



## Kapitel 10

# WINTERLICHER WÄRMESCHUTZ

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach und  
Ingenieurbüro für Energie Bauphysik Projekte, München,  
Dipl.-Ing. Christoph Sprengard,  
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V., München

Stand: 01/2018



## 1. Überblick

Der Wärmeschutz von Gebäuden verdient aus vielfältigen Gründen besondere Beachtung. Ein energieeffizientes Haus benötigt im Vergleich mit einem unsanierten Altbau bis zu 80 % oder 90 % weniger Energie und schont damit nicht nur die Umwelt, sondern spart damit seinen Bewohnern viel Geld. Wird weniger Energie verbraucht, entstehen weniger CO<sub>2</sub> und andere schädliche Emissionen wie Ruß und Feinstaub. Wärmeschutz ist hier gleichzeitig auch Klimaschutz und hilft, die Energiesparziele der Bundesregierung zu erreichen. Energieeffiziente Gebäude verbrauchen wenig, sind jedoch höchst behaglich und bieten ein gutes Wohnklima. In den privaten Haushalten in Deutschland wird etwa ein Viertel des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland aufgewendet (Bild 1). Von diesen 636 TWh entfallen 70 % auf die Raumheizung und weitere 13 % auf die Warmwasserbereitung. Die Haushalte sind damit ein wichtiger Sektor hinsichtlich Energieeinsparung und Emissionsverminderung.

Bei kluger Planung ist es sehr gut erreichbar – eigentlich fast unvermeidbar –, gleichzeitig mit der Verbesserung des Wärmeschutzes und der Energieeffizienz auch die Behaglichkeit und den Nutzwert für die Bewohner zu steigern. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass die Gebäude auch in Zukunft energie- und kostensparend genutzt werden können.

Eine Anzahl von Normen sowie die Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. deren Nachfolger stellen ein einzuhaltendes Mindestniveau des baulichen Wärmeschutzes und der Energieeinsparung in Gebäuden sicher. Empfehlenswert ist es aber, deutlich über diese Mindestanforderungen hinauszugehen, um zukunftstaugliche Gebäude mit hohem Effizienzniveau zu realisieren. Gleichzeitig sind Bauprodukte und Haustechnikkomponenten verfügbar, die es erlauben, ohne aufwändige Spezialmaßnahmen solche Gebäude zu realisieren.

Die energiesparrechtlichen Mindestanforderungen, die in der Energieeinsparverordnung verankert sind, beziehen sich auf das Gebäude als Ganzes, d.h. auf die Kombination aus Gebäudehülle und Anlagentechnik. Rein bauteilbezogene Anforderungen, z.B. an den Dämmwert, werden in der EnEV nur noch bei der Sanierung einzelner Bauteile in Bestandsimmobilien gestellt. Die Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung werden in der Fachbroschüre „Kalksandstein Energieeinsparverordnung 2016“ [3] dargestellt.

Im Gegensatz zur EnEV, die auf das komplette Gebäude einschließlich Haustechnik zielt, betrachtet der bauliche Wärme-

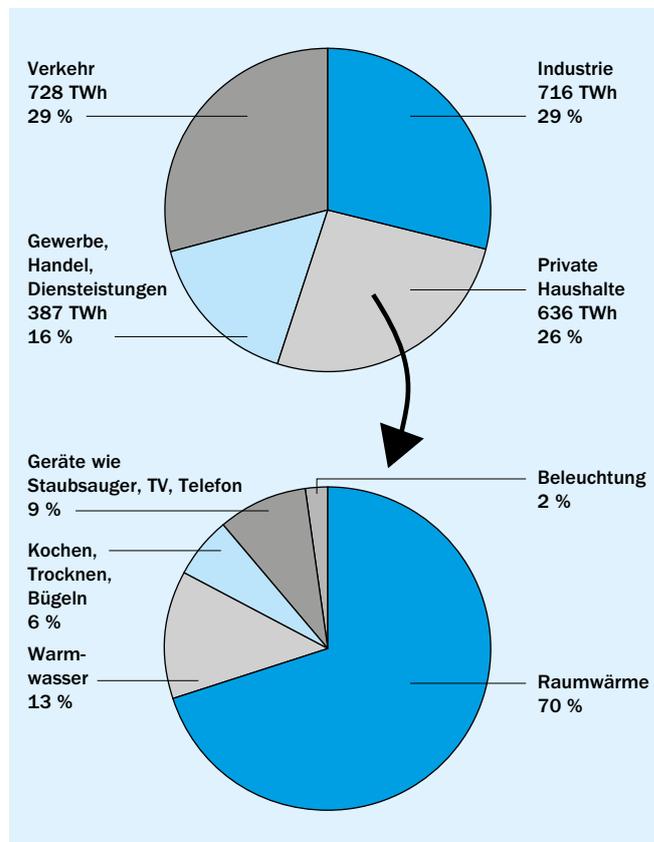


Bild 1 Endenergiebedarf in Deutschland nach Sektoren [1] und für Wohnen in privaten Haushalten [2] im Jahr 2015

schutz einzelne Bauteile (z.B. Wände, Decken, Fenster, Boden, Dach) und ist vor allem hygienisch begründet. Hier geht es in erster Linie um die Vermeidung von Tauwasser und Schimmelpilzwachstum, sowie um den hygienischen und thermischen Schutz der Nutzer. Der bauliche Mindestwärmeschutz ist über bauaufsichtlich verpflichtend eingeführte Normen geregelt, und damit unumgänglich und in jedem Fall geschuldet. Zumindest bei flächigen Außenbauteilen wird er in der Praxis ohnehin meist deutlich übertroffen, weil die Bauteile anderenfalls gar nicht den heutigen Ansprüchen an die Energieeinsparung, dem modernen Komfortbedürfnis und der aktuell üblichen Bauqualität genügen würden.



## 2. Normen zum baulichen Wärmeschutz

Die beiden wichtigsten deutschen Normenreihen zum baulichen Wärme- und Feuchteschutz und zur Energieeinsparung in Gebäuden sind die Normenreihen DIN 4108 und DIN V 18599. Daneben sind viele der grundlegenden bauphysikalischen Berechnungsverfahren für die Gebäudehülle in internationalen Normen beschrieben, auf die von den deutschen Normen nur noch verwiesen wird.

Die wichtigsten Normen und physikalischen Größen rund um bauliche Wärmedämmung und klimabedingten Feuchteschutz in Gebäuden mit Formelzeichen und Einheiten sind im Anhang zusammengestellt (Tafeln A1 und A2).

### 2.1 Normenreihe DIN 4108 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden“

Die einzelnen Teile der eher bauteilbezogenen Normenreihe DIN 4108 konzentrieren sich auf verschiedene bauphysikalische Aspekte der Gebäudehülle. Dafür legen sie Grundlagen, Anforderungswerte und teilweise auch die erforderlichen Nachweisverfahren fest:

- DIN 4108-2 beschreibt die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz. Diese betreffen sowohl flächige Bauteile als auch den Bereich von Wärmebrücken. In diesem Normenteil werden die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sowie ein zugehöriges vereinfachtes Nachweisverfahren definiert.
- DIN 4108-3 behandelt den klimabedingten Feuchteschutz, das so genannte Glaser-Verfahren sowie zugehörige Anforderungen und Rechenverfahren.
- DIN 4108-4 tabelliert wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte, die für Berechnungen zu verwenden sind. Für den Fall, dass Nennwerte nach europäischen Produktnormen, nationalen oder europäischen Produktzulassungen vorliegen, werden in DIN 4108-4 Vorgaben zur Umrechnung der Nennwerte in Bemessungswerte gegeben. International vereinheitlichte Materialkennwerte finden sich in DIN EN ISO 10456.
- DIN 4108-6 stellt, zusammen mit DIN V 4701-10 und deren Beiblatt 1, ein alternatives energetisches Bewertungsverfahren für Wohngebäude zur Verfügung. Für die Zwecke der EnEV soll es in absehbarer Zeit durch ein ähnliches Tabellenverfahren, nämlich DIN V 18599 Beiblatt 3, abgelöst werden.
- DIN 4108-7 gibt Anforderungen und Ausführungshinweise zur Luftdichtheit der Gebäudehülle.
- DIN-Fachbericht 4108-8 erläutert verschiedene Aspekte und Zusammenhänge zur Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden.
- DIN 4108-10 enthält die Anwendungstypen von Dämmstoffen inklusive zugeordneter Piktogramme, und listet je nach Dämmstoff und Anwendungstyp die dafür erforderlichen Eigenschaftswerte der Dämmstoffe auf. Die Norm dient den Dämmstoffherstellern als Grundlage zur Einstufung ihrer Produkte in die jeweiligen Anwendungstypen. Für den Bauanwender eines Dämmstoffes sind vor allem die

Anwendungstypen (inklusive deren Untergruppen) und die korrespondierenden Piktogramme von Bedeutung.

- DIN 4108-11 wird zukünftig Anforderungen an bauliche Klebänder und Klebmassen und die zugehörigen Prüfverfahren beschreiben.
- DIN 4108 Beiblatt 2 beschäftigt sich mit der Vermeidung von Wärmebrücken. Im Rahmen des EnEV-Nachweises stellt das Beiblatt dar, welche konstruktiven oder zahlenmäßigen Anforderungen von Bauteilanschlüssen einzuhalten sind, damit beim Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle ein verminderter pauschaler Wärmebrückenzuschlag angesetzt werden darf. Seit 2018 gibt es zwei verminderte pauschale Wärmebrückenzuschläge, den bisherigen  $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  für die Kategorie A (Merkhilfe: A wie „alt“) und einen noch weiter verminderten von  $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  für die neu eingeführte Kategorie B (Merkhilfe: B wie „besser“).

### 2.2 Normenreihe DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“

Die Vornormenreihe DIN V 18599 beschäftigt sich mit der energetischen Bewertung des gesamten Gebäudes, von den Grundlagen und der Beschreibung der Bilanzierung in Teil 1 über die energetische Bewertung der Gebäudehülle in Teil 2, der Heizungs-, Warmwasser-, Lüftungs- und Klimatechnik sowie der Beleuchtung in den Teilen 3 bis 9 sowie 11. Teil 10 der Normenreihe legt die anzusetzenden Nutzungsprofile für Gebäude und Anlagentechnik fest. Die Normenreihe wird ergänzt durch derzeit drei Beiblätter.

Die frühere inhaltliche und begriffliche Konzentration im Normenwerk auf den Wärmeverlust im Winter ist sprachlich inzwischen ersetzt durch den allgemeineren Bezug auf Wärmetransport oder Wärmetransfer, um die Normen auch für den sommerlichen Wärmeeintrag anwenden zu können. Formulierungen, Formelzeichen und viele Gleichungen gelten dann sowohl für winterliche Wärmeabsträge als auch für sommerliche Wärmeeinträge. In der Normenreihe DIN V 18599 werden (erwünschte und unerwünschte) Wärmeeinträge in den Raum als Wärmequellen, (erwünschte und unerwünschte) Wärmeabsträge aus dem Raum als Wärmesenken bezeichnet. Dies gewährleistet eine wertungsfreie, durchgehend logische Begrifflichkeit.

Die grundlegenden Berechnungs- und Bewertungsverfahren der DIN V 18599 sind zu einem Teil bereits in CEN- bzw. ISO-Normen aufgenommen, z.B. in die neue ISO-Normenreihe 52000ff. übertragen worden. Die Verfahren und Bewertungsansätze der DIN V 18599-Reihe sind allerdings nicht 1:1 in die ISO-Normenreihe übertragen, in einigen Bereichen weicht die Vorgehensweise der internationalen Norm sogar grundlegend von der DIN V 18599 ab. Deshalb kann bei Anwendung dieser ISO-Normenreihe keine Identität des Ergebnisses und der Bewertung mit der EnEV erreicht werden, und die ISO-Normenreihe kann derzeit nicht für den EnEV-Nachweis in Deutschland verwendet werden.

Eine genauere Beschreibung der Normenreihe DIN V 18599 erfolgt in der Fachbroschüre „KALKSANDSTEIN Energieeinsparverordnung 2016“ [3].

### 2.3 Grundlegende ISO-Berechnungsnormen für die Gebäudehülle

Die grundlegenden bauphysikalischen Berechnungsverfahren für die Gebäudehülle sind seit vielen Jahren in internationalen ISO-Normen verankert, die als DIN EN ISO vom Deutschen Institut für Normung übernommen sind und von den deutschen Normen in Bezug genommen werden, z.B.:

- DIN EN ISO 6946: U-Wert von opaken Bauteilen
- DIN EN ISO 10211: Numerische Berechnung von Wärmebrücken
- DIN EN ISO 10077-1 und -2: U-Wert von Fenstern, Türen und Abschlüssen
- DIN EN ISO 12631: U-Wert von Vorhangfassaden
- DIN EN ISO 13370: Wärmeübertragung über das Erdreich (Alternativ zum Verfahren der DIN EN ISO 13370 kann der vereinfachte nationale Ansatz mit Temperaturkorrekturfaktoren  $F_x$  verwendet werden, wie er sich sowohl in DIN 4108-6 als auch in DIN V 18599-2 und in den vereinfachten Randbedingungen nach DIN 4108 Beiblatt 2 wiederfindet.)

### 2.4 Beheizter Bereich und thermische Gebäudehülle

Für den baulichen Wärmeschutz sind nur die wärmeübertragenden Bauteile der Gebäudehülle relevant. Das umfasst alle Innen- und Außenbauteile, die das beheizte Gebäudevolumen gegen die Außenluft oder gegen unbeheizte Dachböden und Keller, Garagen, unbeheizte Anbauten, oder andere Bereiche mit

deutlich verschiedenen Innentemperaturen abgrenzen. Die thermische Gebäudehülle umgibt das beheizte Gebäudevolumen lückenlos. (Ausnahme: Haustrennwände und -decken zwischen gleichartig beheizten Bereichen werden nicht in der thermischen Hüllfläche berücksichtigt, da ohne Temperaturunterschied kein Wärmeverlust durch diese Bauteile auftritt.)

Alle beheizbaren Räume, auch wenn sie tatsächlich nur gelegentlich oder gar nicht beheizt werden wie Gästezimmer, Hobbyraum etc., zählen nach DIN 4108-2 zum beheizten Bereich. Die Einstufung „beheizt“ gilt immer dann, wenn im betrachteten Raum eine Heizeinrichtung oder eine Heizfläche eingebaut ist oder eine Beheizung über Raumverbund möglich ist. Als Raumverbund definiert DIN 4108-2 einen offenen Verbund der aneinandergrenzenden Räume, z.B. bei zum Wohnbereich offenen Treppenträumen und Treppenabgängen. Offenstehende aber schließbare (und erst recht geschlossene) Türen zählen ausdrücklich nicht als Raumverbund. Vollständig innenliegende Räume (innenliegende Abstellkammern, innenliegendes WC etc.) sind über die Bauteile, die sie vom beheizten Bereich trennen, indirekt beheizt und zählen ebenfalls zum beheizten Volumen. Ein zum Wohnbereich abgeschlossenes Treppenhaus ohne Heizkörper kann wahlweise als indirekt beheizt (über die umschließenden Bauteile – dann gehört es zum beheizten Bereich) oder als nicht beheizt (dann liegt es außerhalb der thermischen Hülle) eingestuft werden. Hat das Treppenhaus einen Heizkörper, dann zählt es zum beheizten Bereich. Anbauten oder vorgelagerte Räume, die weder direkt noch über den Raumverbund beheizt werden können, wie z.B. Garage, Schuppen, nicht beheizbarer Glasvorbau (durch Türen vom beheizten Gebäudevolumen getrennt), sind „nicht beheizt“ und liegen außerhalb der thermischen Hüllfläche. Die Überlegungen zur thermischen Gebäudehülle gelten in gleicher Weise für die Hüllfläche, die im Sommer einen gekühlten Bereich gegen Außenluft bzw. gegen angrenzende, nicht gekühlte Bereiche abgrenzt.

## 3. Von der Wärmeleitfähigkeit zum U-Wert

In diesem Abschnitt werden die relevanten Größen rund um die Wärmedämmung von Bauteilen beschrieben. Die international normierte Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) in DIN EN ISO 6946 wird in einem Beispiel dargestellt. Für U- und  $\psi$ -Werte (Psi-Wert, linearer Wärmedurchgangskoeffizient) anderer spezieller Bauteile, wie z.B. Fenster, Vorhangfassaden und Wärmebrücken existieren ebenfalls genauere Berechnungsverfahren (DIN EN ISO 10211 bzw. DIN EN ISO 10077). In der Energieeinsparverordnung (EnEV) werden diese Normen als Berechnungsvorschrift in Bezug genommen. Alle wärmetechnischen Kennwerte für EnEV-Nachweise sind hiernach zu bestimmen. Abweichungen von diesen Berechnungsvorschriften stellen einen Planungsfehler dar. Eine Ausnahme ist nur der „konstruktive Wärmedurchgangskoeffizient“ von erdberührten Bauteilen: Er wird nicht nach der eigentlich für erdberührte Bauteile zuständigen DIN EN ISO 13370 berechnet, sondern nach DIN EN ISO 6946 – die laut ihrer eigenen Aussage nicht für erdberührte Bauteile gilt; weshalb der konstruktive U-Wert auf einer entsprechenden Sonderregelung im deutschen Normenwerk beruht.

### 3.1 Wärmestrom, Widerstand

Der stationäre Wärmedurchgang (Transmission) durch ein einschichtiges Bauteil besteht aus drei Phasen (Bild 2):

- Wärmeübergang aus der Raumluft (mittels Luftströmung und Wärmeleitung) und von den umgebenden Bauteiloberflächen (mittels Wärmestrahlung zwischen den umgebenden Raumboberflächen und der betrachteten Fläche),
- Wärmetransport (bestehend aus den Transportphänomenen Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung; zusammengefasst als Wärmeleitung) durch die Baustoffschicht selbst und
- Wärmeübergang (Wärmeabgabe) von der Außenoberfläche an die Außenluft, wiederum mittels Konvektion und Wärmeleitung, und an umgebende Oberflächen mittels Wärmestrahlung.

In allen Phasen wird der Wärme (= Energie) ein gewisser Widerstand entgegengesetzt, den sie überwinden muss: den Wärmeübergangswiderstand auf der Innenseite ( $R_{si}$ ), den Wärmedurchlasswiderstand der Baustoffschicht ( $R_i$ ), den Wärmeübergangswiderstand auf der Außenseite ( $R_{se}$ ). Es handelt sich um eine Reihenschaltung von Widerständen. Wie beim elektrischen Strom ist der Gesamtwiderstand die Summe der Einzelwiderstände, in der Wärmelehre bezeichnet als Wärmedurchgangswiderstand, mit dem Formelzeichen  $R_T$  mit dem Index  $T$  für Transmission.

Bauteile bestehen häufig aus mehreren Schichten ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ ), deren individuelle Wärmedurchlasswiderstände  $R_i$  alle in Reihe geschaltet sind; ihre Summe nennt man den Wärmedurchlasswiderstand  $R$  des Bauteils (von Oberfläche zu Oberfläche). Sind die Schichten in sich jeweils homogen, d.h. innerhalb einer Schicht ändern sich die thermischen Eigenschaften nicht, dann errechnet sich der Wärmedurchlasswiderstand jeder Baustoffschicht als Quotient ihrer Schichtdicke (in Metern) und der Wärmeleitfähigkeit des Materials (in  $W/(m \cdot K)$ ), aus dem sie besteht:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad \text{für die } i\text{-te Schicht und} \quad (3.1)$$

$$R = \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad \text{für die Summe aller Schichten von Oberfläche zu Oberfläche.} \quad (3.2)$$

$R$  ist flächenspezifisch, mit der Einheit  $m^2 \cdot K/W$ . Die Wärmeübergangswiderstände  $R_{si}$  und  $R_{se}$  sind in DIN EN ISO 6946 tabelliert. Bei direktem Kontakt zwischen zwei Schichten tritt kein Übergangswiderstand auf, z.B. zwischen der Außenseite der Kellerwand und dem Erdreich; dort ist  $R_{se} = 0$ . Der gesamte Wärmedurchgangswiderstand  $R_T$  eines Bauteils ergibt sich zu:

$$R_T = R_{si} + \sum_i R_i + R_{se} = R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (3.3)$$

Je größer der Wärmedurchlasswiderstand bzw. der Wärmedurchgangswiderstand ist, desto größer ist die Dämmwirkung der Baustoffschicht bzw. des Bauteils.

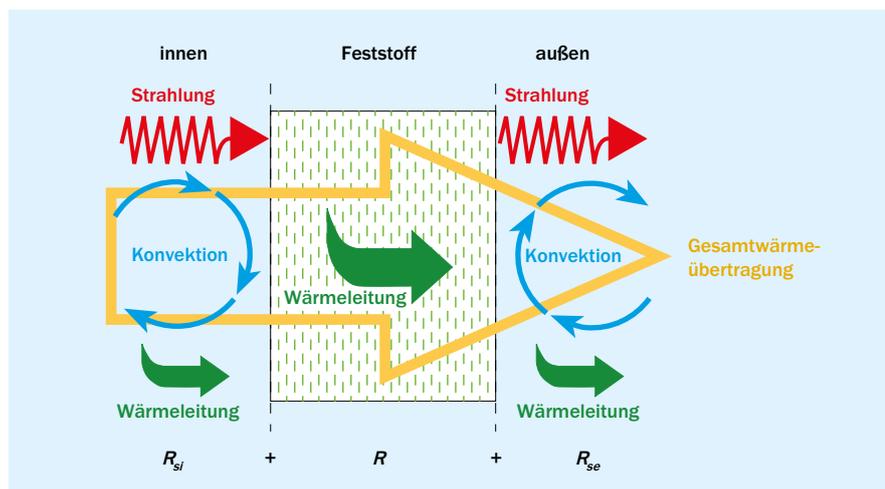


Bild 2 Wärmedurchgang durch ein Bauteil

Die Vorgänge beim Wärmetransport lassen sich gut mit der Analogie zum elektrischen Strom verdeutlichen: Der elektrische Strom entspricht dem Wärmestrom, der elektrische Widerstand dem Wärmedurchlasswiderstand einer einzelnen Baustoffschicht oder dem Wärmedurchgangswiderstand des ganzen Bauteils als Reihenschaltung von Widerständen. Die elektrische Spannung entspricht der Temperaturdifferenz zwischen der warmen und der kalten Seite. Sie stellt das treibende Potenzial dar, aufgrund dessen es überhaupt zum Wärmetransport kommt: Herrscht auf beiden Seiten des Bauteils die gleiche Temperatur, findet kein Wärmetransport statt.

### 3.2 Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert

Üblich ist im Bauwesen die Verwendung des Wärmedurchgangskoeffizienten  $U$  (U-Wert) des Bauteils; er ist der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstands (Tafel 1):

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (3.4)$$

Der U-Wert wird berechnet, indem die Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Schichten (jeweils Dicke geteilt durch die Wärmeleitfähigkeit) aufsummiert werden. Zur Summe werden die Wärmeübergangswiderstände auf beiden Seiten des Bauteils (Wärmestromrichtung!) addiert, und vom Ergebnis wird der Kehrwert gebildet (Tafel 2).

#### INFO

Der U-Wert gibt an, wie groß der Wärmedurchgang in Wattstunden pro Stunde und pro Quadratmeter des Bauteils ist, wenn sich die Lufttemperaturen zu beiden Seiten um 1 Kelvin (entspricht 1 °C) unterscheiden. Je kleiner der U-Wert ist, umso besser ist die Dämmwirkung des Bauteils.

Als Endergebnis ist der U-Wert auf zwei wertanzeigende Stellen zu runden, in der Regel zwei Nachkommastellen (z.B. 0,23  $W/(m^2 \cdot K)$ ). Dies entspricht der Genauigkeit der Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. Zwischenergebnisse, mit denen weitergerechnet wird, etwa für die Berechnung eines  $\Psi$ -Werts, können mit drei wertanzeigenden Stellen angegeben werden (z.B. 0,230  $W/(m^2 \cdot K)$  bzw. 0,231  $W/(m^2 \cdot K)$ ).

Das Produkt aus dem U-Wert und der der Fläche ergibt den spezifischen Transmissionswärmeflusskoeffizient  $H_T$  für die Fläche (ohne Wärmebrücken):

$$H_T = U \cdot A \quad [W/K] \quad (3.5)$$

Tafel 1 stellt U-Werte von typischen KS-Außenwänden zusammen. Tafel 2 gibt Beispiele für die Berechnung des U-Werts von Mauerwerk aus homogenen Schichten.

Tafel 1 U-Werte von KS-Außenwänden (Beispiele)

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	<b>Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem</b>  $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) <sup>1)</sup> $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	33,5	14	0,15	0,16	0,21	0,23	
	35,5	16	0,13	0,14	0,19	0,20	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	43,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	<b>Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung</b>  $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) <sup>1)</sup> $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt $R = 0,15 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,115 m <sup>2)</sup> KS-Verblendschale $\lambda = 1,1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ (KS Vb RDK 2,0) <sup>1)</sup> oder verputzte KS-Vormauerschale $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	43,0	12	0,16	0,18	0,23	0,25	
	45,0	14	0,14	0,16	0,20	0,22	
	47,0	16	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	<b>Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht</b>  $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) <sup>1)</sup> $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WZ $R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ ≥ 0,04 m Luftschicht 0,115 m <sup>2)</sup> KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)
	46,0	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	48,0	14	0,15	0,16	0,21	0,22	
	50,0	16	0,13	0,14	0,18	0,20	
	52,0	18	0,12	0,13	0,16	0,18	
	54,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	31,5	10	-	-	0,28	0,30	<b>Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung</b>  $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) <sup>1)</sup> $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff WAB $R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,02 m Hinterlüftung 0,01 m Fassadenbekleidung
	33,5	12	-	-	0,24	0,26	
	37,5	16	-	-	0,18	0,20	
	41,5	20	-	-	0,15	0,16	
	45,5	24	-	-	0,13	0,14	
	51,5	30	-	-	0,10	0,11	
	47,5	10	-	-	-	0,34	<b>Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung)</b>  $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,365 m Kalksandstein (RDK 1,8) <sup>1)</sup> $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Perimeterdämmung <sup>3)</sup> Typ PW $R_{se} = 0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	51,5	14	-	-	-	0,26	
	53,5	16	-	-	-	0,24	
	57,5	20	-	-	-	0,20	
	61,5	24	-	-	-	0,18	
	61,5	24	-	-	-	0,17	
	47,5	10	-	-	-	0,32	<b>Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit innen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung)</b>  $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,365 m Kalksandstein (RDK 1,4) <sup>1)</sup> $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Perimeterdämmung <sup>3)</sup> Typ PW $R_{se} = 0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	51,5	14	-	-	-	0,25	
	53,5	16	-	-	-	0,23	
	57,5	20	-	-	-	0,20	
	61,5	24	-	-	-	0,17	
	61,5	24	-	-	-	0,17	

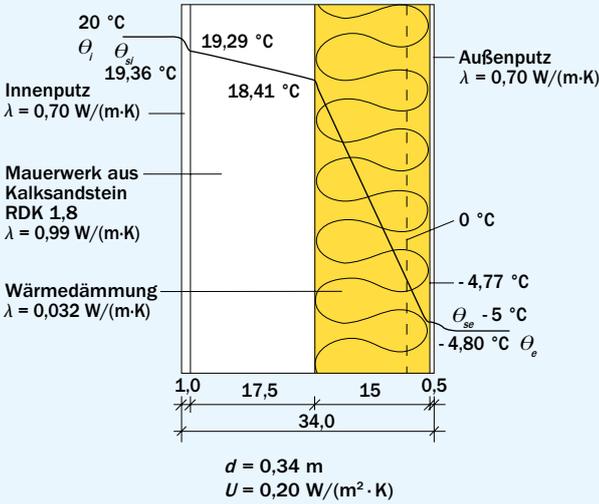
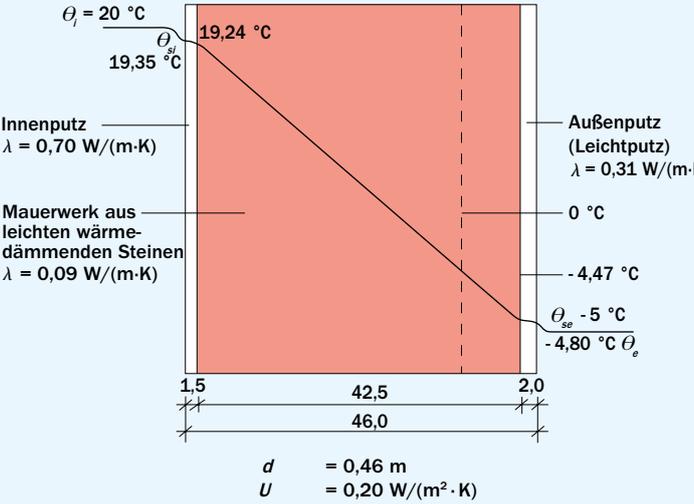
Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_B$  anzusetzen.

