte Bauart) und $\Delta\theta_s$ (schwere Bauart) im Raum bei Sonneneinstrahlung

Die Auskühlzeit t_A wird aus dem flächenbezogenen Wärmespeichervermögen W und dem Wärmedurchlasswiderstand R berechnet:

$$t_A = W \cdot R \tag{Gl. (5.6)}$$

Daten zur Wärmespeicherung und Auskühlzeit von Porenbeton können Tab. 5.8 entnommen werden.

Tab. 5.8: Daten zur Wärmespeicherung und Auskühlzeit von Baustoffschichten

Baustoff	Dicke d m	Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit λ W/(mK)	Spezifische Wärmekapazität c Wh/(kgK) ¹⁾	Wärmedurchlasswiderstand R m ² K/W	Wärmespeichervermögen W Wh/(m ² K)	Auskühlzeit t _A h
Porenbeton-mauerwerk	0,175	350	0,09	0,278	1,94	17,0	33,00
		600	0,14		1,25	29,2	36,50
	0,240	350	0,09		2,67	23,4	62,30
		600	0,14		1,71	40,0	68,50
	0,300	350	0,09		3,33	29,2	97,20
		600	0,14		2,14	50,0	107,10
	0,365	350	0,09		4,06	35,5	144,10
		600	0,14		2,61	60,9	158,90
	0,425	350	0,09		4,72	41,4	195,40
	0,480	350	0,09		5,33	46,7	248,90
0,500	350	0,09	5,56	48,7	270,80		
Beton ≥ C 20/25	0,200	2.400	2,30	0,278	0,09	133,4	12,00
Dämmstoff	0,200	20	0,04	0,413	5,00	1,7	8,30

¹⁾ 0,278 Wh/(kgK) = 1.000 J/(kgK)

5.4 Mindestwärmeschutz im Winter

Um ein hygienisches Raumklima und einen dauerhaften Schutz der Baukonstruktion gegen klimabedingte Feuchteinwirkungen sicherzustellen, werden in DIN 4108-2 [5.6.1] wärmetechnische und konstruktive Anforderungen an Bauteilflächen und an Bereiche von Wärmebrücken gestellt. Werden die in der Norm genannten Mindestanforderungen erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass es weder auf Bauteilflächen noch an Wärmebrücken zu einer Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der raumseitigen Oberfläche kommt. Voraussetzung ist, dass die betreffenden Räume ausreichend beheizt und belüftet werden. Ebenso darf die Luftzirkulation an der Wandoberfläche nicht behindert werden.

Bei der Beurteilung des Mindestwärmeschutzes an Bauteilflächen ist zunächst festzulegen, ob es sich um homogene nichttransparente, inhomogene nichttransparente oder um transparente oder teiltransparente Bauteile handelt. Im Falle homogener Bauteile wird nach schweren oder leichten Bauteilen unterschieden. Schwere Bauteile, welche eine flächenbezogene Gesamtmasse m' von mindestens 100 kg/m² aufweisen, sind so zu planen und auszuführen, dass ein festgelegter Wärmedurchlasswiderstand R nicht unterschritten wird (Tab. 5.9).

Beispielsweise beträgt der Wärmedurchlasswiderstand einer 30 cm dicken, verputzten Porenbetonwand ($\lambda = 0,09$ W/(mK)) $R = 3,4$ m² K/W gegenüber

der Mindestanforderung von $R = 1,2$ m² K/W. Für leichte homogene Bauteile verlangt die Norm einen Wärmedurchlasswiderstand von mindestens $R = 1,75$ m² K/W.

Differenzierte Anforderungen werden an inhomogene nichttransparente Bauteile wie Rahmen-, Skelett- oder Holzständerbauweisen gestellt. In solchen Fällen ist ein Wärmedurchlasswiderstand im Gefachbereich erforderlich von:

$$\blacksquare R \geq 1,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

und für das gesamte Bauteil von

$$\blacksquare R \geq 1,00 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Im thermischen Einflussbereich von Wärmebrücken können sich deutlich niedrigere raumseitige Oberflächentemperaturen einstellen als an Bauteilflächen. Dadurch nimmt die Gefahr der Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der Bauteiloberfläche zu. Auch die Transmissionswärmeverluste können größer werden. Zur Vermeidung von Schimmelbildung muss die Oberflächentemperatur ausreichend hoch sein. In DIN 4108-2 [5.6.1] wird verlangt, dass der dimensionslose Temperaturfaktor an der ungünstigsten Stelle $f_{\text{Rsi}} \geq 0,7$ beträgt. Dieser Faktor entspricht unter üblichen, genormten Klimarandbedingungen einer raumseitigen Bauteil-Oberflächentemperatur von $\theta_{\text{si}} = 12,6$ °C. Falls die wärmetechnische Ausführung einer Wärmebrücke den Planungs- und Ausführungsempfehlungen in DIN 4108 Beiblatt 2 [5.6.5] entspricht, ist davon auszugehen, dass die Mindestanforderungen im Bereich von Wärmebrücken eingehalten werden.

Tab. 5.9: Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände R von Bauteilen gemäß DIN 4108-2 [5.6.1]

Zeile	Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils ²⁾ R m²K/W
1	Wände beheizter Räume	gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen, nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dachräume oder nicht beheizte Kellerräume außerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche)	1,2 ³⁾
2	Dachschrägen beheizter Räume	gegen Außenluft	1,2
3	Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer		
3.1		gegen Außenluft	1,2
3.2		zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,90
3.3		zu nicht beheizten Räumen, zu bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen	0,90
3.4		zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35
4	Decken beheizter Räume nach unten		
4.1 ¹⁾		gegen Außenluft, gegen Tiefgaragen, gegen Garagen (auch beheizten), Durchfahrten (auch verschließbaren) und belüftete Kriechkeller	1,75
4.2		gegen nicht beheizten Kellerraum	0,90
4.3		unterer Abschluss (z. B. Sohlplatte) von Aufenthaltsräumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	
4.4		über einem nicht belüfteten Hohlraum, z. B. Kriechkeller, an das Erdreich angrenzend	
5	Bauteile an Treppenräumen		
5.1		Wände zwischen beheiztem Raum und direkt beheiztem Treppenraum, Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, sofern die anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tabelle 3 (DIN 4108-2) erfüllen	0,07
5.2		Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, wenn nicht alle anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tabelle 3 (DIN 4108-2) erfüllen	0,25
5.3		oberer und unterer Abschluss eines beheizten oder indirekt beheizten Treppenraums	wie Bauteile beheizter Räume
6	Bauteile zwischen beheizten Räumen		
6.1		Wohnungs- und Gebäudetrennwände zwischen beheizten Räumen	0,07
6.2		Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung	0,35

¹⁾ Vermeidung von Fußkälte

²⁾ bei erdberührten Bauteilen: konstruktiver Wärmedurchlasswiderstand

³⁾ bei niedrig beheizten Räumen 0,55 m²K/W

5.5 Energiesparender Wärmeschutz

5.5.1 Energieeinsparverordnung

Der Anwendungsbereich der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) [5.11] erstreckt sich auf beheizte und/oder gekühlte Gebäude. Die Anforderungen beziehen sich auf (Abb. 5.3):

- Zu errichtende Wohngebäude (Abschnitt 2 sowie Anlagen 1 und 4)

- Zu errichtende Nichtwohngebäude (Abschnitt 2 sowie Anlagen 2 und 4)
- Zu errichtende kleine Gebäude und Gebäude aus Raumzellen (Abschnitt 2 und Anlage 3)
- Bestehende Gebäude und Anlagen (Abschnitt 3 und Anlage 3)
- Anlagen der Heizungs-, Kühl- und Raumlufttechnik sowie der Warmwasserversorgung (Abschnitt 4 sowie Anlagen 4a und 5)

Abb. 5.3: Gliederung der Energiesparverordnung EnEV 2014 [5.11]

Abschnitt 1		Abschnitt 6		Abschnitt 7	
Allgemeine Vorschriften		Gemeinsame Vorschriften, Ordnungswidrigkeiten		Schlussvorschriften	
Abschnitt 2			Abschnitt 3	Abschnitt 4	Abschnitt 5
Zu errichtende Wohngebäude	Zu errichtende Nichtwohngebäude	Zu errichtende kleine Gebäude und Gebäude aus Raumzellen	Bestehende Gebäude und Anlagen	Anlagen für Heizung, Kühlung, RLT, Warmwasser	Energieausweise und Verbesserung der Energieeffizienz
Anlage 1	Anlage 4	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4a und 5	Anlagen 6 bis 11
Anforderungen	Dichtheit	Anforderungen	Anforderungen, Randbedingungen, Maßgaben	Anforderungen Inbetriebnahme	Energieausweise, Fortbildungsinhalte

Abschnitt 5 enthält Regelungen zu Energieausweisen und zu den Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden. In den dazugehörigen Anlagen 6 bis 11 finden sich Muster für Energieausweise sowie Anforderungen an die Inhalte der Fortbildung für Energieausweis-Aussteller für bestehende Gebäude. Allgemeine Vorschriften, gemeinsame Vorschriften und Schlussvorschriften enthalten die Abschnitte 1, 6 und 7.

Für zu errichtende Wohngebäude sind als Hauptanforderungsgrößen der Jahres-Primärenergiebedarf Q_p und der spezifische, gebäudehüllflächenbezogene Transmissionswärmeverlust H_T sowie der Sonneneintragskennwert S nachzuweisen. Bei zu errichtenden Nichtwohngebäuden gelten neben dem Jahres-Primärenergiebedarf Q_p und dem Sonneneintragskennwert S Anforderungen an den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} bestimmter Bauteile.

Weitere Anforderungen erstrecken sich u. a. auf Luftdichtheit, Mindestluftwechsel, Wärmebrücken und den Mindestwärmeschutz.

Zusätzlich sind Anforderungen an die Anlagentechnik zu erfüllen. Neben den Detailregelungen zur Inbetriebnahme von Heizkesseln, zu Klimaanlage und sonstigen Anlagen der Raumlufttechnik fordert die EnEV 2014 Mindestdicken für Wärmedämmschichten von Verteilungsleitungen und Armaturen (Tab. 5.10).

Des Weiteren enthält die EnEV 2014 Regelungen für bestehende Gebäude und Anlagen u. a. bei Änderung, Erweiterung und Ausbau von Gebäuden sowie zur Nachrüstung von Anlagen und Gebäuden.

Die Bilanzierung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p umfasst neben den bautechnischen Eigenschaften die Verluste aus folgenden anlagentechnischen Komponenten:

- Heizungstechnik
- Kühltechnik
- Raumlufttechnik
- Warmwasserversorgung
- Beleuchtungstechnik (nur bei Nichtwohngebäuden)

Tab. 5.10: Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen, Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen gemäß EnEV 2014 [5.11]

Zeile	Art der Leitungen/Armaturen	d_{\min} [mm] ¹⁾
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20
2	Innendurchmesser über 22 mm bis 35 mm	30
3	Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm	= Innendurchmesser
4	Innendurchmesser über 100 mm	100
5	Leitungen und Armaturen nach den Zeilen 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsnetzverteilern	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
6	Wärmeverteilungsleitungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach dem 31. Januar 2002 in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
7	Leitungen nach Zeile 6 im Fußbodenaufbau	6
8	Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen	6

¹⁾ Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(mK)

Die wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen zum energiesparenden Wärmeschutz werden im Energieausweis festgehalten. Für zu errichtende Gebäude wird der Energieausweis auf Grundlage eines berechneten Energiebedarfs ausgestellt. Für bestehende Gebäude kann der Energieausweis in vielen Fällen auch auf Grundlage eines gemessenen Energieverbrauchs ausgestellt werden. Inhalt und Aufbau von Energieausweisen entsprechen den in der EnEV 2014 vorgegebenen Mustern. Die Gültigkeitsdauer von Energieausweisen beträgt zehn Jahre.

Ausnahmen und Befreiungen von den Vorschriften der EnEV 2014 können auf Antrag von den zuständigen Behörden in folgenden Fällen zugelassen werden:

- Bei Erreichen der Anforderungen im gleichen Umfang durch andere als in der EnEV 2014 vorgesehene Maßnahmen.
- Wenn die Anforderungen durch unangemessenen Aufwand zu einer unbilligen Härte führen würden, d. h. die erforderlichen Aufwendungen können durch die Einsparungen nicht wieder erwirtschaftet werden.

Sofern bei Baudenkmalern oder sonstiger erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen der EnEV die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen würden, kann von den Anforderungen abgewichen werden.

Soll der Energiebedarf gegenüber den Anforderungen der EnEV weiter gesenkt werden, bedürfen die Einsparungsmöglichkeiten noch strengerer Beachtung:

- Kompakte, bei Einfamilienhäusern verdichtete Bauweise
- Weitere Verbesserung des Wärmeschutzes der Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche
- Konsequenter Vermeidung von Wärmebrücken
- Optimierung der Luftdichtheit der Gebäudehülle
- Bessere Nutzung passiver Energiegewinne aus der Solarstrahlung, vor allem auch bei der städtebaulichen Planung
- Effizientere Anlagentechnik für Heizung, Kühlung, Trinkwassererwärmung und Lüftung
- Sparsamere Beleuchtungstechnik
- Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Primärenergetisch sinnvoller Energieträger und Nutzung erneuerbarer Energiequellen

Die Auflistung macht deutlich, dass zur weiteren Energieeinsparung in Gebäuden eine Reihe zusätzlicher Maßnahmen erforderlich ist und diese Aufgabe nicht durch eine besonders intensive Nutzung einzelner Maßnahmen gelöst werden kann. Vielmehr ist – und das gilt auch für die ökonomische Betrachtung – eine ganzheitliche Optimierung erforderlich, bei der auch die Wechselwirkungen der einzelnen bau- und anlagentechnischen Maßnahmen unter Beachtung des Primärenergieträgers untereinander einbezogen werden müssen.

Der tatsächliche Energieverbrauch wird wesentlich durch das Heiz- und Lüftungsverhalten des Nutzers bestimmt. Unterschiede zwischen berechnetem Energiebedarf und gemessenem Energieverbrauch können immer wieder festgestellt werden. Beobachtungen an Wohngebäuden zeigen, dass der Energiebedarf meistens höher ist als der Energieverbrauch, wobei der Unterschied mit zunehmender Gebäudegröße tendenziell abnimmt [5.2].

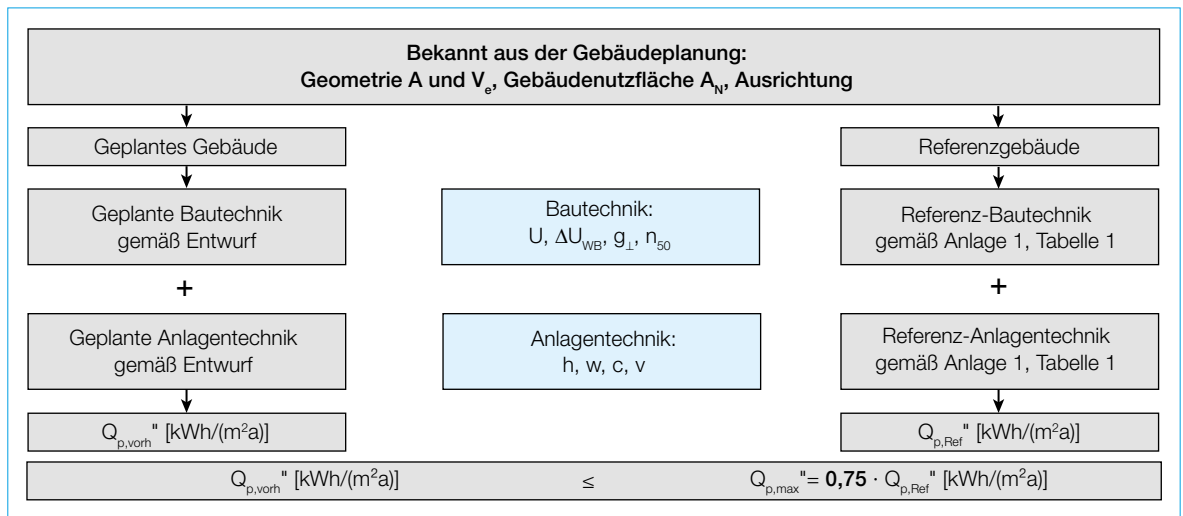
Dies zeigt, dass der Energieverbrauch im Einzelfall nicht unbedingt mit einem durch Berechnung oder Simulation ermittelten Sollwert übereinstimmen muss. Andererseits wird es dem Nutzer in Gebäuden mit sehr niedrigem Energiebedarf leicht gemacht, sich energiesparend zu verhalten. So bewirken z. B. die vergleichsweise hohen Oberflächentemperaturen der Außenwände, Fenster, Böden und Decken bzw. Dächer einen thermischen Komfort, der in weniger gut gedämmten Gebäuden durch hohe Raumlufttemperaturen angestrebt, aber dennoch nicht erreicht wird. Ähnlich verhält es sich mit der kontrollierten Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung. Sie sorgt für einen gleichmäßigen Luftwechsel, stellt immer eine ausreichende Menge Frischluft bereit und hält die Lüftungswärmeverluste niedrig.

5.5.2 Zu errichtende Wohngebäude

Wohngebäude sind als Gebäude definiert, die überwiegend dem Wohnen dienen. Hierzu zählen auch Wohn-, Alten- und Pflegeheime sowie ähnliche Einrichtungen. Höchstwerte für den gebäudenutzflächenbezogenen Jahres-Primärenergiebedarf Q_p zu errichtender Wohngebäude werden mit Hilfe eines sogenannten Referenzgebäudeverfahrens ermittelt (Abb. 5.4).

Nach Festlegung der geplanten wärmeübertragenden Umfassungsfläche A , des geplanten Gebäudevolumens V_g und der geplanten Ausrichtung wird mit vorgegebenen Daten zur bau- und anlagentechnischen

Abb. 5.4: Nachweis des Jahres-Primärenergiebedarfs $Q_{p, \text{vorh}}$ gemäß EnEV 2014 [5.11]



Ausstattung gemäß EnEV 2014 (Tab. 5.11) der Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p, \text{Ref}}$ eines Referenzgebäudes ermittelt. Dieser Wert wird mit dem Faktor 0,75 multipliziert und das Ergebnis stellt den höchsten zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p, \text{max}}$ dar.

Die Bautechnik wird durch folgende Größen beschrieben:

- Wärmedurchgangskoeffizient U
- Wärmebrückenzuschlagskoeffizient ΔU_{WB}
- Gesamtenergiedurchlassgrad g_L
- Luftwechselrate n_{50} bei 50 Pa Druckdifferenz

Hinsichtlich der Anlagentechnik listet die EnEV 2014 alle technischen Merkmale zu den Bereichen Heizung (h), Trinkwarmwasserbereitung (w), Kühlung (c) und Lüftung (v) auf.

Bei den detaillierten Angaben zum Referenzgebäude handelt es sich nicht um Anforderungen, die bei der bau- und anlagentechnischen Ausstattung im Einzelnen einzuhalten sind, sondern um Größen, die nur dazu dienen, den maximal zulässigen Primärenergiebedarf zu berechnen. Im Vergleich dazu wird für das geplante Gebäude mit der vorgesehenen bau- und anlagentechnischen Ausstattung der Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p, \text{vorh}}$ berechnet, der den aus dem Referenzgebäudeverfahren und der 25-prozentigen

Absenkung ermittelten Maximalwert $Q_{p, \text{max}}$ nicht überschreiten darf.

Für bestimmte, nicht gekühlte Wohngebäude kann der Nachweis des energiesparenden Wärmeschutzes auch auf vereinfachte Weise geführt werden. Dabei werden Wohngebäude mit definierten bau- und anlagentechnischen Varianten beschrieben, die die Anforderungen hinsichtlich des Jahres-Primärenergiebedarfs, des spezifischen gebäudehüllflächenbezogenen Transmissionswärmeverlusts und des sommerlichen Wärmeschutzes erfüllt. Die Bekanntmachung der Gebäude erfolgt im Bundesanzeiger [5.18]. Dieses vereinfachte Verfahren eignet sich insbesondere für die Vordimensionierung der bau- und anlagentechnischen Ausstattung eines Gebäudes im Planungsstadium sowie zur Kostenschätzung.

Hinsichtlich der wärmetechnischen Qualität der Gebäudehülle darf der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust $H_{T, \text{max}}$ eines zu errichtenden Wohngebäudes den entsprechenden Wert des jeweiligen Referenzgebäudes nicht überschreiten. Ergänzend gilt die Forderung, dass die jeweiligen Werte gemäß Tab. 5.12 nicht überschritten werden. Der vorhandene Wert für $H_{T, \text{vorh}}$ wird aus den vorgesehenen bautechnischen Eigenschaften des Gebäudes ermittelt.

Tab. 5.12: Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts gemäß EnEV 2014 [5.11]

Zeile	Gebäudetyp		$H_{T, \text{max}}$ [W/(m ² K)]
1	Freistehendes Wohngebäude	mit $A_N \leq 350 \text{ m}^2$	0,40
		mit $A_N > 350 \text{ m}^2$	0,50
2	Einseitig angebautes Wohngebäude*		0,45
3	Alle anderen Wohngebäude		0,65
4	Erweiterungen und Ausbauten von Wohngebäuden gemäß EnEV § 9 (5)		0,65

* Einseitig angebaut ist ein Wohngebäude, wenn von den vertikalen Flächen dieses Gebäudes, die nach einer Himmelsrichtung weisen, ein Anteil von 80 % oder mehr an ein anderes Wohngebäude oder an ein Nichtwohngebäude mit einer Raum-Solltemperatur von mindestens 19 °C angrenzt.

Zeile	Bauteil/System	Referenzausführung/Wert
1.0	Der aus einem der in Anlage 1, Nummer 2.1 der EnEV 2014 angegebenen Verfahren berechnete Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes nach den Zeilen 1.1 bis 8 ist für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren. § 28 der EnEV bleibt unberührt.	
1.1	Außenwand (einschließlich Einbauten wie Roll-ladenkästen), Geschossdecke gegen Außenluft	$U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
1.2	Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu ungeheizten Räumen	$U = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
1.3	Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	$U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
1.4	Fenster, Fenstertüren	$U_w = 1,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
		$g_{\perp} = 0,60$
1.5	Dachflächenfenster	$U_w = 1,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
		$g_{\perp} = 0,60$
1.6	Lichtkuppeln	$U_w = 2,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
		$g_{\perp} = 0,64$
1.7	Außentüren	$U = 1,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
2	Bauteile nach den Zeilen 1.1 bis 1.7	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
3	Luftdichtheit der Gebäudehülle	<ul style="list-style-type: none"> ■ n_{50} gemäß DIN V 4108-6: 2003-06: mit Dichtheitsprüfung ■ n_{50} gemäß DIN V 18599-2: 2011-02: nach Kategorie I
4	Sonnenschutzvorrichtung	keine im Rahmen der Nachweise nach Nummer 2.1.1 oder 2.1.2 anzurechnende Sonnenschutzvorrichtung
5	Heizungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wärmeerzeugung Brennwertkessel (verbessert), Heizöl EL Aufstellung: <ul style="list-style-type: none"> ■ $A_N \leq 500 \text{ m}^2$: innerhalb der thermischen Hülle ■ $A_N > 500 \text{ m}^2$: außerhalb der thermischen Hülle ■ Wärmeverteilung: Auslegungstemperatur 55/45° C, zentrales Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge und Anbindeleitungen, Standard-Leitungslängen nach DIN V 4701-10: 2003-08 Tabelle 5.3-2, Pumpe auf Bedarf ausgelegt (geregelt, Δp konstant), Rohrnetz hydraulisch abgeglichen ■ Wärmeübergabe: freie statische Heizfläche, Anordnung an normaler Außenwand, Thermostatventile mit Proportionalbereich 1 K
6	Anlage zur Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wärmeerzeugung und Wärmespeicherung: zentral, gemeinsame Wärmebereitung mit Heizungsanlage nach Zeile 5 <ul style="list-style-type: none"> ■ bei Berechnung nach Nummer 2.1.1: Solaranlage mit Flachkollektor sowie Speicher ausgelegt gemäß DIN V 18599-8: 2011-12 Tabelle 15 ■ bei Berechnung nach Nummer 2.1.2: Solaranlage mit Flachkollektor zur ausschließlichen Trinkwassererwärmung entsprechend den Vorgaben nach DIN V 4701-10: 2003-08 Tabelle 5.1-10 mit Speicher, indirekt beheizt (stehend), gleiche Aufstellung wie Wärmeerzeuger, <ul style="list-style-type: none"> ■ kleine Solaranlage bei $A_N \leq 500 \text{ m}^2$ (bivalenter Solar-speicher) ■ große Solaranlage bei $A_N > 500 \text{ m}^2$ ■ Wärmeverteilung: Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge, gemeinsame Installationswand, Standard-Leitungslängen nach DIN V 4701-10: 2003-08, Tabelle 5.1-2, mit Zirkulation
7	Kühlung	keine Kühlung
8	Lüftung	zentrale Abluftanlage, bedarfsgeführt mit geregelter DC-Ventilator

Tab. 5.11: Ausführung des Referenzgebäudes (Wohngebäude) gemäß EnEV 2014 [5.11]

Zur Ermittlung des Energiebedarfs von Wohngebäuden gemäß EnEV 2014 stehen zwei Nachweisverfahren zur Auswahl. Zum einen können die älteren bekannten Normen DIN V 4108-6 [5.6.3] für die bautechnische Bewertung und DIN V 4701-10 [5.7.1] für die anlagentechnische und primärenergetische Bewertung verwendet werden.

Alternativ dazu kann der Nachweis des Energiebedarfs gemäß der jüngeren DIN V 18599 [5.9] durchgeführt werden. Diese Norm enthält alle Berechnungsgrundlagen, die für die energetische Bewertung von Gebäuden einschließlich aller bau- und anlagentechnischen Eigenschaften erforderlich sind.

Energetische Bewertung gemäß DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10

Mit Hilfe der DIN V 4108-6 wird im Rahmen eines Monatsbilanzverfahrens der Jahres-Heizwärmebedarf Q_h ermittelt. Zunächst werden für jeden Monat die Wärmeverluste aus Transmission Q_T und Lüftung Q_V sowie unter Berücksichtigung eines Ausnutzungsgrades η die solaren Wärmegewinne Q_s und internen Wärmegewinne Q_i bilanziert:

$$Q_{h, \text{Monat}} = (Q_{T, \text{Monat}} + Q_{V, \text{Monat}}) - \eta (Q_{s, \text{Monat}} + Q_{i, \text{Monat}}) \quad \text{Gl. (5.7)}$$

Alle positiven monatlichen Werte für $Q_{h, \text{Monat}}$ werden zum Jahres-Heizwärmebedarf Q_h addiert:

$$Q_h = \sum (Q_{h, \text{Monat}})_{\text{pos}} \quad \text{Gl. (5.8)}$$

Dabei wird der Transmissionswärmeverlust $Q_{T, \text{Monat}}$ aus einem Umrechnungsfaktor, dem spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T , der Differenz zwischen der Raumlufttemperatur θ_i und der mittleren monatlichen Außenlufttemperatur $\theta_{e, \text{Monat}}$ sowie der Anzahl der Tage t_{Monat} des betreffenden Monats berechnet:

$$Q_{T, \text{Monat}} = 0,024 \cdot H_T \cdot (\theta_i - \theta_{e, \text{Monat}}) \cdot t_{\text{Monat}} \quad \text{Gl. (5.9)}$$

Der spezifische Transmissionswärmeverlust H_T umfasst die Berücksichtigung der flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten U , der Bauteilflächen A , der Temperatur-Korrekturfaktoren F_x und des spezifischen Transmissionswärmeverlusts $H_{T, \text{WB}}$ an Wärmebrücken (s. Abschnitt 5.5.4):

$$H_T = \sum (U_i \cdot A_i \cdot F_{x,i}) + H_{T, \text{WB}} \quad \text{Gl. (5.10)}$$

Der Lüftungswärmeverlust $Q_{V, \text{Monat}}$ wird unter Beachtung des spezifischen Lüftungswärmeverlusts H_V berechnet, welcher u. a. von der Gebäudedichtheit (s. Abschnitt 5.5.4) abhängig ist:

$$Q_{V, \text{Monat}} = 0,024 \cdot H_V \cdot (\theta_i - \theta_{e, \text{Monat}}) \cdot t_{\text{Monat}} \quad \text{Gl. (5.11)}$$

Solare Wärmegewinne Q_s werden für transparente und opake Bauteile erfasst:

$$Q_{s, \text{tr}, \text{Monat}} = 0,024 \cdot \sum (A_i \cdot g_i \cdot F_{F_i} \cdot F_{S_i} \cdot F_{C_i} \cdot I_{s,i, \text{Monat}}) \cdot t_{\text{Monat}} \quad \text{Gl. (5.12)}$$

$$Q_{s, \text{op}, \text{Monat}} = 0,024 \cdot \sum (A_i \cdot U_i \cdot R_e \cdot (\alpha_{s,i} \cdot I_{s,i, \text{Monat}} - F_{f,i} \cdot h_{r,i} \cdot \Delta\theta_{er})) \cdot t_{\text{Monat}} \quad \text{Gl. (5.13)}$$

A:	Bauteilfläche	[m ²]
F _F :	Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil	[-]
F _f :	Formfaktor zwischen Bauteil und Himmel	[-]
F _w :	Abminderungsfaktor infolge nicht senkrechten Strahlungseinfalls	[-]
F _s :	Abminderungsfaktor infolge Verschattung	[-]
F _c :	Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen	[-]
g:	Wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad	[-]
	$g = F_w \cdot g_{\perp}$	
g _⊥ :	Gesamtenergiedurchlassgrad bei senkrechtem Strahlungseinfall	[-]
h _i :	Äußerer Abstrahlungskoeffizient	[W/(m ² K)]
I _s :	Mittlere, monatliche Strahlungsintensität der Sonne	[W/m ²]
R _e :	Äußerer Wärmeübergangswiderstand	[m ² K/W]
U:	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/(m ² K)]
α _s :	Absorptionsgrad an opaken Oberflächen	[-]
Δθ _{er} :	Temperaturdifferenz Außenluft/Himmel	[K]

Die internen Wärmegewinne $Q_{i, \text{Monat}}$ werden aus einem Umrechnungsfaktor, den nutzflächenbezogenen internen Bruttowärmeströmen von insgesamt $q_i = 5 \text{ W/m}^2$, der Gebäudenutzfläche A_N und der Anzahl der Tage des Monats t_{Monat} ermittelt:

$$Q_{i, \text{Monat}} = 0,024 \cdot 5 \text{ W/m}^2 \cdot A_N \cdot t_{\text{Monat}} \quad \text{Gl. (5.14)}$$

Im Anschluss an die Bilanzierung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_h aus den Wärmeverlusten, den

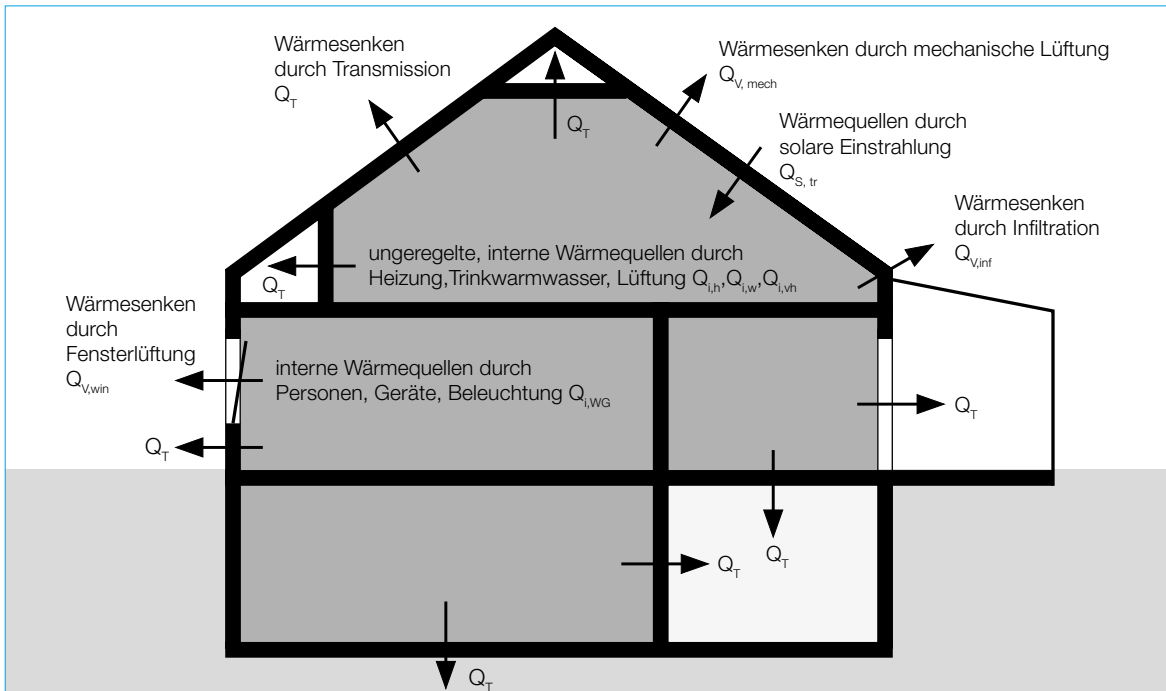


Abb. 5.5: Wärmesenken und Wärmequellen zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs von Gebäuden

Wärmegewinnen und dem Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne nach Gl. 5.7 (Abb. 5.5) ist als weitere Nutzenergie der Energiebedarf für die Trinkwarmwasserbereitung in einer Größe von $Q_w = 12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zu berücksichtigen. Weiterhin wirken sich die Verluste der Anlagentechnik in den Prozessbereichen Erzeugung Q_{gen} , Speicherung Q_s , Verteilung Q_d und Übergabe Q_{ce} sowie die Art des eingesetzten Primärenergieträgers über einen Primärenergiefaktor f_p auf die energetische Bewertung des Gebäudes aus (Abb. 5.6). DIN V 4701-10 fasst die anlagentechnischen Verluste und die Bewertung des Energieträgers

zur primärenergetischen Anlagenaufwandszahl e_p zusammen. Abschließend wird der Jahres-Primärenergiebedarf bilanziert:

$$Q_p = (Q_h + Q_w) \cdot e_p \quad \text{Gl. (5.15)}$$

Energetische Bewertung gemäß DIN V 18599

DIN V 18599 [5.9] bietet ein standardisiertes Verfahren, mit dem bautechnische Eigenschaften sowie die komplexen Systeme der Anlagentechnik für Heizen,

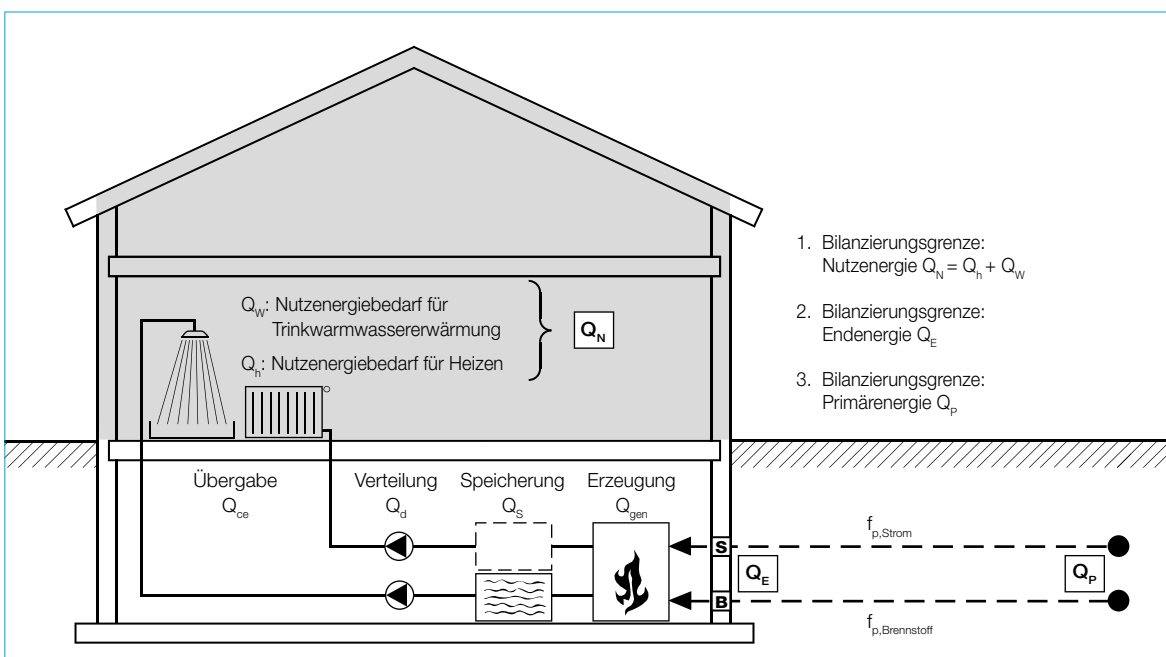


Abb. 5.6: Bilanzierungsgrenzen zur Berechnung des Energiebedarfs von Wohngebäuden

Kühlen, Lüften, Klimatisieren und Beleuchten unter energetischen Gesichtspunkten berechnet und damit vergleichbar gemacht werden können. In mehreren Teilen und Beiblättern wird jeweils ein inhaltlicher Schwerpunkt behandelt. Dabei werden der Baukörper, die Gebäudenutzung sowie die Anlagentechnik der verschiedenen Bereiche in ihren gegenseitigen Wechselwirkungen berücksichtigt. Die Norm kann sowohl als Planungsinstrument für die energetische Optimierung von zu errichtenden Wohn- und Nichtwohngebäuden herangezogen werden als auch für die energetische Bewertung von Bestandsgebäuden.

Neben den Berechnungsverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Energiemengen, die zum Heizen, Kühlen und Belüften eines Gebäudes benötigt werden, legt DIN V 18599 auch nutzungsbezogene Randbedingungen für eine definierte Ermittlung des Energiebedarfes fest. Diese variieren im Vergleich zur Berechnungsmethode nach DIN V 4108-6/DIN V 4701-10 z. B. beim Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasserbereitung und den anzusetzenden internen Wärmegewinnen.

Der Umfang der Berechnungen hinsichtlich Zonierung und Anlagentechnik unterscheidet sich bei Wohngebäuden deutlich von Nichtwohngebäuden. Wohngebäude haben nur eine beheizte Zone. Weiterhin wird weder die Beleuchtung noch der Bereich der raumluftechnischen Anlagen und Klimakältesysteme mit in die energetische Bilanzierung aufgenommen.

In Teil 2 der Norm erfolgt die Bilanzierung des Nutzenergiebedarfs für Heizen $Q_{h,b}$ (heating system) und Kühlen $Q_{c,b}$ (cooling system). Für die Trinkwarmwasserbereitung ergibt sich ein Nutzenergiebedarf $Q_{w,b}$ (domestic hot water system) nach den Randbedingungen aus Teil 10. Die Wohnraumlüftung hat einen Nutzenergiebedarf $Q_{rv,b}$ (residential ventilation), der in Teil 6 ermittelt wird. Die Bewertung der Anlagenkomponenten für die Prozessbereiche Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung erfolgt getrennt nach:

- Heizsystem (Teil 5)
- Wohnungslüftungssystem (Teil 6)
- Trinkwarmwasserbereitung (Teil 8)

Alle benötigten Randbedingungen, bezogen auf die Nutzung, werden in Teil 10 festgelegt. Teil 1 führt die einzelnen Energieanteile schließlich zusammen und es erfolgt die Gesamtbilanzierung. Nach EnEV 2014 ist im Rahmen des öffentlich-rechtlichen Nachweisverfahrens die Ausgabe der Norm aus dem Jahr

2011 zu verwenden. Inzwischen liegt eine neue Ausgabe aus dem Jahr 2016 vor, auf die voraussichtlich mit einer Weiterentwicklung der Vorschriften zum energiesparenden Wärmeschutz Bezug genommen werden wird.

Energieausweis

Die Berechnungsergebnisse der Energiebedarfsbilanzierung sind Bestandteil des Energieausweises (Abb. 5.7). Der Energieausweis für zu errichtende Wohngebäude enthält insgesamt folgende Angaben:

- Gültigkeitsdatum
- Registriernummer
- Beschreibung des Gebäudes
- Angaben über die wesentlichen Energieträger für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung
- Angaben zur Verwendung erneuerbarer Energien
- Angaben zur Art der Lüftung und Kühlung
- Anlass zur Ausstellung des Energieausweises
- Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes
- Hinweise zur Verwendung des Energieausweises
- Berechneter Energiebedarf des Gebäudes und Anforderungen gemäß EnEV 2014 (Endenergiebedarf, Primärenergiebedarf sowie spezifischer, gebäudehüllflächenbezogener Transmissionswärmeverlust) und Energieeffizienzklasse
- Für Energiebedarfsberechnungen verwendetes Verfahren (DIN V 4108-6/DIN V 4701-10, DIN V 18599), vereinfachtes Verfahren Neubau, Vereinfachung Altbau)
- In Zusammenhang mit dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz Angaben zu Art und Deckungsanteil der eingesetzten erneuerbaren Energien bzw. zu gewählten Ersatzmaßnahmen
- Vergleichswerte zum Endenergiebedarf
- Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

5.5.3 Zu errichtende Nichtwohngebäude

Nichtwohngebäude sind alle Gebäude, die nicht den Wohngebäuden zugeordnet werden können. Anhand eines sogenannten Referenzgebäudes wird ähnlich wie bei Wohngebäuden der Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,Ref}$ ermittelt. Dabei ist das Referenzgebäude in folgenden Punkten gleichermaßen beschaffen wie

Abb. 5.7: Energieausweis für Wohngebäude (Auszug) gemäß EnEV 2014 [5.11]

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 1

Registrierungsnummer 2 (oder: „Registrierungsnummer wurde beantragt am...“) 1

Gültig bis:

Gebäude		Gebäudefoto (freiwillig)
Gebäudetyp		
Adresse		
Gebäudeteil		
Baujahr Gebäude 3		
Baujahr Wärmeerzeuger 3,4		
Anzahl Wohnungen		
Gebäudenutzfläche (A _h)	<input type="checkbox"/> nach § 19 EnEV aus der Wohnfläche ermittelt	
Wesentliche Energieträger für Heizung und Warmwasser 5		
Erneuerbare Energien	Art: Verwendung:	
Art der Lüftung/Kühlung <input type="checkbox"/> Fensterlüftung <input type="checkbox"/> Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung <input type="checkbox"/> Anlage zur Schächtlüftung <input type="checkbox"/> Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung <input type="checkbox"/> Kühlung		
Anlass der Ausstellung des Energieausweises <input type="checkbox"/> Neubau <input type="checkbox"/> Modernisierung <input type="checkbox"/> Sonstiges (freiwillig) <input type="checkbox"/> Vermietung/Verkauf (Änderung/Erweiterung)		

Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes

Die energetische Qualität eines Gebäudes kann durch die Berechnung des **Energiebedarfs** unter Annahme von standardisierten Randbedingungen oder durch die Auswertung des **Energieverbrauchs** ermittelt werden. Als Bezugsfläche dient die energetische Gebäudenutzfläche nach der EnEV, die sich in der Regel von den allgemeinen Wohnflächenangaben unterscheidet. Die angegebenen Vergleichswerte sollen überschlägige Vergleiche ermöglichen (**Erläuterungen – siehe Seite 5**). Teil des Energieausweises sind die Modernisierungsempfehlungen (Seite 4).

Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Berechnungen des Energiebedarfs erstellt (Energiebedarfsausweis). Die Ergebnisse sind auf Seite 2 dargestellt. Zusätzliche Informationen zum Verbrauch sind freiwillig.

Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Auswertungen des Energieverbrauchs erstellt (Energieverbrauchsausweis). Die Ergebnisse sind auf Seite 3 dargestellt.

Datenerhebung Bedarf/Verbrauch durch Eigentümer Aussteller

Dem Energieausweis sind zusätzliche Informationen zur energetischen Qualität beigelegt (freiwillige Angabe).

Hinweise zur Verwendung des Energieausweises

Der Energieausweis dient lediglich der Information. Die Angaben im Energieausweis beziehen sich auf das gesamte Wohngebäude oder den oben bezeichneten Gebäudeteil. Der Energieausweis ist lediglich dafür gedacht, einen überschlägigen Vergleich von Gebäuden zu ermöglichen.

Aussteller Ausstellungsdatum Unterschrift des Ausstellers

1 Datum der angewendeten EnEV, gegebenenfalls angewendeten Änderungsverordnung zur EnEV 2 Bei nicht rechtzeitiger Zuteilung der Registrierungsnummer (§ 17 Absatz 4 Satz 4 und 5 EnEV) ist das Datum der Antragstellung einzutragen; die Registrierungsnummer ist nach dem Eingang nachträglich einzusetzen. 3 Mehrfachangaben möglich 4 bei Wärmenetzen Baujahr der Übergabestation

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 1

Registrierungsnummer 2 (oder: „Registrierungsnummer wurde beantragt am...“) 2

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

Energiebedarf CO₂-Emissionen 3 kg/(m²·a)

Endenergiebedarf dieses Gebäudes
kWh/(m²·a)

A+	A	B	C	D	E	F	G	H		
0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	>250

Primärenergiebedarf dieses Gebäudes
kWh/(m²·a)

Anforderungen gemäß EnEV 4 Für Energiebedarfsberechnungen verwendetes Verfahren

Primärenergiebedarf
Ist-Wert kWh/(m²·a) Anforderungswert kWh/(m²·a) Verfahren nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10

Energetische Qualität der Gebäudehülle H_t
Ist-Wert W/(m²·K) Anforderungswert W/(m²·K) Verfahren nach DIN V 18599

Sommerlicher Wärmeschutz (bei Neubau) eingehalten Vereinfachungen nach § 9 Absatz 2 EnEV

Endenergiebedarf dieses Gebäudes
(Pflichtangabe in Immobilienanzeigen) kWh/(m²·a)

Angaben zum EEWärmeG 5

Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kältebedarfs auf Grund des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG)

Art: Deckungsanteil: %

Ersatzmaßnahmen 6

Die Anforderungen des EEWärmeG werden durch die Ersatzmaßnahmen nach § 7 Absatz 1 Nummer 2 EEWärmeG erfüllt.

Die nach § 7 Absatz 1 Nummer 2 EEWärmeG verschärften Anforderungswerte der EnEV sind eingehalten.

Die in Verbindung mit § 8 EEWärmeG um % verschärften Anforderungswerte der EnEV sind eingehalten.

Verschärfter Anforderungswert Primärenergiebedarf kWh/(m²·a)

Verschärfter Anforderungswert für die energetische Qualität der Gebäudehülle H_t W/(m²·K)

Vergleichswerte Endenergie

A+	A	B	C	D	E	F	G	H		
0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	>250

1 siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises 2 siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises 3 freiwillige Angabe 4 nur bei Neubau sowie bei Modernisierung im Fall des § 16 Absatz 1 Satz 3 EnEV 5 nur bei Neubau 6 EPH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus 7

Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Die Energieeinsparverordnung lässt für die Berechnung des Energiebedarfs unterschiedliche Verfahren zu, die im Einzelfall zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Insbesondere wegen standardisierter Randbedingungen erlauben die angegebenen Werte keine Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Die ausgewiesenen Bedarfswerte der Skala sind spezifische Werte nach der EnEV pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A_h), die im Allgemeinen größer ist als die Wohnfläche des Gebäudes.

das geplante Gebäude: Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung. Bezüglich der bau- und anlagentechnischen Komponenten wird das Referenzgebäude nach Vorgaben der EnEV 2014 bewertet. Eine umfangreiche Tabelle (EnEV 2014 Anlage 2 Tabelle 1) enthält die zur Ermittlung von Q_{p,Ref} notwendigen Daten zu folgenden Systemkomponenten:

- Wärmedurchgangskoeffizient U von Bauteilen
- Wärmebrückenzuschlagskoeffizient ΔU_{WB}
- Gesamtenergiedurchlassgrad g_l und Lichttransmissionsgrad τ_{D65} der Verglasung von Fenstern, Fenstertüren, Dachflächenfenstern, Lichtbändern, Lichtkuppeln, Glasdächern und Vorhangfassaden
- Bemessungswert der Luftwechselrate n₅₀ für die Bewertung der Luftdichtheit
- Tageslichtversorgungsfaktor C_{TL,Vers,SA} bei Sonnen- und/oder Blendschutz
- Sonnenschutzvorrichtung
- Beleuchtungsart (direkt/indirekt, Vorschaltgerät, stabförmige Leuchtstofflampe)
- Regelung der Beleuchtung (Präsenzkontrolle, tageslichtabhängige Kontrolle, Konstantlichtregelung)
- Heizung (Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Wärmeübergabe)

- Warmwasser (zentral oder dezentral, Wärmeerzeugung, Wärmespeicherung, Wärmeverteilung)
- Raumlufttechnik (Abluftanlage, Zu- und Abluftanlage, Luftbefeuchtung, Nur-Luft-Klimaanlage)
- Raumkühlung (Kältesystem, Kaltwasserkreis)
- Kälteerzeugung

Der höchstens zulässige Primärenergiebedarf Q_{p,max} beträgt das 0,75-fache des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes Q_{p,Ref}.

Berechnet werden der maximale und der vorhandene Jahres-Primärenergiebedarf von Nichtwohngebäuden nach dem Rechenverfahren der DIN V 18599. Außer dem Primärenergiebedarf Q_p wird auch der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient \bar{U} bestimmter Bauteile in Abhängigkeit von der Raum-Solltemperatur der jeweiligen Gebäudezone begrenzt (Tab. 5.13).

Da das Nutzungsprofil von Nichtwohngebäuden einen großen Einfluss auf den Energiebedarf hat, ist ein Gebäude vor Berechnungsbeginn gemäß Teil 1 der Norm in Zonen aufzuteilen, falls die Art der Nutzung von Räumen deutlich voneinander abweicht (Abb. 5.8). Unterschiedliche Bereiche eines Gebäudes, die ähnliche Nutzenergienmengen bzw. im Falle der Heizung/Kühlung ähnliche Wärmequellen und

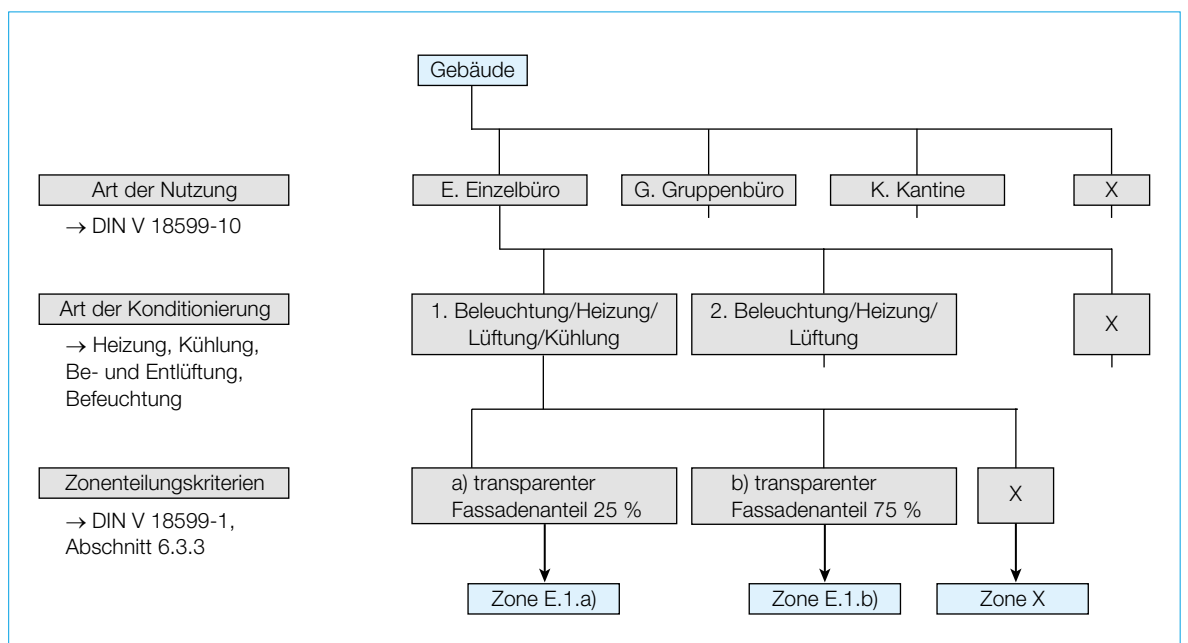
Tab. 5.13: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} bestimmter Bauteile (Nichtwohngebäude) gemäß EnEV 2014 [5.11]

Zeile	Bauteil/System	Anforderungsniveau	\bar{U} [W/(m ² K)] ¹⁾	
			Zonen mit $\theta_{h,soll} \geq 19\text{ °C}$	Zonen mit $12\text{ °C} \leq \theta_{h,soll} < 19\text{ °C}$
Gemäß Anlage 2 Nr. 1.3 der EnEV: Für Gebäudezonen mit mehr als 4 m Raumhöhe, die durch dezentrale Gebläse- oder Strahlungsheizungen beheizt werden, gilt das Anforderungsniveau nach Zeilen 1a, 2a, 3a und 4a.				
1a	Opake Bauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	nach EnEV 2009	$\bar{U} = 0,35\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$\bar{U} = 0,50\text{ W/(m}^2\text{K)}$
1b		für Neubauvorhaben bis zum 31.12.2015	$\bar{U} = 0,35\text{ W/(m}^2\text{K)}$	
1c		für Neubauvorhaben ab dem 01.01.2016	$\bar{U} = 0,28\text{ W/(m}^2\text{K)}$	
2a	Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	nach EnEV 2009	$\bar{U} = 1,9\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$\bar{U} = 2,8\text{ W/(m}^2\text{K)}$
2b		für Neubauvorhaben bis zum 31.12.2015	$\bar{U} = 1,9\text{ W/(m}^2\text{K)}$	
2c		für Neubauvorhaben ab dem 01.01.2016	$\bar{U} = 1,5\text{ W/(m}^2\text{K)}$	
3a	Vorhangfassade	nach EnEV 2009	$\bar{U} = 1,9\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$\bar{U} = 3,0\text{ W/(m}^2\text{K)}$
3b		für Neubauvorhaben bis zum 31.12.2015	$\bar{U} = 1,9\text{ W/(m}^2\text{K)}$	
3c		für Neubauvorhaben ab dem 01.01.2016	$\bar{U} = 1,5\text{ W/(m}^2\text{K)}$	
4a	Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	nach EnEV 2009	$\bar{U} = 3,1\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$\bar{U} = 3,1\text{ W/(m}^2\text{K)}$
4b		für Neubauvorhaben bis zum 31.12.2015	$\bar{U} = 3,1\text{ W/(m}^2\text{K)}$	
4c		für Neubauvorhaben ab dem 01.01.2016	$\bar{U} = 2,5\text{ W/(m}^2\text{K)}$	

¹⁾ Höchstwerte der nach Anlage 2 Nr. 2.3 der EnEV bestimmten Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten

Gemäß Nr. 2.3: Bei der Berechnung des Mittelwerts des jeweiligen Bauteils sind die Bauteile nach Maßgabe ihrer Flächenanteile zu berücksichtigen. Die Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen gegen unbeheizte Räume (außer Dachräumen) oder Erdreich sind zusätzlich mit dem Faktor 0,5 zu gewichten. Bei der Berechnung des Mittelwerts der an das Erdreich angrenzenden Bodenplatten bleiben die Flächen unberücksichtigt, die mehr als 5 m vom äußeren Rand des Gebäudes entfernt sind. Die Berechnung ist für Zonen mit unterschiedlichen Raum-Solltemperaturen im Heizfall getrennt durchzuführen.

Abb. 5.8: Zonierung von Nichtwohngebäuden gemäß DIN V 18599-1 [5.9.1]



Wärmesenken aufweisen, werden zu einer Zone zusammengefasst. Das wichtigste Merkmal für ähnliche Nutzenergie/Wärmequellen/Wärmesenken ist eine einheitliche Nutzung. Die Nutzungsrandbedingungen für Zonen werden Teil 10 der Norm entnommen.

Ergänzend ist bei gleicher Nutzung nur dann von ähnlichen Nutzenergien/Wärmequellen/Wärmesenken auszugehen, wenn die betroffenen Räume die gleiche Art der technischen Konditionierung aufweisen. Weichen die Arten der technischen Konditionierung deutlich voneinander ab, werden die Räume trotz gleicher Nutzung unterschiedlichen Zonen zugeordnet.

Zusätzlich zur Nutzung und Art der Konditionierung gibt es noch weitere Kriterien, die zu derart unterschiedlichen Nutzenergien/Wärmequellen/Wärmesenken führen können, so dass die betroffenen Räume nicht in einer gemeinsamen Energiebilanz abgebildet werden können. Diese zusätzlichen Zonen-teilungskriterien betreffen vor allem gekühlte Räume mit unterschiedlich hohen Glasflächenanteilen. Der Energiebedarf des Gebäudes ergibt sich aus der Summe des Energiebedarfs aller Gebäudezonen.

Die Bilanzierung des Energiebedarfs erfolgt in mehreren Schritten (Abb. 5.9).

- Feststellen der Nutzungsrandbedingungen, gegebenenfalls Zonierung des Gebäudes, Zusammenstellung der bau- und anlagentechnischen Eingangsdaten
- Ermittlung des Nutzenergiebedarfs und Endenergiebedarfs für die Beleuchtung sowie der Wärmequellen
- Ermittlung der Wärmequellen und -senken durch mechanische Lüftung
- Bestimmung der Wärmequellen und -senken aus Personen, Geräten und Prozessen
- Vorläufige Bilanzierung des Nutzwärme- und Nutzkältebedarfs
- Vorläufige Aufteilung der bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme RLT, Heizung, Kühlung
- Ermittlung der Wärmequellen durch Heizung sowie der Wärmequellen und -senken durch Kühlung
- Ermittlung der Wärmequellen durch Trinkwarmwasserbereitung
- Endgültige Bilanzierung des Nutzwärme- und Nutzkältebedarfs (Die Iteration mit den Schritten zwischen vorläufiger und endgültiger Bilanzierung des Nutzenergiebedarfs ist so lange zu wieder-

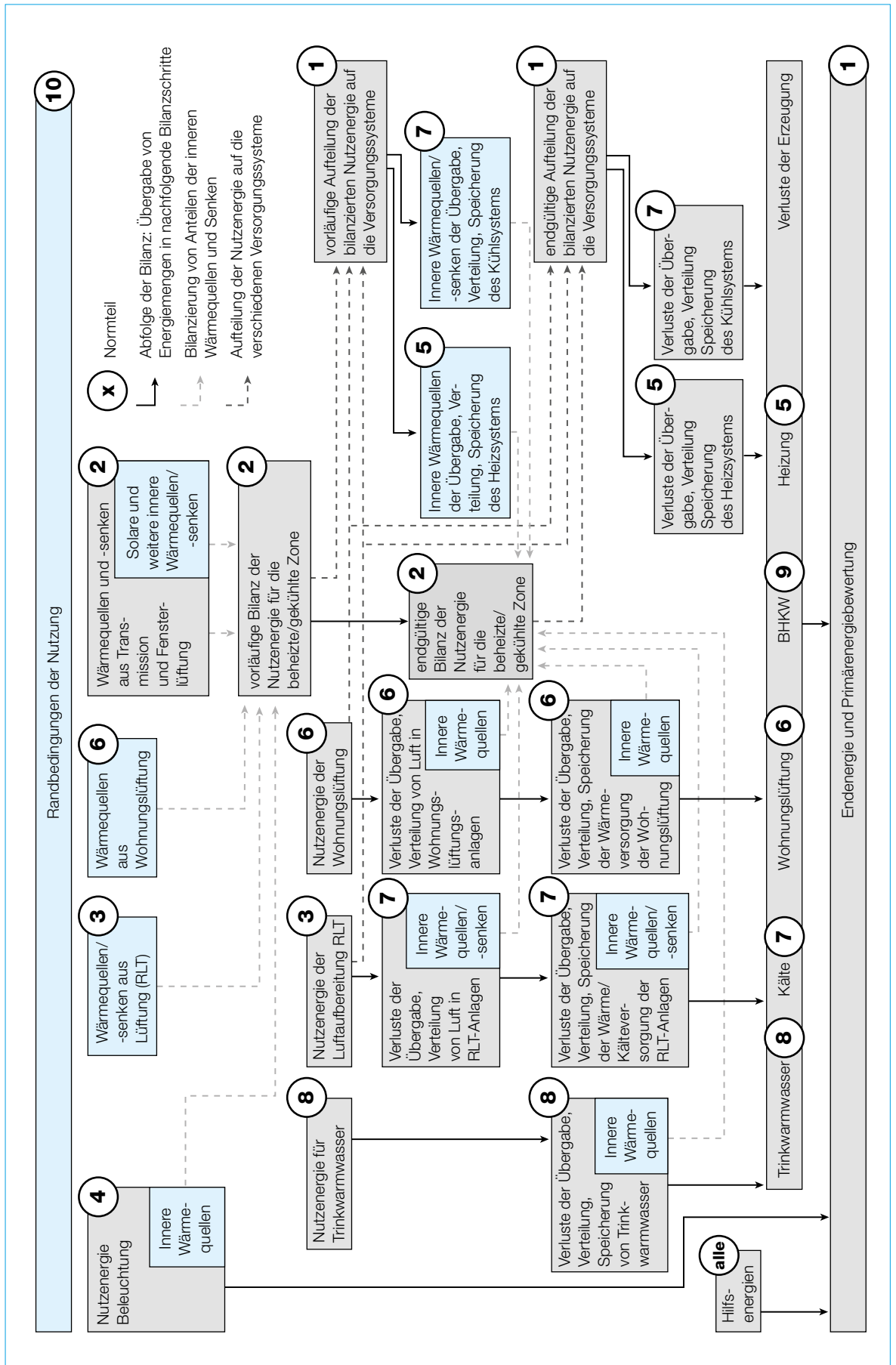
holen, bis zwei aufeinander folgende Ergebnisse für den Nutzwärmebedarf und den Nutzkältebedarf sich jeweils um nicht mehr als 0,1 % voneinander unterscheiden, jedoch höchstens zehn Schritte)

- Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für die Luftaufbereitung und gegebenenfalls Saldierung des Nutzkühlbedarfs
- Endgültige Aufteilung der bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme RLT, Heizung und Kühlung
- Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für Heizung (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers)
- Ermittlung der Verluste für Übergabe und Verteilung der luftführenden Systeme
- Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für die Wärmeversorgung einer RLT-Anlage (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers)
- Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für die Kälteversorgung (Nutzkälteabgabe des Erzeugers)
- Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für Trinkwarmwasserbereitung (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers)
- Aufteilung der notwendigen Nutzwärmeabgabe und Nutzkälteabgabe aller Erzeuger auf die unterschiedlichen Erzeugungssysteme
- Ermittlung der Verluste bei der Erzeugung von Kälte, Dampf und Wärme
- Zusammenstellung der ermittelten Hilfsenergien, Endenergien und Energieträger
- Primärenergetische Bewertung

Die Berechnungsergebnisse werden als „Gesamtenergieeffizienz“ im Energieausweis dargestellt (Abb. 5.10). Entsprechend dem Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 sind die Angaben im Energieausweis für Nichtwohngebäude insgesamt umfassender als bei Wohngebäuden. Der Energieausweis für zu errichtende Nichtwohngebäude enthält folgende Daten:

- Gültigkeit des Energieausweises
- Registriernummer
- Beschreibung des Gebäudes
- Angaben über die wesentlichen Energieträger für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung

Abb. 5.9: Bilanzierungsschritte und -verknüpfungen zur Ermittlung des Endenergie- und Primärenergiebedarfs von Nichtwohngebäuden gemäß DIN V 18599-1 [5.9.1]. Die Zahlen in den Kreisen beziehen sich auf den jeweiligen Normenteil



- Angaben zur Verwendung erneuerbarer Energien
- Angaben zur Art der Lüftung und Kühlung
- Anlass zur Ausstellung des Energieausweises
- Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes
- Hinweise zur Verwendung des Energieausweises
- Berechneter Energiebedarf des Gebäudes (Primärenergiebedarf)
- Vergleichswerte zum Primärenergiebedarf
- Nachweis der Anforderungen gemäß EnEV (Primärenergiebedarf und energetische Qualität der Gebäudehülle)
- Angaben zum Verfahren, nach dem die Energiebedarfsberechnungen durchgeführt wurden
- Angabe des Endenergiebedarfs, unterteilt nach Energieträger und nach Bereichen der Anlagentechnik (Heizung, Warmwasser, eingebaute Beleuchtung, Lüftung, Kühlung einschließlich Be- feuchtung)
- Endenergiebedarf Wärme und Strom für Pflichtangaben in Immobilienanzeigen
- In Zusammenhang mit dem Erneuerbare-Energien- Wärmegesetz Angaben zu eingesetzten erneuerbaren Energien und zu gewählten Ersatzmaßnahmen
- Angaben zu den Gebäudezonen
- Erläuterungen zum Berechnungsverfahren und zu Kenngrößen

5.5.4 Zu errichtende kleine Gebäude und Gebäude aus Raumzellen

Für kleine Gebäude, deren Nutzfläche $A \leq 50 \text{ m}^2$ ist, ist es nicht erforderlich, eine Bilanzierung des Primärenergiebedarfs durchzuführen oder den auf die Gebäudehüllfläche bezogenen, spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T bei Wohngebäuden bzw. den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} bestimmter Bauteile von Nichtwohngebäuden nachzuweisen. Der Nachweis des energiesparenden Wärmeschutzes ist erbracht, wenn Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenbauteilen eingehalten werden. Diese Vorgaben gelten auch dann, wenn bei bestehenden Gebäuden Bauteile erneuert werden. Zusammenfassend werden die Anforderungen in Kapitel 5.5.6 „Bestehende Gebäude“ betrachtet.

The image shows a sample form for an energy certificate for non-residential buildings. The main title is 'ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude'. It includes a section for 'Berechneter Energiebedarf des Gebäudes' with a 'Registriernummer' field. Below this is the 'Primärenergiebedarf' section, which contains a bar chart showing the primary energy demand in kWh/(m²·a) on a scale from 0 to 1000. There are also fields for 'CO₂-Emissionen' and 'EnEV-Anforderungswert'. The 'Endenergiebedarf' section includes a table with columns for 'Energieträger', 'Heizung', 'Warmwasser', 'Eingebaute Beleuchtung', 'Lüftung', 'Kühlung einschlt. Beheizung', and 'Gebäude insgesamt'. Below this are fields for 'Endenergiebedarf Wärme' and 'Endenergiebedarf Strom'. The 'Angaben zum EEWärmeG' section includes fields for 'Art', 'Deckungsanteil', and 'Ersatzmaßnahmen'. The 'Gebäudezonen' section includes a table with columns for 'Nr.', 'Zone', 'Fläche [m²]', and 'Anteil [%]'. There are also 'Erläuterungen zum Berechnungsverfahren' and several footnotes at the bottom.

Abb. 5.10: Energieausweis für Nichtwohngebäude (Auszug) gemäß EnEV 2014 [5.11]

5.5.5 Dichtheit und Wärmebrücken

Dichtheit

Mit geringer werdenden Transmissionswärmeverlusten infolge steigender wärmetechnischer Qualität der Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche nimmt die Bedeutung der Lüftungswärmeverluste zu.

Um Energie einzusparen, ist die wärmeübertragende Umfassungsfläche eines Gebäudes dauerhaft luftundurchlässig auszubilden. Hierzu liefert z. B. DIN 4108-7 [5.6.4] Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele. Unter den auf Bauteilflächen bezogenen Beispielen in der Norm findet sich u. a. der Hinweis darauf, dass Mauerwerk, das mit einer Putzlage versehen ist, als luftdicht bewertet werden kann.

Weitere Regelungen beziehen sich auf Fugen, Anschlüsse, Stoßstellen und Durchdringungen, die bei der Aufstellung eines Luftdichtheitskonzeptes in besonderem Maße zu beachten sind. Alle Bauteilflächen und insbesondere Bauteilanschlüsse mit Konstruktions- oder Baustoffwechseln sind im Detail zu planen und den entsprechenden Gewerken im Rahmen der Ausschreibung zuzuordnen. Zur Umsetzung bei der Ausführung ist eine entsprechende Überwachung der Arbeiten erforderlich.

Wird die Dichtheit des Gebäudes geprüft, sind Anforderungen an die Luftwechselrate n_{50} einzuhalten. Während der Druckdifferenzprüfung, häufig auch als Blower-Door-Messung bezeichnet, darf die Luftwechselrate bei einer Unter- oder Überdruckdifferenz zwischen Raum- und Außenluft von 50 Pa den Wert von $n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$ bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlage bzw. von $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlage nicht überschreiten.

Auch hinsichtlich des Feuchteschutzes ist eine luftdichte Bauweise erforderlich, denn durch Luftströmung können um ein Vielfaches größere Feuchtemassen als durch Diffusion transportiert werden. Tritt warme, feuchte Luft durch Undichtheiten in Außenbauteile ein, so besteht bei bestimmten klimatischen Randbedingungen die Gefahr von Tauwasserausfall oder Schimmelbildung. Die Folgen können eine eingeschränkte Bauteilfunktion und Bauschäden sein.

Für die Notwendigkeit einer luftdichten Gebäudehülle spricht auch, dass ansonsten durch Undichtheiten für den Nutzer unangenehme Zugerscheinungen hervorgerufen werden können. Die thermische Behaglichkeit kann z. B. durch Einströmen kalter Außenluft erheblich verschlechtert werden.

Wärmebrücken

Transmissionswärmeverluste im Bereich von Wärmebrücken sind Bestandteil der Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H_T und damit des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_h . Grundsätzlich sind zu errichtende Gebäude so auszuführen, dass der Wärmebrückeneinfluss nach den anerkannten Regeln der Technik und den im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlichen Maßnahmen so gering wie möglich gehalten wird. Dies ist z. B. der Fall, wenn Wärmebrücken nach den Konstruktionsbeispielen in DIN 4108 Beiblatt 2 [5.6.5] geplant und ausgeführt werden. Entscheidend ist, dass die dort vorgegebenen wärmetechnischen Mindestanforderungen, die sich aus der

Baustoffwahl und der Art der Konstruktion ergeben, eingehalten werden. Übliche Konstruktionen zu errichtender Gebäude, bei denen Außenwände aus Porenbeton errichtet werden, finden sich dort wieder. Der sogenannte verbleibende Einfluss konstruktiver Wärmebrücken wird gemäß EnEV 2014 auf den Energiebedarf angerechnet.

In der EnEV 2014 werden vier Methoden genannt, nach denen der spezifische Transmissionswärmeverlust $H_{T,WB}$ an Wärmebrücken ermittelt werden kann (Abb. 5.11). Die Berechnungsmethode ist nicht frei wählbar, sondern unterliegt bestimmten Voraussetzungen und Einschränkungen:

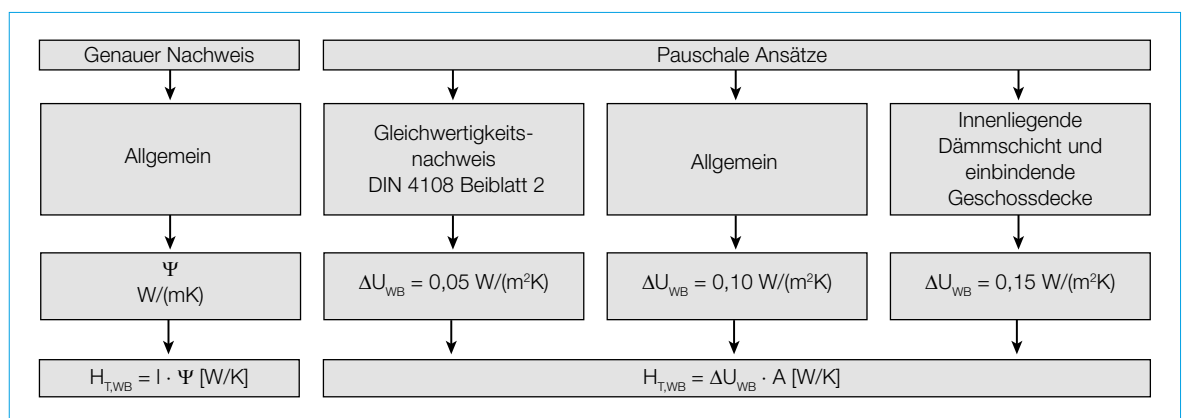
■ Genauer Nachweis

Die Längen l_i der einzelnen Wärmebrücken werden ermittelt und jeweils mit den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ_i des betreffenden Wärmebrückendetails multipliziert. Dabei werden die ψ -Werte mit Hilfe von PC-Programmen berechnet oder aus Wärmebrückenkatalogen entnommen, z. B. dem Wärmebrückenkatalog der Porenbetonindustrie [5.1]. Diese Methode ist sehr genau und kann immer angewendet werden.

■ Pauschaler Ansatz unter Bezugnahme auf DIN 4108 Beiblatt 2

Sofern die geplanten Wärmebrückendetails den wärmetechnischen Mindestanforderungen aus DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen, kann durch Multiplikation eines Wärmebrückenzuschlagskoeffizienten von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ mit der wärmeübertragenden Umfassungsfläche A der spezifische Transmissionswärmeverlust $H_{T,WB}$ ermittelt werden. Diese Methode liefert im Regelfall höhere Wärmeverluste als die genaue Berechnung, dafür ist sie wenig aufwendig. Die Referenzkonstruktionen in DIN 4108 Beiblatt 2 beziehen sich in erster Linie auf zu errichtende Gebäude. Die Ausführung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche bestehen-

Abb. 5.11: Berechnung der Transmissionswärmeverluste $H_{T,WB}$ an Wärmebrücken gemäß EnEV 2014 [5.11]



der Gebäude erfüllt die gezeigten Anforderungen im Regelfall nicht. Daher bleibt diese Methode auf zu errichtende Gebäude beschränkt und steht für die energetische Bewertung von Bestandsgebäuden nicht zur Verfügung. Falls nach einer energetischen Modernisierung das im Beiblatt gezeigte Wärmeschutzniveau erreicht wird, kann dieser pauschale Ansatz ebenfalls verwendet werden.

Bei der Planung zeigt sich häufig, dass geplante Details von den Beispielen in DIN 4108 Beiblatt 2 abweichen. Um dennoch auf den pauschalen An-

satz zur Berechnung der Transmissionswärmeverluste zurückgreifen zu können, darf die Gleichwertigkeit des geplanten Details gegenüber dem Referenzdetail nachgewiesen werden. Eine von mehreren Methoden des Gleichwertigkeitsnachweises besteht darin, z. B. durch Benutzung eines Wärmebrückenkataloges ψ -Werte zu ermitteln (Abb. 5.12) und somit nachzuweisen, dass im Einzelfall der zur jeweiligen Referenzkonstruktion in DIN 4108 Beiblatt 2 genannte ψ -Wert nicht überschritten wird.

Abb. 5.12: Datenblatt zum Anschluss an die Bodenplatte bei monolithischem Mauerwerk aus Porenbeton [5.1]

1 EINSCHALIGE KONSTRUKTIONEN

1.01 Einschalige Außenwand/Bodenplatte

1.01.01 Wärmedämmung über Bodenplatte

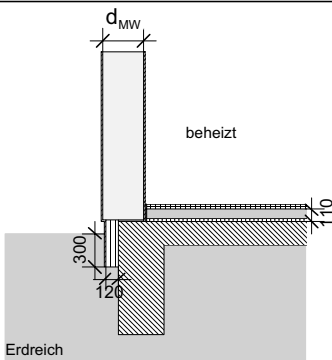


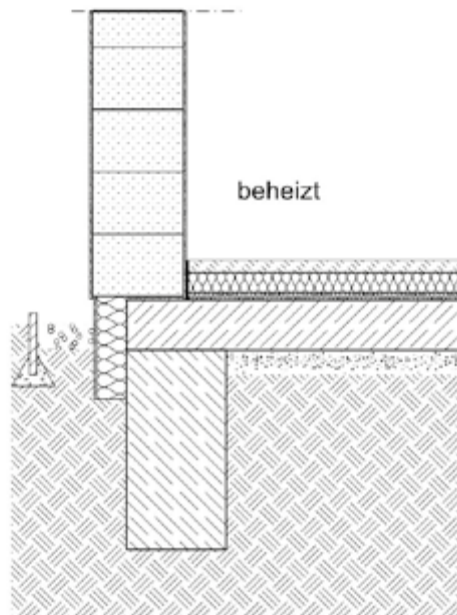
Tabelle 1.01.01

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ [W/(mK)]

		$\lambda_{\text{Mauerwerk}}$ [W/(mK)]	
		0,080	0,090
Dicke des Mauerwerkes [mm]	365	-0,035	-0,036
	425	-0,041	-0,041
	480	-0,047	-0,048

Anwendungsbedingungen:

- Die Sockeldämmung ist mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0,032$ W/(mK) auszuführen.
- Die Sockeldämmung ist bis mindestens 300mm unter die Geländeoberkante herunterzuführen.
- Die Dicke der Sockeldämmung beträgt 120mm.
- Die Bodenplattendämmung besteht aus 80mm Wärmedämmung mit $\lambda = 0,032$ W/(mK) und 30mm Trittschalldämmung mit $\lambda = 0,040$ W/(mK).
- Der berechnete Ψ -Wert bezieht sich auf die Oberkante der Bodenplatte.



Detaildarstellung nicht maßstäblich

■ Pauschaler Ansatz ohne Bezug

Im Unterschied zur vorgenannten Methode wird bei der Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts $H_{T,WB}$ ein Wärmebrückenzuschlagskoeffizient von $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zugrunde gelegt. Im Falle von zu errichtenden Gebäuden führt diese Methode zu hohen berechneten Transmissionswärmeverlusten.

Es ist zu beachten, dass solche Verluste an anderen Stellen kompensiert werden müssen, was zu einem wirtschaftlichen Mehraufwand führen kann. Bei der energetischen Bewertung bestehender Gebäude stellt diese Methode wegen der Einfachheit den Regelfall dar.

■ Pauschaler Ansatz bei innenliegender Dämmschicht und einbindender Geschossdecke

Die Verwendung eines Wärmebrückenzuschlagskoeffizienten von $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wird nur bei der energetischen Bewertung bestehender Gebäude mit den genannten Konstruktionsmerkmalen (Innendämmung, einbindende Geschossdecke) angewendet.

Die Größe des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ wird durch die Baustoffwahl und die Art der Konstruktion bestimmt. Aus DIN 4108 Beiblatt 2 und Wärmebrückenkatalogen (z. B. [5.1]) kann entnommen werden, dass ψ -Werte für Porenbeton-Konstruktionen im Allgemeinen niedrig sind. Insofern führt ein genauer Nachweis mit längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ und den entsprechenden Längen der jeweiligen Wärmebrücken beim Porenbeton-Bausystem zu äußerst niedrigen Wärmebrückenverlusten, die je nach Konstruktion nahe bei Null liegen können. Von Einfluss ist dabei

die homogene Baustoffstruktur, die in vertikaler und horizontaler Richtung die gleichen wärmedämmenden Eigenschaften aufweist.

