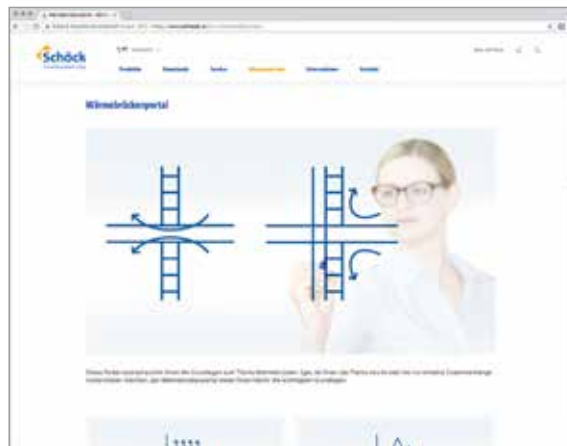


Bauphysik-Handbuch.
Grundlagen des Wärmeschutzes.

**Weitere Informationen finden Sie auch
in unserem Wärmebrückenportal.**



<http://www.schoeck.at/waermebruecken>

Inhaltsverzeichnis

05 Wärmebrücken

- 06 Wärmebrücken allgemein
- 06 Arten von Wärmebrücken
- 08 Wärmetechnische Kennwerte von Wärmebrücken
- 09 Linienförmige Wärmebrücken
- 10 Punktförmige Wärmebrücken
- 11 Dreidimensionale Wärmebrücken
- 12 Wärmebrücken im Passivhaus

13 Feuchteschutz

- 14 Feuchteschutz allgemein
- 14 Luftfeuchtigkeit
- 15 Tauwasserausfall
- 17 Schimmelpilzbildung
- 18 Temperaturfaktor f
- 19 Raumseitige Oberflächentemperatur

21 Normen und Regelwerke

- 22 Allgemeines
- 22 OIB-Richtlinie 6, Ausgabe 2011
- 22 ÖNORM B 8110-2, Ausgabe 2003-07-01
- 23 ÖNORM B 8110-6, Ausgabe 2010-01-01
- 23 Anforderungen an Wärmebrücken
- 24 Weiterführende Berechnungsnormen
- 24 Passivhaus-Standard

25 Konstruktive Wärmebrücken

- 26 Ursache
- 26 Balkone bzw. ungedämmte auskragende Bauteile
- 27 Attika
- 28 Innendämmung
- 28 Fassadenanker
- 29 Gebäudesockel
- 30 Berechnung

31 Lexikon

- 32 Jahres-Heizwärmebedarf
- 33 Jahres-Primärenergiebedarf
- 34 Spezifische Transmissionswärmeverluste Q_T
- 36 Sommerlicher Wärmeschutz
- 36 Wärmestrom Φ
- 37 Die Wärmeleitfähigkeit λ
- 39 Der Wärmedurchlasswiderstand; R-Wert
- 40 Der Wärmedurchgangskoeffizient; U-Wert
- 41 Thermischer Leitwert
- 42 Die Wärmedurchgangskoeffizienten ψ und χ
- 44 Taupunkttemperatur θ_T
- 44 Schimmelpilztemperatur θ_s

Wärmebrücken

Wärmebrücken allgemein

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Bereiche mit höherem Wärmestrom als in den angrenzenden Bereichen. Eine erhöhte Wärmeleitung verursacht einen erhöhten Transmissionswärmeverlust. Daraus folgt eine niedrigere Innenoberflächentemperatur und es entsteht das Risiko von **Schimmelpilzbildung** (gesundheitliche Gefahren), die Gefahr von **Tauwasserausfall** und damit eine mögliche Schädigung der Bausubstanz.

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Wärmebrücken „**geometrische**“ oder / und „**materialbedingte**“ Wärmebrücken.

Arten von Wärmebrücken

Materialbedingte Wärmebrücken

Als materialbedingte Wärmebrücken werden Bauteilbereiche bezeichnet, bei denen Materialien mit deutlich unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit aneinander angrenzen. Ein typisches Beispiel hierfür sind, die Dämmschicht durchstoßende Anker. Über die metallischen Anker ist im Vergleich zu der angrenzenden Dämmung der Wärmeabfluss erhöht.

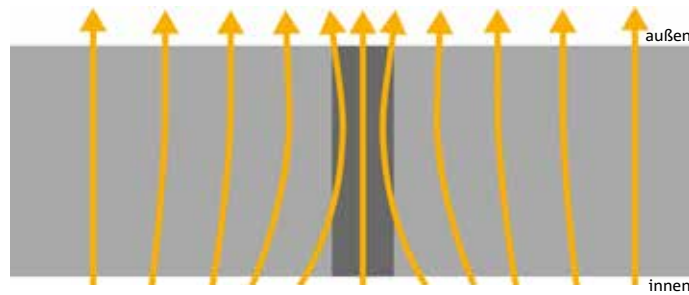


Abbildung 1: Schnittzeichnung durch zwei Materialien (Dunkelgrau mit hoher Leitfähigkeit, Hellgrau mit niedriger Leitfähigkeit), die Richtung des Wärmestroms ist durch Pfeile dargestellt. Die Wärme „fließt“ vom warmen Raum (unterer Bildrand) zum kälteren Raum (oberer Bildrand) durch die Materialien.

Geometrisch bedingte Wärmebrücken

Als geometrische Wärmebrücken bezeichnet man die Bauteilbereiche, bei denen die wärmeabgebende Oberfläche markant größer als die wärmeaufnehmende Oberfläche ist. Typische Beispiele hierfür sind Gebäudeecken. Hier sinken an den wärmeaufnehmenden Oberflächen die Oberflächentemperaturen stark ab, da die Wärme über die größeren abgebenden Oberflächen stark abfließen kann (Diskontinuität des Wärmestromes / erhöhte Wärmestromdichte).