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

<sup>2)</sup> 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA

<sup>3)</sup> Der Zuschlag  $\Delta U = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist bereits berücksichtigt.

Tafel 2 Berechnung des U-Werts von Außenwänden aus homogenen Schichten (Beispiele)

a) Einschaliges KS-Mauerwerk mit WDVS	b) Monolithische Außenwand																																																																																																						
																																																																																																							
<p>Aufbau von innen nach außen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 cm Gipsputz (<math>\lambda = 0,70 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math>)</li> <li>17,5 cm Kalksandstein-Mauerwerk der RDK 1,8 (<math>\lambda = 0,99 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math>)</li> <li>15 cm WDVS (Polystyrol EPS 032) (<math>\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math>)</li> <li>0,5 cm Außenputz (<math>\lambda = 0,70 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math>)</li> </ul>	<p>Aufbau von innen nach außen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1,5 cm Gipsputz (<math>\lambda = 0,70 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math>)</li> <li>42,5 cm Mauerwerk aus leichten wärmedämmenden Steinen mit Leicht- oder Dünnbettmörtel (<math>\lambda = \text{laut abZ } 0,09 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math>)</li> <li>2,0 cm Faserleichtputz <math>\leq 700 \text{ kg}/\text{m}^3</math> (<math>\lambda = 0,31 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math>)</li> </ul>																																																																																																						
<p>Berechnung des U-Werts durch Einsetzen in die Formel:</p>																																																																																																							
$U = \frac{1}{\frac{0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}} + \frac{0,01 \text{ m}}{0,70 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} + \frac{0,175 \text{ m}}{0,99 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} + \frac{0,15 \text{ m}}{0,032 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} + \frac{0,005 \text{ m}}{0,70 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} + 0,04 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}}} = 0,198 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \approx 0,200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$																																																																																																							
$U = \frac{1}{\frac{0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}} + \frac{0,015 \text{ m}}{0,70 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} + \frac{0,425 \text{ m}}{0,09 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,31 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} + 0,04 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}}} = 0,201 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \approx 0,20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$																																																																																																							
<p>Berechnung des U-Werts mit Hilfe einer geeigneten Arbeitshilfe (z.B. [4])</p>																																																																																																							
<p><b>Einschalige KS-Außenwand mit WDVS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>RDK [-]</th> <th>d [cm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/(m·K)]</th> <th><math>d/\lambda</math> [W/(m²·K)]</th> <th><math>\theta</math> 20,0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Wärmeübergangswiderstand <math>R_{si}</math> =</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,13</td> <td>19,36</td> </tr> <tr> <td>Innenputz</td> <td></td> <td>1,0</td> <td>0,70</td> <td>0,014</td> <td>19,29</td> </tr> <tr> <td>Kalksandstein</td> <td>1,8</td> <td>17,5</td> <td>0,99</td> <td>0,177</td> <td>18,41</td> </tr> <tr> <td>Wärmedämmung</td> <td></td> <td>15</td> <td>0,032</td> <td>4,688</td> <td>-4,77</td> </tr> <tr> <td>Außenputz</td> <td></td> <td>0,5</td> <td>0,70</td> <td>0,007</td> <td>-4,80</td> </tr> <tr> <td>Wärmeübergangswiderstand <math>R_{se}</math> =</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,04</td> <td>-5,0</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td><math>R = 5,056</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td><math>U = 0,198</math></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		RDK [-]	d [cm]	$\lambda$ [W/(m·K)]	$d/\lambda$ [W/(m²·K)]	$\theta$ 20,0	Wärmeübergangswiderstand $R_{si}$ =				0,13	19,36	Innenputz		1,0	0,70	0,014	19,29	Kalksandstein	1,8	17,5	0,99	0,177	18,41	Wärmedämmung		15	0,032	4,688	-4,77	Außenputz		0,5	0,70	0,007	-4,80	Wärmeübergangswiderstand $R_{se}$ =				0,04	-5,0					$R = 5,056$						$U = 0,198$		<p><b>Monolithische Außenwand</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>RDK [-]</th> <th>d [cm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/(m·K)]</th> <th><math>d/\lambda</math> [W/(m²·K)]</th> <th><math>\theta</math> 20,0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Wärmeübergangswiderstand <math>R_{si}</math> =</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,13</td> <td>19,35</td> </tr> <tr> <td>Innenputz</td> <td></td> <td>1,5</td> <td>0,70</td> <td>0,021</td> <td>19,24</td> </tr> <tr> <td>Mauerwerk</td> <td>0,6</td> <td>42,5</td> <td>0,09</td> <td>4,722</td> <td>-4,47</td> </tr> <tr> <td>Außenputz</td> <td></td> <td>2,0</td> <td>0,31</td> <td>0,065</td> <td>-4,80</td> </tr> <tr> <td>Wärmeübergangswiderstand <math>R_{se}</math> =</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,04</td> <td>-5,0</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td><math>R = 4,978</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td><math>U = 0,201</math></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		RDK [-]	d [cm]	$\lambda$ [W/(m·K)]	$d/\lambda$ [W/(m²·K)]	$\theta$ 20,0	Wärmeübergangswiderstand $R_{si}$ =				0,13	19,35	Innenputz		1,5	0,70	0,021	19,24	Mauerwerk	0,6	42,5	0,09	4,722	-4,47	Außenputz		2,0	0,31	0,065	-4,80	Wärmeübergangswiderstand $R_{se}$ =				0,04	-5,0					$R = 4,978$						$U = 0,201$	
	RDK [-]	d [cm]	$\lambda$ [W/(m·K)]	$d/\lambda$ [W/(m²·K)]	$\theta$ 20,0																																																																																																		
Wärmeübergangswiderstand $R_{si}$ =				0,13	19,36																																																																																																		
Innenputz		1,0	0,70	0,014	19,29																																																																																																		
Kalksandstein	1,8	17,5	0,99	0,177	18,41																																																																																																		
Wärmedämmung		15	0,032	4,688	-4,77																																																																																																		
Außenputz		0,5	0,70	0,007	-4,80																																																																																																		
Wärmeübergangswiderstand $R_{se}$ =				0,04	-5,0																																																																																																		
				$R = 5,056$																																																																																																			
				$U = 0,198$																																																																																																			
	RDK [-]	d [cm]	$\lambda$ [W/(m·K)]	$d/\lambda$ [W/(m²·K)]	$\theta$ 20,0																																																																																																		
Wärmeübergangswiderstand $R_{si}$ =				0,13	19,35																																																																																																		
Innenputz		1,5	0,70	0,021	19,24																																																																																																		
Mauerwerk	0,6	42,5	0,09	4,722	-4,47																																																																																																		
Außenputz		2,0	0,31	0,065	-4,80																																																																																																		
Wärmeübergangswiderstand $R_{se}$ =				0,04	-5,0																																																																																																		
				$R = 4,978$																																																																																																			
				$U = 0,201$																																																																																																			
<p>Endergebnis: <math>U = 0,198 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})</math></p>	<p>Endergebnis: <math>U = 0,201 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})</math></p>																																																																																																						

### 3.3 Wärmemenge, Abschätzung der Brennstoffeinsparung durch energetische Bauteilsanierung

Um den stationären Wärmestrom  $\Phi$  durch ein Bauteil zu berechnen, wird  $H$  mit der Temperaturdifferenz zwischen der Lufttemperatur innen  $\theta_i$  und der Lufttemperatur außen  $\theta_e$  multipliziert. Der Bezug des Wärmestroms auf 1 m<sup>2</sup> durchströmte Bauteilfläche ist die Wärmestromdichte  $q$ . Sie ist bei stationären Verhältnissen in jeder Schicht des Bauteils gleich.

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (3.6)$$

Das Produkt aus U-Wert, Bauteilfläche, Lufttemperaturdifferenz und Zeitdauer  $t$  (in h) ergibt die Wärme- oder Energiemenge  $Q$  mit der Einheit Wh oder kWh, die in dieser Zeit durch das Bauteil transportiert wird:

$$Q = U \cdot A (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad [\text{Wh}] \text{ oder } [\text{kWh}] \quad (3.7)$$

Den Ausdruck  $(\theta_i - \theta_e) \cdot t$  kann man für alle Tage der Heizperiode, an denen die mittlere Außentemperatur so niedrig liegt, dass geheizt werden muss, aufsummieren und in einem so genannten Gradtagzahlfaktor  $F_{Gt}$  ausdrücken. Seit der Energieeinsparverordnung 2007 beträgt für Gebäude  $F_{Gt}$  etwa 66.300 Kh/a  $\approx$  66 kWh/a. In schlechter gedämmten Gebäuden muss an mehr Tagen im Jahr geheizt werden und die Länge der Heizperiode steigt, deshalb ist  $F_{Gt}$  für schlechter gedämmte Gebäude größer. Sehr energieeffiziente Gebäude können eine niedrigere Heizgradtagzahl aufweisen. Für Vergleichszwecke wird derzeit noch die Heizgradtagzahl 66 kWh/a verwendet, die zukünftig angepasst werden könnte. Die Anpassung wird auch die schon erfolgte Änderung des Referenzorts von bisher Würzburg auf zukünftig Potsdam berücksichtigen. Bei Sanierungen wird aus diesem Grund die überschlägig ermittelte Energieeinsparung derzeit noch etwas überschätzt.

Zur vereinfachten Abschätzung der Endenergiemenge, die durch eine energetische Sanierung eines Bauteils gegen Außenluft pro Jahr eingespart werden kann, bietet sich die folgende Faustformel an:

$$\text{Brennstoffeinsparung} \approx \Delta U \cdot A \cdot F_{Gt} / (H_i \cdot \eta) \quad (3.8)$$

in Liefereinheiten pro Jahr (z.B. Liter Öl/a bzw. m<sup>3</sup> Erdgas/a)

mit

$$\Delta U = U_{\text{vorher}} - U_{\text{nachher}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (3.9)$$

$A$  = Zu sanierende Bauteilfläche

$F_{Gt}$  = Gradtagzahlfaktor; hängt vom Dämmniveau des Gebäudes ab, weil in schlechter gedämmten Gebäuden länger geheizt werden muss. Für Gebäude mit heute üblichem Dämmniveau ist  $F_{Gt}$  ca. 66 kWh/a. Für ältere Gebäude, deren Dämmniveau in etwa der WSV 95 entspricht, kann ein  $F_{Gt}$ -Wert von etwa 75 kWh/a angesetzt werden; für Gebäude, die dem Dämmniveau der WSV 82 oder etwas schlechter entsprechen, ein  $F_{Gt}$  von etwa 84 kWh/a.

$H_i$  = Heizwert (Energieinhalt; frühere Bezeichnung: unterer Heizwert  $H_u$ ) des Energieträgers: z.B. für leichtes Heizöl EL ca. 10 kWh/l, für Erdgas H ca. 10 kWh/m<sup>3</sup>; für Holzpellets ca. 5 kWh/kg

$\eta$  = Jahreswirkungsgrad der Heizanlage, wobei mit folgenden Werten gerechnet werden kann: Öl- oder Gasheizung 0,9; Fernwärme 1,0; Holzpelletsheizung 0,8

#### Beispiel:

Nachträgliche Wärmedämmung von 48 m<sup>2</sup> Außenwand (36,5 cm Kalksandsteine der RDK 1,4;  $\lambda = 0,70 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ) mit 14 cm WDVS. U-Wert der Altwand im Ausgangszustand:  $U_{\text{vorher}} = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . U-Wert mit zusätzlich 14 cm WDVS und 1 cm Putz:  $U_{\text{nachher}} = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Dämmniveau WSV 82, Heizung Erdöl bzw. Erdgas. Die mögliche Brennstoffeinsparung durch diese energetische Sanierung ergibt sich überschlägig zu:

Brennstoffeinsparung

$$\approx (1,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) - 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})) \cdot 48 \text{ m}^2 \cdot 84 \text{ kWh/a} / (10 \text{ kWh/l} \cdot 0,9)$$

$$\approx 520 \text{ Liter Öl bzw. m}^3 \text{ Gas pro Jahr.} \quad (3.10)$$

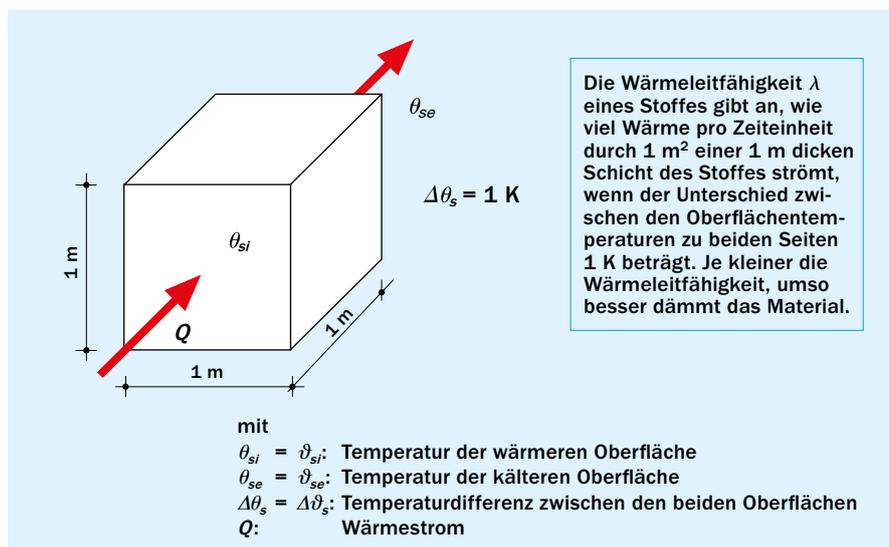


Bild 3 Wärmeleitfähigkeit

### 3.4 Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  eines Stoffes gibt an, wie viel Wärme pro Zeiteinheit durch 1 m<sup>2</sup> einer 1 m dicken Schicht des Stoffes strömt, wenn der Temperaturunterschied zwischen den Oberflächentemperaturen zu beiden Seiten 1 K beträgt. Sie ist abhängig von Temperatur, Dichte, Feuchte und Struktur des untersuchten Stoffes. Im Bauwesen wird die Wärmeleitfähigkeit für definierte Bedingungen als Stoffkonstante betrachtet. Je kleiner seine Wärmeleitfähigkeit, umso besser dämmt ein Material (Bild 3).

Alle im Rahmen dieses Fachbuchs angegebenen Wärmeleitfähigkeiten sind Bemessungswerte, wenn nicht explizit anders angegeben.

Tafel 3 Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von ausgewählten Stoffen nach DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456

Stoff	Rohdichte <sup>1)</sup> $\rho$	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda$		Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl <sup>2)</sup> $\mu$	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[W/(m·K)]		[-]	
<b>1. Kalksandstein-Mauerwerk und Kalksandstein-Produkte</b>					
1.1. Mauerwerk aus Kalksandsteinen und Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402	1.200	0,56		5/10	
	1.400	0,70			
	1.600	0,79		15/25	
	1.800	0,99			
	2.000	1,1			
	2.200	1,3			
	2.400	1,6			
2.600	1,8				
1.2. Wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine (KS-Wärmedämmsteine) nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	1.000	0,27		5/10	
	1.200	0,33			
<b>2. Putze, Mörtel und Estriche aus DIN 4108-4 und Beton aus DIN EN ISO 10456</b>					
2.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	1.800	1,0		15/35	
2.2 Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	1.400	0,70		10	
2.3 Leichtputz	≤ 700	0,25		15/20	
	≤ 1.000	0,38			
	≤ 1.300	0,56			
2.4 Gipsputz ohne Zuschlag	1.200	0,51		10	
2.5 Normalmauermörtel NM	1.800	1,2		15/35	
2.6 Leichtmauermörtel nach DIN EN 1996-1-1, DIN EN 1996-2	≤ 700	0,21		15/35	
	≤ 1.000	0,36			
2.7 Dünnbettmörtel DM	1.600	1,0		15/35	
2.8 Zementestrich	2.000	1,4		15/35	
2.9 Anhydritestrich	2.100	1,2		15/35	
2.10 Stahlbeton	Bewehrungsgrad 1 %	2.300	2,3		80/130
	Bewehrungsgrad 2 %	2.400	2,5		80/130
<b>3. Sonstige Stoffe</b>					
3.1 Trockene, ruhende Luft	1,23	0,025		1	
3.2 Bauglas (Natrorglas einschließlich Floatglas)	2.500	1,0		dampfdicht	
3.3 Aluminium und Aluminiumlegierungen	2.800	160		≥ 50 µm dampfdicht	
3.4 Stahl	7.800	50		≥ 50 µm dampfdicht	
3.5 Edelstahl	7.900	17		≥ 50 µm dampfdicht	
3.6 Konstruktionsholz	500	0,13		20/50	
	700	0,18		50/200	
3.7 OSB Platten	650	0,13		30/50	
3.8 Spanplatten	600	0,14		15/50	
<b>4. Wärmedämmstoffe nach DIN 4108-4</b>					
	Typischer Rohdichtebereich <sup>3)</sup> $\rho$	Typische Wärmeleitfähigkeit <sup>3)</sup>		Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl <sup>2)</sup> $\mu$	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Nennwert $\lambda_D$	Bemessungswert $\lambda_B$	[-]	
		[W/(m·K)]	[W/(m·K)]		
4.1 Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162	20 – 200	0,031 – 0,034	0,032 – 0,035	1	
4.2 Expandiertes Polystyrol (EPS) n. DIN EN 13163	15 – 30	0,031 – 0,034	0,032 – 0,035	20/100	
4.3 Extrudiertes Polystyrol (XPS) nach DIN EN 13164	20 – 45	0,034 – 0,039	0,035 – 0,040	80/250	
4.4 Polyurethan-Hartschaum (PUR) nach DIN EN 13165 <sup>3)</sup>	30 – 100	0,021 – 0,029	0,022 – 0,030	40/200	
4.5 Phenolharz-Hartschaum (PF) nach DIN EN 13166	40	0,021 – 0,023	0,022 – 0,024	10/60	
4.6 Schaumglas (CG) nach DIN EN 13167	90 – 220	0,047 – 0,053	0,048 – 0,055	dampfdicht	
4.7 Holzwolle-Leichtbauplatten (WW) nach DIN EN 13168	350 – 600	0,060 – 0,10	0,063 – 0,105	2/5	
4.8 Blähperlit (EPB) nach DIN EN 13169	90 – 490	0,045 – 0,070	0,046 – 0,072	5	
4.9 Expandierter Kork (ICB) nach DIN EN 13170	10 – 220	0,040 – 0,055	0,049 – 0,068	5/10	
4.10 Holzfaserdämmstoff (WF) nach DIN EN 13171	30 – 230	0,037 – 0,043	0,039 – 0,045	5	

<sup>1)</sup> Die bei den Steinen genannten Rohdichten sind die oberen Grenzwerte aus den Produktnormen.

<sup>2)</sup> Beim Nachweis des klimabedingten Feuchteschutzes ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. Anwendung der  $\mu$ -Werte und Berechnungsverfahren siehe DIN 4108-3.

<sup>3)</sup> Werte marktüblicher Produkte [5]

Zur Berechnung des U-Werts werden für die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe nicht Messwerte oder Nennwerte verwendet, sondern so genannte Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. Sie gelten für den langfristigen Gebrauchszustand des Baustoffes und für baupraktisch zu erwartende Feuchtegehalte. Messwerte hingegen werden an fabrikfrischem und trockenem Material ermittelt.

Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit beinhaltet einen Zuschlag zur Berücksichtigung des praktischen Feuchtegehalts des Materials und des Alterungsverhaltens des Materials, sowie ggf. Sicherheitszuschläge. Bemessungswerte bzw. der Weg zu ihrer Ermittlung werden offiziell festgelegt und veröffentlicht. Die Verwendung von Mess- oder Nennwerten stellt einen Planungsfehler dar. Tafel 3 listet eine Auswahl von Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl der Stoffe auf.

Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für die Anwendung in Deutschland sind nach folgenden Dokumenten zu ermitteln:

- Für Bauprodukte mit CE-Zeichen: Die Umrechnung der vom Hersteller deklarierten Nennwerte (siehe z.B. Etikett) in Bemessungswerte erfolgt anhand der Vorgaben in DIN 4108-4: 2017-03.
- Für Bauprodukte ohne CE-Zeichen werden die Bemessungswerte entnommen aus
  - einer Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E., sofern erteilt) der Obersten Baubehörde des Bundeslandes,
  - einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ; sofern erteilt) oder einer Bauartgenehmigung (sofern erteilt) des DIBt,
  - einer europäischen technischen Zulassung (ETA; sofern erteilt),
  - einem begleitenden Übereinstimmungszertifikat einer anerkannten Stelle (sofern erteilt),
  - oder den Tabellen in DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456.

### 3.5 Wärmeleitfähigkeit von Kalksandstein-Mauerwerk nach harmonisierten europäischen Normen

Die Bemessungswerte für Mauerwerk aus Kalksandsteinen sind in DIN 4108-4 tabelliert und können wie dort angegeben verwendet werden. Eine weitere Umrechnung durch den Planer ist nicht erforderlich.

Für KS-Wärmedämmsteine sind die deklarierten Nennwerte der Wärmeleitfähigkeit nach den Verfahren der DIN EN 1745 in Verbindung mit der Produktnorm DIN EN 771-2 zu bestimmen. Die Umrechnung des Nennwerts der Wärmeleitfähigkeit von KS-Wärmedämmsteinen in den Bemessungswert erfolgt gemäß DIN 4108-4 Anhang A und DIN EN 1745. Üblicherweise geben die Hersteller von KS-Wärmedämmsteinen aber den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit mit an, eine weitere Umrechnung durch den Planer ist dann nicht erforderlich.

Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von KS-Wärmedämmsteinen beträgt üblicherweise  $0,33 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ .

#### INFO

**Die Bemessungswerte für Mauerwerk aus Kalksandsteinen sind in DIN 4108-4 tabelliert. Eine weitere Umrechnung durch den Planer ist nicht erforderlich.**

### 3.6 Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen nach den harmonisierten europäischen Normen DIN EN 13162 bis DIN EN 13171

In DIN 4108-4 ist beschrieben, wie bei Dämmstoffen für den Hochbau nach harmonisierten europäischen Produktnormen der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für die Anwendung in Deutschland festgelegt wird.

#### 3.6.1 Nennwert der Wärmeleitfähigkeit

Der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit (declared value mit Index „D“) wird nach europäisch standardisierten Mess- und Statistikverfahren aus einzelnen Labormesswerten der Wärmeleitfähigkeit bestimmt und vom Hersteller oder von einem Prüfinstitut festgelegt. Er stellt die vom Hersteller zugesicherte Eigenschaft des gehandelten Dämm- oder Baustoffes dar, unter den in den Messvorschriften genannten Laborbedingungen und für neues, trockenes Material. Er ist immer auf dem Dämmstoffetikett bzw. in der Leistungserklärung des Herstellers angegeben.

#### 3.6.2 Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit

Die „Einsatztemperatur“ und bei vielen Stoffen auch die Material- und Umgebungsfeuchte können einen deutlichen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit haben, weshalb das spätere Dämmverhalten des Materials im Gebäude schlechter als der deklarierte Nennwert sein kann. Der U-Wert eines Bauteils soll aber dem langjährigen Gebrauchszustand des Dämm- oder Baustoffes im tatsächlichen Gebäude entsprechen. Deshalb wird der Nennwert auf einen gebrauchstypischen Zustand umgerechnet, den so genannten Bemessungswert. Ausschließlich dieser Wert ist für wärmeschutztechnische Bemessungen heranzuziehen – daher der Name Bemessungswert. Im Rahmen der Energieeinsparverordnung werden U-Werte immer mit Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit berechnet.

Nachdem der Hersteller aber nicht unbedingt weiß, unter welchen klimatischen Bedingungen sein Produkt eingesetzt wird, vor allem bei international gehandelten Dämmstoffen für unterschiedliche Einsatzbereiche, muss er in seiner Leistungserklärung nur den Nennwert zusichern. Sofern möglich, darf er den zugehörigen Bemessungswert auf dem Dämmstoffetikett und in seiner Technischen Dokumentation mit angeben. Ist der Bemessungswert nicht angegeben, wäre es Aufgabe und Verantwortung des Planers, aus dem deklarierten Nennwert den für das jeweilige Material und den jeweiligen Einsatzort (geographisch und im Gebäude) zutreffenden Bemessungswert zu ermitteln, bevor er damit U-Wert- oder Energiebedarfsberechnungen durchführt. Es ist aber davon auszugehen, dass die Hersteller zumindest in ihrer technischen Dokumentation, üblicherweise aber auch auf dem Etikett den Bemessungswert an-

geben – dann kann der Bemessungswert ohne weitere eigene Umrechnung direkt verwendet werden.

### 3.6.3 Zulassung versus Bauartgenehmigung

Die deutschen Rechtsvorschriften sehen seit Januar 2018 eine strikte Abgrenzung zwischen nationalen Anforderungen an Bauprodukte – soweit europarechtlich zulässig – und nationalen Regelungen für das Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen, so genannte Bauarten, vor [6].

#### INFO

**Europäisch harmonisierte Bauprodukte haben ihre produktbezogenen Anforderungen in der jeweiligen europäischen Produktnorm geregelt, tragen ein CE-Zeichen und erhalten keine zusätzliche allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) mehr.**

Europäisch harmonisierte Bauprodukte und Wärmedämmstoffe werden seit Januar 2018 nur noch nach den Vorgaben ihrer europäischen Produktnorm geregelt. Ihr Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit errechnet sich aus dem (vom Hersteller deklarierten) Nennwert der Wärmeleitfähigkeit (Tafeln 3 und 4).