5.5.6 Bestehende Gebäude

Änderung, Erweiterung und Ausbau (Abb. 5.13)

Werden bei beheizten oder gekühlten Räumen Änderungen vorgenommen, die sich über mehr als 10 % der jeweiligen Bauteilfläche erstrecken, dürfen die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U der betreffenden Bauteilfläche gemäß Tab. 5.14 nicht überschritten werden. Die Höchstwerte beziehen sich bei erstmaligem Einbau, Ersatz oder Erneuerung von Bauteilen auf folgende Situationen:

■ Außenwände

- Ersatz oder erstmaliger Einbau von Außenwänden (Tab. 5.14, Zeile 1)

■ Erneuerung

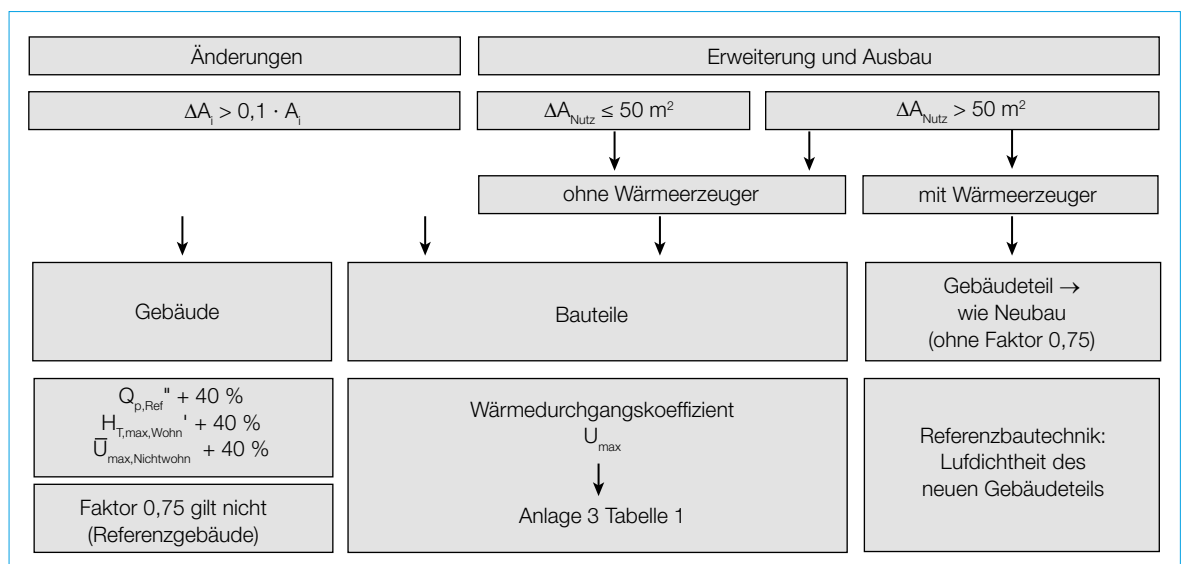
- Anbringen von Platten, plattenartigen Bauteilen, Verschalungen oder Mauerwerks-Vorsatzschalen
- Erneuerung des Außenputzes

Anforderungen gelten nicht für Außenwände, die nach dem 31.12.1983 errichtet oder erneuert worden sind.

- Dämmschichtdicken sind aus technischen Gründen begrenzt: Einbau von Wärmedämmstoffen mit $\lambda \leq 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$

- Bei Einblasen von Dämm-Materialien in Hohlräume oder bei Verwendung von Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen: Wärmedämmstoffe mit $\lambda \leq 0,045 \text{ W}/(\text{mK})$

Abb. 5.13: Änderung, Erweiterung und Ausbau von Gebäuden gemäß EnEV 2014 [5.11]



■ Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster und Glasdächer (Tab. 5.14, Zeilen 2 und 3)

- Ersatz des gesamten Bauteils oder erstmaliger Einbau
Für Fenstertüren mit Klapp-, Fall-, Schiebe-, oder Hebe- Mechanismus gilt Zeile 2f.
- Einbau zusätzlicher Vor- oder Innenfenster
- Ersatz der Verglasung oder verglasten Flügelrahmen
Anforderungen gelten nicht, wenn der Rahmen

zur Aufnahme der vorgeschriebenen Verglasung ungeeignet ist. Ist die Glasdicke aus technischen Gründen begrenzt: Verwendung von Verglasung mit $U_g \leq 1,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Bei Kasten- oder Verbundfenstern gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Glastafel mit einer infrarotreflektierenden Beschichtung mit einer Emissivität von $\epsilon_n \leq 0,2$ eingebaut wird.

■ Außentüren

- Erneuerung: Wärmedurchgangskoeffizient der

Zeile	Bauteil	Maßnahme nach	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen $\geq 19 \text{ °C}$	Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von $12 \text{ bis } < 19 \text{ °C}$
			Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizient $U_{\text{max}}^{1)}$	
1	Außenwände	Nr. 1 Satz 1 und 2	0,24 W/(m ² K)	0,35 W/(m ² K)
2 a	Fenster, Fenstertüren	Nr. 2 a und b	1,3 W/(m ² K) ²⁾	1,9 W/(m ² K) ²⁾
2 b	Dachflächenfenster	Nr. 2 a und b	1,4 W/(m ² K) ²⁾	1,9 W/(m ² K) ²⁾
2 c	Verglasungen	Nr. 2 c	1,1 W/(m ² K) ³⁾	keine Anforderungen
2 d	Vorhangfassaden	Nr. 6 Satz 1	1,5 W/(m ² K) ⁴⁾	1,9 W/(m ² K) ⁴⁾
2 e	Glasdächer	Nr. 2 a und c	2,0 W/(m ² K) ³⁾	2,7 W/(m ² K) ³⁾
2 f	Fenstertüren mit Klapp-, Fall-, Schiebe- oder Hebe- Mechanismus	Nr. 2 a	1,6 W/(m ² K) ²⁾	1,9 W/(m ² K) ²⁾
3 a	Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasungen	Nr. 2 a und b	2,0 W/(m ² K) ²⁾	2,8 W/(m ² K) ²⁾
3 b	Sonderverglasungen	Nr. 2 c	1,6 W/(m ² K) ³⁾	keine Anforderungen
3 c	Vorhangfassaden mit Sonderverglasungen	Nr. 6 Satz 2	2,3 W/(m ² K) ⁴⁾	3,0 W/(m ² K) ⁴⁾
4 a	Dachflächen einschl. Dachgauben, Wände gegen unbeheizten Dachraum (einschl. Abseitenwänden), oberste Geschossdecke	Nr. 4 Satz 1 und 2 a, c und d	0,24 W/(m ² K)	0,35 W/(m ² K)
4 b	Dachflächen mit Abdichtungen	Nr. 4 Satz 2 b	0,20 W/(m ² K)	0,35 W/(m ² K)
5 a	Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) sowie Decken nach unten gegen Erdreich oder unbeheizte Räume	Nr. 5 Satz 1 und 2 a und c	0,30 W/(m ² K)	keine Anforderung
5 b	Fußbodenaufbauten	Nr. 5 Satz 2 b	0,50 W/(m ² K)	keine Anforderungen
5 c	Decken nach unten an Außenluft	Nr. 5 Satz 1 und 2 a und c	0,24 W/(m ² K)	0,35 W/(m ² K)

Tab. 5.14: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen gemäß EnEV 2014 [5.11]

¹⁾ Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils unter Berücksichtigung der neuen und der vorhandenen Bauteilschichten; für die Berechnung der Bauteile nach den Zeilen 5a und b ist DIN V 4108-6: 2003-06 Anhang E und für die Berechnung sonstiger opaker Bauteile ist DIN EN ISO 6946: 2008-04 zu verwenden.

²⁾ Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters; der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters ist technischen Produkt-Spezifikationen zu entnehmen oder gemäß den nach den Landesbauordnungen bekannt gemachten energetischen Kennwerten für Bauprodukte zu bestimmen. Hierunter fallen insbesondere energetische Kennwerte aus Europäischen Technischen Bewertungen sowie energetische Kennwerte der Regelungen nach der Bauregelliste A Teil 1 und auf Grund von Festlegungen in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

³⁾ Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung; Fußnote 2 ist entsprechend anzuwenden.

⁴⁾ Wärmedurchgangskoeffizient der Vorhangfassade; er ist nach DIN EN 13947: 2007-07 zu ermitteln.

Türfläche $U \leq 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Gilt nicht für rahmenlose Türanlagen aus Glas, Karusselltüren und kraftbetätigte Türen.

■ Dachflächen und Dachgauben gegen Außenluft sowie Decken und Wände gegen unbeheizte Dachräume

■ Ersatz oder erstmaliger Einbau (Tab. 5.14, Zeile 4a)

■ Erneuerung

- Ersatz oder Neuaufbau der Dachdeckung einschließlich darunter liegender Lattungen und Verschalungen (Zeile 4 a)

Ausführung des Wärmeschutzes als Zwischensparrendämmung und begrenzte Dämmschichtdicke wegen einer innenseitigen Bekleidung oder der Sparrenhöhe: Einbau der höchstmöglichen Dämmstoffdicke mit $\lambda \leq 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$

- Ersatz einer flächigen Abdichtung durch eine neue Schicht gleicher Funktion (Zeile 4b)

- Aufbringen oder Erneuern von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von Wänden zum unbeheizten Dachraum (Zeile 4a)

- Aufbringen oder Erneuern von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von Decken zum unbeheizten Dachraum (Zeile 4a).

Einblasen von Dämmschichten: Wärmedämmstoffe mit $\lambda \leq 0,045 \text{ W}/(\text{mK})$.

Anforderungen gelten nicht für Bauteile, die nach dem 31.12.1983 errichtet oder erneuert worden sind. Dämmschichtdicken sind aus technischen Gründen begrenzt: Einbau von Wärmedämmstoffen mit $\lambda \leq 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$. Bei Einblasen von Dämm-Materialien in Hohlräume oder bei Verwendung von Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen: Wärmedämmstoffe mit $\lambda \leq 0,045 \text{ W}/(\text{mK})$.

■ Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) sowie Decken nach unten gegen Erdreich, Außenluft oder unbeheizte Räume (Tab. 5.14, Zeile 5)

■ Ersatz oder erstmaliger Einbau

■ Erneuerung

- Anbringen oder Erneuern von außenseitigen Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Dränagen

- Aufbau oder Erneuerung des Fußbodenaufbaus auf der beheizten Seite

- Anbringen von Deckenbekleidungen auf der Kaltseite

Anforderungen gelten nicht für Bauteile, die nach dem 31.12.1983 errichtet oder erneuert worden sind.

Dämmschichtdicken sind aus technischen Gründen begrenzt: Einbau von Wärmedämmstoffen mit $\lambda \leq 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$. Bei Einblasen von Dämm-Materialien in Hohlräume oder bei Verwendung von Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen: Wärmedämmstoffe mit $\lambda \leq 0,045 \text{ W}/(\text{mK})$.

■ Vorhangfassaden (Tab. 5.14, Zeilen 2 d oder 3 c)

■ Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils

Wärmedurchgangskoeffizienten von bestehenden Außenwänden aus Porenbeton-Plansteinmauerwerk der 50er bis 70er Jahre liegen je nach Dicke und Rohdichte bei Werten zwischen $U=0,41$ und $0,88 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Tab. 5.15), welche auf Grund von Wärmeleitfähigkeiten bestimmter Produktionsstätten gemäß Tab. 5.16 berechnet wurden [5.5]. Für die Ermittlung des dort genannten Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit λ nach einer älteren Ausgabe der DIN 4108-4 wurde ein Zuschlag von ca. 30 % auf den Trockenwert der Wärmeleitfähigkeit λ_{tr} verwendet. Durch diesen Zuschlag wird die sich im Mauerwerk einstellende Ausgleichsfeuchte berücksichtigt.

Tab. 5.15:
Wärmedurchgangskoeffizienten U von Porenbetonmauerwerk der 50er bis 70er Jahre [5.5]

Rohdichte ρ kg/m^3	Wärmedurchgangskoeffizient ¹⁾ U [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]					
	$d = 24,0 \text{ cm}$		$d = 30,0 \text{ cm}$		$d = 36,5 \text{ cm}$	
	Planstein-Mauerwerk	Blockstein-Mauerwerk	Planstein-Mauerwerk	Blockstein-Mauerwerk	Planstein-Mauerwerk	Blockstein-Mauerwerk
470	0,60	0,76	0,49	0,63	0,41	0,52
550	0,67	0,82	0,54	0,68	0,46	0,57
640	0,76	0,91	0,63	0,76	0,52	0,64
780	0,88	1,03	0,73	0,85	0,61	0,72

¹⁾ ohne Putz

Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit ¹⁾		
	λ_{tr} kcal/(m h grad)	λ_{tr} W/(mK)	$\lambda_{DIN 4108-4}^{2)}$ W/(mK)
470	0,10	0,12	0,16
550	0,11	0,13	0,18
640	0,13	0,15	0,21
780	0,16	0,19	0,25

¹⁾ 1 kcal/(m h grad) = 1,163 W/(mK)

²⁾ bei Blocksteinen, vermauert mit Normalmörtel, den Tabellenwert um $\Delta\lambda = 0,05$ W/(mK) erhöhen

Tab. 5.16: Wärmeleitfähigkeit λ von Porenbetonprodukten der 50er bis 70er Jahre [5.5]

Anstelle des Nachweises über die Wärmedurchgangskoeffizienten U der geänderten Bauteile kann auch eine Bilanzierung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p des Gebäudes sowie des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts H_T (Wohngebäude) bzw. der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (Nichtwohngebäude) vorgenommen werden. Dabei gilt, dass die Anforderungen an das geänderte Gebäude um 40 % über dem Anforderungsniveau zu errichtender Gebäude liegen dürfen.

Bei Ermittlung des zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs wird der Faktor 0,75, mit dem seit 2016 der zulässige Jahres-Primärenergiebedarf von zu errichtenden Gebäuden reduziert wird, nicht angesetzt. Die für die Energiebedarfsbilanzierung erforderlichen Berechnungen werden nach dem Monatsbilanzverfahren durchgeführt, weichen jedoch hinsichtlich einiger anzusetzender Randbedingungen von denen zu errichtender Gebäude ab.

Bestehende Wohngebäude werden wie zu errichtende Wohngebäude entweder nach DIN V 4108-6/ DIN V 4701-10 oder nach DIN V 18599 energetisch bewertet. Bei Anwendung der erstgenannten Methode sind hinsichtlich der Anlagentechnik noch DIN V 4701-12 [5.7.2], PAS 1027 [5.7.3] oder die „Bekanntmachung der Regeln zur vereinfachten Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [5.14] mit Kenngrößen für bestehende Anlagen zu benutzen. Außerdem enthält die EnEV 2014 Maßgaben zur Ermittlung der Transmissionswärmeverluste im Bereich von Wärmebrücken, zu Luftwechselraten zwecks Berechnung der Lüftungswärmeverluste und zu solaren Wärmegewinnen.

Bestehende Nichtwohngebäude werden wie zu errichtende Nichtwohngebäude gemäß DIN V 18599 energetisch bewertet. Ergänzend kann die „Bekanntmachung der Regeln zur vereinfachten Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ [5.15] benutzt werden.

Wird ein bestehendes Gebäude erweitert oder ausgebaut und kein eigener Wärmeerzeuger eingebaut, können die Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz durch Nachweis des Wärmedurchgangskoeffizienten U der betreffenden Bauteile nachgewiesen werden (Tab. 5.14). Ist die hinzukommende Nutzfläche größer als 50 m², ist zusätzlich der sommerliche Wärmeschutz nachzuweisen.

Wird bei einer Erweiterung um mehr als 50 m² ein neuer Wärmeerzeuger eingebaut, ist der ergänzte Gebäudeteil wie ein Neubau gesamtenergetisch zu bewerten. Bei Ermittlung des zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs von bestehenden Gebäuden wird der Faktor 0,75 nicht angesetzt. Bei Anwendung des Referenzgebäudeverfahrens kann die Dichtheit des hinzukommenden Gebäudeteils rechnerisch angesetzt werden.

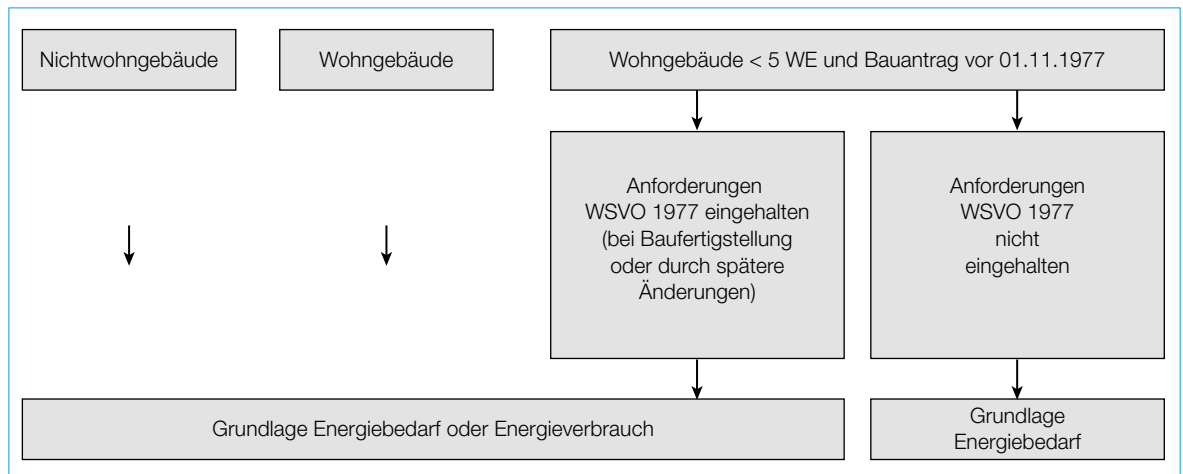
Energieausweis bei Verkauf und Vermietung

Die Energieeinsparverordnung schreibt vor, dass einem potenziellen Käufer oder Mieter bei Verkauf oder Vermietung von Gebäuden oder Gebäudeteilen ein Energieausweis vorgelegt werden muss.

Weitestgehend besteht Wahlfreiheit, ob bei der energetischen Bewertung bestehender Gebäude ein Energieausweis auf Grundlage eines errechneten Energiebedarfs oder eines gemessenen Energieverbrauchs ausgestellt wird (Abb. 5.14). Nur für bestehende Wohngebäude, die weniger als fünf Wohnungen haben und für die der Bauantrag vor dem 1. November 1977 gestellt worden ist, ist der Energieausweis immer dann bedarfsorientiert zu erstellen, falls bei Baufertigstellung das Anforderungsniveau der Wärmeschutzverordnung (WSVO 1977) [5.10] nicht eingehalten wurde oder durch spätere Änderungen dieses Niveau nicht erzielt wurde.

Mit Hilfe der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [5.14] kann geprüft werden, ob das Gebäude dem Anforderungsniveau der WSVO 1977 entspricht. Dieses Niveau ist entweder durch einen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten des Gebäudes (Tab.

Abb. 5.14: Grundlage für die Ausstellung des Energieausweises für bestehende Gebäude gemäß EnEV 2014 [5.11]



5.17) oder durch Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen in Abhängigkeit von der Grundrissform eines Gebäudes festgelegt (Tab. 5.18). Darüber hinaus enthalten die Regeln Darstellungen und Beschreibungen von Bauteilquerschnitten, die die in Tab. 5.18 genannten Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten unterschreiten und in Tab. 5.19 dargestellt sind. In

Zeile 4 ist ein Außenwandaufbau aus Porenbetonmauerwerk zu sehen. An dieser Stelle ist auf die Bewertung älterer Porenbetonaußenwände im vorhergehenden Abschnitt hinzuweisen.

Wird ein Energieausweis auf Grundlage des Energiebedarfs ausgestellt, sind u. a. der Jahres-Primärenergiebedarf Q_p und der Jahres-Endenergiebedarf Q_E auf Grundlage der Bilanzierungsverfahren und Randbedingungen wie im Abschnitt „Änderung, Erweiterung und Ausbau“ nachzuweisen. Falls keine Unterlagen zum Gebäude vorhanden sind, z. B. in Form von Plänen oder Baubeschreibungen, können zur Berechnung des Energiebedarfes notwendige Daten eines bestehenden Gebäudes auf vereinfachte Weise nach den „Bekanntmachungen der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung“ ermittelt werden.

Im Falle von Wohngebäuden beziehen sich die Vereinfachungen auf das geometrische Aufmaß, die energetische Qualität der Bau- und Anlagentechnik und sicherheitstechnische Lüftungseinrichtungen. Bei Nichtwohngebäuden besteht zusätzlich bei der Zonierung die Möglichkeit zur Vereinfachung. Außerdem lässt es die EnEV 2014 zu, dass ein Eigentümer die zur Ausstellung des Energieausweises erforderlichen Daten dem Aussteller von Energieausweisen zur Verfügung stellt.

Der Wärmedurchgangskoeffizient U nicht nachträglich gedämmter bestehender Bauteile kann entsprechend der Regeln tabellarisch in Abhängigkeit von der Baualterklasse und nach der Unterscheidung, ob es sich um eine massive Konstruktion oder eine Holzkonstruktion handelt, ermittelt werden (Tab. 5.20 und Tab. 5.21)).

Für zusätzlich gedämmte Bauteile kann der Wärmedurchgangskoeffizient U_D unter Zugrundelegung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_0 für das Bauteil im

Tab. 5.17: Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten des Gebäudes gemäß „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [5.14]

A/V (in m ⁻¹)	Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{m,max}$ W/(m ² K)
0,24	1,40
0,30	1,24
0,40	1,09
0,50	0,99
0,60	0,93
0,70	0,88
0,80	0,85
0,90	0,82
1,00	0,80
1,10	0,78
1,20	0,77

Zwischenwerte dürfen nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$U_{m,max} = 0,61 + 0,19 \frac{1}{A/V_e}$$

Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient des Gebäudes ist wie folgt zu ermitteln:

$$U_m = \frac{U_{AW} \cdot A_{AW} + U_W \cdot A_W + 0,8 \cdot U_D \cdot A_D + 0,5 \cdot U_G \cdot A_G + U_{DL} \cdot A_{DL} + 0,5 \cdot U_{AB} \cdot A_{AB}}{A}$$

U_i Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils i in kWh/(m²a)

A_i Wärmeübertragende Fläche des Bauteils i in m²

U_m Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient in kWh/(m²a)

V_e Bruttogebäudevolumen in m³

Indizes

i Bauteilindex

AW Außenwand an Außenluft grenzend

W Fenster (window)

D Dach, oberste Geschossdecke

G Grundfläche (Bodenfläche auf Erdreich, Kellerdecke zum unbeheizten Keller, erdberührte Wandflächen bei beheizten Räumen)

DL Deckenfläche nach unten gegen Außenluft

AB Beheizte Räume gegen Räume mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen (z. B. Lagerräume etc.)

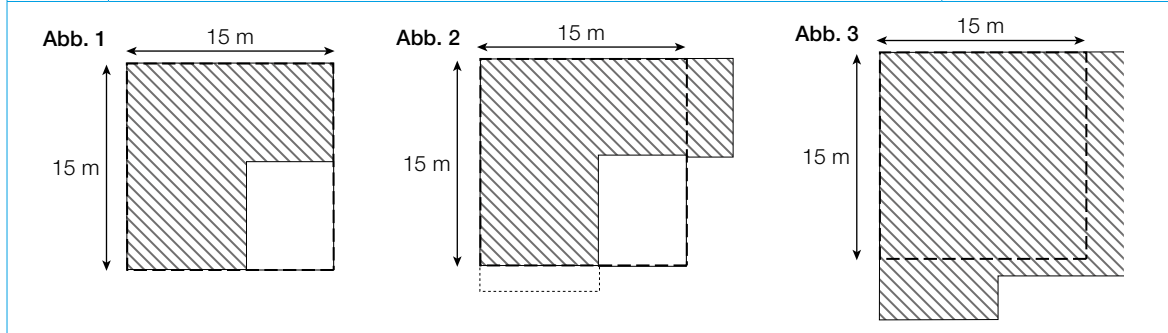
Urzustand und der Dicke d_D der nachträglichen Dämmung wie folgt berechnet werden:

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_0} + \frac{d_{D1}}{\lambda_1} + \frac{d_{D2}}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_{Di}}{\lambda_i}} \quad \text{Gl. (5.16)}$$

Ist nicht der berechnete Energiebedarf, sondern der gemessene Energieverbrauch Grundlage eines Energieausweises für bestehende Wohngebäude (Abb. 5.15) oder Nichtwohngebäude (Abb. 5.16), wird ein Energieverbrauchskennwert angegeben, der z. B. aus dem Brennstoffverbrauch ermittelt wird. Dabei

Lfd. Nr.	Bauteil	U_{max} W/(m²K)
1a)	Fassade 1 (Außenwand und Fenster) bei Grundrissformen des Gebäudes gemäß Abb. 1	$U_{m,AW+w} \leq 1,45$
1b)	Fassade 2 (Außenwand und Fenster) bei Grundrissform des Gebäudes gemäß Abb. 2	$U_{m,AW+w} \leq 1,55$
1c)	Fassade 2 (Außenwand und Fenster) bei Grundrissform des Gebäudes gemäß Abb. 3	$U_{m,AW+w} \leq 1,75$
2	oberste Geschossdecke, Dächer	$U_D \leq 0,45$
3	Kellerdecken, Bauteile gegen unbeheizte Räume	$U_G \leq 0,80$
4	Decke, Wände gegen Erdreich	$U_G \leq 0,90$
5	Fenster	Mindestens Doppel- oder Isolierverglasung

Tab. 5.18: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{max} für Bauteile gemäß der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [5.14]



ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 1

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes Registrierungsnummer²
(oder „Registrierungsnummer wurde beantragt am...“) 3

Energieverbrauch

Endenergieverbrauch dieses Gebäudes
kWh/(m²·a)

A+	A	B	C	D	E	F	G	H		
0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	>250

Primärenergieverbrauch dieses Gebäudes
kWh/(m²·a)

Endenergieverbrauch dieses Gebäudes
[Pflichtangabe für Immobilienanzeigen] kWh/(m²·a)

Verbrauchserfassung – Heizung und Warmwasser

Zeitraum	von	bis	Energieträger ³	Primärenergiefaktor	Energieverbrauch [kWh]	Anteil Warmwasser [kWh]	Anteil Heizung [kWh]	Klimafaktor

Vergleichswerte Endenergie

A+	A	B	C	D	E	F	G	H		
0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	>250

Die modellhaft ermittelten Vergleichswerte beziehen sich auf Gebäude, in denen die Wärme für Heizung und Warmwasser durch Heizkessel im Gebäude bereitgestellt wird. Soll ein Energieverbrauch eines mit Fern- oder Nahwärme beheizten Gebäudes verglichen werden, ist zu beachten, dass hier normalerweise ein um 15 bis 30 % geringerer Energieverbrauch als bei vergleichbaren Gebäuden mit Kesselheizung zu erwarten ist.

Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung des Energieverbrauchs ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte der Skala sind spezifische Werte pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche ($A_{n,0}$) nach der Energieeinsparverordnung, die im Allgemeinen größer ist als die Wohnfläche des Gebäudes. Der tatsächliche Energieverbrauch einer Wohnung oder eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens vom angegebenen Energieverbrauch ab.

¹ siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises ² siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises
³ gegebenenfalls auch Leerstandszuschläge, Warmwasser- oder Kältepauschale in kWh ⁴ EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus

Abb. 5.15: Energieverbrauchsausweis für bestehende Wohngebäude (Auszug) gemäß EnEV 2014 [5.11]

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 1

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes Registrierungsnummer²
(oder „Registrierungsnummer wurde beantragt am...“) 3

Endenergieverbrauch

Endenergieverbrauch Wärme
[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]
kWh/(m²·a)

0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	≥1000
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------

↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Heizung und Warmwasser³

Warmwasser enthalten

Endenergieverbrauch Strom
[Pflichtangabe in Immobilienanzeigen]
kWh/(m²·a)

0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	≥1000
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------

↑ Vergleichswert dieser Gebäudekategorie für Strom³

Der Wert enthält den Stromverbrauch für

Zusatzheizung Warmwasser Lüftung eingebaute Beleuchtung Kühlung Sonstiges

Verbrauchserfassung

Zeitraum	von	bis	Energieträger ⁴	Primärenergiefaktor	Energieverbrauch Wärme [kWh]	Anteil Warmwasser [kWh]	Anteil Heizung [kWh]	Klimafaktor	Energieverbrauch Strom [kWh]

Primärenergieverbrauch dieses Gebäudes kWh/(m²·a)

Gebäudenutzung

Gebäudekategorie/ Nutzung	Flächenanteil	Vergleichswerte ³	
		Heizung und Warmwasser	Strom

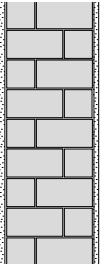
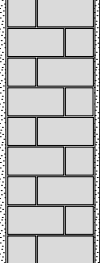
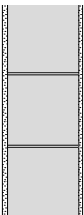
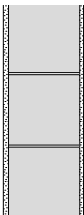
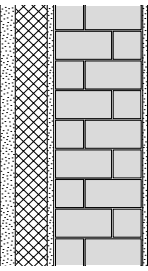
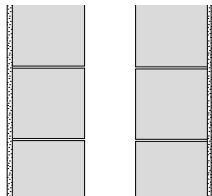
Erläuterungen zum Verfahren

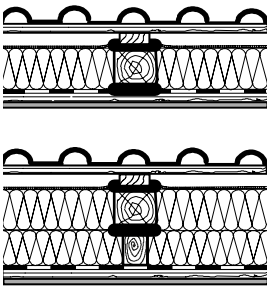
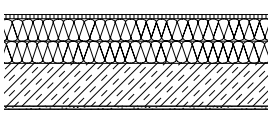
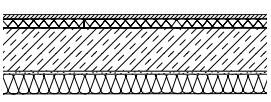
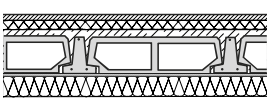
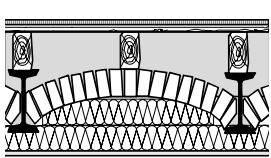
Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind spezifische Werte pro Quadratmeter beheizte/kühlte Nettogrundfläche. Der tatsächliche Energieverbrauch eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens von den angegebenen Kennwerten ab.

¹ siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises ² siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises
³ veröffentlicht unter www.bbr-energieeinsparung.de durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie ⁴ gegebenenfalls auch Leerstandszuschläge in kWh

Abb. 5.16: Energieverbrauchsausweis für bestehende Nichtwohngebäude (Auszug) gemäß EnEV 2014 [5.11]

Tab. 5.19: Beispiele zur Unterschreitung der Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{\max} für Bauteile nach Tab. 21 gemäß der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [5.14]

Zeile	Bauteil	Aufbau des Bauteils	U_{\max} W/(m ² K)
1	Beispielfassade 1 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster)	 Außenwand: Außenputz 38 cm Vollziegel-Mauerwerk (1.800 kg/m ³) $\lambda = 0,81$ W/(mK) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K) Bemerkung: Für Kalksandstein- oder Leichtbetonmauerwerk (Vollsteine, Zweikammersteine, KS-Lochsteine) siehe Zeile 5	$U_{m,AW+w} = 1,73$
2	Beispielfassade 2 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster)	 Außenwand: Außenputz 30 cm Hochlochziegel-Mauerwerk (1.400 kg/m ³) $\lambda = 0,58$ W/(mK) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K) Bemerkung: Für Kalksandstein- oder Leichtbetonmauerwerk (Vollsteine, Zweikammersteine, KS-Lochsteine) siehe Zeile 5	$U_{m,AW+w} = 1,65$
3	Beispielfassade 3 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster)	 Außenwand: Außenputz 24 cm Bimsstein-Mauerwerk $\lambda = 0,30$ W/(mK) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K)	$U_{m,AW+w} = 1,37$
4	Beispielfassade 4 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster)	 Außenwand: Außenputz 24 cm Porenbetonmauerwerk (700 kg/m ³) Blocksteine mit Normalmörtel $\lambda = 0,27$ W/(mK) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K)	$U_{m,AW+w} = 1,35$
5	Beispielfassade 5 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster)	 Außenwand: Außenputz 38 cm Kalksandstein-Mauerwerk (1.800 kg/m ³) $\lambda = 0,81$ W/(mK) mit äußerer Dämmschicht mit einer Dicke von 6 cm ($\lambda = 0,04$ W/(mK)) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K) Bemerkung: Ziegel- und Leichtbetonmauerwerke mit zusätzlicher Dämmung erreichen in der Regel noch kleinere U-Werte	$U_{m,AW+w} = 0,97$
6	Beispielfassade 6 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster)	 Außenwand (zweischalig): 2 cm Außenputz mit $\lambda = 0,87$ W/(mK) 12 cm Mauerwerk mit $\lambda = 0,68$ W/(mK) Variante 1: 8 cm Luftschicht ($R = 0,13$ m ² K/W) oder Variante 2: 8 cm Dämmung ($\lambda = 0,04$ W/(mK)) 12 cm Mauerwerk ($\lambda = 0,68$ W/(mK)) 1,5 cm Innenputz ($\lambda = 0,7$ W/(mK)) Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K)	Variante 1: $U_{m,AW+w} = 1,74$ Variante 2: $U_{m,AW+w} = 0,91$

Zeile	Bauteil	Aufbau des Bauteils	U_{\max} W/(m ² K)
7	Steildach 	Dacheindeckung: Dachlattung Unterspannbahn Variante 1: Dämmung/zwischen den Sparren (z. B. 15 cm) Variante 2: Aufdopplung des Sparrens bei zu geringem Hohlraum mit Dämmung (z. B. insgesamt 18 cm) Luftdichtheitsschicht Lattung Gipskartonplatte Bemerkung: Es ist eine Dämmung von mindestens 10 cm zwischen den Sparren notwendig, dies gilt ebenfalls für Auf- oder Untersparrendämmungen und für Flachdächer	Variante 1: $U_D = 0,25$ Variante 2: $U_D = 0,17$
8	Oberste Geschossdecke 	Spanplatte Dämmstoff (8 cm) Betondecke (14 cm) Putzschicht (1,5 cm) Bemerkung: ungedämmte oberste Geschossdecken (Beton- als auch Holzdecken) können den Höchstwert nach Tabelle 9 nicht unterschreiten, eine Dämmung von 8 cm ist mindestens erforderlich	$U_D = 0,44$
9	Kellerdecke - Beispiel 1 	Bodenbelag (Linoleum, PVC o. ä.) Magnesit-Estrich (4 cm) Mineralfasermatte (1,5 cm) Betondecke (15 cm) Putzschicht (1,5 cm) Zusätzlicher Dämmstoff (4 cm)	$U_G = 0,53$
10	Kellerdecke - Beispiel 2 	Bodenbelag (Linoleum, PVC o. ä.) Asphalt-Estrich (2 cm) Mineralfasermatte (1 cm) Rippendecke mit Füllkörpern aus Bimsbeton und Aufbeton (19 cm) Putzschicht (1,5 cm) Zusätzlicher Dämmstoff (4 cm)	$U_G = 0,52$
11	Kellerdecke - Beispiel 3 	Hobeldielen Kohleschlackefüllung Gemauertes Kappengewölbe Stahlträger Zusätzlicher Dämmstoff (ca. 8 cm zur Ausfüllung der Kappen)	$U_G = 0,34$

wird nach witterungsabhängigen Anteilen (Heizung) und witterungsunabhängigen Anteilen (Trinkwassererwärmung) unterschieden. Der witterungsabhängige Anteil für die Gebäudeheizung wird vor der Berechnung des Energieverbrauchskennwertes einer Witterungsbereinigung unterzogen. Hierzu erforderliche Klimafaktoren werden vom Gesetzgeber bekannt gemacht. Berechnungsgrundlagen für den Energieverbrauchskennwert sind die „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand“ [5.16] und die „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ [5.17].

Unabhängig vom Anlass zur Ausstellung eines Energieausweises, wie er z. B. bei Verkauf oder Vermie-

tung von Gebäuden oder Gebäudeteilen vorliegt, ist für Gebäude mit mehr als 250 m², in denen Behörden oder sonstige Einrichtungen für eine große Anzahl von Menschen öffentliche Dienstleistungen erbringen und die deshalb von diesen Menschen häufig aufgesucht werden, ein Energieausweis immer zu erstellen und an einer für die Öffentlichkeit gut sichtbaren Stelle auszuhängen. Vergleichbare Regelungen gelten für Gebäude mit mehr als 500 m² Nutzfläche mit starkem Publikumsverkehr, der nicht auf behördlicher Nutzung beruht.

Nachrüstverpflichtung

Eigentümer von Gebäuden sind verpflichtet, unter bestimmten Voraussetzungen Maßnahmen zur energetischen Verbesserung von Anlagen und Gebäuden durchzuführen (Abb. 5.17):

Tab. 5.20: Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten U nicht nachträglich gedämmter opaker Bauteile (im Ausgangszustand) gemäß der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [5.14]

Bauteil	Konstruktion	Baualtersklasse ¹⁾							
		bis 1918	1919 bis 1948	1949 bis 1957	1958 bis 1968	1969 bis 1978	1979 bis 1983	1984 bis 1994	ab 1995
		Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten U W/(m ² K)							
Dach (auch Wände zwischen beheiztem und unbeheiztem Dachgeschoss)	Massive Konstruktion	2,1	2,1	2,1	1,3	1,3	0,6	0,4	0,3
	Holzkonstruktion	2,6	1,4	1,4	1,4	0,8	0,7	0,5	0,3
Oberste Geschossdecke (auch Geschossdecke nach unten gegen Außenluft, z. B. über Durchfahrten)	Massive Decke	2,1	2,1	2,1	2,1	0,6	0,6	0,3	0,3
	Holzbalkendecke	1,0	1,0	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3
Außenwand massive Konstruktion (auch Wände zum Erdreich oder zu unbeheizten (Keller-) Räumen)	Zweischalige Wandaufbauten ohne Dämmschicht	1,3	1,3	1,3	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5
	Massivwand aus Vollziegeln, wenig oder nicht porösem Naturstein, Kalksandstein, Bimsbetonvollsteinen oder vergleichbaren Materialien bis 20 cm Wandstärke (ggf. einschließlich Putz)	2,8	2,8	2,8	k.A. ⁴⁾	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Wie vorstehend, jedoch 20 bis 30 cm Wandstärke (ggf. einschließlich Putz)	1,8	1,8	1,8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Wie vorstehend, jedoch über 30 cm Wandstärke (ggf. einschließlich Putz)	1,5	1,5	1,5	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Massivwand aus Hochlochziegeln, Bimsbetonhohlsteinen oder vergleichbaren porösen oder stark gelochten Materialien	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5
	Sonstige massive Wandaufbauten bis 20 cm Wandstärke über alle Schichten	3,0	3,0	3,0	1,4	1,0	0,8	0,7	0,7
	Sonstige Wandaufbauten über 20 cm Wandstärke über alle Schichten, ggf. mit ursprünglicher Dämmung	2,2	2,2	2,2	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5
Außenwand Holzkonstruktion (Fachwerk, Fertighaus oder ähnlich)	Massivholzwand (z. B. Blockhaus), Holzrahmen oder Holztafelwand mit dämmender Füllung	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
	Fachwerkwand mit Lehm-/Lehmziegel-ausfachung bis 25 cm Wandstärke einschließlich Putz	1,5	1,5	1,5	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Fachwerkwand mit Vollziegel oder massiver Natursteinausfachung bis 25 cm Wandstärke einschließlich Putz	2,0	2,0	2,0	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Sonstige Holzkonstruktion	2,0	2,0	1,5	1,4	0,6	0,5	0,4	0,4
Sonstige Bauteile gegen Erdreich oder zu unbeheizten (Keller-) Räumen	Kellerdecke Stahlbeton massiv	1,6	1,6	2,3	1,0	1,0	0,8	0,6	0,6
	Kellerdecke als Holzbalkendecke	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4
	Kellerdecke als Ziegel- oder Hohlstein-konstruktion	1,2	1,2	1,5	1,0	1,0	0,8	0,6	0,6
	Boden gegen Erdreich, Stahlbeton massiv	1,6	1,6	2,3	1,2	1,2	0,8	0,6	0,6
	Boden gegen Erdreich als Ziegel- oder Hohlsteinkonstruktion	1,2	1,2	1,5	1,0	1,0	0,8	0,6	0,6
	Boden gegen Erdreich/Hohlraum als Holzkonstruktion	1,8	1,8	1,0	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4
Rolladenkästen²⁾	Gedämmt	1,8							
	Ungedämmt	3,0							
Türen³⁾	Im Wesentlichen aus Metall	4,0							
	Im Wesentlichen aus Holz, Holzwerkstoffen oder Kunststoff	2,9							

¹⁾ Baualtersklasse des Gebäudes (bzw. des Bauteils bei neu eingebauten Bauteilen). Maßgebend für die Einordnung ist in Zweifelsfällen das Jahr der Fertigstellung des Gebäudes oder des Gebäudeteils, zu dem das Bauteil gehört. Die Baualtersklasse 1984 bis 1994 betrifft Gebäude, die nach der Wärmeschutzverordnung vom 24. Februar 1982 (Inkrafttreten 1.1.1984) errichtet wurden.

²⁾ Bei der Baualtersklasse ab 1995 kann auch ohne nähere Feststellung von einer gedämmten Ausführung ausgegangen werden.

³⁾ Siehe im Übrigen auch DIN 4108-4: 2013-02

⁴⁾ k. A. = keine Angabe

Bauteil	Konstruktion	Eigenschaft	Baualtersklasse ¹⁾			
			bis 1978	1979 bis 1983	1984 bis 1994	ab 1995
			Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten U W/(m²K) sowie Verglasungstyp nach DIN V 18599-2 Tab. 7			
Fenster, Fenstertüren	Holzfenster, einfach verglast	U _w	5,0	k. A. ³⁾	k. A.	k. A.
		Glas	Einfach	k. A.	k. A.	k. A.
		U _g	5,8	k. A.	k. A.	k. A.
	Holzfenster, zwei Scheiben ²⁾	U _w	2,7	2,7	2,7	1,6
		Glas	Zweifach	Zweifach	Zweifach	MSIV 2
		U _g	2,9	2,9	2,9	1,4
	Kunststofffenster, Isolierverglasung	U _w	3,0	3,0	3,0	1,9
		Glas	Zweifach	Zweifach	Zweifach	MSIV 2
		U _g	2,9	2,9	2,9	1,4
	Aluminium- oder Stahlfenster, Isolierverglasung	U _w	4,3	4,3	3,2	1,9
Glas		Zweifach	Zweifach	Zweifach	MSIV 2	
U _g		2,9	2,9	2,9	1,4	

Tab. 5.21: Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten U transparenter Bauteile sowie für Fassaden im Ausgangszustand gemäß der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [5.14]

¹⁾ Baualtersklasse des Gebäudes (bzw. des Bauteils bei neu eingebauten Bauteilen). Maßgebend für die Einordnung ist in Zweifelsfällen das Jahr der Fertigstellung des Gebäudes oder des Gebäudeteils, zu dem das Bauteil gehört. Die Baualtersklasse 1984 bis 1994 betrifft Gebäude, die nach der Wärmeschutzverordnung vom 24. Februar 1982 (Inkrafttreten 1.1.1984) errichtet wurden.

²⁾ Isolierverglasung, Kastenfenster oder Verbundfenster.

³⁾ k. A. = keine Angabe

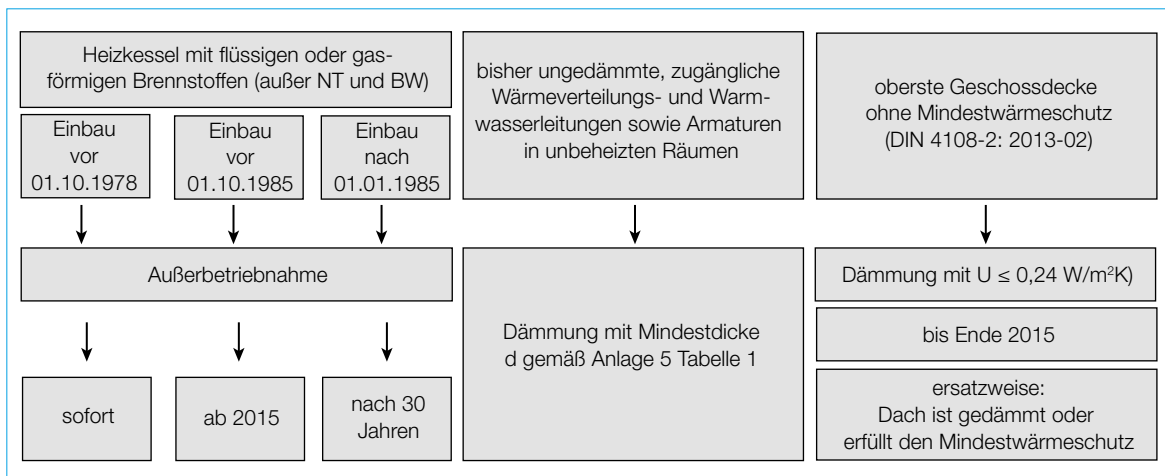


Abb. 5.17: Nachrüstverpflichtung bei Anlagen und Gebäuden gemäß EnEV 2014 [5.11]

- Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden, müssen je nach Einbaudatum zu einem festgelegten Termin außer Betrieb genommen werden. Für bestimmte Situationen nennt die EnEV Ausnahmen von dieser Regel.
- Bei heizungstechnischen Anlagen müssen ungedämmte, zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen, die sich nicht in beheizten Räumen befinden, gedämmt werden.
- Oberste Geschossdecken beheizter Räume, die nicht über einen Mindestwärmeschutz gemäß DIN 4108-2: 2013-02 [5.6.1] verfügen, mussten so

gedämmt werden, dass seit 2016 der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke den Wert von $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nicht überschreitet.

Im Falle von Wohngebäuden mit nicht mehr als zwei Wohnungen, von denen der Eigentümer eine Wohnung am 01.02.2002 selbst bewohnt hat, sind o. g. Pflichten erst im Falle eines Eigentümerwechsels nach dem 01.02.2002 vom neuen Eigentümer zu erfüllen. Die Frist zur Pflichterfüllung beträgt zwei Jahre ab dem ersten Eigentümerübergang.

5.5.7 Erneuerbare-Energien-WärmeG (EEWärmeG)

Seit Inkrafttreten des EEWärmeG [5.12] am 01. Januar 2009 ist der Wärme- und Kälteenergiebedarf von Gebäuden anteilig mit erneuerbaren Energien abzudecken. Diese Forderung trifft auf nahezu alle zu errichtenden Gebäude zu, die auch in den Anforderungsbereich der Energieeinsparverordnung fallen. Für die öffentliche Hand gilt seit der Einführung des Europarechtsanpassungsgesetzes Erneuerbare Energien [5.13] im Mai 2011 die Deckung des Wärme- und Kältebedarfs innerhalb bestimmter Grenzen auch für bestehende Gebäude.

Die Zweckbestimmungen des EEWärmeG lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Klimaschutz
- Schonung fossiler Ressourcen (Versorgungssicherheit)
- Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten (Ermöglichung einer nachhaltigen Entwicklung der Energieversorgung)
- Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Wärme und Kälte aus erneuerbaren Energiequellen

Ziel des EEWärmeG ist es, den Anteil am Endenergieverbrauch für Wärme (Raum-, Kühl- und Prozesswärme), der durch erneuerbare Energien bereitgestellt wird, von etwa 6 % im Jahr 2007 auf 14 % bis zum Jahr 2020 auszubauen.

Bei der Verpflichtung, erneuerbare Energien anteilig für die Wärmeversorgung zu nutzen, richtet sich der einzusetzende Mindestdeckungsanteil nach der Art der eingesetzten Energiequelle (Tab. 5.22). Bei Nutzung solarer Strahlungsenergie für die Unterstützung der Trinkwarmwasserbereitung in Wohngebäuden kann der erforderliche Anteil von 15 % am gesamten Wärmeenergiebedarf dadurch nachgewiesen werden, dass in Abhängigkeit von der Gebäudegröße bestimmte Aperturflächen der Solarkollektoren vorhanden sind. Bei Gebäuden mit maximal zwei Wohneinheiten werden 0,04 m² Aperturfläche je m² Gebäudenutzfläche gefordert, bei Gebäuden mit mehr als zwei Wohneinheiten sind es 0,03 m² Aperturfläche je m² Gebäudenutzfläche.

Die Kollektoren müssen zertifiziert sein und das Prüfzeichen „Solar Keymark“ tragen. Bei Verwendung von gasförmiger Biomasse beträgt der Deckungsanteil mindestens 30 % und darf nur in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden. Für flüssige Biomasse mit einem Deckungsanteil von mindestens

Tab. 5.22: Deckungsanteil erneuerbarer Energien am Wärme- und Kälteenergiebedarf gemäß EEWärmeG [5.12]

Art der erneuerbaren Energie	Anteil	Bemerkung
Solare Strahlungsenergie	$Q_{WE+KE,solar} \geq 0,15 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Gebäude mit ≤ 2 WE: $\geq 0,04 \text{ m}^2 A_{Ap}/\text{m}^2 A_N$ Gebäude mit > 2 WE: $\geq 0,03 \text{ m}^2 A_{Ap}/\text{m}^2 A_N$ Zertifizierung DIN EN 12975, Prüfzeichen „Solar Keymark“
Biomasse gasförmig	$Q_{WE+KE,Bg} \geq 0,30 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Nutzung in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung
Biomasse flüssig	$Q_{WE+KE,Bfl} \geq 0,50 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Heizkessel mit bester verfügbarer Technik
Biomasse fest	$Q_{WE+KE,Bfe} \geq 0,50 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Nutzung in Anlagen nach BImSchV Anforderungen an Kesselwirkungsgrad für Biomasse-zentralheizungsanlagen: $Q \leq 50 \text{ kW} \rightarrow \eta_k \geq 86 \%$ $Q > 50 \text{ kW} \rightarrow \eta_k \geq 88 \%$
Geothermie und Umweltwärme	$Q_{WE+KE,G/U} \geq 0,50 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Elektrisch betriebene Wärmepumpen mit Wärmemengen- und Brennstoffzähler: ■ Luft/Wasser-WP und Luft/Luft-WP: Jahresarbeitszahl $\geq 3,5$ ■ Andere Wärmepumpen: Jahresarbeitszahl $\geq 4,0$ Fossil betriebene Wärmepumpen mit Wärmemengen- und Brennstoffzähler: ■ Jahresarbeitszahl $\geq 1,2$
Kälte		■ Technische Nutzbarmachung durch unmittelbare Kälteentnahme aus dem Erdboden oder aus Grund- oder Oberflächenwasser sowie durch thermische Kälteerzeugung mit Wärme aus erneuerbaren Energien ■ Nutzung der Kälte zur Deckung des Kältebedarfs für Raumkühlung ■ Senkung des Energieverbrauchs für die Erzeugung der Kälte, die Rückkühlung und die Verteilung der Kälte nach der jeweils besten verfügbaren Technik

Tab. 5.23: Ersatzmaßnahmen gemäß EEWärmeG [5.12]

Ersatzmaßnahme	Anteil bzw. Bedingung
Abwärme Randbedingungen wie Umweltwärme	$Q_{WE+KE,Ersatz} \geq 0,5 \cdot Q_{WE+KE,ges}$
Abwärme aus Wärmerückgewinnung ■ Wärmerückgewinnungsgrad $\geq 70\%$ ■ Leistungszahl (Wärme WRG/Strom RLT) ≥ 10	
Hocheffiziente KWK-Anlagen	
Nah- und Fernwärmeversorgung ■ Wärme stammt zu einem wesentlichen Anteil aus erneuerbaren Energiequellen oder ■ Wärme stammt zu $\geq 50\%$ aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme oder ■ Wärme stammt zu $\geq 50\%$ aus KWK-Anlagen oder ■ Wärme stammt zu $\geq 50\%$ aus Kombination der vorgenannten Maßnahmen	$Q_{WE+KE,Ersatz} \geq 1,0 \cdot Q_{WE+KE,ges}$
Maßnahmen zur Einsparung von Energie (Unterschreitung der EnEV-Anforderungen)	$Q_{p,max}'' = 0,85 \cdot Q_{p,EnEV}''$ $H_{T,max}' = 0,85 \cdot H_{T,EnEV}'$ (Wohngebäude) $\bar{U}_{max} = 0,85 \cdot \bar{U}_{EnEV}$ (Nichtwohngebäude) Weitere Regelungen für öffentliche Gebäude

50 % müssen Heizkessel mit bester verfügbarer Technik vorhanden sein. Feste Biomasse muss mit einem Anteil am Wärmeenergiebedarf von mindestens 50 % verwendet werden.

Bei Nutzung von Erd- oder Umweltwärme mit einem Deckungsanteil von mindestens 50 % gelten ergänzende technische Anforderungen. Für Wärmepumpen wird der Nachweis vorgeschriebener Jahresarbeitszahlen gefordert. Daher sind sie je nach Beschaffenheit mit Wärmemengen- und Brennstoffzählern auszustatten.

Anstelle des Einsatzes erneuerbarer Energien bietet das EEWärmeG die Möglichkeit, auf Ersatzmaßnahmen zurückzugreifen (Tab. 5.23). Sie umfassen die Nutzung von Abwärme, die Nutzung von Wärmeenergie aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie aus Nah- und Fernwärmenetzen. Als Ersatzmaßnahme zulässig sind auch Maßnahmen am Gebäude zur Unterschreitung des maximal zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p'' und des spezifischen, gebäudehüllflächenbezogenen Transmissionswärmeverlusts H_T' um jeweils mindestens 15 %. Ersatzmaßnahmen und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen können auch miteinander und untereinander kombiniert werden.

5.6 Sommerlicher Wärmeschutz

Einflussgrößen auf den sommerlichen Wärmeschutz

Für den sommerlichen Wärmeschutz sind die solare Einstrahlung, die sich aus dem Gebäudestandort ergibt, die Fenster-, die Baustoff- und damit die Bauteileigenschaften sowie die Möglichkeit der Nachtlüftung von Bedeutung:

- **Solare Einstrahlung (Gebäudestandort)**
- **Fenstereigenschaften**
 - Fläche
 - Neigung
 - Rahmenanteil
 - Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung
 - Sonnenschutz
 - Himmelsrichtung
- **Baustoff- und Bauteileigenschaften**
 - Spezifische Wärmekapazität der Baustoffe
 - Wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile
 - Wärmeeindringkoeffizient
 - Temperaturleitfähigkeit
 - Temperaturamplitudenverhältnis
 - Phasenverschiebung
- **Nachtlüftung**

Während die solare Einstrahlung und die Fenstereigenschaften von großem Einfluss sind, ist bei den Baustoff- und Bauteileigenschaften zu differenzieren. Nennenswerte Bedeutung haben die spezifische Wärmekapazität von Baustoffen und die wirksame Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen (s. Abschnitt 5.3 „Wärmespeicherung“).

Der Wärmeindringkoeffizient b gibt Auskunft darüber, wie schnell Wärme von einem Bauteil aufgenommen oder abgegeben wird [5.4]:

$$b = \sqrt{c \cdot \lambda \cdot \rho} \quad \text{Gl. (5.17)}$$

Die Temperaturleitfähigkeit a benennt die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Temperaturfeldes in einem Stoff:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad \text{Gl. (5.18)}$$

Periodische Temperaturschwankungen der Außenluft im 24-Stunden-Rhythmus setzen sich als Schwingungen durch ein Außenbauteil von außen nach innen fort. Die Temperaturamplitude wird während dieses Durchgangs abgeschwächt. Das Verhältnis der maximalen Temperaturschwankung an der inneren Bauteiloberfläche zur maximalen Schwankung an der äußeren Bauteiloberfläche ist das Temperaturamplitudenverhältnis TAV. Die zeitliche Verzögerung der Wellenbewegung durch das Bauteil wird als Phasenverschiebung φ bezeichnet.

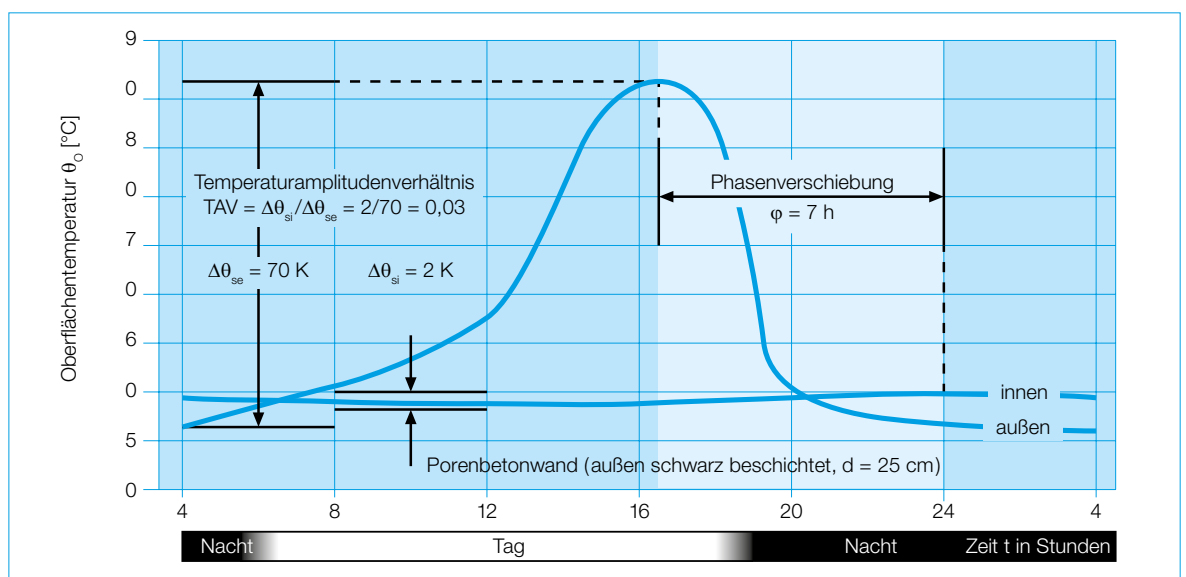
An einer 250 mm dicken Porenbetonwand, schwarz gestrichen und nach Westen orientiert, wurden im Verlauf von 24 Stunden die Oberflächentemperaturen gemessen (Abb. 5.18). Die dort aufgetretenen Temperaturschwankungen $\Delta\theta_{se}$ auf der Außenseite von etwa 70 K wurden durch die Wand so stark abgemindert, dass auf der Innenseite nur noch eine Temperaturänderung $\Delta\theta_{si}$ von 2 K gemessen wurde [5.3]. Demnach beträgt das Temperaturamplitudenverhältnis $TAV = 0,03$ [-] und die Phasenverschiebung $\varphi = 7$ h.

Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Infolge passiver Solarenergienutzung erwärmen sich Räume von Gebäuden. Durch eine der Situation angepasste Bauausführung ist darauf zu achten, dass keine unzumutbaren Temperaturen entstehen. Denn dies würde dazu führen, dass Räume unter Einsatz von Energie gekühlt werden müssten. Vor dem Hintergrund des energiesparenden Bauens, das sich nicht nur auf die winterliche sondern auch auf die sommerliche Situation bezieht, verlangt die Energieeinsparverordnung den Nachweis den sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2. Der Nachweis, der raumbezogen durchgeführt wird, besteht darin, dass ein „vorhandener“ Sonneneintragskennwert einen „höchstens zulässigen“ Sonneneintragskennwert nicht überschreitet. Alternativ kann der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes durch eine thermisch-dynamische Gebäudesimulation erbracht werden.

Nach DIN 4108-2 kann auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden, wenn der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{wG}

Abb. 5.18: Temperaturverläufe an der inneren und äußeren Oberfläche einer Porenbetonwand



in Abhängigkeit von der Fensterneigung und der Fensterorientierung unterhalb bestimmter Grenzen liegt (Tab. 5.24). Der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{WG} ergibt sich aus den Fensterflächen A_W und der Nettogrundfläche A_G des Raumes:

$$f_{WG} = \frac{A_W}{A_G} \quad \text{Gl. (5.19)}$$

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} wird aus der Fensterfläche A_W , dem Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{total} und der Nettogrundfläche des Raumes A_G ermittelt:

$$S_{\text{vorh}} = \frac{\sum_i (A_{w,i} \cdot g_{\text{total},i})}{A_G} \quad \text{Gl. (5.20)}$$

Dabei wird der Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{total} vereinfacht

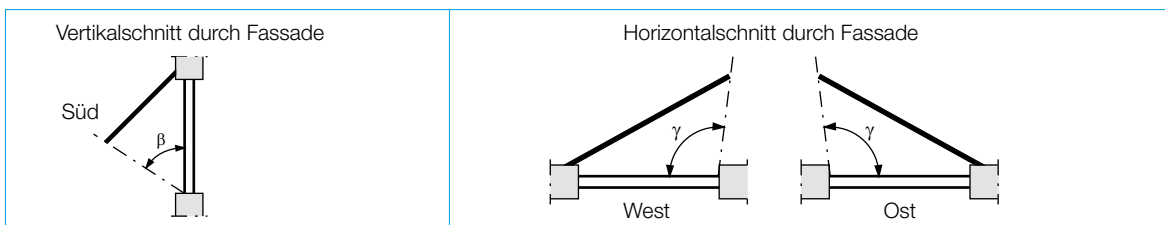
Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster ¹⁾	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil ²⁾ f_{WG} [%]
Über 60° bis 90°	Nordwest- über Süd bis Nordost	10
	Alle anderen Nordorientierungen	15
Von 0° bis 60°	Alle Orientierungen	7

¹⁾ Sind beim betrachteten Raum mehrere Orientierungen mit Fenstern vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für f_{WG} bestimmend.
²⁾ Der Fensterflächenanteil f_{WG} ergibt sich aus dem Verhältnis der Fensterfläche zu der Grundfläche des betrachteten Raumes oder der Raumgruppe. Sind beim betrachteten Raum bzw. der Raumgruppe mehrere Fassaden oder z. B. Erker vorhanden, ist f_{WG} aus der Summe aller Fensterflächen zur Grundfläche zu berechnen.

aus dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g und dem Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen F_C (Tab. 5.25) berechnet:

Sonnenschutzvorrichtung ^{a)}	F_C		
	$g \leq 0,40$ (Sonnenschutzglas) zweifach	$g > 0,40$	
		Dreifach	Zweifach
Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,0	1,0	1,0
Innenliegend oder zwischen den Scheiben ^{b)} : weiß oder hoch reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz ^{c)} helle Farben oder geringe Transparenz ^{d)} dunkle Farbe oder höhere Transparenz	0,65 0,75 0,90	0,70 0,80 0,90	0,65 0,75 0,85
Außenliegend: Fensterläden, Rollläden: - Fensterläden, Rollläden, 3/4 geschlossen - Fensterläden, Rollläden, geschlossen ^{e)} Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen: - Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung - Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 10° Lamellenstellung ^{e)} Markise, parallel zur Verglasung ^{d)} Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen ^{g)}	0,35 0,15 ^{e)} 0,30 0,20 ^{e)} 0,30 0,55	0,30 0,10 ^{e)} 0,25 0,15 ^{e)} 0,25 0,50	0,30 0,10 ^{e)} 0,25 0,15 ^{e)} 0,25 0,50

^{a)} Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.
^{b)} Für innen und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.
^{c)} Hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz, Transparenz $\leq 10\%$, Reflexion $\geq 60\%$.
^{d)} Geringe Transparenz, Transparenz $< 15\%$.
^{e)} F_C -Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden. Ein geschlossener Sonnenschutz verdunkelt den dahinterliegenden Raum stark und kann zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen, da nur ein sehr geringer bis kein Einfall des natürlichen Tageslichts vorhanden ist.
^{g)} Dabei muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist näherungsweise der Fall, wenn
 - bei Südorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 50^\circ$ ist;
 - bei Ost- oder Westorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 85^\circ$ oder $\gamma \geq 115^\circ$ ist.
 Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von $\pm 22,5^\circ$. Bei Zwischenorientierungen ist der Abdeckwinkel $\beta \geq 80^\circ$ erforderlich.



Tab. 5.24: Zulässige Werte des grundflächenbezogenen Fensterflächenanteils, unterhalb dessen auf einen sommerlichen Wärmeschutz verzichtet werden kann gemäß DIN 4108-2 [5.6.1]

Tab. 5.25: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis gemäß DIN 4108-2 [5.6.1]

$$g_{\text{total}} = g \cdot F_c$$

Gl. (5.21)

Für innenliegende oder zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen befinden sich die Werte zwischen $F_c = 0,65$ und $F_c = 0,9$. Damit ist die Schutzwirkung im Vergleich zu außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen mit Werten zwischen $F_c = 0,1$ und $F_c = 0,5$ relativ gering. Ein niedriger Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen außenliegender Rollläden mit $F_c = 0,3$ führt dazu, dass bei entsprechend ausgestatteten Gebäuden im Regelfall auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden kann.

Der Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} stellt eine Summe aus anteiligen Sonneneintragskennwerten S_x dar:

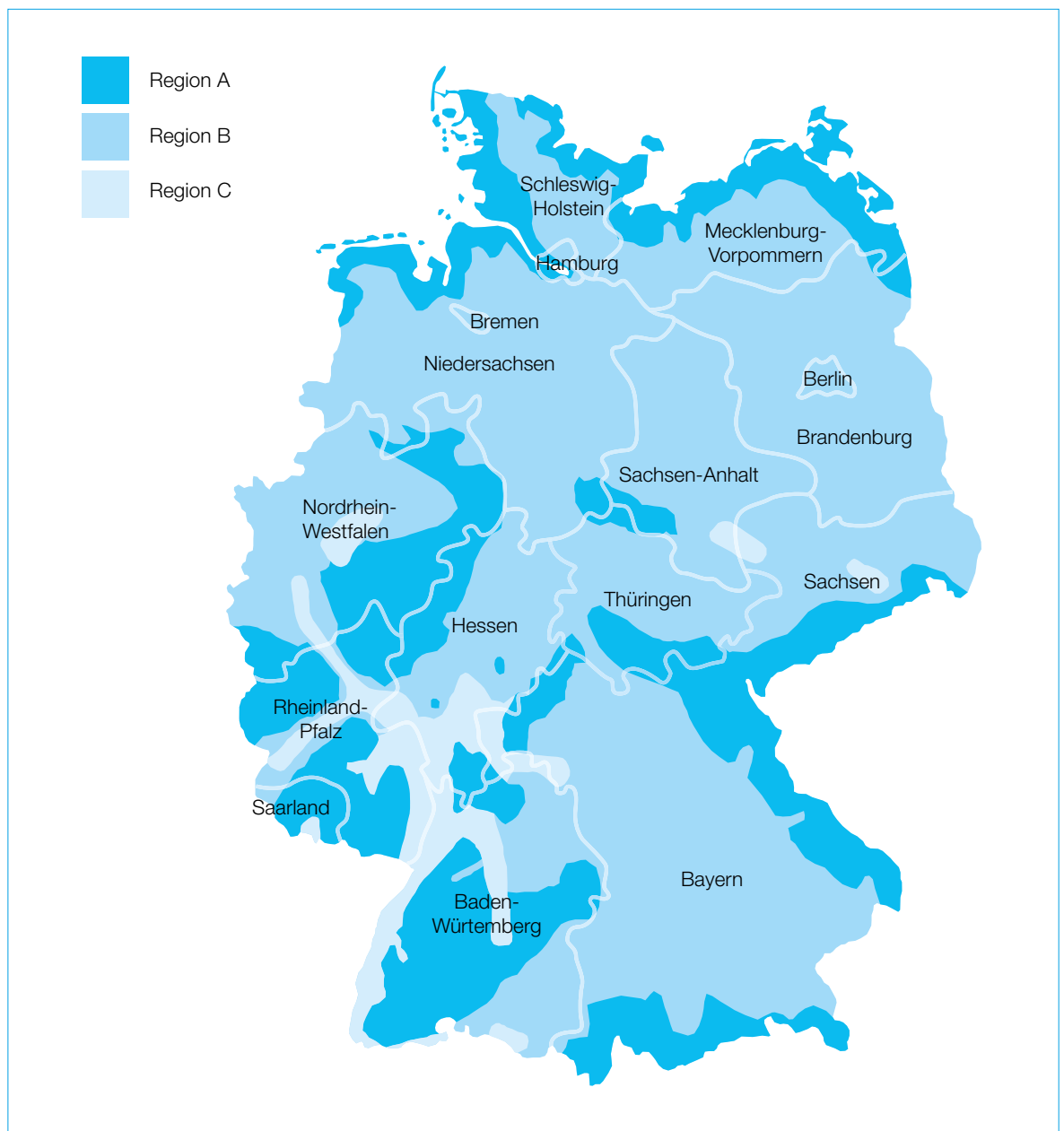
$$S_{\text{zul}} = \sum S_x$$

Gl. (5.22)

Für die Ermittlung von S_{zul} ist zunächst die Nutzung festzulegen. Dabei wird unterschieden, ob es sich um Wohngebäude oder Nichtwohngebäude handelt. Weiterhin ist für den Standort des Gebäudes die Sommerklimaregion zu bestimmen (Abb. 5.19).

Folgende Situationen, die auf das Maß der Erwärmung der Räume Einfluss haben, werden durch

Abb. 5.19:
Sommerklimaregionen
gemäß DIN 4108-2
[5.6.1]



anteilige Sonneneintragskennwerte S_x (Tab. 5.26) erfasst:

- S_1 : Nachtlüftung und Bauart
- S_2 : Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil
- S_3 : Sonnenschutzglas
- S_4 : Fensterneigung
- S_5 : Orientierung
- S_6 : Einsatz passiver Kühlung

Zur Feststellung, ob es sich zur Ermittlung des anteiligen Sonneneintragskennwertes S_1 um eine schwere, mittlere oder leichte Bauart handelt, ist zunächst die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} eines Raumes zu berechnen und dann die Bauart zu bestimmen (s. Kapitel 5.3 „Wärmespeicherung“). Die durch S_1 vorgegebenen anteiligen Sonneneintragskennwerte gelten für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von etwa 25 %. Durch den anteiligen Sonneneintragskennwert S_2 erfolgt eine Korrektur des S_1 -Wertes in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil, wodurch die Anwendbarkeit des Verfahrens auf Räume mit grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen abweichend von 25 % gewährleistet wird:

$$S_2 = a - (b \cdot f_{\text{WG}}) \quad \text{Gl. (5.23)}$$

Faktoren a und b siehe Tab. 5.26.

Berechnungsbeispiel zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Ein einfaches Berechnungsbeispiel zeigt den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für den südorientierten Raum eines Wohngebäudes mit Wänden aus Porenbeton (Abb. 5.20). Das Gebäude liegt in der Sommerklimaregion B. Der Nachweis ist erforderlich, da der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{WG} gemäß Gl. (5.19) über 10 % liegt:

- Fensterfläche Süd: $A_{\text{w,S}} = 7,80 \text{ m}^2$
- Fensterfläche Ost: $A_{\text{w,O}} = 1,52 \text{ m}^2$
- Nettogrundfläche: $A_G = 59,54 \text{ m}^2$

$$f_{\text{WG}} = \frac{7,80 + 1,52}{59,54} = 0,16 \text{ [-]}$$

Im nächsten Schritt werden die Daten für den vorhandenen Sonneneintragskennwert S_{vorh} ermittelt:

- Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{total} gemäß Gl. (5.21)

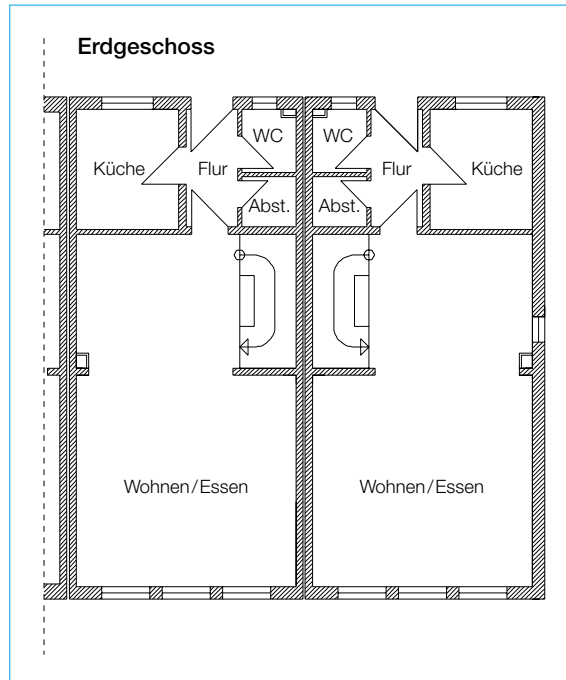


Abb. 5.20: Beispiel zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

- Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0,62 \text{ [-]}$
 - Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen (außenliegende Jalousie, keine Sonnenschutzverglasung, Zweifachverglasung): $F_c = 0,25 \text{ [-]}$
- $$g_{\text{total}} = 0,62 \cdot 0,25 = 0,16 \text{ [-]}$$
- Vorhandener Sonneneintragskennwert S_{vorh} gemäß Gl. (5.20)

$$S_{\text{vorh}} = \frac{\sum_i (A_{\text{w},i} \cdot g_{\text{total},i})}{A_G} = \frac{7,80 \cdot 0,16 + 1,52 \cdot 0,16}{59,54} = 0,03 \text{ [-]}$$

Durch Addition der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_x wird der Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} ermittelt:

- Nachtlüftung und Bauart
 - Nachtlüftung: Erhöht, Luftwechselrate $n = 2 \text{ h}^{-1}$
 - Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} gemäß Gl. (5.2) (Tab. 5.27)

$$C_{\text{wirk}} = 6.358 \text{ Wh/K}$$
 - Ermittlung der Bauart gemäß Gl. (5.3):

$$\frac{C_{\text{wirk}}}{A_G} = \frac{6.358}{59,54} = 107 \text{ Wh/(m}^2\text{K)}$$

→ Mittlere Bauart

Tab. 5.26: Anteilige Sonneneintragskennwerte zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwertes gemäß DIN 4108-2 [5.6.1]

		Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x						
Nutzung		Wohngebäude			Nichtwohngebäude			
Klimaregion ¹⁾		A	B	C	A	B	C	
Nachtlüftung und Bauart								
S_1	Nachtlüftung	Bauart ²⁾						
		Leicht	0,071	0,056	0,041	0,013	0,007	0,000
	Ohne	Mittel	0,080	0,067	0,054	0,020	0,013	0,006
		Schwer	0,087	0,074	0,061	0,025	0,018	0,011
		Leicht	0,098	0,088	0,078	0,071	0,060	0,048
	Erhöhte Nachtlüftung ³⁾ mit $n \geq 2 \text{ h}^{-1}$	Mittel	0,114	0,103	0,092	0,089	0,081	0,072
		Schwer	0,125	0,113	0,101	0,101	0,092	0,083
		Leicht	0,128	0,117	0,105	0,090	0,082	0,074
	Hohe Nachtlüftung ⁴⁾ mit $n \geq 5 \text{ h}^{-1}$	Mittel	0,160	0,152	0,143	0,135	0,124	0,113
		Schwer	0,181	0,171	0,160	0,170	0,158	0,145
	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}⁵⁾							
S_2	$S_2 = a - (b \cdot f_{\text{WG}})$	a	0,060			0,030		
		b	0,231			0,115		
Sonnenschutzglas^{6),i)}								
S_3	Fenster mit Sonnenschutzglas ⁶⁾ mit $g \leq 0,4$	0,03						
Fensterneigung^{7),9)}								
S_4	$0^\circ \leq \text{Neigung} \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen)	- 0,035 f_{neig}						
Orientierung^{8),9)}								
S_5	Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind	+ 0,10 f_{nord}						
Einsatz passiver Kühlung								
S_6	Bauart							
	Leicht	0,02						
	Mittel	0,04						
	Schwer	0,06						

¹⁾ Ermittlung der Klimaregion nach Abb. 5.19

²⁾ Ohne Nachweis der wirksamen Wärmekapazität ist von leichter Bauart auszugehen, wenn keine der im Folgenden genannten Eigenschaften für mittlere oder schwere Bauart nachgewiesen sind.

Vereinfachend kann von mittlerer Bauart ausgegangen werden, wenn folgende Eigenschaften vorliegen:

- Stahlbetondecke
- massive Innen- und Außenbauteile (flächenanteilig gemittelte Rohdichte $\geq 600 \text{ kg/m}^3$)
- keine innenliegende Wärmedämmung an den Außenbauteilen
- keine abgehängte oder thermisch abgedeckte Decke
- keine hohen Räume ($> 4,5 \text{ m}$) wie z. B. Turnhallen, Museen usw.

Von schwerer Bauart kann ausgegangen werden, wenn folgende Eigenschaften vorliegen:

- Stahlbetondecke
- massive Innen- und Außenbauteile (flächenanteilig gemittelte Rohdichte $\geq 1.600 \text{ kg/m}^3$)
- keine innenliegende Wärmedämmung an den Außenbauteilen
- keine abgehängte oder thermisch abgedeckte Decke
- keine hohen Räume ($> 4,5 \text{ m}$) wie z. B. Turnhallen, Museen usw.

Die wirksame Wärmekapazität darf auch nach DIN EN ISO 13786 (Periodendauer 1 d) für den betrachteten Raum bzw. Raumbereich bestimmt werden, um die Bauart einzuordnen; dabei ist folgende Einstufung vorzunehmen:

- leichte Bauart liegt vor, wenn $C_{\text{wir}}/A_G < 50 \text{ Wh/Km}^2$

Dabei ist

C_{wir} die wirksame Wärmekapazität

A_G die Nettogrundfläche

- mittlere Bauart liegt vor, wenn $50 \text{ Wh/(Km}^2) \leq C_{\text{wir}}/A_G \leq 130 \text{ Wh/(km}^2)$

- schwere Bauart liegt vor, wenn $C_{\text{wir}}/A_G > 130 \text{ Wh/(Km}^2)$

³⁾ Bei der Wohnnutzung kann in der Regel von der Möglichkeit zu erhöhter Nachtlüftung ausgegangen werden. Der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 2 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.

⁴⁾ Von hoher Nachtlüftung kann ausgegangen werden, wenn für den zu bewertenden Raum oder Raumbereich die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen (z. B. über angeschlossenes Atrium, Treppenhaus oder Galerieebene). Der Ansatz der hohen Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 5 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.

$$f_{WG} = A_W/A_G$$

A_W die Fensterfläche
 A_G die Nettogrundfläche

Hinweis: Die durch S_1 vorgegebenen anteiligen Sonneneintragskennwerte gelten für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von etwa 25 %. Durch den anteiligen Sonneneintragskennwert S_2 erfolgt eine Korrektur des S_1 -Wertes in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil, wodurch die Anwendbarkeit des Verfahrens auf Räume mit grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen abweichend von 25 % gewährleistet wird. Für Fensterflächenanteile kleiner 25 % wird S_2 positiv, für Fensterflächenanteile größer 25 % wird S_2 negativ.

⁶⁾ Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, welche die diffuse Strahlung nutzerunabhängig permanent reduziert und hierdurch ein $g_{ot} \leq 0,4$ erreicht wird. Bei Fensterflächen mit unterschiedlichem g_{ot} wird S_3 flächenanteilig gemittelt:

$$S_3 = 0,03 \cdot A_{W,gtots0,4}/A_{W,gesamt}$$

Dabei ist
 $A_{W,gtots0,4}$ die Fensterfläche mit $g_{ot} \leq 0,4$
 $A_{W,gesamt}$ die gesamte Fensterfläche

$$f_{neig} = A_{W,neig}/A_{W,gesamt}$$

Dabei ist
 $A_{W,neig}$ die geneigte Fensterfläche
 $A_{W,gesamt}$ die gesamte Fensterfläche

$$f_{nord} = A_{W,nord}/A_{W,gesamt}$$

Dabei ist
 $A_{W,nord}$ die Nord-, Nordost- und Nordwestorientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind
 $A_{W,gesamt}$ die gesamte Fensterfläche

Fenster, die dauernd von Gebäuden selbst verschattet werden: Werden für die Verschattung F_s -Werte nach DIN V 18599-2: 2011-12 verwendet, so ist für jene Fenster $S_5 = 0$ zu setzen

⁹⁾ Gegebenenfalls flächenanteilig gemittelt zwischen der gesamten Fensterfläche und jener Fensterfläche, auf die diese Bedingung zutrifft.

