

2.1 Grundlagen

Wärmebewegung durch Bauteile

Trennt ein Bauteil einen beheizten Raum von einer Umgebung mit niedrigerer Temperatur, so fließt ein Wärmestrom durch ihn in Richtung des Temperaturgefälles. Der Wärmestrom hängt von der Geometrie, dem Material und der Beschaffenheit der Oberfläche, der Luftbewegung und der Lufttemperatur zu beiden Seiten des Bauteiles ab. Wenn die Temperaturen nicht konstant sind, ist der Wärmestrom auch noch zeitlichen Schwankungen unterworfen.

Beim Wärmeschutz im Hochbau werden grundsätzlich konstante Temperaturen angenommen. Die auf dieser Annahme basierenden physikalischen Gesetze, die den wärmeschutztechnischen Berechnungen im Hochbau zugrunde liegen, gelten nur für plattenförmige, unendliche ausgedehnte Körper. Bauteile können, wenn Ecken- und Anschlussbereiche ausgeklammert werden, in erster Annäherung als derartige Körper angesehen werden. Die Wärmebewegung durch ein Bauteil kann nach Abb. 2.1 in drei Einzelvorgänge aufgeteilt werden.

Die Wärmestromdichten (Wärmestrom durch Fläche) der einzelnen Wärmebewegungen sind:

$$q_I = h_{si}(\Theta_i - \Theta_{si}) \quad q_{II} = \frac{1}{R(\Theta_{si} - \Theta_{se})} \quad q_{III} = h_{se}(\Theta_{se} - \Theta_e)$$

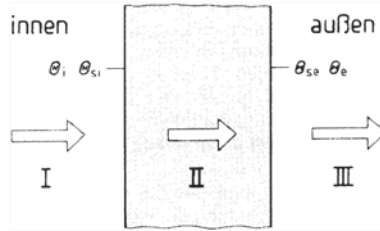


Abb. 2.1 Schematische Darstellung der Wärmebewegung durch ein Bauteil von der höheren Temperatur Θ_i zur tieferen Θ_e

I Wärmeübergang von Raumluft zu raumseitiger Wandoberfläche

II Wärmedurchgang durch das Bauteil

III Wärmeübergang von außenseitiger Wandoberfläche an die Außenluft

wobei:

q Wärmestromdichte [W/m^2]

h Wärmeübergangskoeffizient [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]

R Wärmedurchlasswiderstand [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]

Θ Celsius-Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

Indizes:

i innen

e außen

si innere Oberfläche

se äußere Oberfläche.

Bei der Gesamtbetrachtung der Wärmebewegung durch das Bauteil, einschließlich der beidseitigen Wärmeübergänge ergibt sich die Wärmestromdichte

$$q = U (\Theta_i - \Theta_e)$$

wobei:

U Wärmedurchgangskoeffizient [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$].

Die Kehrwerte der Koeffizienten sind Wärmewiderstände. Der Wärmewiderstand einer Baustoffschicht hängt von deren Dicke und der Wärmeleitfähigkeit des Materials ab und wird Wärmedurchlasswiderstand genannt.

Berechnungsverfahren

Die nachfolgend angeführten Kenngrößen und Berechnungsverfahren gelten nur bei stationären Wärmestromverhältnissen und für ebene, plattenförmige Körper. In Bereichen divergierender oder konvergierender Wärmestromlinien sind sie nicht anwendbar.

Bedeutung und Berechnung der Kenngrößen (DIN EN ISO 6946-1) **Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit λ_R .** Wärmeenergie wird in Stoffen unterschiedlich gut weitergeleitet. Diese Eigenschaft wird als Wärmeleitfähigkeit bezeichnet. Für wärmeschutztechnische Berechnungen ist der Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit anzuwenden. Er ist auf eine Temperatur von 10°C und den praktischen Feuchtegehalt bezogen und berücksichtigt material- und herstellungsbedingte Streuungen. Die Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit λ_R werden unter anderen auf Grund der praktischen Feuchtegehalte festgelegt.