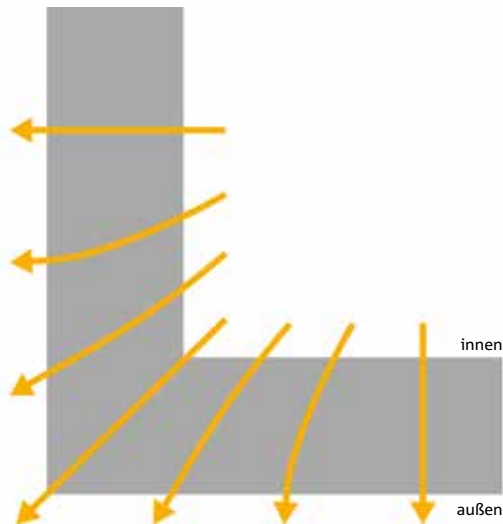


Abbildung 2: Schnittzeichnung einer Gebäudeecke, die Pfeile beschreiben die Richtung des Wärmestroms vom warmen zum kalten Raum. Der linienförmige Wärmestrom durch eine ungestörte Wand wird durch die geometrische Situation stark beeinflusst.

Die Auswirkungen von Wärmebrücken sind zusammenfassend:

- Gefahr von Schimmelpilzbildung
- Gefahr von gesundheitlichen Beeinträchtigungen (Allergien etc.)
- Gefahr von Tauwasserausfall
- Erhöhter Heizenergieverlust
- Verschlechterung von Wohnkomfort und Behaglichkeit

Wärmetechnische Kennwerte von Wärmebrücken

Zur Erfassung und Begrenzung der Auswirkungen von Wärmebrücken werden verschiedene Kennwerte verwendet. Diese beschreiben unterschiedliche Eigenschaften von Wärmebrücken. Während die **Wärmedurchgangskoeffizienten ψ und χ** Auskunft über die energetischen Wärmeverluste geben, wird durch den **Temperaturfaktor** und die **minimale Oberflächentemperatur** das Risiko für Schimmelpilzbildung und Tauwasserausfall bewertet.

Die rechnerische Ermittlung dieser Kenngrößen ist ausschließlich mit einer wärmetechnischen Finite-Element-Berechnung (FE-Berechnung) der konkret vorliegenden Wärmebrücke möglich. Hierzu wird der geometrische Aufbau der Konstruktion im Bereich der Wärmebrücke zusammen mit den **Wärmeleitfähigkeiten** der eingesetzten Materialien in einem FE-Programm modelliert. Die anzusetzenden Randbedingungen bei der Berechnung und Modellierung sind in der **ÖNORM EN ISO 10211** geregelt.

Die FE-Berechnung liefert neben den quantitativen Kennwerten auch eine Darstellung der Temperaturverteilung innerhalb der Konstruktion. Dabei wird meist eine Darstellung des Wärmestroms durch Wärmestromlinien (siehe Abbildung 3) oder Isothermen (Linien gleicher Temperatur, siehe Abbildung 4) gewählt.

Die Darstellung mit Wärmestromlinien zeigt, auf welchem Weg durch die Konstruktion die Wärme verloren geht, und es lassen sich somit die wärmetechnischen Schwachstellen der Wärmebrücke gut erkennen. Die Isothermen sind Linien oder Flächen gleicher Temperatur und zeigen die Temperaturverteilung innerhalb des berechneten Bauteils. Wärmestromlinien und Isothermen stehen stets senkrecht zueinander (siehe Abbildungen 3 und 4).

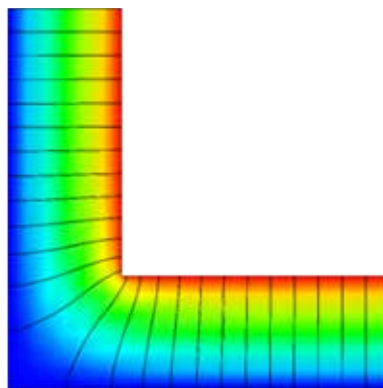


Abbildung 3: Wärmebild mit Wärmestromlinien

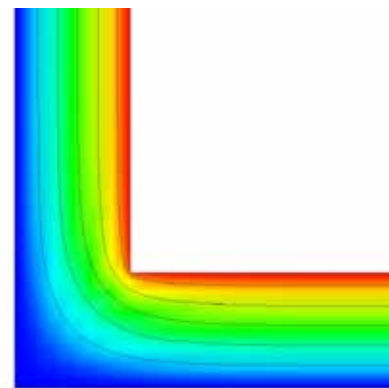


Abbildung 4: Wärmebild mit Isothermen

Linienförmige Wärmebrücken

Linienförmige Wärmebrücken sind Störungen der thermischen Hülle, die bezogen auf eine bestimmte Länge der Hülle auftreten. Typische Beispiele hierfür sind Balkonanschlüsse bei denen die Deckenplatte durch die Wand läuft (siehe **Balkone bzw. ungedämmte auskragende Bauteile**), Außenwandkanten, Deckenaufleger und Fensterlaibungen. Die energetischen Verluste, die durch eine linienförmige Wärmebrücke auftreten werden durch den **längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ -Wert** dargestellt.

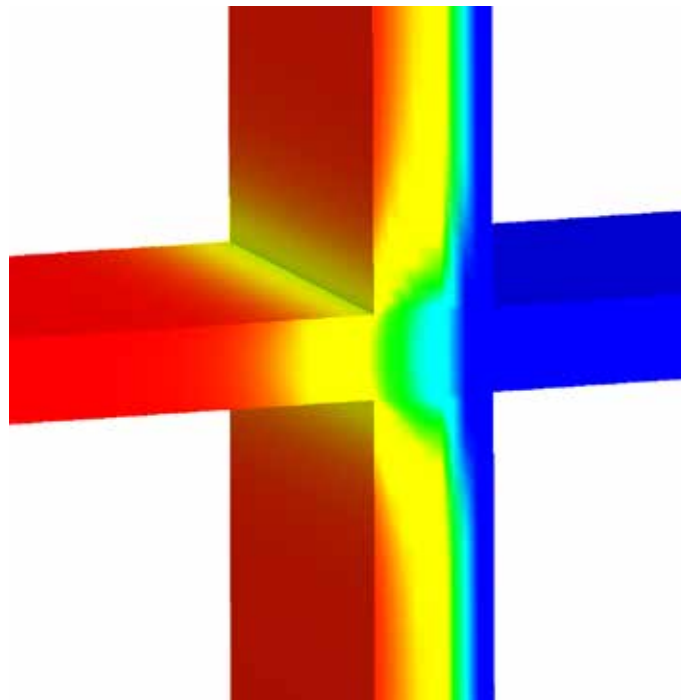


Abbildung 5A: Darstellung einer linienförmigen Wärmebrücke an einem linienförmigen Balkonanschluss. Links ist der warme Innenraum mit roter Oberfläche, rechts der kalte Außenraum mit blauer Oberfläche. An den Innenecken ist durch die gelb-grüne Färbung der Innenoberfläche gut zu erkennen, dass hier sehr niedrige Oberflächentemperaturen erreicht werden.