Bauteil	Baustoff	Spezifische Wärmekapazität c_i		Rohdichte ρ_i kg/m ³	Wirksame Schichtdicke d_i m	Bauteilfläche A_i m ²	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{w,irk} = c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot A_i$ Wh/K
		J/(kgK)	Wh/(kgK)				
Fußboden	Zementstrich	1.000	0,278	2.000	0,050	59,54	1.655
Außenwand Süd	Putz	1.000	0,278	600	0,015	7,45	19
	Porenbeton	1.000	0,278	400	0,085	7,45	70
Außenwand Ost	Putz	1.000	0,278	600	0,015	22,86	57
	Porenbeton	1.000	0,278	400	0,085	22,86	216
Haustrennwand	Putz	1.000	0,278	600	0,015	24,40	61
	Porenbeton	1.000	0,278	600	0,070	24,40	285
Innenwand	Putz	1.000	0,278	600	0,015	13,25	33
	Porenbeton	1.000	0,278	600	0,070	13,25	155
Decke	Stahlbeton	1.000	0,278	2.300	0,100	59,54	3.807
Summe							6.358

Tab. 5.27: Berechnungsbeispiel zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes – Wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{w,irk}$

- Anteiliger Sonneneintragskennwert S_1 bei erhöhter Nachtlüftung und mittlerer Bauart:
 $S_1 = 0,103$ [-]
- Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil gemäß Gl. (5.23)
 $S_2 = 0,060 - (0,231 \cdot 0,16) = 0,023$ [-]
- Sonnenschutzverglasung
Nicht vorhanden
 $S_3 = 0$
- Fensterneigung
Neigung 90° gegenüber der Horizontalen
 $S_4 = 0$
- Fensterorientierung
Ost- und südorientiert
 $S_5 = 0$

- Einsatz passiver Kühlung
Nicht vorhanden
 $S_6 = 0$
- Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} gemäß Gl. (5.22):
 $S_{zul} = 0,103 + 0,023 = 0,126$ [-]

Damit ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 erbracht, da der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} den Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} nicht überschreitet:

$$S_{vorh} = 0,03 < S_{zul} = 0,126$$

Literatur

- [5.1] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Porenbeton-Wärmebrücken katalog
- [5.2] Deutsche Energie-Agentur (dena): Energiepass für Gebäude: Evaluation des Feldversuchs – Zusammenfassung der Ergebnisse. Karlsruhe 2005
- [5.3] Gertis, K.: Thermische Eigenspannungen und Verformungen von Gasbeton-Außenbauteilen. Holzkirchen, April 1974
- [5.4] Jenisch, R. und Stohrer, M.: Kapitel Wärme. In: Lehrbuch der Bauphysik, Teubner Verlag, Stuttgart 2002
- [5.5] Xella Baustoffe GmbH: Energetische Sanierung von einschaligen Außenwänden aus Porenbeton nach Energieeinsparverordnung – Feststellung der wärmetechnischen Bemessungswerte. Technischer Bericht 5/2003. November 2003
- [5.6] DIN 4108: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
 - [5.6.1] Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Ausgabe 2013-02
 - [5.6.2] Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte. Ausgabe 2017-03
 - [5.6.3] Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfes. Vornorm 2003-06
 - [5.6.4] Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden; Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele. Ausgabe 2011-01
 - [5.6.5] Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele. Ausgabe 2006-03
- [5.7] DIN 4701: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen
 - [5.7.1] Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Vornorm 2003-08
 - [5.7.2] Teil 12: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand – Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung. Vornorm 2004-02
 - [5.7.3] PAS 1027: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand – Ergänzung zur DIN V 4701-12 Blatt 1. Ausgabe 2004-02
- [5.8] DIN EN ISO 6946: Bauteile; Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient; Berechnungsverfahren. Ausgabe 2018-03
- [5.9] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung
 - [5.9.1] Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. Vornorm 2011-12
 - [5.9.2] Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen. Vornorm 2011-12
 - [5.9.3] Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung. Vornorm 2011-12
 - [5.9.4] Teil 4: Nutz- und Energiebedarf für Beleuchtung. Vornorm 2011-12
 - [5.9.5] Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen. Vornorm 2011-12
 - [5.9.6] Teil 6: Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau. Vornorm 2011-12
 - [5.9.7] Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau. Vornorm 2011-12
 - [5.9.8] Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen. Vornorm 2011-12
 - [5.9.9] Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen. Vornorm 2011-12

- [5.9.10] Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. Vornorm 2011-12
- [5.9.11] Teil 11: Gebäudeautomation. Vornorm 2011-12
- [5.9.12] Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich. Vornorm 2010-01
- [5.9.13] Beiblatt 2: Beschreibung der Anwendung von Kennwerten aus der DIN V 18599 bei Nachweisen des Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EE-WärmeG). Vornorm 2012-06
- [5.10] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) vom 11. August 1977
- [5.11] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007 (EnEV 2007), Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009 (EnEV 2009), Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013 (EnEV 2014)
- [5.12] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 7. August 2008
- [5.13] Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Europarechtsanpassungsgesetz Erneuerbare Energien – EAG EE) vom 12. April 2011
- [5.14] Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand. Vom 7. April 2015
- [5.15] Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand. Vom 7. April 2015
- [5.16] Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand. Vom 7. April 2015
- [5.17] Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Vom 7. April 2015
- [5.18] Bekanntmachung zur Anwendung von § 3 Absatz 5 der Energieeinsparverordnung (EnEV) (Modellgebäudeverfahren für nicht gekühlte Wohngebäude). Vom 10. Oktober 2016

FEUCHTE

Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster

6.1 Feuchtegehalt von Porenbeton

In einem Baustoff, der sich über längere Zeit in Luft konstanter relativer Luftfeuchte und Temperatur befindet, stellt sich ein bestimmter Feuchtegehalt ein. Dabei handelt es sich um die Gleichgewichtsfeuchte eines Baustoffes zu der betreffenden Luft. So entspricht z. B. die Feuchte u_{50} dem Wassergehalt bei 50 % relativer Luftfeuchte und damit etwa dem Wert, den Baustoffe in bewohnten Räumen annehmen. Die in Bezug auf feuchte Luft möglichen Gleichgewichtsfeuchten eines Baustoffes werden in Sorptionsisothermen zusammengefasst. Die Sorptionsisothermen feinporiger mineralischer Baustoffe wie Porenbeton zeigen einen s-förmig gekrümmten Verlauf, dessen unterer Teil dadurch verursacht wird, dass die Anlagerung der ersten Molekülschicht Wasser auf der inneren Baustoffoberfläche bei niedrigen relativen Luftfeuchten stark exotherm erfolgt. Die weiteren Schichten Wasser werden erst bei deutlich höheren Luftfeuchten aufgenommen [6.11].

Den sich einstellenden Feuchtegehalt von Porenbeton zeigt eine Sorptionsisotherme, die auf Grundlage von Untersuchungen an verschiedenen Bauteilen niedrig und normal beheizter Gebäude entstanden ist (Abb. 6.1). Es ist erkennbar, dass der massebezogene Feuchtegehalt in einer Umgebung mit einer relativen Raumlufffeuchte zwischen 50 und 70 % im Bereich von $u = 3$ bis 4 % liegt [6.1]. In DIN EN ISO 10456 [6.9] sind die Ausgleichsfeuchtegehalte von $u = 2,6\%$ ($\theta = 23\text{ °C}$, $\phi = 50\%$) und $u = 4,5\%$ ($\theta = 23\text{ °C}$, $\phi = 80\%$) genormt.

Absorptionsfähige Baustoffe mit feinporigen, saugfähigen Oberflächen nehmen bei gleicher relativer Luftfeuchte mehr Feuchte auf als weniger absorptionsfähige Oberflächen wie Fliesen. Dadurch kann in gewissen Grenzen die Raumlufffeuchte ϕ beeinflusst werden, d. h. im Falle absorptionsfähiger Oberflächen kommt es bei einer Feuchteproduktion im Raum zu einem etwas geringeren Anstieg der relativen Raumlufffeuchte. Bei langfristigen Feuchteschwankungen, insbesondere durch den Wechsel zwischen winter-

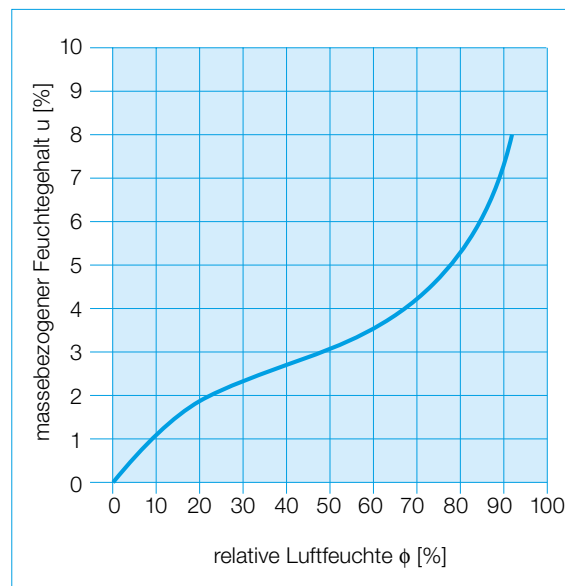


Abb. 6.1: Sorptionsisotherme von Porenbeton [6.1]

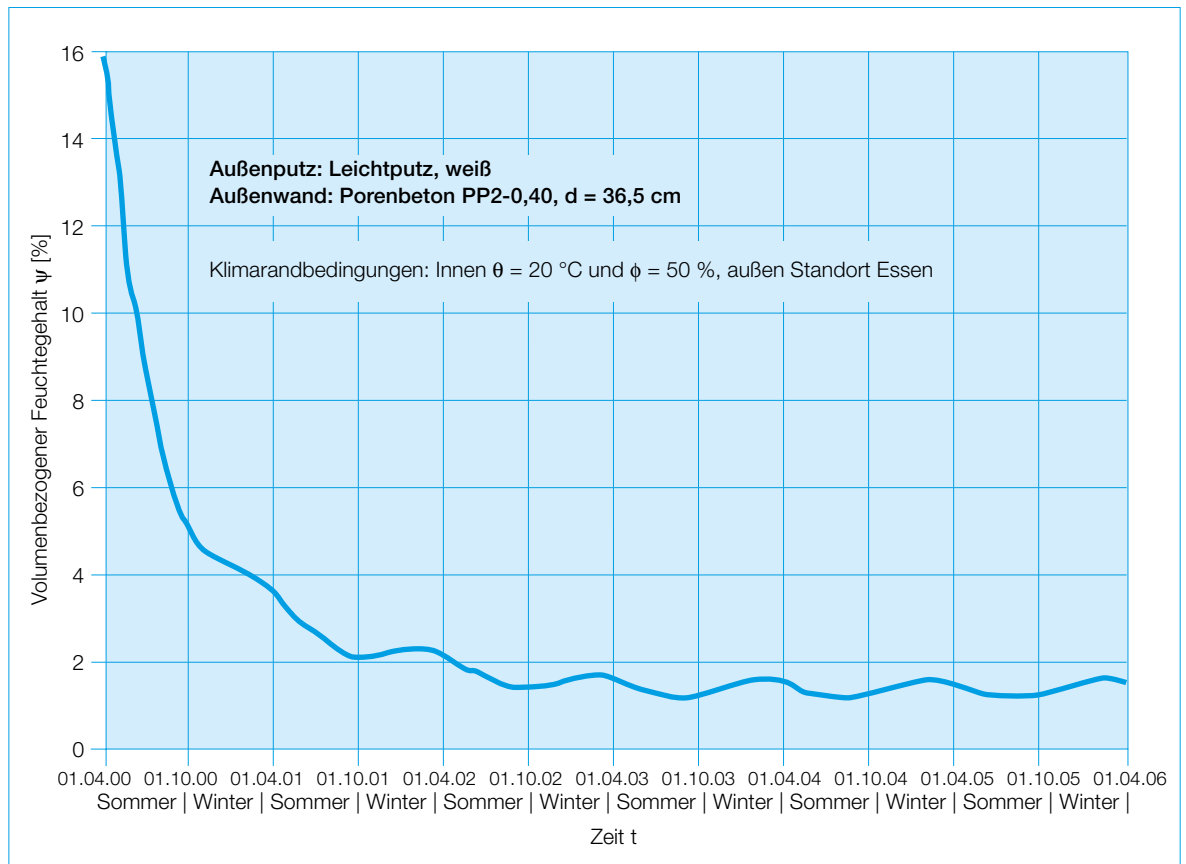
lichen und sommerlichen Randbedingungen (Winter: $\phi = 30 \dots 55\%$, Sommer: $\phi = 50 \dots 70\%$) können die Einflüsse der Sorption auf das feuchtetechnische Verhalten von Baustoffen diejenigen der Diffusion überlagern und ggf. auch größer sein.

Der Ausgleichsfeuchtegehalt von Porenbeton ist nicht unmittelbar nach Errichten eines Gebäudes vorhanden. Zunächst ist von einer erhöhten Ausgangsfeuchte auszugehen, weil Baustoffe produktionsbedingt Restfeuchte aufweisen. Die volumenbezogene Herstellfeuchte von Porenbeton beträgt etwa $\psi = 15\%$. Unter Beachtung der Rohdichte ρ_B des betreffenden Baustoffs und der Rohdichte ρ_W von Wasser lässt sich nach folgendem Zusammenhang der massebezogene Wassergehalt u ermitteln:

$$u = \frac{\rho_W}{\rho_B} \cdot \psi \quad \text{Gl. (6.1)}$$

Auch durch Mauer- und Putzmörtel sowie Betonbauteile und Estriche wird Feuchte in Bauwerke eingetragen. In früheren Zeiten vergingen bei den damals üblichen Bauweisen, z. B. Mauerwerk mit hohem Mörtelanteil und Putz, mehrere Jahre, bis ein Haus „trockengewohnt“ war. Hinsichtlich des

Abb. 6.2: Trocknungsverlauf von Porenbeton-außenbauteilen [6.12].



Feuchteintrags durch Mörtelfugen weist Mauerwerk aus Plansteinen, das mit Dünnbettmörtel errichtet wird, heute ein feuchtetechnisch günstigeres Verhalten auf. Der Anteil der Mörtelfugen von Dünnbettmörtel-Mauerwerk beträgt nur 1 bis 2 % gegenüber Normalmörtel-Mauerwerk mit 6 bis 20 %. Bei Plansteinmauerwerk kann auch die Putzdicke reduziert werden.

Die erhöhte Anfangsfeuchte von Außenwänden aus Porenbeton sinkt bereits bis zum Beginn der ersten Heizperiode von $\psi = 16 \%$ auf etwa $\psi = 5 \%$ stark ab. Diesen Sachverhalt zeigt eine typische Austrocknungskurve für eine 36,5 cm dicke einschalige Außenwand aus Porenbeton PP2-0,40, die außenseitig mit einem weißen Leichtputz versehen ist (Abb. 6.2) [6.12].

Um die Anfangsfeuchte gering zu halten, ist es wichtig, dass gelieferte Baustoffe auf der Baustelle vor Regen geschützt werden. Ebenso dürfen unverputzte Wände im Rohbau nicht durchnässt werden, wobei die Durchfeuchtungsgefahr an horizontalen Flächen größer ist als an vertikalen Flächen. Generell sollten Mauerwerkskronen während längerer Arbeitsunterbrechungen vor eindringender Feuchtigkeit geschützt werden.

6.2 Wasserdampfdiffusion und Flüssigwassertransport

Neben der Baufeuchte ergibt sich eine Feuchtebeanspruchung der Bauteile durch die Nutzung, z. B. beim Kochen, Waschen, Baden, aber auch durch Feuchteabgabe von Menschen und Tieren entsteht Wasserdampf. Wieviel Wasserdampf von verschiedenen Feuchtequellen abgegeben werden kann, zeigt Tab. 6.1 [6.4.4]. In Raumluft enthaltener Wasserdampf muss durch natürliche Lüftung (Fensterlüftung) oder durch mechanische Lüftung abgeführt werden.

Ein vergleichsweise nur sehr geringer Anteil des Wasserdampfes wird auf dem Wege der Diffusion durch Bauteile nach außen transportiert. Dieser physikalischen Gesetzmäßigkeit kommt das günstige Diffusionsverhalten von Porenbeton entgegen. Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl liegt je nach Rohdichte im Bereich von $\mu = 5$ bis 10, woraus bei einer 36,5 cm dicken Wand eine mittlere wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke von etwa $s_d = 2,7 \text{ m}$ resultiert. Inwieweit es zu einem Tauwasserausfall der eindiffundierenden Feuchte innerhalb eines Bauteilquerschnitts kommen kann, ist nicht allein vom Verhalten einzelner Baustoffschichten,

Feuchtequelle		Wasserdampfabgabe
Mensch	Leichte Aktivität	50 g/h
Küche	Kochen	700 ... 1.000 g/h
	Geschirrspüler	100 g/Spülgang
	Spülen unter fließendem Wasser, $\theta = 50\text{ °C}$	300 g/h
	Spülen im Spülbecken, $\theta = 50\text{ °C}$	140 g/h
Bad	Dusche	2.600 g/h oder 300 g/Dusche
	Abrocknen	70 g/Vorgang
Wäschetrocknen	5 kg geschleudert	2.500 g/Waschmaschine
Haustiere	Katze	10 g/h
	Hund	40 g/h
Pflanzen	Mittelwert für verschiedene Pflanzen	50 g/h

Tab. 6.1: Wasserdampfabgabe verschiedener Feuchtequellen nach DIN 4108-8 [6.4.4].

sondern vom Verhalten der gesamten Schichtenfolge eines Außenbauteils abhängig.

Das Diffusionsverhalten von Bauteilen kann mit dem in DIN 4108-3 [6.4.2] genormten Glaser-Verfahren ermittelt werden. In vielen Fällen ist eine Abschätzung des Tauwasserausfalls im Bauteilinneren infolge Wasserdampfdiffusion mit Hilfe dieses Verfahrens nicht erforderlich. DIN 4108-3 enthält eine Liste unbedenklicher Bauteile, für die auf einen solchen rechnerischen Nachweis verzichtet werden kann, sofern dort festgelegte, für Wohngebäude innerhalb der Bundesrepublik Deutschland übliche Klimabedingungen und der Mindestwärmeschutz gemäß DIN 4108-2 [6.4.1] eingehalten werden. Bezogen auf die Porenbeton-Bausysteme finden sich dort u. a. folgende Konstruktionen:

- Ein- und zweischaliges Mauerwerk, jeweils mit Innenputz und folgenden Außenschichten:
 - Wasserabweisender Außenputz
 - Angemörtelte oder angemauerte Bekleidungen, Fugenanteil $\geq 5\%$
 - Hinterlüftete Außenwandbekleidungen mit und ohne Wärmedämmung
 - Einseitig belüftete Außenwandbekleidungen mit einer Lüftungsöffnung von $100\text{ cm}^2/\text{m}$
 - Kleinformartige luftdurchlässige Außenwandbekleidungen mit und ohne Belüftung
 - Außendämmungen oder wasserabweisender Wärmedämmputz oder Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
- Wände mit Innendämmung
 - Wände wie vor, jedoch ohne Schlagregenbeanspruchung
 - Innendämmung: $R \leq 0,5\text{ m}^2\text{ K/W}$

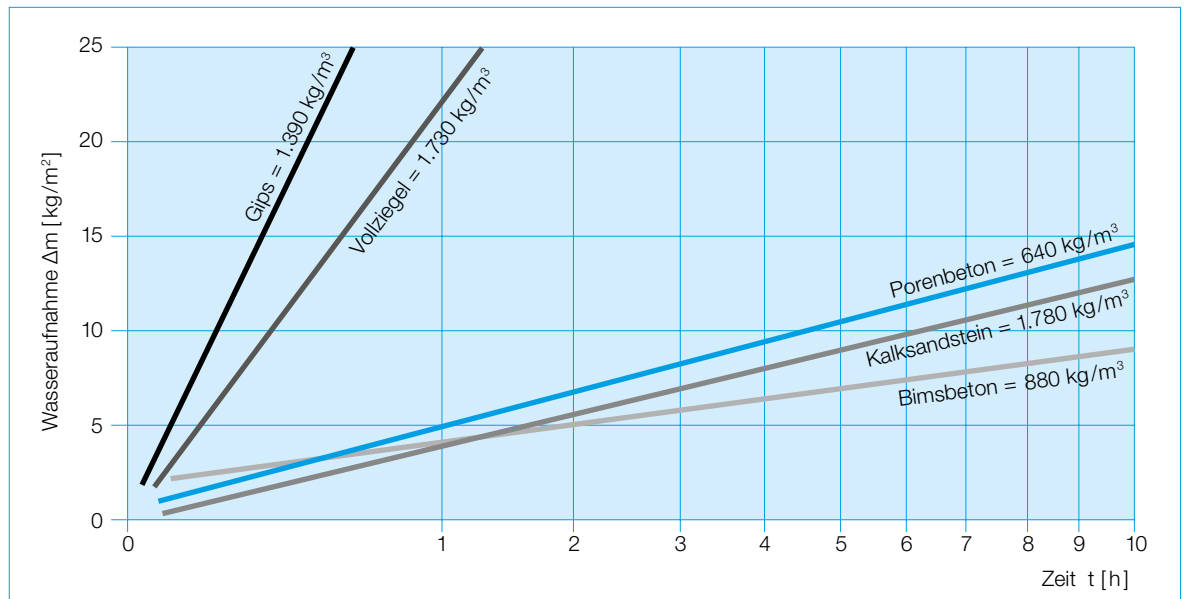
- Falls Innendämmung $0,5\text{ m}^2\text{ K/W} < R \leq 1\text{ m}^2\text{ K/W}$: $s_{d,i} \geq 0,5\text{ m}$ der Innendämmung einschließlich raumseitiger Bekleidung
- Mit Abdichtungen versehene erdberührte Kellerwände aus einschaligem Mauerwerk oder Beton, jeweils mit Perimeterdämmung
- Nicht belüftete Dächer aus Porenbeton mit Dachabdichtung, ohne diffusionshemmende Schicht an der Unterseite und ohne zusätzliche Wärmedämmung

Durch diese Liste wird berücksichtigt, dass Feuchte nicht nur als Wasserdampf auf dem Wege der Diffusion transportiert werden kann, wie es beim Glaser-Verfahren vorausgesetzt wird. Wasser wird auch in flüssiger Form durch Kapillarleitung in Außenbauteilen transportiert. Das Ausmaß der jeweiligen Transportvorgänge ist von den Diffusions- und Kapillareigenschaften der Baustoffschichten sowie den klimatischen Randbedingungen abhängig. Bei folgenden Konstruktionen ist der Feuchtetransport durch Diffusion vorrangig:

- Leichtkonstruktionen mit nicht kapillarleitenden, aber wasserdampfdurchlässigen Wärmedämmschichten, z. B. Mineralwolle-Dämmplatten
- Mehrschichtige, nicht belüftete Flachdächer
- Wasserabweisende Außenputze, bei denen im Bereich von Anschlüssen Wasser eindringen und durch Diffusion wieder abgeführt werden kann

Wenn porige, wasserbenetzbare Stoffe mit Wasser in Kontakt kommen, zieht der an den Menisken der Baustoffpore erzeugte Kapillardruck das Wasser in die Poren hinein. Dabei wird mit zunehmender Eindringtiefe h der viskose Fließwiderstand des Wassers immer größer. Deshalb nimmt die Eindringtiefe des

Abb. 6.3: Wasseraufnahme von Baustoffen [6.2]



Wassers mit der Zeit immer langsamer zu, d. h. sie nimmt nur mit der Wurzel der Zeit zu. Diese Gesetzmäßigkeit gilt gleichermaßen für die aufgenommene Wassermasse Δm , die sich leichter und genauer bestimmen lässt als die Eindringtiefe h [6.11]:

$$\Delta m = W_w \cdot \sqrt{t} \quad \text{Gl. (6.2)}$$

Dementsprechend wird das kapillare Wasseraufnahmeverhalten durch den Wasseraufnahmekoeffizienten W_w beschrieben, der für Porenbeton je nach Rohdichte im Bereich von 4 bis 8 $\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$ liegt. Abb. 6.3 zeigt das Wasseraufnahmevermögen von Porenbeton im Vergleich zu anderen Baustoffen [6.2].

Die Bedeutung des grundsätzlichen Zusammenhanges von Wasserdampf- und Flüssigwassertransport bei Porenbeton soll am Beispiel eines nicht belüfteten Flachdaches aus Porenbeton-Dachplatten mit Dachabdichtung erläutert werden (Abb. 6.4). Es wird deutlich, dass durch einen kombinierten Feuchtetransport aus Diffusion und Kapillarleitung, der die drei Vorgänge Eindiffundieren, kapillare Rückleitung und Rückdiffusion umfasst, in Porenbeton bei durch-

schnittlichen Raumluftbedingungen keine Feuchteerhöhung eintritt [6.2]:

■ Eindiffundieren

Unter einem Wasserdampfpartialdruckgefälle von innen nach außen diffundiert Wasserdampf in Richtung der Außenseite. Unterhalb der Dachabdichtung fällt Tauwasser aus, wodurch der Feuchtegehalt im Porenbeton erhöht wird.

■ Kapillare Rückleitung

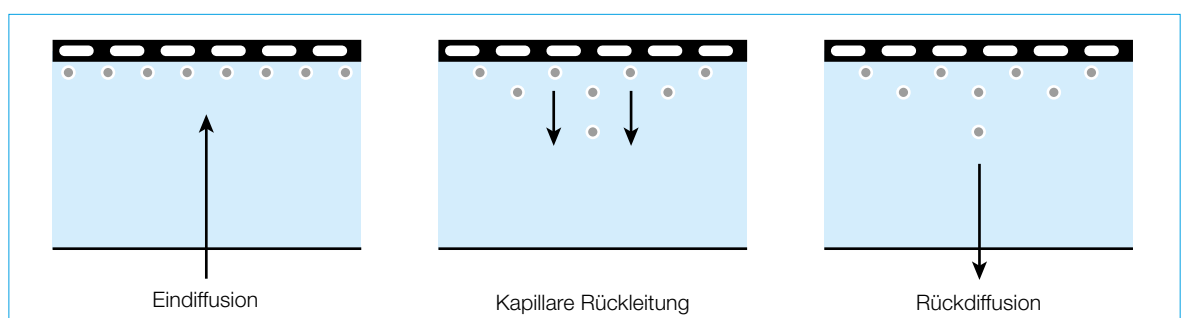
Infolge Kapillartransport verteilt sich das ausgefallene Tauwasser von der oberen Schicht des Porenbetons in trockenere, tiefere Schichten und gelangt somit in wärmere Bereiche mit höheren Wasserdampf-Sättigungsdrücken.

■ Ausdiffundieren nach innen (Rückdiffusion)

Wasser, das sich jetzt in einem Bereich mit hohem Wasserdampf-Sättigungsdruck befindet, kann zur Raumluft mit einem niedrigeren Wasserdampfpartialdruck hin ausdiffundieren.

Daher werden, wie oben zu sehen war, nicht belüftete Dächer aus Porenbeton mit Dachabdichtung in der Liste der unbedenklichen Bauteile mit aufgeführt.

Abb. 6.4: Kombiniertes Feuchtetransport in nicht belüfteten Flachdächern aus Porenbeton mit Dachabdichtung



6.3 Tauwasser- und schimmelpilzfreie Bauteiloberflächen

Wenn warme und feuchte Raumluft auf eine kalte Oberfläche aus Glas oder Metall trifft und sich abkühlt, fällt genau dann Tauwasser aus, wenn die Oberfläche eine relative Luftfeuchte von $\phi = 100\%$ aufweist. An diesem Punkt ist die Tautemperatur der Raumluft erreicht. Bei feinporigen, saugfähigen Oberflächen sind die Verhältnisse komplexer. Sinkt die Oberflächentemperatur ab, steigt der Wassergehalt in der Oberflächenzone nur allmählich an. Schimmelpilzbildung auf raumseitigen Bauteiloberflächen ist zu erwarten, wenn dort eine relative Luftfeuchte von $\phi = 0,8$ bzw. 80% überschritten wird.

Ausgehend von einem üblichen Wohngebäude mit einer Raumlufttemperatur von $\theta_i = 20\text{ °C}$ und einer relativen Luftfeuchte von $\phi_i = 50\%$, d. h. einem Wasserdampf-Partialdruck von 1.169 Pa , lassen sich nach DIN EN ISO 13788 [6.10] der Satttdampfdruck $p_{\text{sat}}(\theta_{\text{si}})$ an der Oberfläche und die niedrigste erforderliche Oberflächentemperatur $\theta_{\text{si,min}}$ wie folgt berechnen:

$$p_{\text{sat}}(\theta_{\text{si}}) = \frac{p_i}{0,8} = \frac{1.169}{0,8} = 1.460\text{ Pa} \quad \text{Gl. (6.3)}$$

$$\theta_{\text{si,min}} = \frac{237,3 \cdot \log_e\left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5}\right)}{17,269 - \log_e\left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5}\right)} \quad \text{Gl. (6.4)}$$

$$= \frac{237,3 \cdot \log_e\left(\frac{1.460}{610,5}\right)}{17,269 - \log_e\left(\frac{1.460}{610,5}\right)} = 12,6\text{ °C}$$

Bei der Planung zu errichtender Gebäude in Deutschland kann davon ausgegangen werden, dass zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall ein Außenbauteil dann als genügend wärmedämmend anzusehen ist, wenn unter Annahme der genannten Raumlufttemperatur und der berechneten raumseitigen Bauteiloberflächentemperatur sowie einer Außenlufttemperatur von $\theta_e = -5\text{ °C}$ ein Temperaturfaktor f_{Rsi} nicht unterschritten wird (Mindestwärmeschutz im Winter):

$$f_{\text{Rsi}} = \frac{\theta_{\text{si}} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{12,6 - (-5)}{20 - (-5)} = 0,7 \quad \text{Gl. (6.5)}$$

Schimmelpilzbefall tritt üblicherweise zuerst im Bereich von Wärmebrücken auf, weil dort die geringsten

Oberflächentemperaturen vorhanden sind. Beim Nachweis des Mindestwärmeschutzes im Bereich von Wärmebrücken ist daher zu prüfen, ob die Bedingung $f_{\text{Rsi}} \geq 0,7$ eingehalten ist. Der Temperaturfaktor lässt sich mit Hilfe von PC-Programmen berechnen oder durch Anwendung von DIN 4108 Beiblatt 2 [6.4.3] ermitteln.

Eine konstruktive Ausbildung von Details gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 bedeutet nicht nur, dass eine ausreichend hohe Oberflächentemperatur θ_{si} bzw. ein ausreichend hoher Temperaturfaktor f_{Rsi} vorhanden ist, sondern auch, dass unter den zugrunde gelegten Randbedingungen die Transmissionswärmeverluste im Bereich von Wärmebrücken auf ein zufriedenstellendes Maß begrenzt werden (siehe Kapitel 5 „Wärme“). Zur Ermittlung des erforderlichen Temperaturfaktors f_{Rsi} können des Weiteren Wärmebrückenkataloge benutzt werden, wie sie auch die Porenbetonindustrie herausgibt [6.3].

Für Bauteilflächen wird der Nachweis des Mindestwärmeschutzes im Winter, d. h. der rechnerische Ausschluss von Schimmelpilzen und Tauwasser auf raumseitigen Bauteiloberflächen, über die Wärmedurchlasswiderstände R der einzelnen Bauteile geführt, wobei der für ein Bauteil berechnete Wärmedurchlasswiderstand R_{vorh} einen mindestens erforderlichen Wärmedurchlasswiderstand R_{min} nicht unterschreiten darf:

$$R_{\text{vorh}} \geq R_{\text{min}} \quad \text{Gl. (6.6)}$$

6.4 Schlagregenschutz von Außenwänden

Schlagregenbeanspruchung

Nach DIN 4108-3 wird die Schlagregenbeanspruchung von Außenwänden in Abhängigkeit von der Jahresniederschlagsmenge und dem Einfluss einer gegebenenfalls exponierten oder windgeschützten Lage des Gebäudes unterschieden:

■ Beanspruchungsgruppe I

(geringe Schlagregenbeanspruchung)

- Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen unter 600 mm
- Besonders windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen

■ Beanspruchungsgruppe II (mittlere Schlagregenbeanspruchung)

- Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen von 600 mm bis 800 mm
- Windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen
- Hochhäuser oder Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die aufgrund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer geringen Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären

■ Beanspruchungsgruppe III (starke Schlagregenbeanspruchung)

- Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen über 800 mm
- Windreiche Gebiete auch mit geringeren Niederschlagsmengen (z. B. Küstengebiete, Mittel- und Hochgebirgslagen, Alpenvorland)
- Hochhäuser oder Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die aufgrund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer mittleren Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären

Eine Übersichtskarte aus DIN 4108-3 zur Schlagregenbeanspruchung in der Bundesrepublik Deutschland ordnet den Standort einer Beanspruchungsgruppe zu (Abb. 6.5). In Anhängigkeit von der Schlagregenbeanspruchung nennt die Norm Beispiele für die Anwendung von Wandbauarten, um den Schlagregenschutz zu erfüllen (Tab. 6.2). Daneben sind andere Bauausführungen zulässig, wenn entsprechend gesicherte praktische Erfahrungen vorliegen.

Der Schlagregenschutz von Außenwänden aus Porenbeton wird durch wasserhemmende oder wasserabweisende Außenputze, zweischaliges Verblendmauerwerk, hinterlüftete Außenwandbekleidungen oder angemauerte oder angemörtelte Bekleidungen sichergestellt.

Außenputze

Das wasserabweisende Verhalten von Außenputzen für Porenbeton-Bausysteme verhindert, dass die hohe Wärmedämmfähigkeit des Porenbetons gegebenenfalls durch einen zu hohen Wassergehalt der Wand verringert wird. Wasserabweisende Außenputze sind so eingestellt, dass zwischen der Wasseraufnahme einer Wand bei Beregnung und der Wasserabgabe bei Trocknung ein ausgewogenes Verhältnis besteht [6.4.2] (Abb. 6.6):

■ Wasseraufnahmekoeffizient $W_w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$

Durch Vorgabe eines maximalen Wasseraufnahmekoeffizienten W_w wird eine kurzfristige Feuchteerhöhung bei Beregnung begrenzt. Dies ist sinnvoll, auch wenn bei höheren Wasseraufnahmekoeffizienten eine langfristige Austrocknung sichergestellt wäre.

Abb. 6.5: Übersichtskarte zur Schlagregenbeanspruchung in der Bundesrepublik Deutschland nach DIN 4108-3 [6.4.2]



Beanspruchungsgruppe I (geringe Schlagregenbeanspruchung)	Beanspruchungsgruppe II (mittlere Schlagregenbeanspruchung)	Beanspruchungsgruppe III (starke Schlagregenbeanspruchung)
Außenputz ohne besondere Anforderungen an den Schlagregenschutz nach DIN 18550-1 auf:	Wasserabweisender Außenputz nach DIN 4108-3 Tabelle 4 auf: - Außenwänden aus Mauerwerk, Wandbauplatten, Beton u. ä. - sowie verputzten außenseitigen Wärmebrückendämmungen	
Einschaliges Sichtmauerwerk mit einer Dicke von 31 cm (mit Innenputz)	Einschaliges Sichtmauerwerk mit einer Dicke von 37,5 cm (mit Innenputz)	Zweischaliges Verblendmauerwerk mit Luftschicht und Wärmedämmung oder mit Kerndämmung (mit Innenputz)
Außenwände mit im Dickbett oder Dünnbett angemörtelten Fliesen oder Platten		Außenwände mit im Dickbett oder Dünnbett angemörtelten Fliesen oder Platten (DIN 18515-1) mit wasserabweisendem Ansetzmörtel
Außenwände mit gefügedichter Betonaußenschicht		
Wände mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen		
Wände mit Außendämmung durch ein WDPS oder durch ein bauaufsichtlich zugelassenes WDVS		
Außenwände in Holzbauart mit Wetterschutz (DIN 68800-2)		

Tab. 6.2: Beispiele für die Zuordnung von Wandbauarten und Beanspruchungsgruppen nach DIN 4108-3 [6.4.2]

Wasserdampfdiffusionsäquivalente

Luftschichtdicke $s_d \leq 2$ m

Bei kleinen Wasseraufnahmekoeffizienten W_w des Außenputzes ist grundsätzlich ein hoher Diffusionswiderstand zulässig. Im Putz können jedoch Fehlstellen enthalten sein, die zu einer nicht berechenbaren Wasseraufnahme führen. Daher bietet sich eine Begrenzung der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke s_d an, um einer Austrocknung nach erhöhter Wasseraufnahme nur einen relativ geringen Difusionswiderstand entgegenzusetzen.

Produkt $W_w \cdot s_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$

Die Begrenzung des Produktes aus Wasseraufnahmekoeffizient W_w und diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke s_d soll sicherstellen, dass die kapillar aufgenommene Feuchte durch Diffusion wieder abgegeben werden kann. Je größer die Wasseraufnahme ist, desto kleiner muss der Wasserdampfdiffusionswiderstand sein.

Zweischaliges Verblendmauerwerk

Bei besonders starker Beanspruchung durch Wind und Regen hat sich die Verblendung einer Außenwand durch Vormauerschalen bewährt. Daher ist beispielsweise im norddeutschen Küstenbereich zweischaliges Mauerwerk eine übliche Ausführungsform für Außenwände.

Besteht beim zweischaligen Mauerwerk die innere Mauerwerksschale z. B. wegen der wärmedämmenden Eigenschaften aus Porenbeton, stehen für die äußere Verblendung Vormauersteine oder Verblendsteine aus Ziegel, Klinker oder Kalksandsteinen zur Verfügung. Zweischaliges Mauerwerk wird in unter-

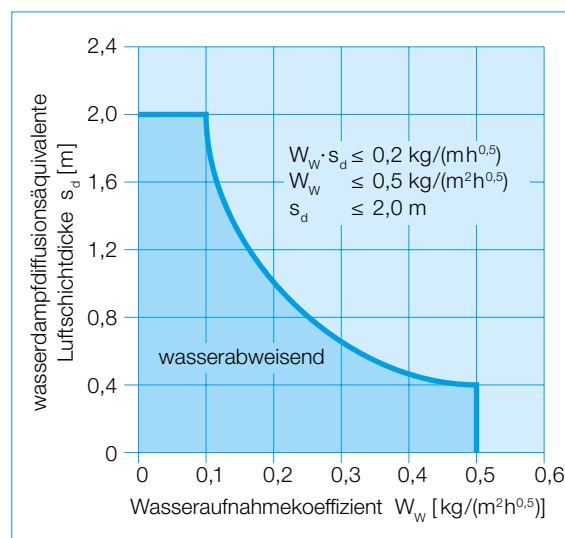


Abb. 6.6: Regen-schutzwirkung von Außenputzen nach DIN 4108-3 [6.4.2]

schiedlichen Formen ausgeführt, wobei die innere Schale die Funktion des Wärmeschutzes und der Lastabtragung übernimmt, während die äußere Schale dem Schlagregenschutz dient. Auf Grund der heutigen Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz ist das zweischalige Mauerwerk nur mit Luftschicht bei zu errichtenden Gebäuden kaum noch vorzufinden. Im Regelfall wird zwischen die innere tragende Mauerwerksschale und die Vormauerschale eine hydrophobierte Kerndämmschicht eingebaut.

Für die Ausführung von Mauerwerk hinsichtlich Bewegungsfugen, Verankerung der Schalen, Abfangungen, Luftschicht, Belüftung, Mörtelarten usw. gelten die Bestimmungen der DIN EN 1996-1-1 [6.8]. Neben dieser Norm sind Hinweise der Hersteller von Vormauersteinen zu beachten, da sich die innere und die äußere Schale, die jeweils charakteristische Eigenschaften

aufweisen, unterschiedlich verhalten. Dies gilt insbesondere für die hygrischen und thermischen Längenänderungen.

Hinterlüftete Außenwandbekleidungen

Außenwandbekleidungen in Form hinterlüfteter Elemente sind eine bauphysikalisch sehr gute und zudem fehlerunempfindliche Ausführungsform. Sie können mittels gebräuchlicher Unterkonstruktionen an einer tragenden Schale aus Porenbeton befestigt werden. Eingesetzt werden z. B. Tafeln aus Faserzement, Glas, Keramik oder auch kleinformatische Elemente aus Holz, Holzwerkstoffen oder Schiefer.

Kleinformatische Elemente werden auf einem in der Dimensionierung dem Bekleidungsmaterial angepassten Gitter aus Lattung und Konterlattung angebracht. Die Befestigung der Latten am Porenbetonuntergrund erfolgt mit handelsüblichen Befestigungsmitteln (siehe Kapitel 10 „Ausführung“). Bei Außenwänden aus Porenbeton mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen ist im Regelfall eine Wärmedämmschicht im Bauteilquerschnitt nicht erforderlich.

Angemauerte oder angemörtelte Bekleidungen

Eine Möglichkeit des Schlagregenschutzes besteht darin, Bekleidungen aus keramischen Platten anzumörteln. Wegen des unterschiedlichen thermischen Verhaltens von Porenbeton und Keramik sollten keramische Beläge auf Außenwänden aus Porenbeton jedoch vermieden werden. Es besteht die Gefahr, dass der Belag durch Abscheren vom Untergrund getrennt wird. Im Einzelfall ist es erforderlich, die Verarbeitungsrichtlinien der Keramikindustrie zu beachten.

6.5 Abdichtung von Kelleraußenwänden

Die Abdichtung von erdberührten Bauteilen ist in DIN 18533 [6.7] geregelt, die aus folgenden Teilen besteht:

- Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze [6.7.1]
- Teil 2: Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen [6.7.2]
- Teil 3: Abdichtung mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen [6.7.3]

Ergänzende Regelungen zu Begriffen und Schichtdickenprüfungen finden sich in:

- DIN 18195: Abdichtung von Bauwerken – Begriffe [6.5]
- DIN 18195 Beiblatt 2: Abdichtung von Bauwerken – Hinweise zur Kontrolle und Prüfung der Schichtdicken von flüssig verarbeiteten Abdichtungsstoffen [6.6]

Vor Auswahl der geeigneten Abdichtungsmethode sind die Einwirkungen festzustellen. Unter diesen Begriff fallen die Wassereinwirkung auf die Abdichtung, die Lasteinwirkung (z. B. aus Wasserdruck, Baugrund und Gebäudelasten), sonstige äußere Einwirkungen (z. B. thermische Beanspruchungen) sowie die Risseinwirkung aus dem Untergrund und die Nutzungsart der Räume im Gebäude.

Wassereinwirkung auf die Abdichtung erdberührter Bauteile

Zur Festlegung der Wassereinwirkung ist es erforderlich, über Kenntnisse zur Geländeform, zur Wasserdurchlässigkeit des Baugrundes und zum höchsten Bemessungsgrundwasserstand bzw. Bemessungshochwasserstand zu verfügen. DIN 18533-1 unterscheidet folgende Wassereinwirkungsklassen (Tab. 6.3):

■ W1-E

Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser

Bodenfeuchte ist kapillar gebundenes und durch Kapillardruck transportiertes Wasser, d. h. Saugwasser, Haftwasser und Kapillarwasser. Als nicht drückendes Wasser wird solches Wasser bezeichnet, das in tropfbar flüssiger Form anfällt und von der Geländeoberfläche bis zum Grundwasserstand absickern kann. Es darf sich auch nicht vorübergehend, beispielsweise bei starken Niederschlägen, aufstauen.

■ W1.1-E

Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser bei Bodenplatten und erdberührten Wänden

Die Norm unterscheidet zwei Situationen. In Situation 1 handelt es sich um Bodenplatten ohne Unterkellerung, bei denen die Abdichtungsebene mindestens 50 cm oberhalb des Bemessungswasserstandes auf stark wasserdurchlässigem Baugrund ($k > 10^{-4}$ m/s) oder Bodenaustausch liegt. Die Einwirkung ist auf Bodenfeuchte beschränkt.

Tab. 6.3: Wassereinwirkungsklassen nach DIN 18533-1 [6.7.1]

W1-E Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser		
W1.1-E, Situation 1 Bodenplatten ohne Unterkellerung, $k > 10^{-4}$ m/s	W1.1-E, Situation 2 Bodenplatten und erdberührte Wände $k > 10^{-4}$ m/s	W1.2-E Bodenplatten und erdberührte Wände mit Dränung, $k \leq 10^{-4}$ m/s
W2-E Drückendes Wasser		
W2.1-E Mäßige Einwirkung		
Situation 1 Stauwasser, $k \leq 10^{-4}$ m/s	Situation 2 Grundwasser	Situation 3 Hochwasser
W2.2-E Hohe Einwirkung		
Situation 1 Stauwasser, $k \leq 10^{-4}$ m/s	Situation 2 Grundwasser, Hochwasser	
W3-E Nicht drückendes Wasser auf erdüberschütteten Decken	W4-E Spritzwasser und Bodenfeuchte am Wandssockel sowie Kapillarwasser in und unter Wänden	

GOK: Geländeoberkante; HGW: Bemessungsgrundwasserstand; HHW: Bemessungshochwasserstand; k: Wasserdurchlässigkeitsbeiwert

Situation 2 betrifft Bodenplatten und erdberührte Wände, wenn stark wasserdurchlässiger Baugrund ($k > 10^{-4}$ m/s) und stark wasserdurchlässige Baugrubenverfüllung vorliegen und die unterste Abdichtungsebene mindestens 50 cm oberhalb des Bemessungswasserstandes liegt.

■ W1.2-E

Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser bei Bodenplatten und erdberührten Wänden mit Dränung

Diese Wassereinwirkungsklasse liegt vor, wenn Stauwasser bei wenig wasserdurchlässigem Baugrund ($k \leq 10^{-4}$ m/s) durch eine auf Dauer funktionsfähige Dränung nach DIN 4095 zuverlässig vermieden wird. Die unterste Abdichtungsebene liegt mindestens 50 cm oberhalb des Bemessungswasserstandes.

■ W2-E

drückendes Wasser

Von außen drückendes Wasser ist Stauwasser (Sicker- oder Schichtenwasser), Grundwasser oder Hochwasser, das auf die Abdichtung einen hydrostatischen Druck ausübt. Stauhöhen, die nach höchstens 3 m und mehr als 3 m klassifiziert werden, führen zu einer Unterscheidung nach W2.1-E und W2.2-E.

■ W2.1-E

mäßige Einwirkung von drückendem Wasser

Situation 1 (Stauwasser bis 3 m): Die unterste Abdichtungsebene liegt höchstens 3 m tief unter der Geländeoberkante und oberhalb des Bemessungswasserstandes. Erdberührte Bauteile befinden sich ohne Dränung in wenig durchlässigem Boden, so dass Stauwasser bis zur Geländeoberkante vorhanden sein kann.

Situation 2 (Grundwasser): Die Abdichtungsebene liegt höchstens 3 m tief im Grundwasser-einwirkungsbereich.

Situation 3 (Hochwasser): Die Abdichtungsebene liegt höchstens 3 m tief im Bereich der Hochwassereinwirkung oberirdischer Gewässer.

■ W2.2-E

hohe Einwirkung von drückendem Wasser

Unter hoher Einwirkung ist die Einwirkung drückenden Wassers auf die Abdichtung erdberührter Bauteile über mehr als 3 m Wassersäule zu verstehen, wobei zwei Situationen zu unterscheiden sind.

Situation 1 (Stauwasser mehr als 3 m): Die Abdichtungsebene liegt mehr als 3 m tief unter der

Geländeoberkante. Erdberührte Bauteile befinden sich ohne Dränung in wenig wasserdurchlässigem Boden, so dass Stauwasser über eine Höhe von mehr als 3 m eintreten kann.

Situation 2 (Grundwasser oder Hochwasser): Über eine Höhe von mehr als 3 m wird die unterste Abdichtungsebene durch drückendes Grundwasser oder Hochwasser beansprucht.

■ W3-E

nicht drückendes Wasser auf erdüberschütteten Decken

Niederschlagswasser sickert durch die Erdüberschüttung bis zur Abdichtung einer erdüberschütteten Decke und wird dort ohne Stauwasserbildung abgeleitet, z. B. durch Dränung, Gefälle oder wasserdurchlässige Überschüttung. Die Abdichtung einer erdüberschütteten Decke ist gegen Einwirkung aus nicht drückendem Wasser auszulegen, mit einem Abstand von mindestens 30 cm über dem Bemessungswasserstand für Grundwasser und Hochwasser. Die Anstauhöhe darf maximal 10 cm betragen. Andernfalls ist die Abdichtung nach W2-E (drückendes Wasser) auszulegen.

■ W4-E

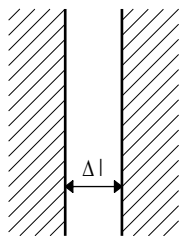
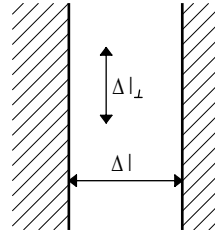
Spritzwasser und Bodenfeuchte am Wandsockel sowie Kapillarwasser in und unter Wänden

Im Bereich des Wandsockels wirken Spritz- und Sickerwasser auf die Sockeloberflächen, Bodenplatten und Fundamente ein. Dabei kann Wasser aus dem Erdreich kapillar aufsteigen. Bei zweischaligem Mauerwerk kann durch Schlagregeneinwirkung ablaufendes Wasser in den Schalenzwischenraum gelangen. Diese Einwirkungen machen eine Fußpunkt-, Sockel- und Querschnittsabdichtung erforderlich. Am Wandsockel ist im Bereich von ca. 20 cm unterhalb der Geländeoberkante bis ca. 30 cm über der Geländeoberkante mit der Wassereinwirkungsklasse W4-E zu rechnen, wenn nicht durch den Bemessungswasserstand oder aufgrund des nicht gedränten, wenig wasserdurchlässigen anstehenden Bodens mit W2.1-E (mäßige Einwirkung von drückendem Wasser) zu rechnen ist.

Einwirkung aus dem Untergrund

Für die Beurteilung der Einwirkungen aus dem Untergrund auf die Abdichtung sind Rissbreitenänderungen vorhandener Risse oder Neurissbildungen nach Aufbringen einer Abdichtung von Bedeutung, da die Abdichtung die zu erwartenden Rissbreitenänderungen des Untergrundes überbrücken können muss. Die Einwirkungen aus dem Untergrund werden

Tab. 6.4: Rissklassen typischer Abdichtungsuntergründe nach DIN 18533-1 [6.7.1]

Rissklasse	Rissbreitenänderung Δl bzw. Rissversatz Δl_{\perp}	Beispiele für Untergründe bzw. Ursachen ¹⁾
R1-E gering		<ul style="list-style-type: none"> ■ Stahlbeton ohne rissverursachende Zwang- und Biegeeinwirkung ■ Mauerwerk im Sockelbereich ■ Untergründe für Querschnittsabdichtungen
R2-E mäßig		<ul style="list-style-type: none"> ■ Geschlossene Fugen von flächigen Bauteilen ■ Unbewehrter Beton ■ Stahlbeton mit Zwang-, Zug- oder Biegeeinwirkung ■ Erddruckbelastetes Material ■ Fugen an Materialübergängen
R3-E hoch		<ul style="list-style-type: none"> ■ Beton oder Mauerwerk ■ Fugen von Abdichtungsrücklagen ■ Aufstandsugen von erddruckbelasteten Wänden ■ Umwelteinflüsse (z. B. Erschütterungen durch Bauarbeiten)
R4-E sehr hoch		<ul style="list-style-type: none"> ■ Umwelteinflüsse (z. B. Erschütterungen oder Erdbeben)

1) Ohne statischen Nachweis der Rissbreite. Eine andere Zuordnung ist durch einen solchen Nachweis möglich.

durch die Rissklassen **R1-E** (gering), **R2-E** (mäßig), **R3-E** (hoch) und **R4-E** (sehr hoch) klassifiziert (Tab. 6.4). Aus dieser Unterscheidung resultieren wiederum Rissüberbrückungsklassen für die Abdichtungsbauart, die durch die Rissbreitenänderung Δl und den Rissversatz Δl_{\perp} definiert werden:

- **RÜ1-E**
(geringe Rissüberbrückung, $\Delta l \leq 0,2 \text{ mm}$)
- **RÜ2-E**
(mäßige Rissüberbrückung, $\Delta l \leq 0,5 \text{ mm}$)
- **RÜ3-E**
(hohe Rissüberbrückung, $\Delta l \leq 1,0 \text{ mm}$, $\Delta l_{\perp} \leq 0,5 \text{ mm}$)
- **RÜ4-E**
(sehr hohe Rissüberbrückung, $\Delta l \leq 5,0 \text{ mm}$, $\Delta l_{\perp} \leq 2,0 \text{ mm}$)

Raumnutzung

Durch Raumnutzungsklassen werden unterschiedlich hohe Anforderungen an die Begrenzung der Raumluffeuchte erdseitig abgedichteter Räume und damit an das Maß der Zuverlässigkeit einer Abdichtung formuliert:

- **RN1-E** (geringe Anforderung):
Räume mit geringer Anforderung an die Begrenzung der Raumluffeuchte (z. B. offene Werkhallen).
- **RN2-E** (durchschnittliche Anforderung):
Räume mit üblicher Anforderung an die Begrenzung der Raumluffeuchte (z. B. Aufenthaltsräume).
- **RN3-E** (hohe Anforderung):
Räume mit hoher Anforderung an die Begrenzung der Raumluffeuchte (z. B. Lager für unersetzliche Kulturgüter).

Festlegung der Abdichtungsbauart

Ausgehend von der Wassereinwirkungsklasse benennt DIN 18533-1 für die abzudichtenden Bauteile Abdichtungsbauarten und verweist auf entsprechende Regelungen in den weiteren Normenteilen 2 (bahnenförmige Abdichtungsstoffe) und 3 (Abdichtungen mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen). Dort wird der jeweiligen Abdichtungsbauart der Anwendungsbereich, die Raumnutzungsklasse, die Wassereinwirkungsklasse und die Rissklasse zugeordnet sowie die Ausführung beschrieben.

- W1-E → **RÜ1-E**
- W2.1-E, W3-E → **RÜ3-E**
- W2.2-E → **RÜ4-E**
- W4-E → **RÜ1-E**

Untergrundbeschaffenheit

Der Untergrund, auf den eine Abdichtung aufgebracht werden soll, muss frostfrei, fest, eben, frei von klaffenden Rissen, Graten und schädlichen Verunreinigungen sein. Nicht geschlossene Vertiefungen mit einer Breite von mehr als 5 mm sind mit geeigneten Mörteln zu schließen. Solche Vertiefungen sind meistens Mörteltaschen, offene Stoß- und Lagerfugen sowie Ausbrüche.

Offene Stoßfugen von weniger als 5 mm Breite, Oberflächen von Mauerwerk und Oberflächenprofilierungen bzw. Unebenheiten von Steinen sind entweder durch Verputzen mit einem Dünn- oder Ausgleichsputz, durch Vermörteln, durch Dichtungsschlämmen oder durch Kratzspachtelung zu verschließen und zu glätten. Diese Maßnahme ist nicht erforderlich, wenn die Abdichtung aus Stoffen mit

überdeckenden Eigenschaften wie Bitumen- oder Kunststoffbahnen besteht.

Innenecken und Boden-Wand-Anschlüsse sind als Dichtungskehlen auszubilden. Kanten sollten gefast und Kehlen gerundet sein. Hinsichtlich der feuchte-technischen Bedingungen ist zu beachten, dass der Feuchtegehalt des Untergrunds den für das jeweilige Abdichtungssystem zulässige Maß nicht überschreiten darf. Zum Zwecke der Austrocknung zum Raum hin dürfen die raumseitigen Oberflächen von abgedichteten Kelleraußenwänden dem Wasserdampf nur einen geringen Widerstand entgegensetzen.

Horizontale Abdichtung in und unter Wänden (Querschnittsabdichtung)

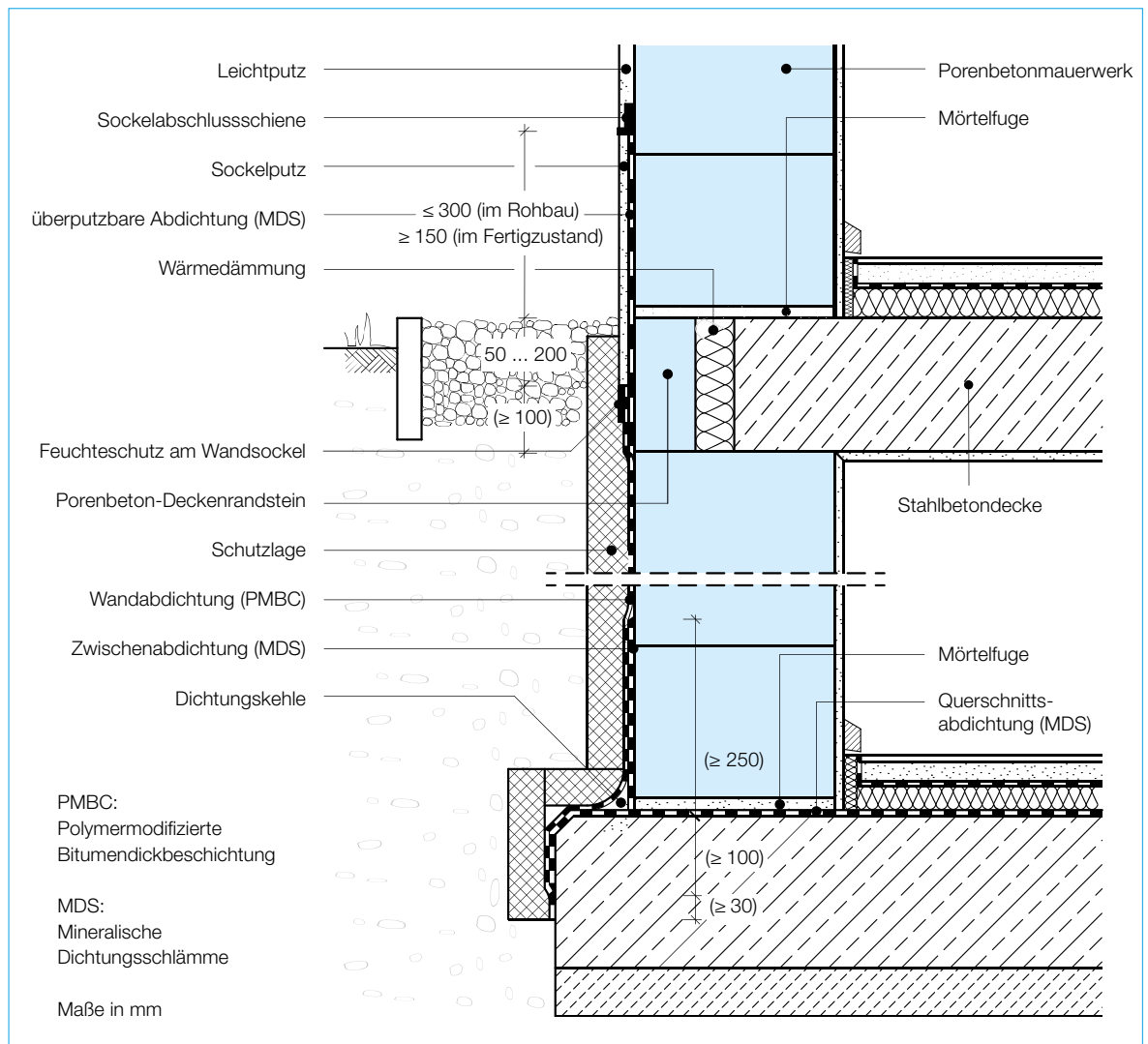
Außen- und Innenwände aus kapillar leitfähigen Baustoffen oder aus Baustoffen, die durch kapillar transportiertes Wasser geschädigt werden können, sind durch mindestens eine horizontale Abdichtung (Querschnittsabdichtung) gegen aufsteigende Feuchte zu

schützen, falls sie auf kapillar leitfähigen Bauteilen wie Streifenfundamenten oder nicht wasserundurchlässigen Bodenplatten gegründet wurden (Abb. 6.7).

Für die Wassereinwirkungsklassen W1-E (Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser) und W4-E (Spritzwasser am Wandsockel sowie Kapillarwasser in und unter erdberührten Wänden) können Bitumen- und Polymerbitumenbahnen, Kunststoff- oder Elastomerbahnen, rissüberbrückende mineralische Dichtungsschlämme (MDS) und Flüssigkunststoffe (FLK) verwendet werden. Für nicht tragende Wände und Vormauerschalen ist ebenso der Einsatz polymermodifizierter Bitumendickbeschichtungen (PMBC = Polymer Modified Bitumen Coating) nach DIN EN 15814-3 möglich.

Für Porenbetonmauerwerk hat sich der Einsatz von rissüberbrückenden MDS bewährt. Sie bestehen aus ein- oder zweikomponentigen Massen auf Basis von Zement, Gesteinskörnungen und besonderen Zusatz-

Abb. 6.7: Ausführung bei Wassereinwirkungsklasse W1.1-E (Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser)



stoffen und werden in mindestens zwei Schichten ohne Verstärkungseinlage aufgebracht. Eine Abdichtungsschicht aus rissüberbrückenden mineralischen Dichtungsschlämmen kann eine Rissneubildung oder Rissbreitenänderung der Rissklasse R1-E überbrücken. Die Abdichtungsschicht muss einen vollflächigen Verbund mit dem Untergrund und eine Trockenschichtdicke von mindestens 2 mm aufweisen.

Bei der Ausführung ist darauf zu achten, dass die Abdichtung aus dem Wandbereich mindestens 100 mm tief auf der Stirnfläche der Bodenplatte oder des Fundaments heruntergeführt wird (Abb. 6.7). Bei Bodenplatten oder Fundamenten mit Überstand können systembedingt Dichtungskehlen mit einem Radius der Ausrundung von ca. 50 mm aus geeigneten Mörteln erforderlich sein.

Vertikale Abdichtung erdberührter Wände

Unter der Voraussetzung, dass eine Abdichtung vor mechanischen Beschädigungen, Temperatur und UV-Strahlung geschützt wird, kommen bei Vorliegen der Wassereinwirkungsklasse W1-E folgende Abdichtungsbauarten in Frage: Bitumen- und Polymerbitumenbahnen, Kunststoff- oder Elastomerbahnen, PMBC und MDS. Im Regelfall werden auf erdberührten Wänden aus Porenbetonmauerwerk polymermodifizierte Bitumendickbeschichtungen (PMBC) eingesetzt, die bei den Wassereinwirkungsklassen W1-E (Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser) in zwei Arbeitsgängen aufgebracht werden und eine Trockenschichtdicke von mindestens 3 mm aufweisen müssen.

Je nach Herstellerangaben ist auf den Untergrund ein Voranstrich aufzubringen, durch den eine Haftung der Abdichtung auf dem Untergrund sichergestellt wird, indem der Oberflächenstaub gebunden wird. Verarbeitet wird die PMBC im Spachtel-, Streich- oder Spritzverfahren. Der Auftrag erfolgt in mindestens zwei Arbeitsgängen, gegebenenfalls mit Gewebeeinlage, z. B. an Materialübergängen.

Bei der Wassereinwirkungsklasse W2.1-E (mäßige Einwirkung von drückendem Wasser) wird die PMBC ebenfalls in zwei Arbeitsgängen aufgebracht, wobei mit Abschluss des ersten Auftrags eine Verstärkungseinlage eingebracht wird. Vor Ausführung des zweiten Auftrags muss der erste Auftrag soweit getrocknet sein, dass die erste Schicht durch die folgende nicht beschädigt wird. Die Trockenschichtdicke beträgt mindestens 4 mm. Bei dieser Wassereinwirkungsklasse ist es grundsätzlich möglich, Kelleraußenwände aus Porenbeton zu erstellen. Es empfiehlt

sich jedoch, erdreichberührte Bauteile im Falle von drückendem Wasser aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand (WU-Beton) zu errichten, d. h. das Kellergeschoss als „Weiße Wanne“ auszubilden.

Die Abdichtung der Wand wird nach unten bis auf die Stirnseite der Bodenplatte oder des Fundaments aufgebracht (Abb. 6.7). Durch Kontaktstoß oder Überlappung wird die Abdichtung so an die Querschnittsabdichtung herangeführt, dass keine Feuchte in die Konstruktion eindringen kann. Besteht die Querschnittsabdichtung aus MDS, ist eine Überlappung der MDS durch die PMBC von mindestens 30 mm sinnvoll.

Vor Aufbringen einer Abdichtung hat es sich bewährt, im Bereich des Wandfußes eine sogenannte Zwischenabdichtung aus MDS vorzusehen, die folgenden Zweck erfüllt: Falls während der Bauphase Wasser in das Bauwerk eindringt, kann es zu einer Durchfeuchtung des Mauerwerks unmittelbar über der Sohlplatte kommen. Infolgedessen ist die Haftfestigkeit einer außenseitigen PMBC auf dem Untergrund stark eingeschränkt. Die Zwischenabdichtung aus MDS wird vor dem Auftrag der PMBC an der Wandaußenseite beginnend mit dem unteren Anschluss an die Querschnittsabdichtung mindestens 250 mm in die Höhe geführt.

Reicht bei verputzten Außenwänden die Putzfläche nach unten bis etwa zur Geländeoberkante, ist im Sockelbereich vor Aufbringen einer PMBC eine überputzbare Abdichtung aus MDS aufzubringen. Die PMBC überlappt die MDS um 100 mm und endet 50 bis 200 mm unter der Geländeoberkante. Im Sockelbereich ist ein für Spritzwasserbelastung geeigneter Putz zu verwenden und erd- bzw. außenseitig mit einem Feuchteschutz gegen Wassereinwirkung zu schützen. Die MDS wird bis zu einer Höhe von 300 mm über Gelände geführt, wobei im Endzustand das Maß von 150 mm nicht unterschritten werden darf.

Schutz der Abdichtung

Abdichtungen können durch Schutzschichten, Schutzlagen oder Schutzmaßnahmen geschützt werden. Sie bewahren eine Abdichtungsschicht vor schädlichen Einflüssen statischer, dynamischer oder thermischer Art. Sie können gleichzeitig die Funktion einer Wärmedämm- oder Dränschicht übernehmen. Durch geeignete Maßnahmen, z. B. Gleitschichten, ist sicherzustellen, dass Bewegungen aus dem Erdreich nicht auf die Abdichtungsschicht übertragen werden. Die Baugrube wird lagenweise verfüllt. Beim Verdichten

ist darauf zu achten, dass die Schutzschicht oder Schutzlage nicht beschädigt wird. Bauschutt, Splitt oder Geröll dürfen nicht unmittelbar an die abgedichteten Wandflächen angeschüttet werden. Beispielsweise werden folgende Schutzlagen eingesetzt:

- PVC-Schutzbahn
- Bautenschutzmatte und -platte aus Gummi- oder Polyethylengranulat
- Vlies aus synthetischen Fasern bzw. Geotextilien aus Chemiefasern
- Kunststoff- und Elastomerbahnen
- Bitumen- und Polymerbitumenbahnen
- Noppenbahn mit integrierter Gleit-, Schutz- und Lastverteilungsschicht
- Dränmatten und Dränplatten
- Perimeterplatten

Literatur

- [6.1] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (Herausgeber): Feuchtigkeitsverhältnisse in Außenwänden und Flachdächern – Bericht 1 +2
- [6.2] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (Herausgeber): Wärme- und Feuchteschutz – Bericht 11
- [6.3] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (Herausgeber): Wärmebrückenkatalog
- [6.4] DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
 - [6.4.1] DIN 4108-2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Ausgabe 2013-02
 - [6.4.2] DIN 4108-3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Ausgabe 2014-11
 - [6.4.3] DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele. Ausgabe 2006-03
 - [6.4.4] DIN 4108-8 (DIN-Fachbericht): Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden. Ausgabe 2010-09
- [6.5] DIN 18195: Abdichtung von Bauwerken – Begriffe. Ausgabe 2017-07
- [6.6] DIN 18195 Beiblatt 2: Abdichtung von Bauwerken – Hinweise zur Kontrolle und Prüfung der Schichtdicken von flüssig verarbeiteten Abdichtungsstoffen. Ausgabe 2017-07
- [6.7] DIN 18533: Abdichtung von erdberührten Bauteilen.
 - [6.7.1] DIN 18533-1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze. Ausgabe 2017-07
 - [6.7.2] DIN 18533-2: Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen. Ausgabe 2017-07
 - [6.7.3] DIN 18533-3: Abdichtung mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen. Ausgabe 2017-07
- [6.8] DIN EN 1996-1-1: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. Ausgabe 2013-02

DIN EN 1996-1-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. Ausgabe 2012-05
- [6.9] DIN EN ISO 10456: Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte. Ausgabe 2010-05
- [6.10] DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren. Ausgabe 2013-05
- [6.11] Homann, M.: Feuchte. In: Willems, W. (Herausgeber): Lehrbuch der Bauphysik, 7. Auflage. Wiesbaden 2013
- [6.12] Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH

SCHALL

Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster

7.1 Anforderungen

Schallschutz hat für die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen, die sich in Gebäuden aufhalten, große Bedeutung. Hervorzuheben ist der Schallschutz im Wohnungsbau, denn Wohnungen dienen zur Entspannung und zum Ausruhen. Außerdem schirmen sie die Privatsphäre des eigenen Wohnbereiches gegenüber den Nachbarn ab. Ebenso bedeutsam ist der Schallschutz in anderen Gebäuden, die dem zeitweisen Aufenthalt von Menschen dienen, z. B. Schulen oder Krankenhäuser.

Der bauordnungsrechtlich geforderte Schallschutz ist nach DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ [7.4] nachzuweisen. Diese Norm besteht aus vier Teilen, wobei Teil 3 aus 6 Unterteilen besteht:

- Teil 1 „Mindestanforderungen“ [7.4.1]
- Teil 2 „Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen“ [7.4.2]
- Teil 3 „Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog)“
 - Teil 31 „Rahmendokument“ [7.4.3]
 - Teil 32 „Massivbau“ [7.4.4]
 - Teil 33 „Holz-, Leicht- und Trockenbau“ [7.4.5]
 - Teil 34 „Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen“ [7.4.6]
 - Teil 35 „Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden“ [7.4.7]
 - Teil 36 „Gebäudetechnische Anlagen“ [7.4.8]
- Teil 4 „Bauakustische Prüfungen“ [7.4.9]

Für schutzbedürftige Aufenthaltsräume sollen folgende Schutzziele erreicht werden:

- Gesundheitsschutz
- Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise
- Schutz vor unzumutbaren Belästigungen

Zu den schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen zählen:

- Wohnräume, einschließlich Wohndielen, Wohnküchen

- Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten
- Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume
- Praxisräume, Sitzungsräume und ähnliche Arbeitsräume

Die bauordnungsrechtlich nachzuweisenden Mindestanforderungen an den Schallschutz in Wohngebäuden nach DIN 4109-1 können Tab. 7.1 entnommen werden. Die kennzeichnenden Größen sind für die Luftschalldämmung das bewertete Schalldämm-Maß R'_w (Wände und Decken) bzw. $R'_{w,T}$ (Türen) sowie für den Trittschallschutz der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$.

Durch Festlegung von Mindestanforderungen kann nicht erwartet werden, dass Geräusche, die aus benachbarten Räumen oder von außen stammen, nicht mehr wahrgenommen werden. Eine gegenseitige Rücksichtnahme von Menschen ist unverzichtbar. Jedoch kann im Zuge der schalltechnischen Planung das Maß der gewünschten Schalldämmung, die ein Bauteil aufweisen soll, unterschiedlich hoch festgelegt werden. DIN 4109-1 beschreibt keine schalltechnischen Niveaus, die über die oben genannten Schutzziele hinausgehen und die z. B. aus Gründen der Lebensqualität oder des Wohnkomforts wünschenswert sein können.

Für Wohnungen, die auch in ihrer sonstigen Ausstattung weitergehende Komfortansprüche erfüllen sollen, können Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz nach DIN SPEC 91314 [7.6] herangezogen werden, die in Tab. 7.1 ergänzend aufgelistet sind. Weitergehende privatrechtliche Vereinbarungen zu höheren Schallschutzanforderungen können auf Grundlage der bauordnungsrechtlich nicht eingeführten VDI 4100 [7.7] festgelegt werden. Dort werden drei Schallschutzstufen SSt I, SSt II und SSt III unterschieden, wobei die unterste Schallschutzstufe

Tab. 7.1: Anforderungen an den Schallschutz im Wohnungsbau – Mindestanforderungen nach DIN 4109-1 [7.4.1] und Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz nach DIN SPEC 91314 [7.6]

Gebäude		DIN 4109-1	DIN SPEC 91314
Luftschalldämmung		R'_{w,erf}, R_w dB	R'_{w,erf}, R_w dB
MFH	Wohnungstrennwände	≥ 53	≥ 55
	Treppenhauswände	≥ 53	≥ 55
	Wohnungstrenndecken	≥ 54	≥ 56
	Türen, die von Hausfluren oder Treppenträumen in geschlossene Flure von Wohnungen führen	≥ 27	≥ 32
	Türen, die von Hausfluren oder Treppenträumen unmittelbar in Aufenthaltsräume führen	≥ 37	≥ 42
EFH-RH EFH-DH	Haustrennwände zwischen fremden Aufenthaltsräumen, unter denen mindestens ein Geschoss vorhanden ist	≥ 62	≥ 67
	Haustrennwände im untersten Geschoss	≥ 59	≥ 62
Trittschalldämmung		L'_{n,w,zul} dB	L'_{n,w,zul} dB
MFH	Wohnungstrenndecken	≤ 50	≤ 46
	Decken zu Treppenhäusern	≤ 50	≤ 46
	Decken von Balkonen, Loggien und Terrassen über Wohnungen	≤ 50	≤ 49
	Decken unter Laubengängen	≤ 53	
EFH-RH EFH-DH	Decken	≤ 41	≤ 38
	Treppen	≤ 46	
	Bodenplatte auf Erdreich bzw. Decke über Kellergeschoss	≤ 46	≤ 41

SSt I bereits deutlich über den Mindestanforderungen nach DIN 4109-1 liegt.