Wärmedurchlasswiderstand R . Bei einem einschichtigen Bauteil berechnet er sich aus der Dicke d und dem Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit λ_R nach der Gleichung

$$R = \frac{d}{\lambda_R}.$$

Bei mehrschichtigen Bauteilen der Dicken $d_1, d_2, \dots, d_n$ der Einzelschichten und deren Rechenwerten der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{R1}, \lambda_{R2}, \dots, \lambda_{Rn}$ berechnet er sich nach der Gleichung

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{R1}} + \frac{d_2}{\lambda_{R2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{Rn}}$$

Wärmeübergangswiderstand R_{si}, R_{se} . Er kennzeichnet den Wärmewiderstand beim Wärmetransport von der Luft zur Bauteiloberfläche bzw. umgekehrt (Abb. 2.1).

Wärmedurchgangswiderstand R_T . Durch die Addition der Einzelwiderstände erhält man den Wärmedurchgangswiderstand eines Bauteils

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}.$$

Wärmedurchgangskoeffizient U . Bei ein- und mehrschichtigen Bauteilen ergibt sich der Wärmedurchgangskoeffizient aus der Kehrwertbildung des Wärmedurchgangswiderstands

$$U = \frac{1}{R_T}.$$

Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient eines inhomogenen Bauteils

Bei den obigen Gleichungen wird vorausgesetzt, dass das Bauteil in seiner ganzen Ausdehnung aus einer oder mehreren aufeinanderfolgenden homogenen, senkrecht zur Richtung des Wärmestromes angeordneten Schichten besteht. Sind jedoch mehrere, nebeneinander liegende Abschnitte mit einem unterschiedlichen Materialaufbau vorhanden (Abb. 2.2), weisen die Berechnungen einen mehr oder weniger großen Fehler auf, der von der Differenz der wärmeschutztechnischen Qualität der nebeneinander liegenden Bereiche abhängt. Mit einer in vielen Fällen ausreichenden Genauigkeit kann der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient eines solchen inhomogenen Bauteils mit dem nachfolgend beschriebenen Rechenverfahren ermittelt werden.

Berechnet wird der Wärmedurchgangswiderstand R_T des Bauteiles bei zwei sich stark unterscheidenden Randbedingungen. Die jeweiligen Rechenergebnisse ergeben Extremwerte, die als oberer (R'_T) bzw. unterer Grenzwert (R''_T) bezeichnet werden. Das Endergebnis ist der Mittelwert aus beiden Berechnungen. Neben den Materialwerten der Abschnitte und Schichten bestimmen auch die Anteile f der Abschnittsflächen an der Gesamtfläche A das jeweilige Ergebnis.

$$f_a = \frac{A_a}{A}, \quad f_b = \frac{A_b}{A}, \dots, \quad f_n = \frac{A_n}{A} \quad \text{mit} \quad A = A_a + A_b + \dots + A_n$$

$$\text{und} \quad f_a + f_b + \dots + f_n = 1.$$

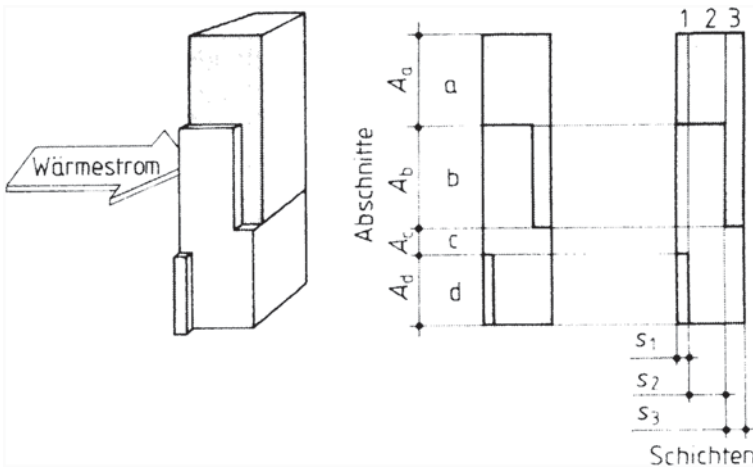


Abb. 2.2 Inhomogenes Bauteil aus n Abschnitten und m Schichten

Oberer Grenzwert R'_T

Für jeden Abschnitt des Bauteils wird der Wärmedurchgangskoeffizient getrennt bestimmt und zuerst der gewichtete Mittelwert U' des Bauteils und dann der Wärmedurchgangswiderstand R'_T berechnet.