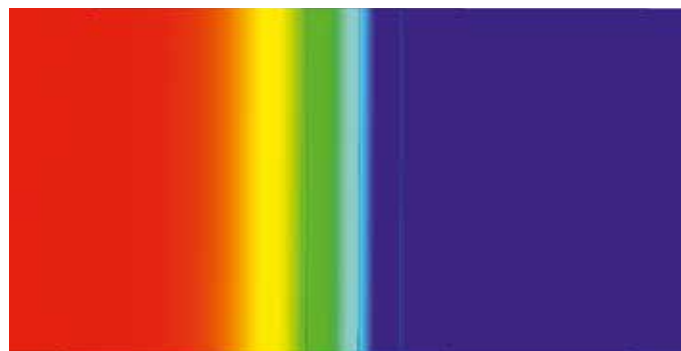


Abbildung 5B: Aufsicht; hier ist ein Schnitt durch die in 5A gezeigte Balkonplatte dargestellt. Es ist zu sehen, dass die Wärmeverluste über die Anschlusslänge des Balkons gleichbleiben, also linienförmig sind.

Punktförmige Wärmebrücken

Punktförmige Wärmebrücken sind Störungen der thermischen Hülle die lokal so stark begrenzt sind, dass sie nur punktuell auftreten. Typische Beispiele sind Befestigungselemente wie Dübel, dämmschichtdurchstoßende Stützen und Anker von Vorhangfassaden. Die energetischen Verluste durch punktuelle Wärmebrücken werden durch den **punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten χ -Wert** dargestellt.

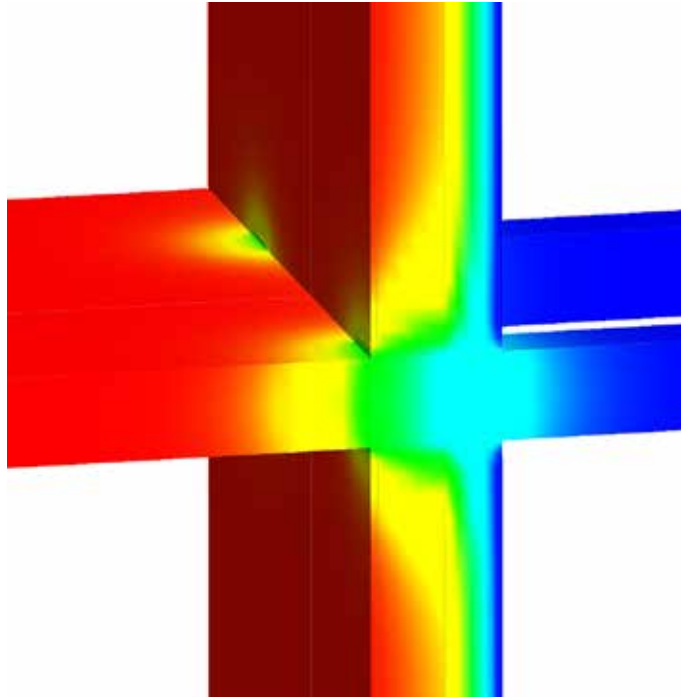


Abbildung 6A: Darstellung einer punktförmigen Wärmebrücke an einem punktförmigen Balkonanschluss. Hier sind von Außen Stahlträger an eine Betondecke angeschlossen. Links ist der warme Innenraum mit roter Oberfläche, rechts der kalte Außenraum mit blauer Oberfläche. An den Innenecken ist durch die gelb-grüne Färbung der Innenoberfläche gut zu erkennen, dass hier an zwei Stellen sehr niedrige Oberflächentemperaturen erreicht werden.

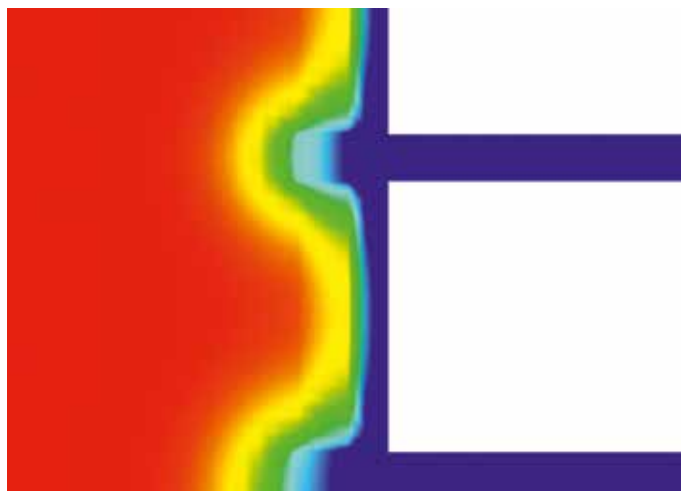


Abbildung 6B: Aufsicht; hier ist ein Schnitt durch die in 6A dargestellte Balkonplatte dargestellt. Es ist zu sehen, dass die Wärmeverluste durch die beiden durchlaufenden Träger verursacht werden. Hier sind die Wärmeverluste lokal begrenzt, also punktuell.

Dreidimensionale Wärmebrücken (Raumecken)

Hierbei handelt es sich um Wärmebrücken, die dreidimensional betrachtet werden müssen. Typisches Beispiel hierfür ist eine Raumecke. In Abbildung 2 wurde bereits dargestellt, wie sich der **Wärmestrom** durch eine zweidimensionale Raumecke verhält. Bei einer dreidimensionalen Raumecke wird dieses Problem noch verstärkt. Bereits bei einer zweidimensionalen Raumecke ist die Oberflächentemperatur innenseitig in der Ecke am niedrigsten. Bei einer dreidimensionalen Ecke erhöht sich das ungünstige Verhältnis Außenoberfläche zu Innenoberfläche, so dass die Oberflächentemperatur hierdurch weiter sinkt.