Zur Ermittlung der Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen ist zunächst das erforderliche gesamte bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,ges,erf,0}$ (ohne Berücksichtigung der Raumgeometrie) aus dem maßgeblichen Außenlärmpegel L_a und einem Korrekturwert $K_{Raumart}$ zur Berücksichtigung unterschiedlicher Raumarten zu berechnen:

$$R'_{w,ges,erf,0} = L_a - K_{Raumart} \quad \text{Gl. (7.1)}$$

Dabei gilt:

- Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien:
 $K_{Raumart} = 25 \text{ dB}$
- Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches:
 $K_{Raumart} = 30 \text{ dB}$
- Büroräume und Ähnliches:
 $K_{Raumart} = 35 \text{ dB}$

Für das erforderliche gesamte bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,ges,erf,0}$ gelten folgende Mindestwerte:

- Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien:
 $R'_{w,ges,erf,0} = 35 \text{ dB}$

- Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume, Büroräume und Ähnliches:

$$R'_{w,ges,erf,0} = 30 \text{ dB}$$

Tab. 7.2 zeigt die Zuordnung von Lärmpegelbereichen zu maßgeblichen Außenlärmpegeln. Die rechnerische Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels L_a kann im Falle von Verkehrslärm durch Nomogramme aus DIN 18005-1 [7.5] erfolgen. Für die Tag- und Nachtsituation sind in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung, dem Abstand zwischen Fassade und Straßenmitte, der Straßenart, der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, der Straßenoberfläche, der Entfernung zur nächsten Lichtsignalanlage und der Art der Bebauung aus den Nomogrammen die Beurteilungspegel $L_{r,Tag}$ und $L_{r,Nacht}$ zu entnehmen (Abb. 7.1 und 7.2). Der aus den Nomogrammen abgelesene jeweilige Beurteilungspegel ist um 3 dB zu erhöhen:

$$L_a = L_r + 3 \text{ dB} \quad \text{Gl. (7.2)}$$

Beträgt die Differenz zwischen den Beurteilungspegeln L_r für Tag und Nacht (Straßenverkehr) weniger als 10 dB, ist der maßgebliche Außenlärmpegel zum Schutz des Nachtschlafes neben einem um 3 dB erhöhten Beurteilungspegel für die Nacht um einen Zuschlag von 10 dB zu erhöhen:

$$L_a = L_{r,Nacht} + 3 \text{ dB} + 10 \text{ dB} \quad \text{Gl. (7.3)}$$

Das auf Basis des maßgeblichen Außenlärmpegels L_a ermittelte erforderliche gesamte bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,ges,erf,0}$ ist zur Berücksichtigung der Raumgeometrie, d. h. dem Verhältnis Schalldämm-Maß aus gesamter Außenbauteilfläche S_s zur Grundfläche S_G des Raumes, gemäß DIN 4109-2 um einen Korrekturwert K_{AL} zu korrigieren, woraus sich dann das erforderliche gesamte bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,ges,erf}$ ergibt:

$$R'_{w,ges,erf} = R'_{w,ges,0} + K_{AL} \quad \text{Gl. (7.4)}$$

Grundlage für den Korrekturwert K_{AL} sind die vom Raum aus gesehene Fassadenfläche S_s und die Grundfläche S_G :

$$K_{AL} = 10 \cdot \lg\left(\frac{S_s}{0,8 \cdot S_G}\right) \quad \text{Gl. (7.5)}$$

Lärmpegelbereich	Maßgeblicher Außenlärmpegel L_a dB
I	≤ 55
II	60
III	65
IV	70
V	75
VI	80
VII	$> 80^{1)}$

¹⁾ Für maßgebliche Außenlärmpegel $L_a > 80$ dB sind die Anforderungen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen

Insgesamt legt DIN 4109-1 Mindestanforderungen für den Schutz gegen Geräusche aus fremden Räumen, gegen Außenlärm oder gegen Geräusche von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung in folgenden Situationen fest:

- Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude und gemischt genutzte Gebäude
- Einfamilien-Reihenhäuser und -Doppelhäuser
- Hotels und Beherbergungsstätten
- Krankenhäuser und Sanatorien

Tab. 7.2: Zuordnung von Lärmpegelbereichen zu maßgeblichen Außenlärmpegeln L_a nach DIN 4109-1 und DIN 4109-1/A1 [7.4.1]

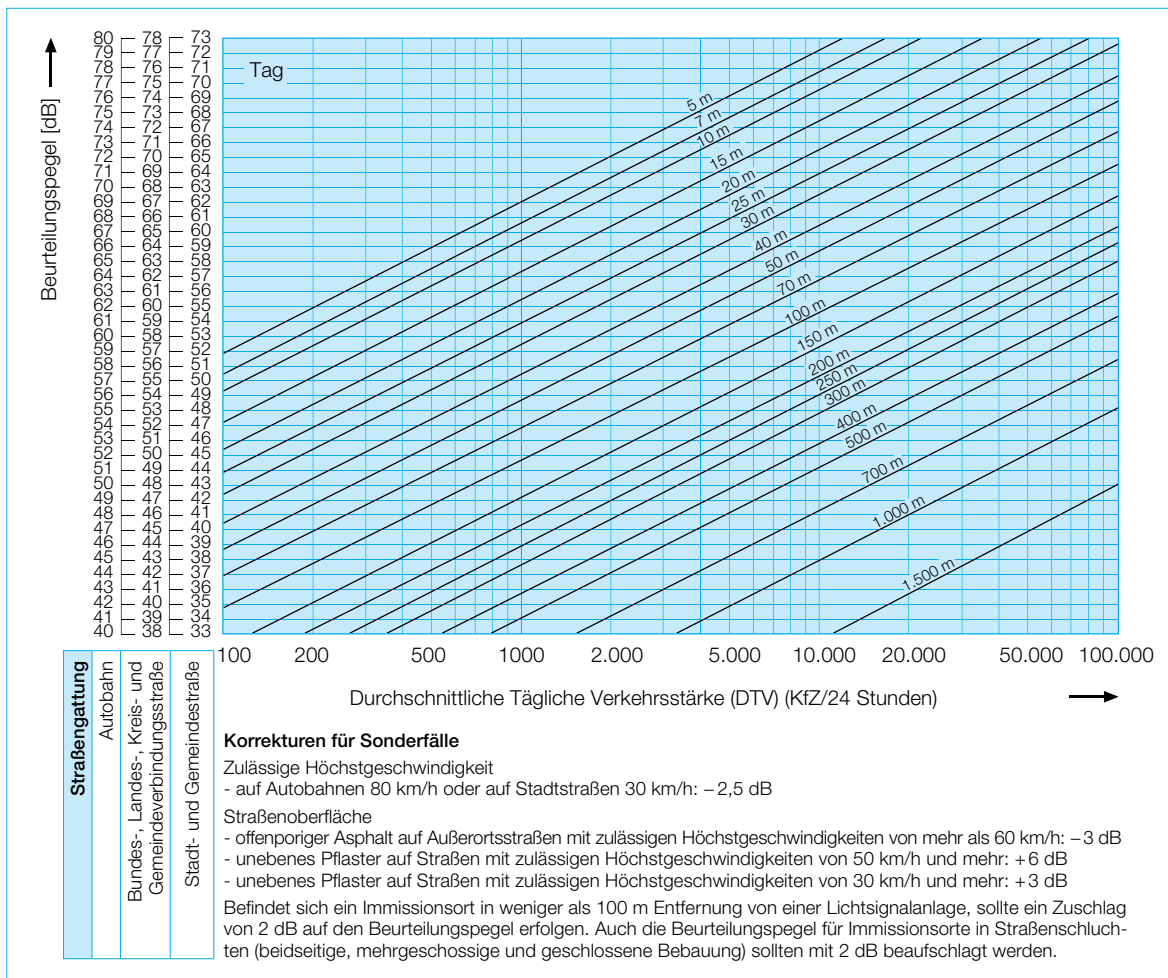
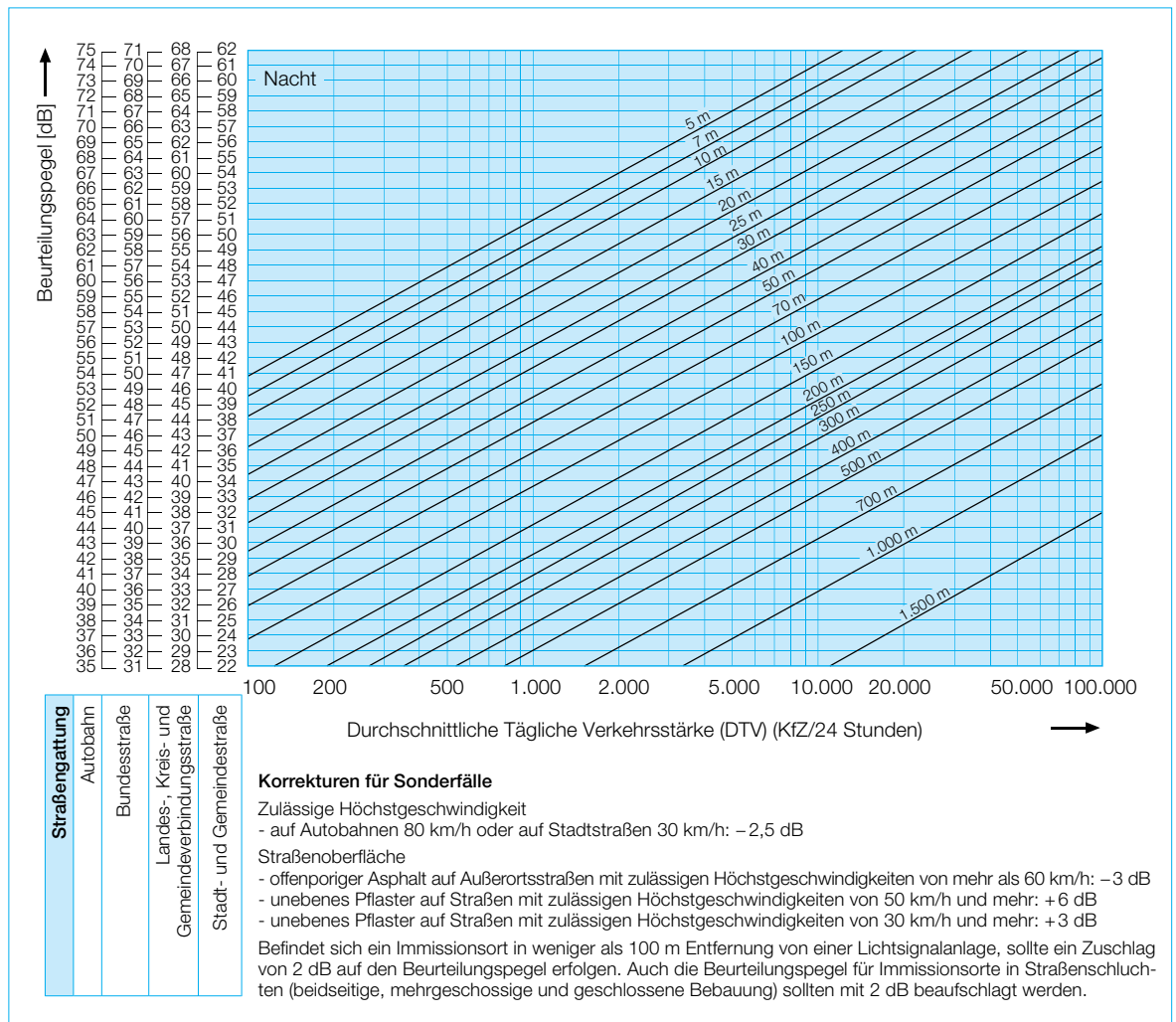


Abb. 7.1: Diagramm zur Abschätzung des Beurteilungspegels von Straßenverkehr (Tag) nach DIN 18005-1 [7.5]

Abb. 7.2: Diagramm zur Abschätzung des Beurteilungspegels von Straßenverkehr (Nacht) nach DIN 18005-1 [7.5]



- Schulen und vergleichbare Einrichtungen
- Außenbauteile
- Besonders laute Räume
- Gebäudetechnische Anlagen und Betriebe
- Raumlufttechnische Anlagen im eigenen Wohnbereich
- Armaturen und Geräte der Trinkwasser-Installation

7.2 Luftschallübertragung zwischen Räumen

Der Nachweis der Luftschallübertragung zwischen zwei Räumen wird auf Grundlage von DIN 4109-2

geführt, in der die Berechnungsverfahren geregelt sind. Handelt es sich um massive Bauteile wie Porenbeton-Mauerwerkswände, ist zusätzlich DIN 4109-32 zu berücksichtigen. Sind vor solchen massiven Bauteilen Vorsatzkonstruktionen angeordnet, sind außerdem die Bestimmungen aus DIN 4109-34 relevant.

Im schalltechnischen Nachweis werden die direkte Schallübertragung über das Trennbauteil und die Schallübertragung über alle flankierenden Nebenwege berücksichtigt (Abb. 7.3). Bei einer üblichen Schallübertragungssituation,

an der ein Trennbauteil und vier flankierende Bauteile beteiligt sind, ergeben sich insgesamt 13 Übertragungsmöglichkeiten.

Eine davon erfolgt über die direkte Übertragung über das trennende Bauteil und zwölf Möglichkeiten über die Flanken. Das bewertete Schalldämm-Maß R'_{w} wird dementsprechend durch Berücksichtigung der Schalldämm-Maße aus direkter Schallübertragung $R_{Dd,w}$ über das Trennbauteil und aus den Schalldämm-Maßen $R_{Ff,w}$, $R_{Df,w}$ und $R_{Fd,w}$ aus flankierender Schallübertragung ermittelt:

$$R'_{w} = -10 \cdot \lg \left(10^{-0,1 \cdot R_{Dd,w}} + \sum_{F=1}^n 10^{-0,1 \cdot R_{Ff,w}} + \sum_{f=1}^n 10^{-0,1 \cdot R_{Df,w}} + \sum_{F=1}^n 10^{-0,1 \cdot R_{Fd,w}} \right) \quad \text{Gl. (7.6)}$$

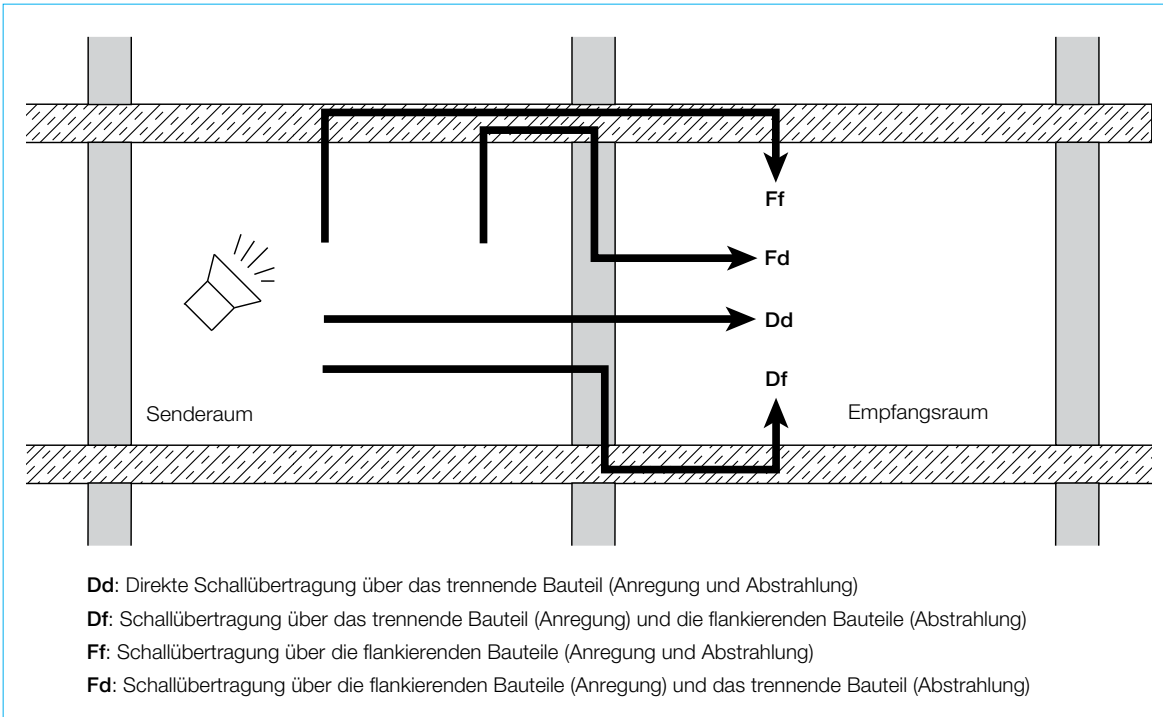


Abb. 7.3: Schallübertragungswege bei horizontaler Schallübertragung

Abb. 7.4 zeigt in einer Übersicht die maßgeblichen Kenngrößen zur Berechnung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_{w} .

$$R'_{w} - 2 \text{ dB} \geq R'_{w, \text{erf}} \quad \text{Gl. (7.7)}$$

Ein derart berechnetes Schalldämm-Maß R'_{w} wird im Rahmen eines vereinfachten Nachweises um einen Sicherheitsabschlag von 2 dB vermindert (Prognoseunsicherheit). Der Nachweis der Luftschalldämmung zwischen Räumen ist erbracht, wenn der verminderte Wert den Anforderungswert $R'_{w, \text{erf}}$ mindestens erreicht:

Um Konstruktionen aus Porenbeton schalltechnisch bewerten zu können, werden zunächst die normativen Grundlagen erläutert, die zum bewerteten Schalldämm-Maß R'_{w} führen. Danach wird durch entsprechende Beispiele der Nachweis des Schallschutzes gezeigt.

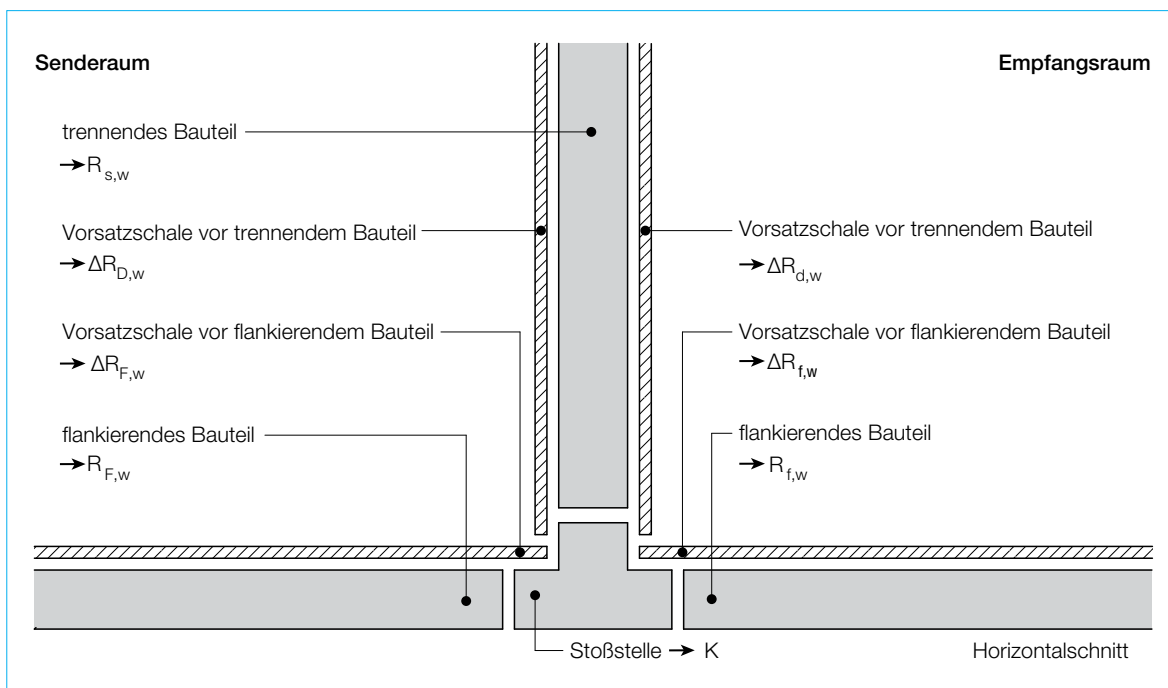


Abb. 7.4: Kenngrößen zur Berechnung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_{w}

Direktschalldämmung

Das bewertete Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ für den direkten Übertragungsweg setzt sich aus dem bewerteten Schalldämm-Maß $R_{s,w}$ des trennenden massiven Bauteils und der gesamten bewerteten Verbesserung des Schalldämm-Maßes $\Delta R_{Dd,w}$ durch gegebenenfalls zusätzlich angebrachte Vorsatzkonstruktionen auf der Sende- und/oder Empfangsseite des trennenden Bauteils zusammen:

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w} \quad \text{Gl. (7.8)}$$

Die schalltechnische Qualität eines einschaligen massiven Bauteils, z. B. einer monolithischen Mauerwerkswand aus Porenbeton, ist abhängig von der flächenbezogenen Masse m' . Die zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes $R_{s,w}$ des trennenden Massivbauteils erforderliche flächenbezogene Masse m' wird gemäß DIN 4109-32 unter Berücksichtigung der Schichtdicke d des Baustoffs und seiner Rohdichte ρ berechnet:

$$m' = d \cdot \rho \quad \text{Gl. (7.9)}$$

Die anzusetzende Wandrohndichte ρ_w von Porenbetonmauerwerk wird durch Korrektur der Rohdichteklasse des Mauerwerks (Klassenbreite der RDK von 50 kg/m^2 , $RDK \leq 1,0$) ermittelt, wobei die Rohdichte von Mauermörtel enthalten ist:

$$\rho_w = 1.000 \cdot RDK - 25 \quad \text{Gl. (7.10)}$$

Wird eine zweischalige Außenwand erstellt, bei der z. B. die innere Schale aus Porenbeton und die Außenschale aus Vormauerziegeln besteht, wird für das äußere Mauerwerk mit Normalmörtel ($2,2 \geq RDK \geq 0,35$) die anzusetzende Rohdichte folgendermaßen berechnet:

$$\rho_w = 900 \cdot RDK + 100 \quad \text{Gl. (7.11)}$$

Für die flächenbezogene Masse m'_{Putz} einer Putzschicht, gegebenenfalls auch beidseitig aufgebrachter Putzschichten, gilt:

$$m'_{\text{Putz}} = d_{\text{Putz}} \cdot \rho_{\text{Putz}} \quad \text{Gl. (7.12)}$$

Für Leichtputze, die üblicherweise auf Porenbeton verwendet werden, wird die Rohdichte mit $\rho_{\text{Putz}} = 900 \text{ kg/m}^3$ angesetzt.

Sofern Putzschichten vorhanden sind, gehen sie in die Berechnung der gesamten flächenbezogenen Masse m'_{ges} z. B. einer Mauerwerkswand mit ein:

$$m'_{\text{ges}} = m'_{\text{Wand}} + m'_{\text{Putz}} \quad \text{Gl. (7.13)}$$

Aus der flächenbezogenen Masse m'_{ges} des Bauteils ergibt sich das bewertete Schalldämm-Maß R_w von Wänden aus Porenbetonmauerwerk wie folgt:

$$\blacksquare 50 \text{ kg/m}^2 \leq m'_{\text{ges}} \leq 150 \text{ kg/m}^2:$$

$$R_w = 32,6 \cdot \lg(m'_{\text{ges}}) - 22,5 \quad \text{Gl. (7.14)}$$

$$\blacksquare 150 \text{ kg/m}^2 \leq m'_{\text{ges}} \leq 300 \text{ kg/m}^2:$$

$$R_w = 26,1 \cdot \lg(m'_{\text{ges}}) - 8,4 \quad \text{Gl. (7.15)}$$

Für Stahlbetondecken gilt:

$$R_w = 30,9 \cdot \lg(m'_{\text{ges}}) - 22,2 \quad \text{Gl. (7.16)}$$

Die Darstellung dieses rechnerischen Zusammenhangs im Diagramm (Abb. 7.5) bestätigt das Ergebnis von Untersuchungen in Prüfständen, die ergeben haben, dass Mauerwerkswände aus Porenbeton um etwa 2 bis 4 dB besser bewertet werden können als Wände mit gleicher flächenbezogener Masse. Die Ursache dieses schalltechnisch günstigeren Verhaltens ist die sogenannte innere Dämpfung. Dabei wird in Porenbetonwänden im Vergleich zu anderen Wänden ein größerer Teil der Schallenergie in Wärmeenergie umgewandelt [7.1].

Tab. 7.3 enthält eine Übersicht zu bewerteten Schalldämm-Maßen R_w (Direkt-Schalldämm-Maße) von unterschiedlich dicken Wänden aus Porenbetonmauerwerk, die beidseitig mit einem 1,5 cm dicken Leichtputz versehen sind. Lässt man vereinfachend den Einfluss flankierender Bauteile außer acht, ist der Übersicht zu entnehmen, dass mit einschaligen Wohnungstrennwänden aus Porenbetonmauerwerk üblicher Dicke die Mindestanforderungen an den Schallschutz gegen Geräusche aus fremden Räumen mit einem bewerteten Schalldämm-Maß von $R'_w \geq 53 \text{ dB}$

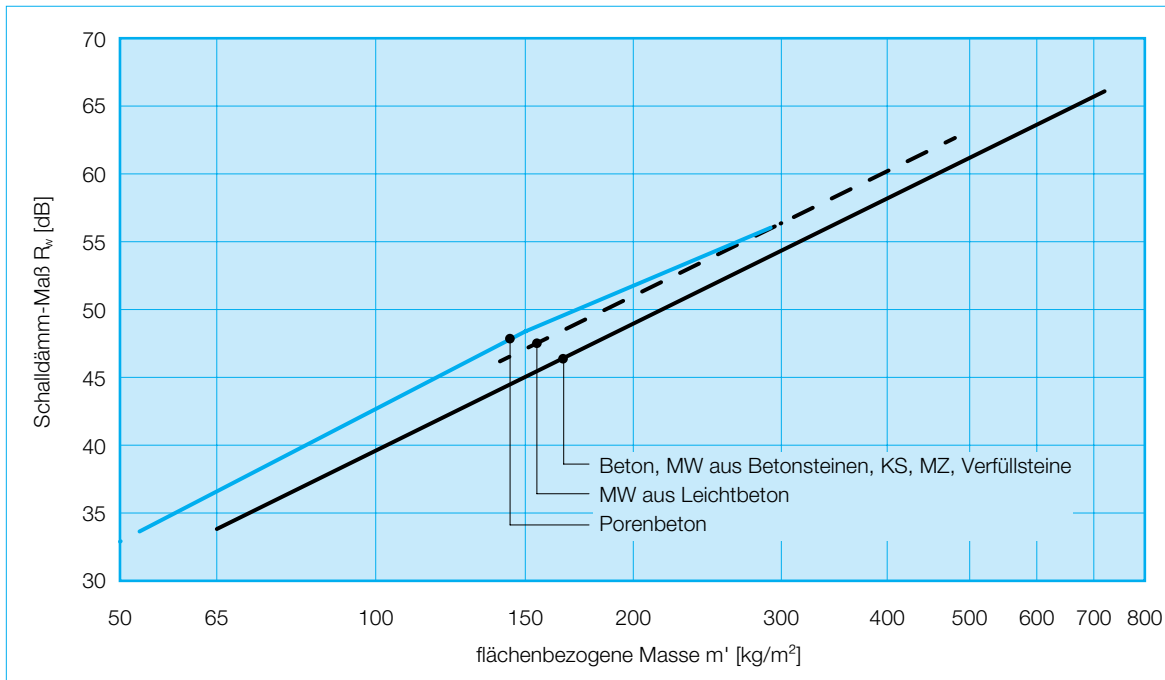


Abb. 7.5: Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R_w einschaliger massiver Wände in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse m' nach DIN 4109-32 [7.4.4]

RDK	ρ_w kg/m ³	R_w dB bei einer Mauerwerksdicke von d m				
		0,240	0,300	0,365	0,400	0,500
0,40	375	45,0	47,4	49,4	50,3	52,5
0,45	425	46,3	48,7	50,6	51,5	53,7
0,50	475	47,6	49,8	51,7	52,6	54,8
0,55	525	48,6	50,7	52,7	53,6	55,8
0,60	575	49,5	51,6	53,6	54,5	56,8
0,65	625	50,3	52,5	54,4	55,3	57,7
0,70	675	51,0	53,2	55,2	56,1	58,5
0,80	775	52,3	54,6	56,6	57,6	59,9

Tab. 7.3: Bewertete Bau-Schalldämm-Maße R_w (Direkt-Schalldämm-Maße) von einschaligen Wänden aus Porenbeton-Plansteinmauerwerk mit beidseitig 1,5 cm dicker Leichtputzschicht

nicht immer erfüllt werden können. Dann wird entweder ein schwererer Baustoff wie Kalksandstein gewählt oder eine mehrschalige Konstruktion z. B. unter Verwendung einer Vorsatzschale ausgeführt.

Der Einfluss von zusätzlich angebrachten Vorsatzkonstruktionen auf trennenden Bauteilen wird nach DIN 4109-34 durch die gesamte bewertete Verbesserung des Schalldämm-Maßes $\Delta R_{D,d,w}$ berücksichtigt. Dabei ist zu unterscheiden, ob es sich um einseitig oder zweiseitig angebrachte Konstruktionen handelt. Befinden sich Vorsatzkonstruktionen auf der Senderaumseite (D) und der Empfangsraumseite (d) des Trennbauteils, wird die Vorsatzkonstruktion mit dem geringeren Verbesserungsmaß $\Delta R_{D,w}$ bzw. $\Delta R_{d,w}$ rechnerisch nur zur Hälfte in Ansatz gebracht.

Die bewertete Verbesserung des Schalldämm-Maßes ΔR_w einer Vorsatzkonstruktion hängt u. a. von der

Resonanzfrequenz f_0 der Gesamtkonstruktion und dem Schalldämm-Maß R_w der Massivkonstruktion ab:

$$\Delta R_w = 74,4 - 20 \cdot \lg(f_0) - 0,5 \cdot R_w \quad \text{Gl. (7.17)}$$

Die Resonanzfrequenz f_0 wird unter Berücksichtigung der flächenbezogenen Massen m'_1 und m'_2 der beiden Schalen, z. B. Mauerwerk aus Porenbeton und Gipskartonbekleidung auf Lattengerüst, sowie der dynamischen Steifigkeit s' der Dämmschicht ermittelt. Für den Frequenzbereich von $f_0 = 30$ bis 160 Hz gilt:

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{s' \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad \text{Gl. (7.18)}$$

Die dynamische Steifigkeit s' der Dämmschicht ergibt sich aus deren dynamischem Elastizitätsmodul E_{dyn} und der Dicke d :

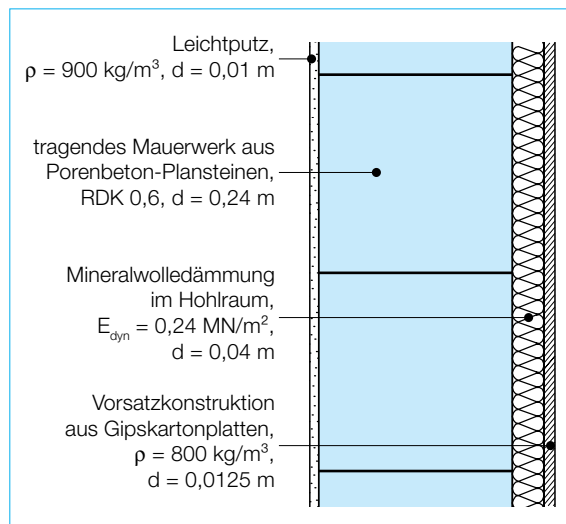
$$s' = \frac{E_{\text{dyn}}}{d} \quad \text{Gl. (7.19)}$$

Beispiel 1: Verbesserung der Direkt-Schalldämmung einer massiven Wand durch eine Vorsatzkonstruktion

a) Bauteil

siehe Abb. 7.6

Abb. 7.6: Beispiel zur Verbesserung der Schalldämmung durch Vorsatzkonstruktionen



b) Schalltechnische Berechnungen

- Wandrhoichte ρ_w von Porenbetonmauerwerk (Gl. (7.10)):

$$\rho_w = 1.000 \cdot \text{RDK} - 25 = 1.000 \cdot 0,6 - 25 = 575 \text{ kg/m}^3$$

- flächenbezogene Masse m'_{Wand} von Porenbetonmauerwerk (Gl. (7.9)):

$$m'_{\text{Wand}} = d \cdot \rho = 0,24 \cdot 575 = 138 \text{ kg/m}^2$$

- flächenbezogene Masse m'_{Putz} des Leichtputzes (Gl. (7.12)):

$$m'_{\text{Putz}} = d \cdot \rho = 0,01 \cdot 900 = 9 \text{ kg/m}^2$$

- gesamte flächenbezogene Masse m'_{ges} der verputzten Wand (Gl. (7.13)):

$$m'_{\text{ges}} = m'_{\text{Wand}} + m'_{\text{Putz}} = 138 + 9 = 147 \text{ kg/m}^2$$

- bewertetes Schalldämm-Maß R_w von Wänden aus Porenbetonmauerwerk (Gl. (7.14)):

$$R_w = 32,6 \cdot \lg(m'_{\text{ges}}) - 22,5 = 32,6 \cdot \lg(147) - 22,5 = 48,2 \text{ dB}$$

- flächenbezogene Masse m' der Bekleidung (Gl. (7.9)):

$$m' = d \cdot \rho = 0,0125 \cdot 800 = 10 \text{ kg/m}^2$$

- dynamische Steifigkeit s' der Dämmschicht (Gl. (7.19)):

$$s' = \frac{E_{\text{dyn}}}{d} = \frac{0,24}{0,04} = 6,25 \text{ MN/m}^3$$

- Resonanzfrequenz f_0 (Gl. (7.18)):

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{s' \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

$$= 160 \cdot \sqrt{6,25 \cdot \left(\frac{1}{147} + \frac{1}{10} \right)} = 131 \text{ Hz}$$

- bewertete Verbesserung des Schalldämm-Maßes ΔR_w der Vorsatzkonstruktion (Gl. (7.17)):

$$\Delta R_w = 74,4 - 20 \cdot \lg(f_0) - 0,5 \cdot R_w$$

$$= 74,4 - 20 \cdot \lg(131) - 0,5 \cdot 48,2$$

$$= 8,0 \text{ dB}$$

- bewertetes Schalldämm-Maß $R_{\text{Dd,w}}$ für den direkten Übertragungsweg (Gl. (7.8)):

$$R_{\text{Dd,w}} = R_{\text{s,w}} + \Delta R_{\text{Dd,w}} = 48,2 + 8,0 = 56,2 \text{ dB}$$

Wie das Beispiel zeigt, kann das Direkt-Schalldämm-Maß der Wand durch eine Vorsatzschale, die auf nur einer Seite der Wand aufgebracht wird, um 8,0 dB auf 56,2 dB verbessert werden.

Flankenschalldämmung

Bei der Massivbauweise wird das bewertete Flankenschalldämm-Maß $R_{\text{ij,w}}$ der an der Flankenschallübertragung beteiligten Bauteile aus den bewerteten Schalldämm-Maßen $R_{\text{i,w}}$ und $R_{\text{j,w}}$ des schallaufnehmenden Bauteils im Senderaum (i) und des schallabgebenden Bauteils im Empfangsraum (j) ermittelt. Falls flankierende Bauteile mit Vorsatzkonstruktionen versehen sind, ist die gesamte bewertete Verbesserung des Schalldämm-Maßes $\Delta R_{\text{ij,w}}$ des flankierenden Bauteils im Senderaum (i) und/oder im Empfangsraum (j) mit zu erfassen.

Außerdem sind die akustischen Eigenschaften der Verbindung von trennendem und flankierendem Bauteil, ausgedrückt durch das Stoßstellendämm-Maß K_j , relevant. Als geometrische Größen gehen die Fläche S_s des trennenden Bauteils, die gemeinsame Kopplungslänge l_t (Kantenlänge) der Verbindungsstelle zwischen dem trennenden und dem flankierenden Bauteil sowie die Bezugs-Kopplungslänge von $l_0 = 1 \text{ m}$ in die Berechnung ein:

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \cdot \lg \frac{S_s}{I_0 \cdot I_f} \quad \text{Gl. (7.20)}$$

Für die gesamte bewertete Verbesserung des Schalldämm-Maßes $\Delta R_{ij,w}$ durch zusätzlich angebrachte Vorsatzkonstruktionen ist zu unterscheiden, ob sie auf der Sendeseite und/oder Empfangsseite des flankierenden Bauteils angebracht ist. Befinden sich Vorsatzkonstruktionen auf der Senderaumseite (i) und der Empfangsraumseite (j) des Trennbauteils, wird die Vorsatzkonstruktion mit dem geringeren Verbesserungsmaß $\Delta R_{i,w}$ bzw. $\Delta R_{j,w}$ rechnerisch nur zur Hälfte in Ansatz gebracht.

Beträgt die Trennfläche S_s weniger als 10 m^2 , ist die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$ zu ermitteln. Fenster- und Türflächen, die nicht geschosshoch sind, bleiben bei der Berechnung der Schallübertragung über flankierende Bauteile unberücksichtigt.

Stoßstellen

Stoßstellen sind Bereiche auf dem Ausbreitungsweg des Körperschalls, bei denen der Körperschall auf Grund von Baustoffwechseln, Querschnittsänderungen oder Bauteilverbindungen reflektiert wird und eine Verminderung der Schallübertragung zur Folge hat. Für massive, homogene und biegesteif miteinander verbundene Bauteile ist zur Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes K_{ij} die sogenannte Hilfsgröße M aus der flächenbezogenen Masse m'_i des Bauteils im Übertragungsweg und der flächenbezogenen Masse $m'_{\perp i}$ des anderen die Stoßstelle bildenden, senkrecht dazu befindlichen Bauteils zu ermitteln:

$$M = \lg \left(\frac{m'_{\perp i}}{m'_i} \right) \quad \text{Gl. (7.21)}$$

Im Weiteren ist zur Berechnung des Stoßstellendämm-Maßes K_{ij} nach T-Stoß, Kreuzstoß und Eckstoß mit den Schallübertragungswegen 1-2 oder 1-3

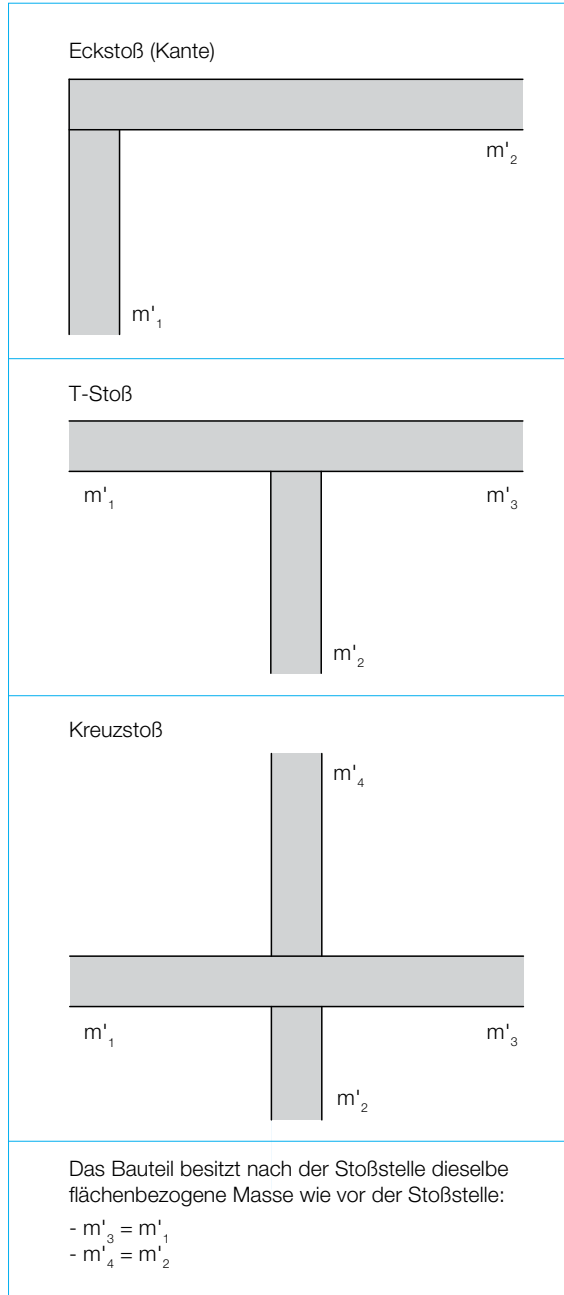


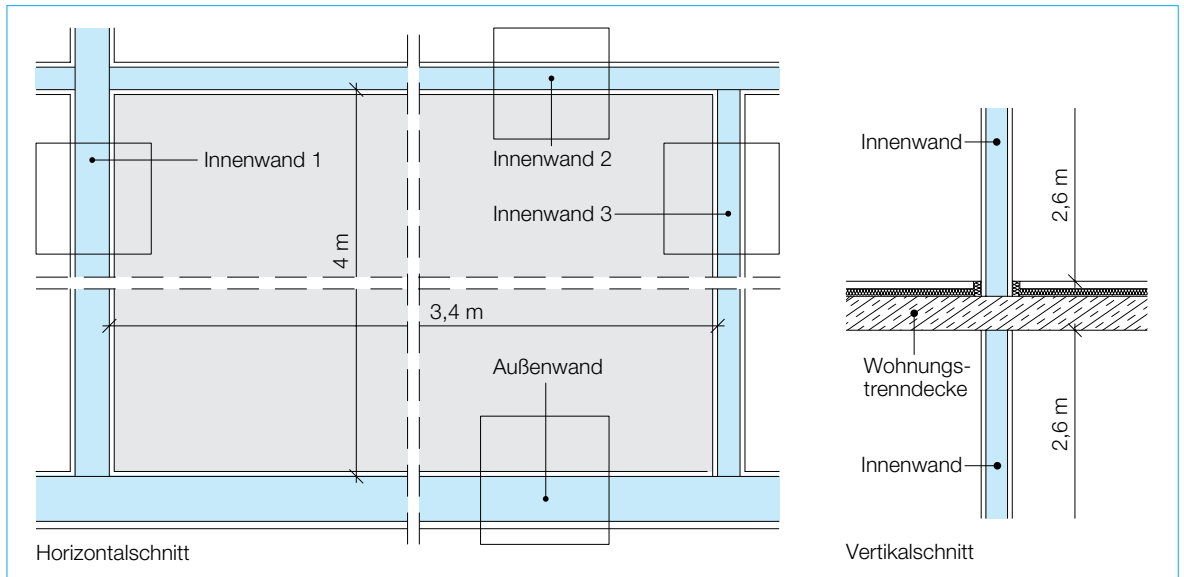
Abb. 7.7: Arten von Stoßstellen und Schallübertragungswege nach DIN 4109-32 [7.4.4]

zu unterscheiden (Abb. 7.7 und Tab. 7.4 mit den Gleichungen (7.22) bis (7.28)).

Art des Stoßes	Schallübertragungsweg	Hilfsgröße M	Stoßstellendämm-Maß K_{ij} dB
Eckstoß	-	-	$K_{12} = 2,7 + 2,7 \cdot M^2 (= K_{ij})$ Gl (7.22)
T-Stoß	1-2	-	$K_{12} = 4,7 + 5,7 \cdot M^2 (= K_{Fd} = K_{Df})$ Gl (7.23)
	1-3	< 0,215	$K_{13} = 5,7 + 14,1 \cdot M + 5,7 \cdot M^2 (= K_{Ff})$ Gl (7.24)
$\geq 0,215$		$K_{13} = 8 + 6,8 \cdot M (= K_{Ff})$ Gl (7.25)	
Kreuzstoß	1-2	-	$K_{12} = 5,7 + 15,4 \cdot M^2 (= K_{Fd} = K_{Df})$ Gl (7.26)
	1-3	< 0,182	$K_{13} = 8,7 + 17,1 \cdot M + 5,7 \cdot M^2 (= K_{Ff})$ Gl (7.27)
		$\geq 0,182$	$K_{13} = 9,6 + 11 \cdot M (= K_{Ff})$ Gl (7.28)

Tab. 7.4: Stoßstellendämm-Maß K_{ij} bei verschiedenen Stoßausführungen (massiv, starr) nach DIN 4109-32 [7.4.4]

Abb. 7.8: Beispiel zur Luftschallübertragung zwischen Räumen in vertikaler Richtung – Horizontal- und Vertikalschnitt



Das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} darf unter Beachtung der Flächen des angeregten Bauteils S_i im Senderraum und des abstrahlenden Bauteils S_j im Empfangsraum folgenden Mindestwert jedoch nicht unterschreiten (Gl. (7.29)):

$$K_{ij} = 10 \cdot \lg \left[l_i \cdot l_o \cdot \left(\frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right] \quad \text{Gl. (7.29)}$$

Beispiel 2: Nachweis der Luftschalldämmung einer massiven Wohnungstrenndecke mit massiven flankierenden Wänden

In diesem Rechenbeispiel besteht eine Wohnungstrenndecke aus einer Stahlbetonplatte mit einem schwimmenden Estrich. Die flankierenden Bauteile sind Mauerwerkswände aus Porenbeton-Plansteinen unterschiedlicher Dicke und Rohdichteklasse. In Abb. 7.8 wird die Situation durch einen Horizontal- und einen Vertikalschnitt erläutert und Abb. 7.9 zeigt

die Flankenschall-Übertragungswege. Das Berechnungsergebnis zeigt, dass mit den betrachteten Bauteilen die bauordnungsrechtlichen Mindestanforderungen nach DIN 4109 und ein erhöhter Schallschutz nach DIN SPEC 91314 erbracht werden können.

a) Bauteile

Wohnungstrenndecke (Aufbau v. oben nach unten)

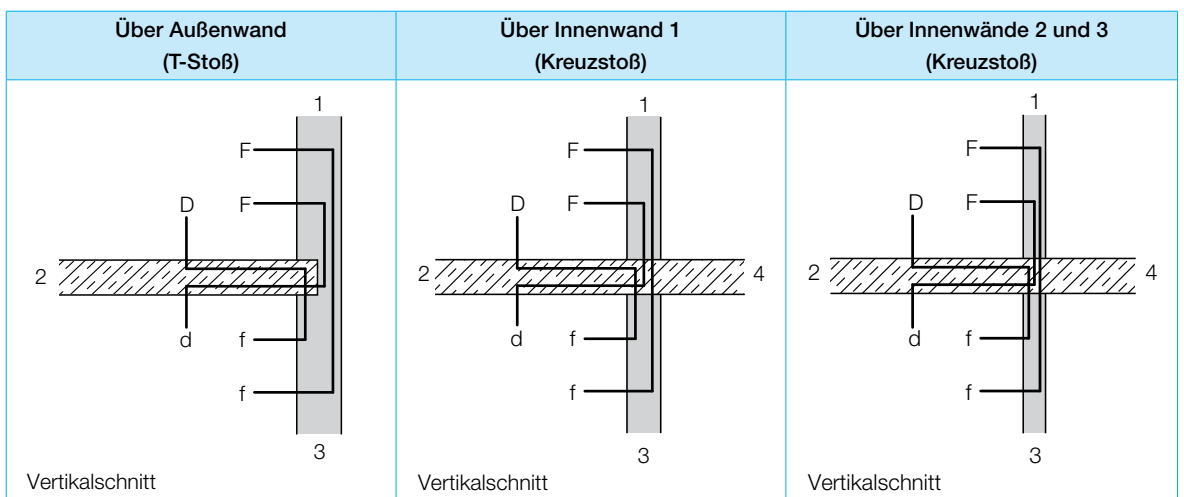
- Zementestrich, $m' = 80 \text{ kg/m}^2$
- Trittschalldämmung, $s' = 15 \text{ MN/m}^3$
- Stahlbeton, $d = 0,20 \text{ m}$, $\rho = 2.400 \text{ kg/m}^3$
- Kalkzementputz unterseitig, $d = 0,01 \text{ m}$

Flankierende Bauteile:

■ **Außenwand**

- Leichtputz innen, $d = 0,01 \text{ m}$
- Porenbetonmauerwerk (Plansteine, Dünnbettmörtel), RDK 0,35, $d = 0,365 \text{ m}$
- Leichtputz außen, $d = 0,015 \text{ m}$

Abb. 7.9: Beispiel zur Luftschallübertragung zwischen Räumen in vertikaler Richtung – Flankenschall-Übertragungswege



■ **Innenwand 1**

- Leichtputz beidseitig, $d = 0,01$ m
- Porenbetonmauerwerk (Plansteine, Dünnbettmörtel), RDK 0,6, $d = 0,24$ m

■ **Innenwände 2 und 3**

- Leichtputz beidseitig, $d = 0,01$ m
- Porenbetonmauerwerk (Plansteine, Dünnbettmörtel), RDK 0,6, $d = 0,175$ m

b) Schalltechnische Berechnungen

Bewertetes Direkt-Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ der Wohnungstrenndecke

- flächenbezogene Masse m'_{ges} der Rohdecke (Gl. (7.13)):

$$m'_{ges} = m'_{\text{Stahlbeton}} + m'_{\text{Putz}} = 0,20 \cdot 2.400 + 0,01 \cdot 1.600 = 496 \text{ kg/m}^2$$

- bewertetes Schalldämm-Maß $R_{s,w}$ der Rohdecke (Gl. (7.16)):

$$R_{s,w} = 30,9 \cdot \lg(m'_{ges}) - 22,2 = 30,9 \cdot \lg(496) - 22,2 = 61,1 \text{ dB}$$

- Resonanzfrequenz f_0 (Gl. (7.18)):

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{s' \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} = 160 \cdot \sqrt{15 \cdot \left(\frac{1}{496} + \frac{1}{80} \right)} = 75 \text{ Hz}$$

- bewertete Verbesserung $\Delta R_{Dd,w}$ des Direktschalldämm-Maßes durch Vorsatzkonstruktionen (Gl. (7.17)):

$$\Delta R_{Dd,w} = 74,4 - 20 \cdot \lg(f_0) - 0,5 \cdot R_w = 74,4 - 20 \cdot \lg(75) - 0,5 \cdot 61,1 = 6,3 \text{ dB}$$

- bewertetes Direkt-Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ der Wohnungstrenndecke (Gl. (7.8)):

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w} = 61,1 + 6,3 = 67,4 \text{ dB}$$

Bewertete Schalldämm-Maße R_w für die flankierenden Bauteile

■ **Außenwand**

- flächenbezogene Masse m'_{ges} (Gl. (7.13)):
 $m'_{ges} = m'_{\text{Wand}} + m'_{\text{Putz}} = 0,365 \cdot 325 + 0,01 \cdot 900 + 0,015 \cdot 900 = 141,1 \text{ kg/m}^2$

- bewertetes Schalldämm-Maß R_w (Gl. (7.14)):

$$R_w = 32,6 \cdot \lg(m'_{ges}) - 22,5 = 32,6 \cdot \lg(141,1) - 22,5 = 47,6 \text{ dB}$$

■ **Innenwand 1**

- flächenbezogene Masse m'_{ges} (Gl. (7.13)):

$$m'_{ges} = m'_{\text{Wand}} + m'_{\text{Putz}} = 0,24 \cdot 575 + 2 \cdot 0,01 \cdot 900 = 156 \text{ kg/m}^2$$

- bewertetes Schalldämm-Maß R_w (Gl. (7.15)):

$$R_w = 26,1 \cdot \lg(m'_{ges}) - 8,4 = 26,1 \cdot \lg(156) - 8,4 = 48,8 \text{ dB}$$

■ **Innenwände 2 und 3**

- flächenbezogene Masse m'_{ges} (Gl. (7.13)):

$$m'_{ges} = m'_{\text{Wand}} + m'_{\text{Putz}} = 0,175 \cdot 575 + 2 \cdot 0,01 \cdot 900 = 118,6 \text{ kg/m}^2$$

- bewertetes Schalldämm-Maß R_w der flankierenden Innenwand (Gl. (7.14)):

$$R_w = 32,6 \cdot \lg(m'_{ges}) - 22,5 = 32,6 \cdot \lg(118,6) - 22,5 = 45,1 \text{ dB}$$

Mindestwerte der Stoßstellendämm-Maße $K_{ij,min}$ (Gl. (7.29))

■ **Stoßstellen Wohnungstrenndecke/Außenwand und Wohnungstrenndecke/Innenwand 2**

$$K_{Df,min} = 10 \cdot \lg \left[l_i \cdot l_o \cdot \left(\frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right] = 10 \cdot \lg \left[3,4 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{3,4 \cdot 4} + \frac{1}{3,4 \cdot 2,6} \right) \right] = -2,0 \text{ dB}$$

$$K_{Fd,min} = 10 \cdot \lg \left[3,4 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{3,4 \cdot 2,6} + \frac{1}{4 \cdot 3,4} \right) \right] = -2,0 \text{ dB}$$

$$K_{Ff,min} = 10 \cdot \lg \left[3,4 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{3,4 \cdot 2,6} + \frac{1}{3,4 \cdot 2,6} \right) \right] = -1,1 \text{ dB}$$

■ **Stoßstellen Wohnungstrenndecke/Innenwand 1 und Wohnungstrenndecke/Innenwand 3**

$$K_{Df,min} = 10 \cdot \lg \left[4,0 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot 3,4} + \frac{1}{4,0 \cdot 2,6} \right) \right] = -1,7 \text{ dB}$$

$$K_{Fd,min} = 10 \cdot \lg \left[4,0 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{4,0 \cdot 2,6} + \frac{1}{4,0 \cdot 3,4} \right) \right] = -1,7 \text{ dB}$$

$$K_{Ff,min} = 10 \cdot \lg \left[4,0 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{4,0 \cdot 2,6} + \frac{1}{4,0 \cdot 2,6} \right) \right] = -1,1 \text{ dB}$$

Stoßstellendämm-Maße K_{ij} **■ Stoßstelle Wohnungstrenndecke/Außenwand (T-Stoß)**

- Hilfsgröße M (Gl. (7.21))

$$M_{Df} = \lg\left(\frac{m'_{\perp}}{m'}\right) = \lg\left(\frac{141,1}{496}\right) = -0,546$$

$$M_{Fd/Ff} = \lg\left(\frac{m'_{\perp}}{m'}\right) = \lg\left(\frac{496}{141,1}\right) = 0,546$$

- Stoßstellendämm-Maße K_{ij} (Gl. (7.23), (7.25))
Schallübertragungsweg 2-3 bzw. 1-2, $M \geq 0,215$

$$\begin{aligned} K_{Df} &= K_{2-3} = K_{1-2} \\ &= 4,7 + 5,7 \cdot M^2 = 4,7 + 5,7 \cdot (-0,546)^2 \\ &= 6,4 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{Fd} &= K_{1-2} = 4,7 + 5,7 \cdot M^2 = 4,7 + 5,7 \cdot 0,546^2 \\ &= 6,4 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{Ff} &= K_{1-3} = 8 + 6,8 \cdot M = 8 + 6,8 \cdot 0,546 \\ &= 11,7 \text{ dB} \end{aligned}$$

Alle Stoßstellendämm-Maße K_{ij} sind größer als die Mindestwerte $K_{ij,min}$. Daher werden im Weiteren die Stoßstellendämm-Maße K_{ij} verwendet.

■ Stoßstelle Wohnungstrenndecke/Innenwand 1 (Kreuzstoß)

- Hilfsgröße M (Gl. (7.21))

$$M_{Df} = \lg\left(\frac{m'_{\perp}}{m'}\right) = \lg\left(\frac{156}{496}\right) = -0,502$$

$$M_{Fd/Ff} = \lg\left(\frac{m'_{\perp}}{m'}\right) = \lg\left(\frac{496}{156}\right) = 0,502$$

- Stoßstellendämm-Maße K_{ij} (Gl. (7.26), (7.28))
Schallübertragungsweg 1-2 bzw. 2-3, $M \geq 0,182$

$$\begin{aligned} K_{Df} &= K_{2-3} = K_{1-2} = 5,7 + 15,4 \cdot M^2 \\ &= 5,7 + 15,4 \cdot (-0,502)^2 \\ &= 9,6 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{Fd} &= K_{1-2} = 5,7 + 15,4 \cdot M^2 = 5,7 + 15,4 \cdot \\ &0,502^2 \\ &= 9,6 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{Ff} &= K_{1-3} = 9,6 + 11 \cdot M = 9,6 + 11 \cdot 0,502 \\ &= 15,1 \text{ dB} \end{aligned}$$

Alle Stoßstellendämm-Maße K_{ij} sind größer als die Mindestwerte $K_{ij,min}$. Daher werden im Weiteren die Stoßstellendämm-Maße K_{ij} verwendet.

■ Stoßstelle Wohnungstrenndecke/Innenwände 2 und 3 (Kreuzstoß)

- Hilfsgröße M (Gl. (7.21))

$$M_{Df} = \lg\left(\frac{m'_{\perp}}{m'}\right) = \lg\left(\frac{118,6}{496}\right) = -0,621$$

$$M_{Fd/Ff} = \lg\left(\frac{m'_{\perp}}{m'}\right) = \lg\left(\frac{496}{118,6}\right) = 0,621$$

- Stoßstellendämm-Maße K_{ij} (Gl. (7.26), (7.28))
Schallübertragungsweg 1-2 bzw. 2-3, $M \geq 0,182$

$$\begin{aligned} K_{Df} &= K_{2-3} = K_{1-2} = 5,7 + 15,4 \cdot M^2 \\ &= 5,7 + 15,4 \cdot (-0,621)^2 \\ &= 11,6 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{Fd} &= K_{1-2} = 5,7 + 15,4 \cdot M^2 = 5,7 + 15,4 \cdot 0,621^2 \\ &= 11,6 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{Ff} &= K_{1-3} = 9,6 + 11,0 \cdot M = 9,6 + 11,0 \cdot 0,621 \\ &= 16,4 \text{ dB} \end{aligned}$$

Alle Stoßstellendämm-Maße K_{ij} sind größer als die Mindestwerte $K_{ij,min}$. Daher werden im Weiteren die Stoßstellendämm-Maße K_{ij} verwendet.

Bewertete Flankenschalldämm-Maße $R_{ij,w}$ für die flankierenden Bauteile (Gl. (7.20))**■ Flankenübertragung über die Außenwand**

Beim schallaufnehmenden Bauteil ist die Verbesserung der Schalldämmung $\Delta R_{ij,w} = 6,3 \text{ dB}$ (siehe oben) durch einen schwimmenden Estrich zu berücksichtigen, da dieser eine Vorsatzschale bildet.

$$\begin{aligned} R_{Df,w} &= \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \cdot \lg \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \\ &= \frac{61,1}{2} + \frac{47,6}{2} + 6,3 + 6,4 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 3,4} \\ &= 73,1 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{Fd,w} &= \frac{47,6}{2} + \frac{61,1}{2} + 0 + 6,4 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 3,4} \\ &= 66,8 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{Ff,w} &= \frac{47,6}{2} + \frac{47,6}{2} + 0 + 11,7 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 3,4} \\ &= 65,3 \text{ dB} \end{aligned}$$

■ Flankenübertragung über Innenwand 1

$$\begin{aligned} R_{Df,w} &= \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \cdot \lg \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \\ &= \frac{61,1}{2} + \frac{48,8}{2} + 6,3 + 9,6 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 4,0} \\ &= 76,2 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{Fd,w} &= \frac{48,8}{2} + \frac{61,1}{2} + 0 + 9,6 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 4,0} \\ &= 69,9 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$R_{Ff,w} = \frac{48,8}{2} + \frac{48,8}{2} + 0 + 15,1 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 4,0}$$

$$= 69,2 \text{ dB}$$

■ **Flankenübertragung über Innenwand 2**

$$R_{Df,w} = \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \cdot \lg \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f}$$

$$= \frac{61,1}{2} + \frac{45,1}{2} + 6,3 + 11,6 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 3,4}$$

$$= 77,0 \text{ dB}$$

$$R_{Fd,w} = \frac{45,1}{2} + \frac{61,1}{2} + 0 + 11,6 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 3,4}$$

$$= 70,7 \text{ dB}$$

$$R_{Ff,w} = \frac{45,1}{2} + \frac{45,1}{2} + 0 + 16,4 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 3,4}$$

$$= 67,5 \text{ dB}$$

■ **Flankenübertragung über Innenwand 3**

$$R_{Df,w} = \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \cdot \lg \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f}$$

$$= \frac{61,1}{2} + \frac{45,1}{2} + 6,3 + 11,6 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 4,0}$$

$$= 76,3 \text{ dB}$$

$$R_{Fd,w} = \frac{45,1}{2} + \frac{61,1}{2} + 0 + 11,6 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 4,0}$$

$$= 70,0 \text{ dB}$$

$$R_{Ff,w} = \frac{45,1}{2} + \frac{45,1}{2} + 0 + 16,4 + 10 \cdot \lg \frac{13,6}{1,0 \cdot 4,0}$$

$$= 66,8 \text{ dB}$$

Bewertetes Schalldämm-Maß R'_w (Gl. (7.6))

$$R'_w = -10 \cdot \lg \left(10^{-0,1 \cdot R_{Dd,w}} + \sum_{F=1}^n 10^{-0,1 \cdot R_{Ff,w}} + \sum_{F=1}^n 10^{-0,1 \cdot R_{Df,w}} + \sum_{F=1}^n 10^{-0,1 \cdot R_{Fd,w}} \right)$$

$$= -10 \cdot \lg (10^{-0,1 \cdot 67,4} + 10^{-0,1 \cdot 65,3} + 10^{-0,1 \cdot 69,2} + 10^{-0,1 \cdot 67,5} + 10^{-0,1 \cdot 66,8} + 10^{-0,1 \cdot 73,1} + 10^{-0,1 \cdot 76,2}$$

$$+ 10^{-0,1 \cdot 77,0} + 10^{-0,1 \cdot 76,3} + 10^{-0,1 \cdot 66,8} + 10^{-0,1 \cdot 69,9} + 10^{-0,1 \cdot 70,7} + 10^{-0,1 \cdot 70,0})$$

$$= 58,0 \text{ dB}$$

c) Nachweis der Anforderungen an die Luftschalldämmung von trennenden Bauteilen (Wohnungstrenndecke)

■ **Mindestschallschutz gemäß DIN 4109-1**

$$R'_w - 2 = 58,0 - 2 = 56,0 \text{ dB} > R'_{w,erf} = 54 \text{ dB}$$

Die bauordnungsrechtlichen Mindestanforderungen werden erfüllt.

■ **Erhöhter Schallschutz gemäß DIN SPEC 91314**

$$R'_w - 2 = 58,0 - 2 = 56,0 \text{ dB} = R'_{w,erf} = 56 \text{ dB}$$

Die Anforderungen an einen erhöhten Schallschutz werden erfüllt.

Zweischalige Trennwände massiver Doppel- und Reihenhäuser

An zweischalige Trennwände von massiven Doppel- und Reihenhäusern werden besondere schalltechnische Anforderungen gestellt. Dazu wird das günstige Verhalten zweischaliger Bauteile gegenüber einschaligen Bauteilen ausgenutzt. Voraussetzung ist, dass die Trennfuge zwischen den Einzelschalen ausreichend breit ist und ordnungsgemäß ausgeführt wird (Abb. 7.10). Beginnend von der Unterkante des Gebäudes bis unter die Dachhaut darf die Trennfuge nicht durch

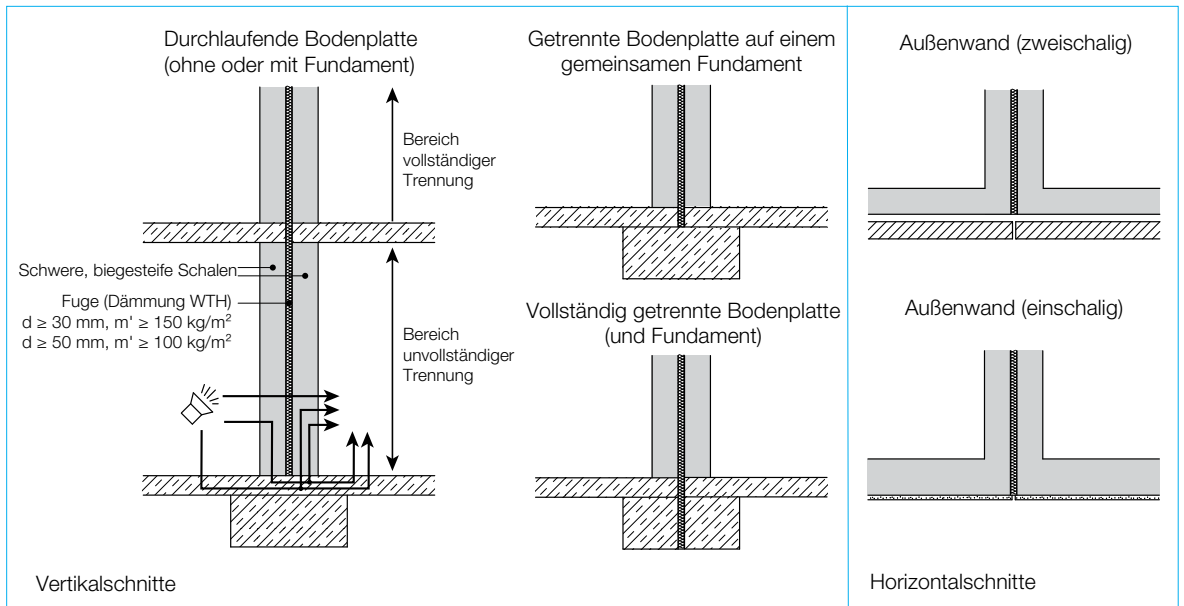
Schallbrücken wie Mörtelreste oder unsauber eingeschalteten Beton gestört werden. Besondere Bedeutung kommt auch dem Dämmstoff in der Trennfuge zu: Es dürfen nur mineralische Trittschalldämmplatten Typ WTH nach DIN 4108-10 [7.3] verwendet werden.

DIN 4109-1 fordert für Haustrennwände in Einfamilien-Reihenhäusern und Einfamilien-Doppelhäusern einen Mindestschallschutz von $R'_w \geq 62 \text{ dB}$ (über dem untersten Geschoss) bzw. $R'_w \geq 59 \text{ dB}$ (im untersten Geschoss). Bei heutigen Erwartungshaltungen und technischen Möglichkeiten kann davon ausgegangen werden, dass diese Anforderungen als nicht zufriedenstellend einzustufen sind. Die zu erbringende Schalldämmung von zweischaligen Haustrennwänden soll nach Übereinkunft der Verfasser der schalltechnischen Spezifikation DIN SPEC 91314 folgendermaßen festgelegt werden:

- **Vollständige Trennung** (das Gebäude ist unterkellert und die Trennfuge ist mindestens ab Oberkante der Bodenplatte vorhanden):

$R'_w \geq 67 \text{ dB}$ (für Haustrennwände zwischen fremden Aufenthaltsräumen, unter denen mindestens ein Geschoss vorhanden ist; erdberührt oder nicht erdberührt)

Abb. 7.10: Zweischalige Wände aus schweren, biegesteifen Schalen



- Unvollständige Trennung (nicht unterkellerte Gebäude und Gebäude mit „Weißer Wanne“ gelten als unvollständig getrennt):

$$R'_{w,2} \geq 62 \text{ dB (im untersten Geschoss)}$$

Mit zweischaligen Haustrennwänden aus Porenbeton können die in Abb. 7.11 gezeigten Schalldämm-Maße erreicht werden [7.2]. Folgender Wandaufbau wurde geprüft:

- Innenputz, d = 10 mm
- Porenbeton-Plansteine PP4-0,60, d = 0,175 m
- Trennfuge, d = 50 mm, mit mineralischer Faserdämmplatte TYP WTH nach DIN 4108-10, d = 40 mm

- Porenbeton-Plansteine PP4-0,60, d = 0,175 m
- Innenputz, d = 10 mm

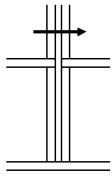
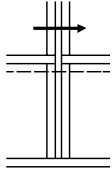
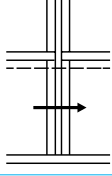
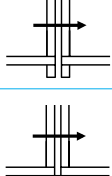
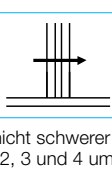
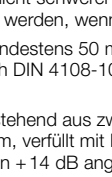
In einem vereinfachten Nachweisverfahren wird das bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,2}$ zweischaliger Trennwände von massiven Doppel- und Reihenhäusern aus dem bewerteten Schalldämm-Maß $R'_{w,1}$ einer gleich schweren einschaligen Wand, einem Zuschlagswert $\Delta R_{w,Tr}$ für die Zweischaligkeit und einem Korrekturwert K zur Berücksichtigung der Übertragung über flankierende Decken und Wände berechnet:

$$R'_{w,2} = R'_{w,1} + \Delta R_{w,Tr} - K \quad \text{Gl. (7.30)}$$

Abb. 7.11: Bewertete Schalldämm-Maße R'_w zweischaliger Haustrennwände aus Porenbeton, gemessen in Prüfständen und ausgeführten Bauten [7.2]

Vollständige Trennung	Unvollständige Trennung		
Trennfuge bis Oberkante Bodenplatte, Beurteilung der Schalldämmung ab Erdgeschoss bei einem unterkellerten Gebäude	Trennfuge bis Oberkante Bodenplatte oder Unterkante Bodenplatte, Beurteilung der Schalldämmung ab unterstem Geschoss (Erdgeschoss) bei einem nicht unterkellerten Gebäude		
Im EG: $R'_w \geq 64 \text{ dB}$ Im OG: $R'_w \geq 67 \text{ dB}$	Im EG: $R'_w \geq 60 \text{ dB}$ ($R'_w \geq 62 \text{ dB}$ bei getrenntem Fundament) Im OG: $R'_w \geq 62 \text{ dB}$ ($R'_w \geq 65 \text{ dB}$ bei getrenntem Fundament)		

Tab. 7.5: Zuschlagswerte $\Delta R_{w,Tr}$ unterschiedlicher Übertragungssituationen für zweischalige Haustrennwände nach DIN 4109-2 [7.4.2]

Zeile	Situation (Vertikalschnitt)	Beschreibung	$\Delta R_{w,Tr}$ ¹⁾²⁾³⁾ dB
1		Vollständige Trennung der Schalen und der flankierenden Bauteile ab Oberkante Bodenplatte, auch gültig für alle darüber liegenden Geschosse, unabhängig von der Ausbildung der Bodenplatte und der Fundamente	12
2		Außenwände durchgehend mit $m' \geq 575 \text{ kg/m}^2$ (z. B. Kelleraußenwände als „weiße Wanne“)	9
3		Außenwände durchgehend mit $m' \geq 575 \text{ kg/m}^2$ (z. B. Kelleraußenwände als „weiße Wanne“) Bodenplatte durchgehend mit $m' \geq 575 \text{ kg/m}^2$	3
4		Außenwände getrennt Bodenplatte und Fundamente getrennt	9
5		Außenwände getrennt Bodenplatte getrennt auf gemeinsamem Fundament	6 ⁴⁾
6		Außenwände getrennt Bodenplatte durchgehend mit $m' \geq 575 \text{ kg/m}^2$	6 ⁴⁾

- Falls die einzelnen Schalen nicht schwerer als 200 kg/m^2 sind, können die Zuschlagswerte $\Delta R_{w,Tr}$ für zweischalige Haustrennwände aus Porenbeton für die Zeilen 1, 2, 3 und 4 um 3 dB und für die Zeilen 5 und 6 um 6 dB erhöht werden.
- Falls die einzelnen Schalen nicht schwerer als 250 kg/m^2 sind, können die Zuschlagswerte $\Delta R_{w,Tr}$ für zweischalige Haustrennwände aus Leichtbeton um 2 dB erhöht werden, wenn die Steinrohddichte $\leq 800 \text{ kg/m}^3$ ist.
- Falls der Schalenabstand mindestens 50 mm beträgt und der Fugenhohlraum mit Mineralwolleplatte nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10, ausgefüllt wird, können die Zuschlagswerte $\Delta R_{w,Tr}$ bei allen Materialien in den Zeilen 1, 2 und 4 um 2 dB erhöht werden.
- Für eine Haustrennwand bestehend aus zwei Schalen je 17,5 cm Porenbeton der Rohdichteklasse 0,60 (oder größer) mit einem Schalenabstand von mindestens 50 mm, verfüllt mit Mineralwolleplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10, kann insgesamt ein $\Delta R_{w,Tr}$ von +14 dB angesetzt werden. Zuschläge nach Fußnote 1) sind in diesem Zuschlag bereits berücksichtigt.

Das bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,1}$ ist von der flächenbezogenen Masse $m'_{Tr,ges}$ beider Schalen abhängig:

$$R'_{w,1} = 28 \cdot \lg(m'_{Tr,ges}) - 18 \quad \text{Gl. (7.31)}$$

Der Zuschlagswert $\Delta R_{w,Tr}$ ist je nach baulicher Situation Tab. 7.5 zu entnehmen. Dort sind insbesondere die in den Fußnoten enthaltenen Bestimmungen zu beachten, die für die Porenbetonbauweise relevante Verbesserungen beschreiben.

Der Korrekturwert K wird unter Beachtung der flächenbezogenen Masse $m'_{Tr,1}$ einer Schale der zweischaligen Wand und der mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{f,m}$ der flankierenden Bauteile ermittelt:

$$K = 0,6 + 5,5 \cdot \lg\left(\frac{m'_{Tr,1}}{m'_{f,m}}\right) \quad \text{Gl. (7.32)}$$

Die flächenbezogene Masse m'_f flankierender Bauteile, die durch Vorsatzkonstruktionen mit einer Frequenz von $f_0 < 125 \text{ Hz}$ belegt sind, wird bei der Berechnung der flächenbezogenen Masse $m'_{f,m}$ der flankierenden Bauteile nicht berücksichtigt. n ist die Anzahl der mit Vorsatzkonstruktionen versehenen Bauteile:

$$m'_{f,m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m'_{f,i} \quad \text{Gl. (7.33)}$$

7.3 Trittschallübertragung

Im schalltechnischen Nachweis wird ein berechneter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ im Rahmen einer vereinfachten Ermittlung um einen Sicherheitszuschlag von 3 dB erhöht (Prognoseunsicherheit). Der Nachweis der Trittschalldämmung in Gebäuden ist erbracht, wenn der erhöhte Wert den Anforderungswert $L'_{n,w,zul}$ nicht überschreitet:

$$L'_{n,w} + 3 \text{ dB} \leq L'_{n,w,zul} \quad \text{Gl. (7.34)}$$

Trittschall, der von Decken, Treppenläufen oder Treppenpodesten ausgeht, wird auf unterschiedlichen Wegen in Räume übertragen, die entweder unmittelbar unter oder diagonal unter der angeregten Decke liegen (Abb. 7.12). Auch die Schallübertragung in einen direkt neben dem Senderraum liegenden Empfangsraum ist zu berücksichtigen.

Der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ von Massivdecken übereinanderliegender Räume wird aus dem bewerteten äquivalenten Norm-Trittschallpegel $L_{n,eq,0,w}$ der Rohdecke, der bewerteten Trittschallminderung ΔL_w und in Abhängigkeit von der Raumzuordnung aus einem Korrekturwert K bzw. K_T berechnet:

■ Übereinander liegende Räume

$$L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + K \quad \text{Gl. (7.35)}$$

■ unterschiedliche Raumanordnungen

$$L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w - K_T \quad \text{Gl. (7.36)}$$

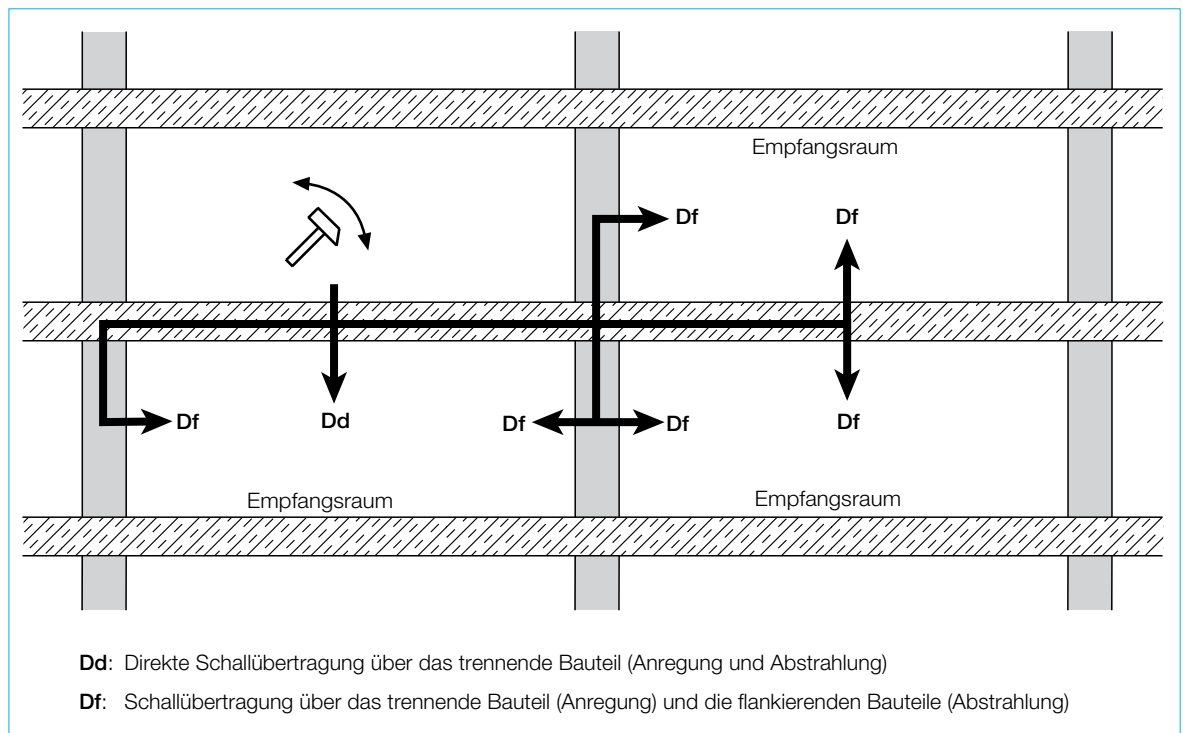
Der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,eq,0,w}$ z. B. einer Stahlbetondecke wird auf Grundlage der flächenbezogenen Masse m' ermittelt.

Für eine direkte Schallübertragung in einen direkt unter der Decke liegenden Raum gilt:

$$L_{n,eq,0,w} = 164 - 35 \cdot \lg(m') \quad \text{Gl. (7.37)}$$

Grundlage für die bewertete Trittschallminderung ΔL_w schwimmender Estriche auf Massivdecken sind die dynamische Steifigkeit s' der Dämmschicht und die flächenbezogene Masse m' des Estrichs:

Abb. 7.12: Schallübertragungswege für den Trittschall



■ Schwimmende Mörtelstriche

$$\Delta L_w = 13 \cdot \lg(m') - 14,2 \lg(s') + 20,8 \quad \text{Gl. (7.38)}$$

mit $6 \text{ MN/m}^3 \leq s' \leq 50 \text{ MN/m}^3$ und
 $60 \text{ kg/m}^2 \leq m' \leq 160 \text{ kg/m}^2$

■ Schwimmende Gussasphalt- oder Fertigteilestriche

$$\Delta L_w = (-0,21 \cdot m' - 5,45) \cdot \lg(s') + 0,46 \cdot m' + 23,8 \quad \text{Gl. (7.39)}$$

mit $15 \text{ MN/m}^3 \leq s' \leq 40 \text{ MN/m}^3$
 und $15 \text{ kg/m}^2 \leq m' \leq 40 \text{ kg/m}^2$
 (Fertigteilestriche)

mit $15 \text{ MN/m}^3 \leq s' \leq 50 \text{ MN/m}^3$
 und $58 \text{ kg/m}^2 \leq m' \leq 87 \text{ kg/m}^2$
 (einlagige Gussasphaltstriche)

Die flächenbezogene Masse m' von mineralisch gebundenen Estrichen wird gegenüber den Rechenwerten aus den Bemessungsnormen um 10 % gemindert.

Durch den Korrekturwert K wird bei übereinander liegenden Räumen die Trittschallübertragung über flankierende Bauteile berücksichtigt. Er ist für Massivdecken ohne Unterdecke in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse m'_s der Trenndecke und der mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{f,m}$ der homogenen massiven flankierenden Bauteile, die nicht mit Vorsatzkonstruktionen belegt sind, zu ermitteln:

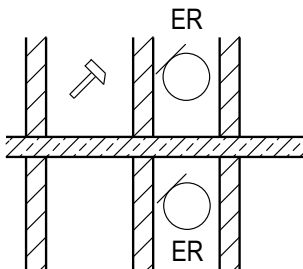
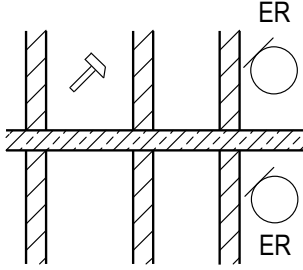
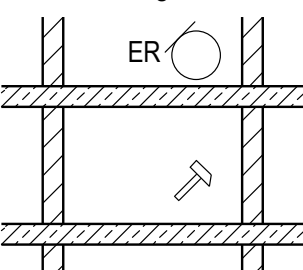
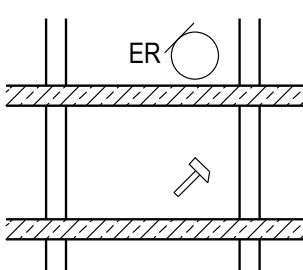
■ Falls $m'_{f,m} \leq m'_s$

$$K = 0,6 + 5,5 \cdot \lg\left(\frac{m'_s}{m'_{f,m}}\right) \quad \text{Gl. (7.40)}$$

■ Falls $m'_{f,m} > m'_s$

$$K = 0 \text{ dB} \quad \text{Gl. (7.41)}$$

Befindet sich die Trenndecke nicht zwischen übereinander liegenden Räumen, wird die Übertragungssituation zwischen Sende- und Empfangsraum durch den Korrekturwert K_T berücksichtigt (Tab. 7.6). Bei der Trittschallübertragung über eine Haustrennwand mit zwei biegesteifen Schalen und Trennfuge beträgt der Korrekturwert $K_T = 15 \text{ dB}$.

Lage der Empfangsräume	K_T dB
<p>Neben oder schräg unter der angeregten Decke</p> 	+5 ¹⁾
<p>Wie oben, jedoch ein Raum dazwischenliegend</p> 	+10 ¹⁾
<p>Über der angeregten Decke (Gebäude mit tragenden Wänden)</p> 	+10 ²⁾
<p>Über der angeregten Decke (Skelettbau)</p> 	+20

Tab. 7.6: Korrekturwert K_T für unterschiedliche räumliche Zuordnungen nach DIN 4109-2 [7.4.2]

1) Voraussetzung: Zur Sicherstellung einer ausreichenden Stoßstellen-dämmung müssen die Wände zwischen angeregter Decke und Empfangsraum starr angebunden sein und eine flächenbezogene Masse $m' \geq 150 \text{ kg/m}^2$ haben.

2) Dieser Korrekturwert gilt sinngemäß auch für Bodenplatten.

Beispiel 3: Nachweis der Trittschalldämmung einer massiven Wohnungstrenndecke mit massiven flankierenden Wänden

In diesem Rechenbeispiel trennt eine Stahlbetondecke mit einem schwimmenden Estrich zwei fremde Wohnungen voneinander. Die flankierenden Bauteile sind Mauerwerkswände aus Porenbeton-Plansteinen unterschiedlicher Dicke und Rohdichteklasse.