$$U' = U_a \cdot f_a + U_b \cdot f_b + \dots + U_n \cdot f_n$$

$$R'_T = \frac{1}{U'}.$$

Unterer Grenzwert R''_T

Für jede Bauteilschicht wird entsprechend der Flächenanteile der verschiedenen Abschnitte die gewichtete Wärmeleitfähigkeit λ'' jeder einzelnen Schicht berechnet und mit diesen Werten der Wärmedurchgangswiderstand R''_T der Gesamtkonstruktion bestimmt. Für die Schicht m ist die mittlere Wärmeleitfähigkeit

$$\lambda''_m = \lambda_{m,a} \cdot f_a + \lambda_{m,b} \cdot f_b + \dots + \lambda_{m,n} \cdot f_n.$$

Der Wärmedurchgangswiderstand R''_T des m-schichtigen Bauteils ist

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m = R_{se}.$$

Mittelwert und relativer Fehler

Das Mittel aus oberem unterem Grenzwert liefert den Näherungswert des Wärmedurchgangswiderstandes R_T des Bauteils.

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}$$

und $U = \frac{1}{R_T}.$

Die relative Rechenungenauigkeit e ist:

$$e = \frac{R'_T + R''_T}{2 \cdot R_T}.$$

Wärmestrom Φ und Wärmestromdichte q . Durch ein Bauteil mit der Fläche A fließt bei einer beidseitig angrenzenden Luft der Temperaturen Θ_i bzw. Θ_e ein Wärmestrom der Größe

$$\Phi = U \cdot A (\Theta_i - \Theta_e)$$

bzw. eine Wärmestromdichte der Größe

$$q = U \cdot (\Theta_i - \Theta_e).$$

Bei den Berechnungen ist die Schichtdicke d in Meter und die Fläche A in m^2 einzusetzen.

Die Berechnungen der Größen nach den obigen Gleichungen für den Nachweis des erforderlichen Wärmeschutzes im Hochbau erfolgt nach DIN EN ISO 6946.

Für die Berechnung des Wärmeschutzes der Bauteile sind die Stoffwerte der DIN V 4108-4 zu entnehmen. Stoffwerte, die dort nicht enthalten sind, dürfen nur dann verwendet werden, wenn sie nach den Vorschriften der Bauregelliste bestimmt und im Bundesanzeiger bekannt gemacht worden sind.

An Luftschichten grenzende Flächen Bei einer an eine Luftschicht grenzende Fläche mit schmälere Einschnitten oder Überständen wird nach DIN EN ISO 6946 die Berechnung so geführt, als ob die Fläche eben wäre (Abb. 2.3). Die schmälere Einschnitte werden verlängert, ohne deren Wärmedurchlasswiderstand zu verändern (Abb. 2.3a). Die überstehenden Abschnitte werden verkürzt, wobei deren Wärmedurchlasswiderstand entsprechend der Dicke der angrenzenden Bereiche vermindert wird (Abb. 2.3b).

Berechnung von Temperaturen Sind die Lufttemperaturen beiderseits des Bauteils Θ_i und Θ_e , ergeben sich die Innen- bzw. Außenoberflächentemperaturen Θ_{si} bzw. Θ_{se} gemäß folgenden Gleichungen