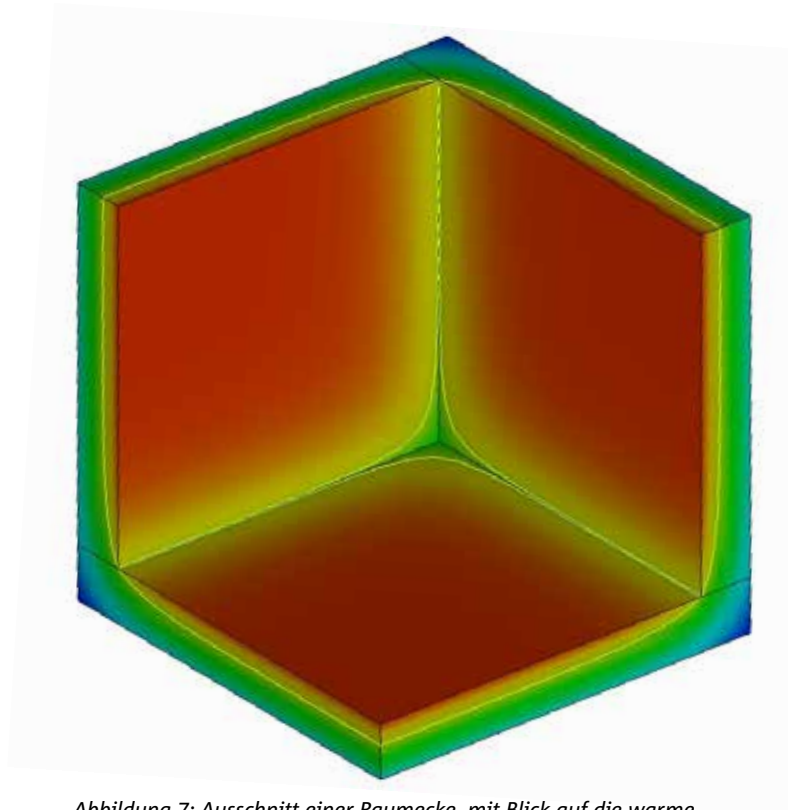


Abbildung 7: Ausschnitt einer Raumecke, mit Blick auf die warme Innenecke. Der angrenzende Außenraum ist kalt, daher ist über die Bauteilquerschnitte der Wärmeverlauf von Rot nach Blau (warm nach kalt) zu sehen. Während in den drei linienförmigen Gebäudeecken linienförmige Wärmebrücken zu sehen sind, ist der ungünstigste geometrische Punkt die Raumecke an der auch der kälteste Bereich festzustellen ist.

Wärmebrücken im Passivhaus

Die Anforderungen des Passivhaus Instituts an den baulichen Wärmeschutz stellen heute einen sehr hohen Wärmedämmstandard der Gebäudehülle dar.

Das Passivhaus Institut definiert dabei auch die Anforderungen an Wärmebrücken selbst: „Alle Kanten, Ecken, Anschlüsse und Durchdringungen müssen besonders sorgfältig geplant und ausgeführt werden, um Wärmebrücken zu vermeiden.

Wärmebrücken, die nicht vermieden werden können, müssen soweit wie möglich minimiert werden.“¹

Damit ist klar, dass die Wärmebrücke in dieser Bauweise eine hohe Beachtung erhält. Die wichtigsten Anforderungen an Wärmebrücken sind dabei, dass die Mindestoberflächentemperatur über 17 °C liegt, dass die Konstruktion dauerhaft luftdicht ausgeführt wird und dass die Grenzwerte für die Energieverluste eingehalten werden. Letztere sind abhängig von der Art der Wärmebrücke.

„Zertifizierte Passivhaus Komponente“

Die Kriterien nach denen ein Produkt auf seine Passivhaustauglichkeit geprüft wird unterscheiden sich dabei für die jeweiligen Produktgruppen wie Türen, Fenster, Balkone usw. Das Passivhaus Institut unterstützt damit Planer, indem es energetisch hochwertige Bauprodukte und Lösungen untersucht und diese als „**Zertifizierte Passivhaus Komponente**“ klassifiziert. Dies gilt, wenn der Wärmeverlustkoeffizient ψ einer linearen Wärmebrücke kleiner oder gleich 0,01 W/(mK) ist.²

„Energiespar-Komponenten“

Das Passivhaus hat hierzu allerdings noch eine zweite Kategorie entwickelt mit der es des Weiteren wärmebrückenarme Komponenten auszeichnet. Diese werden als „**Energiespar-Komponenten**“ deklariert. Die Idee dabei ist Wärmebrückenlösungen die die hohen Anforderungen für eine „Zertifizierte Passivhaus Komponente“ nicht erfüllen dennoch positiv herauszustellen. In diesen Fällen stellen diese die besten Lösungen dar, so dass man dem Planer hiermit eine Hilfestellung bietet um das für ihn am besten geeignete Produkt zu wählen.

Weiterführende Angaben zum Passivhausstandard sind im Kapitel Normen und Regelwerke aufgeführt.

¹ www.passiv.de

² W.Feist, R. Pfluger, B. Kaufmann, J. Schnieders, O. Kah: „Passivhaus Projektierungspaket 2007 – Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser“, Passivhaus Institut, Darmstadt, Juni 2007.

Feuchteschutz

Feuchteschutz allgemein

Feuchte in Gebäuden entsteht durch die Art der Nutzung wie z.B. durch Kochen oder durch Baden. Sie kann aber auch durch aufsteigende Feuchte aus dem Erdreich verursacht werden.

Als Folge können sich Organismen wie Schimmelpilze ansiedeln. An der Baustoffsubstanz können Schäden durch Frost und Korrosion entstehen. Des Weiteren verschlechtert sich der Wärmeschutz feuchter Baumaterialien erheblich, die Folge sind erhöhte Wärmeverluste.

Um solche negativen Auswirkungen zu vermeiden, müssen die Anforderungen an den Feuchteschutz eingehalten werden. Für einen zuverlässigen Feuchteschutz gibt es Kenngrößen wie den **Temperaturfaktor** und die **raumseitige Oberflächentemperatur**, deren Grenzwerte einzuhalten sind.

Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit bezeichnet allgemein den Anteil von Wasserdampf im Luftgemisch. Wieviel Wasserdampf in der Luft enthalten ist, hängt (neben dem Luftdruck) von der Temperatur ab. Je höher die Temperatur umso mehr Wasserdampf kann in der Luft gebunden werden.