Zur Veranschaulichung möglicher Nachweiswege sind zwei der Wände mit Vorsatzkonstruktionen versehen. Die Situation ist in Abb. 7.13 (Horizontalschnitt) sowie in Abb. 7.14 (Flankenschall-Übertragungswege) dargestellt. Das Berechnungsergebnis zeigt, dass mit

den betrachteten Bauteilen die bauordnungsrechtlichen Mindestanforderungen nach DIN 4109 erfüllt werden und dass durch Anbringen von Vorsatzschalen auf flankierenden Bauteilen ein erhöhter Schallschutz nach DIN SPEC 91314 erbracht werden kann.

a) Bauteile

Wohnungstrenndecke (Aufbau von oben nach unten)

- Zementestrich, $m' = 80 \text{ kg/m}^2$
- Trittschalldämmung, $s' = 15 \text{ MN/m}^3$
- Stahlbeton, $d = 0,22 \text{ m}$, $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$
- Kalkzementputz unterseitig, $d = 0,015 \text{ m}$

Flankierende Bauteile

- **Außenwand**
 - Leichtputz innen, $d = 0,01 \text{ m}$
 - Porenbetonmauerwerk (Plansteine, Dünnbettmörtel), RDK 0,35, $d = 0,365 \text{ m}$
 - Leichtputz außen, $d = 0,015 \text{ m}$
- **Innenwand 1**
 - Leichtputz beidseitig, $d = 0,01 \text{ m}$
 - Porenbetonmauerwerk (Plansteine, Dünnbettmörtel), RDK 0,6, $d = 0,24 \text{ m}$
- **Innenwand 2 und Innenwand 3**
 - Leichtputz einseitig, $d = 0,01 \text{ m}$
 - Porenbetonmauerwerk (Plansteine, Dünnbettmörtel), RDK 0,6, $d = 0,175 \text{ m}$
 - Vorsatzschale einseitig, bestehend aus:
 - Dämmschicht im Hohlraum, $E_{\text{dyn}} = 0,25 \text{ MN/m}^2$, $d = 0,04 \text{ m}$
 - Gipskartonplatten, $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$, $d = 0,0125 \text{ m}$

Abb. 7.13: Beispiel zur Trittschallübertragung – Horizontalschnitt

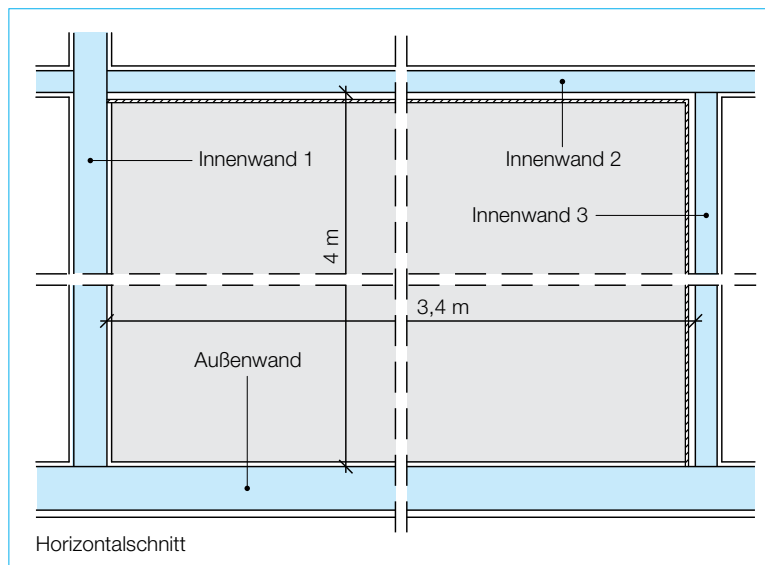
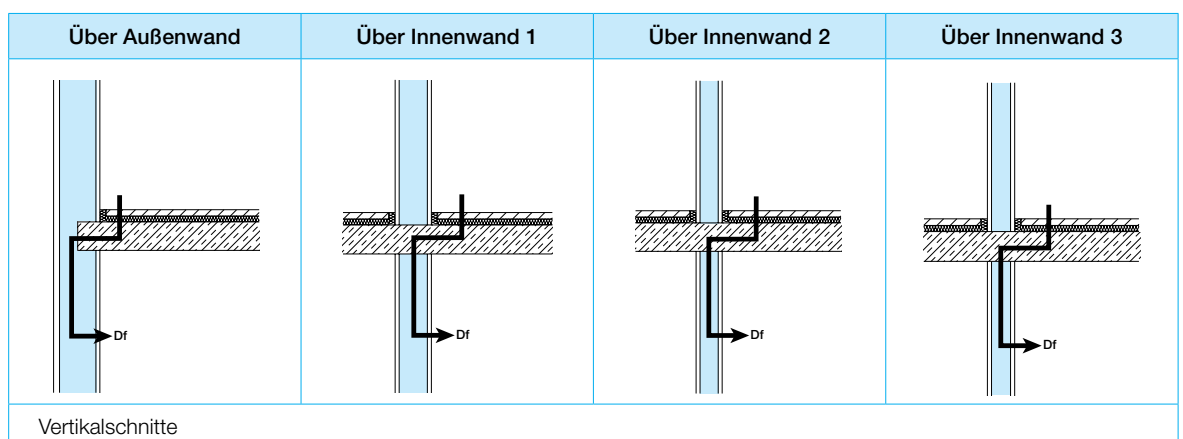


Abb. 7.14: Beispiel zur Trittschallübertragung – Flankenschall-Übertragungswege



b) Berechnung der Trittschalldämmung

Bewerteter äquivalenter Norm-Trittschallpegel

$L'_{n,w,eq}$ der Rohdecke

■ flächenbezogene Masse m'_{ges} (Gl. (7.13))

$$\begin{aligned} m'_{ges} &= m'_{Stahlbeton} + m'_{Putz} \\ &= 0,22 \cdot 2.400 \\ &\quad + 0,015 \cdot 1.600 \\ &= 552 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

■ bewerteter äquivalenter Norm-Trittschallpegel

$$\begin{aligned} L'_{n,eq,0,w} &\text{ (Gl. (7.37))} \\ L'_{n,eq,0,w} &= 164 - 35 \cdot \lg(m') \\ &= 164 - 35 \cdot \lg(552) \\ &= 68,0 \end{aligned}$$

**Bewertete Trittschallminderung ΔL_w der Deckenauf-
lage (Gl. (7.38))**

$$\begin{aligned} \Delta L_w &= 13 \cdot \lg(m') - 14,2 \cdot \lg(s') + 20,8 \\ &= 13 \cdot \lg(80) - 14,2 \cdot \lg(15) + 20,8 \\ &= 28,8 \text{ dB} \end{aligned}$$

**Korrekturwert K für die Trittschallübertragung
über flankierende Bauteile**

■ Außenwand

$$\begin{aligned} \text{flächenbezogene Masse } m'_{ges} &\text{ (Gl. (7.13))} \\ m'_{ges} &= m'_{Wand} + m'_{Putz} \\ &= 0,365 \cdot 325 + 0,01 \cdot 900 \\ &\quad + 0,015 \cdot 900 \\ &= 141,1 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

■ Innenwand 1

$$\begin{aligned} \text{flächenbezogene Masse } m'_{ges} &\text{ (Gl. (7.13))} \\ m'_{ges} &= m'_{Wand} + m'_{Putz} = 0,24 \cdot 575 + 2 \cdot 0,01 \cdot 900 \\ &= 156 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Die flächenbezogenen Massen der Innenwand 2 und Innenwand 3 gehen nicht in die Berechnung mit ein, da sie mit einer Vorsatzkonstruktion versehen sind.

Flankierende Bauteile

mittlere flächenbezogene Masse $m'_{f,m}$ (Gl. (7.33))

$$m'_{f,m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m'_{f,i} = \frac{141,1 + 156}{2} = 148,6 \text{ kg/m}^2$$

Korrekturwert K (Gl. (7.32))

$$\begin{aligned} m'_{f,m} &\leq m'_{s'} \\ K &= 0,6 + 5,5 \cdot \lg\left(\frac{m'_{s'}}{m'_{f,m}}\right) = 0,6 + 5,5 \cdot \lg\left(\frac{552}{148,6}\right) \\ &= 3,7 \text{ dB} \end{aligned}$$

**Bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ der Woh-
nungstrenndecke (Gl. (7.35))**

$$\begin{aligned} L'_{n,w} &= L'_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + K \\ &= 68,0 - 28,8 + 3,7 = 42,9 \text{ dB} \end{aligned}$$

(übereinander liegende Räume)

**c) Nachweis der Anforderungen an die Trittschall-
dämmung**

Mindestschallschutz gemäß DIN 4109-1

$$\begin{aligned} L'_{n,w} + 3,0 \text{ dB} &= 42,9 + 3,0 \text{ dB} \\ &= 45,9 \text{ dB} < L'_{n,w,zul} = 50 \text{ dB} \end{aligned}$$

Die bauordnungsrechtlichen Mindestanforderungen werden erfüllt.

Erhöhter Schallschutz gemäß DIN SPEC 91314

$$\begin{aligned} L'_{n,w} + 3,0 \text{ dB} &= 42,9 + 3,0 \text{ dB} \\ &= 45,9 \text{ dB} < L'_{n,w,zul} = 46 \text{ dB} \end{aligned}$$

Die Anforderungen an einen erhöhten Schallschutz werden erfüllt.

**7.4 Luftschalldämmung von
Außenlärm**

Bei einschaligen, homogenen Bauteilen wie Wohnungstrennwänden ist das Schalldämm-Maß von der flächenbezogenen Masse abhängig. Diese Regel hat bei Außenwänden mit Fenstern geringere Bedeutung als bei Innenwänden, in denen keine Öffnungen enthalten sind. Für Außenbauteile, die Fenster oder Türen enthalten, ist das gesamte bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ entscheidend für die schalltechnische Beurteilung.

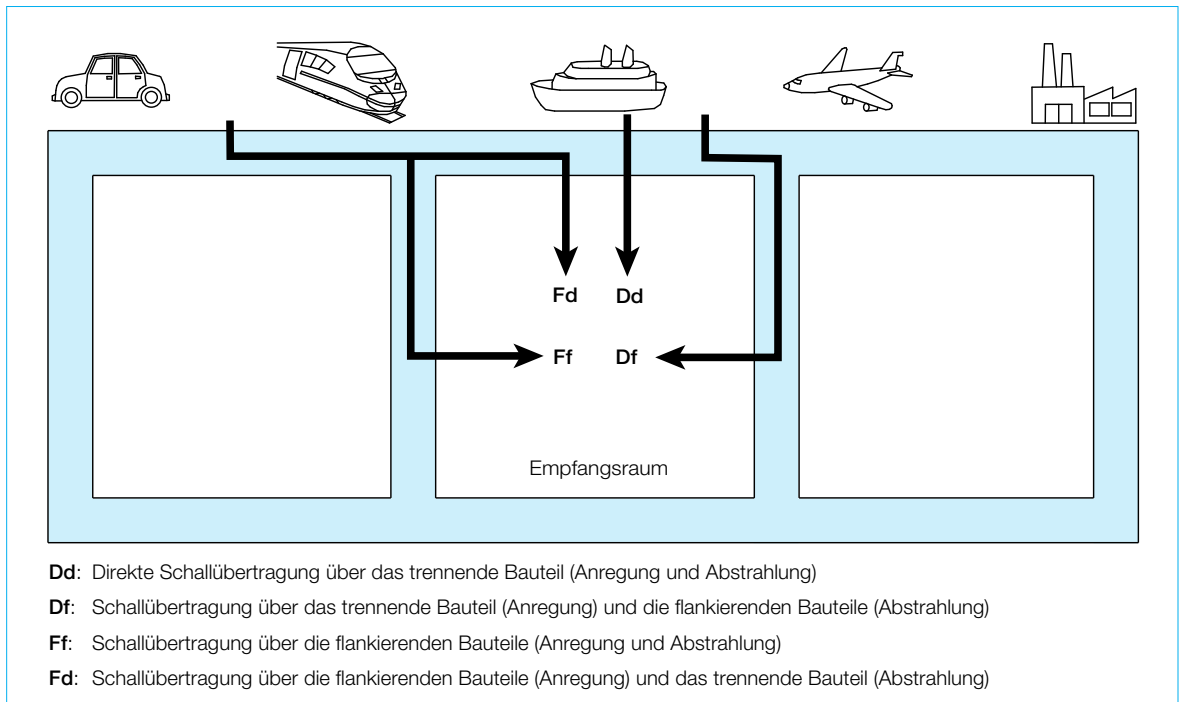
Es ergibt sich aus den auf die übertragende Fläche bezogenen Schalldämm-Maßen $R_{e,i,w}$ der an der Direktübertragung beteiligten Bauteile (Wand, Fenster, Dach, Rollladenkasten, Lüftungselement usw.) und den Flankenschalldämm-Maßen $R_{j,w}$ für die Wege Ff, Df und Fd (Abb. 7.15) nach folgender Gleichung:

$$\begin{aligned} R'_{w,ges} &= -10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^m 10^{-0,1 \cdot R_{e,i,w}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-0,1 \cdot R_{F,w}} \right. \\ &\quad \left. + \sum_{f=1}^n 10^{-0,1 \cdot R_{Df,w}} + \sum_{F=1}^n 10^{-0,1 \cdot R_{Fd,w}} \right) \end{aligned}$$

Gl. (7.42)

Für den häufig auftretenden Fall, dass die Flankenschallübertragung von untergeordneter Bedeutung ist, kann das gesamte bewertete Schalldämm-Maß

Abb. 7.15: Schallübertragungswege für Außenlärm



$R'_{w,ges}$ vereinfacht ermittelt werden. Werden Fenster verwendet, die heute bauüblich sind, und wenn $R'_{w,ges} \leq 40$ dB ist, kann die Flankenschallübertragung vernachlässigt werden:

$$R'_{w,ges} = -10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^m 10^{-0,1 \cdot R_{e,i,w}} \right) \quad \text{Gl. (7.43)}$$

Das berechnete, gesamte Schalldämmmaß $R'_{w,ges}$ wird im Rahmen

einer vereinfachten Ermittlung um einen Sicherheitsbeiwert, der sogenannten Prognoseunsicherheit u_{prog} , vermindert. Der Nachweis der Luftschalldämmung von Außenbauteilen ist erbracht, wenn der verminderte Wert den Anforderungswert mindestens erreicht:

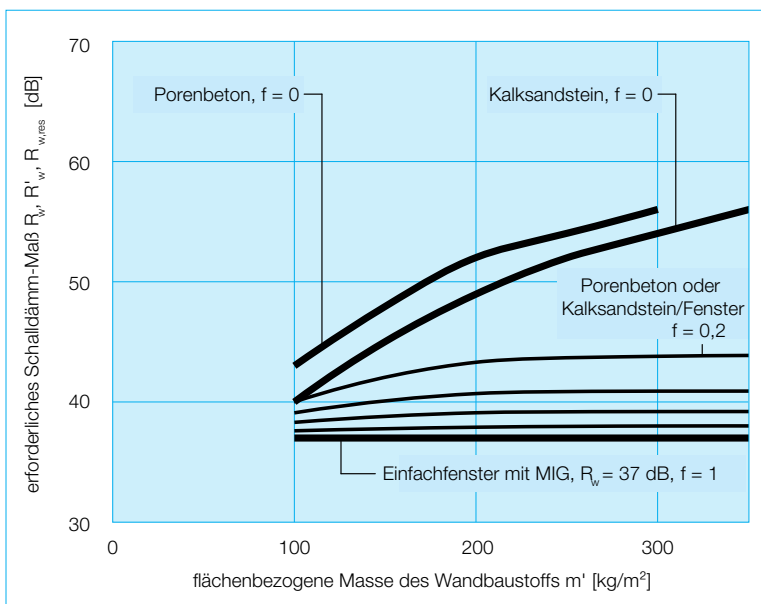
$$R'_{w,ges} - 2\text{dB} \geq R'_{w,ges,erf} \quad \text{Gl. (7.44)}$$

Der Korrekturwert K_{AL} für die Raumgeometrie wurde bereits bei der Festlegung der Anforderungen in Abschnitt 7.1 berücksichtigt.

Das auf die übertragende Fläche bezogene Schalldämmmaß $R_{e,i,w}$ üblicher Bauteile wie Wände oder Fenster, die durch ein bewertetes Schalldämmmaß R_w beschrieben werden, wird unter Berücksichtigung der Fläche S_i des Bauteils und der vom Raum aus gesehenen Fassadenfläche S_s berechnet:

$$R_{e,i,w} = R_w + 10 \cdot \lg \left(\frac{S_s}{S_i} \right) \quad \text{Gl. (7.45)}$$

Abb. 7.16: Schalldämmung homogener und zusammengesetzter Bauteilflächen



Die schematische Darstellung (Abb. 7.16) zeigt, dass bei einem Außenbauteil die flächenbezogene Masse des Wandbaustoffs, wenn z. B. ein Fenster mit einem Schalldämmmaß von $R_w = 37$ dB und einem Fensterflächenanteil von $f = 0,2$ bzw. 20 % eingebaut ist, bei Beurteilung des Schallschutzes gegen Außenlärm von geringem Einfluss ist. Die entsprechende Kurve in der Grafik ist ab einer bestimmten flächenbezogenen Masse des

Wandbaustoffs weitgehend eine Parallele zur Abszisse. Diese Ausprägung nimmt mit größeren Fensterflächenanteilen zu.

Sind in einem Außenbauteil Fenster mit niedrigen Schalldämm-Maßen enthalten, kann dies nur sehr begrenzt durch massive Wandbaustoffe mit höheren flächenbezogenen Massen ausgeglichen werden. Insofern wird das schalltechnische Verhalten von Außenwänden aus Porenbeton durch die vergleichsweise geringe flächenbezogene Masse nur wenig eingeschränkt, andererseits kann die wärmetechnische Qualität des Baustoffs ausgenutzt werden.

Bei zweischaligen Mauerwerkskonstruktionen mit Luftschicht oder mit Kerndämmung aus mineralischen Faserdämmstoffen wird das bewertete Schalldämm-Maß $R'_{Dd,w}$ aus der Summe der flächenbezogenen Massen der beiden Schalen wie bei einschaligen biegesteifen Wänden ermittelt und um $\Delta R = 5$ dB erhöht. Wenn die flächenbezogene Masse der auf die Innenschale der Außenwand anschließenden Trennwände größer als 50 % der flächenbezogenen Masse der inneren Schale der Außenwand ist, wird $R'_{Dd,w}$ um $\Delta R = 8$ dB erhöht.

Tab. 7.7 enthält in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil f Vorschläge für Wandkonstruktionen aus Porenbeton sowie Fensterausführungen. Wandaufbauten werden durch das bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,w}$ sowie Fensterausführungen durch das bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,F}$ gekennzeichnet. Grundlage der Vorschläge sind nach Gl. (7.44) berechnete erforderliche Schalldämm-Maße $R'_{w,ges,erf,0}$.

Einschalige Wandkonstruktionen aus Porenbeton erfüllen die Anforderungen an die Lärmpegelbereiche I bis IV gemäß DIN 4109-1. Für höhere Lärmpegelbereiche sind einschalige Wandkonstruktionen nicht geeignet. Anforderungen bei Lärmpegelbereich V können durch Umwandlung in zweischalige Konstruktionen erreicht werden. Dabei ist es möglich, durch Einbau einer zusätzlichen Schale, z. B. einer Vormauerschale, das tragende Porenbeton-Innenmauerwerk dünner auszubilden. Im Einzelfall hängt die Ausführung von der Außenlärm-Situation, vom Fensterflächenanteil und der schalltechnischen Qualität der Fenster ab.

Anforderung				Konstruktionsvorschlag				
Lärmpegelbereich	L_a dB	$K_{Raumart}$ dB	$R'_{w,ges,0}$ 1)	Wand ²⁾		f %	Fenster $R'_{w,F}$ dB	$R'_{w,ges} - 2$ 3)
				Aufbau	$R'_{w,w}$ dB			
I	≤ 55	30	30 ⁴⁾	PP2-0,35 d = 0,30 m	45,3	20	30	34,5
						30		32,9
						40		31,7
II	60		30	PP2-0,35 d = 0,30 m	45,3	20	30	34,5
						30		32,9
						40		31,7
III	65		35	PP2-0,35 d = 0,365 m	47,6	20	35	39,1
						30		37,7
						40		36,6
IV	70		40	PP4-0,50 d = 0,365 m	51,4	20	40	43,9
						30		42,5
						40		41,5
V	75		45	PP2-0,40 d = 0,24 m, Dämmschicht, VMz 1,4 d = 0,115 m ⁵⁾	59,4	20	45	49,4
						30		47,8
						40		46,8

Tab. 7.7: Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109-1 [7.4.1] und Konstruktionsvorschläge für Außenwände und Fenster im Wohnungsbau bei verschiedenen Fensterflächenanteilen f

1) Ohne Korrektur für die Raumgeometrie, $K_{AL} = 0$.

2) Einschalige Wände zweiseitig mit Leichtputz versehen ($d_{innen} = 0,01$ m, $d_{außen} = 0,015$ m), zweischalige Wände einseitig mit Leichtputz versehen ($d_{innen} = 0,01$ m).

3) Ergebnis ohne den Einfluss flankierender Bauteile und unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabschlages von 2 dB.

4) Mindestwert

5) Zweischaligkeitszuschlag 5 dB

Literatur

- [7.1] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (Herausgeber): Schallschutz – Bericht 13
- [7.2] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.: Merkblatt Schallschutz zweischaliger Haustrennwände – was ist geschuldet, was ist möglich? Eigenveröffentlichung, 2009
- [7.3] DIN 4108-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe. Ausgabe 2015-12
- [7.4] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau
 - [7.4.1] Teil 1: Mindestanforderungen. Ausgabe 2018-01
 - [7.4.2] Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen. Ausgabe 2018-01
 - [7.4.3] Teil 31: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Rahmendokument. Ausgabe 2016-07
 - [7.4.4] Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau. Ausgabe 2016-07
 - [7.4.5] Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau. Ausgabe 2016-07
 - [7.4.6] Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen. Ausgabe 2016-07
 - [7.4.7] Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden. Ausgabe 2016-07
 - [7.4.8] Teil 36: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Gebäudetechnische Anlagen. Ausgabe 2016-07
 - [7.4.9] Teil 4: Bauakustische Prüfungen. Ausgabe 2016-07
- [7.5] DIN 18005-1: Schallschutz im Städtebau – Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung. Ausgabe 2002-07
- [7.6] DIN SPEC 91314: Schallschutz im Hochbau – Anforderungen für einen erhöhten Schallschutz im Wohnungsbau. Ausgabe 2017-01
- [7.7] VDI 4100: Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz. Ausgabe 2012-10

BRAND

Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, FH Münster

8.1 Bauaufsichtliche Anforderungen an den Brandschutz

Das Baurecht ist in den einzelnen Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland in eigenen Bauordnungen geregelt, so dass die Regelungen des Brandschutzes unter Landesrecht fallen. Durch die Landesbauordnungen wird das im Grundgesetz festgelegte Grundrecht der körperlichen Unversehrtheit, d. h. die Fürsorgepflicht des Staates zur Gefahrenabwehr und zum Schutz von Leben und Gesundheit bei der Benutzung von baulichen Anlagen umgesetzt.

Die Bauordnungen stehen als Landesgesetze in der Hierarchie der Regelwerke zum Brandschutz an oberster Stelle. An mittlerer Stelle der Hierarchie stehen Verordnungen z. B. für bauliche Anlagen besonderer Art und Nutzung als Rechtsnormen, die die Landesbauordnungen ergänzen und verbindlich sind. An unterster Stelle stehen Richtlinien z. B. für bestimmte Gebäudetypen, die detailliertere Angaben enthalten und erst dann rechtsverbindlichen Charakter haben, wenn sie als eingeführte Technische Baubestimmungen in den Bundesländern veröffentlicht wurden.

Die Bauministerkonferenz (ARGEBAU) hat eine Musterbauordnung (MBO) [8.13] erlassen, mit der das Ziel verfolgt werden soll, die dem Landesrecht unterliegenden Landesbauordnungen zu vereinheitlichen. Die Bestimmungen der Landesbauordnungen stimmen im Wesentlichen mit denen der Musterbauordnung überein. Es gibt jedoch abweichende Details, so dass die Musterbauordnung nicht rechtsverbindlich ist und letztendlich die Landesbauordnungen Grundlage der Planung sind. Gleiches gilt für Musterverordnungen und Musterrichtlinien. In diesem Abschnitt wird hinsichtlich der Anforderungen Bezug auf die MBO genommen, um das Eingehen auf die Vielzahl der länderspezifischen Regelungen zu vermeiden.

Eine allgemeine Anforderung der MBO lautet, dass Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten sind, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere das Leben, die Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden.

Die konkreteren Schutzziele des Brandschutzes sind in § 14 MBO und in den Landesbauordnungen durch ähnlich lautende Formulierungen definiert, die auch als Generalklausel des Brandschutzes bezeichnet werden: „Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.“

Entsprechend der Schutzziele lassen sich Brandschutzmaßnahmen im Wesentlichen in zwei Bereiche unterteilen, den vorbeugenden und den abwehrenden Brandschutz:

- Beim **vorbeugenden Brandschutz** ist eine Differenzierung nach technischen und organisatorischen Maßnahmen üblich. Zum organisatorischen Brandschutz zählen beispielsweise Brandschutzordnungen oder die Benennung von Brandschutzverantwortlichen in Betrieben. Der technische Brandschutz lässt sich wiederum nach bautechnischen und anlagentechnischen Maßnahmen unterscheiden. Der anlagentechnische Brandschutz umfasst u. a. den Einsatz von Melde-, Warn- und Frühbekämpfungsanlagen. Die Planung von Bauwerken oder die Dimensionierung von Bauteilen gehören zum bautechnischen Brandschutz (baulicher Brandschutz).
- Der **abwehrende Brandschutz** beschreibt die Maßnahmen, die die Feuerwehr nach Ausbruch eines Brandes treffen kann. Hierzu zählen z. B. die Brandbekämpfung, der Schutz von Objekten oder die Menschenrettung.

Die Vorschriften der MBO gelten für:

- Bauliche Anlagen
- Bauprodukte
- Grundstücke
- Andere Anlagen und Einrichtungen, an die in der MBO oder in Vorschriften aufgrund der MBO Anforderungen gestellt werden

Bauprodukte sind Baustoffe, Bauteile und Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen eingebaut zu werden sowie aus Baustoffen und Bauteilen vorgefertigte Anlagen, die hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden wie Fertighäuser, Fertiggaragen und Silos.

Baustoffe werden entsprechend der Anforderungen an ihr Brandverhalten nach nicht brennbar, schwer entflammbar und normal entflammbar unterschieden. Baustoffe, die nicht mindestens normal entflammbar sind (leicht entflammbare Baustoffe), dürfen nicht verwendet werden. Dies gilt jedoch nicht, wenn sie in Verbindung mit anderen Baustoffen nicht leicht entflammbar sind.

Bauteile werden nach den Anforderungen an ihre Feuerwiderstandsfähigkeit in feuerbeständig, hoch feuerhemmend und feuerhemmend differenziert. Die Feuerwiderstandsfähigkeit bezieht sich bei tragenden und aussteifenden Bauteilen auf deren Standsicherheit im Brandfall und bei raumabschließenden Bauteilen auf deren Widerstand gegen die Brandausbreitung.

Im Weiteren werden Bauteile nach dem Brandverhalten ihrer Baustoffe unterschieden:

- Bauteile aus nicht brennbaren Baustoffen.
- Bauteile, deren tragende und aussteifende Teile aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen und die bei raumabschließenden Bauteilen zusätzlich eine in Bauteilebene durchgehende Schicht aus nicht brennbaren Baustoffen haben. Diese Anforderung muss erfüllt sein, damit ein Bauteil als feuerbeständig eingestuft werden kann.
- Bauteile, deren tragende und aussteifende Teile aus brennbaren Baustoffen bestehen und die all-

seitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nicht brennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung) und Dämmstoffe aus nicht brennbaren Baustoffen haben. Unter diesen Voraussetzungen ist ein Bauteil hoch feuerhemmend.

- Bauteile aus brennbaren Baustoffen.
Ein feuerhemmendes Bauteil kann ohne Einschränkungen aus brennbaren Baustoffen bestehen.

Aus diesen Unterscheidungen ergibt sich die in Tab. 8.1 gezeigte Verbindung von Baustoff- und Bauteileigenschaften. Neben der Art des Baustoffs wird das Brandverhalten auch durch die Gestalt, die Oberfläche, die Masse, den Verbund mit anderen Baustoffen, die verwendeten Verbindungsmittel, die Verarbeitungstechnik und das Alterungsverhalten bestimmt [8.12].

8.2 Klassifizierung von Baustoffen und Bauteilen nach ihrem Brandverhalten

Baustoffe sowie Bauteile und Sonderbauteile werden nach europäischen und deutschen Regelungen brandschutztechnisch unterteilt. Das europäische Klassifizierungssystem nach DIN EN 13501 [8.10] und die deutsche Klassifizierung nach der sogenannten Restnorm DIN 4102 [8.4] sind Grundlage des Nachweises des Brandverhaltens von Baustoffen und Bauteilen.

Die Unterteilung des Brandverhaltens von Baustoffen, Bauteilen und Sonderbauteilen ist in DIN EN 13501 und DIN 4102 unterschiedlich geregelt, so dass die Kriterien beider Normenteile untereinander und zu

Tab. 8.1: Verbindung der Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und von Bauteilen gemäß MBO [8.13]

Baustoffeigenschaften bestimmter Bauteile	Bauteileigenschaften		
	Feuerhemmend	Hoch feuerhemmend	Feuerbeständig
Alle Teile aus nicht brennbaren Baustoffen	Zulässig	Zulässig	Zulässig
Tragende und aussteifende Teile aus nicht brennbaren Baustoffen, bei raumabschließenden Bauteilen zusätzlich eine in Bauteilebene durchgehende Schicht aus nicht brennbaren Baustoffen	Zulässig	Zulässig	Zulässig
Tragende und aussteifende Teile aus brennbaren Baustoffen und allseitig brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nicht brennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung) und Dämmstoffe aus nicht brennbaren Baustoffen	Zulässig	Zulässig	Nicht zulässig
Teile aus brennbaren Baustoffen	Zulässig	Nicht zulässig	Nicht zulässig

Baustoffklasse	Bauaufsichtliche Benennung	Beispiele
A	Nicht brennbare Baustoffe	
A1	Ohne brennbare Bestandteile	Erden, Gips, Mörtel, Beton, Porenbeton, Steine und Bauplatten aus mineralischen Bestandteilen, Mineralfaser, Ziegel, Glas
A2	Mit geringen Anteilen an brennbaren Bestandteilen	Gipskartonplatten mit geschlossener Oberfläche, Leichtbeton mit Polystyrolzuschlag
B	Brennbare Baustoffe	
B1	Schwer entflammbare Baustoffe	Holzwohle-Leichtbauplatten, Gipskartonplatten mit gelochter Oberfläche, Kunstharzputze
B2	Normal entflammbare Baustoffe	Holz, genormte Holzwerkstoffe, bestimmte kunststoffbeschichtete dekorative Flachpressplatten oder Holzfaserplatten
B3	Leicht entflammbare Baustoffe	Holz unter 2 mm Dicke, Holzwohle, Papier, unbehandelte Polystyrol-Hartschaumplatten

Tab. 8.2: Baustoffklassen gemäß DIN 4102-1 [8.4.1]

den bauaufsichtlichen Anforderungen zugeordnet werden müssen. Die Begriffe „Baustoffe“, „Bauteile“ und „Sonderbauteile“, die in DIN 4102 verwendet werden, sind im Rahmen europäischer Normen durch die Begriffe „Bauprodukt“ und „Bauart“ ersetzt worden.

Baustoffe

Nach DIN 4102-1 [8.4.1] wird das Brandverhalten von Baustoffen in Abhängigkeit von der Brennbarkeit in Baustoffklasse A (nicht brennbar) und Baustoffklasse B (brennbar) mit Unterklassen eingeteilt (Tab. 8.2). Die allgemeine Anforderung der Norm ist, dass bei Baustoffklasse A1 auf Grund modellhafter Brandprüfungen bei einem fortentwickelten, teilweise vollentwickelten Brand die Wärmeabgabe der Baustoffe unbedenklich sein muss und entzündbare Gase nicht frei werden dürfen.

Zur Baustoffklasse A1 gehören Baustoffe, die keine brennbaren Anteile enthalten, z. B. Porenbeton. Bei gleicher Brandsituation dürfen bei Baustoffen der Baustoffklasse A2, die geringe Anteile an brennbaren Bestandteilen enthalten, die Wärmeabgabe und die Brandausbreitung nur sehr gering sein, die entzündbaren Gase nur begrenzt auftreten und die Rauchentwicklung muss unbedenklich sein wie bei Gipskartonplatten mit geschlossener Oberfläche. Für Baustoffe der Klasse A2 muss ein Verwendbarkeitsnachweis z. B. in Form einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) vorliegen.

Die Kategorisierung nach DIN 4102-1 ergibt sich im Wesentlichen aus der Brennbarkeit eines Baustoffs. Das System nach DIN EN 13501-1 [8.10.1] unterteilt Bauprodukte hinsichtlich ihres Brandverhaltens und sieht für Bauprodukte die sieben Kategorien A1, A2,

B, C, D, E und F mit den Bedeutungen nach Tab. 8.3 vor. Neben dem Brandverhalten werden als zusätzliche Klassifizierungskriterien auch die Rauchentwicklung mit den Bezeichnungen s1, s2 und s3 (smoke) sowie das brennende Abtropfen mit den Kürzeln d0, d1 und d2 (droplets) mit jeweils drei Kategorien (Tab. 8.4) erfasst.

Eine Klassifizierung von Baustoffen hinsichtlich ihres Brandverhaltens wie in der deutschen DIN 4102-4 [8.4.3] ist auf europäischer Ebene nicht vorgesehen. Dennoch wurden durch mehrere Entscheidungen der Europäischen Kommission die Brandverhaltensklassen für bestimmte Bauprodukte veröffentlicht, die für den brandschutztechnischen Nachweis verwendet werden können [8.11]. Danach werden Mauersteine aus Porenbeton ohne Prüfung in die Brandverhaltensklasse A1 eingestuft, entsprechend Klasse A1 nach deutscher Norm.

Dies besagt, dass Produkte aus Porenbeton aufgrund ihrer mineralischen Zusammensetzung keinen Beitrag zum Brand leisten und keine brennbaren Bestandteile enthalten. Daher ist Porenbeton auch für hohe Beanspruchungen einsetzbar, z. B. für Brandwände und Komplextrennwände. Die Nichtbrennbarkeit bleibt auch dann erhalten, wenn die Oberfläche mit Anstrichen auf Dispersions- oder Alkydharzbasis oder mit üblichen Papier-Wandbekleidungen (Tapeten) versehen wird. Dünnbettmörtel für Mauerwerk aus Porenbetonsteinen entsprechen ebenfalls der Baustoffklasse A1.

Wärmedämmschichten in zweischaligen Außenwänden oder Thermoputze, für die nicht die Klassifizierung A1 gilt, haben keine Auswirkungen auf die Baustoffklassifizierung des verwendeten, nicht brennbaren Porenbetons. Putze mit üblichen Anteilen an

Tab. 8.3: Klassen für Bauprodukte gemäß DIN EN 13501-1 [8.10.1] und Baustoffklassen gemäß DIN 4102-1 [8.4.1] sowie Zuordnung zu den bauaufsichtlichen Benennungen

Klasse gemäß DIN EN 13501-1	Zusatzanforderungen gemäß DIN EN 13501-1		Klasse gemäß DIN 4102-1	Bauaufsichtliche Benennung
	Kein Rauch	Kein brennendes Abfallen/Abtropfen		
A1	X	X	Nicht brennbar	A1
A2 – s1, d0	X	X		A2
B – s1, d0	X	X	Schwer entflammbar	B1
C – s1, d0				
A2 – s2, d0	-	X		
A2 – s3, d0				
B – s2, d0				
B – s3, d0				
C – s2, d0				
C – s3, d0				
A2 – s1, d1	X	-		
A2 – s1, d2				
B – s1, d1				
B – s1, d2				
C – s1, d1				
C – s1, d2				
A2 – s3, d2	-	-		
B – s3, d2				
C – s3, d2				
D – s1, d0	-	X	Normal entflammbar	B2
D – s2, d0				
D – s3, d0				
E				
D – s1, d1	-	X		
D – s2, d1				
D – s3, d1				
D – s1, d2				
D – s2, d2				
D – s3, d2				
E – d2	-	-	Leicht entflammbar	B3
F	-	-		

A1: Bauprodukte der Klasse A1 leisten in keiner Phase des Brandes einschließlich des vollentwickelten Brandes einen Beitrag. Aus diesem Grund wird vorausgesetzt, dass sie in der Lage sind, alle Anforderungen der unteren Klassen zu erfüllen.

A2: Erfüllen beim SBI-Prüfverfahren nach EN 13823 die gleichen Kriterien wie die Klasse B. Zusätzlich liefern diese Bauprodukte unter den Bedingungen eines voll entwickelten Brandes keinen wesentlichen Beitrag zur Brandlast und zum Brandanstieg.

B: Wie Klasse C, aber mit strengeren Anforderungen.

C: Wie Klasse D, aber mit strengeren Anforderungen. Zusätzlich zeigen diese Bauprodukte bei der Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand eine begrenzte seitliche Flammenausbreitung.

D: Bauprodukte, die die Kriterien der Klasse E erfüllen und in der Lage sind, für eine längere Zeit dem Angriff durch eine kleine Flamme ohne wesentliche Flammenausbreitung standzuhalten. Zusätzlich sind sie auch in der Lage, einer Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand mit ausreichend verzögerter und begrenzter Wärmefreisetzung standzuhalten.

E: Bauprodukte, die in der Lage sind, für eine kurze Zeit dem Angriff durch eine kleine Flamme ohne wesentliche Flammenausbreitung standzuhalten.

F: Bauprodukte, für die das Brandverhalten nicht bestimmt wird oder die nicht in eine der Klassen A1, A2, B, C, D, E klassifiziert werden können.

Kriterium	Kurzzeichen	Bedeutung
Rauchentwicklung	s (smoke)	s3 Es wird keine Beschränkung der Rauchentwicklung gefordert
		s2 Die gesamte freigesetzte Rauchmenge sowie das Verhältnis des Anstiegs der Rauchentwicklung sind beschränkt
		s1 Strengere Kriterien als für s2 werden erfüllt
Brennendes Abtropfen/Abfallen	d (droplets)	d2 Keine Beschränkungen
		d1 Kein brennendes Abtropfen/Abfallen, das länger als eine vorgegebene Zeit andauert
		d0 Kein brennendes Abtropfen/Abfallen

Tab. 8.4: Bedeutung der zusätzlichen Anforderungen zu den Brandschutzklassen gemäß DIN EN 13501-1 [8.10.1]

Zusatzmitteln werden nach DIN 4102-4 ebenfalls der Baustoffklasse A1 zugeordnet. Werden Zusatzmittel organischer Zusammensetzung über einen normativ geregelten Rahmen hinaus zugesetzt, geht die Eigenschaft „nicht brennbar“ verloren.

Bauteile

Für die Sicherheit eines Bauwerks im Brandfall ist nicht nur die Brennbarkeit der Baustoffe, sondern insbesondere die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile maßgebend. Sie ist definiert als die Mindestdauer in Minuten, während derer dieses Bauteil bei einer Normbrandprüfung bestimmten Anforderungen standhält. Die erreichte Feuerwiderstandsdauer wird nach DIN 4102-2 [8.4.2] durch die Feuerwiderstandsklassen F 30, F 60, F 90, F 120 und F 180 gekennzeichnet. (Tab. 8.5). Die Kriterien der deutschen Normbrandprüfung betreffen die Raumabschlussfähigkeit und die Tragfähigkeit.

Raumabschluss bedeutet, dass eine Übertragung von Feuer auf benachbarte Räume durch Decken und Wände nicht möglich ist. Raumabschließende Wände, z. B. Wände von Fluchtwegen, Treppenumräume oder Wände zur Trennung von Brandabschnitten, werden nur einseitig vom Feuer beansprucht.

Während einer Normbrandprüfung dürfen sich raumabschließende Bauteile auf der feuerabgekehrten Seite im Mittel um nicht mehr als 140 K erwärmen. An keiner Messstelle darf eine Temperaturerhöhung von mehr als 180 K über der Anfangstemperatur eintreten. In einem Entzündungsversuch darf sich ein an ungünstiger Stelle wie an Rissen, Spalten oder Fugen auf der feuerabgekehrten Seite angehaltener Wattebausch nicht durch heiße Gase entzünden.

Die Tragfähigkeit eines raumabschließenden Bauteils wird dadurch definiert, dass während der vorgesehenen Prüfdauer tragende Bauteile unter ihrer rechnerisch zulässigen Gebrauchslast und nicht tragende Bauteile unter ihrer Eigenlast nicht versagen dürfen.

Feuerwiderstandsklasse	Feuerwiderstandsdauer in Minuten
F 30	≥ 30
F 60	≥ 60
F 90	≥ 90
F 120	≥ 120
F 180	≥ 180

Tab. 8.5: Feuerwiderstandsklassen gemäß DIN 4102-2 [8.4.2]

Neben den F-klassifizierten Bauteilen werden nicht tragende Außenwände durch das Kurzzeichen W gekennzeichnet.

Die Feuerwiderstandsdauer und damit die Feuerwiderstandsklasse eines Bauteils hängen von folgenden Einflüssen ab:

- Ein- oder mehrseitige Brandbeanspruchung
- Art des Baustoffs
- Abmessung und Qualität des Bauteils
- Bauliche Ausbildung der Anschlüsse, Auflager, Halterung, Befestigung, Fugen usw.
- Statisches System (statisch bestimmte oder unbestimmte Lagerung, einachsige oder zweiachsige Lastabtragung, Einspannung usw.)
- Ausnutzungsgrad der Festigkeiten der verwendeten Produkte infolge äußerer Lasten
- Anordnung von Bekleidungen

Entsprechend der ermittelten Feuerwiderstandsklasse und den verwendeten Baustoffen können die Kurzbezeichnungen nach DIN 4102-2 den bauordnungsrechtlichen Benennungen zugeordnet werden (Tab. 8.6).

Im Gegensatz zu DIN 4102-2 werden in DIN 13501-2 [8.10.2] die verschiedenen brandschutztechnisch bedeutsamen Kriterien wie Tragfähigkeit und Raumabschluss einzeln bewertet. Durch Kombination der einzelnen Kriterien entsteht ein differenzierteres Beurteilungssystem als nach der früheren deutschen

Tab. 8.6: Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen gemäß DIN 4102-2 [8.4.2] und bauaufsichtliche Benennungen

Bauaufsichtliche Benennung	Einstufung gemäß DIN 4102-2	
	Feuerwiderstandsklasse	Kurzbezeichnung
Feuerhemmend	F 30	F 30-B ¹⁾
Feuerhemmend und aus nicht brennbaren Stoffen	F 30 und aus nicht brennbaren Stoffen	F 30-A ¹⁾
Hoch feuerhemmend	F 60 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen	F 60-AB ²⁾
	F 60 und aus nicht brennbaren Baustoffen	F 60-A ²⁾
Feuerbeständig	F 90 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen	F 60-AB ³⁾⁴⁾
Feuerbeständig und aus nicht brennbaren Stoffen	F 90 und aus nicht brennbaren Baustoffen	F 90-A ³⁾⁴⁾

¹⁾ bei nicht tragenden Außenwänden auch W 30 zulässig

²⁾ bei nicht tragenden Außenwänden auch W 60 zulässig

³⁾ bei nicht tragenden Außenwänden auch W 90 zulässig

⁴⁾ nach bestimmten bauaufsichtlichen Verwendungsvorschriften einiger Bundesländer auch F 120 erforderlich

Normung. Z. B. ist aus der deutschen Bezeichnung F 90 nicht zu erkennen, ob es sich um ein tragendes oder ein nicht tragendes, ein raumabschließendes oder ein nicht raumabschließendes Bauteil handelt. Es ist lediglich zu erkennen, dass eine Feuerwiderstandsdauer von mindestens 90 Minuten erreicht wurde.

Gegenüber dem deutschen Klassifizierungssystem für Bauteile verlangt das europäische System die Ermittlung mehrerer charakteristischer Eigenschaften für die Feuerwiderstandsfähigkeit (Tab. 8.7). Für Mauerwerkswände aus Porenbeton sind u. a. folgende Begriffe relevant:

■ **Tragfähigkeit** (Kurzzeichen „R“, Résistance):

Die Tragfähigkeit R beschreibt die Fähigkeit eines Bauteils, unter festgelegten mechanischen Einwirkungen bei einer Brandbeanspruchung auf einer Seite oder auf mehreren Seiten die Standsicherheit zu behalten.

■ **Raumabschluss** (Kurzzeichen „E“, Étanchéité):

Ein Bauteil mit raumtrennender Funktion verfügt über die Eigenschaft Raumabschluss E, wenn es der Beanspruchung durch ein nur an einer Seite angreifendes Feuer widerstehen kann. Ein Feuerdurchtritt zur unbeflammten Seite als Ergebnis des Durchtritts von Flammen oder heißer Gase muss vom Bauteil verhindert werden, da sonst die Gefahr besteht, dass sich die dem Feuer abgekehrte Seite des Bauteils oder in der Nähe dieser Oberfläche befindliche Materialien entzünden würden.

■ **Wärmedämmung** (Kurzzeichen „I“, Isolation):

Ein Bauteil, das über die charakteristische Eigenschaft Wärmedämmung I verfügt, ist in der Lage,

einer einseitigen Brandbeanspruchung ohne Übertragung von Feuer von der dem Feuer zugekehrten Seite zu der vom Feuer abgewandten Seite zu widerstehen. Die Übertragung von Feuer ist als Ergebnis einer signifikanten Übertragung von Wärme anzusehen. Durch Begrenzung der Übertragung muss ausgeschlossen werden, dass von Feuer abgewandte Oberflächen sowie Materialien, die sich in der Nähe dieser Oberflächen befinden, entzündet werden. Ebenso wichtig ist der Schutz von Personen, die sich in der Nähe der Oberfläche befinden. Nach Versuchsdurchführung und Bewertung des Bauteils erfolgt die Klassifizierung auf Grundlage der kürzesten Zeit, für die Kriterien einer Temperaturerhöhung erfüllt werden.

■ **Strahlungsbegrenzung**

(Kurzzeichen „W“, Radiation):

Strahlungsbegrenzung W bedeutet, dass ein Bauteil in der Lage ist, einer nur einseitigen Brandbeanspruchung so zu widerstehen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Brandübertragung entweder durch das Bauteil oder von der vom Feuer abgekehrten Oberfläche des Bauteils auf angrenzende Materialien reduziert wird.

■ **Widerstand** gegen mechanische Beanspruchung (Kurzzeichen „M“, Mechanical):

Bauteile mit einem Widerstand gegen mechanische Beanspruchung M müssen einem seitlichen Pendelstoß widerstehen, ohne dass das R-, E- und/oder I-Verhalten beeinflusst wird. Dadurch wird eine Situation beschrieben, in der der Verlust der Tragfähigkeit eines anderen Bauteils im Brandfall eine Stoßbeanspruchung auf das betreffende Bauteil verursachen würde.

Kurzzeichen	Kriterium	Anwendungsbereich
R (Résistance)	Tragfähigkeit	Beschreibung der Feuerwiderstandsfähigkeit
E (Étanchéité)	Raumabschluss	
I (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung)	
W (Radiation)	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts	
M (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung)	
S_m (Smoke_{max, leakage rate})	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate), erfüllt die Anforderungen sowohl bei Umgebungstemperatur als auch bei 200 °C	Rauchschutztüren (als Zusatzanforderung auch bei Feuerschutzabschlüssen), Lüftungsanlagen einschließlich Klappen
S (Smoke)	Rauchdichtheit (Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit)	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen, Brandschutzklappen
C... (Closing)	Selbstschließende Eigenschaft (ggf. mit Anzahl der Lastspiele) einschließlich Dauerfunktion	Rauchschutztüren, Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
C_{xx} (Closing)	Dauerhaftigkeit der Betriebssicherheit (Anzahl der Öffnungs- und Schließzyklen)	Entrauchungsklappen
P	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung	Elektrische Kabelanlagen allgemein
G	Rußbrandbeständigkeit	Schornsteine
K₁, K₂	Brandschutzvermögen	Wand- und Deckenbekleidungen (Brandschutzbekleidungen)
I₁, I₂	Unterschiedliche Wärmedämmungskriterien	Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
i → o (in – out) i ← o i ↔ o	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Nicht tragende Außenwände, Installationsschächte/-kanäle, Lüftungsanlagen/-klappen
a → b (above – below)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Unterdecken
v_e, h_o (vertical, horizontal)	Für vertikalen/horizontalen Einbau klassifiziert	Lüftungsleitungen, Brandschutzklappen, Entrauchungsleitungen
v_{ew}, h_{ow}	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände klassifiziert	Entrauchungsklappen
v_{ed}, h_{od}	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Leitungen klassifiziert	
v_{edw}, h_{odw}	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände und Leitungen klassifiziert	
U/U (Uncapped/Uncapped)	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/ Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
C/U (Capped/Uncapped)	Rohrende geschlossen innerhalb des Prüfofens/ Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	
U/C (Uncapped/Capped)	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/ Rohrende geschlossen außerhalb des Prüfofens	
MA	Manuelle Auslösung (auch automatische Auslösung bei manueller Übersteuerung)	Entrauchungsklappen
multi	Eignung, einen oder mehrere feuerwiderstandsfähige Bauteile zu durchdringen bzw. darin einzubauen	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen

Tab. 8.7: Klassifizierungskurzzeichen und -kriterien für den Feuerwiderstand gemäß DIN EN 13501-2 [8.10.2]

Tab. 8.8: Feuerwiderstandsklassen nach DIN EN 13501-2 [8.10.2] und bauaufsichtliche Benennung

Bauaufsichtliche Benennung	Bauteil					
	Tragende Bauteile		Nicht tragende Trennwände	Nicht tragende Außenwände	Doppelböden	Selbstständige Unterdecken
	ohne Raumabschluss	mit Raumabschluss				
Feuerhemmend	R 30	REI 30	EI 30	E 30 (i → o) und E 30-ef (i ← o)	REI 30	EI 30 (a ↔ b)
Hoch feuerhemmend	R 60	REI 60	EI 60	E 60 (i → o) und E 60-ef (i ← o)	–	EI 60 (a ↔ b)
Feuerbeständig	R 90	REI 90	EI 90	E 90 (i → o) und E 90-ef (i ← o)	–	EI 90 (a ↔ b)
Feuerwiderstandsfähigkeit 120 min	R 120	REI 120	–	–	–	–
Brandwand	–	REI 90-M	EI 90-M	–	–	–

Folgende Kriterienkombinationen sind möglich:

- R: Tragfähigkeit
- EI: Raumabschluss und Wärmedämmung
- REI: Tragfähigkeit, Raumabschluss und Wärmedämmung
- REI-M: Tragfähigkeit, Raumabschluss, Wärmedämmung und Stoßbeanspruchung
- EI-M: Raumabschluss, Wärmedämmung und Stoßbeanspruchung

In Tab. 8.8 werden die Kriterien und Feuerwiderstandsklassen nach DIN EN 13501-2 den bauaufsichtlichen Begriffen zugeordnet. Der brandschutztechnische Nachweis für Bauteile erfolgt über DIN EN 1996-1-2 [8.8], Zulassungsbescheide oder über allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse. In diesen Unterlagen sind z. B. Werte zur Feuerwiderstandsdauer von Porenbetonbauteilen in Ergänzung zu brandschutztechnisch bedeutsamen Kriterien wie Tragfähigkeit oder Raumabschluss, zu Brandwänden aus Porenbeton sowie zu den zu beachtenden Anschlussdetails an angrenzende Gebäudeteile enthalten.

Viele Bauteile aus Porenbeton decken alle Feuerwiderstandsklassen und Feuerwiderstandsdauern bis 180 Minuten ab. Tatsächlich kann die brandschutztechnische Qualität jedoch weit über die nach DIN EN 1996-1-2 höchste Einstufung hinausgehen. Aus Versuchen, die an bewehrten Porenbetonplatten durchgeführt wurden, ist bekannt, dass die Anforderungen des Brandschutzes auch über die 360. Minute hinaus eingehalten werden [8.14].

8.3 Wände, Pfeiler und Wandabschnitte aus Mauerwerk

Arten und Funktionen von Wänden können aus brandschutztechnischer Sicht in tragend und nicht tragend sowie in raumabschließend und nicht raumabschließend unterschieden werden (Abb. 8.1):

- **Nicht tragende Wände**, die immer raumabschließend sind, sind auch im Brandfall überwiegend durch ihre Eigenlast beanspruchte scheibenartige Bauteile, die nicht der Knickaussteifung tragender Wände dienen. Windlasten, die auf ihre Fläche wirken, werden auf tragende Bauteile abgetragen. Nicht tragende raumabschließende Wände werden nur einseitig vom Brand beansprucht. Sie dienen z. B. zur Trennung von Brandabschnitten. Mindestdicken nicht tragender raumabschließender Wände können Tab. 8.9 entnommen werden.
- **Tragende raumabschließende Wände** sind überwiegend auf Druck beanspruchte scheibenartige Bauteile zur Aufnahme lotrechter Lasten. Sie gewährleisten im Brandfall die Tragfähigkeit und dienen zur Verhinderung der Brandübertragung von einem Raum zum anderen. Außerdem halten sie

Tab. 8.9: Mindestdicke d nicht tragender raumabschließender Wände aus Porenbeton-Planbauplatten (DIN 4166 und DIN EN 771-4) gemäß DIN 4102-4 [8.4.3]

Mindestwanddicke d mm für die Feuerwiderstandsklasse				
F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
50	75	75	115	150
(50)	(75)	(75)	(75)	(115)

Wände mit Dünnbettmörtel

Werte in Klammern gelten für Wände mit beidseitigem Putz nach DIN 4102-4 Nr. 9.2.18

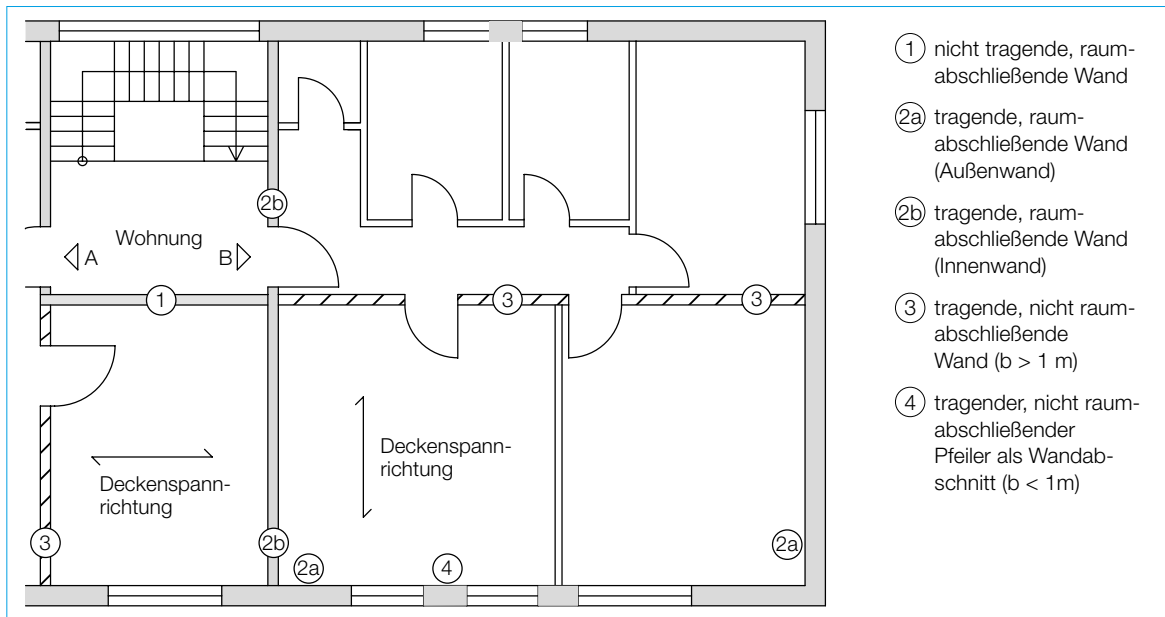


Abb. 8.1: Brandschutztechnisch zu unterscheidende Wandarten

im Brandfall die Trennung von zwei aneinander grenzenden Bereichen aufrecht. Tragende raumabschließende Wände werden nur einseitig vom Brand beansprucht. Hierzu gehören z. B. Wohnungstrennwände oder Außenwände. Mindestdicken tragender raumabschließender Wände enthält Tab. 8.10. Sie sind u.a. vom Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$ abhängig, der das Verhältnis der vorhandenen Einwirkung zur zulässigen charakteristischen Druckfestigkeit des Mauerwerks beschreibt.

■ **Tragende nicht raumabschließende Wände** sind überwiegend auf Druck beanspruchte scheibenartige Bauteile zur Aufnahme lotrechter Lasten. Sie werden im Brandfall zwei-, drei- oder vierseitig beansprucht. Darunter fallen Wände innerhalb eines Brandabschnitts, z. B. innerhalb einer Wohnung. Mindestdicken tragender, nicht raumabschließender Wände sind in Tab. 8.11 aufgelistet. Zu den tragenden, nicht raumabschließenden Wänden zählen auch Pfeiler und Wandabschnitte aus Mauerwerk, deren Wandlänge $l_f \leq 1,0$ m ist. Gemauerte Pfeiler, deren Querschnittsfläche $A < 0,04$ m² ist, sind als tragende Bauteile unzulässig. Ergänzend zur Mindestdicke ist bei Pfeilern und Wandabschnitten die Mindestwandlänge für die brandschutztechnische Dimensionierung relevant (Tab. 8.12).

Stürze über Wandöffnungen sind für eine dreiseitige Brandbeanspruchung zu bemessen. Die erforderliche Breite von Stürzen aus bewehrtem Porenbeton entspricht der geforderten Wanddicke. Anstelle eines steinhohen Sturzes dürfen auch einzelne oder nebeneinander verlegte Flachstürze verwendet werden (Tab. 8.13).

Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$	Mindestdicke d mm für die Feuerwiderstandsklasse				
	REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180
$\leq 0,15$	115 (115)	115 (115)	115 (115)	115 (115)	150 (115)
$\leq 0,42$	115 (115)	115 (115)	150 (115)	150 (150)	175 (175)
$\leq 0,70$	115 (115)	150 (115)	175 ¹⁾ (150)	175 ¹⁾ (175)	200 (200)

Rohdichteklasse $\geq 0,40$
 Wände mit Dünnbettmörtel
 Werte in Klammern gelten für Wände mit beidseitigem Putz nach DIN EN 1996-1-2 Nr. 4.2 (1)
¹⁾ Rohdichteklasse $\geq 0,35$

Tab. 8.10: Mindestdicke d tragender raumabschließender Wände aus Porenbetonmauerwerk (DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN 20000-404) gemäß DIN EN 1996-1-2/NA [8.9]

Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$	Mindestdicke d mm für die Feuerwiderstandsklasse				
	R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
$\leq 0,15$	115 (115)	150 (115)	150 (115)	150 (115)	175 (115)
$\leq 0,42$	150 (115)	175 (150)	175 (150)	175 (150)	240 (175)
$\leq 0,70$	175 (150)	175 (150)	240 (175)	300 (240)	300 (240)

Rohdichteklasse $\geq 0,40$
 Wände mit Dünnbettmörtel
 Werte in Klammern gelten für Wände mit beidseitigem Putz nach DIN EN 1996-1-2 Nr. 4.2 (1)

Tab. 8.11: Mindestdicke d tragender, nicht raumabschließender Wände aus Porenbetonmauerwerk (DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN 20000-404) gemäß DIN EN 1996-1-2/NA [8.9]

Tab. 8.12: Mindestdicke d tragender, nicht raumabschließender Pfeiler und einschaliger Wandabschnitte $l_F < 1,0$ m aus Porenbetonmauerwerk (DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN 20000-404) gemäß DIN EN 1996-1-2/NA [8.9]

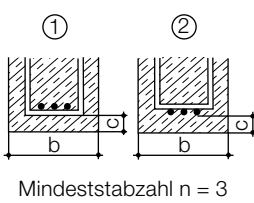
Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$	Wanddicke d mm	Mindestwandlänge l_F mm für die Feuerwiderstandsklasse				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
$\leq 0,42$	175	365	365	490	490	615
	200	240	365	365	490	615
	240	240	240	300	365	615
	300	240	240	240	300	490
	365	175	175	240	240	365
$\leq 0,70$	175	490	490	– ¹⁾	– ¹⁾	– ¹⁾
	200	365	490	– ¹⁾	– ¹⁾	– ¹⁾
	240	300	365	615	730	730
	300	240	300	490	490	615
	365	240	240	365	490	615

Rohdichteklasse $\geq 0,40$

Wände mit Dünnbettmörtel

¹⁾ Die Mindestlänge ist $l_F > 1,0$ m; Bemessung bei Außenwänden daher als raumabschließende Wand nach Tab. 8.10, sonst als nicht raumabschließende Wand nach Tab. 8.11

Tab. 8.13: Mindestbreite b und Mindesthöhe h von ausbetonierten U-Schalen und Fertigstürzen aus Porenbeton gemäß DIN 4102-4 [8.4.3] sowie Flachstürzen nach Zulassung [8.3]

Konstruktionsmerkmal	Mindeststurzhöhe h mm	Mindestschalendicke s_{min} mm	Mindestbetondeckung c_{min} mm	Mindestbreite b mm für die Feuerwiderstandsklasse		
				F 30-A	F 60-A	F 90-A
Ausbetonierte U-Schalen aus Porenbeton	199	45	–	175	175	175
Porenbetonstürze nach DIN 4223/DIN EN 12602  Mindeststabzahl $n = 3$	240	–	10	175 (175)	240 (200)	–
	240	–	20	175 (175)	240 (200)	300 ¹⁾ (240)
	240	–	30	175 (175)	175 (175)	200 (175)
Flachstürze aus Porenbeton nach Zulassung	≥ 124 mm, c_{min} siehe Zulassung			175 (115)	175 (115)	240 ²⁾ (175)

Werte in Klammern gelten für Stürze mit dreiseitigem Putz nach DIN 4102-4 Nr. 9.2.18. Auf den Putz an der Sturzunterseite kann bei Anordnung von vermörtelten Stahl- oder Holzlagern verzichtet werden.

¹⁾ Mindeststabzahl $n = 4$

²⁾ auch zusammengesetzt aus 2×115 mm

8.4 Brandwände aus Mauerwerk

Brandwände trennen im Allgemeinen zwei Brandabschnitte oder Gebäude voneinander und sind brandschutztechnisch so ausgelegt, dass im Brandfall bei Versagen der Konstruktion auf einer Seite der Brandwand eine Brandweiterleitung über die Brandwand verhindert wird. Um im Falle eines Brandes die Brandausbreitung auf bestimmte Bereiche zu begrenzen, den Erhalt notwendiger Rettungswege sicherzustellen und die Ausbreitung auf andere Gebäude oder

Brandabschnitte zu verhindern, werden Brandwände nach der Musterbauordnung an besonderen Stellen eines Gebäudes gefordert:

- Abschluss eines Gebäudes zur Grundstücksgrenze hin
- Trennung von aneinander gereihten Gebäuden
- Unterteilung ausgedehnter Gebäude im Abstand von 40 m

Nach DIN EN 1996-1-2 sind Brandwände raumabschließende Wände, die zusätzlich zu den Kriterien

Produkt	Rohdichteklasse	Mindestwanddicke d mm für die Feuerwiderstandsklassen REI-M 30, REI-M 60, REI-M 90, EI-M 30, EI-M 60, EI-M 90	
		einschalige Ausführung	zweischalige Ausführung
Plansteine	≥ 0,55 ¹⁾	240	2 × 175
	≥ 0,40	300	2 × 240
	≥ 0,40 ²⁾³⁾	240	2 × 175
Planelemente	≥ 0,55	240 ³⁾⁴⁾	2 × 175 ³⁾⁴⁾
	≥ 0,40	300	2 × 240

Tab. 8.14: Mindestdicke d tragender und nicht tragender, raumabschließender Brandwände aus Porenbetonmauerwerk (DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN 20000-404) gemäß DIN EN 1996-1-2/NA [8.9]

¹⁾ Plansteine mit Vermörtelung der Stoßfuge, alternativ beidseitig 20 mm verputzt nach DIN EN 1996-1-2, 4.2(1)

²⁾ Plansteine mit glatter, vermörtelter Stoßfuge

³⁾ Mit aufliegender Geschossdecke mit mindestens 90 Minuten Feuerwiderstandsdauer als konstruktive obere Halterung

⁴⁾ Planelemente mit Vermörtelung der Stoßfugen, alternativ beidseitig 20 mm verputzt nach DIN EN 1996-1-2, 4.2(1)

REI oder EI einer mechanischen Beanspruchung (Kriterium M) standhalten müssen. Die Mindestdicke tragender und nichttragender, raumabschließender Brandwände aus Porenbetonmauerwerk unterschiedlicher Rohdichteklasse in Abhängigkeit von der Ausführung (einschalig oder zweischalig) kann Tab. 8.14 entnommen werden.

8.5 Komplextrennwände

Der Begriff „Komplextrennwand“ ist weder bauaufsichtlich noch durch Normen erfasst. Es handelt sich um einen Begriff, der aus versicherungstechnischen Gründen geprägt wurde. Von Feuerversicherern werden Komplextrennwände zur Abgrenzung bestimmter Produktionsbereiche oder zur Eingrenzung besonderer Brandrisiken gefordert.

Komplextrennwände entsprechen der Feuerwiderstandsklasse F 180 nach DIN 4102-2, bestehen aus nicht brennbaren Baustoffen und widerstehen gegenüber Brandwänden einer erhöhten dreimaligen Stoßbeanspruchung von 4.000 Nm. Entsprechend

DIN EN 13501-2 bezieht sich die höhere Anforderung hinsichtlich des Feuerwiderstands und der Stoßbeanspruchung auf REI-M- oder EI-M-klassifizierte Wände. Angaben zu brandschutztechnischen Einzelheiten von Komplextrennwänden aus Porenbetonmauerwerk enthält Tab. 8.15.

Die Praxis zeigt, dass über die bauaufsichtlichen Anforderungen hinaus Kosteneinsparungen durch geringere Versicherungsprämien erzielt werden können, z. B. in Industriegebäuden mit risikobehafteten Bereichen durch gezielte Maßnahmen des baulichen Brandschutzes wie die Verwendung von Porenbeton im Wand- und Deckenbereich sowie als Abschottung.

Anfangs höhere Investitionskosten für die Erstellung von Komplextrennwänden amortisieren sich somit in kurzer Zeit. In erster Linie sind für die Prämienfestlegung aber andere Faktoren wie Nutzung, Lage und Ausstattung von Einfluss. Der bauliche Brandschutz selbst ist nur ein Aspekt von vielen. Für ein Objekt ergeben sich je nach Gewichtung der einzelnen Einflussgrößen unterschiedlich hohe Feuerversicherungsprämien.

Produkt	Stoßfugenausbildung	Mindestdicke d mm		Zulässige Schlankheit h _{ef} /t
		Einschalige Ausführung	Zweischalige Ausführung	
Porenbeton-Plansteine nach DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN 20000-404	Dünnbettmörtel in Stoß- und Lagerfugen, Nut ausgespart	365	2 × 240	Bemessung nach DIN EN 1996-1-1
Porenbeton-Planelemente nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	Dünnbettmörtel in Stoß- und Lagerfugen	365	2 × 240	Bemessung nach DIN EN 1996-1-1 bzw. nach bauaufsichtlicher Zulassung

Tab. 8.15: Mindestdicke d und zulässige Schlankheit h_{ef}/t von ein- und zweischaligen Komplextrennwänden aus Porenbetonmauerwerk mit konstruktiver oberer Halterung (Steinfestigkeitsklassen 4 und 6, RDK ≥ 0,55)

Abb. 8.2: Verbindung zwischen Mauerwerkswänden aus Porenbeton durch seitliche Halterung (Stumpfstoßanschluss mit vollfugiger Vermörtelung)

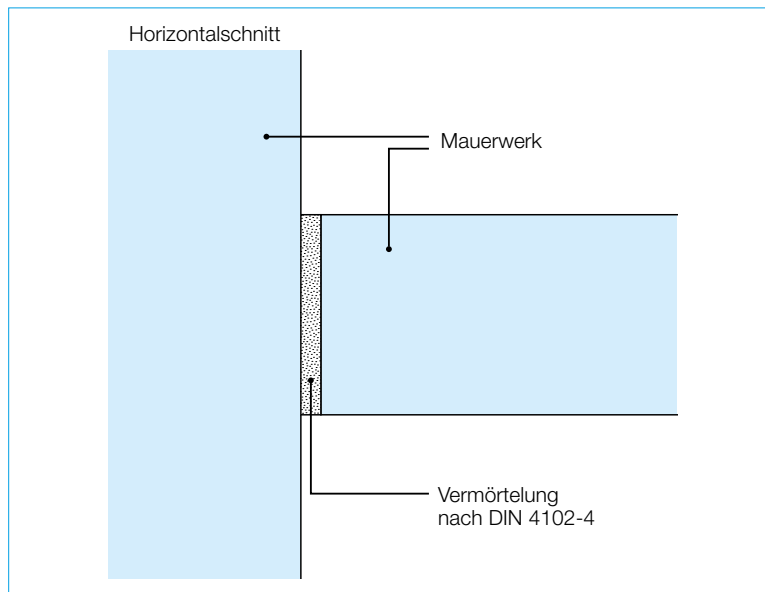


Abb. 8.3: Verbindung zwischen Mauerwerkswänden aus Porenbeton durch seitliche Halterung (Wandeinbindung)

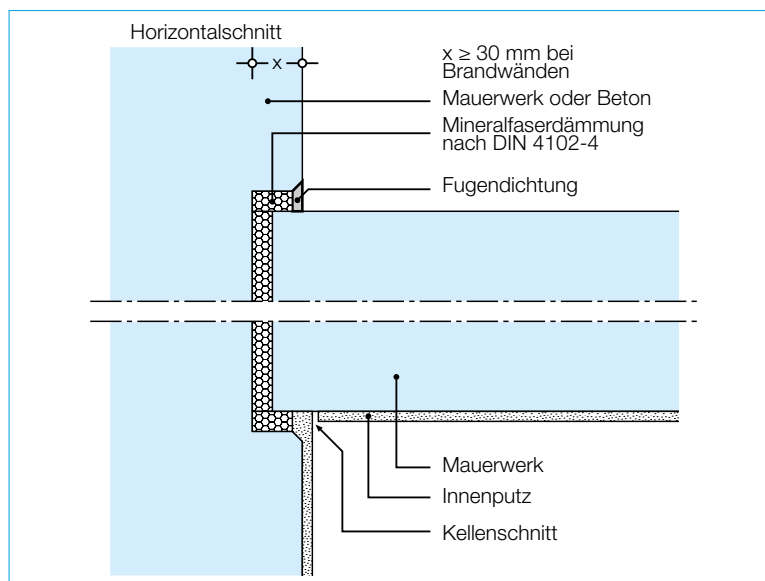
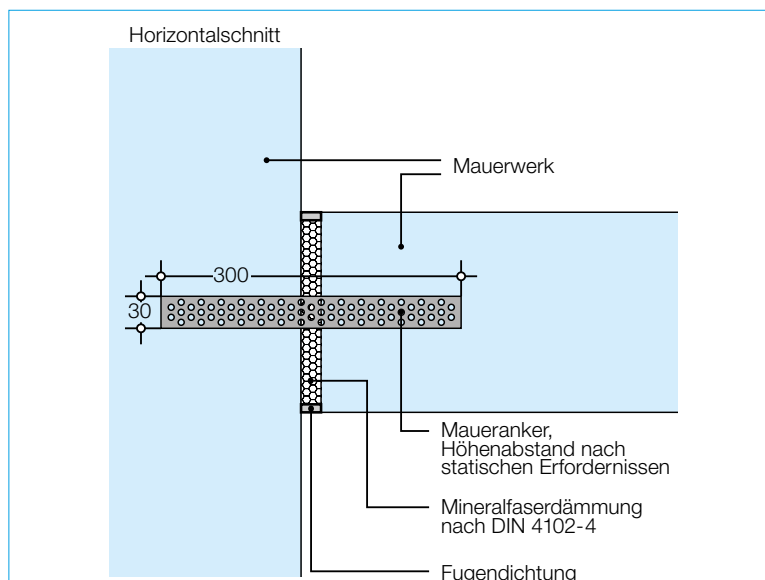


Abb. 8.4: Verbindung zwischen Mauerwerkswänden aus Porenbeton durch seitliche Halterung (Stumpfstoßanschluss mit Mauerankern aus nichtrostendem Flachstahl)



8.6 Anschlüsse

Die brandschutztechnische Eignung von Wänden hängt außer von den Baustoff- und Bauteileigenschaften von der Wahl des statischen Systems, von Einbauten, von Installationen und vom Maß der Brandbeanspruchung auch von der Ausbildung der Fugen und Anschlüsse ab.

DIN EN 1996-1-2 sowie DIN 4102-4 lassen je nach brandschutztechnischer Anforderung mehrere Anschlussmöglichkeiten zu, die neben weiteren zugelassenen Anschlüssen in den Berichtsheften 4 [8.1] und 17 [8.2] des Bundesverbandes Porenbetonindustrie dargestellt werden. Z. B. ist beim Stumpfstoßanschluss mit Mauerankern darauf zu achten, dass die Fuge zwischen den Wänden vollständig mit Mörtel verfüllt wird.

Je nach statischen Erfordernissen, die an die anzuschließende Wand gestellt werden, ist bei REI-klassifizierten Wänden auch das Füllen einer Fuge mit Mineralwolle und einem elastoplastischen Fugendichtstoff möglich. Anschlüsse tragender Wände können entsprechend DIN 4102-4 und DIN EN 1996-1-2 ausgeführt werden.

Bei nicht tragenden Wänden sind zusätzlich die Regelungen der DIN 4103-1 [8.5] zu beachten. Dämmschichten in Anschlussfugen bestehen aus Mineralwolle der europäischen Brandverhaltensklassen A1 oder A2 (nichtbrennbar) mit einem Schmelzpunkt oberhalb einer Temperatur von $\theta = 1.000 \text{ }^\circ\text{C}$, einer Rohdichte von $\rho \geq 30 \text{ kg/m}^3$ und sie dürfen nicht glimmen. Die Abb. 8.2 bis 8.8 zeigen seitliche und obere Anschlussvarianten von Brandwänden aus Porenbetonmauerwerk mit statisch erforderlichen oder statisch nicht erforderlichen Anschlüssen.

8.7 Feuerschutzabschlüsse

Feuerschutzabschlüsse wie Drehflügeltüren, Schiebetüren oder Schiebetore sind selbstschließende Elemente, die dazu bestimmt sind, im eingebauten Zustand den Durchtritt des Feuers durch Öffnungen zu verhindern. Jede Bauart der Feuerschutzabschlüsse ist nach DIN 4102 von amtlicher Stelle geprüft und vom Deutschen Institut für Bautechnik durch Bescheid bauaufsichtlich zugelassen.

Mit dem Ergebnis aus der Brandschutzprüfung wird ein Feuerschutzabschluss in die Feuerwiderstandsklasse T 30, T 60, T 90, T 120 oder T 180 eingeordnet. In Deutschland sind nur die Feuerwiderstandsklassen T 30 und T 90 verbreitet, wobei der Großteil von etwa 90 % auf T 30-Abschlüsse entfällt [8.2].

Feuerschutztüren werden in allen Wandarten, über die sich der Zulassungsbescheid erstrecken soll, brand- und funktionstechnisch geprüft, z. B. in Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen gemäß DIN EN 771-4 [8.7] in Verbindung mit DIN 20000-404 [8.6].

Die wichtigsten Bestimmungen, die beim Einbau von Feuerschutzabschlüssen im Planungsstadium zu beachten sind, betreffen die Wanddicken, Wandfestigkeiten sowie Anschlussdetails. Im Allgemeinen sind die in Tab. 8.16 zusammengestellten Mindestwerte einzuhalten. Diese Tabelle gibt jedoch nur einen Überblick. Einzelheiten sind den Zulassungsbescheiden der Hersteller zu entnehmen.