Diese Vorgehensweise ist baurechtlich verankert in der der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), und gilt ab Einführung der jeweiligen Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) im jeweiligen Bundesland. Die VV TB soll spätestens im Laufe des Jahres

2018 in allen Bundesländern eingeführt werden. Bis dahin besteht 2018 eine Art Doppelzustand: In jenen Bundesländern, welche die VVTB schon eingeführt haben, gelten die oben genannten Regelungen, und der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit errechnet sich gemäß DIN 4108-4 aus dem Nennwert (Tafel 4). In jenen Bundesländern, in welchen die VV TB noch nicht eingeführt ist, gelten übergangsweise und wie bisher die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen weiter, inklusive der darin festgelegten Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. In der Praxis wird es kaum zu Konflikten mit Bemessungswert-Unterschieden zwischen beiden Verfahren kommen, weil es sich bei den überwiegend eingesetzten Dämmstoffen um nicht-hygroscopische Materialien handelt und bei diesen auch bisher schon derselbe Aufschlag vom Nenn- zum Bemessungswert verwendet wurde wie jetzt in DIN 4108-4.

Nationale Anforderungen an europäisch nicht harmonisierte Wärmedämmstoffe, also solche ohne CE-Zeichen, werden weiterhin in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) oder in einer Zustimmung im Einzelfall geregelt (Z.i.E.). Anforderungen an die Bauart, d.h. an das Zusammenfügen mehrerer Bauprodukte zu einem Bauteil, werden in allgemeinen oder einzelfallbezogenen Bauartgenehmigungen gestellt. Beide Funktionen können in einem gemeinsamen Bescheid des DIBt zusammengefasst werden, der dann eine Doppelfunktion hat. Bestehende allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen von vor Mitte Juli 2017, die neben bauproduktbezogenen Regelungen auch bauartbezogene Regelungen beinhalten, erhalten diese Doppelfunktion automatisch, ohne dass „Bauartgenehmigung“ in der Zulassung explizit auftauchen muss.

Tafel 4 Umrechnung von Nenn- zum Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von europäisch harmonisierten Dämmstoffen (Dämmstoffe mit CE-Zeichen) nach DIN 4108-4:2017-03 [7]

Dämmstoffe bzw. Dämmschichten in Mehrschichtplatten	Umrechnungsfaktor vom Nennwert $\lambda_D$ auf Bemessungswert $\lambda_B$	Mindestzuschlag (resultierender Mindestzuschlag) [W/(m·K)]	Wertebereich für Nennwert $\lambda_D$ [W/(m·K)]	Wertebereich für Bemessungswert $\lambda_B$ [W/(m·K)]	Zeilennummern in DIN 4108-4: 2017-03, Tabelle 2
Nicht-hygroscopische Dämmstoffe: ■ Mineralwolle ■ EPS ■ XPS ■ PU ■ PF-Schaum ■ Schaumglas ■ Bläherlit	$\lambda_B = 1,03 \cdot \lambda_D$	0,001	0,020–0,070	0,021–0,072	5.1–5.6, 5.8, 5.13, 5.14, 5.17
Hygroscopische Dämmstoffe: ■ Holzfaser ■ Holzwole ■ Blähton	$\lambda_B = 1,05 \cdot \lambda_D$	0,002	0,032–0,13	0,034–0,14	5.7.1, 5.10, 5.15
PU-Ortschaum PIR-Ortschaum	$\lambda_B = 1,10 \cdot \lambda_D$	0,003	0,020–0,040	0,023–0,044	5.12, 5.19
Holzwole-Deckschicht in Holzwole-mehrschichtplatten ■ Vermiculit ■ PE-Schaum	$\lambda_B = 1,20 \cdot \lambda_D$	(0,007)	0,035–0,14	0,042–0,17	5.7.2, 5.16, 5.18
Expandierter Kork	$\lambda_B = 1,23 \cdot \lambda_D$	(0,009)	0,040–0,055	0,049–0,068	5.9

### 3.6.4 Umrechnung des Nennwerts in einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit

Die DIN 4108-4 nennt in ihrer Tabelle 2, Wärmedämmstoffe nach harmonisierten Europäischen Normen, als Ausgangswert den in den europäischen Dämmstoffnormen definierten Nennwert der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_D$ . Er wird vom Hersteller deklariert und basiert auf eigenen Messungen des Herstellers (Eigenüberwachung) und fremden Messungen (Prüf- und Überwachungsstelle), einer anschließenden statistischen Auswertung zum so genannten  $\lambda_{90/90}$ -Wert, und einer Rundung auf zwei kennzeichnende Stellen.

Auf diesen Nennwert  $\lambda_D$  wird jeweils ein stoffgruppenspezifischer Zuschlag aufgeschlagen, um vom Nennwert zum Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit zu kommen. Nachdem der Einfluss der Materialfeuchte auf den Wärmedurchgang erheblich ist, orientiert sich die Unterscheidung zwischen den Dämmstoffgruppen schwerpunktmäßig an der Frage, wie hygroskopisch der Stoff ist, aber auch z.B. an Überlegungen zur erreichbaren Gleichmäßigkeit der Herstellung. Den Zuschlägen liegen umfangreiche Studien und Auswertungen mehrerer Eigen- und Fremdüberwacher von insgesamt mehr als 10.000 Messwerten verschiedener Hersteller zugrunde. Tafel 4 stellt die zu verwendende Umrechnung nach DIN 4108-4:2017-03 dar und gibt typische Wertebereiche der Nenn- und Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für die verschiedenen Dämmstoffe an.

Gibt es für einen Dämmstoff eine harmonisierte europäische Produktnorm, dann tragen die Produkte ein CE-Zeichen und der Hersteller gibt den Nennwert  $\lambda_D$  der Wärmeleitfähigkeit in der Leistungserklärung bzw. auf dem Dämmstoffetikett an. Gibt er außerdem den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit an, kann dieser vom Planer so übernommen und ohne weitere Umrechnung weiterverwendet werden. Gibt der Hersteller den Bemessungswert nicht an, sondern nur den Nennwert, ist für die Umrechnung vom Nenn- zum Bemessungswert der Planer, Bauunternehmer oder Bauherr zuständig. Der Nennwert muss mit dem passenden Zuschlagsfaktor aus Tafel 4 multipliziert werden (bzw. um den Mindestzuschlag erhöht werden, wenn der Umrechnungsfaktor zu einer geringeren Erhöhung als der Mindestzuschlag führen sollte).

#### INFO

**Die Verwendung von Nennwerten statt Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit von Wärmedämmstoffen für wärmeschutztechnische Berechnungen stellt einen Planungsfehler dar.**

### 3.7 Perimeterdämmung

Als Perimeterdämmung wird die außenseitige Wärmedämmung von erdberührten Bauteilen, wie Kellerwänden und Kellerböden bezeichnet. Dabei wird der Wärmedämmstoff auf der Außenseite des Bauteils außerhalb der Bauwerksabdichtung angebracht. Der Wärmedämmstoff ist in dieser Anwendung ständig in Kontakt mit dem anstehenden Erdreich, mit Erdfeuchte und Niederschlagswasser, dem Erddruck und bei manchen Anwen-

dungsfällen auch mit dem Grundwasser. Deshalb werden an die Dämmstoffe für diese Anwendung hohe Anforderungen gestellt [5]. Der Vorteil der Perimeterdämmung ist, dass Tauwasserausfall auf der Innenseite der Kellerwand und des Kellerbodens verhindert, die Bauwerksabdichtung mechanisch geschützt, Wärmebrücken vermieden und die Energieverluste gesenkt werden. Perimeterdämmungen sind unter bestimmten Randbedingungen genormt oder in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) bzw. Europäischen Technischen Zulassungen (ETA) sowie Bauartgenehmigungen geregelt.

In ständig drückendem Wasser dürfen derzeit nur Schaumglas (bis 12 m Tiefe) und XPS (bis 7 m Tiefe) eingesetzt werden. Außer bei Schaumglas muss der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für Perimeterdämmung feuchtekorrigiert werden, um den Feuchteinfluss auf die Dämmung zu berücksichtigen. Bei expandiertem Polystyrol (EPS) und Polyurethan (PU) muss der Feuchteinfluss immer berücksichtigt werden, bei XPS nur beim Einsatz im Grundwasser. Weitergehende Festlegungen finden sich in den entsprechenden Technischen Baubestimmungen der Produkte und Bauarten.

Unter der tragenden Gründungsplatte dürfen nur spezielle Qualitäten von Schaumglas, XPS-Hartschaum und EPS-Hartschaum eingesetzt werden, die dafür geeignet und bauaufsichtlich zugelassen sind. Unter Streifenfundamenten darf keine Dämmung angeordnet werden, da die Dämmstoffe dafür nicht ausreichend tragfähig sind. Die senkrechte Perimeterdämmung der erdbe-rührten Außenwand und die waagerechte Perimeterdämmung unter einer lastabtragenden Bodenplatte/Sohlplatte können lückenlos ineinander übergehen, d.h. das Prinzip „durchgehende Dämmebene“ zur Verminderung von Wärmebrücken kann für so geplante Neubauten gut eingehalten werden. Die Wärmeverluste an solchen lückenlosen Anschlüssen sind deutlich geringer als bei perimetergedämmten Bodenplatten auf Streifenfundamenten, bei denen das Streifenfundament notwendigerweise die (im anderen Fall durchgehende) Dämnhülle unterbricht.

### 3.8 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten

Zur Berechnung des U-Werts eines Bauteils werden nicht nur Wärmedurchlasswiderstände von Materialschichten, sondern auch von innenliegenden Luftschichten angesetzt. Tabellen und Formeln dazu finden sich in DIN EN ISO 6946. Die Norm differenziert Lufträume in Bauteilen nach ihren Abmessungen:

- Luftschichten, deren Breite und Länge jeweils mehr als das Zehnfache ihrer in Wärmestromrichtung gemessenen Dicke beträgt, und diese wiederum in
  - ruhende Luftschichten,
  - schwach belüftete Luftschichten,
  - stark belüftete Luftschichten
- Luftspalten, deren Breite oder Länge mit ihrer Dicke vergleichbar ist

Sehr schmale Luftspalte in Wärmestromrichtung, wie beispielsweise die kleinen Spalte in der Nut-und-Federausbildung von Mauersteinen, mit Breite oder Länge deutlich kleiner als die Dicke, werden von DIN EN ISO 6946 nicht erfasst.

Luftschichten werden in DIN EN ISO 6946 nach der Art ihrer Belüftung unterschieden.

### 3.8.1 Ruhende Luftschicht, z.B. Fingerspalt in zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung

Eine ruhende Luftschicht ist von der Umgebung so abgeschlossen, dass der Querschnitt eventuell vorhandener Öffnungen 500 mm<sup>2</sup> pro Meter Länge nicht überschreitet und kein Luftstrom durch die Schicht möglich ist. Einzelne unvermörtelte Stoßfugen als Entwässerungsöffnungen in Vormauerschalen erfüllen diese Forderungen. Sind sie die einzigen Öffnungen in der Vormauerschale, gilt die Luftschicht dahinter als ruhend und darf bei der Ermittlung des U-Werts vollständig angesetzt werden. Der Fingerspalt bei der Wärmedämmung wird in der Regel als ruhende Luftschicht ausgebildet und trägt einen Wärmedurchlasswiderstand von  $R = 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  (bei 10 mm Dicke entspricht das der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit  $0,067 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ) zum U-Wert der wärmedämmten Wand bei. Der Wärmedurchlasswiderstand ruhender Luftschichten ist je nach Dicke, Neigung und Wärmestromrichtung unterschiedlich. Neigungen von über 60° gegenüber der Waagerechten zählen als senkrechte, geringere Neigungen als waagerechte Luftschicht. Die in der Norm tabellierten Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit von Luftschichten berücksichtigen neben dem Wärmetransport in der stehenden Luft selbst auch den Wärmetransport durch Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) und durch Luftbewegung (Eigenkonvektion) innerhalb des Hohlraums. Wenn in einem Berechnungsprogramm für den U-Wert nur die Wärmeleitfähigkeit der Schichten eingegeben werden kann, muss diese „rückwärts“ als Quotient aus ihrer Dicke  $d$  und ihrem Wärmedurchlasswiderstand  $R$  berechnet werden:

$$\lambda_{eq,i} = d_i / R_i \text{ [W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (3.11)$$

Bereits ausgerechnete Werte sind in Tafel 5 angegeben.

Tafel 5 Bemessungswerte des Wärmedurchlasswiderstandes  $R$  und der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eq}$  von ruhenden Luftschichten nach DIN EN ISO 6946, für angrenzende Oberflächen aus üblichen Baustoffen (Emissionskoeffizienten  $\varepsilon = 0,9$  beider angrenzenden Oberflächen)

Dicke der Luftschicht [mm]	Richtung des Wärmestroms					
	aufwärts		horizontal		abwärts	
	$R$ [m <sup>2</sup> ·K/W]	$\lambda_{eq}$ [W/(m·K)]	$R$ [m <sup>2</sup> ·K/W]	$\lambda_{eq}$ [W/(m·K)]	$R$ [m <sup>2</sup> ·K/W]	$\lambda_{eq}$ [W/(m·K)]
0	0,00	–	0,00	–	0,00	–
5	0,11	0,045	0,11	0,045	0,11	0,045
7	0,13	0,054	0,13	0,054	0,13	0,054
10	0,15	0,067	0,15	0,067	0,15	0,067
15	0,16	0,094	0,17	0,082	0,17	0,082
25	0,16	0,16	0,18	0,14	0,19	0,13
50	0,16	0,31	0,18	0,28	0,21	0,24
100	0,16	0,63	0,18	0,56	0,22	0,45
300	0,16	1,88	0,18	1,67	0,23	1,30

Für Luftschichtdicken zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden.

Tafel 6 Thermisch wirksame Schichten und Wärmeübergangswiderstände verschiedener Außenwandkonstruktionen

Bauteil	Systemskizze	Thermisch wirksame Schichten	Wärmeübergangswiderstand		Luftschicht
			außen $R_{se}$	innen $R_{si}$	
KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem			0,04	0,13	–
Zweischalige KS-Außenwand mit Fingerspalt oder stehender Luftschicht			0,04	0,13	ruhend
Hinterlüftete KS-Außenwand nach DIN 18516-1			0,13	0,13	stark belüftet
Zweischalige KS-Außenwand mit Hinterlüftung nach den Regeln der alten DIN 1053-1			0,13	0,13	stark belüftet

### 3.8.2 Schwach belüftete Luftschicht

Schwach belüftete Luftschichten haben Öffnungen zwischen 5 und 15 cm<sup>2</sup> je Meter Länge. Die Belüftung der Schicht hängt direkt mit der Größe und der Verteilung der Öffnungen zusammen. Näherungsweise kann der Wärmedurchlasswiderstand eines Bauteils mit einer solchen Luftschicht nach der folgenden Formel berechnet werden:

$$R_T = \frac{1.500 - A_V}{1.000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_V - 500}{1.000} \cdot R_{T,v} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (3.12)$$

mit

$A_V$  Querschnittsfläche der Öffnung in mm<sup>2</sup>, zwischen 500 und 1.500 mm<sup>2</sup>

$R_{T,u}$  Wärmedurchlasswiderstand des gesamten Bauteils mit einer ruhenden Luftschicht ( $R$ -Wert siehe Tafel 5)

$R_{T,v}$  Wärmedurchlasswiderstand des gesamten Bauteils mit einer stark belüfteten Luftschicht (siehe folgenden Abschnitt 3.8.3)

Damit nimmt die leicht belüftete Luftschicht als Grenzfall entweder die Wärmeleitfähigkeit einer nicht belüfteten Luftschicht an (bei Öffnungsfläche 500 mm<sup>2</sup>; siehe 3.8.1) oder wird als anderer Grenzfall inklusive der weiter außen liegenden Schichten nicht weiter berücksichtigt (bei Öffnungsfläche 1.500 mm<sup>2</sup>; siehe 3.8.3) Als gute Näherung für den Wärmedurchlasswiderstand einer schwach belüfteten Luftschicht kann alternativ ein Wert verwendet werden, der halb so groß ist wie für eine ruhende Luftschicht. Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit beträgt damit das Doppelte wie für eine ruhende Luftschicht gleicher Dicke.

### 3.8.3 Stark belüftete Luftschicht

Wenn der Querschnitt der Öffnungen 15 cm<sup>2</sup> je Meter Länge überschreitet, gelten Luftschichten als stark belüftet. Beispiele hierfür sind Luftschichten hinter vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF), Luftschichten in zweischaligen Wänden mit Wärmedämmung oder Hinterlüftungsebenen im Dach. Solche Luftschichten sowie alle Bauteilschichten, die außerhalb (kaltseitig) dieser Schicht angeordnet sind, werden bei der Berechnung des U-Werts nicht weiter berücksichtigt. Stattdessen wird für den äußeren Wärmeübergangswiderstand  $R_{se}$  – an der Warmseite der Hinterlüftungsebene – der Wert für ruhende Luft verwendet, also der Wert des raumseitigen Wärmeübergangswiderstandes  $R_{si}$  (Tafel 6).

## 3.9 Wärmeübergangswiderstände

Bei der U-Wert-Berechnung werden für die Wärmeübergangswiderstände an der inneren Bauteiloberfläche ( $R_{si}$ ) und der äußeren Bauteiloberfläche ( $R_{se}$ ) die tabellierten Bemessungswerte aus DIN EN ISO 6946 verwendet. Dabei wird nach der Richtung des Wärmestroms unterschieden. Geneigte Bauteile und Dächer mit einer Neigung kleiner als 60° gegenüber der Waagerechten werden wie waagerechte Bauteile behandelt. Ist die Neigungen 60° oder größer, dann werden sie wie senkrechte Bauteile behandelt. Tafel 7 sowie Bild 4 zeigen die Zuordnung der jeweils zu verwendenden Werte für einzelne Bauteile, abhängig von der baulichen Situation für den Winterfall (Wärmestromrichtung von innen nach außen). Für Bauteile im Inneren des Gebäudes, die Teil der thermischen Gebäudehülle sind, wird auf beiden Seiten der gleiche Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  angesetzt. Gleiches gilt für stark belüfteten Luftschichten.

Tafel 7 Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände für die Berechnung des U-Werts nach DIN EN ISO 6946 für verschiedene Bauteile, für den Winterfall (Wärmestromrichtung von innen nach außen)

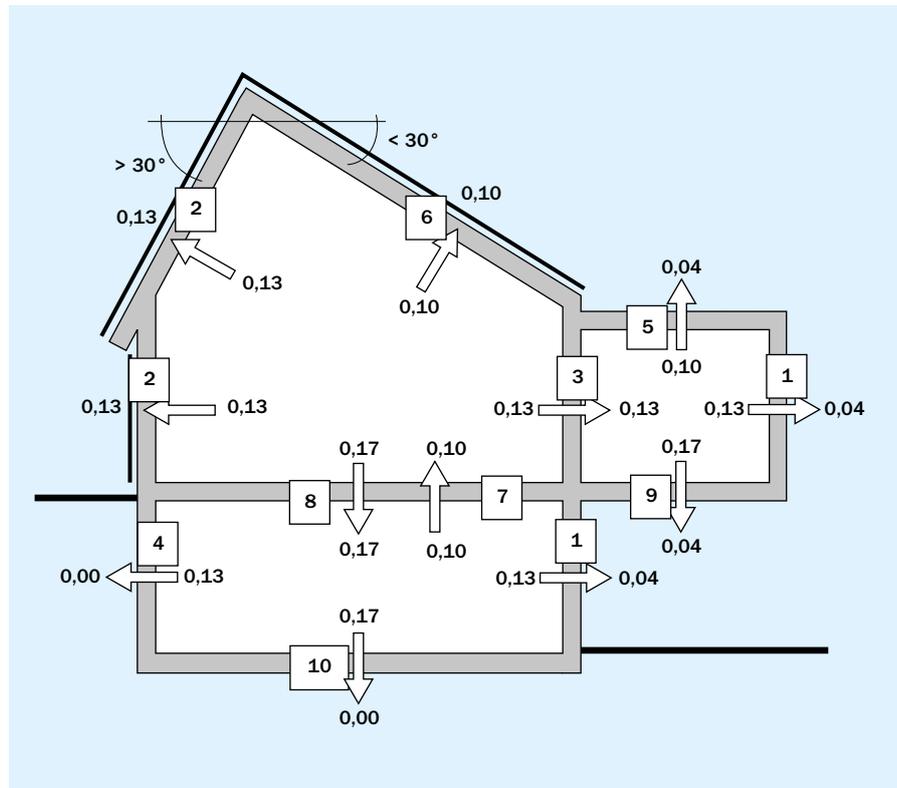
Zeile	Bauteil	Wärmeübergangswiderstand	
		innen $R_{si}$ [m <sup>2</sup> ·K/W]	außen $R_{se}$ [m <sup>2</sup> ·K/W]
1	Außenwände (ausgenommen Außenwände aus Zeile 2); nicht hinterlüftete geneigte Dächer mit Neigung $\geq 60^\circ$	0,13	0,04
2	Außenwände mit einer hinterlüfteten Bekleidung, Abseitenwände zum ungedämmten Dachraum; hinterlüftete geneigte Dächer mit Neigung $\geq 60^\circ$	0,13	0,13
3	Wohnungstrennwände, Treppenhauswände, Wände zwischen unabhängigen Räumen, Trennwände zu dauernd unbeheizten Räumen, Abseitenwände zu gedämmten Dachräumen	0,13	0,13
4	Außenwände, die an das Erdreich grenzen	0,13	0
5	Decken oder geneigte Dächer mit einer Neigung $< 60^\circ$ , die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abgrenzen; unbelüftete Flachdächer	0,10	0,04
6	Decken unter Spitzböden und nicht ausgebauten Dachräumen; Decken unter belüfteten Räumen	0,10	0,10
7	Wohnungstrenndecken und Decken zwischen unabhängigen Räumen Wärmestromrichtung nach oben Wärmestromrichtung nach unten	0,10 0,17	0,10 0,17
8	Kellerdecken	0,17	0,17
9	Decken, die Räume nach unten gegen Außenluft abgrenzen	0,17	0,04
10	An das Erdreich grenzender unterer Abschluss eines Aufenthaltsraums	0,17	0

Für die Überprüfung eines Bauteils hinsichtlich Kondensat- oder Tauwasserausfall nach DIN 4108-3 (klimabedingter Feuchteschutz) bzw. DIN 4108-2 Abschnitt 6 (Wärmebrücken) gelten jeweils die dort angegebenen Wärmeübergangswiderstände.

Für Bauteile mit wechselnder Wärmestromrichtung (z.B. bei einer dynamischen Gebäudesimulation für den Sommerfall) oder für Bauteile, deren Einbaulage nicht vorab bekannt ist, wird empfohlen, die Wärmeübergangswiderstände wie für Wände zu verwenden.

Hier darf an der Außenseite der letzten wärmetechnisch wirksamen Schicht (d.h. an der Warmseite der Hinterlüftungsebene) der Wärmeübergangswiderstand der Innenoberfläche angesetzt werden; alle weiteren kaltseitigen Schichten bleiben unberücksichtigt.

Für Flächen gegen Erdbreich und andere Flächen mit direktem Kontakt zu Feststoffen beträgt der Wärmeübergangswiderstand 0 (Null). Für wechselnde Wärmestromrichtungen (z.B. bei einer dynamischen Gebäudesimulation für den Sommerfall) oder für den U-Wert von Bauteilen, deren Einbaulage nicht vorab bekannt ist, wird empfohlen, die Werte wie für senkrechte Wände zu verwenden. Für die Überprüfung eines Bauteils auf Kondensat- oder Tauwasserausfall nach DIN 4108-3 (klimabedingter Feuchteschutz) bzw. DIN 4108-2 Abschnitt 6 (Wärmebrücken) gelten jeweils die dort angegebenen Wärmeübergangswiderstände. Zum direkten Vergleich der Dämmleistung von Bauteilen empfiehlt es sich, statt des U-Werts den Wärmedurchlasswiderstand der Bauteile zu verwenden, da er unabhängig von der Wärmestromrichtung ist.



**Bild 4** Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände für die Berechnung des U-Werts nach DIN EN ISO 6946 für verschiedene Bauteile (Wärmestromrichtung von innen nach außen). Die Zahlen in den Kästchen verweisen auf die Zeilennummern aus Tafel 7.

### 3.10 U-Wert von Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten

Besteht das Bauteil aus homogenen und inhomogenen Schichten, bzw. hat es unterschiedliche nebeneinanderliegende Bereiche (z.B. Sparren und Gefach bei Dachstühlen; Betonstützen in einer Mauerwerkswand), muss zur Berechnung des U-Werts das so genannte „vereinfachte Verfahren“ nach DIN EN ISO 6946 angewendet werden. Die früher übliche, flächenanteilige Mittelung der U-Werte nebeneinanderliegender Bereiche ist nicht zulässig und stellt einen Planungsfehler dar: die flächenanteilige Mittelung z.B. bei Sparren oder Stützen liefert zu niedrige und damit zu günstige U-Werte.

Der Ablauf des vereinfachten Verfahrens ist wie folgt:

- Berechnung eines flächenanteilig gemittelten R-Werts des Bauteils, aus den jeweiligen R-Werten der nebeneinanderliegenden Bereiche, als obere Grenze des „wahren“ R-Werts, d.h. die Querwärmeleitung zwischen den benachbarten Bereichen wird vollständig vernachlässigt
- Berechnung des R-Werts des Bauteilaufbaus, wobei die Wärmeleitfähigkeiten der nebeneinanderliegenden inhomogenen Bereiche innerhalb der jeweiligen Schicht flächenanteilig gemittelt werden, als untere Grenze des „wahren“ R-Werts, d.h. die Querwärmeleitung zwischen den benachbarten Bereichen wird maximiert.

- Mittelwertbildung zwischen der unteren und oberen Grenze
- Kehrwertbildung liefert den zutreffenden U-Wert des Bauteils

Die Berechnung des U-Werts eines zusammengesetzten Bauteils bzw. eines Bauteils aus homogenen und inhomogenen Schichten nach DIN EN ISO 6946 erfolgt sinnvollerweise mit einer Tabellenkalkulation oder einem Berechnungsprogramm [4, 8]. Das vereinfachte Verfahren der Norm ist auf den ersten Blick zwar nicht wirklich „einfach“, aber es ist sehr wohl erheblich vereinfacht im Vergleich zu einer genauen, zwei- oder dreidimensionalen Wärmebrückenberechnung, welche ansonsten zur Bestimmung des U-Werts eines solchen Bauteils eingesetzt werden müsste. Nicht anwendbar ist das vereinfachte Verfahren, wenn die Dämmschichten eine Wärmebrücke aus Metall enthalten oder nebeneinanderliegende Bereiche sehr unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten besitzen (z.B. Betonstützen zwischen Wärmedämmung). Genauere Werte des Wärmedurchgangskoeffizienten erhält man durch numerische Verfahren nach DIN EN ISO 10211. Solche computergestützten Berechnungen sind zur Ermittlung der Oberflächentemperaturen an Wärmebrücken und somit zur Bewertung des Kondensat- und Schimmelrisikos erforderlich.