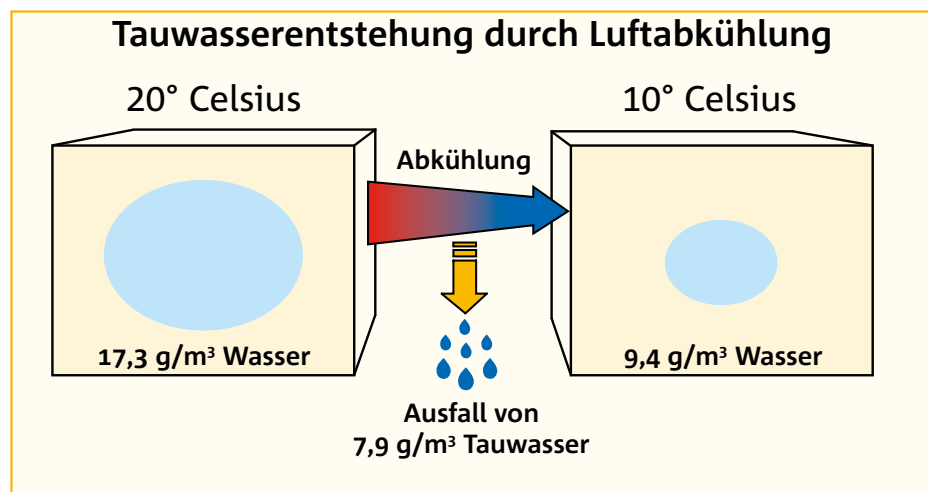


Abbildung 8: Tauwasserentstehung am Beispiel eines m³ Luft; Ein mit Luft gefüllter Würfel (links) enthält eine gewisse Menge Wasserdampf. Kühlt man diese Luft ab, kann weniger Wasserdampf gehalten werden (rechts), Tauwasser fällt aus.

Wie in Abbildung 8 zu sehen, fällt beim Abkühlen von Luft ein Teil des enthaltenen Wasserdampfs als Tauwasser aus. Dies ist ein typisches Problem an kalten Oberflächen in beheizten Räumen. Bei hoher Luftfeuchtigkeit besteht an kalten Oberflächen des Weiteren, bereits bevor es zum **Tauwasserausfall** kommt, die Gefahr von **Schimmelpilzbildung**. Um den Einfluss des Feuchtegehalts der Luft auf diese Prozesse zu beschreiben wird die **relative Luftfeuchtigkeit** verwendet.

Die relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit beschreibt als prozentualer Wert wie stark die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Hierbei sind 100% relative Luftfeuchte das maximale Fassungsvermögen der Luft. Dabei ist zu beachten, dass die relative Feuchte sich auf die vorherrschende Temperatur bezieht. Da von der Temperatur die maximal aufnehmbare Wasserdampfmenge abhängt, ändert sich mit der Temperatur auch die relative Luftfeuchtigkeit. Senkt man beispielsweise die Raumluft von 20 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50% auf 18 °C ab, steigt die relative Luftfeuchtigkeit um 7%. Grund dafür ist, dass bei sinkender Temperatur die maximal aufnehmbare Wasserdampfmenge abnimmt.

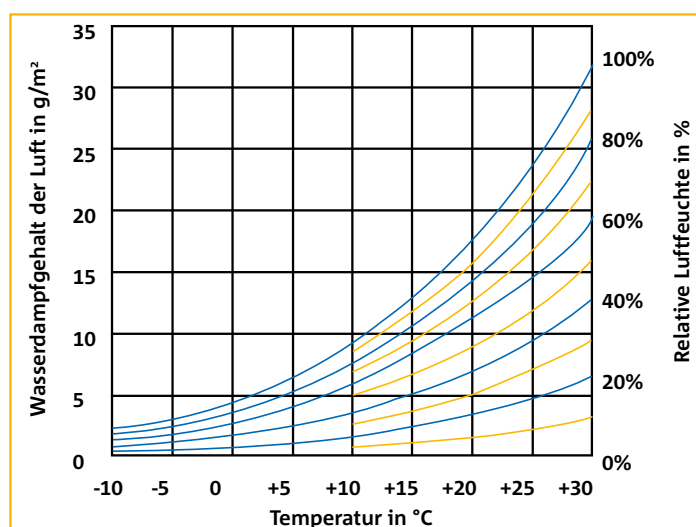


Abbildung 9: Carrier-Diagramm nach ÖNORM B 8110-2, auch als Sättigungskurve bezeichnet, stellt die Beziehung zwischen aufnehmbarem Wasserdampfgehalt, relativer Luftfeuchte und Temperatur dar.

Tauwasserausfall

Tauwasserausfall (umgangssprachlich: Kondenswasserbildung) bezeichnet die Kondensation von Feuchtigkeit an kühlen Oberflächen. Dabei sinkt die Temperatur, der an ein kaltes Bauteil angrenzenden Luftschicht. Bei sinkender Temperatur nimmt das Feuchtehaltevermögen von Luft ab. Dabei wird die in der Raumluft enthaltene Feuchtigkeit in flüssiger Form an der kalten Oberfläche abgegeben: Tauwasser „fällt aus“, siehe Abbildung 8. Die Grenztemperatur ab der diese Situation eintritt, wird als **Taupunkttemperatur** bezeichnet.

Die **Taupunkttemperatur** hängt von der Raumlufttemperatur und der Raumluftfeuchte ab (siehe Abbildung 10). Je höher die relative Feuchtigkeit im Raum und je höher die Raumlufttemperatur, desto höher ist die Taupunkttemperatur, d. h. desto eher bildet sich an kälteren Oberflächen Tauwasser.

Das übliche Raumluftklima in Innenräumen liegt im Mittel bei ca. 20 °C und bei ca. 50% relativer Raumluftfeuchte. Das ergibt eine Taupunkttemperatur von 9,3 °C. In stärker feuchtebelasteten Räumen, wie z. B. im Bad, werden auch höhere Feuchten von 60% und mehr erreicht. Entsprechend höher liegt die Taupunkttemperatur und das Risiko von Tauwasserbildung nimmt zu. So beträgt die Taupunkttemperatur bei einer Raumluftfeuchte von 60% bereits 12,0 °C. An der Steilheit der Kurve in Abbildung 10 erkennt man sehr gut diese sensible Abhängigkeit der Taupunkttemperatur von der Raumluftfeuchte: bereits kleine Erhöhungen der Raumluft-

feuchte führen zu einer wesentlichen Erhöhung der Taupunkttemperatur der Raumluft. Dies hat eine deutliche Erhöhung des Risikos von Tauwasserausfall an den kalten Bauteiloberflächen zur Folge.