Die Zulassungen geben die Ausführung der Wand, in die eine Feuerschutztür oder ein Feuerschutztor eingebaut wird, sowie

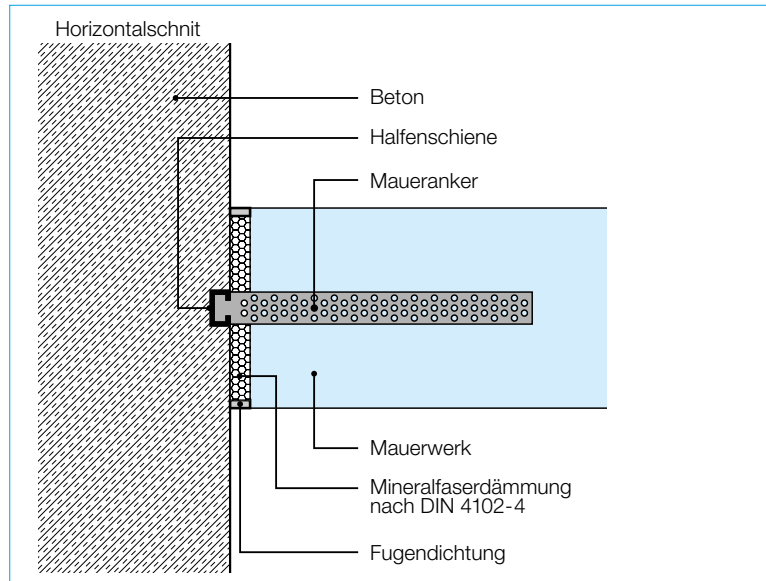


Abb. 8.5: Anschluss von Mauerwerkswänden aus Porenbeton durch seitliche Halterung (Gleitender Anschluss mit senkrecht verschiebbaren Mauerankern)

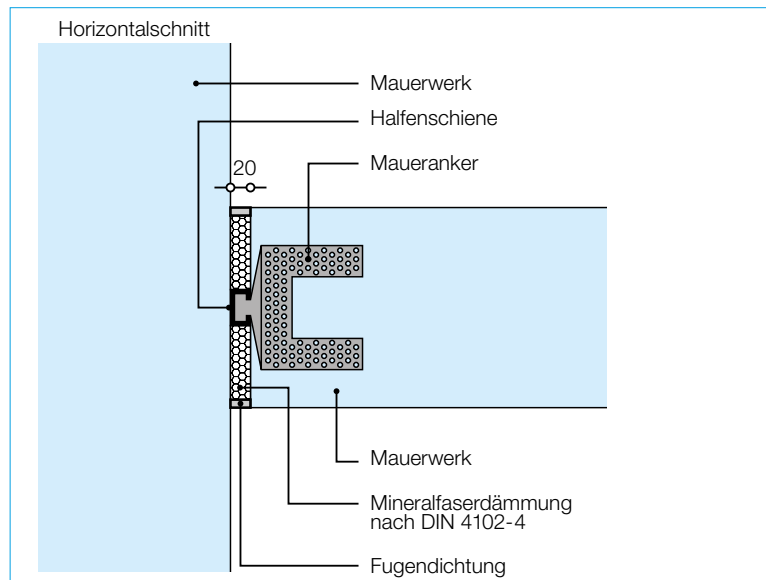


Abb. 8.6: Verbindung zwischen Mauerwerkswänden aus Porenbeton durch seitliche Halterung (Gleitender Anschluss mit senkrecht verschiebbaren Mauerankern)

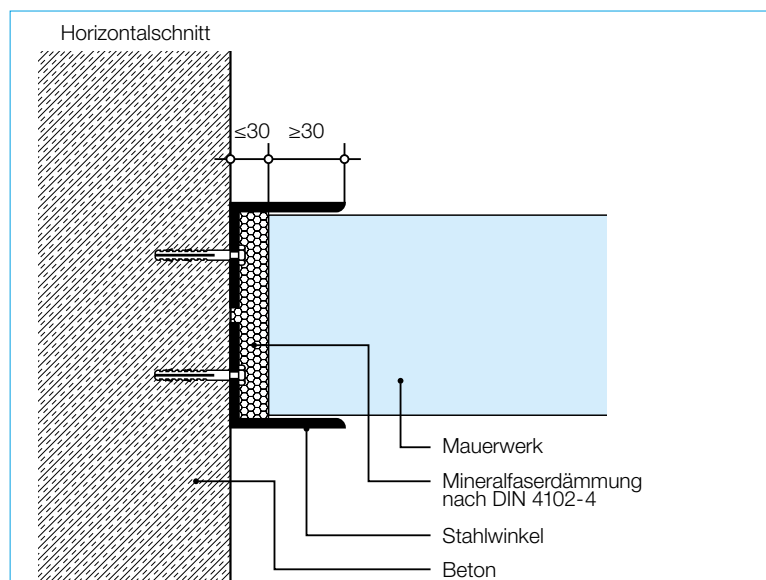
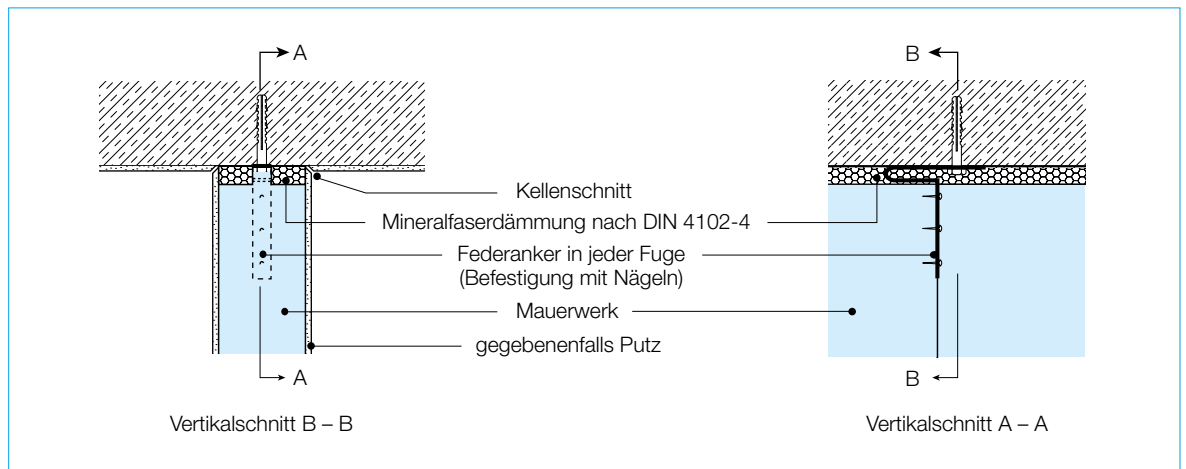


Abb. 8.7: Anschluss von Mauerwerkswänden aus Porenbeton durch seitliche Halterung (Gleitender Anschluss mit Stahlwinkeln)

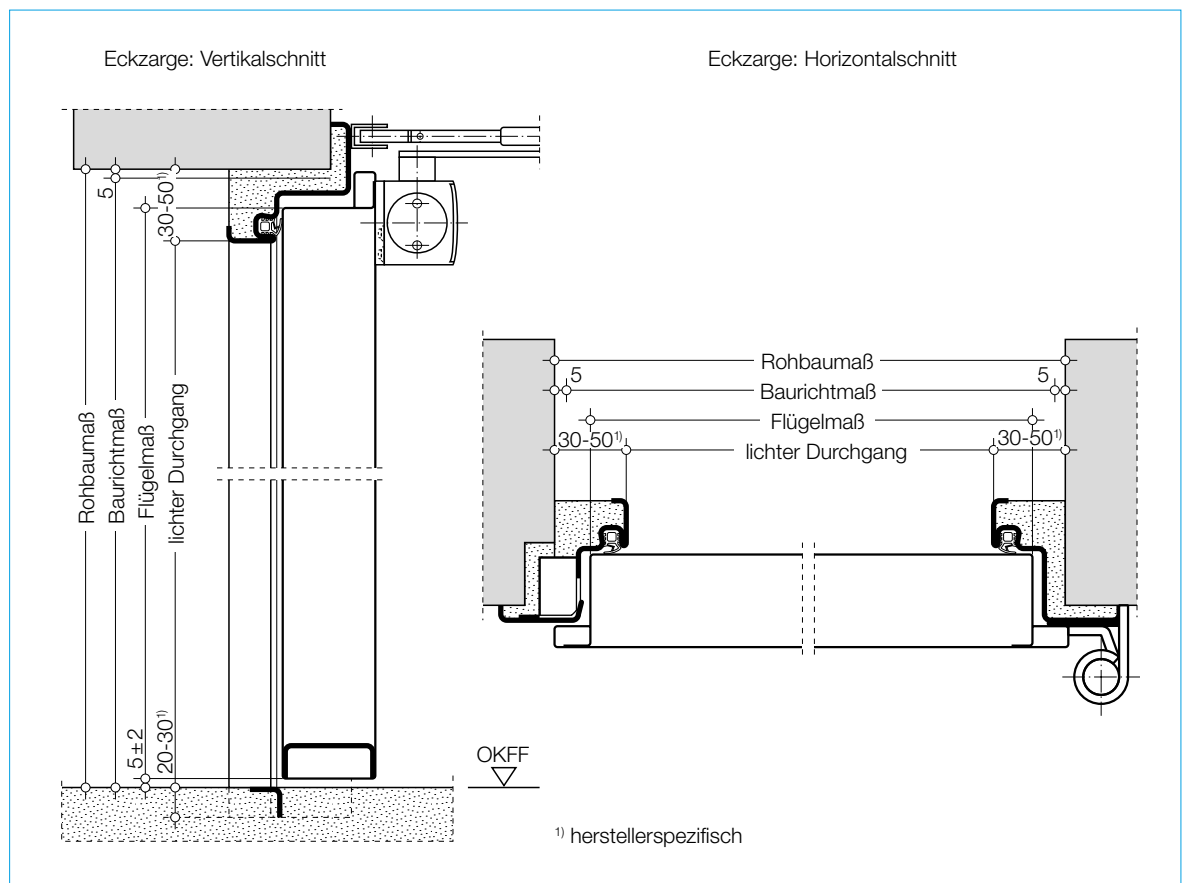
Abb. 8.8: Deckenan-
schluss von
Mauerwerkswänden
aus Porenbeton
(Anschluss mit Feder-
ankern)



Tab. 8.16: Beispiele für
Mindestdicken d von
Wänden aus Porenbeton-Plansteinen
(DIN EN 771-4 und
DIN 20000-404) der
Festigkeitsklasse ≥ 4
mit Feuerschutz-
abschlüssen [8.2]

Bauart des Abschlusses	Mindestdicke d mm	
	für Türöffnungen	für Toröffnungen
T 30-1 (einflügelig)	115	115
T 30-2 (zweiflügelig)	115	200
T 90-1 (einflügelig)	175	175
T 90-2 (zweiflügelig)	175	200

Abb. 8.9: Baurichtmaß,
lichtes Durchgangsmaß
und Zargenaußenmaß
[8.2]



die Befestigung der Zarge vor. Die Türen dürfen die im Zulassungsbescheid angegebenen Baurichtmaße weder über- noch unterschreiten. Das Baurichtmaß, das lichte Durchgangsmaß und das Zargenaußenmaß werden entsprechend Abb. 8.9 ermittelt [8.2].

8.8 Bekleidungen

Durch fachgerecht ausgeführte Bekleidungen kann bei ausreichender Befestigung und unter Berücksichtigung brandschutztechnischer Gesichtspunkte die Feuerwiderstandsklasse eines Bauteils erheblich verbessert werden. Dabei hängt die Verlängerung der Feuerwiderstandsdauer u. a. von folgenden Einflüssen ab:

- Baustoff, der bekleidet wird
- Bekleidungsdicke
- Art der Bekleidungsbefestigung (z. B. Anschlussart, Auflager, Halterung, Verbindungsmittel, Spannweite)

Folgende Bekleidungsarten werden unterschieden:

- Putzbekleidungen
- Vorsatzschalen
- Unterdecken

Vorsatzschalen sind z. B. Bekleidungen von Stahlstützen aus Porenbetonmauerwerk. Sie werden im Verband errichtet und entsprechen den in DIN 4102-4 festgelegten Mindestdicken (Tab. 8.17).

Mindestbekleidungsdicke d mm für die Feuerwiderstandsklasse				
F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
50	50	50	50	75
(50)	(50)	(50)	(50)	(50)

Werte in Klammern gelten für Stützen aus Hohlprofilen, die vollständig ausbetoniert sind, sowie für Stützen mit offenen Profilen, bei denen die Flächen zwischen den Flanschen vollständig ausbetoniert, vermörtelt oder ausgemauert sind.

Tab. 8.17: Mindestbekleidungsdicke d von Stahlstützen mit einer Bekleidung aus Porenbetonmauerwerk (DIN EN 771-4 und DIN 20000-404) gemäß DIN 4102-4 [8.4.3]

Literatur

- [8.1] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (Herausgeber): Bericht 4 – Brandverhalten von Porenbetonbauteilen
- [8.2] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (Herausgeber): Bericht 17 – Einbau von Feuerschutztüren und -toren
- [8.3] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-634, Porenbeton-Flachstürze, Berlin 2018
- [8.4] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
- [8.4.1] Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1998-05
- [8.4.2] Teil 2: Bauteile; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1977-09
- [8.4.3] Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Ausgabe 2016-05
- [8.5] DIN 4103-1: Nichttragende innere Trennwände – Teil 1: Anforderungen und Nachweise. Ausgabe 2015-06
- [8.6] DIN 20000-404: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 404: Regeln für die Verwendung von Porenbetonsteinen nach DIN EN 771-4. Ausgabe 2018-04
- [8.7] DIN EN 771-4: Festlegungen für Mauersteine – Teil 4: Porenbetonsteine. Ausgabe 2015-11
- [8.8] DIN EN 1996-1-2: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Ausgabe 2011-04
- [8.9] DIN EN 1996-1-2/NA: Nationaler Anhang – national festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Ausgabe 2013-06
- [8.10] DIN EN 13501: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
- [8.10.1] Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten. Ausgabe 2010-01
- [8.10.2] Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen. Ausgabe 2016-12
- [8.11] Entscheidung der Kommission vom 4. Oktober 1996 zur Festlegung eines Verzeichnisses von Produkten, die in die Kategorien A „Kein Beitrag zum Brand“ gemäß der Entscheidung 94/611/EG zur Durchführung von Artikel 20 der Richtlinie 89/106/EWG des Rates über Bauprodukte einzustufen sind (96/603/EG)
- [8.12] Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (Herausgeber): Technischer Leitfaden der Feuer- und Feuerbetriebsunterbrechungs-Versicherung – Risiken, Schutzziele, Schutzkonzepte und Schutzmaßnahmen. Verlag VDS Schadenverhütung GmbH, Köln 2008
- [8.13] Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016
- [8.14] TU Braunschweig: Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis P-3590/4066-MPA BS: Nichttragende, raumabschließende Brandwände aus liegend bzw. stehend angeordneten bewehrten Porenbetonplatten nach DIN 4102-3: 1977-09 bei einseitiger Brandbeanspruchung mit einer erhöhten Feuerwiderstandsdauer und erhöhter mechanischer Beanspruchung. Braunschweig 2007

KONSTRUKTIONEN

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

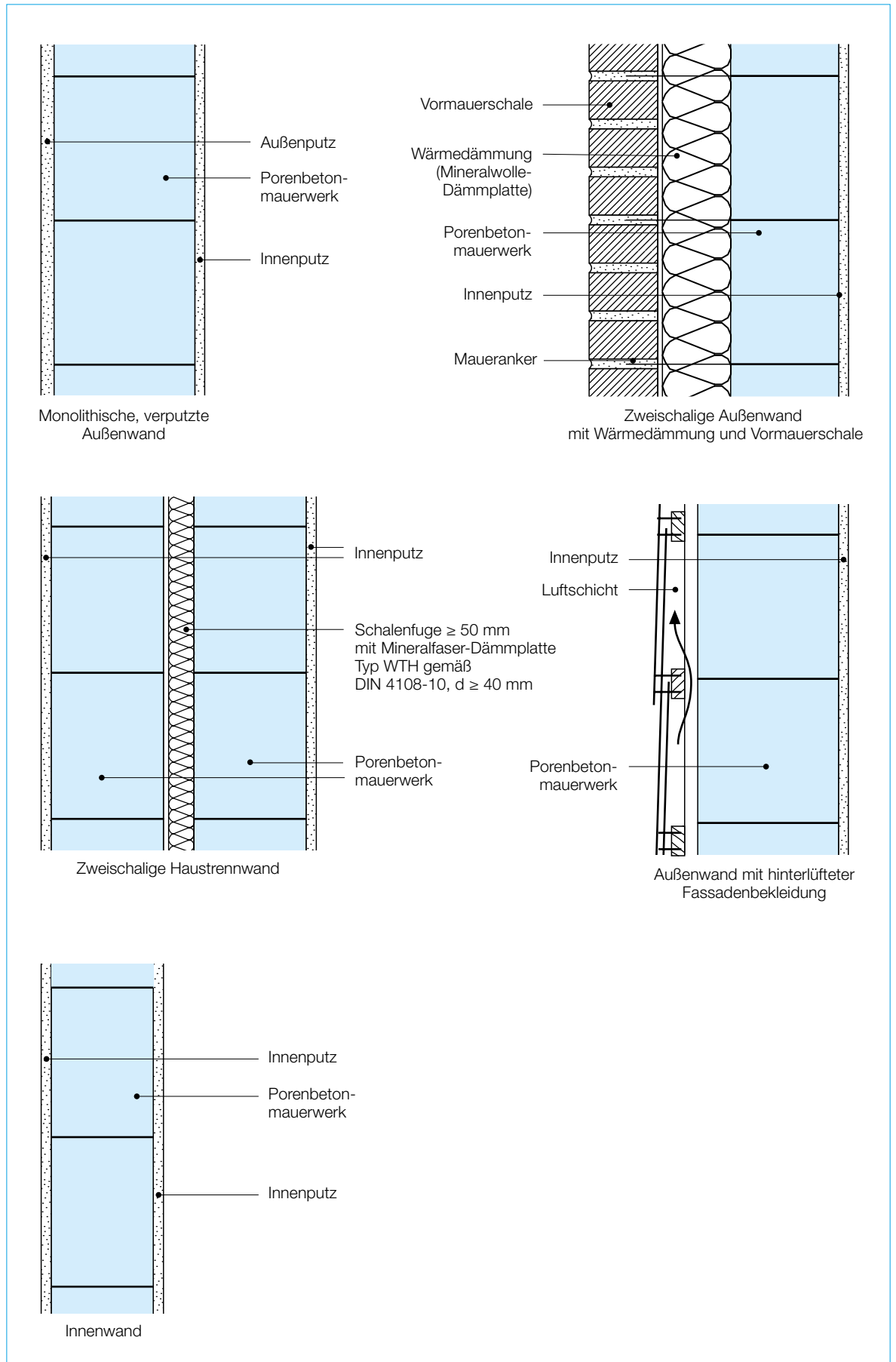
9.1 Übersicht

Porenbeton besitzt sowohl hohe Festigkeiten als auch gute Wärmedämm- und Brandschutzeigenschaften. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, auf Baustoffkombinationen und mehrschichtige Bauweisen weitgehend zu verzichten. Planungs- und Ausführungsfehler, wie sie häufig beim Kombinieren unterschiedlicher Baustoffe in einem Bauteil entstehen, können dadurch vermieden werden.

Beispielhaft werden in diesem Kapitel Konstruktionsdetails gezeigt. Sie umfassen Wände aus Porenbetonmauerwerk.

Über diese Beispiele hinaus sind viele weitere Lösungen möglich und gebräuchlich, die sich teilweise auch an regionalen Traditionen orientieren können.

Abb. 9.1: Wandaufbauten aus Porenbetonmauerwerk



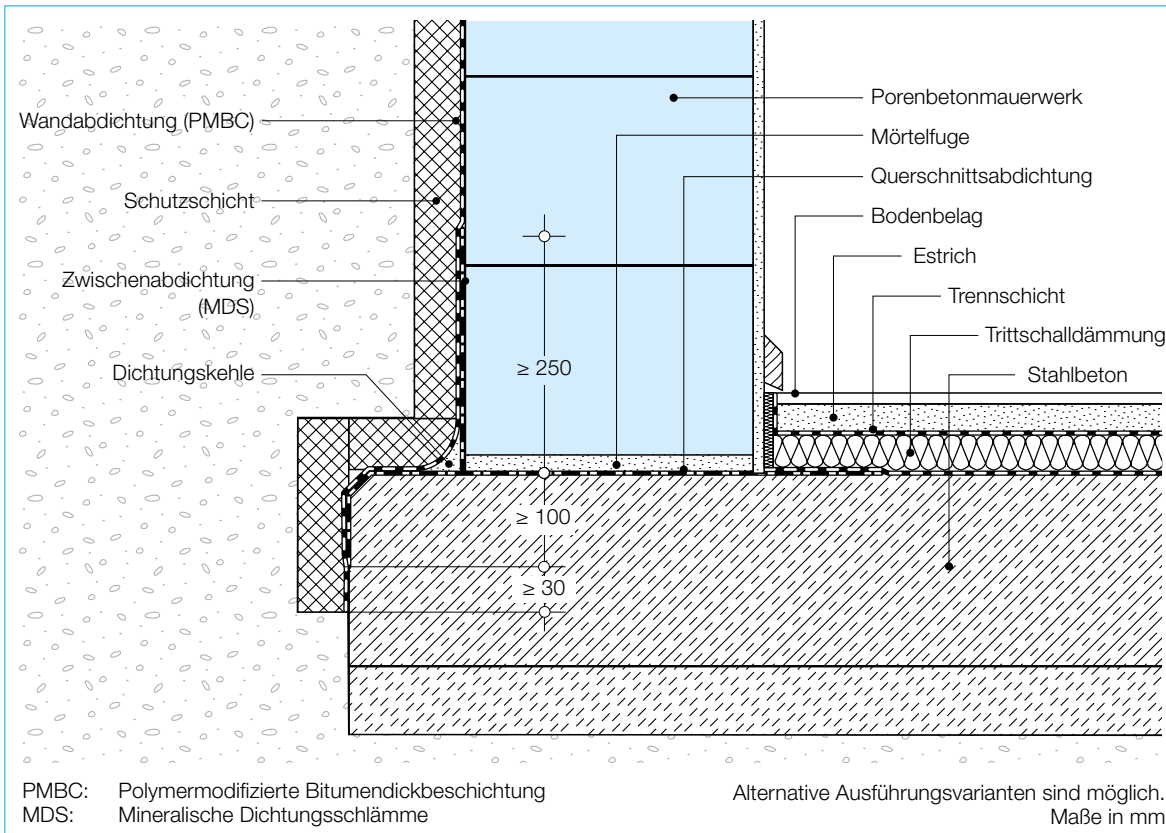


Abb. 9.2: Abdichtung am Boden-Wand-Anschluss gegen Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser (Klasse W1.1-E nach DIN 18533-1)

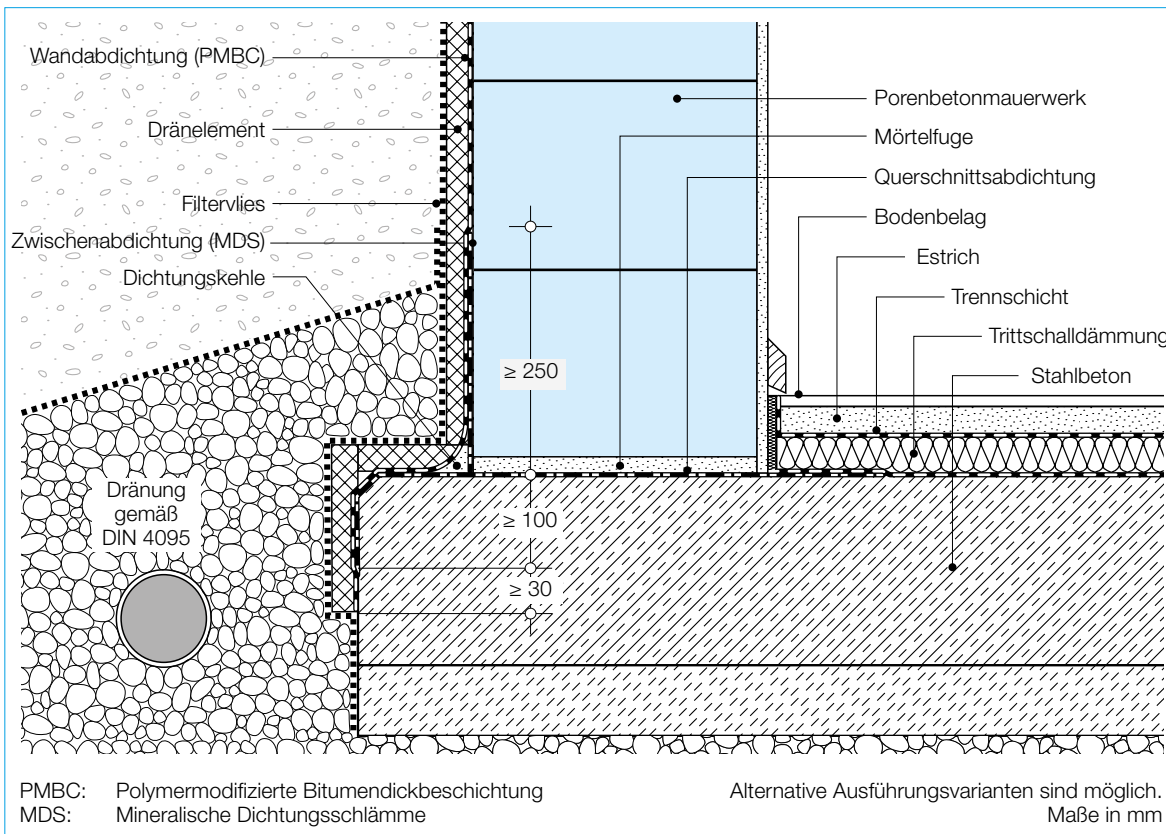


Abb. 9.3: Abdichtung am Boden-Wand-Anschluss gegen Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser mit Dränung (Klasse W1.2-E nach DIN 18533-1)

Abb. 9.4: Abdichtung am Boden-Wand-Anschluss im Keller bei mäßiger Einwirkung von drückendem Wasser (Klasse W2.1-E nach 18533-1)

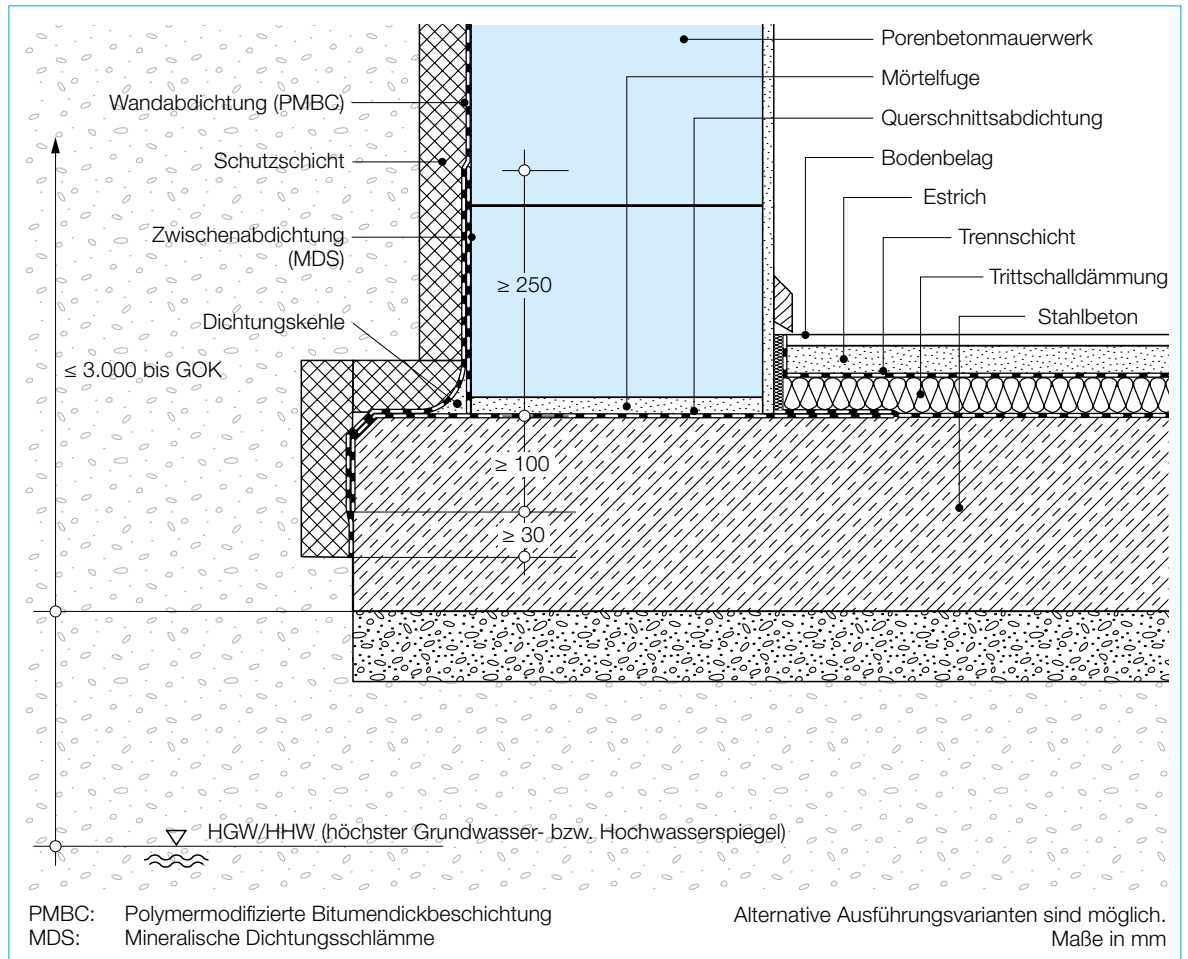
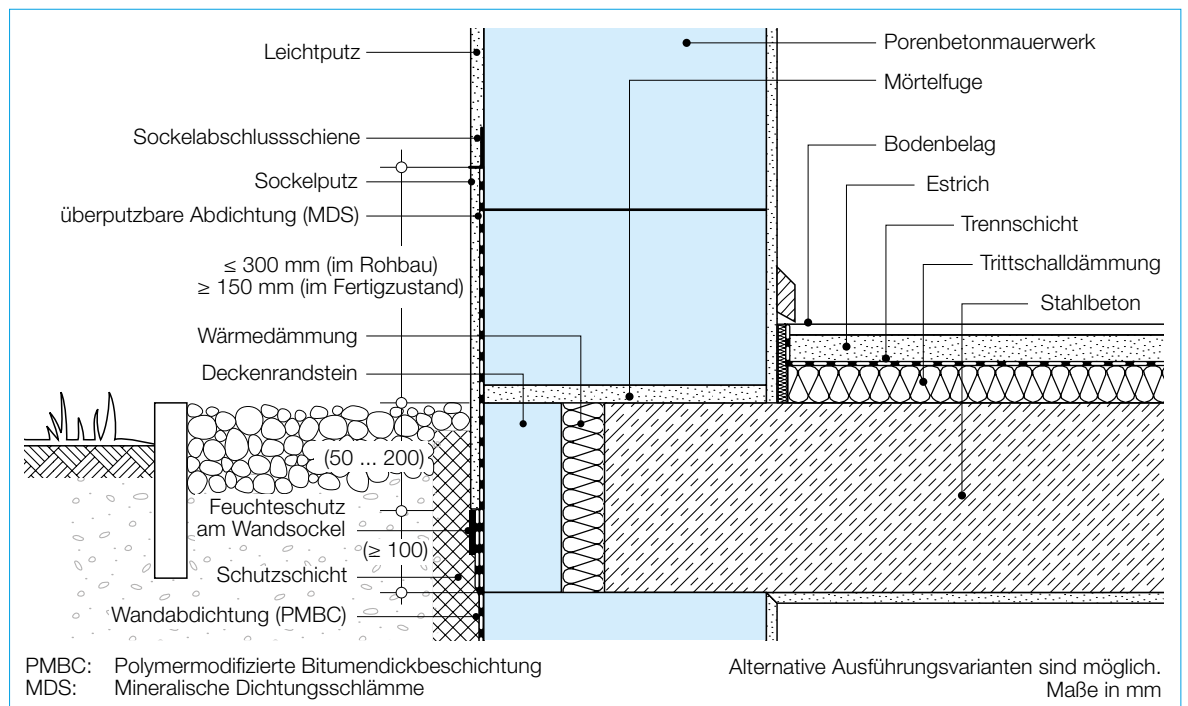


Abb. 9.5: Abdichtung im Sockelbereich von einschaligem Mauerwerk – Ausführungsvariante 1



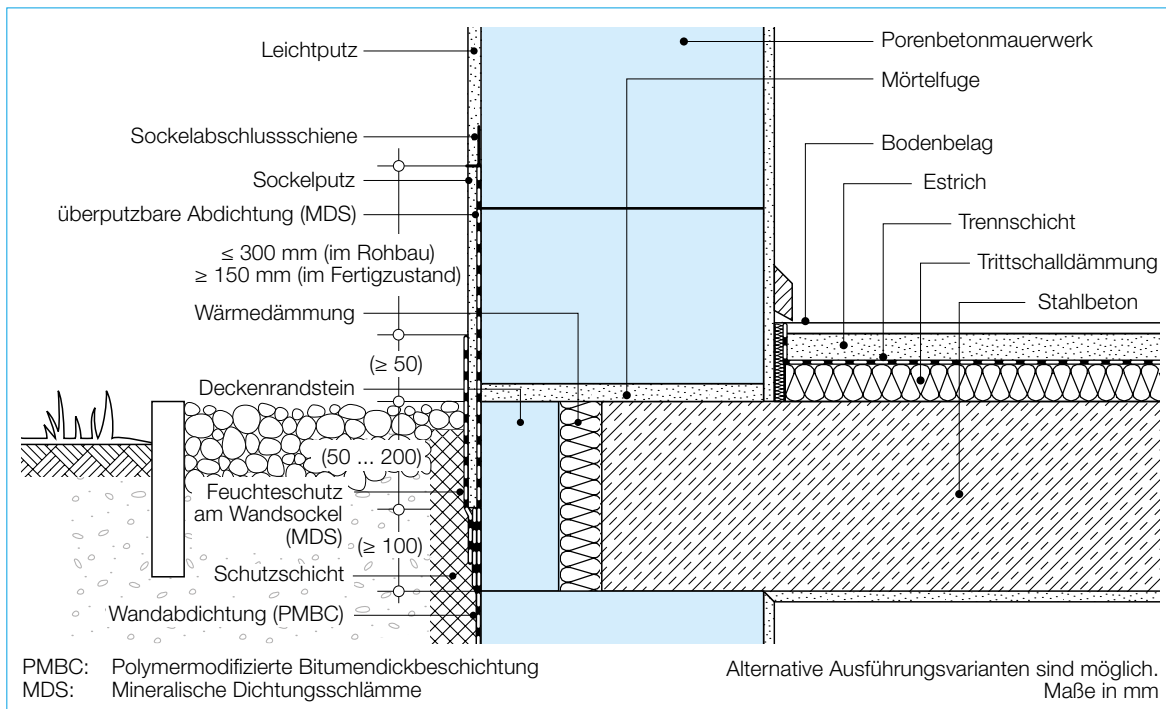


Abb. 9.6: Abdichtung im Sockelbereich von einschaligem Mauerwerk – Ausführungsvariante 2 (mit mineralischer Dichtungsschlämme)

Abb. 9.7: Empfehlung für die Ausführung von Außenecken bei Steinbreiten $b > 365$ mm

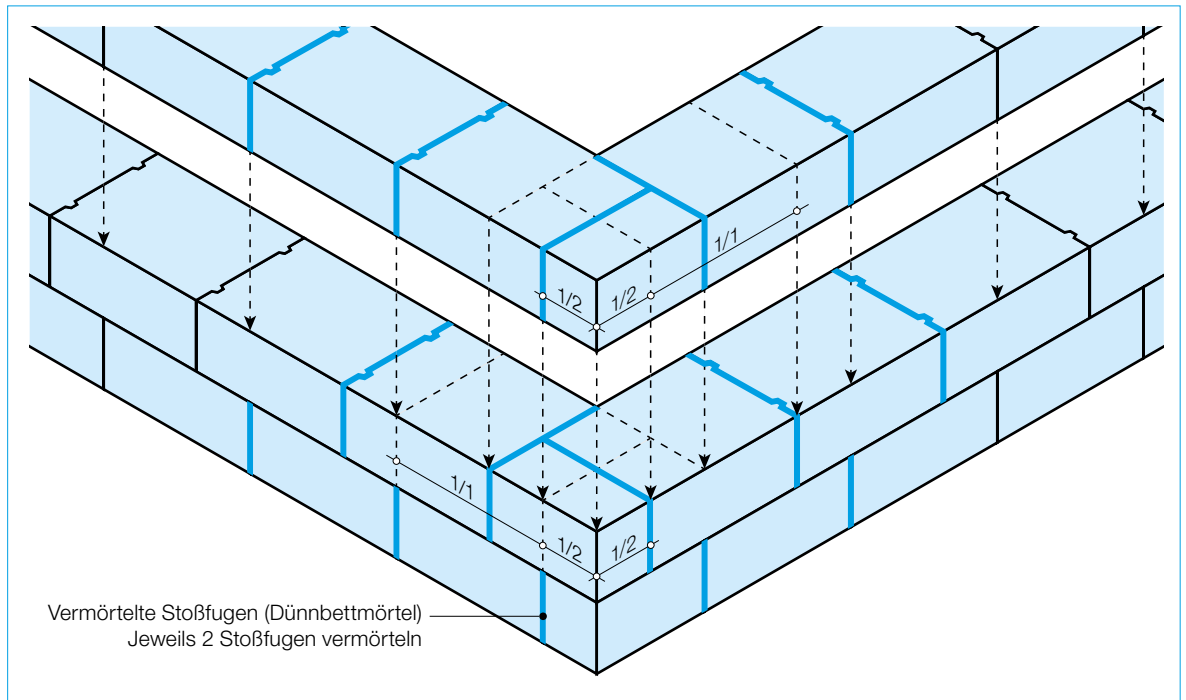
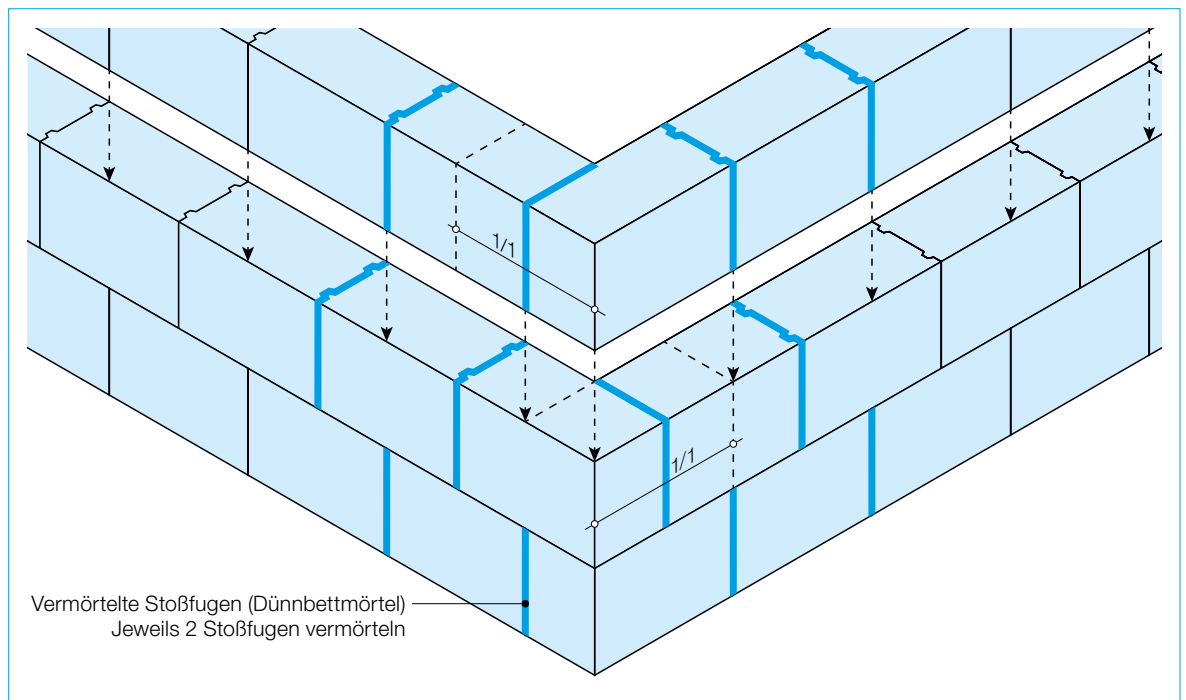


Abb. 9.8: Empfehlung für die Ausführung von Außenecken bei Steinbreiten $b \leq 365$ mm



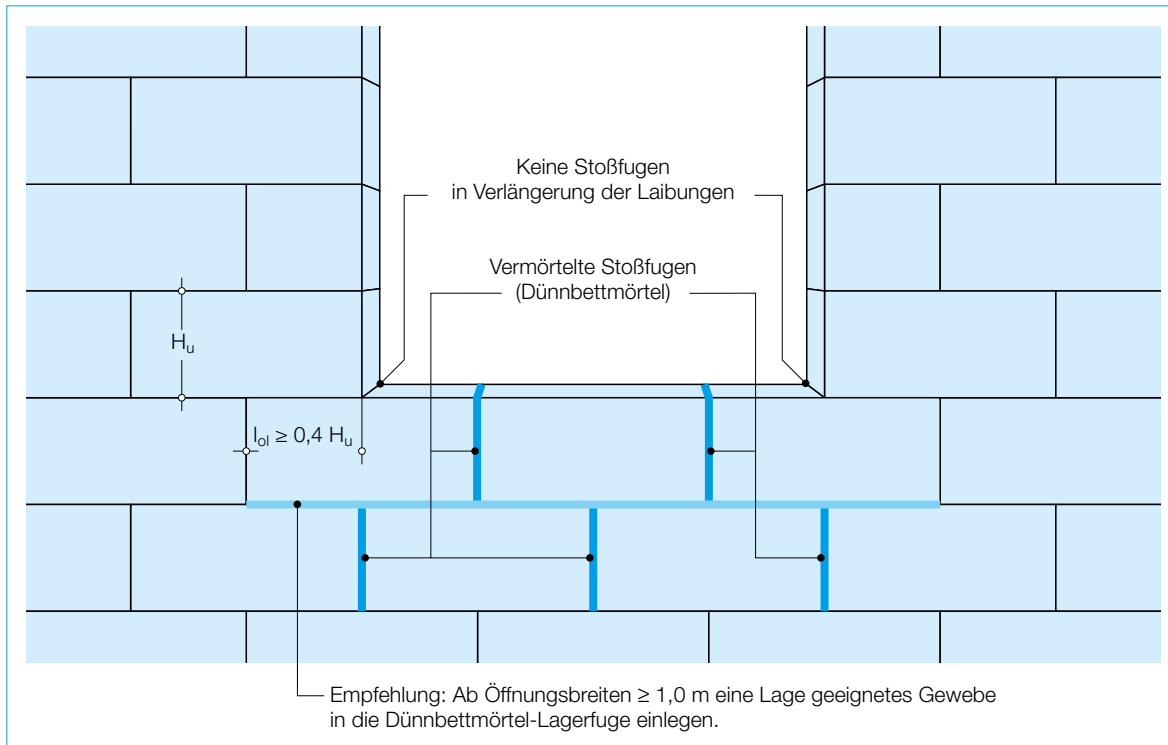


Abb. 9.9: Empfehlung für die Ausführung von Brüstungsmauerwerk

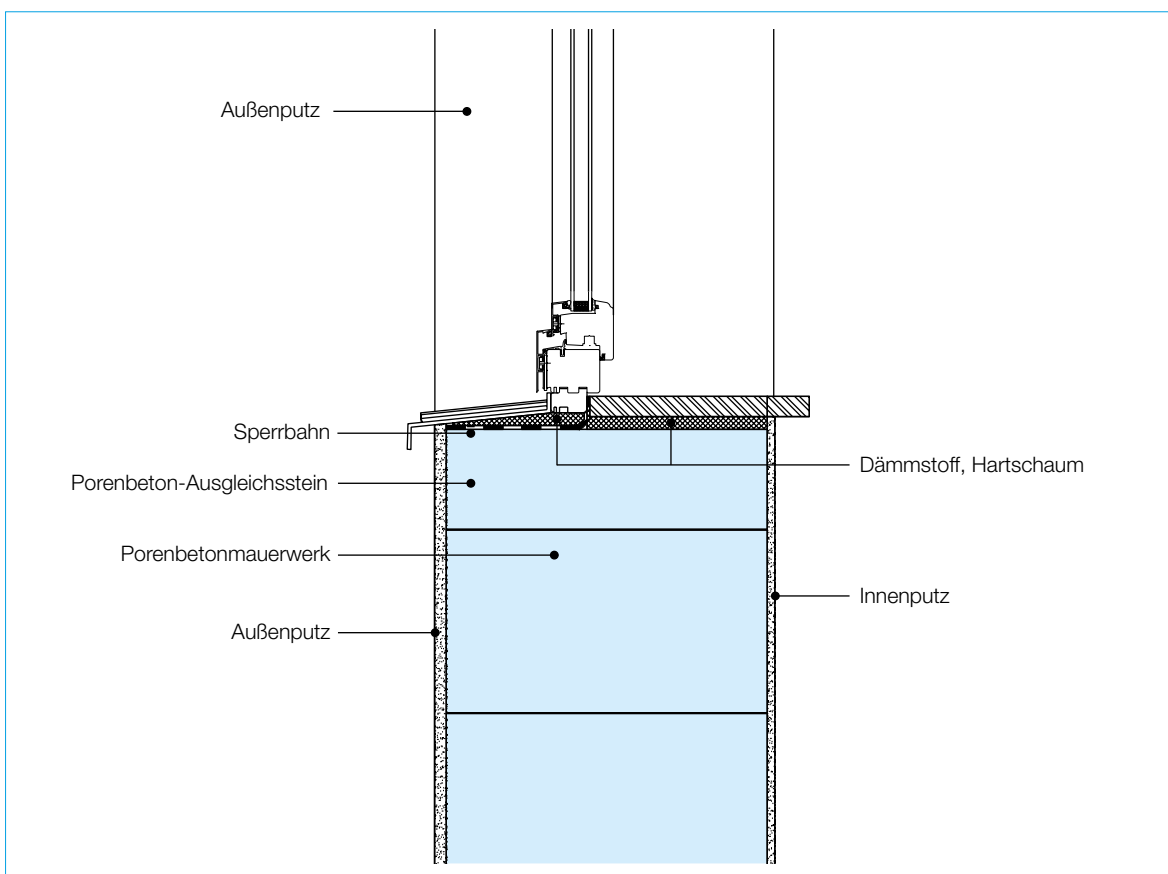


Abb. 9.10: Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk – Fensterbrüstung

Abb. 9.11: Sturzausbildung mit Porenbeton-U-Steinen

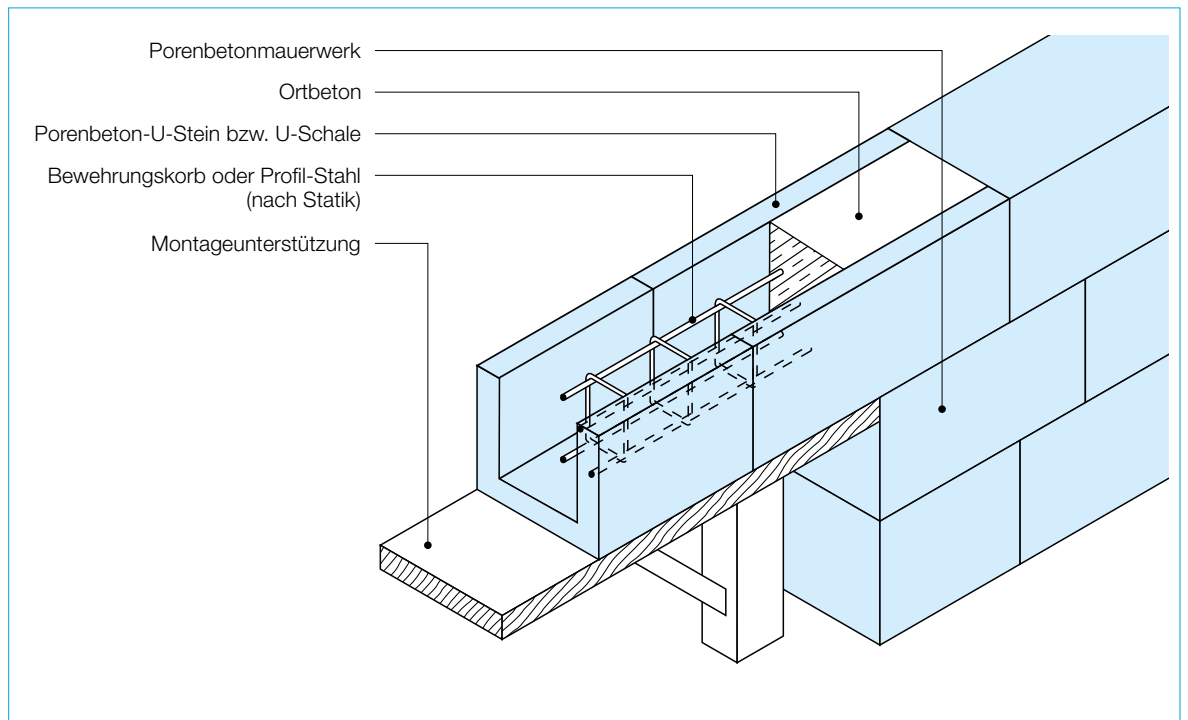
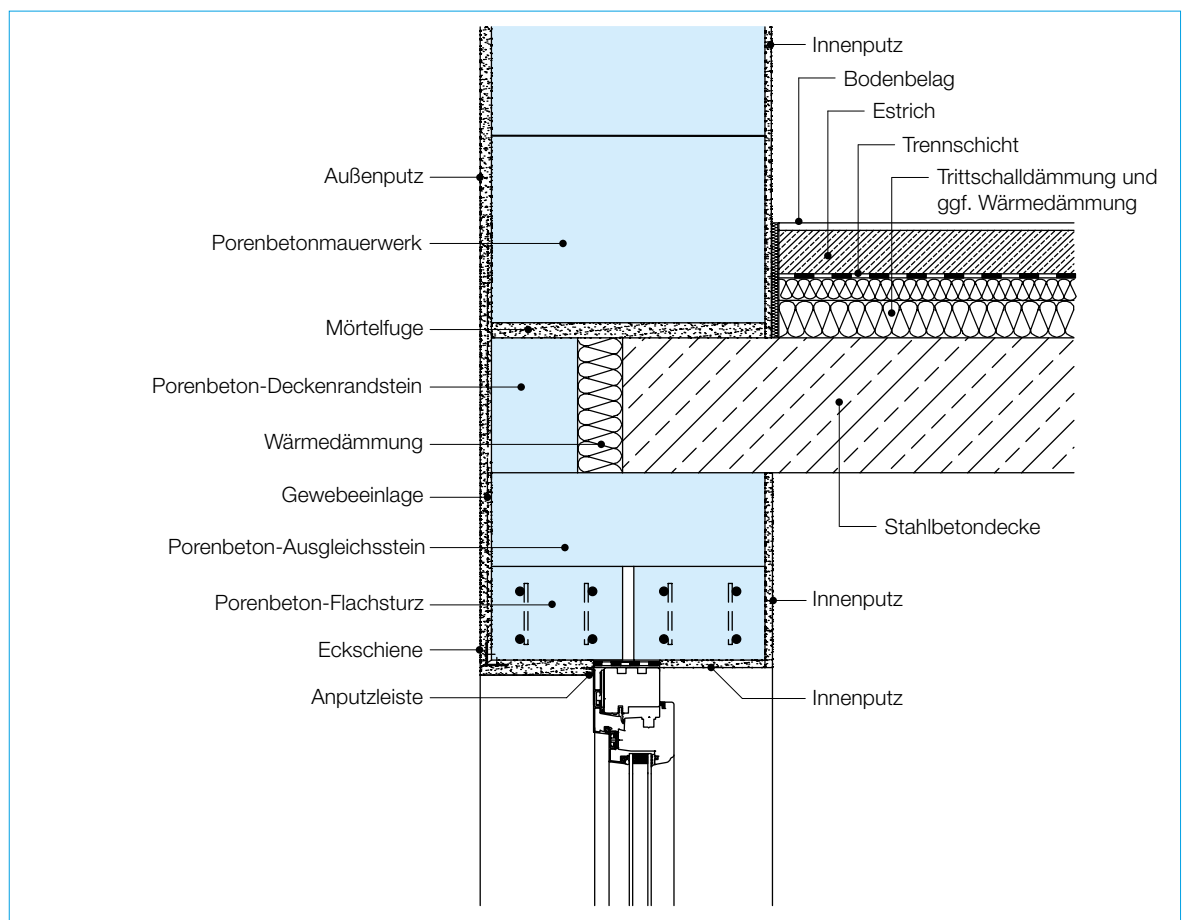


Abb. 9.12: Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Anschluss an Stahlbetondecke und Fensteranschluss mit Porenbeton-Flachstürzen



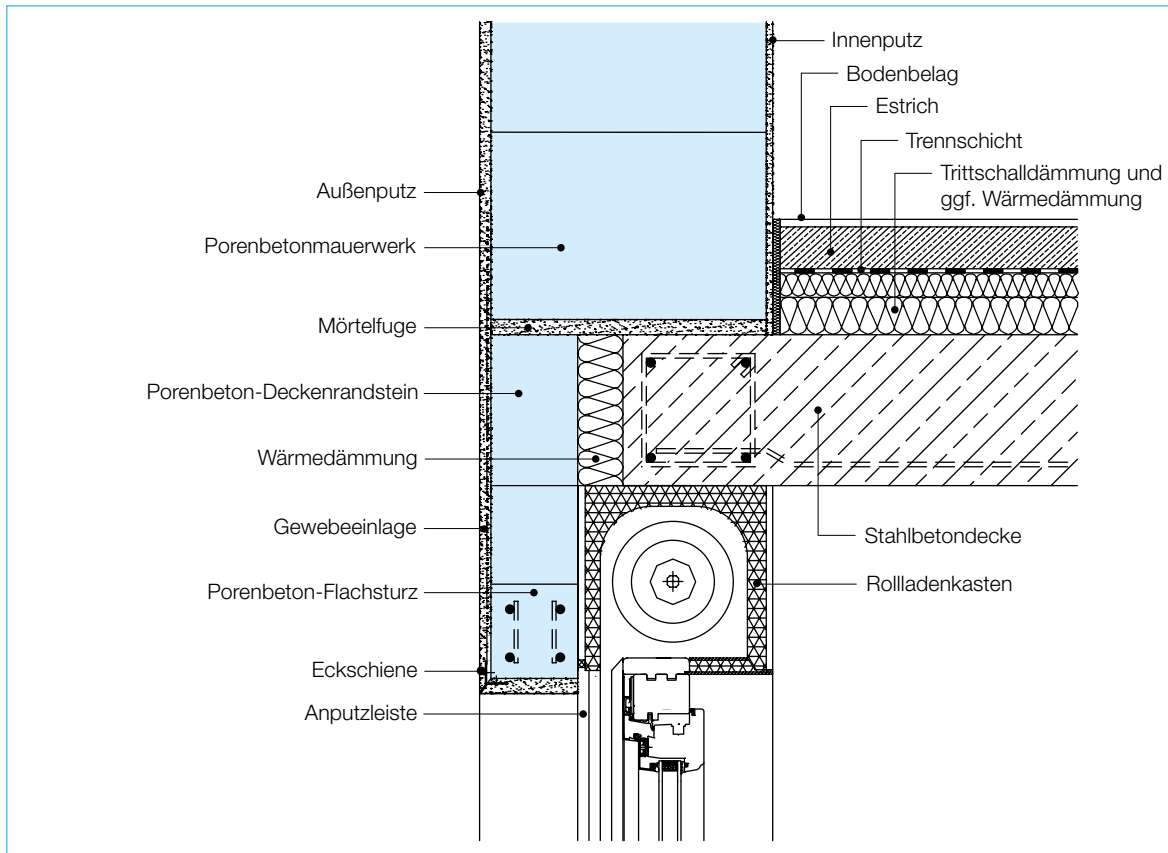


Abb. 9.13: Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Anschluss an Stahlbetondecke und Rollladenkasten

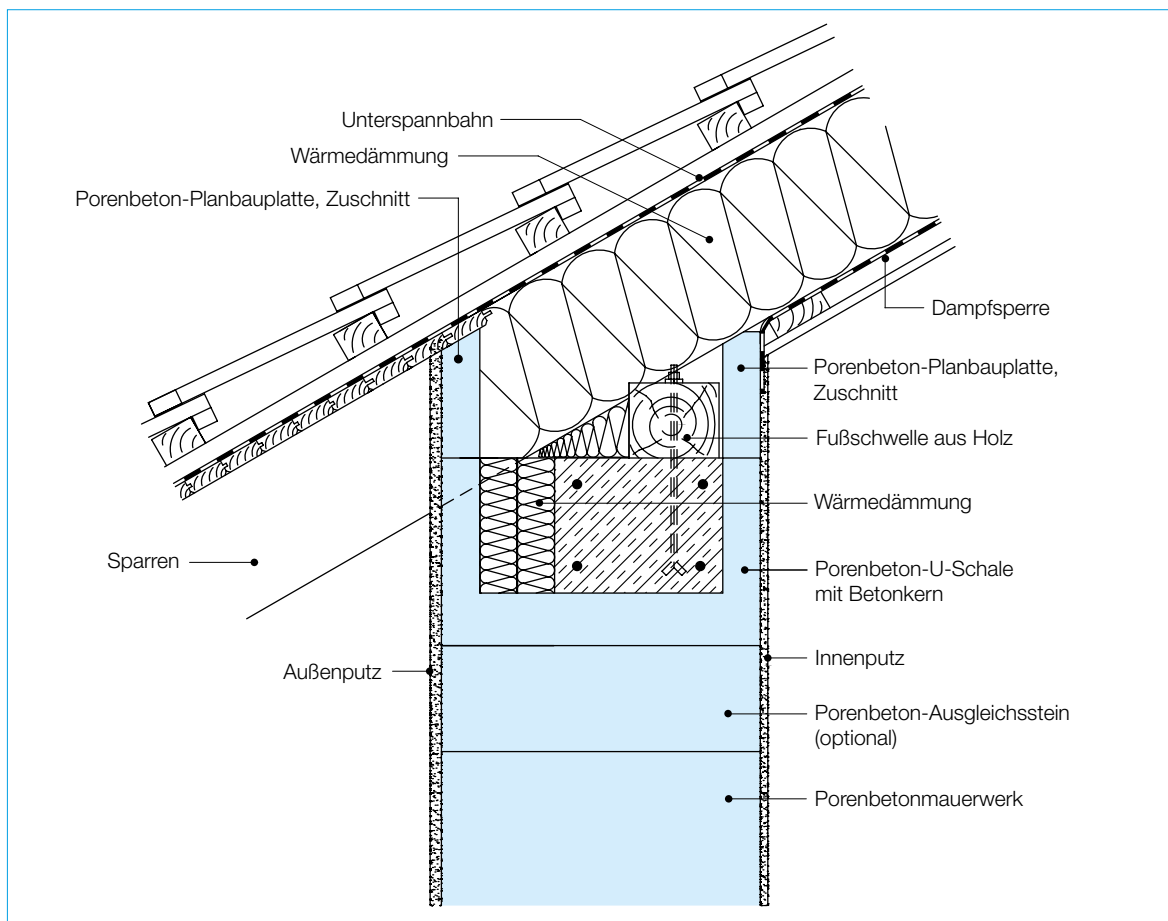
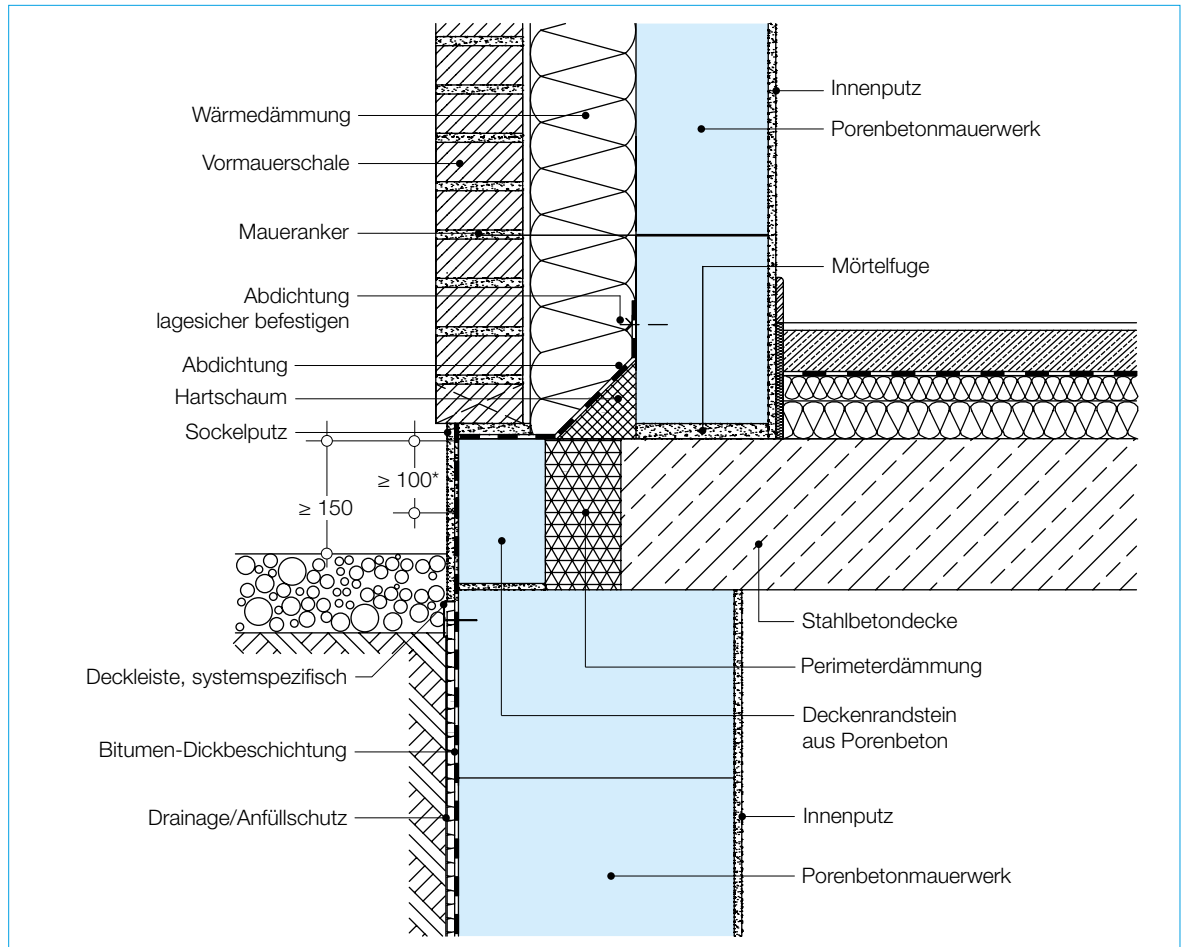


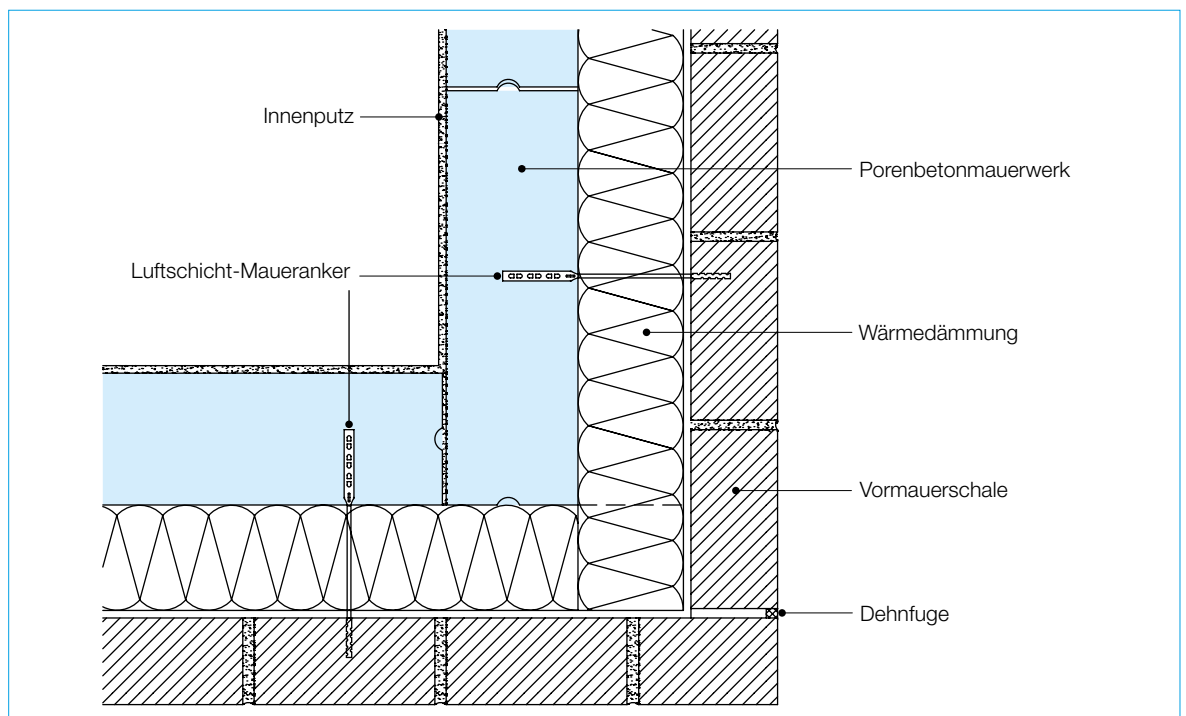
Abb. 9.14: Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk – Dachanschluss (Traufschnitt)

Abb. 9.15: Zweischalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale – Anschluss im Sockelbereich



*Überlappung von Sperrbahn und Bitumendickbeschichtung ≥ 100 mm

Abb. 9.16: Zweischalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale – Gebäudeecke



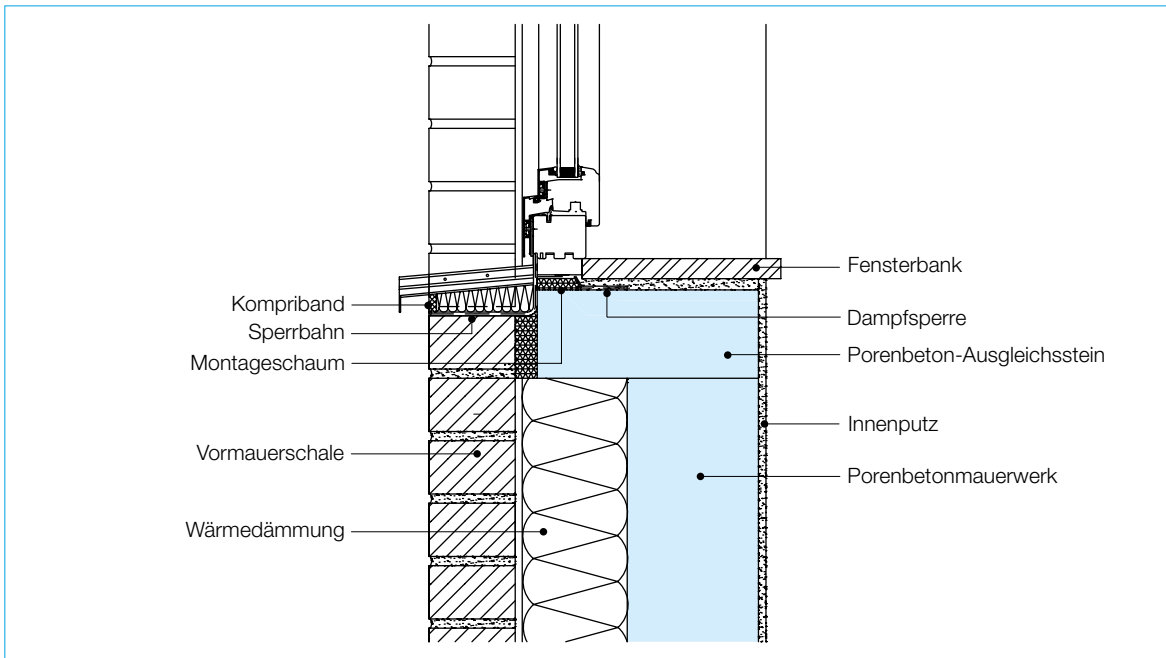


Abb. 9.17: Ausbildung der Brüstung bei einer zweischaligen Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale

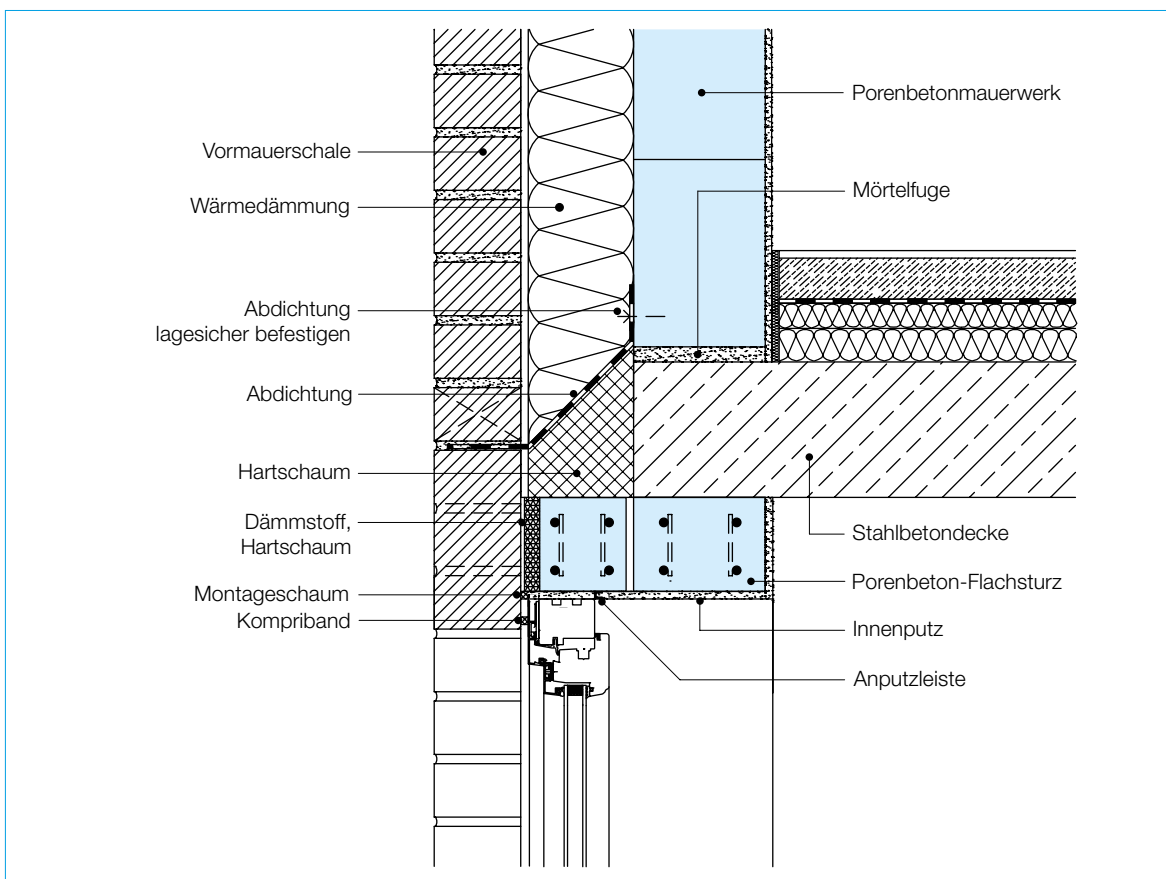


Abb. 9.18: Zweischalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale – Anschluss an Stahlbetondecke und Fensteranschluss mit Porenbeton-Flachstürzen

Abb. 9.19: Zweischalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale – Anschluss an Stahlbetondecke und Fensteranschluss mit Rollladenkasten

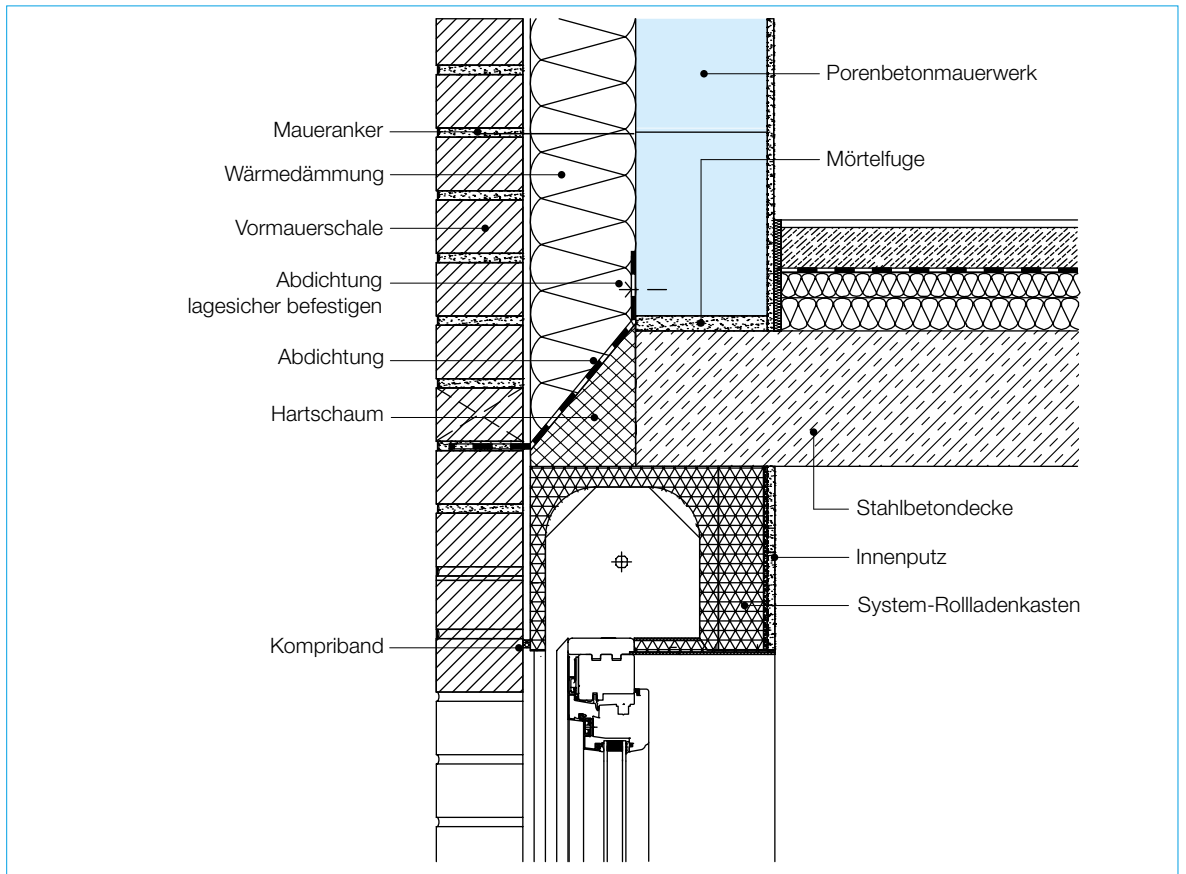
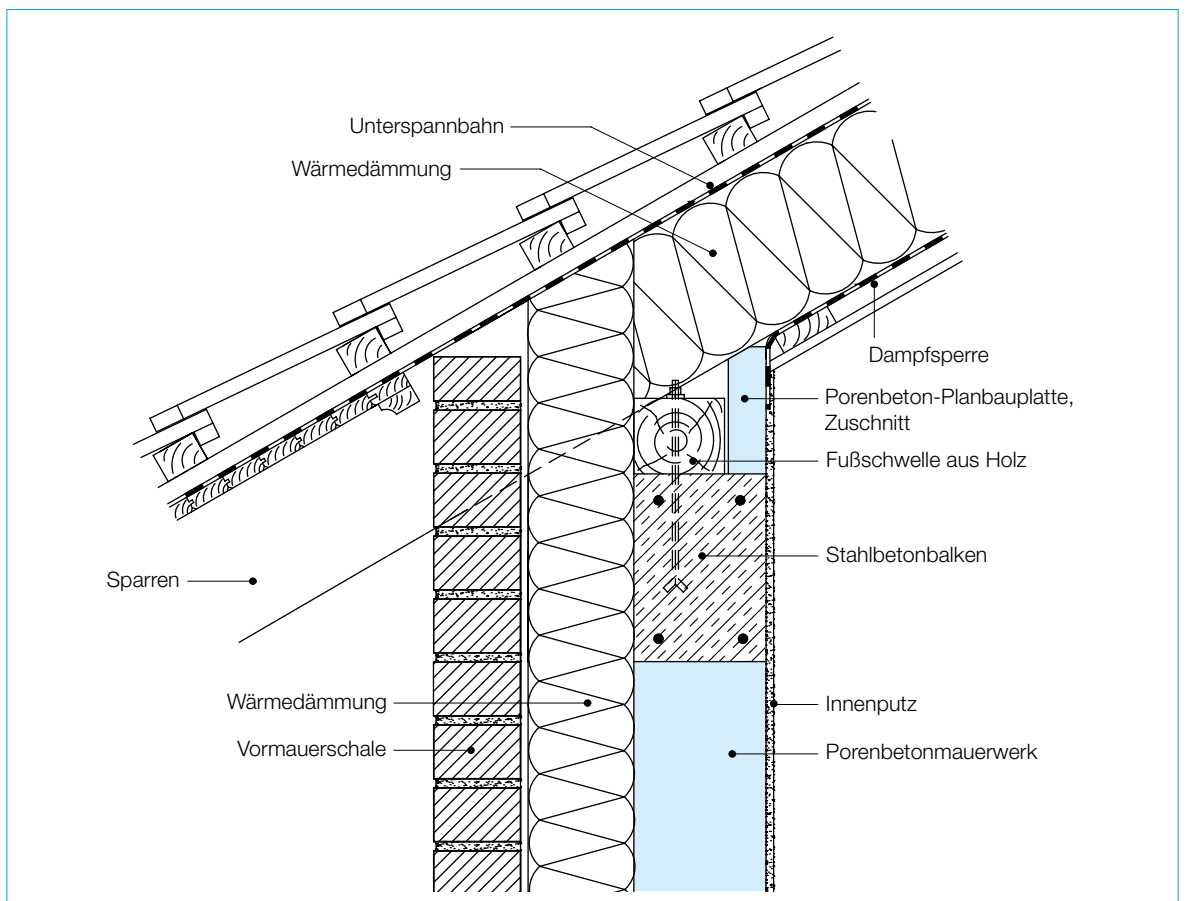


Abb. 9.20: Zweischalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale – Dachanschluss (Traufschnitt)



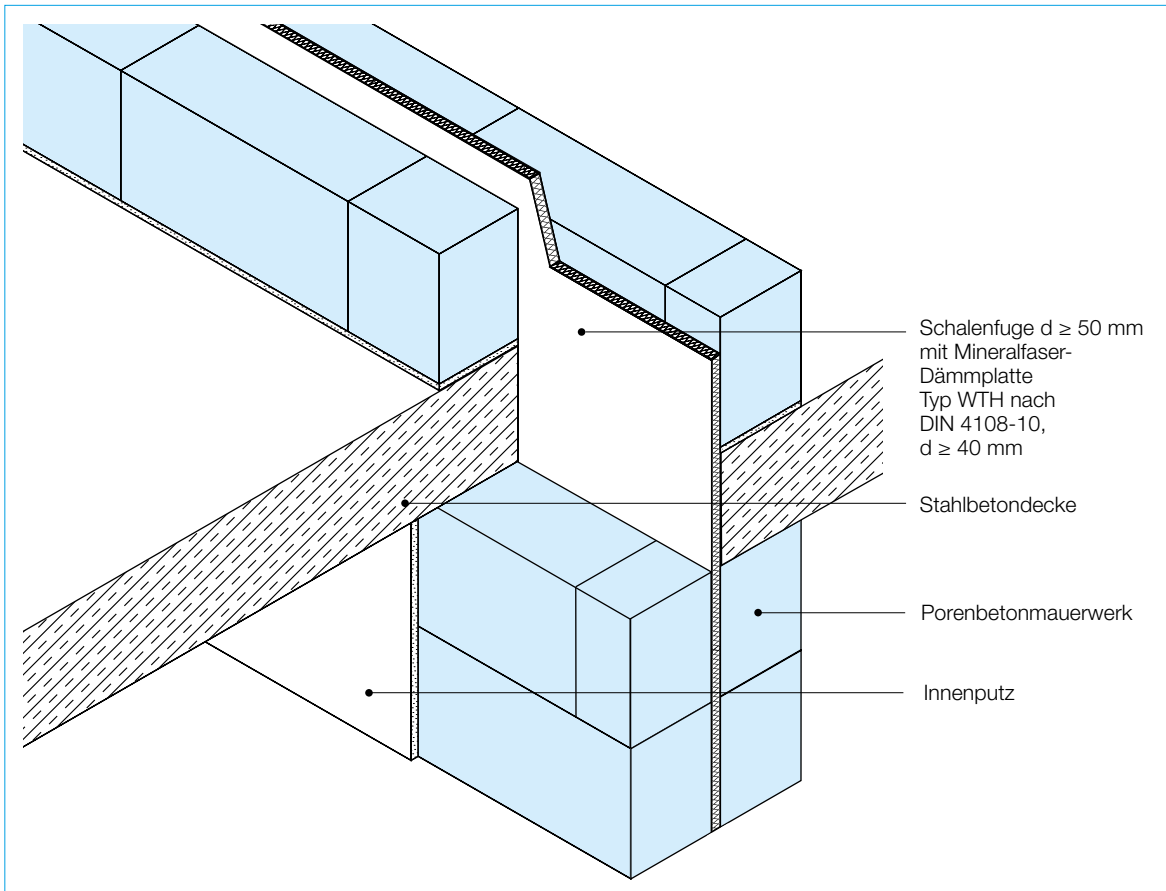


Abb. 9.21: Zweischalige Haustrennwand aus Porenbetonmauerwerk – Anschluss an Stahlbetondecke

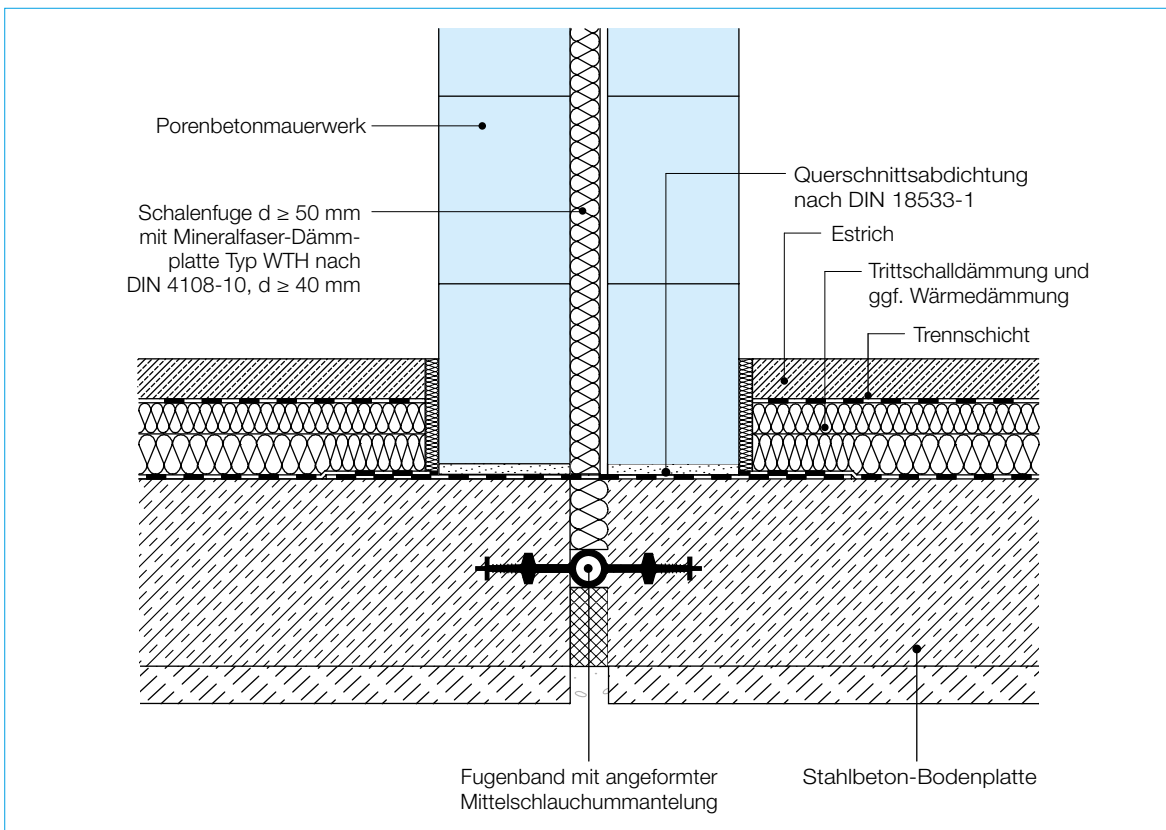


Abb. 9.22: Zweischalige Haustrennwand aus Porenbetonmauerwerk – Anschluss an getrennte Bodenplatte