### 3.11 U-Wert-Korrekturen

Der berechnete Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  ist entsprechend der nachfolgenden Formel aus DIN EN ISO 6946 zu erhöhen, um die Einflüsse der Luftspalte in der Dämmebene (Index  $g$  für gaps), mechanischen Befestigungselementen (Index  $f$  für fasteners) und Unterlaufen von Umkehrdämmungen durch Regen (Index  $r$  für rain) zu berücksichtigen. Für die Berechnung des Energiebedarfs wird dann der  $U$ -Wert  $U_c$  inklusive der Korrekturen verwendet. Die Korrekturen treten in der Regel nicht gleichzeitig für dasselbe Bauteil auf, sondern kommen meist in unterschiedlichen Bauteilsituationen zum Tragen. Ist die Gesamtkorrektur für alle drei Aspekte zusammen geringer als 3 % des  $U$ -Werts im ungestörten Bereich, so braucht nicht korrigiert zu werden.

$$U_c = U + \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]} \quad (3.13)$$

#### 3.11.1 U-Wert-Korrektur für mechanische Befestiger und punktuelle Wärmebrückeneinflüsse

Das  $U$ -Wert-Korrekturverfahren für punktförmige mechanische Befestiger und andere punktförmige Wärmebrücken kommt in Deutschland kaum zur Anwendung, z.B. weil deren Einfluss numerisch bestimmt und dann mittels Befestigeranzahl mal  $\chi$ -Wert eingerechnet wird, oder einzelne punktförmige Wärmebrücken beim EnEV-Nachweis vernachlässigt werden dürfen. Genaueres hierzu erläutert Abschnitt 6. Hinweise zu den im Energiebedarf vernachlässigbaren, punktförmigen Wärmebrücken finden sich in Abschnitt 5 sowie in DIN 4108 Beiblatt 2 [9].

#### 3.11.2 U-Wert-Korrektur für Luftspalte in der Dämmebene

Die Korrektur für Luftspalte in der Dämmebene kommt nicht zum Tragen, wenn keine oder nur kleine, vereinzelt Luftspalte zwischen den Dämmplatten oder zwischen den Dämmplatten und den angrenzenden Baustoffen vorhanden sind. Dies ist u.a. dann anzunehmen, wenn

- einlagig verlegte Dämmplatten mit Stufenfalzen oder Nut-und-Feder-Verbindungen oder abgedichteten Fugen versehen sind, oder wenn
- einlagig verlegte Dämmplatten mit stumpfen Stößen so verlegt sind, dass nur Spalten von weniger als 5 mm Breite zwischen den Dämmplatten auftreten (oder eventuell auftretende, breitere Spalten mit Dämmstoff verfüllt werden), oder wenn
- die Dämmung mehrlagig mit versetzten Fugen verlegt ist, und in allen Fällen die Dämmung guten Kontakt zum Bauwerk aufweist.

Bei der Planung von Gebäuden darf davon ausgegangen werden, dass die spätere Ausführung fachgerecht (d.h. spaltenfrei) erfolgt. Bei fachgerechter Ausführung von Dämmarbeiten werden üblicherweise die vorgenannten Bedingungen eingehalten; somit ist in der Planung keine Korrekturnotwendigkeit für Luftspalte gegeben. Eine nachträgliche Korrektur des  $U$ -Werts ist dann durchzuführen, wenn die Ausführung in dieser Hinsicht nicht fachgerecht erfolgte.

#### 3.11.3 U-Wert-Korrektur bei Umkehrdächern

Die Korrektur für das Unterlaufen der Umkehrdämmung durch Regenwasser erfolgt nur dann, wenn der Effekt nicht schon im Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes enthalten ist. Abweichend vom Korrekturverfahren der DIN EN ISO 6946 erfolgt in Deutschland die Bestimmung des Bemessungswerts des Wärmedurchgangskoeffizienten nach den Festlegungen in den technischen Spezifikationen des betreffenden Dämmstoffes bzw. Dachaufbaus, z.B. in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder Bauartgenehmigung bzw. nach DIN 4108-2 Abschnitt 5.3.3.

#### 3.11.4 $R_{se}$ - bzw. $R_{sf}$ - Korrektur bei Vorsprüngen

Nach DIN EN ISO 6946 dürfen Vorsprünge in ansonsten ebenen Oberflächen (z.B. überstehende Pfeiler) bei der Berechnung des Wärmedurchgangswiderstandes vernachlässigt werden, wenn sie aus einem Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von höchstens 2,5 W/(m·K) bestehen (entspricht Beton mit 2 % Bewehrung). Ist die Wärmeleitfähigkeit des Vorsprungs größer und das Bauteil nicht wärmegeämmt, wird der Vorsprung übermessen, aber dafür an der betroffenen Fläche der Wärmeübergangswiderstand mit dem Verhältnis aus der projizierten Fläche und der abgewickelten Fläche des Vorsprungs multipliziert.



## 4. Hygienischer Mindestwärmeschutz

Generell sind Gebäude so zu planen und zu bauen, dass ein ausreichender Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile und an Wärmebrücken gegeben ist. Die einzuhaltenen Anforderungen sind in der bauaufsichtlich eingeführten technischen Baubestimmung DIN 4108-2 fixiert. Der bauliche Mindestwärmeschutz soll die Gesundheit der Bewohner bzw. Gebäudenutzer durch ein hygienisches Raumklima schützen und die Baukonstruktion vor Feuchteschäden bewahren. Dafür sind eine ausreichende Beheizung und ein hygienisch definierter Mindestluftwechsel zum Abtransport der im Innenraum freigesetzten Feuchte sicherzustellen. Angesichts heutiger Ansprüche an Wohnkomfort, Hygiene, Schimmelfreiheit und Energieeinsparung ist aber ohnehin ein deutlich besserer baulicher Wärmeschutz anzustreben. Dieser wird bei funktionsgetrennter Bauweise immer durch dickere Dämmschichten bzw. durch Dämmschichten mit niedrigerer Wärmeleitfähigkeit erreicht.

### 4.1 Vermeiden von Schimmelpilzwachstum

Zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum auf Innenoberflächen von Bauteilen ist es vor allem wichtig, dass die Kondensatfreiheit der Konstruktion gegeben ist und kritische Oberflächenfeuchten vermieden werden. Schon ab einer relativen Luftfeuchte von 80 % in der Luftschicht unmittelbar an der Bauteiloberfläche kann es zur Kondensation von Wasser in den feinen Kapillaren des Baustoffes kommen. Diese Kapillarkondensation liefert bereits eine für Schimmelpilzwachstum ausreichende Menge Feuchtigkeit.

Ausgehend von vereinfachenden bauphysikalischen Modellbetrachtungen kann Schimmelpilzwachstum bereits auftreten, wenn an mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen die relative Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche einen Wert von mehr

als 80 % aufweist und dieser Zustand mindestens zwölf Stunden am Tag gegeben ist. Bei höheren Luftfeuchten sind kürzere Zeiträume ausreichend. Das Vorliegen von flüssigem Wasser auf der Bauteiloberfläche ist nicht erforderlich. Schimmel benötigt für sein Wachstum einen Nährboden mit passendem pH-Wert, das so genannte Substrat, sowie moderate Temperaturen und genügend Feuchte. Die genauen Wachstumsgrenzen unterscheiden sich etwas von Schimmelart zu Schimmelart. Da eine geeignete Temperatur und ein passendes Substrat in der Regel in beheizten Gebäuden immer vorhanden sind, bleibt als Maßnahme zur Schimmelvermeidung nur die Vermeidung von (Oberflächen-)Feuchte und Kapillarkondensation (Bild 5).

### 4.2 Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile bei normal beheizten Gebäuden

DIN 4108-2 fordert die in Tafel 8 angegebenen Mindest-Wärmedurchlasswiderstände für wärmeübertragende flächige Massivbauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse von  $\geq 100 \text{ kg/m}^2$ , zusammen mit einer ausreichenden Beheizung und Belüftung des Gebäudes bzw. der Bauteile. Diese Mindestanforderungen gelten für alle direkt oder über Raumverbund beheizten Räume, die auf übliche ( $\geq 19 \text{ }^\circ\text{C}$ ) oder niedrige ( $\geq 12 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $< 19 \text{ }^\circ\text{C}$ ) Innentemperaturen beheizt (d.h. beheizbar) sind. Weitere Festlegungen der DIN 4108-2 zum einzuhaltenen Mindestwärmeschutz der wärmeübertragenden Bauteile der thermischen Hüllfläche für alle auf  $\geq 12 \text{ }^\circ\text{C}$  beheizten (d.h. beheizbaren) Räume bzw. Gebäude sind:

- Der Mindestwärmeschutz muss überall eingehalten sein. Das gilt besonders auch für wärmeschutztechnisch geschwächte Querschnitte wie Heizkörpernischen und Fensterstürze.

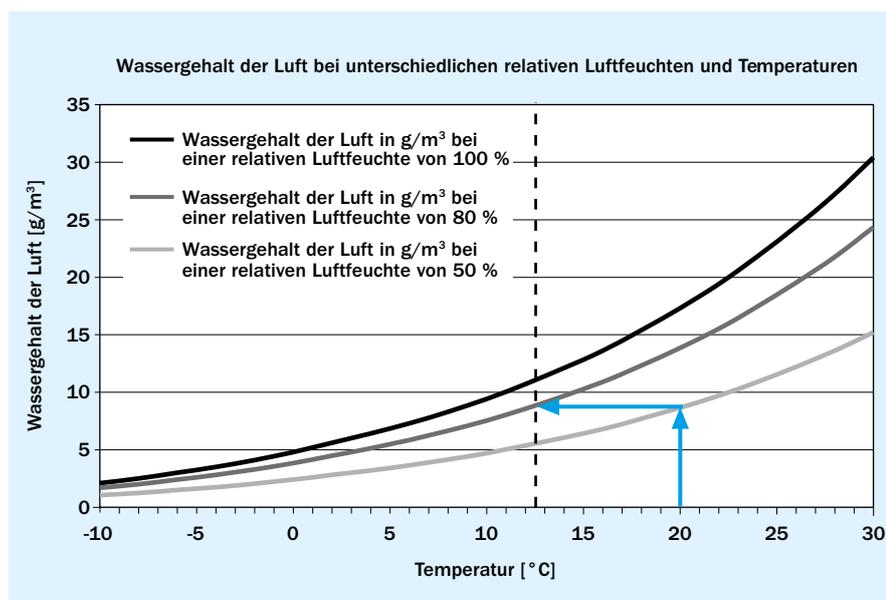


Bild 5 Zusammenhang zwischen Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte (r.F.) und absoluter Luftfeuchte (Wassergehalt der Luft in g Wasser pro  $\text{m}^3$  Luft). Blaue Pfeile: bei Abkühlung von Luft mit  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  (z.B. an der Wandoberfläche) steigt die relative Luftfeuchte auf 80 %.

- Leichte Bauteile müssen einen erhöhten Wärmeschutz aufweisen. Aufgrund ihrer geringen Masse können sie im Sommer nur wenig Speichermasse zur Verfügung stellen, um rasch ansteigende Innenraumtemperaturen in ihren Spitzenwerten zu dämpfen. Aus diesem Grund muss der Wärmeeintrag durch diese Bauteile stärker reduziert werden als bei speicherfähigeren Bauteilen. Als Unterscheidungskriterium zwischen leichten und schweren Bauteilen wird eine flächenbezogene Masse von  $100 \text{ kg/m}^2$  herangezogen. Der Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstandes leichter Bauteile muss  $R \geq 1,75 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  betragen. Bei Rahmen- und Skelettbauten, Holzständerbauten und Fassaden als Pfosten-Riegel-Konstruktion gilt dieser Wert nur für den Gefachbereich, jedoch muss das gesamte Bauteil zusätzlich einen mittleren Wärmedurchlasswiderstand von  $\geq 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  einhalten.

Tafel 8 Mindestwerte des Wärmedurchlasswiderstandes flächiger Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse  $\geq 100 \text{ kg/m}^2$ , aus DIN 4108-2 [10]

Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils <sup>1)</sup> $R$ in $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
Wände beheizter Räume	gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen, nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dachräume oder nicht beheizte Kellerräume außerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche)	1,2 <sup>2)</sup>
Dachschrägen beheizter Räume	gegen Außenluft	1,2
<b>Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer</b>		
	gegen Außenluft	1,2
	zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,90
	zu nicht beheizten Räumen, zu bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen	0,90
	zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35
<b>Decken beheizter Räume nach unten</b>		
	gegen Außenluft, gegen Tiefgarage, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller <sup>3)</sup>	1,75
	gegen nicht beheizten Kellerraum	0,90
	unterer Abschluss (z.B. Sohlplatte) von Aufenthaltsräumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	
	über einem nicht belüfteten Hohlraum, z.B. Kriechkeller, an das Erdreich grenzend	
<b>Bauteile an Treppenräumen</b>		
	Wände zwischen beheiztem Raum und direkt beheiztem Treppenraum, Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, sofern die anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tafel erfüllen	0,07
	Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, wenn nicht alle anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tafel erfüllen	0,25
	oberer und unterer Abschluss eines beheizten oder indirekt beheizten Treppenraums	wie Bauteile beheizter Räume
<b>Bauteile zwischen beheizten Räumen</b>		
	Wohnungs- und Gebäudetrennwände zwischen beheizten Räumen	0,07
	Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung	0,35

<sup>1)</sup> Bei erdberührten Bauteilen: konstruktiver Wärmedurchlasswiderstand  
<sup>2)</sup> Bei niedrig beheizten Räumen  $0,55 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$   
<sup>3)</sup> Vermeidung von Fußkälte

- Bei transparenten und teiltransparenten Bauteilen (z.B. Vorhangfassaden, Pfosten-Riegel-Konstruktionen, Glasdächer, Fenster, Fenstertüren und Fensterwände) müssen opake Ausfachungen und Paneele mindestens einen Wärmedurchlasswiderstand  $R \geq 1,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  haben (d.h.  $U_p \leq 0,73 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ). Die Rahmen dürfen höchstens einen  $U_f$ -Wert von  $U_f \leq 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  haben. Alle Gläser sind mindestens als Isolierglas oder mit zwei Glasscheiben (z.B. Verbundfenster, Kastenfenster) auszuführen.
- Die tabellierte Mindestanforderung von  $R \geq 0,90 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  für Sohlplatten und erdberührte Kellerfußböden unter beheizten Aufenthaltsräumen gilt nur für die äußeren 5 m der Bodenplatte. Der weiter innen liegende Mittelbereich der Bodenplatte kann ungedämmt bleiben, da sich weiter innen ein so genannter Wärmesee unter dem Gebäude ausbildet und der Wärmeverlust über das Erdreich an die Außenluft auch bei einem ungedämmten Mittelbereich der Bodenplatte gering ist. Das Weglassen der Wärmedämmung im Mittelbereich der Bodenplatte ist vor allem interessant bei großen, niedrig beheizten Gebäuden wie z.B. Industrie- und Lagerhallen, während bei normal beheizten Gebäuden häufig die gesamte Bodenplatte durchgehend gedämmt wird, weil die Verlegung einfacher ist und die fraglichen Flächen klein sind.

## 5. Wärmeschutz und Schimmelpilzvermeidung bei Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Stellen in der thermischen Gebäudehülle, an denen es zu einem örtlich erhöhten Wärmedurchgang durch die Konstruktion kommt. Daraus resultieren örtliche Unterschiede in der Temperatur der Innen- und der Außenoberflächen der Konstruktion. Im Winter kommt es an Wärmebrücken zu einem erhöhten Wärmeverlust. Zusätzlich kann es zu deutlich verringerten Innenoberflächentemperaturen kommen, und in der Folge zu Tauwasser- und Schimmelpilzbildung. Dies gilt in gleicher Weise für Wärmebrücken. Deshalb sind sie aus energetischer Sicht, vor allem aber aus Bauqualitäts- und Hygienegesichtspunkten zu vermeiden oder möglichst in ihrem Einfluss zu begrenzen. Mit steigendem Dämmstandard kommt den Wärmebrücken im Planungsprozess und bei der Bewertung eines Gebäudes eine zunehmende Bedeutung zu. Wärmebrücken können sehr unterschiedliche Ursachen haben, die auch in Kombination miteinander auftreten können:

- Stoffbedingte Wärmebrücken ergeben sich aus einem Wechsel der Baustoffe nebeneinanderliegender Bereiche, z.B. Betonstütze in einer Mauerwerkswand.
- Geometriebedingte Wärmebrücken finden sich beispielsweise an jeder Gebäudekante.

Oft findet sich auch eine Kombination mehrerer Ursachen (Traufanschluss, Deckeneinbindung). Üblich ist deswegen die Unterteilung entsprechend ihrer Geometrie in punkt-, linien- und flächenförmige Wärmebrücken. Geometriebedingte Wärmebrücken lassen sich nicht ganz vermeiden, aber in ihrer Auswirkung deutlich verringern. Zur Verminderung von Wärmebrücken gilt generell die Empfehlung, die dämmende Schicht so vollständig und lückenlos wie möglich um das beheizte Gebäudevolumen zu legen. Die dämmenden Schichten benachbarter Bauteile sollten lückenlos und ohne Dickenverminderung ineinander übergehen. Das Konstruktionsprinzip der durchgehenden Dämmebene kann bei Neubauten mit Kalksandstein und vorausschauender Planung gut eingehalten werden. Bei der Bestandssanierung ist dies häufig nur mit erhöhtem Aufwand oder mitunter gar nicht mehr nachträglich möglich. Hier sind entsprechend angepasste Lösungen erforderlich.

### 5.1 Energetische Charakterisierung von Wärmebrücken

In energetischer Hinsicht werden linienförmige Wärmebrücken durch den linearen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\Psi$ -Wert) charakterisiert. Er gibt den Wärmedurchgang pro Meter Länge der Wärmebrücke und pro Kelvin Temperaturdifferenz an, der zusätzlich zum Wärmedurchgang durch die benachbarten flächigen Bauteile auftritt. Der  $\Psi$ -Wert (Psi-Wert) ist das längenbezogene Pendant zum U-Wert der flächigen Bauteile. Für punktförmige Wärmebrücken wird der  $\chi$ -Wert (Chi-Wert) verwendet.

Zur Ermittlung des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi$  wird zunächst mittels einer zweidimensionalen numerischen Berechnung der stationäre Wärmedurchgang  $Q$  im gesamten Bereich der Wärmebrücke ermittelt (Bild 6). Die Division des Wärmedurchgangs durch die angesetzte Temperaturdifferenz ergibt den thermischen Leitwert  $L$ . Hiervon wird der Wärmedurchgang

im Bereich der angrenzenden flächigen „Regelbauteile“ ( $U_i \cdot A_i$ ) abgezogen. Der verbleibende Betrag ist der lineare Wärmedurchgangskoeffizient  $\Psi$ , welcher den durch den Wärmebrückeneffekt zusätzlich auftretenden Wärmedurchgang kennzeichnet.

#### INFO

**Mit zunehmender Wärmedämmung kommt der Planung und Verminderung von Wärmebrücken eine wachsende Bedeutung zu.**

Längenbezogene Wärmebrücken treten an den Anschlussstellen zwischen benachbarten Bauteilen auf. Je nach Bauweise können sie sich deutlich bemerkbar machen, vor allem wenn auf die Verminderung der Wärmebrückenwirkung nicht besonders geachtet wird. Die Bilder 7 und 8 vergleichen den Wärmedurchgang im Bereich einer einbindenden Decke zwischen der KS-Funktionswand mit Wärmedämmverbundsystem und einer monolithischen Bauweise. Der Vergleich erfolgt für zwei Konstruktionen mit annähernd identischem U-Wert der Außenwand. Deutlich erkennbar ist die geringere Wärmebrückenwirkung bei der KS-Funktionswand.

### 5.2 Verminderung des Wärmebrückenverlusts nach DIN 4108 Beiblatt 2

Im Gegensatz zu flächigen Bauteilen werden an Wärmebrücken keine allgemeingültigen energetischen Mindestanforderungen gestellt; es gibt auch keine verbindlichen Höchstgrenze für  $\Psi$ -Werte (eine *hygienische* Mindestanforderung wird sehr wohl gestellt, nämlich die Pflicht zum Einhalten des Schimmelpilzkriteriums  $f_{Rsi} \geq 0,70$  der DIN 4108-2!). Dennoch ergeben sich in der Regel „freiwillig“ eingegangene energetische Mindestanforderungen daraus, dass im EnEV-Nachweis und/oder in der Baubeschreibung bestätigt wird, die relevanten Wärmebrücken würden dem Wärmebrückenbeiblatt DIN 4108 Beiblatt 2 bzw. dessen Kategorie A oder B entsprechen. Dieses Beiblatt gibt in Prinzipskizzen Planungs- und Ausführungsempfehlungen, wie der Einfluss von Wärmebrücken energetisch und thermisch vermindert werden kann. Dafür werden zwei Kategorien im Sinne von Niveaus definiert, wobei die Kategorie A dem bisherigen Beiblatt 2 entspricht (Merkhilfe: A wie „alt“) und die Kategorie B einer weiter verbesserten Wärmebrückenvermeidung (Merkhilfe: B wie „besser“). Bezieht sich der Planer im EnEV-Nachweis oder in der Baubeschreibung auf Kategorie A oder B des Beiblatts, wird das dort definierte Niveau der Wärmebrückenverminderung verbindlich.

Generell muss ein Planer gemäß EnEV den Einfluss konstruktiver Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf nach den Regeln der Technik und den im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen so gering wie möglich halten. Der zusätzliche Wärmedurchgang durch alle relevanten Wärmebrücken eines Gebäudes wird mittels eines Zuschlags auf den U-Wert aller Hüllflächen des Gebäudes ( $\Delta U_{WB}$ ) berücksichtigt. Dies kann im EnEV-Nachweis wahlweise detailliert oder pauschalisiert erfolgen:

■ Pauschale Berücksichtigung: ohne weiteren Nachweis darf ein pauschaler Zuschlag von  $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  abgesetzt werden, was einer generellen Erhöhung der U-Werte aller Hüllflächenbauteile um  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  entspricht. Diese Variante überbetont den Wärmebrückeneinfluss. Bei Bestandsgebäuden mit Innendämmung an mehr als 50 % der Außenwand und einbindenden Massivdecken beträgt der Zuschlag sogar  $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

■ Reduzierter pauschaler Zuschlag: ein verringerter pauschaler Zuschlag von  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  bzw.  $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ist zu wählen, wenn die relevanten Wärmebrücken der Kategorie A bzw. B aus DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen. Durch die Wahl dieser Variante wird die entsprechende Kategorie aus dem Beiblatt für die betreffenden Wärmebrücken verbindlich.

■ Kombiniertes Zuschlag: Ist nicht für alle gewählten Bauteilanschlüsse der jeweils gewählten Kategorie A oder B ein Gleichwertigkeitsnachweis möglich, so kann der Einfluss dieser nicht gleichwertigen Bauteilanschlüsse zum pauschalen Zuschlag addiert werden (Tafel 9). Dabei wird die Differenz zwischen dem tatsächlichen  $\Psi$ -Wert und dem Referenz- $\Psi$ -Wert mit der Länge der jeweiligen Wärmebrücke multipliziert, durch die Hüllfläche geteilt, und das Ergebnis zum pauschalen Zuschlag  $0,05$  bzw.  $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  hinzugerechnet. Analog kann der zusätzliche Einfluss von Wärmebrücken, die gar nicht im Beiblatt 2 enthalten sind, anhand deren  $\Psi$ -Wert, ihrer Länge und der Hüllfläche berechnet und auf den pauschalen Zuschlag addiert werden.

■ Detaillierter Wärmebrückenzuschlag: die  $\Psi$  bzw.  $\chi$  Werte der linien- bzw. punktförmigen Wärmebrücken werden detailliert ermittelt. Der detaillierte individuelle Wärmebrückenzuschlag ist die Summe aus Länge der Wärmebrücken bzw.  $\chi$ -Wert mal Anzahl der punktförmigen Wärmebrücken, geteilt durch die gesamte Hüllfläche des Gebäudes bzw. der Zone. Zahlenwerte für  $\Psi$  und  $\chi$  können auch der Literatur oder Wärmebrückenkatalogen, z.B. dem KS-Wärmebrücken-katalog [11], entnommen werden.