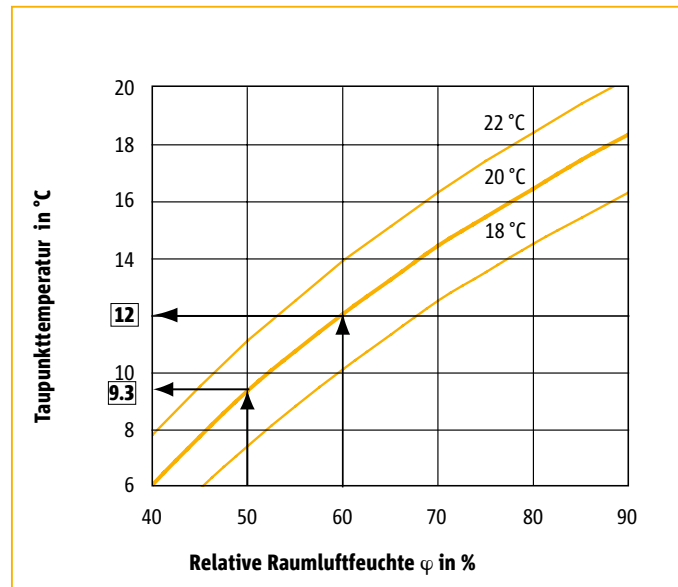


Abbildung 10: Abhängigkeit der Taupunkttemperatur von Raumlufffeuchte und -temperatur

Beispiele: Ein Schrank an einer Außenwand; die Luftfeuchte zwischen Wand und Schrank kann sich absetzen da hier kaum ein Luftstrom wirkt. Ähnlich kann es sich mit Vorhängen verhalten hinter denen im Fensterbereich Tauwasser ausfallen kann.

Tauwasser im Bauteilinneren

Mit dem Glaser-Verfahren nach ÖNORM B 8110-2 kann sowohl die Gefahr von Tauwasserausfall als auch die zu erwartende Tauwassermenge ermittelt werden.

Rahmenbedingungen und Anwendungsgrenzen: Das Glaser-Verfahren betrachtet nur stationäre Verhältnisse. Dabei wird beispielsweise der Einfluss der Feuchte auf die Wärmeleitfähigkeit nicht berücksichtigt, die Analyse bezieht sich nur auf die Betrachtung der Grenzflächen zwischen den Baustoffen.

Schimmelpilzbildung

Die für das Schimmelpilzwachstum notwendige Feuchtigkeit auf Bauteiloberflächen wird bereits ab Raumluftheuchten von 80 % erreicht.

D. h. es wird sich dann an kalten Bauteiloberflächen Schimmelpilz bilden, wenn die Bauteiloberfläche mindestens so kalt ist, dass sich in der direkt anliegenden Luftschicht eine Feuchte von 80 % einstellt. Die Temperatur, bei der dies auftritt, ist die sogenannte „**Schimmelpilztemperatur**“ θ_s . Schimmelpilzwachstum tritt somit bereits bei Temperaturen oberhalb der **Taupunkttemperatur** auf.

Für das Raumklima 20 °C und 50 % rel. Feuchte beträgt die Schimmelpilztemperatur 12,6 °C (siehe Abbildung 11), ist also 3,3 °C höher als die Taupunkttemperatur (siehe Abbildung 10). Deshalb ist zur Vermeidung von Bauschäden durch Schimmelpilzbildung die Schimmelpilztemperatur maßgebend. Somit müssen die Oberflächentemperaturen oberhalb der Schimmelpilztemperatur liegen. (Forderung der ÖNORM B 8110-2 mit Randbedingungen: Außentemperatur: -5 °C / Innentemperatur: +20 °C)

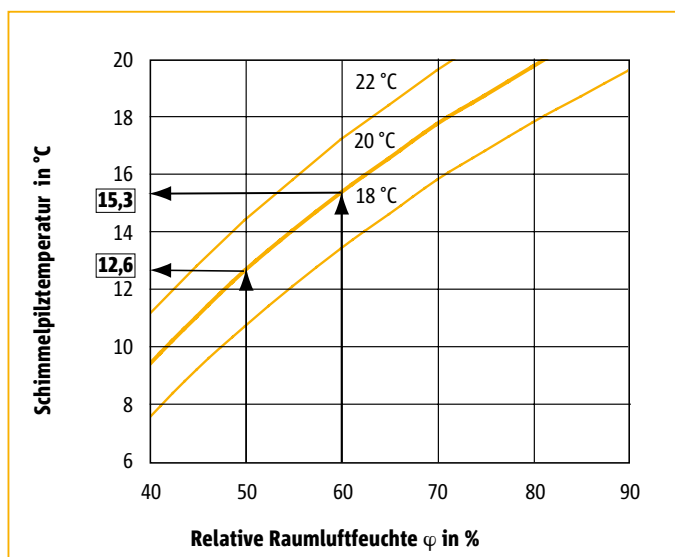


Abbildung 11: Abhängigkeit der Schimmelpilztemperatur von Raumluftheuchte und -temperatur

Zusammenfassend ist festzuhalten; Es reicht nicht aus, wenn die inneren Oberflächen wärmer sind als die Taupunkttemperatur der Raumlufte: Die Oberflächentemperaturen müssen auch oberhalb der Schimmelpilztemperatur liegen! Der Grenzwert für die relative Feuchte auf der Bauteiloberfläche liegt bei 80%. Für eine übliche Innenraumtemperatur von 20 °C und bei einer relativen Feuchte von 50% wird dieser bei einer Innenoberflächentemperatur von 12,6 °C erreicht.

$$\theta_{\min} \geq 12,6 \text{ °C}$$

Häufige Probleme mit Schimmelpilzbildung treten in der Altbausanierung auf. Zumeist verursachen alte Fenster hohe Wärmeverluste. Dies hat zur Folge, dass dort besonders niedrige Oberflächentemperaturen erreicht werden. Tauwasserausfall an den Fensterscheiben sind daher ein häufiges Phänomen. Werden bei Sanierungsmaßnahmen die Fenster erneuert, steigen die Oberflächentemperaturen und durch die erhöhte Dichtigkeit neuer Fensterlaibungen steigt auch die rel. Luftfeuchtigkeit. Die Folge ist, dass Schimmelpilzbildung bereits bei Oberflächentemperaturen über 12,6°C auftreten kann. Dies kann nur durch regelmäßiges Lüften vermieden werden.