Abb. 9.23: Zweischalige Haustrennwand aus Porenbetonmauerwerk – getrennte Bodenplatte bei nicht unterkellertem Gebäude

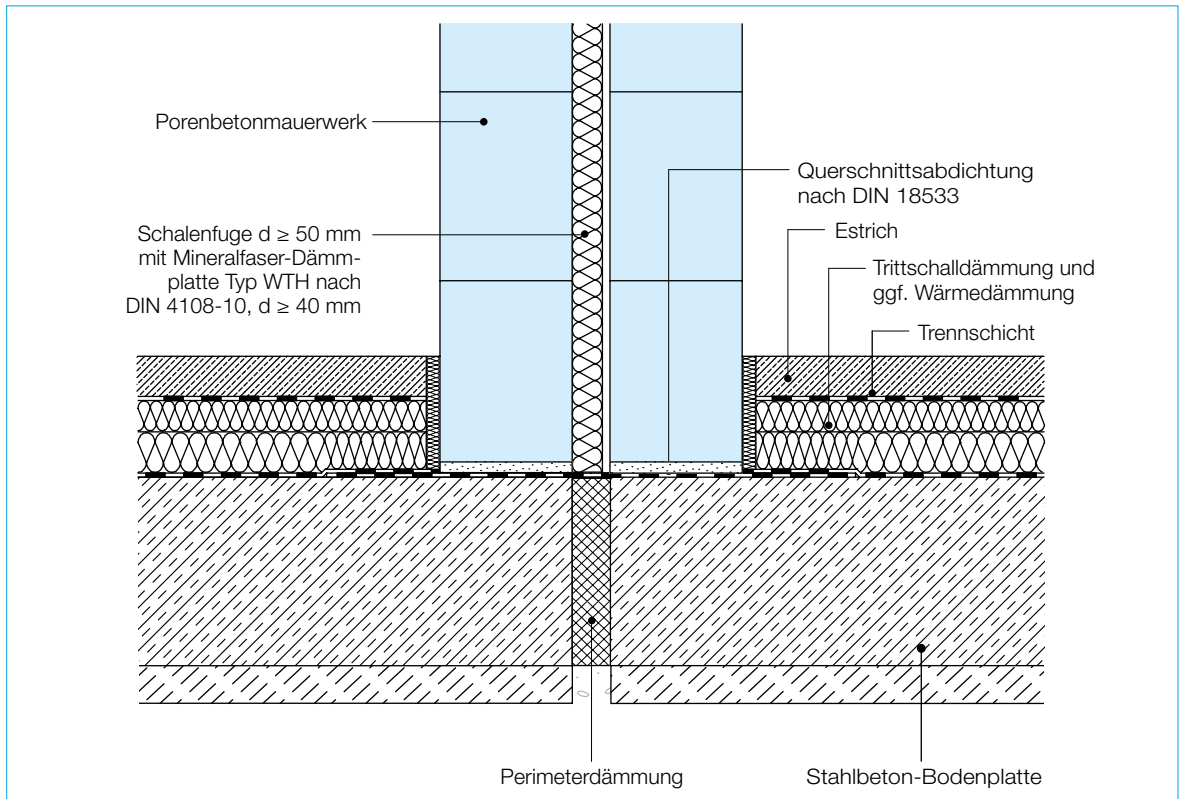
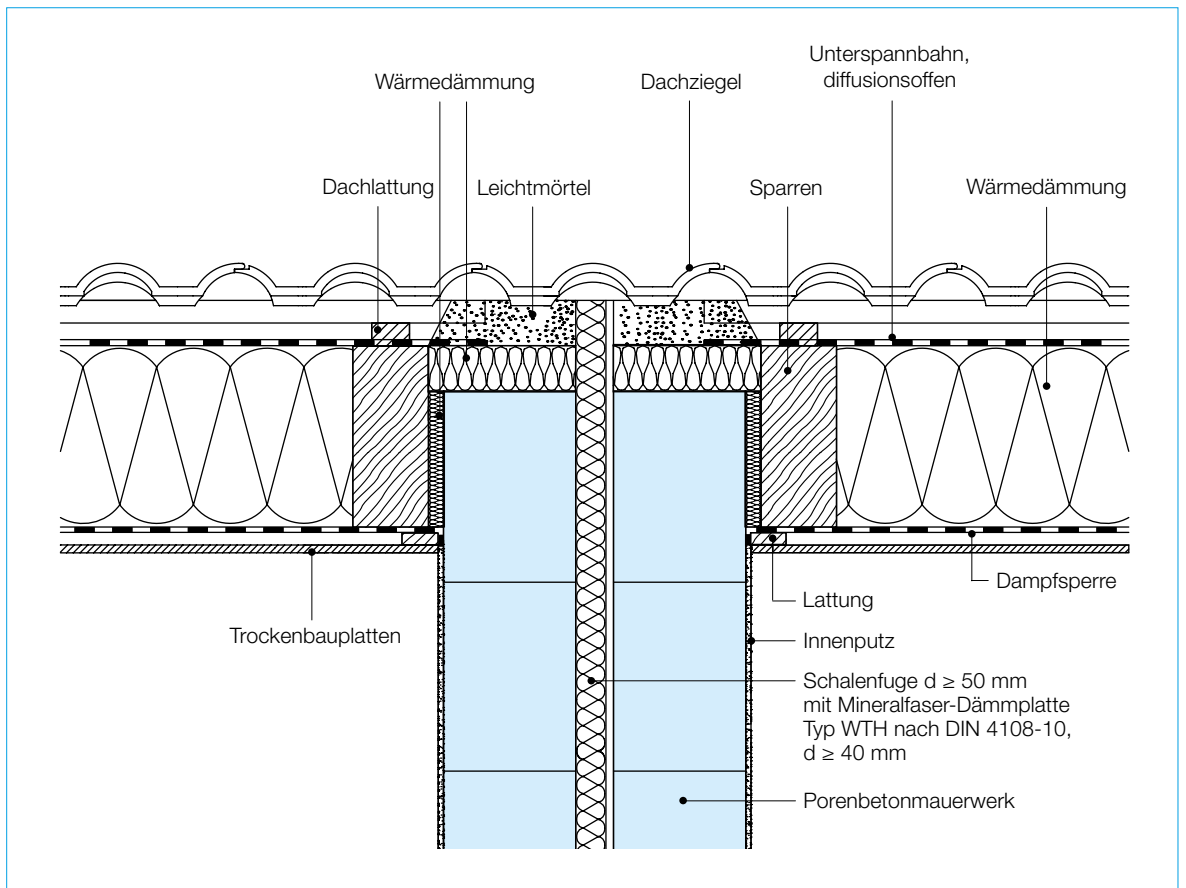


Abb. 9.24: Dachanschluss einer zweischaligen Haustrennwand aus Porenbetonmauerwerk an ein Holzdach



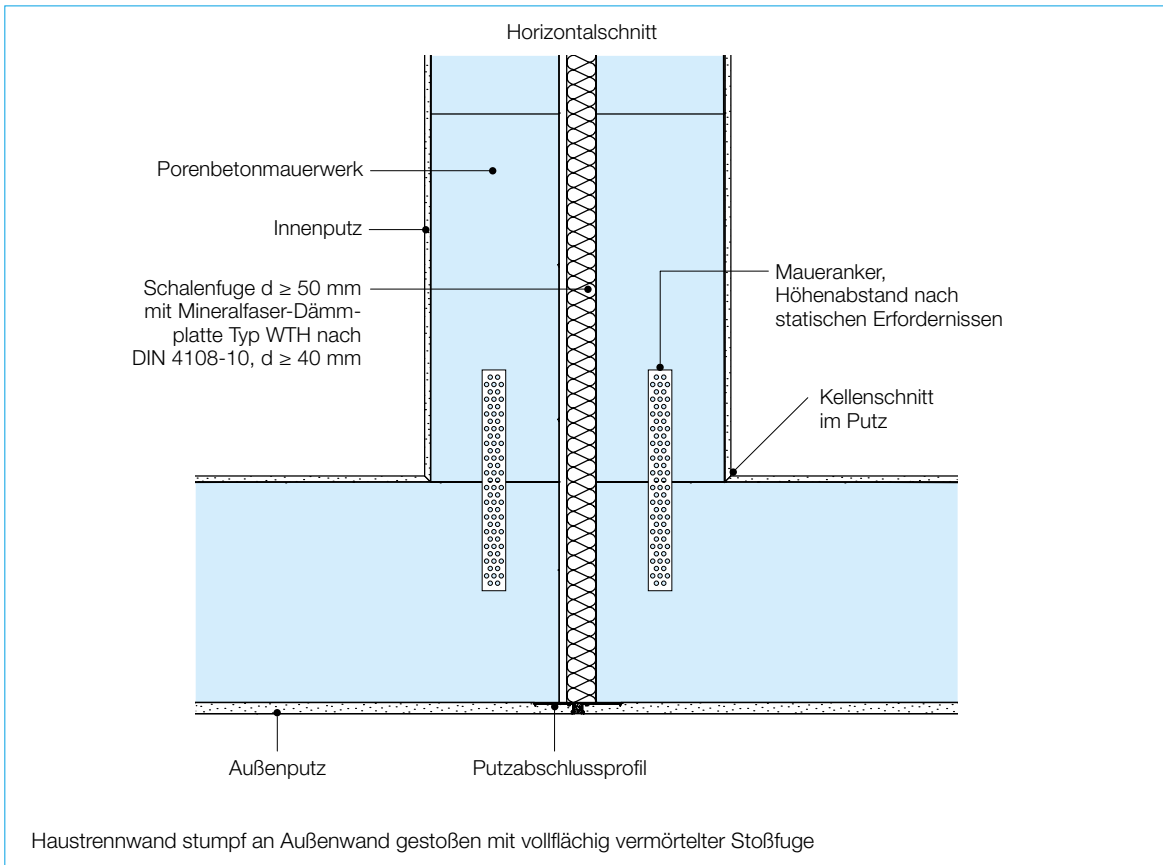


Abb. 9.25: Seitlicher Anschluss einer zweischaligen Haustrennwand aus Porenbetonmauerwerk an eine Außenwand (mit Putzabschlussprofil)

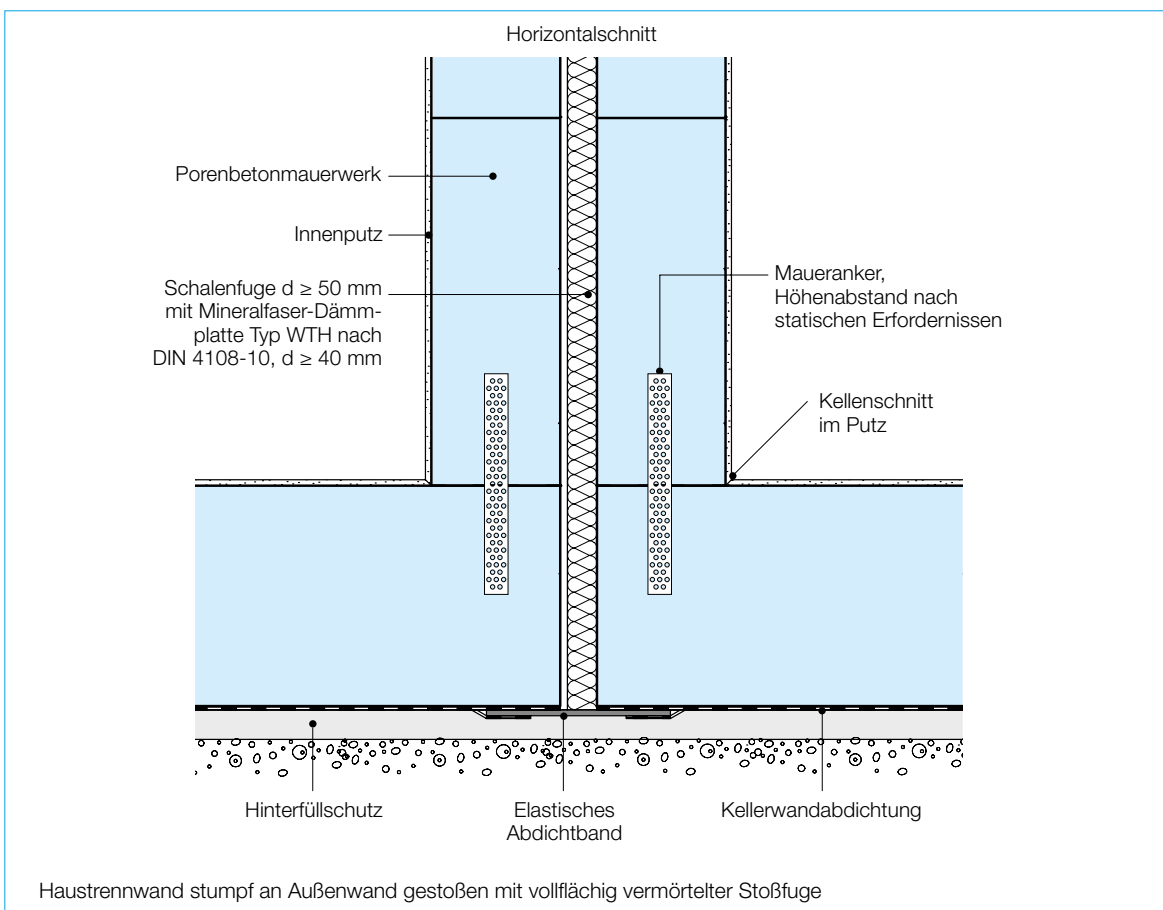


Abb. 9.26: Seitlicher Anschluss einer zweischaligen Haustrennwand aus Porenbetonmauerwerk an eine Außenwand im Kellergeschoss (vertikale Abdichtung)

Abb. 9.27: Unterer Anschluss nicht tragender Innenwände aus Porenbetonmauerwerk an eine Stahlbetondecke

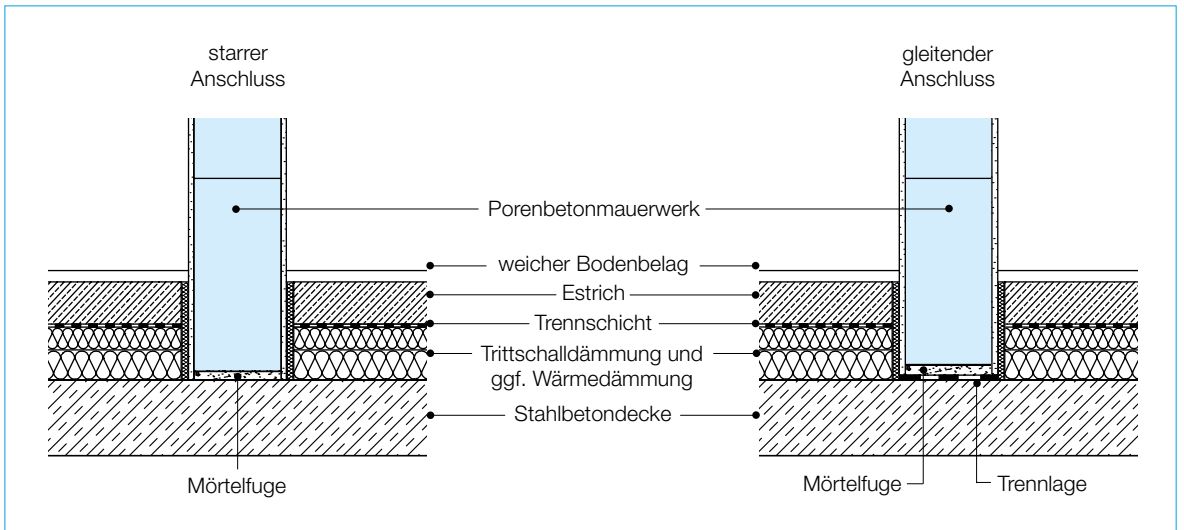
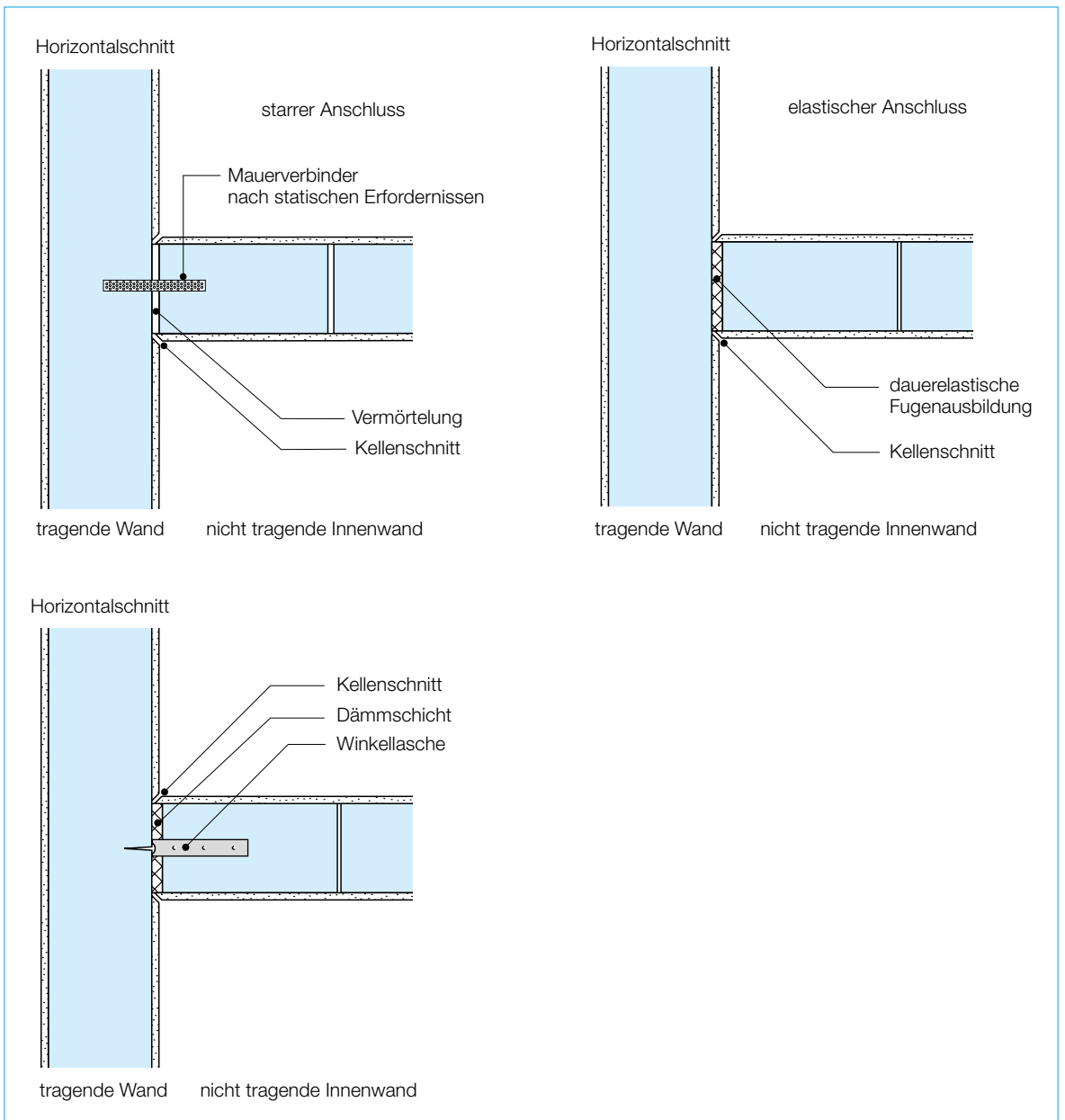


Abb. 9.28: Seitlicher Anschluss nicht tragender Innenwände an tragende Wände aus Porenbetonmauerwerk



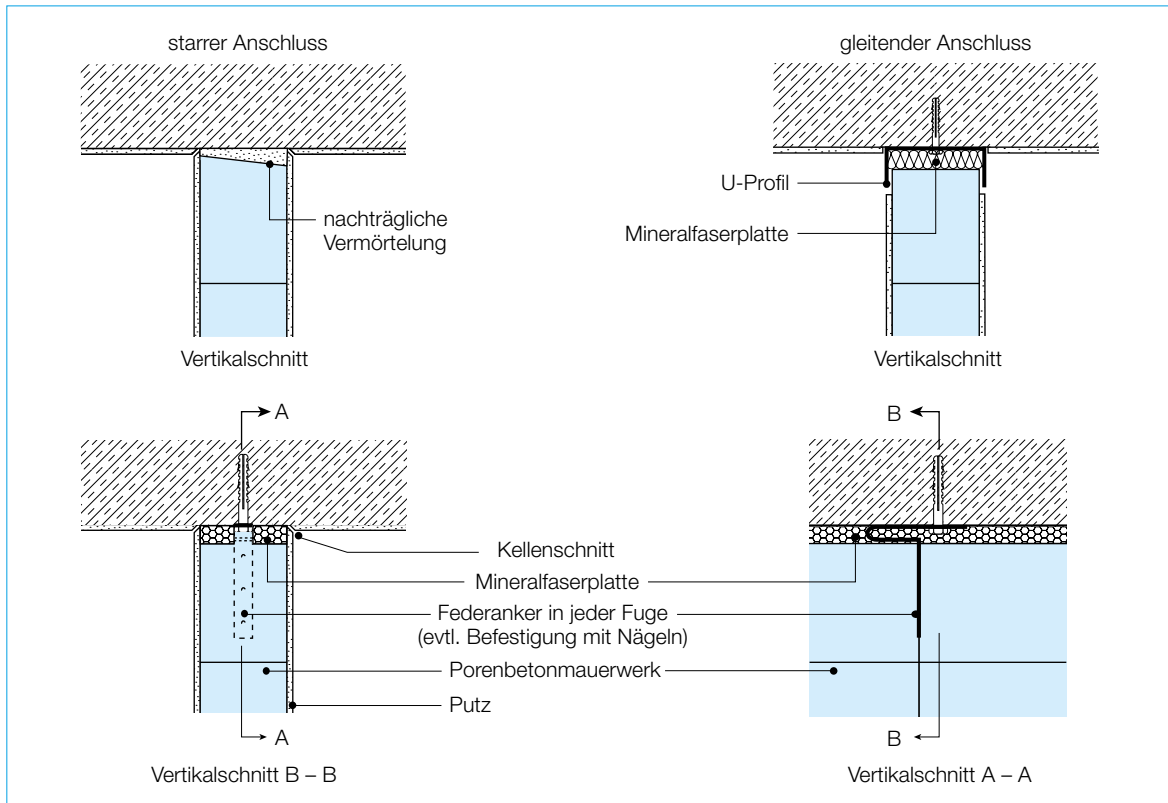


Abb. 9.29: Oberer Anschluss nicht tragender Innenwände aus Porenbetonmauerwerk an eine Stahlbetondecke

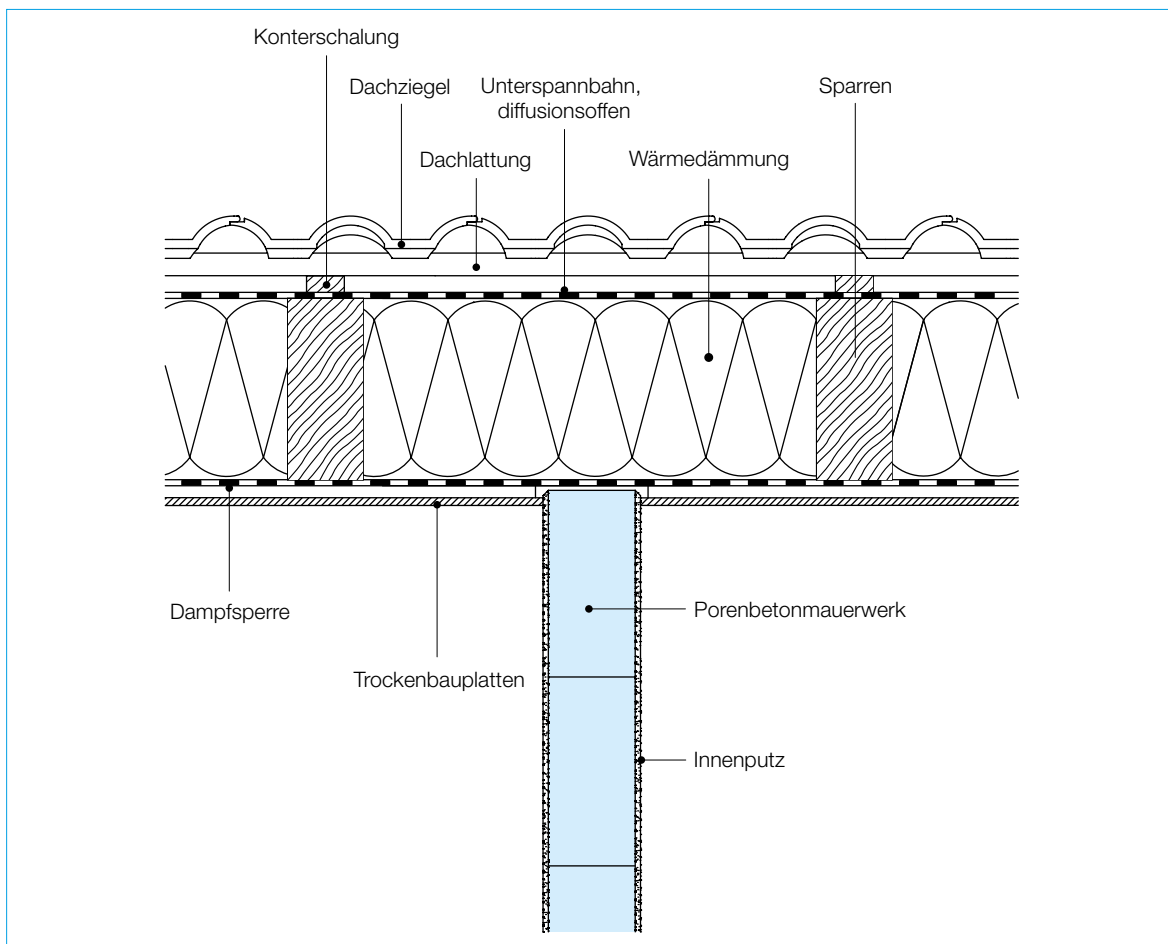


Abb. 9.30: Oberer Anschluss einer nicht tragenden Innenwand aus Porenbetonmauerwerk an ein Holzdach

Abb. 9.31: Ausmauerung von Holzfachwerk mit Porenbeton, Vertikalschnitt

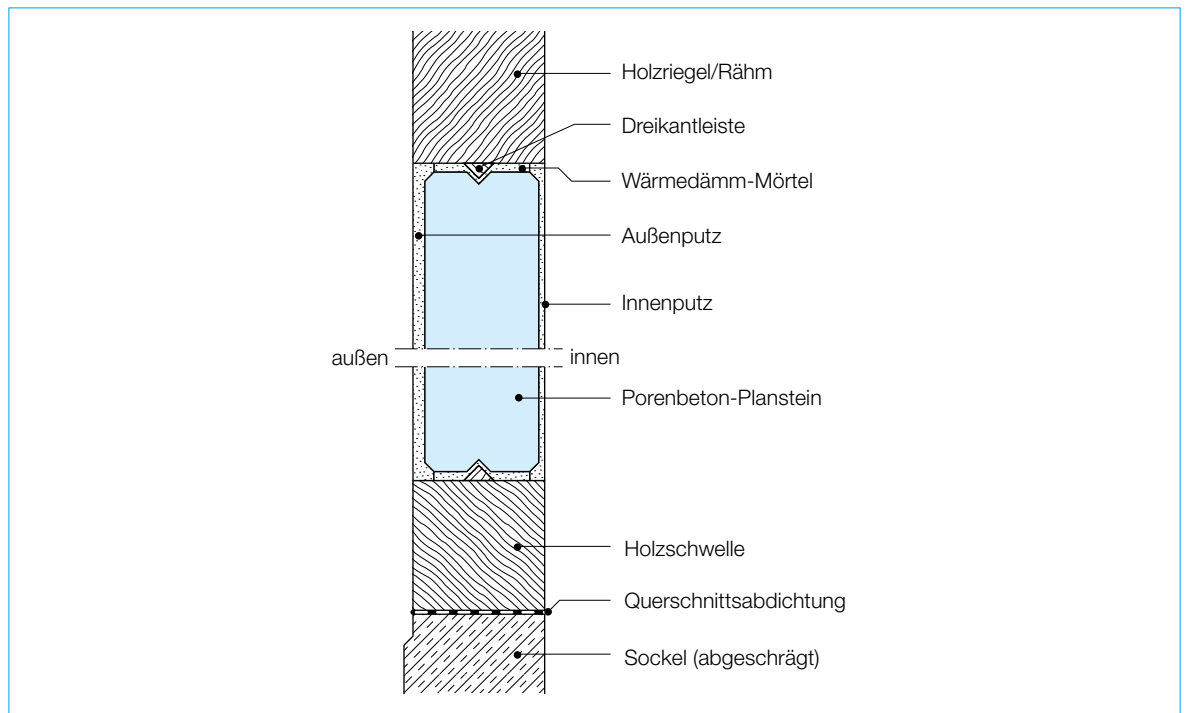


Abb. 9.32: Ausmauerung von Holzfachwerk mit Porenbeton, Horizontalschnitte

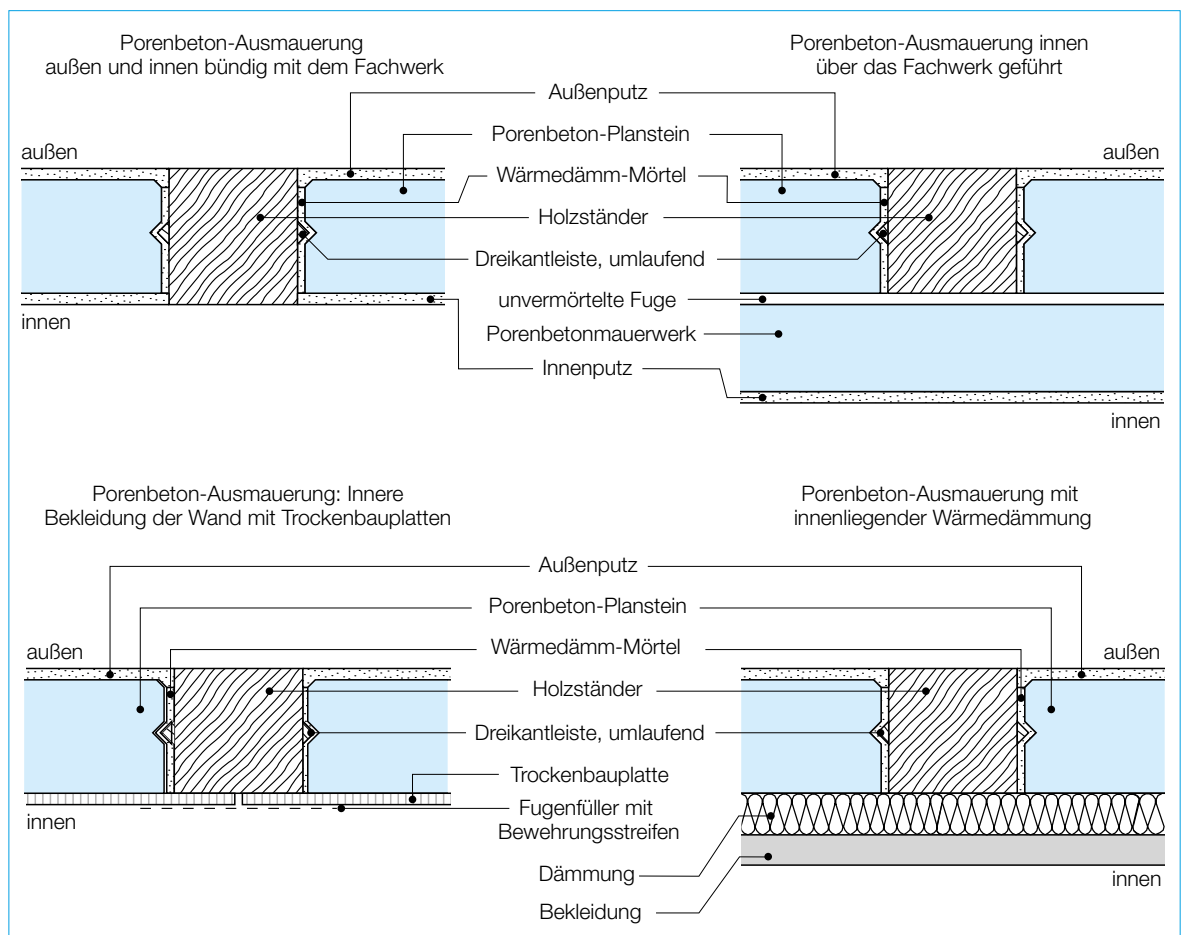
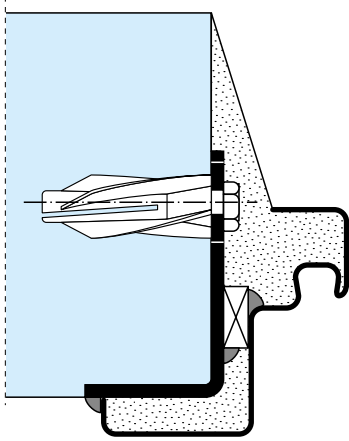
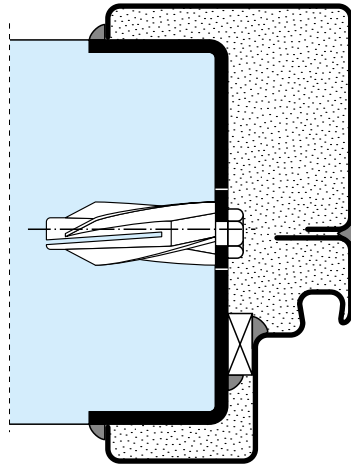


Abb. 9.33: Beispiele für Zargenausbildungen von Feuerschutztüren (T30/T90) zum Einbau in Wänden aus Porenbetonmauerwerk

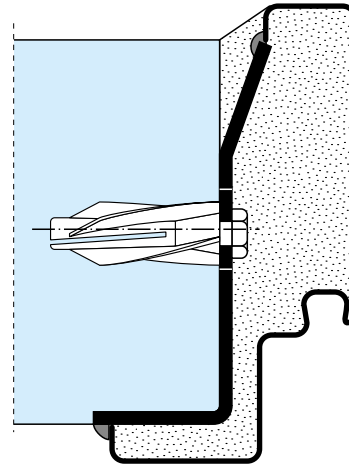
Eckzarge



Eckzarge mit Gegenzarge *)

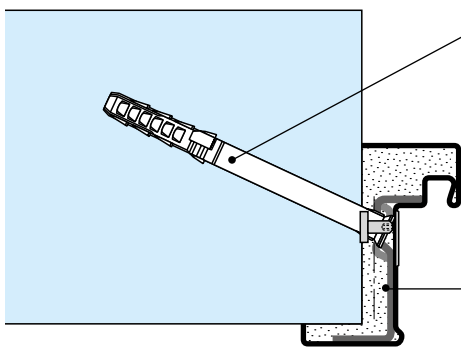


Umfassungszarge



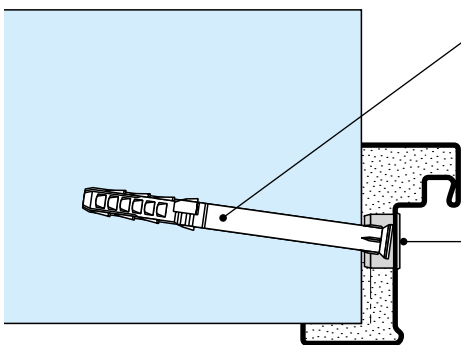
*) Alternativ kann die Gegenzarge mit der Eckzarge verschraubt werden.

Eckzarge oder im vorderen Zargenspiegel einer Umfassungszarge



Befestigungsmaterial Dübel gemäß Zulassung für Porenbeton, z. B. fischer SXR 10 x 160, jeweilige Vorgaben für Randabstände in den Dübelzulassungen beachten

Verankerungen über Dübelanker t = 3 mm



Befestigungsmaterial Dübel gemäß Zulassung für Porenbeton, z. B. fischer SXR 10 x 160, jeweilige Vorgaben für Randabstände in den Dübelzulassungen beachten

Verankerung über Kunststoffanker

Zugelassene Hinterfüllung der Zargen:

- nur Eckzarge: Mörtel
- Eck- mit Gegenzarge: beides mit Mineralwolle (alternativ Gipskarton oder Mörtel)
- Umfassungszarge: Mineralwolle (alternativ Gipskarton oder Mörtel)

Abb. 9.34: Beispiel für die Dübelmontage zur Befestigung von Zargen ein- und zwei-flügeliger Feuerschutz-türen (T30/T90) in Porenbetonwänden. Die Zargenausbildung ist abhängig vom Zulassungsbescheid.

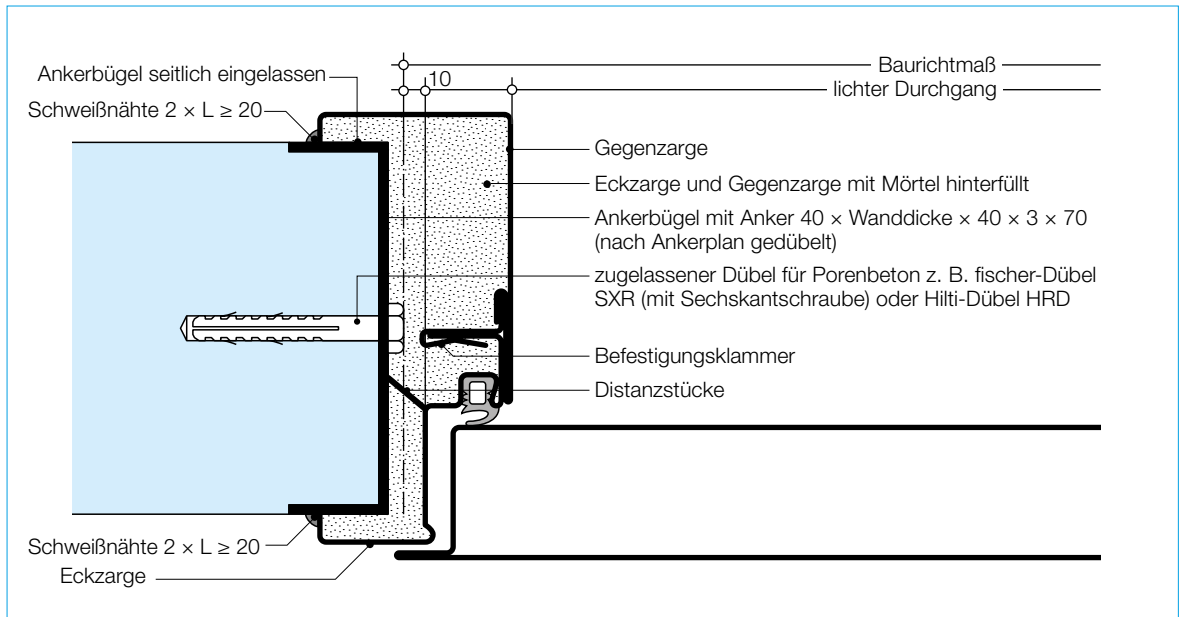
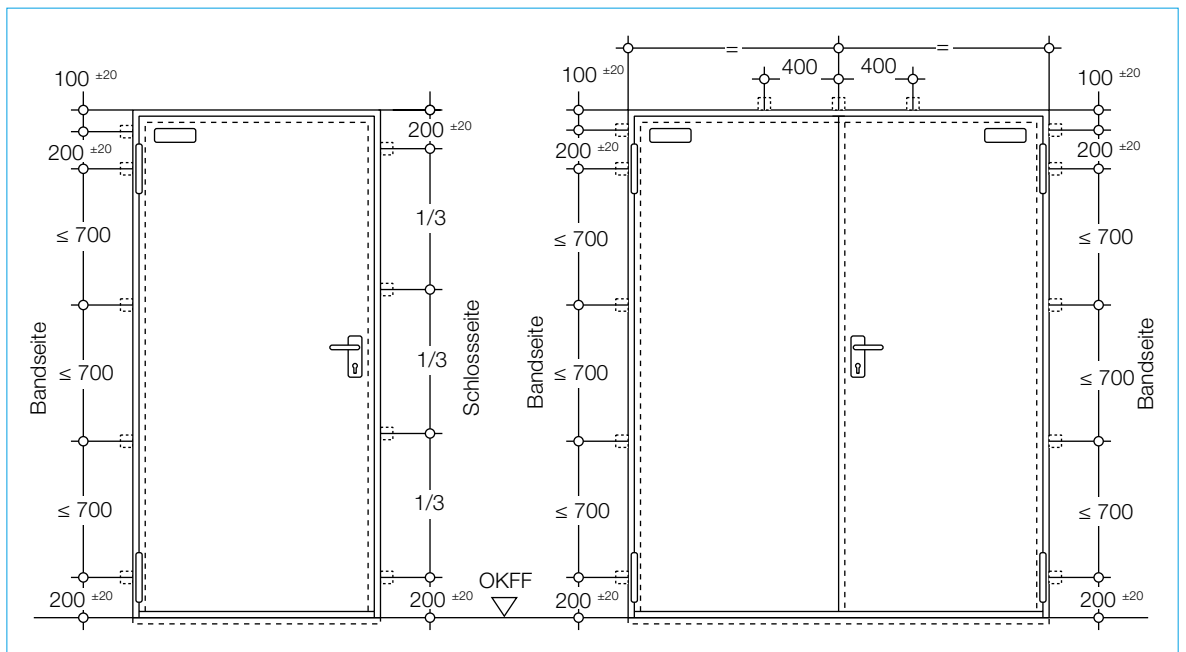


Abb. 9.35: Beispiele für Dübelabstände bei der Befestigung von Zargen ein- und zwei-flügeliger Feuerschutz-türen (T30/T90) in Porenbetonwänden. Die Zargenausbildung ist abhängig vom Zulassungsbescheid.



AUSFÜHRUNG

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

10.1 Wirtschaftlichkeit

Um die steigende Nachfrage nach neuem und dabei bezahlbarem Wohnraum erfüllen zu können, sind bis ins Detail durchdachte und rationelle Bauausführungskonzepte gefragt. Durch das in sich abgestimmte, wirtschaftliche Porenbeton-Bausystem kann der Material- und/oder Arbeitsaufwand für die notwendigen Ausführungsschritte minimiert werden – die Arbeitsproduktivität wird erhöht und die Kosten für Lohn und Material verringern sich. Die industrielle Fertigung der Porenbetonprodukte auf Grundlage einzuhaltender Normanforderungen im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle gewährleistet eine gleichbleibende Produktqualität.

Einen Rationalisierungsvorteil bieten die Produktformate von Porenbeton-Plansteinen und -Planelementen beim Einsatz für tragende und nichttragende Außen- und Innenwände, zweischalige Haustrennwände sowie für Kellerwände. Wie Abb. 10.1 zeigt,

kann mit diesen Porenbetonprodukten die Anzahl der erforderlichen Steine pro m² Wand gegenüber konventionellem Mauerwerk erheblich reduziert werden.

Die Reduzierung der Anzahl der Steine/Elemente pro m² Wand führt zur Erhöhung der Tagesleistung eines Maurers und ist somit ein erheblicher Rationalisierungsvorteil (Abb. 10.2). Bei einer 300 mm dicken Wand liegt die Tagesleistung eines Maurers, der Porenbeton-Plansteine verarbeitet, bei etwa 4 m³. Dies ist gegenüber etwa 1,5 bis 2,5 m³/Tag bei Bauweisen mit traditionell kleineren Formaten eine deutliche Steigerung. Werden Porenbeton-Planelemente verarbeitet, steigt die Leistung auf 5 m³/Tag und mehr. Geringere Verarbeitungszeiten führen zur Erhöhung der Produktivität und Reduzierung der Lohnkosten.

Damit die wirtschaftlichen Vorteile beim Arbeiten mit großen Formaten voll zum Tragen kommen, ist eine gute Planung und durchdachte Baustellenorganisation unerlässlich. Je nachdem, ob es sich um stark

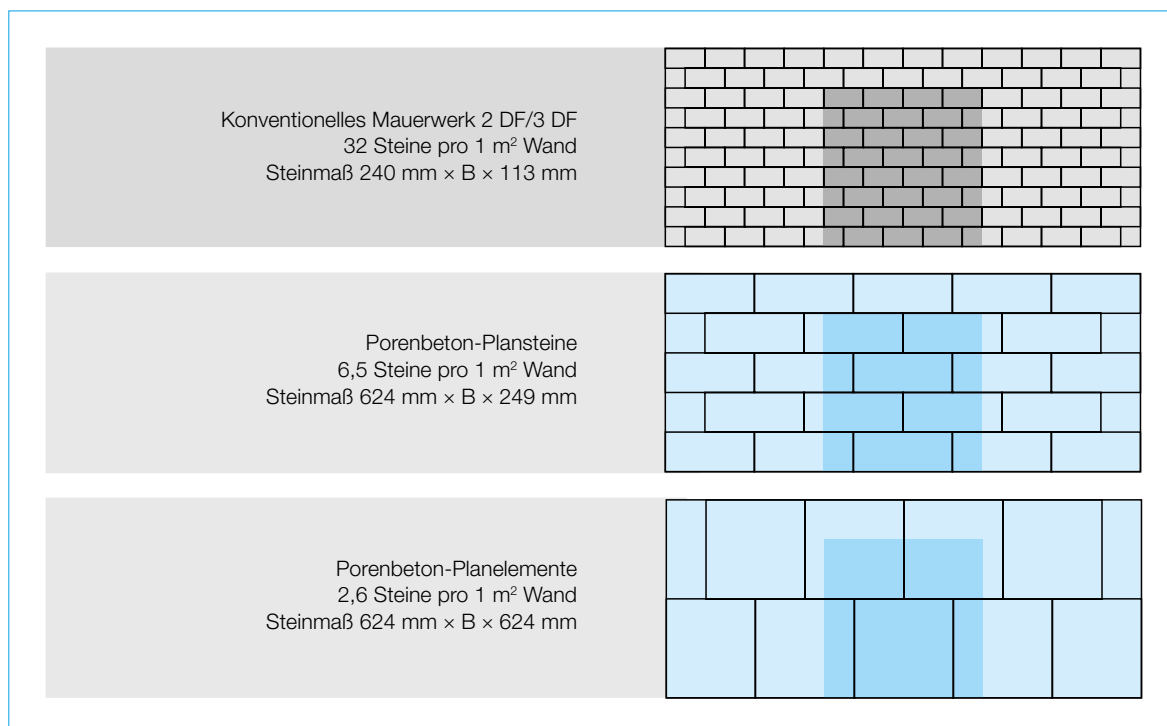
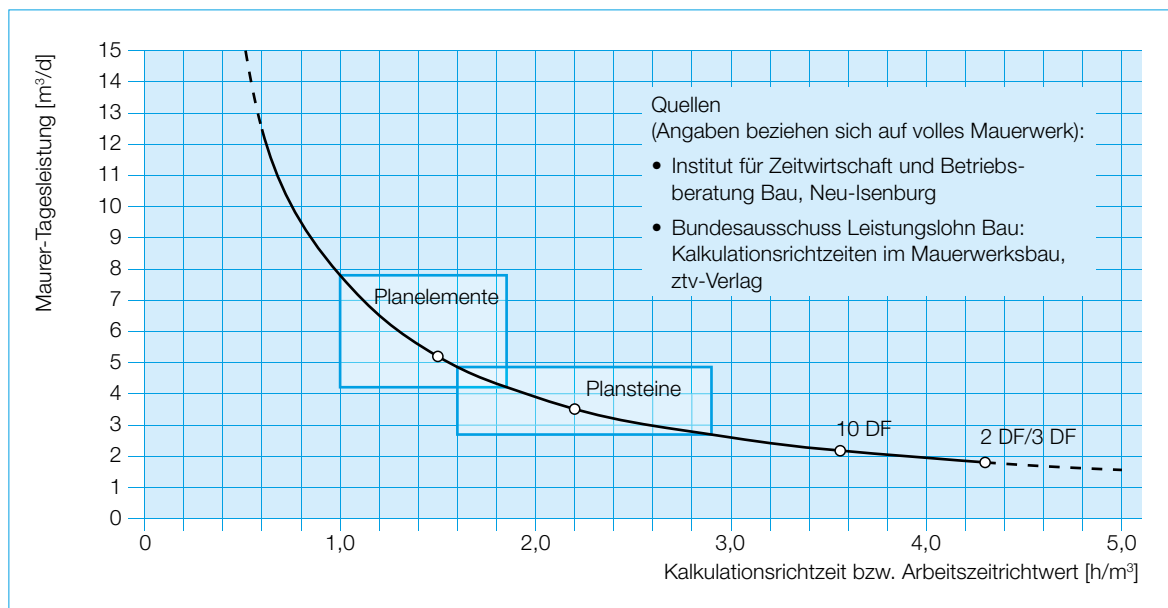


Abb. 10.1: Anzahl der Steine pro m² Wandfläche bei konventionellem Mauerwerk, Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen und aus Porenbeton-Planelementen

Abb. 10.2: Produktivität bei der Verarbeitung von Mauersteinen mit unterschiedlichen Formaten



gegliedertes, weniger gegliedertes oder Mauerwerk ohne Öffnungen (z. B. Haustrennwände) handelt, ist zu entscheiden, welches Wandbauprodukt aus Porenbeton sinnvoll eingesetzt werden kann.

Durch die für den Mauerwerksbau gültige Modulordnung ist ein Wechsel zwischen einzelnen Porenbetonprodukten wie auch zu den Formaten anderer Mauersteinarten möglich. Dies gilt gleichermaßen für die Länge und die Höhe der Produkte.

Eine wirtschaftliche Bauausführung ergibt sich besonders dann, wenn Teile eines Bausystems so gut aufeinander abgestimmt sind, dass nachgeschaltete Arbeitsgänge entweder vereinfacht werden (z. B. die Oberflächenbehandlung oder das Herstellen von Aussparungen) oder völlig entfallen können (z. B. Verzicht auf die Stoßfugenvermörtelung).

Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit hat auch die Art der Vermörtelung. Traditionelles Mauerwerk ist durch einen hohen Mörtelverbrauch gekennzeichnet, der bis zu 20 % und mehr des Gesamtbauvolumens betragen kann. Neben den Ungenauigkeiten in der Verarbeitung hat dies einen hohen handwerklichen Aufwand und auch lange Austrocknungszeiten zur Folge. Wandbauprodukte aus Porenbeton, industriell hergestellt und mit geringen Maßabweichungen, nur in den Lagerfugen mit Dünnbettmörtel vermauert (ohne Stoßfugenvermörtelung), erlauben deutliche Einsparungen bei Mörtelverbrauch und Herstellungszeit.

Auch durch die leichte Bearbeitbarkeit von Porenbeton können die Verarbeitungszeiten und somit die Lohnkosten reduziert werden. Zuschnitte, Aussparungen, Durchbrüche und Schlitzlöcher können relativ

schnell durch Sägen, Bohren oder Fräsen hergestellt werden. Technik, Werkzeuge und Maschinen entsprechen weitgehend denen, die auch für die Bearbeitung von Holzwerkstoffen eingesetzt werden. Auf die planebenen Oberflächen können Fliesen direkt im Dünnbettverfahren oder ein Dünnlagenputz aufgebracht werden. Auf Porenbeton abgestimmte Putzsysteme bieten die Möglichkeit einer schnellen Oberflächenbehandlung mit geringem Materialbedarf.

Eventuelle Beschädigungen von Bauteilen aus Porenbeton können leicht ausgebessert werden. Mit einem speziellen Ausbesserungsmörtel wird eine Struktur erreicht, die der des Porenbetons entspricht. Nach dem Erhitzen wird die ausgebesserte Stelle dann so abgeschliffen, dass sie gegenüber der regulären Bauteiloberfläche nicht aufträgt. So werden kurze Bearbeitungszeiten bei hoher Genauigkeit ermöglicht.

Auch bei Modernisierungen und anderen Bauaufgaben mit differenzierten oder unregelmäßigen Anschlüssen, bei denen viele Anpassungen erforderlich sind, wirkt sich die Möglichkeit der einfachen Materialbearbeitung positiv auf die Lohnkosten aus.

Der Produkttransport ist ein weiterer Faktor für eine wirtschaftliche Bauausführung. Grundsätzlich gilt für alle Produkte aus Porenbeton, dass auf Grund des geringen Gewichts auch geringere Transportkosten vom Werk zur Baustelle entstehen. Das günstige Verhältnis von Gewicht zu Volumen erlaubt es, die Transportkapazitäten voll auszunutzen. Das geringe Gewicht des Porenbetons wirkt sich auch bei der Überführung auf der Baustelle von der Zwischenlagerfläche zum Einbauort aus.

10.2 Verarbeitung

10.2.1 Plansteine

Für einen raschen und fachgerechten Baufortschritt und zur Erleichterung der Arbeit werden im Porenbeton-Bausystem folgende Werkzeuge eingesetzt:

- Rührquirl oder Rührwerk zum Anrühren des Dünnbettmörtels
- Plansteinkellen in unterschiedlichen Breiten zum vollflächigen Auftragen von Dünnbettmörtel für alle Steinbreiten
- Nivelliergerät und Richtschnur
- Gummihammer zum Ausrichten der Steine
- Schlauch- oder Wasserwaage zum Ausrichten der Steine
- Widia-Handsäge, elektrischer Fuchsschwanz oder Bandsäge zum Schneiden von Passstücken
- Porenbeton-Reibebrett und Plansteinhobel zum Abgleichen eventueller baubedingter Unebenheiten in den Lagerfugen und Wandoberflächen
- Anreißwinkel als Hilfe für winkelgenaues Sägen

Außen- und Innenwände aus Porenbetonmauerwerk werden vor dem Errichten gemäß DIN 18533-1 [10.1] durch eine horizontale Querschnittsabdichtung zwischen Bodenplatte und erster Steinlage gegen aufsteigende Feuchte geschützt. Die Abdichtungsschicht besteht in der Regel aus einer mineralischen, flexiblen Dichtungsschlämme. Alternativ können besandete Bitumenbahnen zum Einsatz kommen.

Der Untergrund (Stahlbeton-Bodenplatte) muss tragfähig, sauber und staubfrei sein. Lose Bestandteile sind zu entfernen. Das Auftragen der mineralischen Dichtungsschlämme (alternativ in Kombination mit einer Grundierung) in 2-facher Schlämmfolge erfolgt frisch in frisch mit einer Bürste (Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller beachten!). Sie sollte auf beiden Seiten 10 cm breiter als die Mauerwerksdicke sein (Abb. 10.3).

Auf die Querschnittsabdichtung wird ein Mörtelbett der Mörtelgruppe III in einer Dicke von 10 bis 12 mm und in Steinbreite aufgetragen (Abb. 10.4), wodurch ein flucht- und lotrechtes Ausrichten der ersten Steinlage und damit ein exaktes Versetzen der Wand ermöglicht wird.

Auf das Mörtelbett wird an jeder Gebäudeecke ein Stein gesetzt und in Höhe und Flucht exakt mit einer



Abb. 10.3: Auftragen der mineralischen Dichtungsschlämme in 2-facher Schlämmfolge frisch in frisch mit einer Bürste



Abb. 10.4: Auftragen des Mörtelbettes der Mörtelgruppe III in Steinbreite auf der mineralischen Dichtungsschlämme



Abb. 10.5: Versetzen der Porenbeton-Plansteine und Ausrichten mit Gummihammer

Schlauchwaage oder einem Nivelliergerät ausgerichtet. Die weiteren Steine werden per Hand versetzt und mit einem Gummihammer ausgerichtet (Abb. 10.5). Die waagerechte und fluchtgerechte Verlegung der ersten Steinlage ist mit Richtschnur und Wasserwaage zu kontrollieren, denn zu diesem Zeitpunkt entscheidet sich bereits, ob die Wand gerade versetzt wird. Wird bei der ersten Steinlage besonders sorgfältig gearbeitet, liegen auch die Folgeschichten

Abb. 10.6: Beseitigen von ausführungsbedingten Unebenheiten mit einem Schleifbrett



waagrecht und fluchtgerecht. Gegebenenfalls können ausführungsbedingte Unebenheiten in der waagerechten Oberfläche der versetzten Steinlage mit einem Plansteinhobel oder einem Schleifbrett beseitigt werden (Abb. 10.6).

Die weiteren Steinlagen werden unter Beachtung des Überbindemaßes von $0,4 \times H$ – bei Plansteinen mit einer Höhe von $H = 249 \text{ mm}$ also mindestens 100 mm – nach DIN EN 1996-1-1/NA [10.2] (EC 6) mit Dünnbettmörtel vermauert. Nachdem Staub und lose Teile abgekehrt wurden, wird mit einer der Steinbreite entsprechenden Plansteinkelle der Dünnbettmörtel vollflächig auf die Lagerfuge aufgetragen (Abb. 10.7). Der Planstein wird möglichst genau aufgesetzt und mit einem Gummihammer ausgerichtet und festgeklopft. Mörtel, der dabei aus den Fugen austritt, wird nicht glattgestrichen, sondern mit der Kelle entfernt. Mörtelreste würden sonst die Haftung zwischen Mauerwerk und später aufzutragendem Putz beeinträchtigen. Stoßfugen mit Nut- und Federverbindung werden mörtelfrei ausgeführt, offene Stoßfugen $> 5 \text{ mm}$ müssen mit geeignetem Mörtel geschlossen werden.

Bei Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen werden die Außenwandecken als einbindende Verzahnung ausgeführt. Hier kommen Porenbeton-Ecksteine zum Einsatz, die entweder nur eine Stoßfuge mit Nut

Abb. 10.7: Auftrag des Dünnbettmörtels auf der Lagerfuge einer Steinschicht mit Plansteinkelle

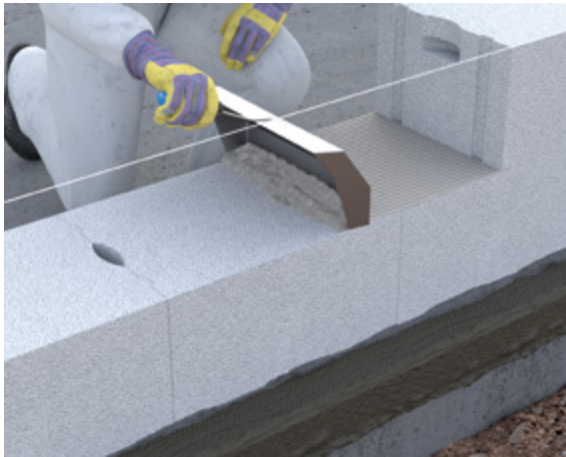
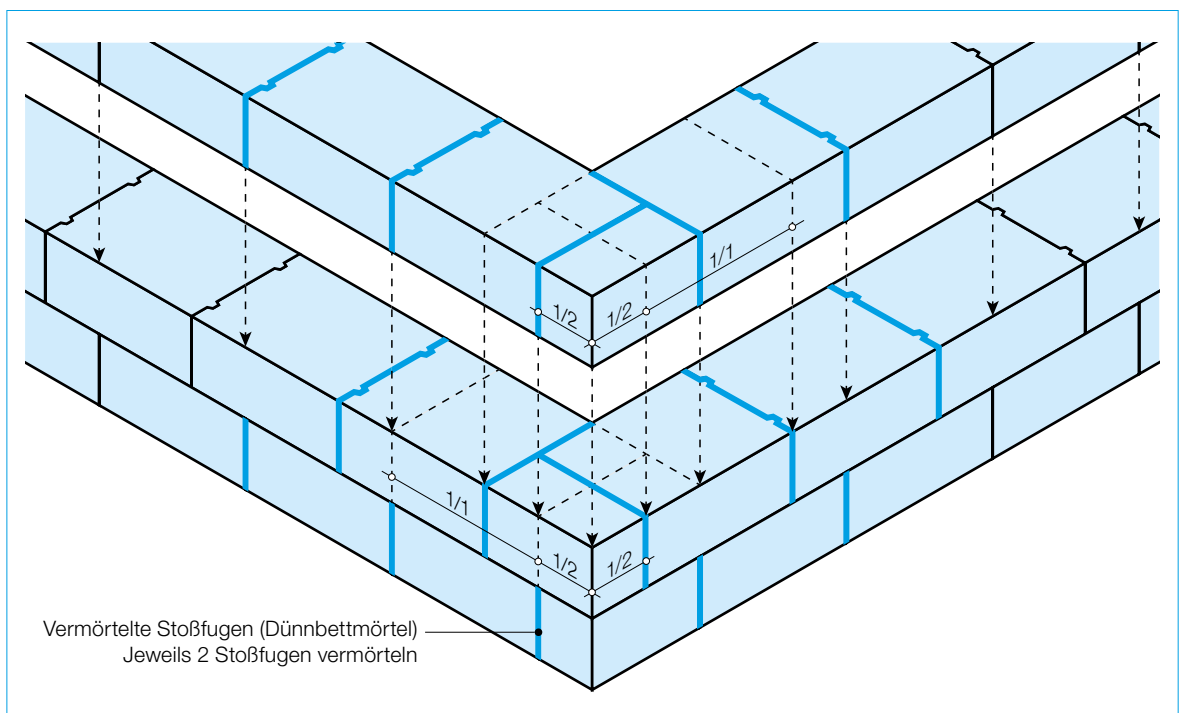


Abb. 10.8: Empfehlung für die Ausführung von Außenecken bei Steinbreiten $B > 365 \text{ mm}$



aufweisen oder beidseitig glatt sind. Dies ist von Vorteil für nachgeschaltete Arbeitsschritte, z. B. beim Aufbringen des Außenputzes. Ausgehend von der Gebäudeeckkante sind dabei jeweils die ersten beiden Stoßfugen zu vermörteln (Abb. 10.8 und 10.9).

Beim Brüstungsmauerwerk ist aufgrund unterschiedlicher Lastabtragungen und Spannungskonzentrationen eine sehr genaue Ausführung notwendig. Auf

das normative Überbindemaß der Plansteine von mindestens 100 mm ist hier besonders zu achten. Stoßfugen in Verlängerung der Laibungen sollten vermieden werden. Ab einer lichten Öffnungsweite des Fensters $\geq 1,0$ m sollte in der obersten Dünnbettmörtel-Lagerfuge eine Lage geeignetes Gewebe einlegt werden, wodurch auftretende Spannungen auf die gesamte Brüstungsfläche verteilt werden (Abb. 10.10).

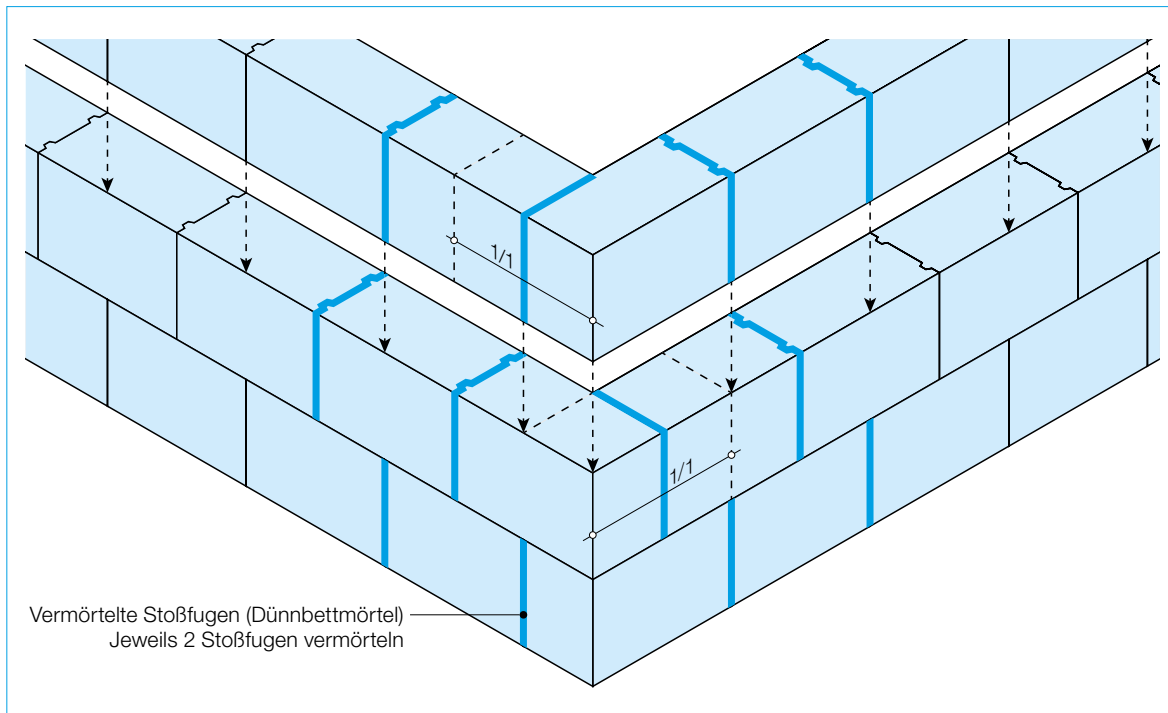


Abb. 10.9: Empfehlung für die Ausführung von Außenecken bei Steinbreiten $B \leq 365$ mm

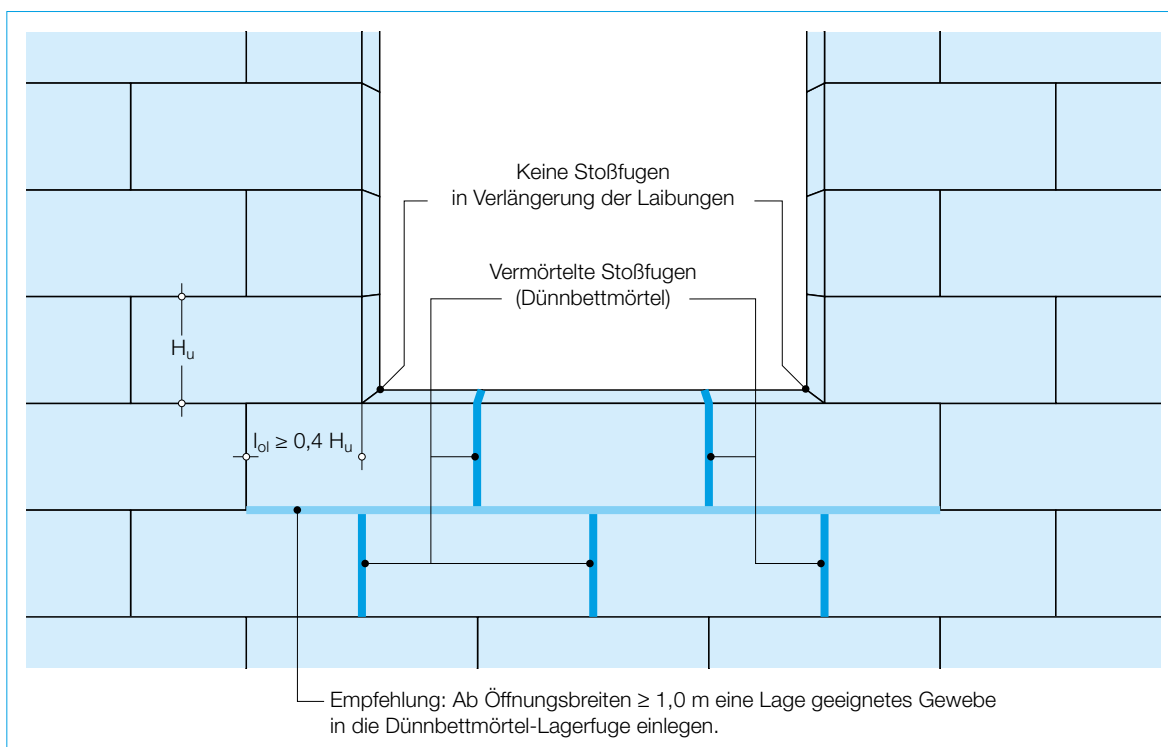


Abb. 10.10: Empfehlung für die Ausführung von Brüstungsmauerwerk

Alle übrigen Wandanschlüsse, z. B. die zug- und druckfeste Verbindung von aussteifenden Innenwänden und aussteifenden Außenwänden, werden in Stumpfstoßtechnik hergestellt (Abb. 10.11). Dazu werden Maueranker in die satt aufgetragene Dünnbettmörtel-Lagerfuge der aussteifenden Wand eingedrückt. Die Anzahl der erforderlichen Maueranker ist von der Wandauflast der aussteifenden Wand und der Tragfähigkeit der Anker abhängig. Die aussteifenden Wände werden erst eingebaut, wenn die

aussteifenden Wände stehen. Beim Verbinden der Wände werden die Maueranker in die Lagerfugen-Mörtelschichten der aussteifenden Wand eingelegt. Zum Einbinden der anschließenden Wände wird der Maueranker in die Mörtelschicht des anschließenden Steines gedrückt. Die Stoßfuge zwischen den Wänden wird vollständig vermörtelt.

Luftschicht-Maueranker für zweischaliges Mauerwerk aus Porenbeton mit Wärmedämmung und Vormauerschale müssen ebenfalls waagrecht eingebaut werden (Abb.10.12). Dazu werden diese in die jeweiligen Mörtelschichten der Lagerfuge der tragenden Innenschale aus Porenbeton und der Vormauerschale eingedrückt. Bei unterschiedlichen Schichthöhen zwischen Hintermauerung und Vormauerschale werden spezielle Maueranker-Systeme nachträglich in der tragenden Porenbeton-Hintermauerung verdübelt. Die Anzahl der anzuordnenden Maueranker pro m² Wandfläche hängt von der Art der Maueranker-Systeme und den statisch aufzunehmenden Lasten ab (Windlasten, Fläche und Höhe der zu verankernden Vormauerschale).

Abb. 10.11: Einlegen eines Mauerankers zur Erstellung einer zug- und druckfesten Verbindung von Porenbetonwänden (Stumpfstoßtechnik)



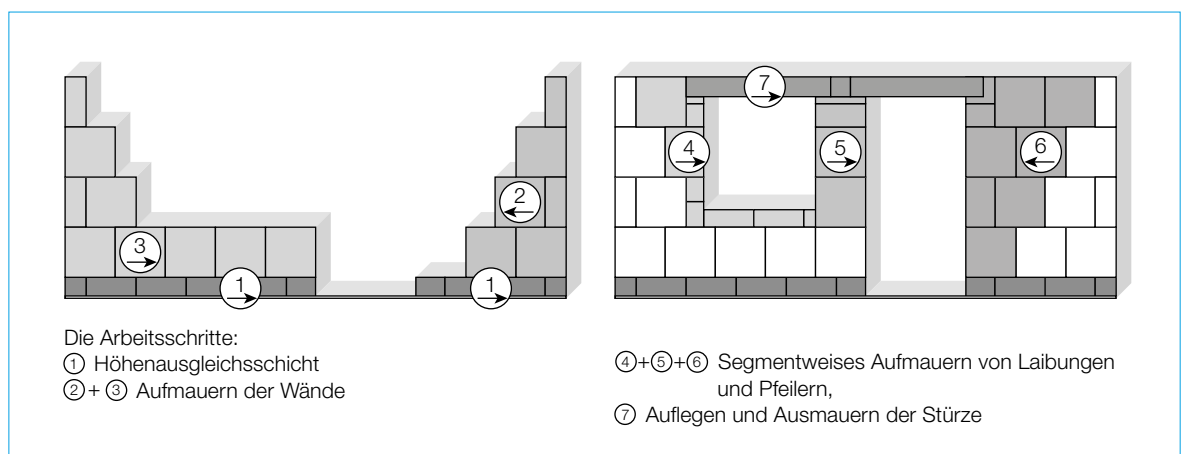
Abb. 10.12: Einlegen eines Luftschicht-Mauerankers bei zweischaligen Außenwänden in die Lagerfuge der Innenschale aus Porenbeton



10.2.2 Planelemente

Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen wird mit Hilfe eines Minikrans und einer Versetzzange idealerweise im Zwei-Mann-Team errichtet, dies ermöglicht einen zügigen Baufortschritt. Ein Maurer versetzt mit Hilfe des Minikrans Porenbeton-Planelemente und richtet sie aus. Er legt Öffnungen an, baut Maueranker für Stumpfstoßanschlüsse und Luftschicht-Maueranker für zweischaliges Mauerwerk ein. Der Helfer bedient den Minikran und ist für das Bereitstellen und Aufnehmen der Planelemente, das zeitgerechte Anfertigen von Passsteinen sowie das Mischen und Bereitstellen des Dünnbettmörtels zuständig.

Abb. 10.13: Beispiel für einen Wandabwicklungsplan für die Erstellung einer Wand mit Porenbeton-Planelementen



Bereits in der Planungsphase sollte ein Wandabwicklungsplan erstellt werden, damit Grundriss und Steinformate optimal aufeinander abgestimmt sind (Abb. 10.13). Nach Möglichkeit werden ganze Planelemente verwendet, um den Aufwand für die Herstellung von Passsteinen und damit die Bearbeitungszeiten und Materialkosten zu verringern.

Auch bei der Ausführung auf der Baustelle ist auf einen rationellen Bauablauf zu achten. Begonnen wird mit dem Mauern der Wandecken. Anschließend wird das dazwischen liegende Porenbetonmauerwerk abschnittsweise entsprechend dem Schwenkbereich des Minikrans errichtet.

Ebenso wie beim Plansteinmauerwerk wird beim Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen zunächst eine Querschnittsabdichtung und darüber ein Mörtelbett (MG III) auf der Bodenplatte erstellt. Um die geplante Geschosshöhe zu erzielen, kann eine Ausgleichsschicht (Kimmschicht) aus Höhenausgleichsteinen als erste Schicht erforderlich sein (Abb. 10.14). Die weitere Verarbeitung erfolgt in Dünnbettmörtel. Das Planelement wird möglichst passgenau auf den endgültigen Platz eingeschwenkt (Abb. 10.15), in das Mörtelbett abgesetzt, ausgerichtet und festgeklopft.

Die Rationalisierungsvorteile des Mauerns mit Porenbeton-Planelementen machen sich schon bei mittlerem Bauvolumen bemerkbar, bei größeren Bauvorhaben mit wenig gegliedertem Mauerwerk werden die wirtschaftlichen Vorteile optimal genutzt. Gute Planung und Baustellenorganisation sowie auf das Rastermaß der zu erstellenden Wand abgestimmte Steinmaße sind Voraussetzungen, um Arbeitszeit und Arbeitskraft einzusparen.



Abb. 10.14: Auftrag des Dünnbettmörtels mit einer Plansteinkelle auf Höhenausgleichsschicht (Kimmschicht) für darüber aufgehendes Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen

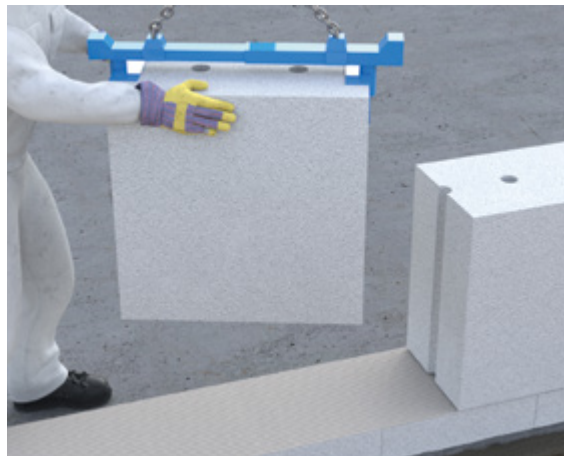


Abb. 10.15: Versetzen von Porenbeton-Planelementen mit Minikran und Greifzange

Die aufeinander abgestimmten Standardhöhen der verschiedenformatigen Porenbeton-Planelemente schaffen Flexibilität beim Wandhöhenentwurf. Jede gewünschte Geschosshöhe kann mit oder ohne Höhenausgleichsschicht errichtet werden, ohne dass Planelemente geschnitten werden müssen (Abb. 10.16).

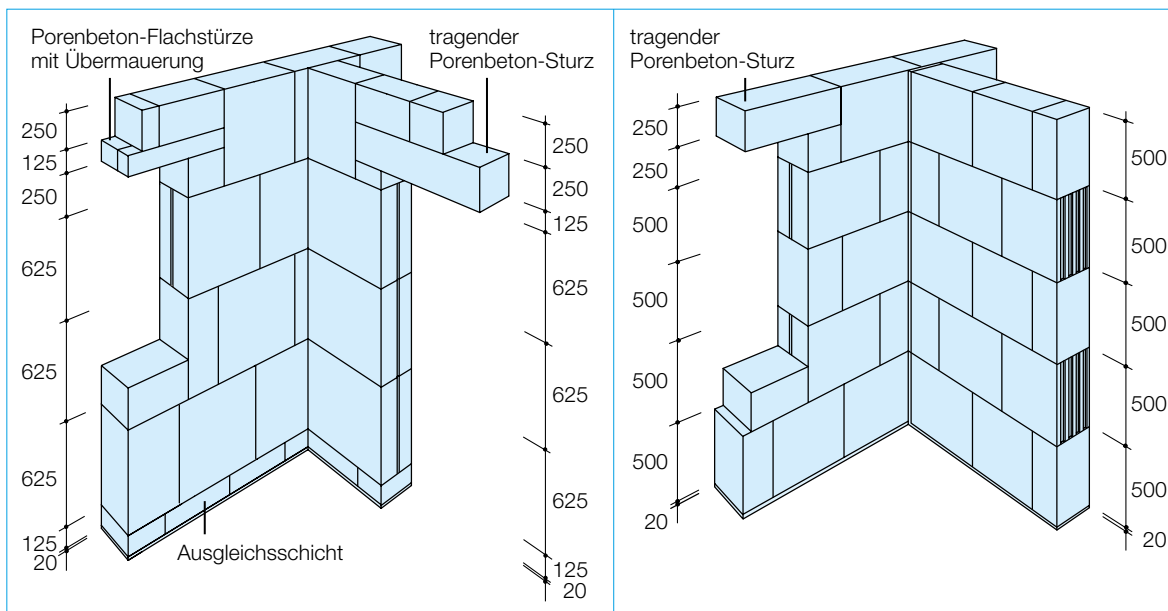


Abb. 10.16: Planung der Geschosshöhe mit und ohne Höhenausgleichsschicht

Passtücke für den Längenausgleich und im Auflagerbereich von Stürzen werden aus Porenbeton-Plansteinen oder Porenbeton-Planelementen auf der Bandsäge vor Ort millimetergenau zugeschnitten.