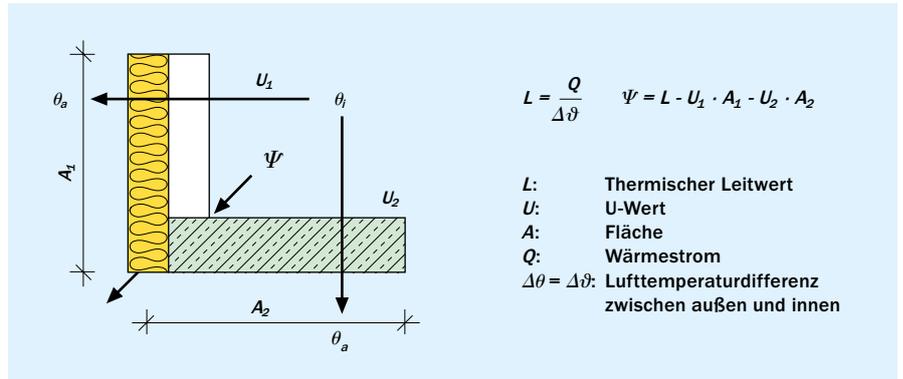


Bild 6 Skizze zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi$

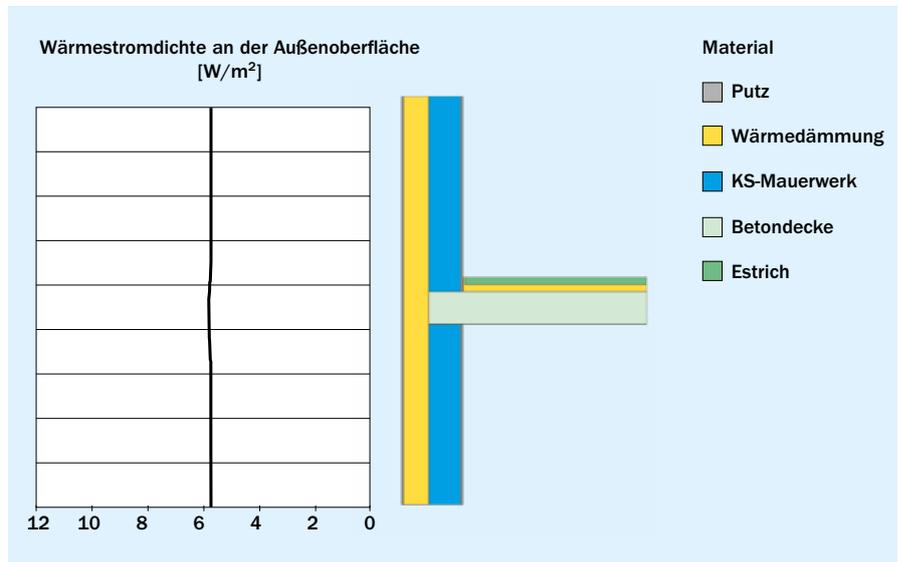


Bild 7 Wärmestromdichten (nach links abgetragen) an der Außenoberfläche bei KS-Funktionswand mit WdVS im Bereich der einbindenden Decke

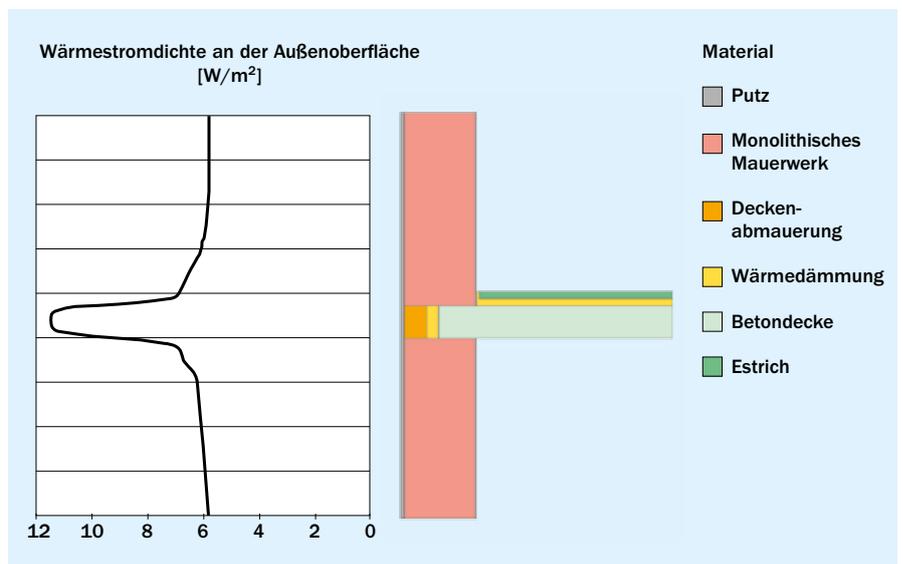


Bild 8 Wärmestromdichten (nach links abgetragen) an der Außenoberfläche bei monolithischer Bauweise im Bereich der einbindenden Decke

Tafel 9 Möglichkeiten zur Berücksichtigung des zusätzlichen Wärmedurchgangs durch alle relevanten Wärmebrücken eines Gebäudes ( $\Delta U_{WB}$ ) im EnEV-Nachweis

<b>Pauschaler Zuschlag</b> $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Für Bestandsgebäude Nur wenn mehr als 50 % der Außenwand mit einer innen liegenden Dämmschicht versehen ist und einbindende Massivdecken vorliegen
<b>Pauschaler Zuschlag</b> $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Dieser pauschale Zuschlag entspricht einer Erhöhung der U-Werte aller Hüllflächenbauteile um jeweils $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Überbetont in aller Regel den Wärmebrückeneinfluss
<b>Reduzierter pauschaler Zuschlag</b> $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Alle relevanten Wärmebrücken entsprechen mindestens Kategorie A aus DIN 4108 Beiblatt 2.
<b>Reduzierter pauschaler Zuschlag</b> $\Delta U_{WB} = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Alle relevanten Wärmebrücken entsprechen Kategorie B aus DIN 4108 Beiblatt 2.
<b>Kombinierter Zuschlag (pauschal + individuell)</b> $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) + \Delta \Psi \cdot \ell_i / \Sigma A$	Nicht alle relevanten Wärmebrücken entsprechen mindestens Kategorie A aus DIN 4108 Beiblatt 2. Die Wärmebrücken, die ungünstiger als Kategorie A sind, werden mit der Differenz $(\Psi - \Psi_{Ref, Kat.A}) \cdot \ell$ zwischen dem tatsächlichen $\Psi$ -Wert und dem Referenzwert für Kategorie A, multipliziert mit ihrer Länge $\ell$ , in $\Delta U_{WB}$ eingerechnet. Relevante Wärmebrücken, die gar nicht im Beiblatt 2 enthalten sind, werden mit $\Psi \cdot \ell$ in $\Delta U_{WB}$ eingerechnet.
<b>Kombinierter Zuschlag (pauschal + individuell)</b> $\Delta U_{WB} = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) + \Delta \Psi \cdot \ell_i / \Sigma A$	Nicht alle relevanten Wärmebrücken entsprechen Kategorie B aus DIN 4108 Beiblatt 2. Die Wärmebrücken, die ungünstiger als Kategorie B sind, werden mit der Differenz $(\Psi - \Psi_{Ref, Kat.B}) \cdot \ell$ zwischen dem tatsächlichen $\Psi$ -Wert und dem Referenzwert für Kategorie B, multipliziert mit ihrer Länge $\ell$ , in $\Delta U_{WB}$ eingerechnet. Relevante Wärmebrücken, die gar nicht im Beiblatt 2 enthalten sind, werden mit $\Psi \cdot \ell$ in $\Delta U_{WB}$ eingerechnet.
<b>Detailliert ermittelter Zuschlag</b>	$\Psi$ - bzw. $\chi$ -Werte der linien- bzw. punktförmigen Wärmebrücken werden detailliert ermittelt. Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = [\Sigma (\Psi_i \cdot \ell_i) + \Sigma (\chi_j \cdot \eta_j)] / \Sigma A$ Zahlenwerte für $\Psi$ können selbst berechnet oder der Literatur oder Wärmebrückenkatalogen [11] entnommen werden. $\Sigma A$ ist die gesamte Hüllfläche des Gebäudes bzw. der Zone. Die abgemessene Länge der längenbezogenen Wärmebrücken ist $\ell_i$ . Die Anzahl, wie oft die jeweilige punktförmige Wärmebrücke auftritt, ist $\eta_j$ .

Welche Wärmebrücken im Rahmen des energetischen Nachweises zu berücksichtigen sind, regelt die EnEV; Hinweise gibt ebenfalls DIN V 18599-2:2016-10; eine detaillierte Auflistung der zu berücksichtigenden und der vernachlässigbaren Wärmebrücken enthält DIN 4108 Beiblatt 2:2018. Mindestens für die Wärmebrücken Gebäudekanten, Laibungen (umlaufend) von Fenstern und Türen, Decken- und Wandeinbindungen und Deckenaufleger muss die Gleichwertigkeit der individuellen Lösung mit der Beispiellösung im Beiblatt gegeben sein, je nach gewähltem pauschalen Zuschlag der Kategorie A oder B. Die Gleichwertigkeit ist einzuhalten. Eine Pflicht, dies nachzuweisen, gibt es aber für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nicht. Balkonplatten dürfen nur noch wärmetechnisch entkoppelt ausgeführt werden. Andere linienförmige sowie nur einzeln auftretende punktförmige Wärmebrücken brauchen im Wärmebrückennachweis im Rahmen der EnEV nicht berücksichtigt zu werden. Erläuterungen zu den zu berücksichtigenden und der vernachlässigbaren Wärmebrücken finden sich auch in [9].

Für Neubauten wird derzeit noch überwiegend das pauschale Verfahren mit reduziertem Wärmebrückenzuschlag  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  genutzt. Die Konstruktionsbeispiele im Beiblatt 2 sind als Empfehlungen sowie als Arbeitserleichterung für den bildlichen Gleichwertigkeitsnachweis gedacht und

stellen keine Festlegungen im Sinne des Baurechts dar. Auch wenn die Beispiele in erster Linie auf den Neubau abzielen, geben die dargestellten Prinzipien wertvolle Hinweise für die Wärmebrückenverminderung bei der Bestandssanierung.

#### INFO

**Bauteilanschlüsse bei funktionsgetrennter KS-Bauweise erfüllen problemlos die verbesserte Kategorie B. Die Empfehlung ist, für alle Wärmebrücken des Gebäudes die Einhaltung der Kategorie B anzustreben.**

#### 5.3 Gleichwertigkeitsnachweis

Für den Nachweis, dass eine konkret geplante oder ausgeführte Anschlussausbildung zwischen Bauteilen gleichwertig ist zu den Planungs- und Ausführungsempfehlungen der jeweiligen Kategorie in DIN 4108 Beiblatt 2, gibt es zwei prinzipielle Vorgehensweisen: den bildlichen und den rechnerischen Nachweis.

Beim bildlichen Nachweis vergleicht der Planer seine Detailplanung visuell mit den Beispielzeichnungen im Beiblatt und

prüft, ob das konstruktive Grundprinzip der Wärmebrückenvermeidung und die Schichtdicken bzw. Wärmedurchlasswiderstände der dafür wichtigen Baustoffschichten (Dämmstoffe, Massivbaustoffe) eingehalten sind. Dabei geht man gedanklich die möglichen Wege der Wärme von innen nach außen ab und prüft, ob die Wärme auf diesen Wegen mindestens so viel Wärmedurchlasswiderstand in Form von Dämmschichten oder dämmenden Baustoffen überwinden muss, wie in der Beispielzeichnung dargestellt, und es keine „Abkürzungen“ für die Wärme gibt. Ist dies gegeben, ist der Gleichwertigkeitsnachweis für diesen Anschlusspunkt erbracht.

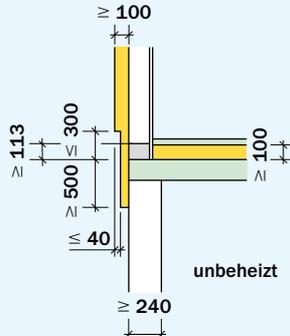
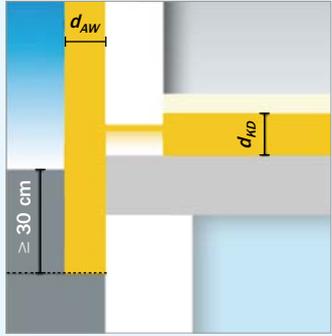
Sind das konstruktive Grundprinzip und/oder die Wärmedurchlasswiderstände der Schichten nicht eingehalten, oder weicht die Detailplanung grundlegend von der Darstellung im Beiblatt 2 ab, muss ein rechnerischer Nachweis erfolgen. Dafür wird der  $\Psi$ -Wert aus Wärmebrückenkatalogen [11] entnommen oder die individuelle Wärmebrücke zweidimensional berechnet. Der so ermittelte  $\Psi$ -Wert darf nicht größer sein als der Referenzwert für diese Anschluss-Situation für die jeweils gewählte Kategorie A oder B in DIN 4108 Beiblatt 2. Die Referenzwerte sind nicht die  $\Psi$ -Werte der danebenstehenden Beispieldarstellungen, son-

dern die errechneten Höchstwerte bei Variation der Parameter (Bauteildicken, Wärmeleitfähigkeitsspannen) der Beispieldarstellungen.

Beide Nachweisvarianten sind gleichberechtigt und gleichwertig, und können vom Planer für jede Wärmebrücke frei gewählt werden. Solange eines der beiden Nachweisverfahren eingehalten ist, ist die Gleichwertigkeit gegeben. Eine Verpflichtung, dass sowohl der bildliche als auch der rechnerische Nachweis eingehalten sein müssen, besteht nicht und wäre nicht sinnvoll. Lässt sich weder bildlich noch rechnerisch die Gleichwertigkeit einer Anschlusslösung darstellen, ist das geplante Anschlussdetail wärmetechnisch zu verbessern, bis die Gleichwertigkeit gegeben ist, oder es ist im EnEV-Nachweis ein alternativ nach Tafel 9 ermittelter, kombinierter Wärmebrückenzuschlag zu verwenden.

Ein Beispiel für den rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweis für Kategorie B der DIN 4108 Beiblatt 2 für den Sockelanschluss an den unbeheizten Keller bei einer KS-Funktionswand mit KS-Wärmedämmstein, mit Hilfe des Wärmebrückenkatalogs Kalksandstein, zeigt Tafel 10.

Tafel 10 Beispiel für den rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweis für Kategorie B nach DIN 4108 Beiblatt 2

Bauteilanschluss: Sockelanschluss an den unbeheizten Keller		
	DIN 4108 Beiblatt 2	Kalksandstein-Wärmebrückenkatalog
<b>Bildlicher Nachweis</b>		
<b>Überprüfung:</b>		
Dämmdicke Außenwand	≥ 100 mm	= 180 mm
Dämmdicke Kellerdecke	≥ 100 mm	= 120 mm
Länge flankierender Dämmung	≥ 500 mm	= 300 mm
Höhe KS-Wärmedämmstein	≥ 113 mm	= 113 mm
Dicke Kellerwand	≥ 240 mm	= 300 mm
	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Die Länge der flankierenden Dämmung auf der Kelleraußenwand ist geringer als in der Beispielskizze aus DIN 4108 Beiblatt 2</li> <li>→ Bildlicher Gleichwertigkeitsnachweis ist nicht eingehalten.</li> </ul>	
<b>Rechnerischer Nachweis</b>	$\Psi_{Ref, Kat. B} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	$\Psi = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Der individuelle <math>\Psi</math>-Wert des Bauteilanschlusses ist geringer als der Referenzwert <math>\Psi_{Ref}</math> nach DIN 4108 Beiblatt 2 für die Kategorie B</li> <li>→ Rechnerischer Gleichwertigkeitsnachweis ist eingehalten. Das Detail entspricht nach DIN 4108 Beiblatt 2 der Kategorie B.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Im EnEV-Nachweis darf ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von <math>0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})</math> angesetzt werden, sofern alle anderen relevanten Wärmebrücken ebenfalls der Kategorie B entsprechen.</li> </ul>	

#### 5.4 Hygienische Mindestanforderung an die Oberflächentemperatur bei Wärmebrücken ( $f_{Rsi}$ )

Bei Anschlussdetails zwischen Bauteilen muss der Oberflächentemperaturfaktor  $f_{Rsi}$  im Bereich der Wärmebrücke beim zwei- oder dreidimensionalen rechnerischen Nachweis mindestens 0,70 betragen.  $f_{Rsi}$  wird aus den angesetzten Lufttemperaturen innen und außen und der berechneten Temperatur an der kältesten Stelle der Innenoberfläche bestimmt:

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} \geq 0,70 \quad [-] \quad (5.1)$$

Bei den Standard-Randbedingungen nach DIN 4108-2 (innen 20 °C und 50 % relative Luftfeuchte (r.F.); außen -5 °C, Wärmeübergangswiderstand innen 0,25 m<sup>2</sup>·K/W und außen 0,04 m<sup>2</sup>·K/W) entspricht dies einer kritischen Oberflächentemperatur von 12,6 °C. Diese Temperatur darf an der ungünstigsten Stelle nicht unterschritten werden. Der erhöhte Wärmeübergangswiderstand innen,  $R_{si} = 0,25$  m<sup>2</sup>·K/W anstelle der üblichen Werte, bildet den behinderten Wärmeübergang von der Raumluft auf die Wandoberfläche in der Nähe der Raumkante oder hinter leichten Gardinen ab. Innerhalb der Fläche von Fenstern, Fenstertüren, Türen etc. bleibt  $R_{si}$  gemäß DIN EN ISO 13788 bei 0,13 m<sup>2</sup>·K/W, weil von ungehinderter Luftzirkulation ausgegangen wird.

Unter stationären Verhältnissen hat die Raumluft überall den gleichen absoluten Feuchtegehalt und die Luft unmittelbar an der Wandoberfläche nimmt die Temperatur der Wandoberfläche an. Wenn aber Raumluft von 20 °C und 50 % r.F. an der kältesten Stelle der Innenoberfläche auf 12,6 °C abgekühlt wird, stellt sich dort eine relative Luftfeuchte von 80 % ein (Bild 5). Dieser Wert gilt gerade noch als unkritisch hinsichtlich Schimmelpilzwachstum. Der dimensionslose Temperaturfaktor  $f_{Rsi}$  stellt die einzuhaltende Anforderungsgröße der DIN 4108-2 für den Mindestwärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken dar. Er gilt nur für den rechnerischen Wärmebrückennachweis unter den vorgenannten, stationären Annahmen.

Bei einem Oberflächentemperaturfaktor von mindestens 0,70 entfallen mindestens 70 % des Temperaturabfalls zwischen Innen- und Außenluft auf den Temperaturunterschied zwischen Innenoberfläche und Außenluft, bzw. höchstens 30 % auf den Temperaturunterschied zwischen Innenluft und Innenoberfläche. Dabei wird an der Innenoberfläche sicherheitshalber mit einem erhöhten Wärmeübergangswiderstand von 0,25 m<sup>2</sup>·K/W gerechnet statt der üblichen Werte, um den in der Nähe der Raumkante oder hinter Gardinen behinderten Wärmeübergang auf die Wandoberfläche abzubilden (Tafel 11).

Die Forderung  $f_{Rsi} \geq 0,70$  der DIN 4108-2 gilt für linienförmige Wärmebrücken zwischen zwei Bauteilen („Kanten“) und für punktförmige Wärmebrücken („Ecken“ zwischen drei flächigen Bauteilen; kleinflächige Durchdringungen der Dämmebene).

Bei Einhalten der Empfehlungen der DIN 4108 Beiblatt 2, Kategorie A oder B, für die linienförmigen Wärmebrücken („Kanten“) kann man davon ausgehen, dass diese thermisch optimierten Wärmebrücken bei sachgemäßer Nutzung des Gebäudes schimmelfrei bleiben. Ein gesonderter Nachweis muss nicht erfolgen. Gleiches gilt für Kanten zwischen Außenbauteilen mit gleichar-

tigem Aufbau, die den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 bzw. nach Tafel 8 einhalten.

Ecken können ohne weiteren Nachweis als unbedenklich hinsichtlich Schimmelpilzbildung angesehen werden, wenn sie aus Kanten gebildet werden, die ihrerseits unbedenklich hinsichtlich Schimmelpilzbildung sind (also obige Bedingungen einhalten – anderenfalls ist die betroffene Kante ohnehin unzulässig), und die Dämmschichten im Bereich der Ecke unterbrechungsfrei geführt sind. Erst wenn als viertes Element eine Störung oder Unterbrechung der Dämmebene hinzukommt, wird ein numerischer  $f_{Rsi}$ -Nachweis für die Ecke erforderlich, z.B. bei einer Eckstütze gegen Außenluft unter einem vorspringenden, unterseitig gedämmten Obergeschoss: Die Stütze durchdringt die Dämmebene und ist in diesem Fall als „Störstelle“ anzusehen.

#### INFO

**Neben der Einhaltung von  $f_{Rsi}$  zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung ist für eine gleichmäßige Beheizung zu sorgen, sowie eine ausreichende Belüftung der Räume und eine ausreichende Belüftung der Innenoberfläche der Außenbauteile sicherzustellen.**

An Fenstern und Pfosten-Riegel-Konstruktionen ist Tauwasser in geringen Mengen und kurzzeitig zulässig. Dies gilt, falls die Oberfläche die Feuchtigkeit nicht absorbiert und verhindert werden kann, dass angrenzende Bereiche durchfeuchtet werden. Deshalb gilt die Forderung  $f_{Rsi} \geq 0,70$  nicht innerhalb des Fensterelements, wohl aber an der Einbaufuge des Fensters zum Baukörper und in der Fensterlaibung.

Bei Innendämmungen ist eine gründliche Vorab-Analyse der Feuchtesituation Pflicht. Innendämmungen sollten nicht ohne Konsultation eines versierten Bauphysikers eingebaut werden.

Durch schwere Vorhänge, Möblierung, Einbauschränke etc. wird der Wärmeübergang auf die raumseitige Außenwandoberfläche reduziert. Es kommt zu einem größeren Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  und einer niedrigeren Innenoberflächentemperatur; die Gefahr der Tauwasserbildung steigt.

#### INFO

**Das Risiko der Schimmelpilzbildung an Wärmebrücken ist umso geringer, je besser die flächigen Bauteile wärmege-dämmt sind.**

Dieser Einfluss von Schränken kann gemäß den Empfehlungen des DIN-Fachberichts 4108-8 „Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in Wohngebäuden“ mittels eines größeren, äquivalenten Wärmeübergangswiderstand  $R_{si,äq.}$  abgebildet werden. Er beinhaltet den normalen Wärmeübergang und den Wärmedurchlasswiderstand des Schrankes, und kann anstelle des üblichen Wärmeübergangswiderstandes  $R_{si}$  für thermische Berechnungen verwendet werden:

- hinter freistehenden Schränken:  $R_{si,äq.} = 0,5$  m<sup>2</sup>·K/W
- hinter Einbauschränken:  $R_{si,äq.} = 1$  m<sup>2</sup>·K/W

Tafel 11 Zweidimensionale Berechnung der Temperaturverteilung in der Raumecke bei KS-Funktionswand (Neubau) und monolithischer Bauweise (Altbau im unsanierten Zustand); Berechnung von  $f_{Rsi}$

Temperaturverteilung in der Raumecke bei KS-Funktionswand (Neubau)	Temperaturverteilung in der Raumecke bei monolithischer Bauweise (Altbau im unsanierten Zustand)	Temperatur [°C]
<p> <math>\theta_i = 20\text{ °C}</math>  <math>R_{si} = 0,25\text{ m}^2 \cdot \text{K/W}</math>  <math>f_{Rsi} = 0,90\text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}</math>  <math>\theta_{si} = 18,6\text{ °C}</math>  <math>\theta_{si} = 17,4\text{ °C}</math>  <math>\theta_e = -5\text{ °C}</math>  <b>Außenputz</b>  <math>\lambda = 0,70\text{ W/(m}\cdot\text{K)}</math>  <b>Wärmedämmung</b>  <math>\lambda = 0,035\text{ W/(m}\cdot\text{K)}</math>  <b>Innenputz</b>  <math>\lambda = 0,70\text{ W/(m}\cdot\text{K)}</math>  <b>Mauerwerk aus Kalksandsteinen RDK 1,8</b>  <math>\lambda = 0,99\text{ W/(m}\cdot\text{K)}</math>            0,5 14 15 0,5            30         </p>	<p> <math>\theta_i = 20\text{ °C}</math>  <math>R_{si} = 0,25\text{ m}^2 \cdot \text{K/W}</math>  <math>f_{Rsi} = 0,62\text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}</math>  <math>\theta_{si} = 16\text{ °C}</math>  <math>\theta_{si} = 10,6\text{ °C}</math>  <math>\theta_e = -5\text{ °C}</math>  <b>Außenputz</b>  <math>\lambda = 1,0\text{ W/(m}\cdot\text{K)}</math>  <math>\theta_e = -5\text{ °C}</math>  <b>Mauerwerk - alt -</b>  <math>\lambda = 0,4\text{ W/(m}\cdot\text{K)}</math>  <b>Innenputz</b>  <math>\lambda = 0,51\text{ W/(m}\cdot\text{K)}</math>            2 30 1,5            33,5         </p>	<p>           20            18,75            17,5            16,25            15            13,75            12,5            11,25            10            8,75            7,5            6,25            5            3,75            2,5            1,25            0            -1,25            -2,5            -3,75            -5         </p>
<p> <b>Raumseite</b>  <math>\vartheta_{min} = 17,4\text{ °C}</math>  <math>f_{Rsi} = 0,90</math> </p>	<p> <b>Raumseite</b>  <math>\vartheta_{min} = 10,6\text{ °C}</math>  <math>f_{Rsi} = 0,62</math> </p>	
<p><b>Aufbau von innen nach außen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0,5 cm Dünnlagenputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,70 W/(m·K))</li> <li>15 cm KS-Mauerwerk der RDK 1,8 (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,99 W/(m·K))</li> <li>14 cm WDVS (Polystyrol EPS 035) (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K))</li> <li>0,5 cm Kunstharzputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,70 W/(m·K))</li> </ul>	<p><b>Aufbau von innen nach außen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1,5 cm Gipsputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,51 W/(m·K))</li> <li>30 cm „Altes“ Mauerwerk (angenommener Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,4 W/(m·K))</li> <li>2 cm Kalk-Zementputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 1,0 W/(m·K))</li> </ul>	
<p>Randbedingungen nach DIN 4108-2 (<math>\vartheta_i = 20\text{ °C}</math>, <math>\vartheta_e = -5\text{ °C}</math>; <math>R_{si} = 0,25\text{ m}^2 \cdot \text{K/W}</math>)</p>		

Beispiel: Eine Wand mit Mindestwärmeschutz  $R = 0,90\text{ m}^2\text{ K/W}$  hat nach DIN 4108-2 in den freien Wandbereichen ( $R_{si} = 0,25\text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ) eine Oberflächentemperatur der Innenseite von  $15,8\text{ °C}$  und damit kein Schimmelrisiko. Hinter einem Einbauschränk (mit  $R_{si, \text{äq.}} = 1\text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  statt  $R_{si} = 0,25\text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ) beträgt die rechnerische Wandoberflächentemperatur nur noch  $8,8\text{ °C}$  – dort besteht ein hohes Schimmelrisiko!

Grundsätzlich ist  $f_{Rsi}$  zum Nachweis mittels zwei- oder dreidimensionaler Wärmebrückenberechnung gedacht, mit den oben genannten stationären Randbedingungen. Die Messung von  $f_{Rsi}$  im realen Gebäude führt wegen der sich in Wirklichkeit zeitlich ändernden Verhältnisse (Tagesgang von Wetter, Solarstrahlung, Beheizung, Nutzung; „thermisches Gedächtnis“ des Gebäudes etc.) je nach zufälligem Messzeitpunkt zu Ergebnissen, die signifikant vom (wahren) Rechenergebnis abweichen, ohne dass dies in den Messergebnissen erkennbar wäre. Deshalb kann  $f_{Rsi}$  nicht mit der Infrarotkamera nachgewiesen werden, sondern nur mit Langzeitmessung über mindestens zwei (!) Wochen! Genauere Hinweise hierzu siehe [12].

## 5.5 Rolladenkästen

Einbau- und Aufsatz-Rolladenkästen weisen einen örtlich etwas erhöhten Wärmeverlust gegenüber einer Bauweise ohne Rolladenkasten auf. Ähnliches gilt für Vorsatzkästen, wenn dafür ein breiteres oberes Fensterprofil oder eine Rahmenverbreiterung eingesetzt wird, sowie für Mini-Aufsatzkästen. Rolladenkästen werden beim wärmeschutztechnischen Nachweis in der Regel übermessen und ihre Fläche, je nach Kastenart, der Wandfläche (Einbaukasten, Sturzkasten, Aufsatzkasten) oder der Fensterfläche (Mini-Aufsatzkasten, Vorsatzkasten, teilweise auch Aufsatzkasten) zugeschlagen. Eine Rahmenverbreiterung bei Vorsatzkästen sowie der Einfluss von Mini-Aufsatzkästen und Aufsatzkästen (wenn diese dem Fenster zugeschlagen werden) ist im U-Wert des Fensterelements zu berücksichtigen, der dann entsprechend anzupassen ist.

An jeder Stelle des Kastens, beim Anschluss an den Blendrahmen sowie beim Sturzanschluss ist  $f_{Rsi} \geq 0,70$  einzuhalten. Zusätzlich ist in der Referenz-Einbausituation gemäß DIN 4108-2 Beiblatt 2 der Referenz- $\Psi$ -Wert für die Kategorie A oder B einzuhalten, wenn im EnEV-Nachweis ein pauschaler  $\Delta U_{WB}$  angesetzt werden soll.