Temperaturfaktor f

Der Temperaturfaktor beschreibt die wärmedämmende Qualität von Außenbauteilen und ist ein Kennwert um die Gefahr von Schimmelpilzbildung an einer Konstruktion abschätzen zu können.

Definiert ist der Temperaturfaktor f_{Rsi} als Temperaturdifferenz zwischen **raumseitiger Oberflächentemperatur** und Außenlufttemperatur ($\theta_{si} - \theta_e$) bezogen auf die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft ($\theta_i - \theta_e$):

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Mindestanforderung nach ÖNORM B 8110-2

Die Mindestanforderung für den f_{Rsi} -Wert dient zur Vermeidung von Schädigungen der Bausubstanz durch Tauwasserausfall. Hierfür gilt:

$$f_{Rsi} \geq 0.71$$

Entweder können Wärmebrücken nach Wärmebrückenkatalogen ausgebildet werden oder es muss ein $f_{Rsi} > 0,71$ an der ungünstigsten Stelle der Konstruktion numerisch nachgewiesen werden.

Der f_{Rsi} -Wert ist ein relativer Wert und hat somit den Vorteil, dass dieser nur von der Konstruktion der Wärmebrücke, und nicht wie θ_{si} von den angesetzten Außenluft- und Innenlufttemperaturen abhängt. Der Temperaturfaktor besitzt den Wert $f=1$, wenn die minimale raumseitige Oberflächentemperatur θ_{min} der Raumlufttemperatur entspricht und $f=0$ wenn sie der Außenlufttemperatur entspricht (siehe Abbildung 12).

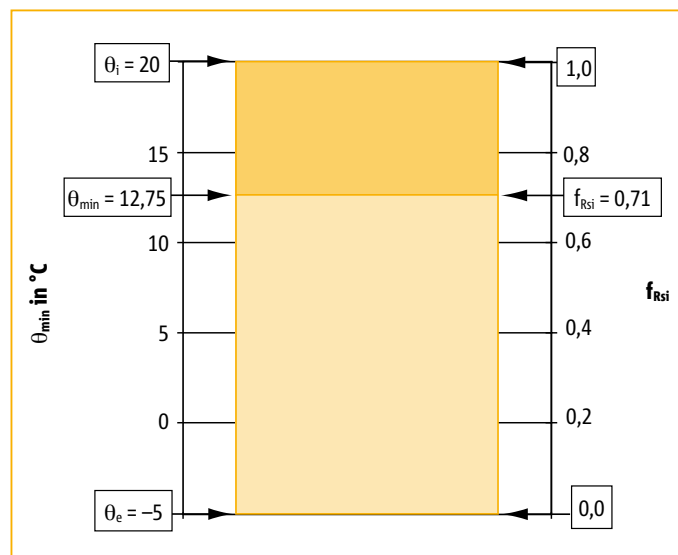


Abbildung 12: Zur Definition des f_{Rsi} -Wertes

Raumseitige Oberflächentemperatur θ_{si}

Die raumseitige Oberflächentemperatur θ_{si} gibt Auskunft über die **Wärmeleitfähigkeit** eines Bauteils. Ist die raumseitige Oberflächentemperatur trotz hoher Innenraumtemperaturen niedrig, lässt sich daraus schließen, dass durch das Bauteil viel Wärmeenergie nach außen geleitet wird.

Im Bereich von Wärmebrücken treten die niedrigsten Oberflächentemperaturen auf, daher spricht man in diesem Zusammenhang auch von der minimalen Oberflächentemperatur $\theta_{si,min}$. Der Wert der minimalen Oberflächentemperatur ist entscheidend dafür, ob an einer Wärmebrücke Tauwasser ausfällt oder sich Schimmel bildet. Die minimale Oberflächentemperatur ist also ein Kennwert für die feuchtetechnischen Auswirkungen einer Wärmebrücke. $\theta_{si,min}$ hängt somit unmittelbar von dem konstruktiven Aufbau einer Wärmebrücke ab (Geometrien und Wärmeleitfähigkeiten der die Wärmebrücke bildenden Materialien).

Normen und Regelwerke

Allgemeines

In der Regel sind die bautechnischen Anforderungen in Österreich in den Baugesetzen, Bauordnungen bzw. Bautechnikverordnungen der einzelnen Bundesländer festgelegt. Folglich waren / sind die Gesetze bzw. Verordnungen in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich.

Für die Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften wurde in der Generalversammlung des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) beschlossen, die OIB-Richtlinien einzuführen.

„Die OIB-Richtlinien dienen der österreichweiten Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften. Sie werden vom OIB herausgegeben und von den Ländern ins Baurecht übernommen.“¹

Die technischen Anforderungen an die Energieeinsparung und den Wärmeschutz sind in der OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ geregelt. Die OIB-Richtlinie 6, Ausgabe 2011 derzeit noch nicht in allen Bundesländern gesetzlich verpflichtend eingeführt (Sonderfall Salzburg). Im Bundesland Salzburg ist diese OIB-Richtlinie 6 noch nicht in Kraft. Hier sind die Anforderungen an die Energieeinsparung und den Wärmeschutz weiterhin in der OIB Richtlinie 6, Ausgabe 2007 festgelegt, bzw. der Bautechnikverordnung-Energie (BTV-E), Ausgabe 2011 zu entnehmen.