$$\Theta_{si} = \Theta_i - R_{si} \cdot q$$

$$\Theta_{se} = \Theta_e - R_{se} \cdot q$$

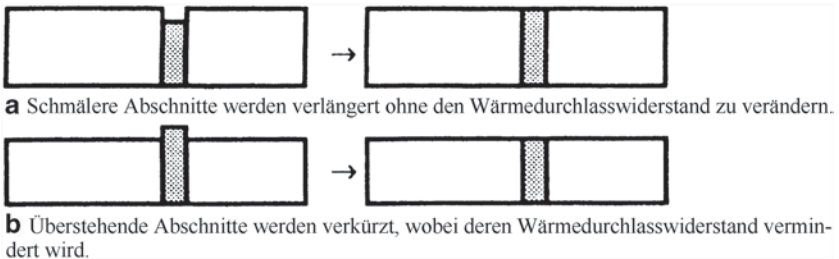
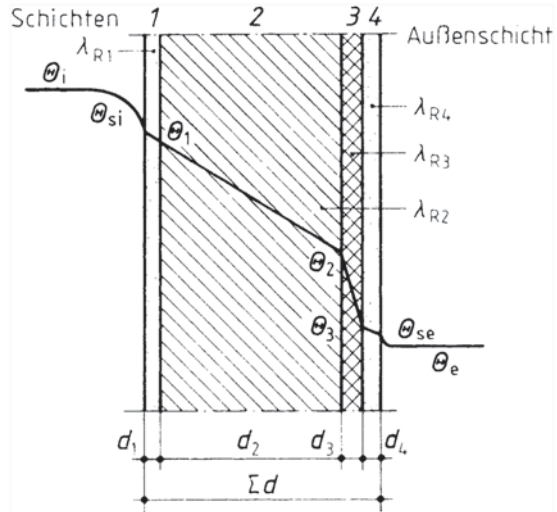


Abb. 2.3 Angaben zur Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes von an Luftschichten grenzenden Bauteilen mit schmälere Einschnitten (a) oder Überständen (b)

Abb. 2.4 Temperaturen in mehrschichtigen Bauteilen



Die Temperaturen $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n$ innerhalb des Bauteils nach der ersten, zweiten bzw. n -ten Schicht, gezählt in Richtung des Wärmestromes, sind

$$\Theta_1 = \Theta_{si} - R_1 \cdot q$$

$$\Theta_2 = \Theta_1 - R_2 \cdot q$$

$$\vdots$$

$$\Theta_n = \Theta_{n-1} - R_n \cdot q$$

Die Wärmestromdichte ist (Abb. 2.4)

$$q = U(\Theta_i - \Theta_e).$$

2.2 Mindestanforderungen an den Wärmeschutz im Winter nach DIN 4108-2: 2001–2003

Die DIN 4108-2 legt Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilen und bei Wärmebrücken innerhalb der Gebäudehülle fest. Die Mindestanforderungen gelten für Gebäude mit Innentemperaturen $\geq 19^\circ\text{C}$ **und** für Gebäude mit nied-

rigen Innentemperaturen ($12^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 19^{\circ}\text{C}$) mit Ausnahme der Anforderungen an Außenwände. Bei Erfüllung dieser Anforderung ist zu erwarten, dass

- sich in den Gebäuden an jeder Stelle der Innenoberfläche der Systemgrenze bei ausreichender Beheizung und Belüftung und unter Zugrundelegung üblicher Nutzung ein hygienisches Raumklima einstellt und dass
- Tauwasserfreiheit im Ganzen und in Ecken sichergestellt ist. Das Risiko von Schimmelpilzbildung ist damit stark verringert.

Unter Systemgrenze wird die gesamt Außenoberfläche eines Gebäudes oder einer beheizten Zone eines Gebäudes verstanden, für die eine Wärmebilanz mit einer einheitlichen Raumtemperatur erstellt wird. Darin sind alle Räume inbegriffen, die entweder direkt oder **indirekt durch Raumverbund** (z. B. Flure oder Dielen) beheizt werden.

Für Außenbauteile von normal beheizten Räumen ($\geq 19^{\circ}\text{C}$) mit mindestens 100 kg/m^2 sind Mindest-Wärmedurchlasswiderstände vorgegeben, die auch für die ungünstigste Stelle gelten.

An den Außenwänden erfolgte eine deutliche Anhebung des Mindest-Wärmedurchlasswiderstandes von $0,55 \text{ m}^2\text{K/W}$ auf $1,20 \text{ m}^2\text{K/W}$. Gleichzeitig ist nun gefordert, dass dieser Mindest-Wärmedurchlass-widerstand **an jeder Stelle** zu gelten hat, also auch in Fenster- und Heizkörpernischen, bei Fensterstürzen und bei Mauerwerks-Rollladenkästen einschließlich Deckel. Dies war notwendig geworden, um zu vermeiden, dass sich an schwach gedämmten – aber immer noch normgerechten – Bauteilen Oberflächenkondensat und damit Schimmelpilze bilden.

Wärmeschutz und Heizungstechnik

Ein Überblick

Hering, E.; Schröder, B.

2014, IX, 33 S. 22 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-08600-8