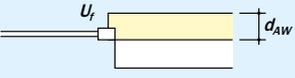
Wärmetechnisch günstige Rollladenkästen haben in der Regel eine möglichst dicke bzw. effektive Wärmedämmung zwischen Rollraum und Decke/Sturz, am Innenschenkel und über dem Blendrahmen des Fensters, wobei die Dämmung den Blendrahmen möglichst weit überdecken sollte. Die Einbausituation von Rollladenkästen im Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) ist in der Regel etwas günstiger zu bewerten als die Einbausituation im monolithischen Mauerwerk. Meistens ist aufgrund der Dämmdicke des WDVS eine außenseitige Überdämmung des Kastens gewährleistet bzw. der Rollraum kann so weit nach außen rutschen, dass die Dämmung der Innenschürze recht dick ausfallen kann. Die Wärmebrückenwirkung der einbindenden Decke wird durch das WDVS stark vermindert. Auf eine ausreichende Dämmdicke des Kastens nach oben zur Betondecke ist zu achten, um die Wärmeverluste an dieser Stelle zu minimieren.

Analoges gilt für Rollladenkästen in zweischaligem Mauerwerk, wobei hier die Dämmschicht in der Regel nicht über die Außenseite des Kastens geführt wird. Bei schlanker tragender Innenschale und kleiner Dämmdicke steht für den Kasten allerdings nur wenig Platz zur Verfügung – entsprechend dünn muss dann die Dämmung am Innenschenkel sein. Wärmetechnisch günstiger ist in diesem Fall die Verwendung eines Vorsatzkastens, der als so genannter Linksroller eingebaut wird. Der Vorsatzkasten tritt als gestalterisches Element in der Fassade auf.

## 5.6 Einbaulage von Fenstern

Generell ist es wärmetechnisch vorteilhaft, wenn das Prinzip der durchgehenden Dämmebene gleichmäßig überall eingehalten wird. Für den Fenstereinbau bedeutet dies bei KS-Funktionswänden mit Wärmedämmverbundsystem bzw. zweischalige KS-Außenwänden mit Wärmedämmung, dass das Fenster außen vor der tragenden Wand – d.h. in der Dämmebene – montiert wird (Bild 9). Dabei ist es ausreichend, wenn die Innenseite des Fensters flächenbündig mit der Außenseite der tragenden Wand ist. Als Befestigung am tragenden Mauerwerk kommen Laschen und/oder Winkel zum Einsatz. Außenseitig wird der Blendrahmen überdämmt. Diese Einbaulage reduziert die Wärmebrücken in der Fensterlaibung erheblich. An der KS-Tragschale kann die Befestigung der Winkel oder Konsolanker einfach, sicher und wärmetechnisch optimiert erfolgen. Hierfür gibt es auch justierbare Lösungen, bei denen das Ausrichten der Fenster in allen Raumrichtungen erfolgen kann. Die Einbauebene ist frei wählbar. Auskragungen bis 150 mm sind möglich. Die nachfolgenden Dichtungsmaßnahmen zwischen Blendrahmen und Mauerwerk werden durch die Montageschienen nicht behindert.

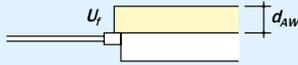
Energetisch etwas ungünstiger als die Montage des Fensters in der Dämmebene ist die Montage des Fensters innerhalb der Rohbauöffnung (Bild 10). Diese Fensterlage lässt jedoch eine einfache, sichere und dauerhafte Befestigung in der Rohbauöffnung mittels handelsüblicher Rahmendübel zu. Zu beachten ist hier, dass das Aussehen der Fassade durch die nur teilweise sichtbaren Blendrahmen beeinflusst wird. Die Befestigung der Fenster mittels Rahmendübel in der Rohbauöffnung ist bei Hochlochziegeln mit dünnen Querstegen und großen Kammern unter Umständen nur mit langen Spezialschrauben möglich.

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\Psi$ [W/(m·K)]		Rahmendicke $d_f$			
		$\leq 70$ mm	80 mm	90 mm	$\geq 120$ mm
		entspricht typischem $U_f$ -Wert [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
		1,4 oder größer	1,3–1,2	1,1–1,0	0,9 oder kleiner
Dicke der Außenwanddämmung $d_{AW}$ [cm]	10	0,000	0,000	0,001	–
	14	0,002	0,001	0,001	0,000
	18	0,004	0,004	0,003	0,001
	24	0,008	0,008	0,007	0,004
	30	0,012	0,011	0,010	0,008

**Hinweise**

- Die Fensteröffnung ist mindestens 30 mm zu überdämmen (Überdämmung der Montagefuge 1 cm, Überdämmung des Blendrahmens 2 cm).
- Der  $\Psi$ -Wert hängt in erster Linie von der Rahmendicke  $d_f$  ab. Ist diese bekannt, wird  $\Psi$  ohne Berücksichtigung von  $U_f$  oder  $U_w$  für diese Rahmendicke abgelesen. Ist die Rahmendicke nicht bekannt, wird ersatzweise vom  $U_f$ -Wert des Rahmens ausgegangen. Ist dieser ebenfalls unbekannt, kann er mit der Faustformel  $U_f \approx U_w + 0,4$  W/(m<sup>2</sup>·K) aus dem  $U_w$ -Wert des Fensters abgeschätzt werden. Alternativ kann  $U_f$  mit der genauen Formel nach DIN EN ISO 10077-1 berechnet werden.
- Gilt für alle Dicken und alle Rohdichteklassen des KS-Mauerwerks

Bild 9 Fenster in der Dämmebene (WDVS) – KS-Wärmebrückenkatalog, Detail 2.6.1.1

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient  $\Psi$  [W/(m·K)]

		Rahmendicke $d_f$			
		$\leq 70$ mm	80 mm	90 mm	$\geq 120$ mm
		entspricht typischem $U_f$ -Wert [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
		1,4 oder größer	1,3–1,2	1,1–1,0	0,9 oder kleiner
Dicke der Außenwanddämmung $d_{AW}$ [cm]	10	0,023	0,029	0,033	0,044
	14	0,028	0,033	0,038	0,049
	18	0,032	0,038	0,042	0,054
	24	0,036	0,042	0,047	0,059
	30	0,040	0,046	0,051	0,063

**Hinweise**

- Die Fensteröffnung ist mindestens 30 mm zu überdämmen (Überdämmung der Montagefuge 1 cm, Überdämmung des Blendrahmens 2 cm).
- Der  $\Psi$ -Wert hängt in erster Linie von der Rahmendicke  $d_f$  ab. Ist diese bekannt, wird  $\Psi$  ohne Berücksichtigung von  $U_f$  oder  $U_w$  für diese Rahmendicke abgelesen. Ist die Rahmendicke nicht bekannt, wird ersatzweise vom  $U_f$ -Wert des Rahmens ausgegangen. Ist dieser ebenfalls unbekannt, kann er mit der Faustformel  $U_f \approx U_w + 0,4$  W/(m<sup>2</sup>·K) aus dem  $U_w$ -Wert des Fensters abgeschätzt werden. Alternativ kann  $U_f$  mit der genauen Formel nach DIN EN ISO 10077-1 berechnet werden.
- Gilt für alle Dicken und alle Rohdichteklassen des KS-Mauerwerks

Bild 10 Fenster in Mauerwerksebene (WDVS) – KS-Wärmebrückenkatalog, Detail 2.7.1.1

## 6. Wärmebrücken in Kalksandstein-Mauerwerk

### 6.1 Verringerung der Wärmebrückenwirkung durch KS-Wärmedämmsteine

Etwa 140 Detaillösungen mit zahlreichen Varianten für die Verminderung von Wärmebrücken in Kalksandstein-Mauerwerk finden sich im Wärmebrückenkatalog Kalksandstein [11]. Der Wärmebrückenkatalog ist unter [www.ks-waermebruecken.de](http://www.ks-waermebruecken.de) abrufbar. Dort ist ebenso eine detaillierte Berechnung des Wärmebrückenzuschlags  $\Delta U_{WB}$  möglich.

Der Unterschied in der Wärmebrückenwirkung – mit und ohne Verwendung eines KS-Wärmedämmsteins als erster Steinlage auf der Kellerdecke – ist hier beispielhaft für den Kellerdeckenanschluss dargestellt.

Durch die Verwendung des KS-Wärmedämmsteins, der gleichzeitig die für Kalksandstein übliche hohe Druckfestigkeit aufweist, kann das Prinzip der umlaufenden Dämmebene am Kellerdeckenanschluss auch bei großen Gebäuden annähernd eingehalten werden (Bild 11). Dies

führt zu einer deutlichen Reduzierung der Wärmeverluste an der Wärmebrücke (Bild 12). Ohne KS-Wärmedämmstein entspricht der Anschluss der Kategorie A aus DIN 4108 Beiblatt 2. Mit KS-Wärmedämmstein fällt der Anschluss in die Kategorie B aus DIN 4108 Beiblatt 2 – und der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient  $\Psi$  wird von 0,066 W/(m·K) ohne KS-Wärme-

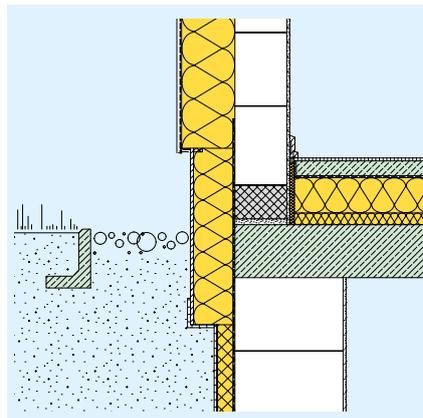
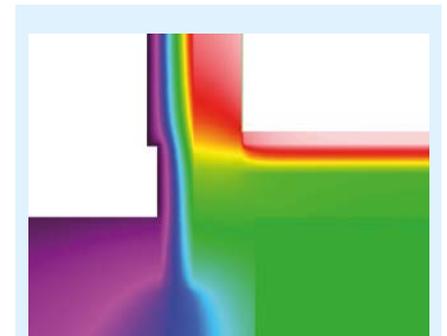
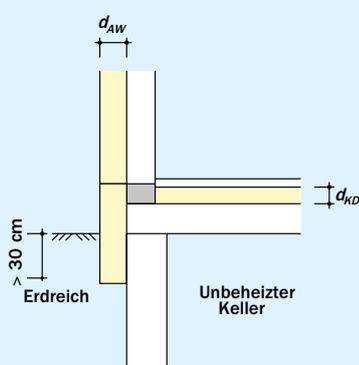


Bild 11 Konstruktionszeichnung aus KS-Detailsammlung, Detail 2.2.3



Rote Farben entsprechen hohen Temperaturen, blaue und violette niedrigen.

Bild 12 Temperaturverlauf am Anschlussdetail von Bild 11

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient  $\Psi$  [W/(m·K)]

		Dicke der Kellerdeckendämmung $d_{KD}$ [cm]			
		8	12	16	24
Dicke der Außenwanddämmung $d_{AW}$ [cm] (Sockeldämmung 0 bis 4 cm dünner)	10	0,098	0,090	0,084	0,071
	14	0,056	0,060	0,063	0,063
	18	0,026	0,038	0,047	0,056
	24	-0,010	0,011	0,026	0,044
	30	-0,042	-0,013	0,007	0,032

**Hinweise**

- Die deckenstirnseitige Sockeldämmung ist in einer Wärmeleitfähigkeit  $\lambda \leq 0,035$  W/(m·K) auszuführen, bis höchstens 30 cm über Geländeoberkante.
- Ein eventueller Rücksprung der Sockeldämmung gegenüber dem WDVS beträgt höchstens 4 cm.
- Die Sockeldämmung ist bis mindestens 30 cm unter Geländeoberkante herabzuführen.
- Die Dicke  $d_{BP}$  der Bodenplattendämmung bezieht sich auf die Summe der Dicken der Wärme- und der Trittschalldämmung.
- Der  $\Psi$ -Wert darf in der EnEV-Berechnung nicht mit dem  $F_x$ -Wert für den unteren Gebäudeabschluss beaufschlagt werden.
- Gilt für Dicken  $\leq 17,5$  cm und für Rohdichteklassen  $\leq 2,0$  des KS-Mauerwerks oberhalb des Kellers und für alle Dicken und alle Rohdichten des KS-Mauerwerks im Keller.

**Bild 13 Sockeldetail (WDVS) – KS-Wärmebrückenkatalog, Detail 2.2.3**

dämmstein auf 0,038 W/(m·K) verbessert, dies ist eine Reduktion um gut 40 %.

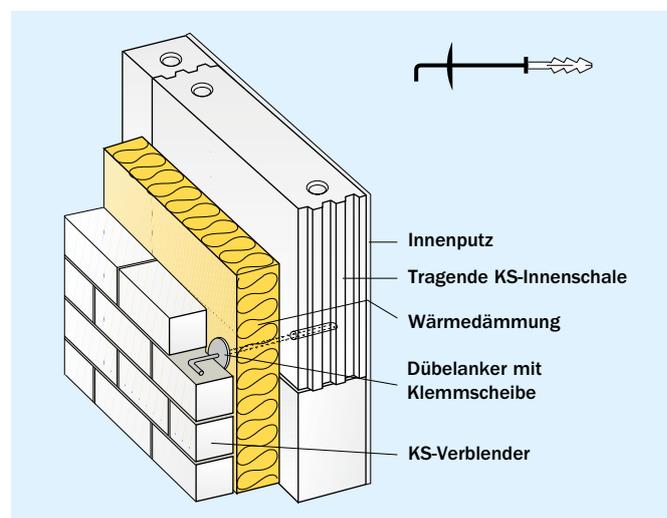
Bild 12 zeigt den Temperaturverlauf an der Anschlussstelle, Bild 13 die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für den Kellerdeckenanschluss mit KS-Wärmedämmstein für verschiedene Kombinationen aus Dicke der Außenwand- und Kellerdämmung.

## 6.2 Einfluss von mechanischen Befestigungsmitteln und Mauerwerksankern

Werden mechanische Befestigungselemente verwendet, z.B. Anker zwischen Mauerwerksschalen (Bild 14), ist ggf. eine Korrektur des U-Werts erforderlich. Dies ist vor allem bei gut gedämmten Konstruktionen der Fall (Tafel 12). Im Anhang der DIN EN ISO 6946 findet sich ein einfaches Näherungsverfahren für diese Korrektur. Bei Befestigungselementen, die an beiden Enden an Metallteile angrenzen, kann dieses Verfahren jedoch nicht eingesetzt werden. In solchen Fällen muss der Einfluss der Befestigungsteile mittels dreidimensionaler Wärmebrückenberechnungen nach DIN EN ISO 10211 untersucht werden. Numerische Verfahren werden auch empfohlen, wenn höhere Anforderungen an die Genauigkeit bestehen. Keine Korrektur ist erforderlich für

- Mauerwerksanker, die eine leere Luftschicht überbrücken,
- Mauerwerksanker zwischen einer Mauerwerksschale und einem Holzständer,
- oder wenn die Wärmeleitfähigkeit eines Teils oder des ganzen Befestigungsteils kleiner als 1 W/(m·K) ist.

Das bedeutet, dass bei zweischaligem Mauerwerk mit Wärmedämmung ohne und mit Hinterlüftungsebene bzw. mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade (VHF) der U-Wert um den Verankerungseinfluss korrigiert werden muss. Die Luftschichten (Fingerspalt bzw. Hinterlüftungsebene) werden nicht zur Dicke der Dämmschicht hinzugezählt. Vor allem bei großen Dämmdicken im zweischaligen Mauerwerk steigt die Ankeranzahl pro  $m^2$  und damit der Wärmeverlust durch die Summe der Anker an. Tafel 12 listet am Beispiel von Ankern mit einem punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\chi = 0,00075$  W/K auf, bis zu welcher Anzahl an Luftschichtankern pro  $m^2$  Wandfläche keine Korrektur des U-Werts erforderlich ist.

**Bild 14 Systemaufbau für zweischaliges Mauerwerk mit Wärmedämmung**

Tafel 12 Ankerdichte, die ohne U-Wert-Korrektur für den Ankereinfluss möglich ist, für verschiedene U-Werte der ungestörten Wand. Bei einer höheren Ankerdichte oder bei Ankern mit höherem  $\chi$ -Wert ist der Einfluss der Anker im U-Wert zu berücksichtigen.

U-Wert der Wand (ungestörter Bereich) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Wärmebrückeneinfluss durch die Luftschichtanker ohne U-Wert-Korrektur bis zu (max. 3 % des U-Werts der ungestörten Wand) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Ankerdichte <sup>1)</sup> ohne U-Wert-Korrektur bis zu [Stück/m <sup>2</sup> ]
≥ 0,125	0,0038	5
≥ 0,150	0,0045	6
≥ 0,175	0,0053	7
≥ 0,200	0,0060	8
≥ 0,225	0,0068	9

<sup>1)</sup> Anzahl an Luftschichtankern pro m<sup>2</sup> bei zweischaligem Mauerwerk (Edelsthalanker,  $d = 4$  mm mit  $\chi$ -Wert 0,00075 W/K).

### 6.3 Wärmebrückenwirkung von Konsolen und Ankern bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden

Bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF) wird die Dämmschicht in regelmäßigen Abständen von den Befestigungsteilen der vorgehängten Fassade durchstoßen. Je nach Art der Fassade und Ausbildung der Befestigungsteile können dadurch

nennenswerte Wärmebrückeneffekte entstehen. Bereits wenige Anker pro m<sup>2</sup> können eine Erhöhung des U-Werts um 0,1 bis 0,2 W/(m<sup>2</sup>·K) oder mehr zur Folge haben. Generell ist zu empfehlen, thermisch getrennte Befestigungsteile einzusetzen oder beim Anbringen der Befestigungsteile dafür zugelassene thermische Trennlagen zwischen Konsole und Wand einzulegen. Die Wärmebrücken durch Konsolen und Anker sind in

Tafel 13 Vergleich von Konstruktionen mit punktförmigen Wärmebrücken: Einfluss auf den U-Wert

Konstruktion	Dämmstoffdicke ( $\lambda = 0,032$ W/(m·K)) [cm]	U-Wert <sup>1)</sup> ohne Wärmebrücken [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Anker- anzahl $n$ [1/m <sup>2</sup> ]	$\chi$ -Wert eines An- kers/Dübels [W/K]	Wärmebrückeneinfluss $\Delta U (= n \cdot \chi)$		U-Wert <sup>1)</sup> mit Wärmebrücken [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
					[W/K]	[%]	
a) Zweischaliges Mauerwerk mit Edelstahl-Dübelankern, $d = 4$ mm (außenseitig 11,5 cm KS-Ver- blender mit $\lambda = 1,1$ W/(m·K))	20	0,15 (0,149)	9	0,00075	0,007	4,7	0,16 (0,156)
b) Geklebtes Wärmedämm- Verbundsystem (außenseitig 0,5 cm Außenputz mit $\lambda = 0,70$ W/(m·K))	20	0,15 (0,151)	0	–	–	–	0,15 (0,151)
c) Gedübeltes Wärmedämm- Verbundsystem mit Kunststoff- dübeln $\chi = 0,002$ W/K (außenseitig 0,5 cm Außenputz mit $\lambda = 0,70$ W/(m·K))	20	0,15 (0,151)	4,5	0,002	0,009	6,0	0,16 (0,160)
d) Vorgehängte hinterlüftete Fassade – verzinkter Stahl (außenseitig 2 cm Hinterlüftung und 4 cm Naturstein mit $\lambda = 3,5$ W/(m·K))	20	0,15 (0,150)	1,78	0,018	0,032	21	0,18 (0,182)
e) Vorgehängte hinterlüftete Fassade – Aluminium (außenseitig 2 cm Hinterlüftung und 4 cm Naturstein mit $\lambda = 3,5$ W/(m·K))	20	0,15 (0,150)	1,78	0,040	0,071	47	0,22 (0,221)

Wandaufbau: 1 cm Innenputz mit  $\lambda = 0,51$  W/(m·K); 17,5 cm KS-Tragschale RDK 2,0 mit  $\lambda = 1,1$  W/(m·K); 20 cm Wärmedämmung mit  $\lambda = 0,032$  W/(m·K); außenseitig KS-Verblender bzw. Putz bzw. hinterlüftete Natursteinfassade

<sup>1)</sup> U-Werte werden als Endergebnis auf zwei wertanzeigende Stellen gerundet. Als Zwischenergebnis (z.B. für die Berechnung von  $\psi$ -Werten) erfolgt zusätzlich die Angabe der U-Werte mit drei wertanzeigenden Stellen in Klammern.

den U-Wert der Wandfläche mit der vorgehängten hinterlüfteten Fassade einzurechnen, damit der Wärmebedarf des Gebäudes zutreffend berechnet werden kann. Die Berücksichtigung im U-Wert der Wand mit VHF kann explizit mittels der Anzahl der Verankerungen und deren  $\chi$ - bzw.  $\Psi$ -Werten erfolgen, sofern die punktuellen bzw. längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Befestigungsteile bekannt sind oder vom Hersteller angegeben werden.

Die Richtlinie „Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden“ [13] stellt entsprechende Werte für typische Verankerungssysteme zur Verfügung und bietet Bemessungsdiagramme zur Berücksichtigung verschiedener Verankerungssysteme.

#### 6.4 Vergleich der Wärmebrückenwirkung der Befestigung bei typischen Wandaufbauten

Ausgangspunkt für den Vergleich der Wärmebrückenwirkungen der Befestigungen ist jeweils eine sehr gut wärmegeämmte Kalksandstein-Konstruktion, die aus einer tragende Innenschale aus Kalksandsteinen hoher Rohdichte (Dicke 17,5 cm, RDK = 2,0,  $\lambda = 1,1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) und einer 20 cm dicken Wärmedämmung mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von  $0,032 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  besteht. Eine Unterscheidung erfolgt für den äußeren Aufbau und für die Befestigungsteile.

##### a) Zweischaliges Mauerwerk:

Betrachtet wird ein Aufbau mit Kalksandstein-Verblendmauerwerk der Dicke 11,5 cm mit Wärmedämmung (ohne Hinterlüftung der Außenschale). Pro  $\text{m}^2$  werden neun Drahtanker aus Edelstahl in die tragende Wand gesetzt. Die Anker haben den Durchmesser 4 mm und werden in beiden Mauerwerksschalen mit einer Einbindetiefe von jeweils 50 mm verankert.

##### b) Geklebtetes Wärmedämm-Verbundsystem:

Bei tragfähigem, ebenen Untergrund (Ebenheitsabweichung bis 1 cm) ist der Einsatz ausschließlich geklebter Systeme möglich. Dies ist nicht nur besonders wirtschaftlich, sondern vermeidet auch Wärmebrücken durch Befestigungselemente.

#### INFO

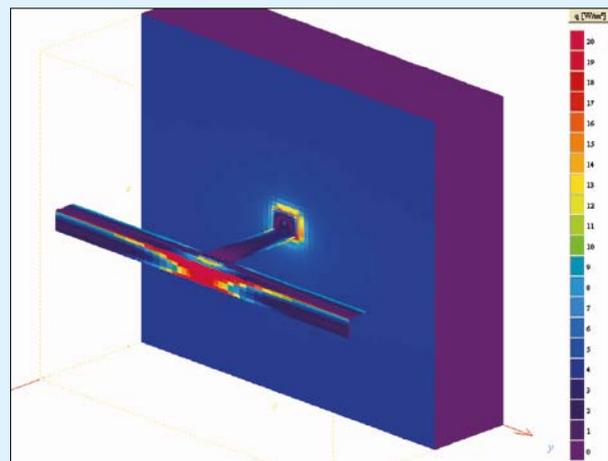
Ein ausschließlich geklebtes Wärmedämm-Verbundsystem, wie es üblicherweise auf KS-Mauerwerk ausgeführt wird, weist keine punktförmigen Wärmebrücken auf.

##### c) Gedübeltes Wärmedämm-Verbundsystem:

Das berechnete Wärmedämm-Verbundsystem ist ein gedübeltes System mit handelsüblichen Kunststoffdübeln mit einem Einstufungswert für  $\chi$  von  $0,002 \text{ W}/\text{K}$ . Da für die Einstufung von Dübeln der höchste  $\chi$ -Wert bei verschiedenen WDVS-Dicken herangezogen wird, kann der tatsächlich für eine Dämmdicke von 20 cm vorliegende Wärmeverlust eines Dübels geringer sein als der Einstufungswert. Die mit dem Einstufungswert berechneten, zusätzlichen Wärmeverluste liegen demnach auf der sicheren Seite. Angenommen wird eine mittlere Dübelanzahl von 4,5 Dübeln pro  $\text{m}^2$ .

##### d) + e) Vorgehängte hinterlüftete Fassade:

Es werden zwei Systeme betrachtet – eines mit einer Tragkonstruktion aus verzinktem Stahl (d) und eines mit einer Aluminium-Tragkonstruktion (e). Beide Systeme werden für das Rastermaß  $0,75 \cdot 0,75 \text{ m}$  berechnet, das entspricht einer mittleren Befestigeranzahl von 1,78 Stück pro  $\text{m}^2$ . Die Konsole wird durch ein L-Profil gebildet und ist 60 mm lang. Die Schenkellänge beträgt 50 mm an der Wandoberfläche und 190 mm in der Dämmebene. Außenseitig befindet sich ein Winkelprofil zur Befestigung der Fassadenplatten. Die Schenkellänge beträgt beidseitig 45 mm. Dieses Profil wird als durchgehendes Profil betrachtet, was bedeutet, dass sich an der Fassade alle 75 cm ein Winkelprofil befindet, das horizontal verläuft. Außenseitig wird auf diesem Profil eine Natursteinfassade der Dicke 4 cm angebracht. Zwischen Konsole und Wandoberfläche wird eine thermische Trennung der Dicke 6 mm angeordnet. Die thermische Trennung besteht aus einem druckfesten und geschlossenzelligen PVC-Hartschaum und wird nur durch die zur Befestigung der Konsole notwendige Schraube unterbrochen. Eingesetzt werden Schrauben M8 aus Edelstahl mit der Verankerungslänge 50 mm. Die beiden Systeme unterscheiden sich nicht nur in ihrem konstruktiven Material, sondern auch in der Dicke der eingesetzten Profile. Die Aluminiumkonsole ist 4 mm dick, die Stahlkonsole hingegen nur 2 mm. An den Winkelprofilen ist der Unterschied mit 1,5 mm bei Stahl gegenüber 2 mm bei Aluminium nicht sehr groß. Zu beachten ist jedoch die bei Aluminium mit  $160 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  gegenüber Stahl mit  $50 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  deutlich größere Wärmeleitfähigkeit.



Rote und gelbe Farben zeigen eine hohe örtliche Wärmestromdichte an, blaue und violette Farben eine niedrige. Nicht dargestellt sind die Dämmschicht und die Fassadenplatten aus Naturstein. Trotz der Hinterlüftung fließt auch durch die Natursteinfassade ein nennenswerter Wärmestrom ab. Deutlich sichtbar werden die sehr hohen Wärmestromdichten in der Metallkonstruktion, z.B. dort, wo sie die Konstruktion verlassen (vor allem am Winkelprofil). Die Fassade wirkt somit als Kühlkörper für die punktförmigen Wärmebrücken durch die Befestiger und verstärkt deren Wirkung.

Bild 15 Vorgehängte hinterlüftete Fassade mit Aluminiumschienen Wärmestromdichten an der Aluminiumschiene und an der tragenden Innenschale aus Kalksandsteinen

In Tafel 13 sind für die Dämmdicke 20 cm die U-Werte der verschiedenen Konstruktionen mit und ohne punktförmige Wärmebrücken aufgetragen. Der angegebene Unterschied  $\Delta U$  ist die aufgrund der Wärmebrückeneffekte der Befestigungsmittel auftretende Erhöhung des (ungestörten) Wärmedurchgangskoeffizienten  $U$ . Diese Erhöhung ist im U-Wert zu berücksichtigen, wenn sie größer als 3 % des U-Werts ohne Befestigungsmittel ist.