10.2.3 Maßnahmen gegen Regen

Während der Rohbauphase ist Niederschlagswasser weder vorhersehbar noch vermeidbar, aber damit einhergehender Feuchteintrag sollte minimiert werden. Porenbetonsteine werden auf Werkspaletten mit Folienverpackung zur Baustelle geliefert. So sind die Steine vor der Verarbeitung gegen Durchfeuchtung geschützt. Frisch erstelltes Mauerwerk ist bis zum Abbinden des Dünnbettmörtels vor direktem Regen zu schützen. Mauerwerkskronen und Fensterbrüstungen sind abzudecken. Bei anhaltend starkem Regen sollte nicht gemauert werden.

10.2.4 Mauern bei Frost

Mauerwerk darf bei Frost nur unter besonderen Schutzmaßnahmen ausgeführt werden, d. h. in der Regel ist ein Mauern bei Frost nicht möglich und

nicht zulässig. Mauerwerk soll nur bei einer Temperatur (Lufttemperatur und Temperatur im Baustoff) ab +5 °C ausgeführt werden. Diese Temperatur sollte auch bis zu einem Mauerwerksalter von ca. 1 Woche im Mittel nicht wesentlich unterschritten werden. Gefrorene Baustoffe, Frostschutzmittel und Auftausalze dürfen nicht verwendet werden. Durch Frost geschädigtes Mauerwerk ist zu entfernen.

10.3 Bearbeitung

Passtücke

Passtücke können leicht mit einer Handsäge hergestellt werden, da sich Porenbeton ähnlich einfach wie Holz sägen, bohren und fräsen lässt (Abb. 10.17).

Ein schnelleres, millimetergenaues Herstellen von Passtücken aus Porenbeton-Plansteinen oder -Planelementen ist mit einer Bandsäge möglich (Abb. 10.18). Die Sägezähne des Bandsägeblatts sind gehärtet oder hartmetallbestückt.

Durchbrüche, Schlitze und Bohrungen für Installationen

Bei der Erstellung von Durchbrüchen in Mauerwerk aus Porenbeton wirkt sich die gute Bearbeitbarkeit des Materials vorteilhaft aus, da Durchbrüche und Ausnehmungen nicht gestemmt werden dürfen. Es sind immer materialgerechte Werkzeuge wie Fräsen, Sägen und Bohrer zu verwenden.

Für die Herstellung von Aussparungen für Unterputzschalter und Verteilerdosen werden Steckdosenbohrer benutzt (Abb. 10.19). Vertiefungen und Leitungsschlitze lassen sich mit einem Schlitzkratzer (Abb. 10.20) oder einer Mauerschlitzfräse (Abb. 10.21) herstellen.

Abb. 10.17: Herstellung von Passtücken mit einer Handsäge



Abb. 10.18: Herstellung von Passtücken mit einer Bandsäge



Abb. 10.19: Bohren von Aussparungen für Unterputzschalter und Verteilerdosen mit einem Steckdosenbohrer



Abb. 10.20 (links): Auskratzen von Leitungsschlitzten mit einem Schlitzkratzer

Abb. 10.21 (rechts): Fräsen von Leitungsschlitzten mit einer Mauerfräse

10.4 Oberflächenbehandlung

10.4.1 Allgemeines

Wandbauprodukte aus Porenbeton sind Baustoffe für den Rohbau, die gegen Witterungseinflüsse geschützt werden müssen. Im Vergleich zu anderen Baustoffen haben sie Eigenschaften, die sich vorteilhaft auf die Oberflächengestaltung auswirken. Die Oberfläche von Porenbetonprodukten ist sehr eben und erfordert einen nur dünnen Putz. Auch eine Kellerwandabdichtung kann direkt auf planebenen Porenbetonwände aufgebracht werden.

Das Spektrum der Möglichkeiten bei der Gestaltung der Wandoberflächen reicht von Beschichtungen über Putze bis hin zu Bekleidungen. Die Auswahl kann nach funktionalen und gestalterischen Kriterien oder auch in Anlehnung an die am jeweiligen Ort üblichen Ausführungen erfolgen.

Auch für besondere Beanspruchungen stehen Systeme aus Porenbeton mit Putz oder Beschichtung für z. B. folgende Umgebungsbedingungen zur Verfügung:

- Hohe Innenraum-Luftfeuchte (z. B. in Schwimmbädern)
- Aggressives Innenraumklima (z. B. in der Industrie)
- Extreme Temperaturwechsel innen und außen
- Erschütterungen (z. B. durch Nutzung)

Zu den verschiedenen Arten der Oberflächenbehandlung enthalten die technischen Merkblätter und Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller von Putzen, Beschichtungen und Bekleidungen sowie das Berichtsheft 7 des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e.V. [10.3] weitere Informationen.

10.4.2 Kellerwandabdichtung

Zum Schutz der Bauwerke vor Feuchtigkeit und eindringendem Wasser müssen Kellerwände im Erd- und Sockelbereich nach DIN 18 533-1 „Abdichtung von erdberührten Bauteilen“ mit einer Abdichtung versehen werden. Die Wahl der Abdichtungsart ist abhängig von der Wassereinwirkungsklasse, der Bodenart, der Geländeform am geplanten Bauwerksstandort, den zu erwartenden mechanische Beanspruchungen aus Setzungsunterschieden und/oder Erddruck sowie von der Nutzung des Bauwerks. Die Kellerwandabdichtung muss planmäßig bis 300 mm über Gelände hochgeführt werden, um ausreichende Anpassungsmöglichkeiten der Geländeoberfläche sicherzustellen. Im Endzustand darf dieser Wert 150 mm nicht unterschreiten. Die Abdichtung muss unten über den Fundamentabsatz oder die Bodenplatte geführt werden und die waagerechte Abdichtung überdecken, so dass keine Feuchtigkeitsbrücken entstehen können (siehe Kapitel 6 „Feuchte“ und 9 „Konstruktionen“).

Als Kellerwandabdichtung auf Porenbetonmauerwerk haben sich polymermodifizierte Bitumendickbeschichtungen (PMBC) gemäß DIN 18533-3 [10.4] bewährt. Dies sind pastöse, spachtel- oder spritzfähige Massen auf Basis von polymermodifizierten Bitumenemulsionen (ein- oder zweikomponentig) entsprechend DIN EN 15814 [10.5].

Zum Aufbringen von PMBC muss der Untergrund frostfrei, fest, eben und frei von trennenden Substanzen wie Trennmittel, Staub oder Schmutz sein. PMBC dürfen nur bei Luft- und Bauteiltemperaturen > +5 °C verarbeitet werden.

Innenecken und Wand-/Bodenanschlüsse sind als Dichtungskehlen auszubilden. Diese können in der

Regel mit systemkompatiblen Mörteln in einem Radius von 4 cm bis 6 cm ausgeführt werden. Es ist ein auf den Untergrund abgestimmter Mörtel zu verwenden, der keine kapillare Wasserleitfähigkeit hat. Alternativ kann, sofern im Merkblatt des Herstellers zugelassen, die Dichtungskehle aus zweikomponentiger PMBC hergestellt werden. Hierbei darf ein Radius von 2 cm nicht überschritten werden.

Nicht verschlossene Vertiefungen > 5 mm wie beispielsweise Griffaschen oder Ausbrüche sind mit geeigneten Mörteln zu schließen. Offene Stoßfugen ≤ 5 mm und evtl. vorhandene Unebenheiten von Steinen müssen entweder durch mineralische Spachtelung, mineralische Dichtungsschlämme (MDS) oder Kratzspachtelung mit der PMBC egalisiert werden. Außenseitig überstehende Bahnen zur Querschnittsabdichtung sind abzuschneiden.

Polymermodifizierte Bitumendickbeschichtungen (PMBC) sind in mindestens zwei Arbeitsgängen, abhängig von der Wassereinwirkungsklasse, mit oder ohne Verstärkungseinlage auszuführen. Der Auftrag muss vollflächig deckend und gleichmäßig dick erfolgen, grobe Kellenschläge sind zu vermeiden. Ein Mehrverbrauch durch die Rauigkeit des Untergrundes ist zu berücksichtigen, es sei denn es wurde eine Kratzspachtelung vorgenommen. Handwerklich bedingt sind Schwankungen der Schichtdicke beim Auftragen des Materials nicht auszuschließen und ebenfalls zu berücksichtigen. Die vom Hersteller vorgegebene Nassschichtdicke zum Erreichen der notwendigen Mindest-Trockenschichtdicke (3 bis 4 mm je nach Wassereinwirkungsklasse) sollte an keiner Stelle um mehr als 100 % in der Fläche überschritten werden.

Bei den Wassereinwirkungsklassen W1-E und W4-E nach DIN 18533-1 können die Arbeitsgänge frisch in frisch erfolgen, bei den Wassereinwirkungsklassen W2.1-E und W3-E ist eine Verstärkungseinlage in die erste Abdichtungslage einzuarbeiten. Vor Ausführung der zweiten Abdichtungslage muss die erste Abdichtungslage soweit getrocknet sein, dass sie durch den darauffolgenden Auftrag nicht beschädigt wird. Bei Arbeitsunterbrechungen muss die PMBC „auf Null“ ausgezogen werden. Bei Wiederaufnahme der Arbeiten wird mindestens 10 cm überlappend weitergearbeitet. Arbeitsunterbrechungen dürfen nicht an Gebäudeecken, Kehlen oder Kanten erfolgen.

Schutzschichten müssen die Abdichtung sicher vor Beschädigungen schützen. Sie können gleichzeitig

auch die Funktion einer Dämmung und/oder Dränung übernehmen. Es eignen sich zum Beispiel:

- Noppenbahnen mit Gleit-, Schutz und Lastverteilungsschicht
- Bautenschutzmatten und -platten aus bitumenverträglichem Gummi- oder Polyethylengranulat, Dicke mindestens 6 mm
- Perimeterdämmplatten aus Hartschaum oder Schaumglas
- Platten aus Hartschaum, Dicke mindestens 25 mm
- Dränmatten/-platten, Dicke mindestens 25 mm

10.4.3 Putze

Außen- und Innenputze sind Beläge aus Mörtel, die auf Wände in bestimmter Dicke aufgetragen werden und die nach Verfestigung ihre endgültigen Eigenschaften besitzen. Putze übernehmen neben gestalterischen Aspekten je nach verwendeten Mörteln auch bauphysikalische Aufgaben, z. B. den Schlagregenschutz und den Feuchteschutz (Regulierung der Raumfeuchte).

Neben den europäischen Normen DIN EN 13914-1 [10.6] für Außenputze und DIN EN 13914-2 [10.7] für Innenputze gelten in Deutschland zusätzlich die Normen DIN 18550-1 [10.8] und DIN 18550-2 [10.9] für die „Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen“ mit „Ergänzenden Festlegungen zu DIN EN 13914-1 und DIN EN 13914-2“. Entspricht der Putzmörtel DIN EN 998-1 [10.10], wird er mit einem CE-Kennzeichen versehen.

Für die Erhärtung der Putze sorgen mineralische oder organische Bindemittel. Putze mit mineralischen Bindemitteln werden nach DIN 18550-1 in vier Putzmörtelgruppen gegliedert. Dieser Gliederung entsprechend sind die Unterscheidungskriterien das Bindemittel (Kalk, Kalk-Zement-Gemische, Zement, Gips, Gips-Kalk-Gemische), die Druckfestigkeit sowie der Anwendungsbereich. Wichtig ist, dass die Druckfestigkeit des Putzmörtels niedriger ist als die des Untergrundes. Ebenso soll bei mehreren aufeinanderfolgenden Putzlagen im Regelfall die Festigkeit der einzelnen Schichten zum Deckputz hin abnehmen. Dadurch soll verhindert werden, dass in äußeren Putzschichten höhere Spannungen entstehen als die darunter liegende Schicht aufnehmen kann. Brand-schutztechnisch gehören Putze mit mineralischen Bindemitteln zur Baustoffklasse A1 (nicht brennbar).

Kriterien der Herstellung von mineralischen Putzen sind der DIN EN 998-1 zu entnehmen.

Für Putze mit organischen Bindemitteln nach DIN EN 15824 [10.11] wird als Bindemittel eine Kunstharzdispersion verwendet, während die übrigen Bestandteile mineralische Zuschlagstoffe und Füllstoffe, Pigmente und Zusatzmittel sind. Kunstharzputze haben als Oberputze auf mineralischen Putzen oder Wärmedämmverbundsystemen eine weite Verbreitung gefunden. Putze mit organischen Bindemitteln gehören brandschutztechnisch zur Baustoffklasse B2 (schwer entflammbar).

Früher wurden Putzmörtel auf der Baustelle aus mineralischen Bindemitteln mit Sanden gemischt. Solche Baustellenmörtel können die heute an einen Putz gestellten Anforderungen nicht mehr erfüllen. Daher werden meist fabrikmäßig hergestellte Werk trockenmörtel verwendet, die eine wesentlich größere Anwendungssicherheit bieten. Durch kontrollierte Produktionsbedingungen gewährleisten die Hersteller eine gleichbleibende Lieferqualität. Aus Werk trockenmörtel entsteht durch Zugabe von Wasser und durch Mischen auf der Baustelle ein gebrauchsfertiger Frischmörtel in verarbeitungsfertiger Konsistenz.

Vor dem Auftrag eines Putzmörtels hat der Putzgrund bestimmte Eigenschaften aufzuweisen. Er muss fest, frostfrei, frei von Staub, frei von losen Teilen und frei von trennenden Substanzen sein. Vor Beginn der Putzarbeiten sind je nach Situation und System folgende vorbereitende Arbeiten notwendig:

- Abfegen von Staub und losen Teilen sowie die Entfernung von Mörtelresten.
- Verspachteln von Ausbrüchen und Schlitzen.
- Evtl. Verfüllen größerer Aussparungen wie Griffhilfen und Nuten im Wandeckbereich. Dies entfällt bei der Verwendung von Ecksteine aus Porenbeton, die an der Außenseite eine glatte Stoßfuge aufweisen.
- Für das Verfüllen von an der Wandoberfläche sichtbaren Griffhilfen und Nuten sowie von Transport- und Montagebeschädigungen werden Füllmörtel (Dämm-Mörtel) verwendet, die geeignet sind, zusammen mit Porenbeton einen homogenen Untergrund zu gewährleisten.
- Schließen von senkrechten Fugen, deren Breite größer als 5 mm ist, mit Leichtmörtel.

- Einbetten von Putzbewehrungen in Form rissverteilender Gewebe an Stellen, an denen der Untergrund wechselt, z. B. beim Anschluss von Porenbetonmauerwerk an Rollladenkästen. Ebenso werden Glasfasergewebe an kerbrissgefährdeten Stellen eingelegt, wie einspringende Ecken von Brüstungen oder Stürzen. Eine Gewebeeinlage verhindert nicht das Entstehen von Rissen, sie sorgt jedoch dafür, dass die aus einer Rissaufweitung resultierenden Spannungen auf einen größeren Bereich mit kleineren, unschädlichen Rissbreiten verteilt werden.
- Einbau von Sockelabschluss-Schienen (Abb. 10.22) und Eckschutzprofilen an Wandecken (Abb. 10.23).
- Gegebenenfalls Vornässen oder Grundieren des Putzgrundes. In Einzelfällen ist der Untergrund mit einem Spritzbewurf zu versehen (Verarbeitungsrichtlinien der Putzhersteller sind zu beachten).

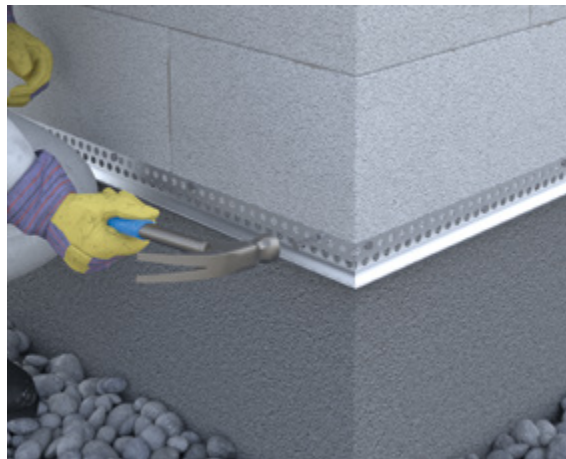


Abb. 10.22: Sicherung der unteren Gebäudekante durch Sockelabschluss-Schienen



Abb. 10.23: Sicherung der senkrechten Gebäudekanten durch Eckschutzprofile

Außenputze

Putze auf Außenwänden haben die Aufgabe, die Wand vor Witterungseinflüssen zu schützen. Gleichzeitig sind sie durch ihre Struktur und Farbe ein wesentliches Gestaltungselement für das Gebäude. Der Witterungsschutz ist umso wirkungsvoller, je mehr ein Schutz gegen Feuchtigkeit, Regen oder Beschädigungen bereits durch konstruktive Maßnahmen geschaffen wurde (siehe Kapitel 6 „Feuchte“).

Abb. 10.24: Einlagiger Leichtputz als Außenputz auf Porenbetonmauerwerk – manuelles Aufbringen der ersten Schicht



Abb. 10.25: Einlagiger Leichtputz als Außenputz auf Porenbetonmauerwerk – planebenes Abziehen mit einem Richtscheit



Abb. 10.26: Einlagiger Leichtputz als Außenputz auf Porenbetonmauerwerk – Aufbringen der zweiten Schicht und Strukturieren der Oberfläche



Außenputzsysteme auf Porenbetonmauerwerk werden nach Beanspruchung bzw. Anwendungsbereich unterschieden in:

- Außenwandputz
- Außensockelputz im spritzwassergefährdeten Bereich
- Kelleraußenwandputz auf Porenbetonmauerwerk

Außenputze werden ein- oder mehrlagig auf den Untergrund aufgetragen. Auf Außenwänden aus Porenbetonmauerwerk werden mineralische Leichtputzsysteme als Werk trockenmörtel verwendet. Diese Putze sind in ihren physikalischen Eigenschaften auf Porenbeton abgestimmt (geringe Wärmeleitfähigkeiten $\lambda \leq 0,23 \text{ W/mK}$, wasserabweisend, wasserdampfdurchlässig) und entsprechen auch den Anforderungen der Porenbetonhersteller. Außenputze auf Porenbeton weisen ähnliche Rohdichten (Trockenrohichten $< 1.100 \text{ kg/m}^3$) und Festigkeiten auf wie der Untergrund Porenbeton.

Leichtputze werden einlagig oder zweilagig als Leichtunterputz und Leichtoberputz verarbeitet. Die Verarbeitungsrichtlinien der Putzmörtelhersteller, insbesondere hinsichtlich der Untergrundvorbereitung, sind zu beachten. Ein Spritzbewurf oder eine Grundierung des Untergrundes ist nicht immer notwendig. Das Vornässen kann jedoch bei anhaltender Trockenheit, Hitze oder starkem Wind notwendig sein.

Auch Kunstharzputze entsprechend der DIN 18558 [10.12] können auf Porenbeton-Außenwänden angewendet werden. Es handelt sich dabei um Beschichtungen mit putzartigem Aussehen, die auf einen mineralischen Unterputz aufgebracht werden. Voraussetzung ist, dass der Unterputz auf den Untergrund Porenbeton abgestimmt ist.

Außenwandputz – Einlagige Leichtputze auf Porenbetonmauerwerk

Einlagige Leichtputzsysteme werden in zwei Arbeitsgängen mit folgenden Arbeitsschritten aufgebracht:

- Je nach Herstellerangabe Vornässen oder Grundieren des Untergrundes.
- Aufbringen der ersten Schicht in einer Dicke von mindestens 10 mm von Hand oder mit einer Putzmaschine (Abb. 10.24).
- Planebenes Abziehen mit einem Richtscheit (Abb. 10.25).

- Nach einem Tag Standzeit Auftragen der zweiten Schicht in Kornstärke von Hand oder mit einer Putzmaschine und unmittelbar anschließende Strukturierung der Oberfläche (Abb. 10.26).
- Da es bei gefärbten Putzen häufig zum wolkigen Auftrocknen kommt, wird ein egalisierender Anstrich mit Silikatfarbe im gleichen Farbton empfohlen.

Außenwandputz – Zweilagige Leichtputze auf Porenbetonmauerwerk

Folgende Komponenten charakterisieren ein zweilagiges Leichtputzsystem:

- Unterputz (Grundputz)
- Gegebenenfalls Grundierung im Farbton des Oberputzes
- Oberputz (Deckputz) in unterschiedlichen Struktur- und Farbtonvarianten

Folgende Arbeitsschritte sind üblich:

- Je nach Herstellerangabe Vornässen oder Grundieren des Untergrundes.
- Aufbringen eines Unterputzes in einer Dicke von mindestens 7 mm von Hand oder mit einer Putzmaschine.
- Planebenes Abziehen mit einem Richtscheit.
- Bei farbigen Putzen je nach Herstellerangaben Auftrag einer Grundierung im Farbton des Oberputzes nach vorausgegangener Standzeit.
- Auftragen eines Oberputzes von Hand oder mit einer Putzmaschine und unmittelbar anschließende Strukturierung oder Glättung der Oberfläche.

Außensockelputz auf Porenbetonmauerwerk

Sockelputze müssen ausreichend fest, wasserabweisend und widerstandsfähig gegen kombinierte Einwirkungen aus Feuchtigkeit und Frost sein. Deshalb wird eine Festigkeit von mindestens $2,5 \text{ N/mm}^2$ sowie die Verwendung von Mörteln der Kategorie CS IV nach DIN EN 998-1 bzw. bei Mauerwerk aus Steinen der Festigkeitsklasse ≤ 8 der Kategorie CS III verlangt. Auf Mauerwerk mit geringer Rohdichte wie Porenbetonmauerwerk werden passend zum Untergrund Leichtsockelputze verwendet. Als Werk trockenmörtel enthalten sie Zusätze, die ein wasserabweisendes Verhalten des erhärteten Mörtels bewirken.

Aus den Anforderungen zur Bauwerksabdichtung gemäß DIN 18 533-1 ergibt sich, dass eine Vertikalabdichtung bis etwa 300 mm über Gelände hinter einem Sockelputz hochzuziehen ist (siehe Kapitel 6

„Feuchte“). Unterhalb des Geländes ist die Vertikalabdichtung des Sockelbereiches ca. 100 mm unter die spätere Sockelputzunterkante zu führen. Die Vertikalabdichtung des erdhinterfüllten Kellerwandbereiches wird nach Fertigstellung des Sockelputzes bis Unterkante Sockelputz ergänzt. Eine wasserabweisende Grundierung des Sockelbereiches über Gelände ist zusätzlich zum vorgesehenen Anstrich zu empfehlen. Als Vertikalabdichtungen im Sockelbereich haben sich flexible, mineralische Dichtungsschlämme (MDS) bewährt, die sowohl eine gute Haftung zum Untergrund als auch zum Sockelputz aufweisen.

Keller-Außenwandputz auf Porenbetonmauerwerk

Die für die Bauwerksabdichtung geltende DIN 18533-1 fordert einen glatten Untergrund für die Abdichtungsschicht der Kelleraußenwand. Dies bedeutet jedoch nicht, dass das Kellermauerwerk zu verputzen ist. Wegen der glatten, fast fugenlosen Wandoberfläche kann bei Kellermauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen oder -Planelementen auf einen Keller-Außenwandputz verzichtet werden. Die Abdichtungsschicht (z. B. polymermodifizierte Bitumendickbeschichtung) wird direkt auf die Porenbetonoberfläche aufgebracht.

Innenputze

Innenputze geben Wänden eine ebene und fugenfreie Oberfläche für die weitere Bearbeitung und können die Raumluftfeuchte durch Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe ausgleichen. Innenputzmörtel müssen DIN EN 998-1 und DIN EN 13279 (Gips- und Putz trockenmörtel) [10.13] entsprechen. Bei Innenwandputzen aus mineralischen Bindemitteln für übliche Anforderungen (Räume mit üblicher Luftfeuchte einschließlich häuslicher Küchen und Bäder) müssen die Putzmörtel der Kategorie CS II oder DIN EN 13279 entsprechen. Es werden ein- oder mehrlagige gips- oder anhydritgebundene Putze mit einer Schichtdicke $d = 8$ bis 15 mm als Träger von Tapeten und Anstrichen verwendet, die maschinell oder per Hand aufgetragen werden. Gipsputz-Werk trockenmörtel sollten auf die Eigenschaften saugender Untergründe abgestimmt sein. Andernfalls ist zur Reduktion des Saugvermögens eine geeignete Grundierung als Aufbrennsperre aufzutragen, die vor dem Verputzen abgetrocknet sein muss. Hier sind die Verarbeitungsrichtlinien der Putzhersteller zu beachten.

Für die Anwendung von Kalk- bzw. Kalkzementputzen bei stark saugenden Putzuntergründen ist nach DIN 18550 im Regelfall eine Vorbehandlung (geeigneter

Haftmörtel, voll deckender Spritzbewurf), die Verwendung eines speziellen Putzmaterials oder eine andere geeignete Verfahrensweise (zweischichtiges Spritzen „nass in nass“ in einer Putzlage) erforderlich. Bei Porenbeton ist ein Spritzbewurf nicht üblich. Lediglich für Wände in Feuchträumen (z. B. für Dusch- oder Waschanlagen, Großküchen, Feuchträume in der Industrie) sollte ein Unterputz aus Zementmörtel zur Verbesserung der wasserabweisenden Eigenschaften eines keramischen Belages aufgebracht werden.

Um anstrich- bzw. tapezierfähige Flächen zu erhalten, werden bei Innenwänden aus Porenbeton auch Glättputze eingesetzt. Diese Putzsysteme bieten die Möglichkeit einer schnellen Verarbeitung bei geringerem Materialaufwand. Die Verarbeitungsrichtlinien der Putzhersteller sind hierbei zu beachten. Durch eine Kunststoffvergütung besitzt ein Glättputz als einlagiger Feinputz auf Gipsbasis mit einer Schichtdicke $d \sim 5$ mm ein verbessertes Wasserrückhaltevermögen, so dass im Gegensatz zu normalen Innenputzen keine Grundierung erfolgen muss. Nach dem Auftrag wird der Putz sofort geglättet.

10.4.4 Keramische Beläge

Keramische Fliesen und Platten können als Wand- und Bodenbeläge, Arbeitsflächen, Fenstersimse und andere Flächen im Innen- und Außenbereich verwendet werden.

Keramische Beläge im Innen-, Feucht- und Nassraumbereich

Keramische Fliesen und Platten können als Wandbelag einfach und wirtschaftlich auf alle Porenbeton-Wandflächen aufgebracht werden. In der Regel sind die unverputzten Oberflächen ausreichend eben, so dass im Dünnbettverfahren gearbeitet werden kann. Vor Beginn der Arbeiten ist es erforderlich, die Wandflächen mit einem Besen kräftig abzukehren, um Staub, Verunreinigungen und lose Teile zu entfernen. Ggf. vorhandene Unebenheiten lassen sich mit einem Schleifbrett beseitigen oder durch Ausgleichsschichten egalisieren. Es dürfen jedoch keine gipshaltigen Mörtel eingesetzt werden.

Das Verlegen der keramischen Fliesen und Platten erfolgt mit handelsüblichen Mörteln und Klebstoffen nach DIN EN 12004 [10.14], vorzugsweise mit Dispersionsfliesenklebern. Bei der Auswahl eines Klebers sind die Herstellerangaben zu beachten, denn bestimmte Produkte erfordern ein Vornässen oder ein Grundieren des Untergrundes. Übliche Fliesenkleber mit hoher Haft- und Klebewirkung und Zusätzen aus

Kunstharzdispersionen halten das zum Abbinden notwendige Wasser zurück, so dass ein Vornässen oder Grundieren im Regelfall nicht erforderlich ist.

Keramische Fliesen und Platten werden so verlegt, dass sie nicht kraftschlüssig an andere Bauteile wie angrenzende Wände, Böden oder Decken anschließen. An diesen Stellen sind Dehnfugen erforderlich, die bis auf den Untergrund reichen und mit elastischen Fugenmassen geschlossen werden. Ebenso werden Fliesenflächen mit Längen von mehr als 4 m durch Dehnfugen unterbrochen. Das Verfugen der Fliesenfläche erfolgt möglichst spät nach dem Verlegen, um eine gute Austrocknung des Fliesenmörtels sicherzustellen.

Das Ansetzen von Fliesen und Platten im Dickbettverfahren ist nur bei unebenen Untergründen erforderlich. Hier wird nach dem Abfegen der Wandoberfläche ein Spritzbewurf aufgebracht. Nach dessen Abbinden über mindestens 24 Stunden können die Fliesen vollflächig im Mörtelbett angesetzt werden. Für die Verfugung und die Anordnung von Dehnfugen gelten die gleichen Regeln wie beim Dünnbettverfahren.

Bei Wandflächen, die durch Brauch- und Reinigungswasser hoch beansprucht werden, z. B. von Dusch- und Waschanlagen und Feuchträumen in der Industrie, ist vor der Fliesenverlegung eine Abdichtung zum Schutz des Mauerwerks vor Feuchteschäden aufzubringen. Dabei sind insbesondere die Regelungen der DIN 18534-1 „Abdichtung von Innenräumen“ [10.15] zu beachten. Bei der Ausführung empfiehlt es sich, auf herstellereigene und auf den Porenbeton abgestimmte Systeme zurückzugreifen, die eine geeignete Auswahl von Abdichtungsmittel, Fliesenkleber, Fugenfüllstoff und Dichtungsbändern gewährleisten.

Keramische Beläge im Außenbereich

Im Gegensatz zu Innenwandflächen von Porenbetonmauerwerk ist ein direktes Aufbringen von keramischen Belägen auf Außenoberflächen von Porenbetonmauerwerk zu vermeiden, da insbesondere wegen der thermischen Beanspruchung und der daraus resultierenden unterschiedlichen Formänderungen der Materialien die Gefahr des Abscherens des Belages vom Untergrund besteht.

10.4.5 Bekleidungen

Bekleidungen auf Außenwandflächen

Außenwände aus Porenbetonmauerwerk können mit einer hinterlüfteten Bekleidung versehen werden, die aus Fassadenelementen aus Holz, Blech, Kunststoff, Naturstein oder ähnlichen Materialien bestehen kann.

Dabei erfolgt die Hinterlüftung mit Lattung und Konterlattung als Unterkonstruktion, die mit zugelassenen und geeigneten Befestigungsmitteln an der Außenwandkonstruktion aus Porenbetonmauerwerk befestigt wird. Als Befestigungsmittel für Porenbeton kommen Kunststoffdübel und Verbundanker zur Anwendung, die nur geringe bzw. keine Spreizkräfte bei der Montage erzeugen. Im Bereich der Unterkonstruktion können noch zusätzliche Dämmstoffschichten eingebaut werden. Die wasserabweisende und winddichte Schutzschicht auf der Oberseite der Dämmung muss beim Einbau zur Bekleidung zeigen.

Auch Klinkerriemchen können als Bekleidung auf Außenwandflächen aus Porenbetonmauerwerk aufgebracht werden. Die hoch wärmedämmende, tragende Porenbetonwand übernimmt dabei neben der Lastabtragung auch die Funktion des Wärmeschutzes. Die auf der Mauerwerksoberfläche aufgetragenen Klinkerriemchen sorgen neben dem Schutz vor Witterungseinflüssen auch für eine besondere Optik der Fassade, die nahezu wartungsfrei ist. Zudem haben sich die Klinkerriemchen als unempfindlich gegen Algen- und Pilzbefall bewährt. Die planebene Außenoberfläche der Porenbetonwand macht in der Regel das Aufbringen eines Ausgleichsputzes überflüssig. Nach Aufbringen und Austrocknen des Armierungsputzes werden die Klinkerriemchen aufgeklebt und die Klinkerfläche verfügt. Dabei sind die Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller zu beachten.

Bekleidungen auf Innenwandflächen

Alternativ zum Aufbringen eines Innenputzes oder einer Tapete können Innenwände aus Porenbetonmauerwerk auch mit Bekleidungen versehen werden, welche ein gestalterisches Element für die Erscheinungsform der Wand darstellen. Um oberflächenfertige Holzpaneele oder plattenartige Wandbekleidungen auf die Innenwand aus Porenbeton aufzubringen, sollte die Wandoberfläche zunächst abspachtelt werden. Hierauf wird eine Ausgleichslattung mit für den Untergrund Porenbeton geeigneten Befestigungsmitteln dauerhaft verankert. Auf die darauf zu montierende Grundlattung lassen sich die unterschiedlich großen Holzpaneele oder plattenartigen Wandbekleidungen nach Herstellerangaben montieren.

10.4.6 Beschichtungen

Beschichtungen haben die Aufgabe, den Untergrund vor Witterungs- und Umweltbeanspruchungen sowie ggf. vor chemischen und mechanischen Beanspruchungen zu schützen. Sie ermöglichen eine Reinigung und/oder vermindern die Verschmutzung einer Bauteiloberfläche.

Beschichtungen auf Außenwandflächen

Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen und -Planelementen wird in der Regel im Außenbereich mit einem mineralischen Leichtputz versehen. Dabei enthält bei Neuerstellung der Oberputz bereits die Pigmente für die farbliche Gestaltung der Oberfläche. Eine nach vielen Jahren möglicherweise verschmutzte Außenputzoberfläche kann nach Reinigung jedoch erneut mit einer auf das vorhandene Putzsystem abgestimmten farblichen Beschichtung in Form eines Anstriches versehen werden.

Beschichtungen auf Innenwandflächen

Anstriche auf Porenbetonmauerwerk haben im Wesentlichen eine gestalterische Funktion. Sind keine hohen optischen Anforderungen an Innenwandoberflächen gestellt, z. B. in Kellerräumen, können diese direkt mit einer farblichen Beschichtung versehen werden. Auf Porenbeton haben sich handelsübliche Dispersions- sowie Silikatfarben bewährt, die sich direkt auf den mineralischen Untergrund auftragen lassen.

Werden höhere optische Anforderungen an Innenwandoberflächen gestellt, ist zunächst ein Innenputz auf die planebenen Oberflächen des Porenbetonmauerwerks aufzutragen, der dann als Träger für die anschließende Systembeschichtung aus Dispersions- sowie Silikatfarben dient. Anstelle des Innenputzes kann als Träger für die nachfolgende Beschichtung ein Spachtelputz diese Funktion übernehmen. Sowohl auf den Innenputz als auch auf den Spachtelputz können Tapeten aufgebracht werden, die je nach Art abschließend mit einer farblichen Beschichtung versehen werden.

10.5 Befestigungen

Befestigungen und Verankerungen in Porenbetonbauteilen lassen sich einfach vornehmen. Das homogene und leicht bearbeitbare, tragfähige Material erlaubt unter Berücksichtigung der zu erwartenden Belastung die Verwendung verschiedener Befestigungsmittel. Je nach Anwendungsbereich und Größe der aufzunehmenden Lasten stehen unterschiedliche Befestigungsmittel zur Verfügung:

- Nägel, Spiralnägel und Schrauben, die unmittelbar in Porenbeton befestigt werden
- Dübel aus Kunststoff, als Injektionssysteme und aus Metall
- Bolzen (Gewindebolzen) zur Durchsteckmontage

Befestigungsmittel für den Außenbereich müssen korrosionsgeschützt sein. Die gleiche Eigenschaft empfiehlt sich auch im Gebäudeinneren, besonders im Bereich von Feucht- und Nassräumen. Nägel und Dübel werden sowohl unter Zug- und Schrägzug- als auch unter Druckbelastung beansprucht. Dübel- und Nagelverbindungen sollen langfristig belastbare Systeme darstellen, die auch noch weiteren Beanspruchungen wie Temperatur, Brand oder Korrosion ausgesetzt sein können.

Für die Befestigung von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen ist DIN 18516-1 [10.16] zu beachten. Da Befestigungsmittel ständig weiterentwickelt werden und zum Teil auch bauaufsichtlich zugelassen sind, empfiehlt es sich, verbindliche technische Produktdaten bei den jeweiligen Herstellern zu erfragen.

Nägel, Spiralnägel und Schrauben

Für Porenbeton wurden Nägel und Schrauben entwickelt, die unmittelbar in den Baustoff eingetrieben werden können und eine handwerksgerechte Verarbeitung voraussetzen. Sie dienen zur Befestigung leichter Ausbauteile, z. B. von Konterlattungen für Holzbekleidungen. Dabei ist die empfohlene Gebrauchslast abhängig von der Festigkeitsklasse des Porenbetons.

Dübel

Eine Befestigung von tragenden und nicht tragenden Elementen – vom Küchenschrank bis zum Vordach – in Porenbetonmauerwerk wird in der Regel mit Dübeln durchgeführt. Zur sicheren und dauerhaften Lastentragung in den Untergrund Porenbeton stehen für nahezu alle Anwendungsfälle geeignete Dübelssysteme zur Verfügung. Sie sind durch unterschiedliche Wirkprinzipien, Werkstoffe und Abmessungen an die verschiedensten Einbausituationen angepasst. Hier gibt es eine große Anzahl von Herstellerzulassungen, die Anforderungen für die Anwendung, Bemessung und Montage der Dübel enthalten.

Das gebräuchlichste Dübelssystem für Porenbeton ist das Kunststoffdübelssystem, bei dem beispielsweise eine Schraube mit passendem Durchmesser und passender Länge eingeschraubt wird. Dieser Dübel wird für alle Arten von Befestigungen mit geringen Lasten verwendet (Sockelleisten, leichte Regale etc.).

Im Unterschied dazu bestehen Kunststoff-Rahmendübel aus einer Dübelhülse mit Spreizteil und anschließendem Dübelschaft sowie einer in der Regel zum Dübel gehörenden Spezialschraube. Rahmendübel werden vor allem für die Befestigung in Fassaden, aber auch bei der Montage von Küchenschränken eingesetzt.

Injektionsdübel sind Verankerungen, bei denen Gewindestangen oder Innengewindehülsen mit Injektionsmörtel in ein Bohrloch geklebt werden. Die Mörtelmasse besteht aus zwei Komponenten (Härter, Harz). Verwendet werden Siebhülsen aus Metall oder Kunststoff, die für eine Vergrößerung der Oberfläche bei der Verklebung der Mörtelmasse sorgen. Sie müssen vollständig mit Mörtel verfüllt werden. Durch das Einbringen der Gewindestange wird der Mörtel durch die Maschen der Hülse in die Poren des Steins eingedrückt und erzeugt somit einen Form- und Stoffschluss. Die genauen Angaben enthalten die Zulassungsbescheide und Produktinformationen der Hersteller.

Bolzen

Für schwere oder auch dynamische Lasten kann die Befestigung als Durchsteckmontage ausgeführt werden. Hierzu wird zunächst die Wand durchbohrt, wobei der Durchmesser des Bohrlochs dem Bolzendurchmesser entspricht. Auf der Gegenseite wird anschließend eine Vertiefung angelegt, die eine Ankerplatte in Form einer Unterlegscheibe oder eines Flacheisens aufnehmen kann. Dann wird ein Gewindebolzen in geeigneter Abmessung durch das Porenbetonbauteil gesteckt und auf der Gegenseite durch die Ankerplatte und eine Verschraubung gesichert. Zum Schluss wird die Vertiefung auf der Gegenseite mit Dämm-Mörtel verfüllt.

10.6 Ausmauerung von Holzfachwerk

Die Gefache von Holzfachwerken weichen häufig aus statischen oder architektonischen Gründen von der Rechteckform ab. Oft sind sie auch durch Setzungen oder Belastungen verformt. Das gesamte Fachwerkgefüge ist ständigen Schwind- und Quellvorgängen und den dadurch hervorgerufenen Verformungen unterworfen.

Porenbeton bietet sich zur Ausmauerung von Holzfachwerk an, weil er ähnlich wie Holz leicht zu bearbeiten ist. Dadurch ist eine einfache Anpassung an unregelmäßige Gefache möglich. Die Ausmauerung kann mit maßhaltigen Porenbeton-Plansteinen und Dünnbettmörtel erfolgen. Außen ist das Mauerwerk immer um das Maß der Putzdicke hinter das Holz zurückzusetzen. Der Anschluss an das Holz wird umlaufend durch eine Dreikantleiste gesichert, die mit korrosionsgeschützten Nägeln zu befestigen ist. Die in den Steinen erforderliche Nut kann leicht aus-

gesägt werden. Bei den unvermeidbaren Rissen zwischen Ausfachung und Holz verbessern die Dreikantleisten die Winddichtigkeit der Außenwände.

Die Anschlussfugen zwischen Mauerwerk und Holz werden mit Wärmedämm-Mörtel in 10 bis 12 mm Dicke ausgeführt, damit Toleranzen und Verformungen ausgeglichen werden (Abb. 10.27). Die Mindestdicke des Außenputzes mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von W_w zwischen 0,3 und 2,0 kg/(m²h^{0,5}) beträgt im Gefachbereich 15 mm. Stärker wasserabweisende Außenputze dürfen nicht verwendet werden, weil sie die Trocknungsmöglichkeit durch Kapillarttransport von innen nach außen einschränken würden.

Da die Fachwerkhölzer in der Regel nicht dicker als 15 bis 17 cm sind, werden mit einer außen und innen bündigen Ausmauerung – auch mit einem hoch wärmedämmenden Wandbaustoff wie Porenbeton – die heutigen Anforderungen der Energiesparverordnung nicht erfüllt. Eine Außendämmung kommt oft aus denkmalpflegerischen Gesichtspunkten nicht in Betracht. Daher ist es eine einfache Lösung, die Ausfachungsdicke nach innen zu verstärken und hinter das Fachwerkholz herumzuführen. In der Praxis ist die Ausführung so, dass zunächst die Ausmauerung der Holzgefache erfolgt und dann eine zweite Schale innenseitig knirsch vor die gesamte Außenwand gestellt wird.

Für diesen Anwendungsfall ist eine feuchtetechnische Untersuchung durchzuführen. Um schädliche Tauwasserbildung auf den Holzoberflächen zu vermeiden



Abb. 10.27: Ausmauerung von Holzfachwerk mit Porenbeton

und eine ausreichende Trocknung nach innen zu ermöglichen, soll bei zusätzlicher Innendämmung die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s_d -Wert) von das Fachwerk überdeckenden Wärmedämmschichten und Putzschichten größer als $s_d = 0,5$ m und kleiner als $s_d = 2$ m sein. Empfehlenswert ist die Anordnung einer „feuchte-adaptiven Dampfbremse“ mit variablem s_d -Wert, der im Winter größer und im Sommer kleiner ist.

Besonders hinzuweisen ist auf das Berichtsheft 9 zur Ausmauerung von Holzfachwerk des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e.V. [10.17], in dem neben weiteren Hinweisen zur Ausführung auch Untersuchungsergebnisse des Fraunhofer-Institutes für Bauphysik, Holzkirchen dokumentiert sind.

Literatur

- [10.1] DIN 18533-1:2017-07 – Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze
- [10.2] DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 – Nationaler Anhang zum Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- [10.3] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (Herausgeber): Oberflächenbehandlung – Putze, Beschichtungen, Bekleidungen – Bericht 7
- [10.4] DIN 18533-3:2017-07 – Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 3: Abdichtung mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen
- [10.5] DIN EN 15814:2015-03 – Kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen zur Bauwerksabdichtung – Begriffe und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 15814:2011 + A2:2014
- [10.6] DIN EN 13914-1:2016-09 – Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Außenputze; Deutsche Fassung EN 13914-1: 2016
- [10.7] DIN EN 13914-2:2016-09 – Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 2: Innenputze; Deutsche Fassung EN 13914-2:2016
- [10.8] DIN 18550-1:2018-01 – Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1:2016-09 für Außenputze
- [10.9] DIN 18550-2:2018-01 – Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze
- [10.10] DIN EN 998-1:2017-02 – Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel; Deutsche Fassung EN 998-1:2016
- [10.11] DIN EN 15824:2017-09 – Festlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln; Deutsche Fassung EN 15824:2017
- [10.12] DIN 18558:1985-01 – Kunstharzputze; Begriffe, Anforderungen, Ausführung
- [10.13] DIN EN 13279-1:2008-11 – Gipsbinder und Gips-Trockenmörtel – Teil 1: Begriffe und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13279-1:2008
- [10.14] DIN EN 12004-1:2017-05 – Mörtel und Klebstoffe für keramische Fliesen und Platten – Teil 1: Anforderungen, Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit, Einstufung und Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 12004-1:2017
- [10.15] DIN 18534-1:2017-07 – Abdichtung von Innenräumen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze
- [10.16] DIN 18516-1:2010-06 – Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze
- [10.17] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (Herausgeber): Ausmauerung von Holzfachwerk – Bericht 9

OBJEKTBEISPIELE FÜR DAS BAUEN MIT PORENBETON

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

11.1 Planungsaspekte

Architektur entsteht immer als eine Synthese aus unterschiedlichen Anforderungen, Gegebenheiten und Einflüssen, die bei Planung und Ausführung zu berücksichtigen sind. Primär wird durch die Architektur ein Gehäuse für eine bestimmte Funktion geschaffen, die meist eindeutig durch dessen Nutzung festgelegt ist. Aber auch ein möglicher Wechsel der Funktion durch Nutzungsänderungen erfordert Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an die Gebäudearchitektur.

Die Form des Gebäudes wird ebenfalls aus Funktion und Nutzung abgeleitet. Dies betrifft die Gestaltung des äußeren Baukörpers und seiner Räume sowie die Art der Durchdringung von außen und innen. Die Formgebung folgt einem geplanten Gestaltungskonzept und entsteht im Wechselspiel von Konstruktionen und Materialien. Bei Bauteilkonstruktionen und Materialwahl müssen bestimmte Spannweiten sowie bauphysikalische Eigenschaften mit ökonomisch vertretbarem Aufwand erreicht werden. Auch der Herstellungsprozess des Gebäudes – in der Art der Bauteilerstellung und der Montage – nimmt Einfluss auf

Bauweise und Materialwahl. Jeder dieser Faktoren hat einen bestimmenden Einfluss auf die Planung und Ausführung eines Gebäudes, um seiner Bauaufgabe und somit Funktion und Nutzung sowie seiner Wirtschaftlichkeit gerecht zu werden.

Wie vielfältig Gebäude gestaltet werden können, die mit Porenbetonmauerwerk erstellt wurden, zeigen die folgenden Objektbeispiele – von Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäusern, Mehrfamilienhäusern über Aufstockungen bis zu Gewerbe- und Bürogebäuden.

11.2 Einfamilienhäuser, Doppel- und Reihenhäuser

Grundstücke in Städten und stadtnahen Bereichen erfordern heute fast immer verdichtete Bebauungen. Nicht nur dass entsprechende Baugrundstücke in geringer Anzahl zur Verfügung stehen führt zu dieser Forderung, auch die sehr hohen Grundstückspreise machen sie notwendig. Dies gilt insbesondere für Lagen, die z. B. wegen ihrer Topografie und Aussicht oder der Qualität des Wohnumfeldes gefragt sind.



Abb. 11.1: Einfamilienhäuser in Siegburg

Abb. 11.2 und 11.3:
Einfamilienhäuser
in Siegburg



Massivhäuser bewerten viele Bauherren und Hauskäufer als Inbegriff von Langlebigkeit und Solidität. Ein monolithisches, massives Mauerwerk aus Porenbeton bietet neben seiner bauphysikalischen und konstruktiven Eignung viel Spielraum für eine individuelle Gestaltung der Gebäudehülle. Geschwungene Wände, runde Giebel oder Fassadenprofile können mit Porenbetonsteinen wirtschaftlich erstellt werden, denn sie sind wie kaum ein anderer Mauerwerkstoff einfach zu bearbeiten und in jede gewünschte Form zu bringen.

Wohn- und Lebensqualität für Familien: 5 freistehende Einfamilienhäuser (2-geschossig) und 4 Doppelhäuser (1,5-geschossig) in Siegburg

Entwurfsplanung: Architekt Dipl.-Ing. S. Ahlefeld,
Büro Richarz & Ahlefeld, Troisdorf
Bauherr: HKS GmbH & Co. KG, Siegburg

Auf einem ca. 5.000 m² großen Areal im rheinischen Siegburg wurden insgesamt 13 Wohngebäude inklusive Garagen errichtet: Neben fünf freistehenden Einfamilienhäusern mit relativ großen Grundstücken und entsprechenden Außenflächen entstanden in Reihenbebauung vier Doppelhäuser.

Bauherr und Architekt waren sich einig: Die 36,5 cm dicken Außenwände der Wohngebäude sowie die



zweischaligen Haustrennwände werden aus Porenbeton-Plansteinen gemauert. Die Entscheidung für Mauerwerk aus Porenbeton fiel dabei mit Blick auf die gute Wärmedämmung und das hohe Wärmespeichervermögen des massiven Baustoffs. Denn die monolithischen Außenwände erfüllten ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen die Anforderungen der aktuellen Energieeinsparverordnung. Auch das bekanntermaßen angenehme Raumklima und die ausgeglichenen Raumtemperaturen in Häusern mit mineralischen, dampfdiffusionsoffenen Außenwänden sprachen dafür, Porenbeton für die Ein- und Zweifamilienhäuser einzusetzen.



Abb. 11.4 und 11.5:
Doppelhäuser in
Reihenbebauung
in Siegburg



Weitere Objekte

Abb. 11.6 und 11.7:
Einfamilienhaus
in Hamburg





Abb. 11.8 und 11.9:
Einfamilienhaus
in Berlin



Abb. 11.10 und 11.11:
Einfamilienhaus
in Lübeck





Abb. 11.12 und 11.13:
Reihenhaus mit vier
Wohneinheiten in
Hamburg-Wilhelmskrug



Abb. 11.14:
„Am Schwanenteich“
im Wohnquartier Wai-
sengärten in Schwerin/
Reihenhäuser mit
Außenwänden aus
Porenbetonmauerwerk



11.3 Mehrfamilienhäuser

Der Bedarf an bezahlbaren Wohnräumen nimmt in dicht bebauten innerstädtischen Bereichen stetig zu. Für Bauherren und Investoren stehen im Mehrgeschossbau neben einer optimalen Ausnutzung der Grundstücksflächen vor allem Wirtschaftlichkeit und Wertbeständigkeit im Vordergrund.

Auch beim Mehrfamilienhausbau gilt es, den Bedürfnissen der späteren Bewohner nach einem zeitgemäßen Wärmeschutz und einem wohngesunden Raumklima gerecht zu werden. Gleichzeitig müssen bei der Planung alle Anforderungen des Gesetzgebers an die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit eines Wohngebäudes, an den Schallschutz und den vorbeugenden baulichen Brandschutz berücksichtigt werden. Mit massiven Außenwänden aus Porenbetomauerwerk gelingt es zuverlässig, den Wünschen von Gebäudeutzern und geltendem Baurecht zu entsprechen.

Urbanes Wohnen in der Stadt – Mehrfamilienhäuser als Niedrigenergiehäuser im KfW-55-Standard, Am Bramschkontor in Dresden

Entwurfsplanung und Bauüberwachung: ARGE Nadja Häupl Architektin, München – Heidelmann & Klingebiel Planungsgesellschaft GmbH, Dresden

Konzipiert auf dem Areal eines Wohnhofs wurden die zwei Mehrgenerationen Häuser mit elf Wohneinheiten als Niedrigenergiehäuser im KfW-55-Standard. Dabei mussten die unterschiedlichen Bedürfnisse und Anforderungen der Bauherrengemeinschaft – von jungen Familien mit ein bis vier Kindern bis hin zu Senioren – Berücksichtigung finden.

Die Bauherren setzten als Prämissen geringe Baukosten sowie unter ökologischen und nachhaltigen Gesichtspunkten Baustoffe aus der Region, Holzfenster und den Verzicht auf Außendämmung. Mit diesen Vorgaben sowie einer möglichst wirtschaftlichen und schnellen Bauweise galt es, mit einem hoch wärmedämmenden Baustoff und ohne Stahlbeton in den Wänden den Rohbau zu erstellen.

So entstanden die Außenwände der Mehrfamilienhäuser aus monolithischem Porenbetonmauerwerk und wurden mit 42,5 cm breiten Porenbeton-Plansteinen errichtet. Die individuell geschnittenen Wohnungen mit Flächen von 80 bis 215 m² über eine bis drei Etagen erscheinen nach außen hin einheitlich, um die Ensemblewirkung der Hofanlage mit weiteren Gebäuden zu wahren. In einem ebenfalls mit Porenbeton gebauten Nebengebäude gibt es Garagen, Abstellräume, Werkstatt und Gemeinschaftsraum.



Abb. 11.15: Zwei 3-geschossige Mehrfamilienhäuser mit Außenwänden aus Porenbetonmauerwerk in Dresden

Abb. 11.16 und 11.17:
3-geschossiges
Mehrfamilienhaus mit
Außenwänden aus
Porenbetonmauerwerk
in Dresden



Die warmen Putzfarben und Lochfassaden, die stehenden Fensterformate sowie die Holzläden beziehen sich gestalterisch auf die Umgebung der Dresdener Friedrichstadt mit Bramsch-Kontorhaus, Krankenhaus und den Sandsteinmauern des Areals. Dabei gibt der Wechsel in den handwerklich aufwändig hergestellten Außenwandbelägen – ein Kammputz für die Flächen und ein Glattputz für die Fensterfaschen in durchgefärbtem mineralischem Leichtputz ohne Egalisierungsanstrich – der Fassade eine natürliche Lebendigkeit.



Weitere Objekte



Abb. 11.18, 11.19 und 11.20: 3-geschossiges Mehrfamilienhaus mit Außenwänden aus Porenbetonmauerwerk in Hamburg



Abb. 11.21 und 11.22:
„Stadhäuser
Schwanenwieck“ im
Wohnquartier Waisen-
gärten in Schwerin/
5-geschossige Mehr-
familienhäuser mit
Außenwänden aus
Porenbetonmauerwerk





Abb. 11.23 und 11.24:
Mehrfamilienhäuser im
Wohnquartier Lessing-
park in Wolfsburg/
3- bis 5-geschossige
Gebäude mit Außen-
wänden aus Poren-
betonmauerwerk



11.4 Bestandsersatz

Es steht außer Frage – alte Gebäude haben ihren Charme. Doch nicht jeder Altbau ist erhaltenswert. Der Bestandsersatz kann eine wirtschaftliche Alternative zur Modernisierung von alten Gebäuden sein, insbesondere bei zusätzlicher Vergrößerung und anderer Anordnung oder Nutzung von Räumen und Wohneinheiten sowie für barrierefreie Umbauten. Auch in Sachen Wohngesundheit, Energieeffizienz, Sicherheit und Nutzwert möchten Eigentümer und Investoren keine Abstriche machen.

Die wichtigste Voraussetzung, um im Einzelfall die richtige Entscheidung zu treffen, ist die fundierte Bestandsanalyse sowie die Prüfung aller Rahmenbedingungen. Wie ist z. B. der Zustand der Bausubstanz, der Status energetischer, schall- und brandschutztechnischer Standards oder wie sind die baukonstruktiven Voraussetzungen und (städte-)baulichen Gegebenheiten.

Konkrete Kosten-Nutzen-Berechnungen der einzelnen Teilprojekte wie beispielsweise Sanierungs- oder Instandhaltungsmaßnahmen, energetische Modernisierungsmaßnahmen (z. B. Dämmung von Fassade und Dach, Einbau einer effizienten Heizungsanlage, Austausch alter Fenster durch Wärmeschutzfenster),

die schallschutztechnische Ertüchtigung oder Verbesserung des Brandschutzes von Bauteilen sind weitere Aspekte der Projektbewertung. Bei einer Vollmodernisierung kommen noch nutzflächenvergrößernde oder generationsgerechte Um- oder Anbaumaßnahmen hinzu, die erhebliche baukonstruktive Veränderungen des Gebäudes nach sich ziehen.

Die Summe aller Aspekte einer Vollmodernisierung ist abschließend in den Vergleich mit der eines Bestandsersatzes zur Entscheidungsfindung zu stellen. Denn der Bestandsersatz eines alten Gebäudes (Abriss, Umzugsmanagement und Neubau) kann nicht nur Einsparpotenziale bieten, die meist deutlich über denen von Vollmodernisierungen liegen. Er ist auch eine nachhaltige Alternative in zeitgemäßer Bauweise mit größeren Freiräumen bei der Planung, Gestaltung und Ausstattung.

Büro- und Wohnhaus ergänzt historische Kulisse in Glashütte

Entwurfsplanung: Dipl.-Ing. Architekt E. Jacob,
Bauherr: Böhmer IT-Systeme GmbH / Glashütte

Mitten in der historischen Kulisse des Stadtzentrums von Glashütte in Sachsen entstand ein dreigeschossiges Büro- und Wohngebäude mit ausgebautem Dachgeschoss, eingepasst in die vorhandene

Abb. 11.25: Bestandsersatz – Neubau Büro- und Wohngebäude in Glashütte





Abb. 11.26 und 11.27:
Bestandsersatz – Neu-
bau Büro- und Wohn-
gebäude in Glashütte

Straßenflucht. Ursprünglich hatte der Bauherr ein an dieser Stelle stehendes Gebäude aus dem Jahr 1850 mit der Absicht eines Umbaus erworben. Doch Raumhöhen von nur 2,25 m statt vorgeschriebener 2,40 m ließen keine gewerbliche Nutzung zu und eine Sanie-

rung erwies sich als hochgradig unwirtschaftlich. Letztlich genehmigten Bauamt und Denkmalpflege den Abriss, machten aber Auflagen für den Neubau.

So musste die Traufhöhe des neuen Hauses an das angrenzende Gebäude angepasst und die straßen-
seitige Fassade dem Erscheinungsbild der Stadtbe-
bauung angeglichen werden. Die rückwärtige Seite
des Hauses hingegen konnte frei gestaltet werden
mit großen Fenstern und Balkonen im bereits für
Wohnzwecke vorgesehenen Dachgeschoss.

Die drei Geschosse des Ersatzneubaus wurden als
Geschäftsräume geplant, aber die Grundrisse so
ausgelegt, dass mit geringen Umbauten und Ergä-
nzungen auch die Nutzung als Wohnraum möglich ist.
Da jede Etage in zwei Wohnungen geteilt werden
könnte, wurden für Bäder und Toiletten Anschlüsse
vorinstalliert.

Die monolithischen Außenwände aus Porenbeton-
mauerwerk wurden mit 36,5 cm breiten Porenbeton-
Plansteinen errichtet und mit einem mineralischen
Putz versehen.



Abb. 11.28, 11.29
und 11.30: Bestands-
ersatz – Neubau
Wohnhaus in Lübeck



Gelungene Integration in den Bestand – moderner Ersatzneubau in der Lübecker Altstadt

Entwurfsplanung: Dipl.-Ing. Architekt U. Ellinghaus, Lübeck

Auf dem Grundstück stand vorher ein Altbau, der infolge massiver baulicher Eingriffe und erheblicher Brandschäden nicht mehr sanierungsfähig war. Das neue Wohnhaus mit seiner zentralen Lage an der ursprünglichen Stadtmauer wurde so geplant, dass es sich in die umgebende Bebauung einfügt.

Dem Architekten ist ein Neubau gelungen, der mit moderner Formensprache markante Akzente inmitten der historischen Stadtbebauung setzt, obwohl die Gestaltungssatzung der Stadt klare Richtlinien vorgab. Im Vordergrund stand, innerhalb der engen Grenzen des Baugrundstücks und der Hofsituation weitestgehende Privatheit mit Offenheit und Licht in Einklang zu bringen und Großzügigkeit zu schaffen.

Die eigenwillige Fassadengestaltung mit schräg eingesetzten Fenstern an der Straßenseite und das elliptisch angelegte Treppenhaus konnten unkompliziert mit Außenwänden aus Porenbeton (36,5 cm breite Porenbeton-Plansteine) ausgeführt werden, da sich der Baustoff durch seine einfache Bearbeitbarkeit in jede gewünschte Form bringen lässt.



11.5 Aufstockung

Bauen im Bestand ist ein Thema, das in Anbetracht stetig steigender Grundstückspreise und fehlenden Wohnraums – vor allem in Ballungsräumen – interessante Potenziale und Chancen für Eigentümer und Investoren aufzeigt. Neben Um- oder Ausbau meist ungenutzter Räume eines Gebäudes, die sich häufig aus veränderten Nutzungsbedürfnissen ergeben, ist die Erweiterung eines Bestandsbaus durch Anbau oder Aufstockung eine Alternative für die Schaffung zusätzlicher Wohnflächen. Die Aufstockung ist dabei eine besonders attraktive Option, weil dafür weder Grundstück zugekauft noch ein kleines Grundstück zugebaut werden muss.

Die Aufstockung eines Gebäudes ist gleichermaßen eine Modernisierungs- und eine Neubaumaßnahme. Einerseits können durch Aufstockung bestehende Mängel am Gebäude beseitigt werden, z. B. von unzureichend gedämmten oder schadhaften Bauteilen wie Dach oder Fassade. Andererseits verändert die Wohnraumschaffung durch ein zusätzliches Voll- oder Staffelgeschoss das bestehende Gebäude so stark, dass viele baurechtliche, statische, konstruktive und haustechnische Aspekte zu berücksichtigen sind. Der mögliche Umfang einer Aufstockung ergibt

sich aus den baurechtlichen Bedingungen, die in den Landesbauordnungen sowie im Bebauungsplan geregelt sind.

Monolithische Wandkonstruktionen aus massivem Porenbetonmauerwerk eignen sich besonders gut für die Erweiterung eines Bestandsgebäudes durch Aufstockung. Denn mit seinem geringen Volumengewicht bei gleichzeitig hoher Festigkeit erfüllt der Baustoff die Anforderungen an die Tragfähigkeit ebenso wie an den Wärme-, Brand-, Feuchte- und Schallschutz. Zudem ermöglicht die leichte Bearbeitbarkeit von Porenbeton eine gute Anpassung an komplexe Grundrisse und Formen.

Wohnraumschaffung durch Aufstockung eines Wohn- und Bürogebäudes inkl. Modernisierung der Altfassade in Oldenburg

Entwurfsplanung: architektur.büro Oltmanns,
Dipl.-Ing. Architekt U. Oltmanns, Oldenburg

Aus städtebaulichen Gründen sollte das Gebäude bei seiner Errichtung als Kopfbauung dienen und so einen markanten Übergang vom denkmalgeschützten Oldenburger Pulverturm in die höhere Bebauung des Schlosswalls bilden. Das Grundstück wurde komplett bebaut – die Gebäudeaußenkanten stellten gleichzeitig die Grundstücksgrenzen dar.



Abb. 11.31: Wohn- und Bürogebäude in Oldenburg vor der Aufstockung

Abb. 11.32 und 11.33:
Aufgestocktes Wohn-
und Bürogebäude
mit modernisierter Alt-
fassade in Oldenburg



Da die Wohnfläche im 2. Obergeschoss für die Bewohner – und gleichzeitig Eigentümer – nicht mehr ausreichte, Erdgeschoss und 1. Obergeschoss jedoch als Büroräume angelegt und vermietet waren, konnte die Alternative für eine Vergrößerung des Wohnraums nur eine Aufstockung sein.

Durch das neue 3. Geschoss haben die Bauherren 60 m² Wohnfläche mit loftähnlichem Charakter und eine 15 m² große, gut von der Nachbarbebauung abgeschirmte Dachterrasse hinzugewonnen. Die massiven Außenwände wurden mit 30 cm breiten Porenbeton-Plansteinen errichtet und mit einem mineralischen Putz versehen.

Nach außen präsentiert sich das gesamte Gebäude abschließend nicht nur vergrößert, sondern auch mit neuer Gebäudehülle – eine vorgehängte Fassade mit Fassadentafeln im vorderen und ein Wärmedämmverbundsystem mit Außenputz im hinteren Bereich (mit Anschluss an die Aufstockung) werden optisch und energetisch auf.



11.6 Gewerbe- und Bürogebäude

Gerade im Gewerbebau kommt es aufgrund unterschiedlichster Gebäudekonstruktionen auf die Vielseitigkeit eines Bausystems an. Das gilt nicht nur für den Neubau, sondern auch für erforderliche Anpassungen der vorhandenen Gebäudesubstanz an neue Nutzungsarten. Zudem achten Bauherren und Investoren immer mehr auf die „inneren Werte“ eines Gebäudes, denn ein angenehmes Raumklima, winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz am Arbeitsplatz spielen für die Zufriedenheit der Belegschaft eine immer größere Rolle.

Das Porenbeton-Bausystem ist flexibel an die baukonstruktiven und funktionellen Anforderungen von Gewerbebauten anpassbar, mit anderen tragenden Konstruktionen z. B. aus Stahl, Stahlbeton oder Holz kombinierbar und übernimmt weitere wichtige Funktionen wie Lastabtragung, energieeinsparenden Wärmeschutz sowie Brand-, Feuchte- und Schallschutz.

Umnutzung einer alten Lagerhalle zum Büro- und Ausstellungsgebäude in Visbek

Entwurfsplanung: Büro Gewinner Architekten – Ingenieure, Dipl.-Ing. Architekt H. Gewinner, Oldenburg

Beim Umbau der alten Lagerhalle blieben das Grundgerüst – eine 38 m lange, 29 m breite und 9 m hohe Stahlkonstruktion – und das Dach als Wetterschutz bestehen. In diese entkernte Hülle wurde ein neues,

zweigeschossiges Gebäude mit einer Breite von 16,50 m und 6,50 m Höhe „eingeschoben“ und gleichzeitig auf eine Länge von 48 m vergrößert.

Die neue Konstruktion, bestehend aus Stahl, Stahlbeton und Porenbetonmauerwerk (Außenwände aus 24 cm breiten Porenbeton-Plansteinen) erhielt zum besseren Wärmeschutz ein gedämmtes Sparrendach. Auch die massiven Außenwände erhielten eine zusätzliche Dämmung und wurden mit Trapezblechelementen bekleidet. Auf der Eingangsseite ist der größte Teil der Fassade komplett verglast.

Nach der Umnutzung ist so ein modernes Büro- und Ausstellungsgebäude mit über 800 m² Nutzfläche (22 Büros, Schulungsräume, ein Verkaufsraum und ein Ausstellungsraum) und 365 m² Nebennutzfläche entstanden. Im Vergleich zu einem Neubau konnten deutlich Kosten eingespart werden.



Abb. 11.34 und 11.35: Büro- und Ausstellungsgebäude, SCHULZ Systemtechnik GmbH in Visbek



Weiteres Objekt

Abb. 11.36, 11.37 und
11.38: Praxis-/Büro-
gebäude, Hamburg



Bildnachweise

Abb. 11.1/Abb. 11.2/Abb. 11.3/Abb. 11.4/Abb. 11.5: © Lothar Wels, Roetgen

Abb. 11.6/Abb. 11.7: © Nikolaus Herrmann, Hamburg

Abb. 11.8/Abb. 11.9: © Nora Erdmann, Berlin

Abb. 11.10/Abb. 11.11: © Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

Abb. 11.12/Abb. 11.13: © Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

Abb. 11.14/Abb. 11.21/Abb. 11.22: © Nikolaus Herrmann, Hamburg

Abb. 11.15/Abb. 11.16/Abb. 11.17: © Thomas Lehmann, Tauscha |
ARGE Nadja Häupl, Architektin – Heidelmann & Klingebiel Planungsgesellschaft mbH

Abb. 11.18/Abb. 11.19/Abb. 11.20: © Nikolaus Herrmann, Hamburg

Abb. 11.23/Abb. 11.24: © Lars Behrendt, Kottenheim

Abb. 11.25/Abb. 11.26/Abb. 11.27: © Thomas Lehmann, Tauscha

Abb. 11.28/Abb. 11.29/Abb. 11.30: © Nikolaus Herrmann, Hamburg

Abb. 11.31: © Architekt Uwe Oltmanns

Abb. 11.32/Abb. 11.33: © Arnt Haug

Abb. 11.34/Abb. 11.35: © Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. | SCHULZ Systemtechnik GmbH

Abb. 11.36/Abb. 11.37/Abb. 11.38: © Nikolaus Herrmann, Hamburg

SACHWORTVERZEICHNIS

A		Bearbeitung	200
Abdichtung		Befestigungen	207
Kelleraußenwände	126	Behaglichkeit	18
Querschnittsabdichtung	130	Bekleidungen	
vertikale Abdichtung erdberührter Wände	131	auf Außenwandflächen	206
Abdichtungsart	201	aus Porenbeton	171
Abdichtungsbauart	129	Bemessungssituationen	39
Aluminium	10	Bemessungswert	53
Anhydrit	10	Bemessungswert der Druckfestigkeit	
Anreißwinkel	195	des Mauerwerks	60
Anschlüsse	168	Bemessung und Ausführung von Mauerwerk	53
Arbeitszeitrichtwert	194	Berechnung	39
Aufstockung	227	Anforderungen an Entwurf und Ausführung	39
Ausfachung von Holzfachwerk	37	Einwirkungen auf Gebäude	39
Ausführung	193	Einwirkungen gemäß DIN EN 1996	53
Ausgangsfeuchte	119	Berechnungsmethoden	56
Ausgleichsschicht	199	Berechnung von Stürzen	68
Ausmauerung von Holzfachwerk	208	Beschichtungen	207
Außenecken	196	Bestandersatz	224
Außenlärm	153	bestehende Gebäude	98
Außenputze	204	Bewehrungsleiter	12
Außensockelputz	205	Bewehrungsstäbe	12
Außenwand		Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen	14
monolithisch (einschalig)	32, 33	Bilanzierungsgrenzen	89
zweischalig	32, 33	Bitumendickbeschichtung	201
Außenwandputz	204, 205	Bodenfeuchte	126, 128
Aussparungen	200	Bohrungen	200
Autoklavhärtung	13	Bolzen	207, 208
Aylsworth, J. W.	9	Brandschutz	157
		abwehrender Brandschutz	157
		bauaufsichtliche Anforderungen	157
		nicht tragende Wände	164
		tragende nicht raumabschließende Wände	165
		tragende raumabschließende Wände	164
		vorbeugender Brandschutz	157
		Brandverhalten	158
		Brandwände	166
		aus Mauerwerk	166
		Brüstungsmauerwerk	197
B			
Bandsäge	195		
Bauausführung	194		
Bauliche Durchbildung	64		
Bauprodukte	158		
Baustellenorganisation	193		
Baustoff	9		
Baustoffklasse	159		
Bausystem	31		

C			
Calciumaluminathydrat	12	Erddruck	60, 201
Calciumhydroxid	12	Ergänzungsprodukte	23
Calciumsilikathydrat	13	erhöhter Schallschutz	135, 147
CE-Kennzeichnung	23	Eriksson, Axel	9
charakteristische Druckfestigkeit	54	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)	108
		Errichtung	16
		Eurocode 6 (EC 6)	53
D		F	
Dachaufstockung	36	Feuchte	119
Dampfdruckhärtung	10	Feuchtegehalt	119
Deckenrandstein	27	Feuchtequellen	120
Deckungsanteil erneuerbarer Energien am Wärme- und Kälteenergiebedarf	108	Feuchteschutz	119
Deponierung	19	Feuerschutzabschlüsse	169
Dichtheit	95	Feuerwiderstandsfähigkeit	158
Dichtungsschlämme	195	Feuerwiderstandsklasse	161, 164, 165
Diffusion	120	Flachdächer	44
direkte Schallübertragung	138	flächenbezogene Masse	140
Direkt-Schalldämm-Maß	140, 141	Flachsturz	28
Direktschalldämmung	140	Flankenschalldämmung	142
Doppel- und Reihenhäuser	211	flankierende Schallübertragung	138
Druckfestigkeit	24	Flüssigwassertransport	120
Dübel	207, 208	G	
Dünnbettmörtelverfahren	23	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	39
Durchbrüche	200	Gesundheit	18
Dyer, F. A.	9	Gewerbe- und Bürogebäude	229
E		Gips	10
Eckschutzprofile	203	Glaser-Verfahren	121
Eckstein	27	Gleichgewichtsfeuchte	119
Eigenlasten		Grenzzustand der Tragfähigkeit	53
Baustoffe und Bauteile	40	Griffhilfen	23
Hochbauten	40	Gummihammer	195
Eigenüberwachung	14	Gütesicherung	14
Einbau von Innenwänden	36	H	
Einfamilienhäuser	211	Haustrennwand, zweischalig	32, 33, 147
Einfassungsbauteile	51	Herstellfeuchte	119
Einwirkung aus dem Untergrund	128	Herstellung	10, 16
Energieausweis	90, 101	Hoffmann, E.	9
Energieeinsparverordnung	83	Höhenausgleichsschicht	199
bestehende Gebäude	101	Höhenausgleichsstein	27
zu errichtende kleine Gebäude	95	Holzfachwerke	208
zu errichtende Nichtwohngebäude	90	Horizontale Abdichtung	130
zu errichtende Wohngebäude	85		
Energieverbrauch	17		
Entwicklung des Porenbetons	9		
Erdbebenlasten	49		
Erdbebenzonen	50		

I		Mauertafeln	
Innenputze	205	Berechnung	70
Innenwand	34, 35	Mauerwerksprodukte	23
Instandhaltung	19	Mehrfamilienhäuser	219
J		Michaelis, W.	9
Jahres-Primärenergiebedarf	85	Mindestanforderungen an den Schallschutz	135
K		Mindestschallschutz	147
Kalk	10	Mindest-Trockenschichtdicke	202
Kapillare Rückleitung	122	Mindestwärmeschutz im Winter	75, 82
Kapillarleitung	121	mineralische Dichtungsschlämme (MDS)	195, 202
Kelleraußenwand	34	Minikran	198
Kelleraußenwandabdichtung	126	Modernisierung	35
Keller-Außenwandputz	205	Mörtelbett	195, 199
Kellerwandabdichtung	201	Musterbauordnung	157
Keramische Beläge	206	N	
Klassifizierung von Baustoffen und Bauteilen	158	Nachhaltigkeit	14
Komplextrennwände	167	Nachhaltigkeitsbetrachtung	15
Konstruktionen	173	Nägeln	207
Konstruktionsdetails	173	Nassschichtdicke	202
Korrosionsschutz	12	nicht brennbare Baustoffe	159
Kunstharzputze	204	Nivelliergerät	195
L		Norm-Trittschallpegel	150
Lagerfugen	194	Nut-Feder-Profilierungen	23
Lärmpegelbereiche	137, 155	Nutzlasten	40
Lastannahmen	40	Nutzung	17
Lebenszyklusbetrachtung	15	Nutzungsphase	14
Leichtputze	204	O	
Leistungserklärung	23	Oberflächenbehandlung	201
Liste unbedenklicher Bauteile	121	Oberflächentemperatur	123
Luftdichtheit	95	Objektbeispiele	211
Luftschalldämmung		Aufstockung	227
Außenbauteile	153	Bestandersatz	224
von Außenlärm	153	Doppel- und Reihenhäuser	211
zwischen Räumen	136	Einfamilienhäuser	211
Luftschallübertragung zwischen Räumen	138	Gewerbe- und Bürogebäude	229
Luftschichtdicke,		Mehrfamilienhäuser	219
wasserdampfdiffusionsäquivalent	120	Ökologische Qualität	14
Luftschicht-Maueranker	198	Ökonomische Qualität	14
M		P	
Maueranker	198	Passstücke	200
Mauerschlitzzfräse	200	Pfeiler	164
Mauertafel	23	Planbauplatte	26
		Planelement	26
		Planstein	25

Plansteinkelle	195	S	
Planung	15	Satteldächer	45
Polyethylenfolie	13	Schallschutz im Hochbau	135
polymermodifizierte Bitumendickbeschichtung (PMBC)	201	Schallübertragungswege	139
Porenbeton-Bausystem	31	Schimmelpilzbildung	123
Porenbetongranulat	20	Schlagregenbeanspruchung	124
Porenbetonmauerwerk	32	Schlagregenschutz	123
Porenbildung	12	Schlitze	200
Porenstruktur	13	Schlitzkratzer	200
Porosität	12	Schneelasten	47
Primärenergiebedarf	84	Schneelastzonenkarte	47
Primärrohstoffe	11	Schrauben	208
Produkte	23	Schubwände	51
Produkteigenschaften	23	Schutzschichten	202
Produktivität	193, 194	Sicherheitskonzept	53
Putzbewehrung	203	Siliciumdioxid	10, 13
Putze	202	Sockelabschluss-Schiene	203
Putzmörtel	203	Sommerklimaregion	112
		Sommerlicher Wärmeschutz	75, 109
		Sonneneintragskennwert	110
		Sorptionsisothermen	119
		Sortenreine Porenbetonreste	19
Q		Soziokulturelle Qualität	15
Qualitätsstandard	14	Spritzwasser	128
Quarzsand	10	Stahldrähte	12
Querschnittsabdichtung	130, 195, 199	Steckdosenbohrer	200
Querwände	62	Steindruckfestigkeitsklasse	55
		Stoßstellen	143
		Stoßstellendämm-Maß	143
R		Stumpfstoßtechnik	198
Radioaktivität	16	Sturz	28
Rationalisierung	193		
Raumnutzungsklassen	129	T	
Recycling	19	Tagesleistung	193
Recyclinggranulat	19	Tauchbad	12
Recyclingmaterial	11	Tauwasser	123
Referenzgebäude	86, 87	Teilsicherheitsbeiwert Mauerwerk	60
Reibebrett	195	Temperaturfaktor	123
Reihenhäuser	211	Tobermorit	13
Rissklassen	129	Tragfähigkeitsnachweis	39
Rissüberbrückungsklassen	129	Transmissionswärmeverlust	86
Rohdichte	24	Transport	17
Rohstoffgewinnung	16	Trennwände (zweischalig) massiver	
Rohstoffmischung	12	Doppel- und Reihenhäuser	147
Rohstoffverbrauch	16	Trittschalldämmung	136, 152
Rückbau	19	Trittschallminderung	150
Rückdiffusion	122	Trittschallübertragung	150
Rührquirl	195		

U			
Übersichtskarte zur			
Schlagregenbeanspruchung	124	Wasserdampfdiffusion	120
Umwelt-Produktdeklaration	16	Wassereinwirkung	126
Umweltverträglichkeit	14	Wassereinwirkungsklasse	201
Unterputzschalter	200	Wassergehalt	119
U-Schale	28	Wasserstoffgas	12
U-Stein	28	Wasserwaage	195
		Werkzeuge	195
		Widia-Handsäge	195
		Wiederverwendung	19
		Windlasten	40
		Flachdächer	44
		Sattel- und Trogdächer	45
		Windzonenkarte	41
		Wirtschaftlichkeit	193
V		Z	
Veränderung von Bauteilen	36	Zement	10
Verarbeitung	17, 195	Zernikow, F.	9
bei Frost	200		
bei Regen	200		
Planelemente	198		
Plansteine	195		
Produktivität	193, 194		
Verkleidung von Installationen	36		
Versetzzange	198		
Verteilerdosen	200		
W			
Wandabschnitte	164		
Wandabwicklungsplan	199		
Wandbauprodukte	25		
Wände	164		
Wandkonstruktionen	32		
Wärme	75		
Wärmebrücken	95, 96, 123		
Wärmebrückenkatalog	97		
Wärmebrückenzuschlagskoeffizient	86		
Wärmedurchgangskoeffizient	77, 86		
Wärmedurchgangswiderstand	77		
Wärmedurchlasswiderstand	77		
Wärmekonvektion	75		
Wärmeleitfähigkeit	76		
Wärmeleitung	75		
Wärmeschutz			
energieeinsparender Wärmeschutz	83		
sommerlicher Wärmeschutz	75, 109		
winterlicher Wärmeschutz	75, 82		
Wärmespeicherfähigkeit	80		
Wärmespeicherung	80		
Wärmestrahlung	75		
Wärmeübergang	75		
Wärmeübergangswiderstand	75		
Wasser	10		
drückend	128		
nicht drückend	126, 128		
Wasseraufnahmekoeffizient	122		

PORENBETON HANDBUCH

7. Auflage (Dezember 2018)

Herausgeber	Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. · Kochstr. 6–7 · 10969 Berlin
Vertrieb	BVP-Porenbeton-Informationen-GmbH · Kochstr. 6–7 · 10969 Berlin Telefon 030 / 25 92 82 14 · info@bv-porenbeton.de · www.bv-porenbeton.de
Schutzgebühr	€ 20,-