Bild 15 zeigt die Wärmestromdichten an den Profilen bei der berechneten VHF-Konstruktion mit Aluminiumprofilen. Das ausschließlich geklebte Wärmedämm-Verbundsystem weist keine punktförmigen Wärmebrücken auf, daher ist keine Korrektur für Befestigungsteile erforderlich. Wie zu erwarten, ergibt sich bei den Konstruktionen mit Befestigungselementen für die Luftschichtanker der geringste Einfluss auf den U-Wert (hier: +4,7 %). Doch auch hier ist bereits das 3%-Kriterium der DIN EN ISO 6946 überschritten, bis zu dem der Ankereinfluss vernachlässigt werden darf. Ursache dafür ist der niedrige U-Wert der Ausgangswand sowie die hohe Dübelanzahl. Die U-Wert-Erhöhung ist mit  $0,007 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  allerdings so gering, dass sie in einigen Fällen – je nach U-Wert der Ausgangswand, aber nicht im gezeigten Beispiel – innerhalb der Rundungs-

genauigkeit liegt. Damit würde sich selbst bei Berücksichtigung des Wärmebrückeneinflusses kein anderer U-Wert ergeben. Beim gedübelten WDVS mit 4,5 Dübeln pro  $\text{m}^2$  beträgt die U-Wert-Erhöhung mit hier 6 % etwas mehr als bei den Luftschichtankern. Besser eingestufte Dübel für WDVS würden zu einem geringeren Wärmebrückeneinfluss führen.

Sehr deutlich erhöhen die beiden Tragkonstruktionen für die vorgehängte hinterlüftete Natursteinfassade den U-Wert der ungestörten Bauteilfläche: Die Stahl-Tragkonstruktion erhöht den U-Wert hier um gut 20 % von  $0,15$  auf  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Aluminium als Material für die Tragkonstruktion erhöht den U-Wert hier um gut 45 % auf  $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Die Beispiele dokumentieren klar, welchen Einfluss die konstruktionsbedingten Wärmebrücken haben. Bereits kleine  $\chi$ -Werte punktueller Wärmebrücken und niedrige Anker- bzw. Dübelichten können zu einem nennenswerten Anstieg des Wärmetransports führen. Vor allem bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden ist der Wärmebrückeneinfluss der Befestigungen im U-Wert der Wandfläche zu berücksichtigen, um den Wärmebedarf des Gebäudes mit zutreffenden U-Werten richtig berechnen zu können.

## 7. Klimabedingter Feuchteschutz

Aus hygienischen Gründen und aus Komfortgründen sind behagliche, trockene Räume anzustreben. Feuchte Wände und Decken können zu Schimmelpilzwachstum führen, was nicht nur unschön, sondern auch aufgrund der möglichen toxischen Wirkungen und Allergien zu vermeiden ist. In Räumen mit feuchten Bauteilen ist ein behagliches Raumklima kaum erreichbar. Deshalb ist der Schutz der Außenbauteile gegen Feuchtigkeit eine wichtige bauphysikalische Aufgabe:

- Die Baukonstruktion muss über einen ausreichenden konstruktiven Schutz vor Regen oder Schlagregen und vor aufsteigender Feuchte verfügen.
- Der Schutz gegen Oberflächenkondensat auf der Raumseite erfolgt durch einen ausreichenden Wärmeschutz in der Fläche und im Bereich von Wärmebrücken.
- Der Schutz gegen unzulässige Tauwasserbildung infolge von Wasserdampf im Inneren des Bauteils erfolgt konstruktiv z.B. durch eine angepasste Schichtenfolge oder durch raumseitig diffusionshemmende Schichten.
- Die luftdichte Ausführung der Bauteile und Anschlusspunkte stellt sicher, dass es nicht zu einer Durchströmung der Konstruktion mit warmer, feuchter Raumluft und zu Kondensatbildung im Bauteilinneren kommt.

- Bei Neubauten muss eventuell vorhandene Baufeuchte in der Anfangsphase durch erhöhtes Heizen und Lüften abgeführt werden, um Tauwasser oder Schimmelpilzbildung zu vermeiden. Üblicherweise rechnet man mit einer Zeitdauer von etwa zwei Jahren, bis die Baufeuchte aus massiven Bauteilen ausgetrocknet ist.

### INFO

**Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung oder mit Wärmedämmung und Luftschicht und einschaliges KS-Mauerwerk mit WDVS oder hinterlüfteter Außenwandbekleidung sind ohne weiteren Nachweis für alle Schlagregenbeanspruchungsgruppen der DIN 4108-3 geeignet.**

### 7.1 Diffusion von Wasserdampf

In bewohnten Räumen wird der Luft durch die Nutzer ständig Feuchte zugeführt. Die Raumluftfeuchte hängt wesentlich von der Zahl der Bewohner, von der Wohnungsgröße und von der Wohnungsnutzung ab. Hohe Belegungsdichte, freies Wäschetrocknen, viele Pflanzen, viele Haustiere etc. führen zu einer hohen Raumluftfeuchte. Bei üblichem Wohnverhalten können in Abhängigkeit von der Haushaltsgröße und der Nutzung täglich zwischen etwa zwei und neun Liter Wasser als Wasserdampf pro Wohnung freigesetzt werden (Bild 16).

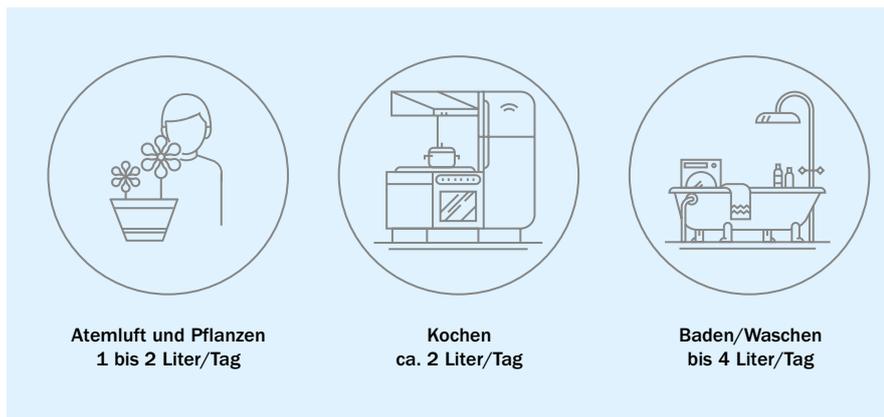
**INFO**

**Außenwände, die atmen, gibt es nicht. Die anfallende nutzungsbedingte Feuchte muss durch Lüftung abgeführt werden. Im Vergleich zur Lüftung ist der Feuchtetransport durch die Außenwände infolge Diffusion verschwindend gering und trägt zur Feuchteabfuhr nur unwesentlich bei (einige wenige Prozent selbst bei sehr diffusionsoffener Bauweise, Bild 17).**

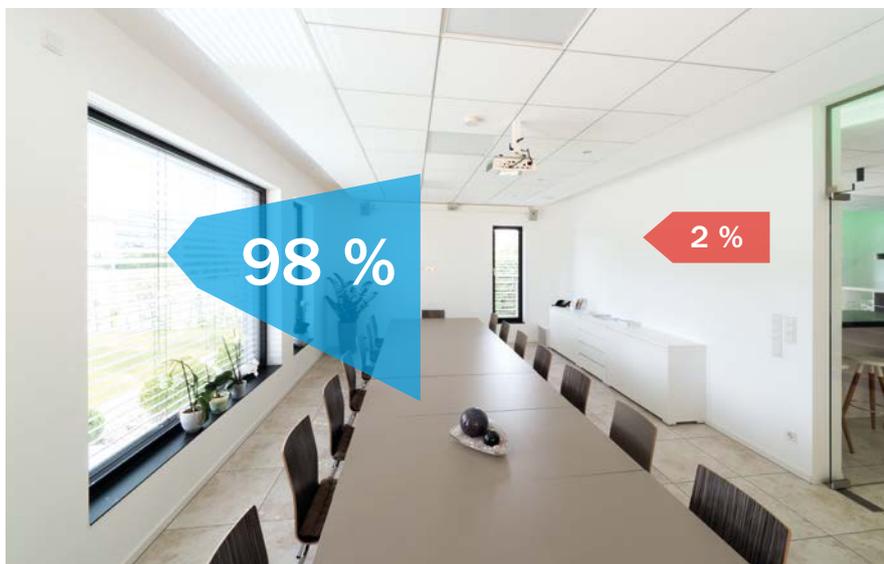
Unter Wasserdampfdiffusion ist der Transport gasförmigen Wassers durch den Feststoff von Bauteilen zu verstehen. Antreibendes Potenzial sind die unterschiedlichen Wasserdampfdrucke zu beiden Seiten der Bauteile, die durch die verschiedenen klimatischen Bedingungen innen und außen entstehen. Wasserdampfdiffusion erfolgt in der Regel vom beheizten Bereich nach außen. Obwohl die Massenströme klein sind, kann es bei ungünstiger Schichtenfolge oder fehlenden diffusionshemmenden Schichten auf der Warmseite der Dämmebene zu einem Tauwasserausfall innerhalb der Konstruktion kommen, der sich über die Winterperiode zu unzulässiger Größe

aufsummiert. Der Nachweis des ausreichenden Schutzes gegen Tauwasserbildung im Bauteilinneren erfolgt nach dem so genannten „Glaser“-Verfahren der DIN 4108-3. Dabei wird ein Blockklima mit dreimonatiger Tau- bzw. Verdunstungsperiode mit jeweils konstanten, speziell festgelegten Klimaannahmen angesetzt, und über diese beiden Perioden die Tauwasserbilanz gebildet. Das Verfahren ist auf eindimensionale Problemstellungen beschränkt. Das Glaser-Verfahren der DIN 4108-3 hat sich als einfaches, „auf der sicheren Seite“ liegendes Bewertungsverfahren bewährt, insbesondere bei Bauteilen und Baustoffen, bei denen Sorptions- und Kapillareffekte keine besondere Rolle spielen. Die Standardrandbedingungen sind der DIN 4108-3 zu entnehmen.

Die europäische DIN EN 13788 bietet ein analoges Verfahren an, allerdings mit monatsweiser Berechnung bei monatsweise konstanter Klimaannahme und Tauwasserbilanzierung über den ganzen Jahresverlauf. Weil bisher für dieses Verfahren keine Klimarandbedingungen festgelegt sind, die für die Verwendung in Deutschland anzusetzen wären, kann das Verfahren der DIN EN 13788 für Deutschland noch nicht für den baurechtlichen Nachweis des klimabedingten Feuchteschutzes verwendet werden.



**Bild 16** Entstehung von Wasserdampf in einem Vier-Personen-Haushalt



**Bild 17** Feuchtetransport aus Räumen findet zu 98 % über Lüftung und nur zu 2 % durch Diffusion statt.

In den letzten Jahren hat sich die feuchtetechnische Bewertung von Konstruktionen mit Hilfe von realitätsnahen, instationären Simulationsprogrammen durchgesetzt. Diese Programme bilden den Wärme- und Feuchtetransport durch die Bauteile gekoppelt ab und berücksichtigen auch die Kapillarwirkung der Bauteile. Viele übliche Konstruktionen, wie z.B. Innendämmungen mit kapillaraktiven Systemen, können mittels des Glaser-Verfahrens gar nicht abgebildet werden. Solche Konstruktionen sind mittels instationärer Simulation zu untersuchen und spezifisch für die Ausrichtung des Bauteils und den Standort des Gebäudes zu bewerten.

## 7.2 Kennwerte für die Wasserdampfdiffusion

Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$ : Der Widerstand, den ein Baustoff der Diffusion von Wasserdampf entgegensetzt, wird durch die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$  beschrieben. Sie gibt an, um wie viel höher der Widerstand eines Stoffes gegenüber Wasserdampfdiffusion ist als der Widerstand einer gleich dicken, ruhenden Luftschicht. Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  ist bei definierten Bedingungen eine Stoffkonstante. Richtwerte für  $\mu$  finden sich in DIN 4108-4 und in DIN EN ISO 10456. Sind zwei  $\mu$ -Werte angegeben, ist der für die Tauperiode ungünstigere  $\mu$ -Werte zu verwenden, d.h. der, bei dem sich die höhere Tauwassermenge ergibt.

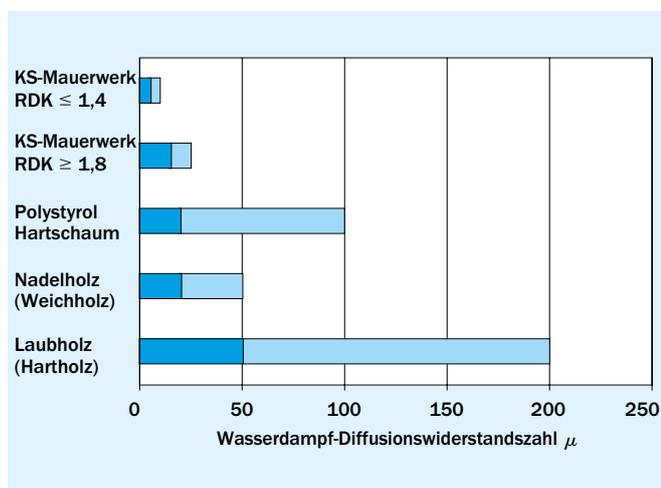
Dieser  $\mu$ -Wert ist dann auch für die Verdunstungsperiode beizubehalten (Bild 18).

Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d$ : Das Verhalten von Baustoffschichten hinsichtlich Wasserdampfdiffusion wird durch die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d$  charakterisiert. Sie drückt aus, wie dick eine ruhende Luftschicht sein müsste, um den gleichen Widerstand gegen Wasserdampfdurchgang zu haben wie die betrachtete Bauteilschicht (Bild 19). Der  $s_d$ -Wert ist das Produkt aus der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  des Materials und der Dicke  $d$  der betrachteten Schicht, und ist damit keine Materialeigenschaft, sondern eine Eigenschaft der konkreten Materialschicht. Die Norm unterteilt Materialschichten in folgende Kategorien:

- Diffusionsoffene Schicht: Bauteilschicht mit einem  $s_d$ -Wert von weniger als 0,5 m
- Diffusionshemmende Schicht: Bauteilschicht mit einem  $s_d$ -Wert zwischen 0,5 und 1.500 m
- Diffusionsdichte Schicht: Bauteilschicht mit einem  $s_d$ -Wert größer als 1.500 m

Die früher üblichen bzw. umgangssprachlichen Bezeichnungen „Dampfbremse“ und „Dampfsperre“ sind nicht mehr normkonform. Für mehrschichtige, ebene Bauteile können die  $s_d$ -Werte der einzelnen hintereinanderliegenden Schichten addiert werden, um den  $s_d$ -Wert des ganzen Bauteils zu bestimmen. Die Wasserdampf-Übergangswiderstände an den Bauteiloberflächen sind so klein, dass sie vernachlässigt werden. Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke einer Wärmedämmschicht liegt in der Größenordnung der einer massiven Holzwand (Bild 19).

Für außenseitig auf Bauteilen bzw. außenseitig von Wärmedämmungen vorhandene Schichten (z.B. Bahnen, Papiere etc.) mit



**Bild 18** Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen ausgewählter Materialien, angegeben sind jeweils Klein- und Größt-wert nach DIN 4108-4 bzw. nach DIN EN 12524.

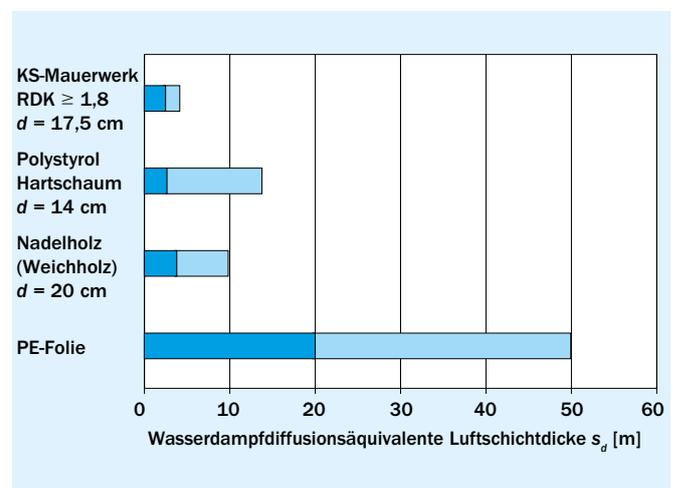
messtechnisch ermittelten  $s_d$ -Werten  $\leq 0,10$  m wird in der Berechnung als  $s_d$ -Wert 0,10 m angesetzt, um eine mögliche Messunsicherheit bei so kleinen  $s_d$ -Werten aufzufangen.

### 7.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist

In DIN 4108-3 sind Wand- und Dachbauteile angegeben, deren feuchtetechnische Funktionsfähigkeit aus der Erfahrung bekannt ist und für die kein weiterer Nachweis des ausreichend niedrigen Tauwasserausfalls erforderlich ist.

#### Außenwände (Auswahl):

- Außenwände aus einschaligem Mauerwerk, verputzt
- Außenwände aus zweischaligem Mauerwerk, mit Wärmedämmung oder Wärmedämmung und Luftschicht oder nur mit Luftschicht
- Außenwände aus Mauerwerk, raumseitig verputzt, mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung
- Außenwände aus Mauerwerk, verputzt, mit WDVS
- Außenwände aus Mauerwerk, verputzt, außenseitig mit angemörtelten Bekleidungen mit mindestens 5 % Fugenanteil
- Perimetergedämmte Kelleraußenwände aus Beton oder einschaligem Mauerwerk
- Perimetergedämmte Bodenplatten mit Abdichtung nach DIN 18195 bzw. DIN 18533, wenn die raumseitigen Schichten nicht mehr als 20 % des gesamten Wärmedurchlasswiderstandes des Bauteils ausmachen
- Wände in Holzbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale und raumseitiger Schicht mit  $s_d \geq 2$  m



**Bild 19** Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d$  ausgewählter Baustoffdichten, jeweils für den Klein- und den Größt-wert des  $\mu$ -Werts nach DIN V 4108-4 bzw. nach DIN EN 12524.

**INFO**

Zweischalige KS-Außenwände mit Wärmedämmung, KS-Außenwände mit WDVS und KS-Kellerwände mit Perimeterdämmung sind hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion unkritisch und bedürfen keines Nachweises für den Tauwasserausfall im Inneren des Bauteils (DIN 4108-3).

**Dächer (Auswahl):**

■ Nicht belüftete Dächer mit einer belüfteten Dachdeckung und einer Wärmedämmung zwischen, unter und/oder über den Sparren bedürfen keines rechnerischen Tauwassernachweises, wenn die  $s_d$ -Werte der Schichten auf der Innen- und der Außenseite der Wärmedämmung in folgenden Verhältnissen zueinander stehen:

$$\begin{aligned} s_{d,e} &\leq 0,1 \text{ m und } s_{d,i} \geq 1,0 \text{ m} \\ s_{d,e} &\leq 0,3 \text{ m und } s_{d,i} \geq 2,0 \text{ m} \\ s_{d,e} &> 0,3 \text{ m und } s_{d,i} \geq 6 \cdot s_{d,e} \end{aligned}$$

Dabei bezeichnet  $s_{d,e}$  die Summe der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten zwischen der Kaltseite der Wärmedämmung und der äußeren Hinterlüftung und  $s_{d,i}$  die Summe der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten zwischen der Warmseite der Wärmedämmung und der Raumluft.

**INFO**

Bei nicht belüfteten Dächern mit belüfteter oder nicht belüfteter Dachdeckung und äußeren diffusionshemmenden Schichten mit  $s_{d,e} \geq 2 \text{ m}$  trocknet erhöhte Baufeuchte oder später z.B. durch Undichtheiten eingedrungene Feuchte nur schlecht oder gar nicht aus. Es ist bei diesen Konstruktionen zu beachten, dass zwischen den inneren diffusionshemmenden Schichten ( $s_{d,i}$ ) und den äußeren diffusionshemmenden Schichten ( $s_{d,e}$ ) bzw. der äußeren Dachabdichtung Holz oder Holzwerkstoffe nur bis zu der jeweiligen zulässigen Materialfeuchte eingebaut werden.

**7.4 Konstruktive Hinweise**

Überschlägig orientiert man sich an der Grundregel, dass der  $s_d$ -Wert der Baustoffschichten eines Bauteils von innen nach außen abnehmen soll, um die Diffusion von Wasserdampf im Bauteilquerschnitt nicht zu behindern. Wärmedämmverbundsysteme weichen von dieser Grundregel ab. Die Systemkomponenten von Wärmedämmverbundsystemen sind allerdings so aufeinander abgestimmt, dass die Diffusion im Bauteilquerschnitt nur geringfügig und unbedenklich behindert wird. Die feuchtechnische Funktionsfähigkeit von verputztem Kalksandstein-Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem ist aus mehr als 40-jähriger Erfahrung hinreichend bekannt. Dementsprechend ist diese Bauweise in DIN 4108-3 in die Liste der Bauteile aufgenommen, für die hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion kein weiterer rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist.

Werden diffusionshemmende Bahnen oder Schichten verwendet, z.B. im Dach, sollte der  $s_d$ -Wert der raumseitigen Bahn sechs- bis zehn Mal so groß sein wie der  $s_d$ -Wert der außenseitigen Bahn.

Wird statt der Außen- eine Innendämmung verwendet, befindet sich die Innenseite der tragenden Wandschale bereits fast auf Außentemperaturniveau. Es besteht ein hohes Risiko, dass Wasserdampf, der auf dem Wege der Diffusion (oder gar der Konvektion durch eine Luftundichtheit) durch die Konstruktion zur tragenden Wand gelangt, dort als Tauwasser innerhalb der Konstruktion ausfällt. Als Abhilfe sind ausreichend diffusionshemmende Dämmstoffe oder raumseitige diffusionshemmende Bekleidungen erforderlich. Vor allem an durchdringenden Bauteilen sind letztere oft nur mit Aufwand luft- und diffusionsdicht anzuschließen. Alternativ können auch spezielle, kapillarleitende Dämmstoffe in dünnen Schichtdicken verwendet werden. In energetischer Hinsicht wirken sich bei einer Innendämmung die zahlreichen Wärmebrücken an den Durchdringungen der raumseitigen Innendämmung durch einbindende Massivbauteile ungünstig aus.

Sowohl aus Gründen der Wasserdampfdiffusion als auch für die Wärmebrückenvermeidung ist es deshalb unbedingt empfehlenswert, zusätzliche Wärmedämmschichten, soweit möglich, nicht auf der Innenseite, sondern auf der Außenoberfläche von Massivbauteilen oder als Kerndämmung im äußeren Teil des Wandquerschnitts anzubringen. Diese Schichtenfolge ist bei Verwendung eines angepassten diffusionsoffenen Außenputzsystems unkritisch hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion. Die tragende Konstruktion wird vor Temperaturwechselbeanspruchungen von außen geschützt. Und die außenseitige Dämmung bildet eine durchgehende Dämmschicht, die Wärmebrücken durch innenseitig einbindende Bauteile vermeidet.

**7.5 Austrocknungsverhalten von Mauerwerkswänden**

Das Austrocknungsverhalten von Baustoffschichten und Bauteilen ist insbesondere dann wichtig, wenn die betreffende Baustoffschicht für die Wärmedämmung des Bauteils von Bedeutung ist. Bei monolithischem Mauerwerk ist der Wärmeschutz der Außenwand überwiegend von den Mauersteinen abhängig. Wird ein solches Mauerwerk in der Bauphase durchnässt oder durchfeuchtet, wird der geplante Wärmeschutz erst dann erreicht, wenn die Wände bis zur Ausgleichsfeuchte ausgetrocknet sind. Rechnerische Untersuchungen zeigen, dass dies bis zu zwei bis drei Jahre dauern kann. Der Heizwärmebedarf eines Raums kann in dieser Zeit, je nach Durchfeuchtung des Mauerwerks und Austrocknungsverhalten, um bis zu 30 % höher sein als im ausgetrockneten Zustand [14].

Bei Kalksandstein-Außenwandkonstruktionen wird der wesentliche Teil der Wärmedämmung von den zusätzlichen Wärmedämmschichten auf der Außenseite der Tragschale erbracht. Die dafür empfohlenen Dämmstoffe (z.B. EPS-Hartschaum oder hydrophobierte Mineralwolleplatten) nehmen praktisch kein Wasser auf.

**INFO**

**Der Wärmeschutz von funktionsgetrennten KS-Außenwänden ist von Anfang an in vollem Umfang gewährleistet.**

Künzel untersucht in [15] die Austrocknungszeit verschiedener Wandkonstruktionen mit WDVS. Dabei kommt er zu folgenden Ergebnissen:

- Die Austrocknungszeit von wenig dämmenden Wandbildnern wie Kalksandsteinen liegt beim WDVS mit EPS-Dämmung im Bereich von monolithischen Wänden. Bei Verwendung von Mineralwolle liegt sie noch darunter.
- Da das Kalksandstein-Mauerwerk selbst nur wenig zur Wärmedämmung der Wand beiträgt, stellt eine eventuell lang anhaltende Baufeuchte im Kalksandstein-Mauerwerk in der Regel kein Problem dar, solange sie nicht über Anschlüsse oder Einbindungen in feuchteempfindliche Bereiche eindringt.
- Bei dämmenden Wandbildnern wie z.B. Porenbeton (Ähnliches gilt auch für porosierte Ziegel oder Leichtbetone) sind WDVS mit wasserdampfdiffusionshemmender Wirkung, wie z.B. mit EPS-Hartschaum, ungünstig. Die geringe Trocknungsmöglichkeit nach außen kann zu länger erhöhter

Baufeuchte im Mauerwerk führen, was den Wärmedurchlasswiderstand der Wand reduziert. Ein WDVS auf Mineralwollebasis führt zu Austrocknungszeiten, wie sie bei Wänden ohne Außendämmung erreicht werden.

**INFO**

**Generell ist in der Austrocknungsphase zu beachten, dass ein erheblicher Teil der Baufeuchte nicht an die Außenluft, sondern an den Innenraum abgegeben wird. In dieser Zeit ist es deshalb unbedingt erforderlich, verstärkt zu lüften (und im Winter ggf. verstärkt zu heizen), um die austrocknende Baufeuchte mittels Lüftung nach außen abzuführen.**

Für die Austrocknung von KS-Innenwänden können aus Versuchen unter ungünstigen Klimarandbedingungen (20 °C, 65 % r.F.) näherungsweise folgende Anhaltswerte für die Zeit bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte abgeleitet werden:

- Wände der Dicke 11,5 cm: etwa drei bis sechs Monate
- Wände der Dicke 24 cm: bis etwa zwölf Monate
- Bei Lochsteinen sowie bei praxisgerechten Klimarandbedingungen sind deutlich kürzere Austrocknungszeiten zu erwarten [16].

## 8. Luftdichtheit

Eine möglichst luftdichte Ausführung der Gebäudehülle ist vor allem aus Feuchteschutzgründen wichtig. Anderenfalls kann warme, feuchte Raumluft durch Undichtheiten der Gebäudehülle nach außen strömen. Dabei kann es an kalten Stellen innerhalb der Konstruktion zu Kondensatbildung und Schimmelpilzwachstum kommen. Dies kann letztlich zur Schädigung oder gar Zerstörung von Konstruktionsteilen führen.

Aber auch unter dem Aspekt der Energieeinsparung ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle zu sehen. Bei freier Lüftung (Fensterlüftung) beträgt der Lüftungswärmeverlust bei gut gedämmten Neubauten zwischen 30 und etwa 50 % der gesamten Wärmeverluste. Ähnlich wie bei den Wärmebrücken gilt auch hier, dass der prozentuale Anteil der Lüftungswärmeverluste mit zunehmender energetischer Qualität der Gebäudehüllfläche ansteigt. Dementsprechend ist darauf zu achten, dass die Gebäudehülle möglichst wenig ungeplante Undichtheiten enthält, durch die ein unkontrollierbarer Luftwechsel stattfindet. Lüftungsanlagen (ohne, vor allem aber mit Wärmerückgewinnung) können die Lüftungswärmeverluste reduzieren bei gleichzeitiger Sicherstellung einer guten Raumluftqualität und hohem Nutzerkomfort.

Hervorzuheben ist, dass die erforderliche Lüftung eines Gebäudes planmäßig über natürliche Lüftung (Fensterlüftung), durch Lüftungseinrichtungen (z.B. Außenwanddurchlass, Lüftungsgitter) oder durch mechanische Lüftung erfolgt. Der Luftdurchgang durch mehr oder weniger zufällige Undichtheiten ist zu stark abhängig von der momentanen Wind- und Luftdrucksituation, als dass eine sichere, ausreichende, energieeffiziente Lüftung sichergestellt wäre.

Hinsichtlich der Luftdichtheit ist der Mauerwerksbau mit Kalksandstein aufgrund seiner einfacheren und weniger fehleranfälligen Details im Vorteil gegenüber Leichtbauweisen. Besonders hinzuweisen ist im Zusammenhang mit der Luftdichtheit auf folgende Details:

- Alle Bauteilanschlüsse im Dach- und Fensterbereich
- Alle Durchdringungen im Dach
- Abschlüsse von Mauerkronen (Abdeckelung von Lochsteinen durch Mörtelauflage oder Verwendung gedeckelter Steine)
- Alle offen zutage tretenden Lochkanäle der Mauersteine (z.B. an Mauerkronen und unter Fensterbrettern) sind durch eine Mörtelauflage abzudeckeln.

**INFO**

Kalksandsteine – auch als Lochsteine – werden grundsätzlich mit geschlossenem Deckel hergestellt. Dies ist vorteilhaft hinsichtlich der Verarbeitung (vollflächiger Mörtelauftrag) und Luftdichtheit (keine durchgehenden Lochkanäle). Werden so genannte KS -E-Steine mit durchgehenden Lochungen für die Elektroinstallation verwendet, so sind die Kanäle am Wandkopf zu schließen und die eingesetzten Steckdosen luftdicht anzuschließen, z.B. durch Einsetzen in einen Gipsbatzen oder durch Verwendung spezieller Steckdoseneinsätze.

Mauerwerksbereiche hinter abgehängten Decken, Spülkästen, Fußbodenleisten, Estrichaufbauten etc. sind vor Anbringen der Einbauten zu verputzen bzw. die Fugen sind zu verspachteln, um die Luftdichtheit zu gewährleisten. Steckdosen in Mauerwerk mit durchgehenden Elektrokanälen sind luftdicht einzusetzen. Es empfiehlt sich, die Anschlüsse von Luftdichtheitsfolien an aufgehende Wandbereiche mechanisch zu sichern, z.B. durch eine Anpressleiste mit untergelegtem Kompriband, oder die Folie mit Rippenstreckmetall auf der Wand zu fixieren und einzuputzen (Bild 20).

**INFO**

KS-Mauerwerk selbst ist luftdicht. Dies gilt bereits bei Verwendung von einseitigem Dünnlagenputz (mittlere Dicke 5 mm) oder bei Vermörtelung der Stoß- und Lagerfugen. Der Innenputz ist von Oberkante Rohdecke bis Unterkante Rohdecke zu führen.

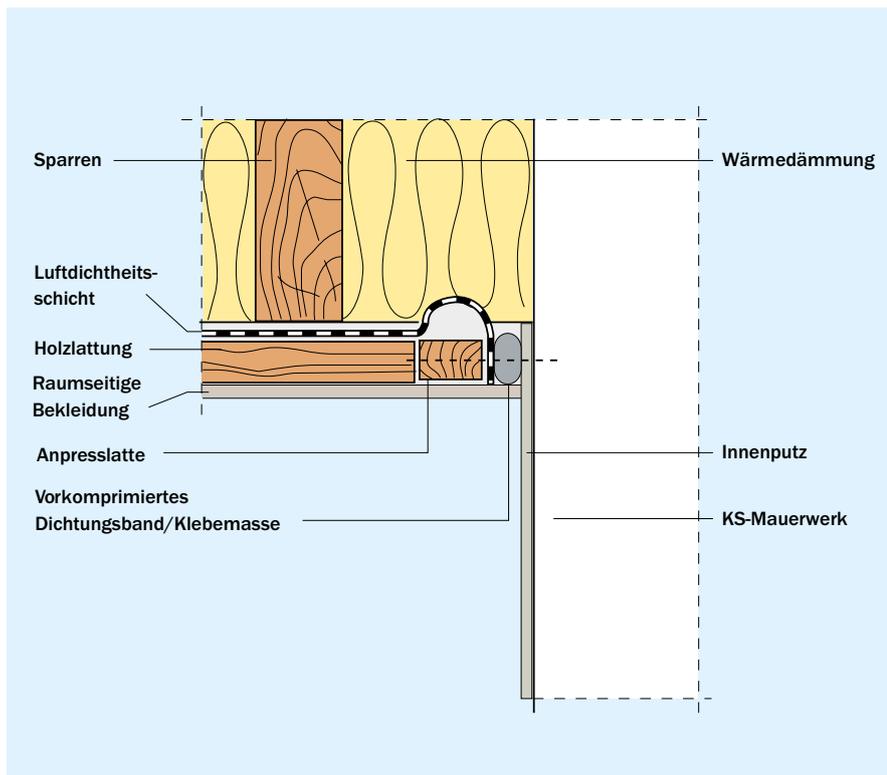


Bild 20 Luftdichter Anschluss an eine verputzte KS-Wand nach DIN 4108-7 [18]

Ausführungsempfehlungen und -hinweise für Bauteile und Bauteilanschlüsse werden exemplarisch in DIN 4108-7 gegeben, was den Planer jedoch nicht von der Pflicht zu eigenverantwortlichem Nachdenken und Entscheiden entbindet. Es ist wichtig, dass der Planer die Luftdichtheit als eigenständige Planungsleistung begreift und entsprechend sorgfältig plant. Selbstverständlich ist auch auf eine handwerklich gute Ausführung zu achten. Diese sollte während der Bauphase intensiv kontrolliert und anschließend mittels einer Differenzdruckmessung (Blower-Door) nachgewiesen werden.

**INFO**

Bei Sichtmauerwerk sind die Stoßfugen zu vermörteln, und das Mauerwerk selbst ist sorgfältig zu erstellen.

Die Durchführung dieser Luftdichtheitsprüfung wird von der EnEV nicht gefordert, jedoch ist die ausreichende Luftdichtheit eines Gebäudes eine vom Bauausführenden geschuldete Eigenschaft des Gebäudes. Das Nachweisverfahren der EnEV sieht, sozusagen als Bonus, reduzierte rechnerische Lüftungswärmeverluste vor, wenn später eine Luftdichtheitsprüfung durchgeführt und bestanden wird. Generell ist anzuraten, frühzeitig die ausreichende Luftdichtheit der Gebäudehülle nachzuweisen – also zu einem Zeitpunkt, zu dem noch Nachbesserungen an der Luftdichtheitsebene möglich sind. Voraussetzung für die Luftdichtheitsmessung ist aber, dass die luftdichte Schicht innerhalb der thermischen Gebäudehülle fertiggestellt ist. Die Messung erfolgt hinsichtlich der Fenster, Türen und sonstiger Öffnungen im späteren Gebrauchszustand. Das heißt, dass die in der thermischen Gebäudehülle liegenden Fenster und Außentüren geschlossen werden und nutzungsbedingte Öffnungen offen bleiben. Eine Hilfestellung für die fachlich einwandfreie Vorbereitung eines Gebäudes für eine Luftdichtheitsmessung gibt beispielsweise der Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen in [17].

Die Überprüfung der Luftdichtheit der Gebäudehülle erfolgt mit dem Differenzdruckverfahren nach DIN EN ISO 9972 (Blower-Door). Es gelten die folgenden Mindestanforderungen an den auf 50 Pa Druckdifferenz bezogenen Prüfwert  $n_{50}$ :

- Für Gebäude ohne raumluftechnische Anlagen:  $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$
- Für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen:  $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$

Angestrebt werden sollten allerdings  $n_{50}$  Werte von nicht mehr als  $2,0 \text{ h}^{-1}$  für Gebäude ohne und nicht mehr als  $1,0 \text{ h}^{-1}$  für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen, bei guten Niedrigenergiehäusern und Passivhäusern Werte in der Größenordnung von  $0,6 \text{ h}^{-1}$  und darunter.

## 9. Wärmeübertragung über das Erdreich

Die Bedeutung von Kellerräumen hat sich schon durch steigende Grundstückspreise grundlegend verändert. War der Keller früher als Vorratslager und Abstellfläche genutzt, wird er heute insbesondere im Einfamilienhausbau mehr und mehr in den eigentlichen Wohnbereich mit einbezogen. Grundvoraussetzung dafür sind trockene Wand- und Deckenflächen. Diese müssen dauerhaft gegen von außen einwirkendes Wasser und Feuchtigkeit von innen geschützt werden. Mit der Nutzung als Aufenthaltsraum steigen auch die Ansprüche des Bauherrn an den Wohnkomfort und das Raumklima im Untergeschoss des Gebäudes. In diesem Fall müssen Außenwände und Bodenplatte einen entsprechenden Wärmeschutz aufweisen.

Für einzelne beheizte oder nur gelegentlich genutzte Räume bietet sich aus wirtschaftlichen Gründen eine auf den einzelnen Raum beschränkte Innendämmung an. Auch als Nachrüstlösung bei Nutzungsänderungen ist diese Ausführungsvariante prädestiniert, häufig als Ausbaureserve. Soll der größte Teil des Kellers beheizt werden, ist eine Kelleraußendämmung (Perimeterdämmung in Wand und Boden) sinnvoll. Der Vorteil der Perimeterdämmung ist, dass Tauwasserausfall auf der Innenseite der Kellerwand und des Kellerbodens verhindert und die Bauwerksabdichtung mechanisch geschützt wird, Wärmebrücken vermieden bzw. vermindert werden, und die Dämmung in größeren Dicken dimensionierbar ist, da im Kellerraum kein Platz verlorengeht. Auch, wenn zu Beginn keine hochwertige Kellernutzung geplant ist, ist es empfehlenswert, beim Bau des Gebäudes von vorneherein eine Perimeterdämmung einzubauen. Spätere Nutzungsänderungen sind dann problemlos möglich.

Der Wärmeverlust eines beheizten Kellers an das umliegende Erdreich stellt einen viel komplexeren Vorgang dar als der Wärmeverlust der übrigen Außenbauteile eines Gebäudes an die Außenluft. Die Wärmeverluste hängen ab von der Beschaffenheit des Erdreichs (bindiger bzw. nichtbindiger Boden), dem Wärmeschutz der Außenbauteile, der Grundwassertiefe, der Kellertemperatur und den Abmessungen des Kellers. Neben allgemeinen zwei- und dreidimensionalen numerischen Rechenverfahren (DIN EN ISO 10211) können die winterlichen Wärme-

verluste des Kellers ausreichend genau nach den Verfahren in DIN V 4108-6, DIN V 18599-2 und DIN EN ISO 13370 berechnet werden (Bild 21).

Für die tägliche Praxis hat sich das vereinfachte Verfahren mit Temperaturkorrekturfaktoren  $F_x$  durchgesetzt, wie es in DIN V 4108-6 und DIN V 18599-2 enthalten ist. Dafür wird der U-Wert des erdberührten Bauteils als so genannter „konstruktiver U-Wert“ einfach aus Schichtenfolge des Bauteils, unter Vernachlässigung des Erdreichs, bestimmt. Der äußere Wärmeübergangswiderstand ist Null, da direkter Kontakt zum Erdreich besteht. Der Wärmetransport durch das Bauteil wird dann mittels tabellierter Faktoren auf die äquivalente durchschnittliche Temperaturdifferenz korrigiert. Die Geometrie des beheizten Kellerbereichs geht über das charakteristische Bodenplattenmaß  $B'$  ein.  $B'$  ist das Verhältnis aus beheizter Kellerbodenfläche zum Umfang dieser Fläche.

Ebenfalls wird vereinfachend für verschiedene Dämmsituationen unterschieden. So wird im Heizperiodenbilanzverfahren der EnEV für alle Bauteile des unteren Gebäudeabschlusses der  $F_x$ -Wert 0,6 angesetzt. Vereinfacht darf nach DIN V 18599-2 ein Wert von 0,7 verwendet werden. Die  $F_x$ -Werte sind generell nicht zutreffend und damit nicht anwendbar, wenn der sommerliche Wärmeeintrag berechnet werden soll, d.h. bei gekühlten Gebäuden. Hier sind für erdberührte Bauteile die U-Werte und Verfahren nach DIN EN ISO 13370 zu verwenden.

Die Temperaturkorrekturfaktoren  $F_x$  sind aus DIN V 18599-2: 2016-10 [19] und aus [3] ersichtlich.

Aufgrund der geringeren wirksamen Temperaturdifferenz bei erdberührten Bauteilen im Vergleich zu Bauteilen an Außenluft, die sich ja in den  $F_x$ -Werten ausdrückt, ist die Wärmedämmung des Untergeschosses weniger ergiebig als die gleiche Wärmedämmung bei Bauteilen an Außenluft. Als Kompromiss aus Energieeinsparung, Komfort und Kosten werden derzeit Perimeterdämmungen von etwa 12 cm Dicke als sinnvoll angesehen – bei Passivhäusern werden Perimeterdämmungen mit 20 bis 25 cm Dicke ausgeführt. Besondere Beachtung sollte der Reduzierung von Wärmebrücken im Bereich von Deckenauflegern und Fundamenten durch geschickte Lösungen zukommen. Eine Hilfe dazu gibt Beiblatt 2 zu DIN 4108 mit Prinzipskizzen und Planungs- und Ausführungsempfehlungen.

Dem Umstand der verminderten Wärmeübertragung von Bodenplatten über das Erdreich an die Außenluft trägt auch die Festlegung in DIN 4108-2 Rechnung, dass für unmittelbar an das Erdreich grenzende Bodenplatten normal und niedrig beheizter Räume nur bis zu einer Raumtiefe von 5 m eine zusätzliche Wärmedämmung erforderlich ist. Dies kommt vor allem bei größeren Hallen und Produktionsgebäuden zum Tragen. Im Wohnungsbau sind die Bodenplattenabmessungen oftmals nicht ausreichend, um diesen Effekt auszunutzen.

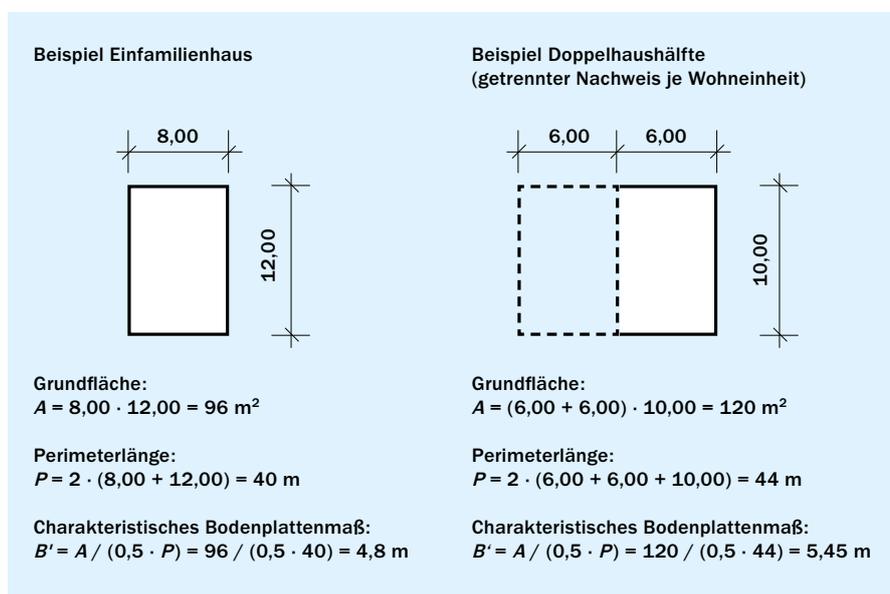


Bild 21 Bestimmung des charakteristischen Bodenplattenmaßes  $B'$  (Beispiele)

## Anhang

Tafel A1 Die wichtigsten Normen rund um den baulichen Wärme- und Feuchteschutz

Nummer der Norm	Titel	Inhalt und Hinweise
<b>Grundlagennormen</b>		
DIN 4108-2	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von flächigen Bauteilen und von Wärmebrücken (bauaufsichtlich eingeführt), Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz (durch die EnEV in Bezug genommen)
DIN 4108-3	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung	Wasserdampfdiffusion, Glaserverfahren, Tauwasserberechnung, Ausnahmeregelungen (bauaufsichtlich eingeführt)
DIN 4108-4	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte	Zu verwendende Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit (für europäisch nicht-harmonisierte Dämmstoffe) bzw. Umrechnung vom Nennwert zum Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit (für europäisch harmonisierte Dämmstoffe) sowie Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen von Bau- und Dämmstoffen (weitere Werte siehe DIN EN ISO 10456). Alternativ dürfen Bemessungswerte aus allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für den EnEV-Nachweis verwendet werden.
DIN EN ISO 10456	Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte	Internationale „Schwester“-Norm zu DIN V 4108-4; enthält u.a. die $\lambda$ -Werte für Beton, Holz, Holzprodukte
DIN V 4108-10	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Anwendungsbezogene Anforderungen an Dämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe	Anwendungstypen von genormten Dämmstoffen und dafür erforderliche Mindesteigenschaften. Alternative Festlegungen werden in produkt- oder bauartspezifischen Technischen Bestimmungen getroffen.
<b>Ausführungsnormen</b>		
DIN 4108-7	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele	Anforderungen und Prinzipskizzen zur luftdichten Ausführung der Gebäudehülle
DIN 4108 Beiblatt 2	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele	Prinzipskizzen für den bildlichen Nachweis sowie $\lambda$ -Referenzwerte für den rechnerischen Nachweis der Gleichwertigkeit von linienförmigen Wärmebrücken, nur bei Verwendung eines reduzierten pauschalen Wärmebrückenzuschlags
DIN-Fachbericht 4108-8	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in Wohngebäuden	Planungs- und Nutzungshinweise zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum (Neubau, Bestand) für wohnungsübliche bzw. wohnungsähnliche Nutzung; Hinweise für die Planung und Nutzung von Heizungs- und Lüftungssystemen; Vermeidung von Schimmel unter ganzheitlicher Beachtung der Zusammenhänge (Bauphysik, Baukonstruktionen, Heizung, Lüftung, Nutzung).

Tafel A1 Die wichtigsten Normen rund um den baulichen Wärme- und Feuchteschutz Fortsetzung

Nummer der Norm	Titel	Inhalt und Hinweise
<b>Berechnungsnormen für Bauteile</b>		
DIN EN ISO 6946	Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren	Standardwerte für $R_{si}$ und $R_{sep}$ , Formeln für $R$ und $U$ , Behandlung von Luftschichten, Berücksichtigung niedrigemittierender Oberflächen bei Luftschichten, Korrekturwerte für den U-Wert
DIN EN ISO 10211	Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen	Vorgehensweise bei numerischen Berechnungen von zwei- und dreidimensionalen Wärmebrücken, Randbedingungen
DIN EN ISO 13370	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren	Detaillierte Berücksichtigung des Wärmetransports über das Erdreich (im Gegensatz zur vereinfachten Berücksichtigung über $F_x$ -Werte, die aber nur für den Heizfall verwendet werden dürfen)
DIN EN ISO 13789	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren	Wärmetransferkoeffizienten, detaillierte Berücksichtigung einiger Wärmetransportpfade
DIN EN ISO 10077-1	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Vereinfachtes Verfahren	Rechnerische Bestimmung des U-Werts von Fenstern
<b>Berechnungsnormen für Gebäude</b>		
DIN EN ISO 10077-2	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Numerisches Verfahren für Rahmen	Rechnerische Bestimmung des U-Werts von Fensterrahmen; enthält u.a. auch Gleichungen für den Wärmedurchlasswiderstand von schmalen Luftspalten
DIN V 4108-6	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs	Enthält u.a. das Monatsbilanzverfahren für die EnEV-Bilanzierung von Wohngebäuden sowie in Anhang D die dafür zu verwendenden Randbedingungen
DIN V 4701-10	Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung	Berechnung der Anlagenaufwandszahl für Heizung, Lüftung und Warmwasser für Wohngebäude im EnEV-Nachweis, primärenergetische Bewertung
DIN 4701-10 Beiblatt 1	Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Diagramme und Planungshilfen für ausgewählte Anlagensysteme mit Standardkomponenten	Diagramme für 71 Anlagenkombinationen zur Bestimmung der Anlagenaufwandszahl für Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung für Wohngebäude im EnEV-Nachweis
DIN EN 13790	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs	Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, Nachfolger der zurückgezogenen DIN EN 832
DIN V 18599-1 bis 11	Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1 bis 11	Berechnung des Energiebedarfs von Wohn- und Nichtwohngebäuden für die energetische Bewertung im Rahmen der EnEV
<b>Messnormen für Gebäude</b>		
DIN EN ISO 9972	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren	Messverfahren für die Luftdichtheit der Gebäudehülle („Blower-Door“-Messung); Nachfolgenorm für DIN EN 13829

Tafel A2 Die wichtigsten physikalischen Größen, Formelzeichen und Einheiten rund um bauliche Wärmedämmung und klimabedingten Feuchteschutz

Physikalische Größe	Symbol	Einheit
Länge	$l, \ell$	m
Breite	$b$	m
Dicke	$d$	m
Höhe	$h$	m
Fläche	$A$	m <sup>2</sup>
Volumen	$V$	m <sup>3</sup>
Masse	$m$	kg
Dichte	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Celsius-Temperatur	$\theta, \vartheta$	°C
Thermodynamische Temperatur	$T$	K
Wärmemenge	$Q$	J = Ws
Spezifische Wärmekapazität	$c$	J/(kg·K)
Wirksame Wärmespeicherfähigkeit	$C_{\text{wirk}}$	Wh/K
Wärmestrom	$\Phi, \dot{Q}$	Ws/s = Wh/h = W
Wärmestromdichte	$q$	W/m <sup>2</sup>
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	W/(m·K)
Thermischer Leitwert	$L$	W/(m·K)
Wärmedurchlasswiderstand	$R$	m <sup>2</sup> ·K/W
Wärmeübergangswiderstand innen/außen	$R_{\text{si}}, R_{\text{se}}$	m <sup>2</sup> ·K/W
Wärmedurchgangswiderstand	$R_T$	m <sup>2</sup> ·K/W
Wärmeübergangskoeffizient	$h$	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)	$U$	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient („Psi-Wert“)	$\Psi$	W/(m·K)
Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient („Chi-Wert“)	$\chi$	W/K
Temperaturfaktor an der Innenoberfläche	$f_{\text{Rsi}}$	–
Hemisphärischer Emissionsgrad	$\varepsilon$	–
Strahlungsaustauschgrad	$E$	–
Luftwechsel	$n$	h <sup>-1</sup>
Wasserdampfteildruck	$p$	Pa
Wasserdampfsättigungsdruck	$p_s$	Pa
Relative Luftfeuchte	$\varphi$	%
Massebezogener / Volumenbezogener Feuchtegehalt	$u_m, u_v$	M.-% / Vol.-%
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	$\mu$	–
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	$s_d$	m
Tauwassermasse, flächenbezogen	$m_c$	kg/m <sup>2</sup>
Verdunstungsmasse, flächenbezogen	$m_{\text{ev}}$	kg/m <sup>2</sup>
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	kg/(m <sup>2</sup> ·h <sub>0,5</sub> )
Wasserdampf-Diffusionskoeffizient	$D$	m <sup>2</sup> /h
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand	$Z$	m <sup>2</sup> ·h·Pa/kg
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte	$g$	kg/(m <sup>2</sup> ·h)

## Literatur

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Energiedaten: Gesamtausgabe, Mai 2017
- [2] Statistisches Bundesamt, [www.destatis.de](http://www.destatis.de), 2017
- [3] Maas, A.: Kalksandstein Energieeinsparverordnung 2016, Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover 2016
- [4] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-EnEV-Nachweisprogramm für Wohngebäude, Hannover 2018 (kostenfreier Download unter [www.kalksandstein.de](http://www.kalksandstein.de))
- [5] Pfundstein, M.; Gellert, R.; Spitzner, M. H.; Rudolphi, A.: Dämmstoffe – Grundlagen, Materialien, Anwendungen. Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München 2008
- [6] DIBt-Information, DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 07.07.2017
- [7] DIN 4108-4:2017-03: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte
- [8] FIW München: U-Werte zusammengesetzter Bauteile nach DIN EN ISO 6946. Berechnungsprogramm. Download unter: [www.fiw-muenchen.de](http://www.fiw-muenchen.de). München 2012
- [9] DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03 und E DIN 4108 Beiblatt 2:2017-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele
- [10] DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [11] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Wärmebrückenkatalog online (kostenfreier Download unter [www.ks-waermebruecken.de](http://www.ks-waermebruecken.de))
- [12] DIN-Fachbericht 4108-8:2010-09: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Gebäuden
- [13] FVHF-Richtlinie: Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, Berlin 1998
- [14] Holm, A.; Sedlbauer, K.; Radon, I.; Künzel H. M.: Einfluss der Baufeuchte auf das hygrothermische Verhalten von Gebäuden, IBP Mitteilung 29, 2002
- [15] Künzel H. M.: Austrocknung von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen. In: Bauphysik 20 (1998), Heft 1, Seite 18–23
- [16] Schubert, P: Zur rißfreien Wandlänge von nichttragenden Mauerwerkswänden. Berlin: Ernst & Sohn. In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 473–488
- [17] Beiblatt zur DIN EN 13829, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren, Ausgabe 4/Mai 2015. Hrsg.: Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V., Kassel 2015
- [18] DIN 4108-7:2011-01: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- [19] DIN V 18599-2: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen

### Bildnachweise

Bild S. 240, Bild S. 255: Atelier Kinold;  
Bild 17: Netter BauArt/Gerhard Illig/KS-ORIGINAL

Bild S. 241: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.