OIB-Richtlinie 6, Ausgabe 2011

In der OIB-Richtlinie 6, Ausgabe 2011 wird Folgendes geregelt:

- Anforderungen und Anmerkungen zu Energieeffizienz und Wärmeschutz unter Einbeziehung von ökologischen Aspekten (z.B. Nutzenergiebedarf, Endenergiebedarf, Primärenergiebedarf, Kohlendioxidemission, Gesamtenergieeffizienz-Faktor, Konversionsfaktor, Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes (Inhalt und Layout eines Energieausweises))
- technische Anforderungen an Bauteile bzw. an das Gebäude (z.B. U-Wert, Luft- und Winddichte, sommerliche Überwärmung)
- Anforderungen/Anmerkungen zur Haustechnik (z.B. Mindestdämmstärken der Leitungen bzw. Armaturen)

ÖNORM B 8110-2, Ausgabe 2003-07-01

Die ÖNORM B 8110-2, Ausgabe 2003-07-01 gibt Folgendes an:

- Baukonstruktionen ohne Wasserdampfkondensation an der Innenwandoberfläche unter Berücksichtigung des Risikos von Schimmelbildung (Vermeidung kritischer Baukonstruktionen, insbesondere von Wärmebrücken) und ohne schädliche Wasserdampfkondensation im Bauteilinneren,
- Durchführung der rechnerischen Nachweise über die Gebrauchstauglichkeit von Baukonstruktionen im Hinblick auf Wasserdampfdiffusion und -kondensation unter Zugrundelegung von Innenluftbedingungen entsprechend der Raumwidmung, sowie
- Hinweise für die Vermeidung schädlicher Innenluftbedingungen (zu feuchte Innenluft)

¹ www.oib.or.at/de/

Bezüglich der Feuchtigkeitsbeanspruchung aus dem Gebäudeinneren ist diese ÖNORM für die bauphysikalische Planung von Gebäuden und für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit bestehender Gebäude anzuwenden.

Der rechnerische Nachweis ist gemäß den Abschnitten 7 und 8 dieser Norm zu führen.

In Abschnitt 10 sind bauphysikalische Konstruktionsregeln für Bauteile angegeben, bei deren Einhaltung kein diffusionstechnischer Nachweis erforderlich ist (Kondensation im Bauteilinneren).

Für Baukonstruktionen gemäß den Beiblättern 2 und 3 zu dieser ÖNORM darf der rechnerische Nachweis für die Vermeidung von Oberflächenkondensation und Schimmelbildung entfallen.

ÖNORM B 8110-6, Ausgabe 2010-01-01

Grundsätzlich sind in der ÖNORM B 8110-6, Ausgabe 2010-01-01 Anforderungen/ Anmerkungen, sowie Methoden und Formeln zur Berechnung des Lüftungs-Leitwertes L_v , der Gesamtwärmeverluste Q_l , der Gesamtwärmegewinne Q_g , des Heizwärmebedarfs / Kühlbedarfs und bauphysikalische Energiekennzahlen ausgewiesen.

Zum Thema Wärmebrücken sind Formeln zur detaillierten Berechnung des Leitwertzuschlages L_ψ für zweidimensionale Wärmebrücken und L_χ für dreidimensionale Wärmebrücken, sowie zur vereinfachten Berechnung des Transmissions-Leitwertes L_T (Angaben zur Berücksichtigung von Wärmebrücken) angegeben.

Anforderungen an Wärmebrücken

Regelungen zum Thema Wärmebrücken sind der OIB-Richtlinie 6 zu entnehmen. Darin ist folgend formuliert:

„Generell sind Gebäude und Änderungen an solchen so zu planen und auszuführen, dass Wärmebrücken möglichst minimiert werden.“

Die Ermittlung des Einflusses von Wärmebrücken auf den Wärmeverlust ist in ÖNORM B 8110-6 - Wärmeschutz im Hochbau Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, Ausgabe 2010-01-01 geregelt. Die Problematik Kondensat- und Schimmelbildung und das Nachweisverfahren dazu ist in ÖNORM B 8110-2 - Wärmeschutz im Hochbau Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, Ausgabe 2003-07-01 und den zugehörigen Beiblättern geregelt.

Weiterführende Berechnungsnormen

- ÖNORM B 8110-5 - Wärmeschutz im Hochbau
Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile, Ausgabe 2011-03-01
- ÖNORM B 8110-1 - Wärmeschutz im Hochbau
Teil 1: Deklaration des Wärmeschutzes von Niedrig- und Niedrigstenergiegebäuden - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, Ausgabe 2011-11-01
- ÖNORM EN ISO 10211 - Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen, Ausgabe 2008-04-01
- ÖNORM EN ISO 13788 - Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren, Ausgabe 2013-04-01
- ÖNORM EN ISO 14683 - Wärmebrücken im Hochbau - Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient - vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte, Ausgabe 2008-04-01
- ÖNORM EN ISO 6946 - Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren, Ausgabe 2008-04-01

Passivhaus-Standard

Der Passivhaus-Standard stellt sehr hohe Anforderungen an Qualität und Energieeffizienz von Gebäuden. Dabei ist die sicherlich wichtigste Eigenschaft eines Passivhauses die Anforderung an den **Heizwärmebedarf**, der nicht mehr als 15 kWh/m²a betragen darf. Das entspricht etwa 1,5 l Heizöl pro m² und Jahr.

Diese Anforderung kann nur umgesetzt werden, indem besonders viel Aufmerksamkeit auf die Detailausführung gelegt wird. Dabei muss besonders auf die Luftdichtigkeit und die Ausführung von Wärmebrücken geachtet werden (siehe dazu **Wärmebrücken im Passivhaus**), indem Wärmeverluste durch Undichtigkeiten vermieden werden und gleichzeitig passivhausgeeignete Komponenten wie hochwertige Wand- und Fensterbauteile verwendet werden. Um die Wärmeverluste durch Lüftung zu reduzieren verfügen Passivhäuser über automatische Lüftungsanlagen mit Wärmetauscher. D.h. die Wärme wird der Abluft entzogen und der Frischluft zugeführt.

Durch die energiesparende Bauweise ist der Energiebedarf eines Passivhauses damit gering. Die energetischen Gewinne in einem Passivhaus werden durch große Fensterflächen, interne Gewinne wie elektrische Geräte, die Bewohner und eine kleine Zusatzheizung verursacht. Um den **sommerlichen Wärmeschutz** gewährleisten zu können müssen ausreichend Verschattungsmöglichkeiten für die Fensterflächen eingeplant werden. Damit kann zu jeder Zeit ein behagliches Raumklima gewährleistet werden.

Zusammenfassung:

- Hohe Anforderungen an den U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) aller Bauteile
- Vermeidung von Wärmebrücken durch sorgfältige Ausführung
- Große Fensterflächen in Richtung Süden ermöglichen hohe solare Gewinne
- Anlagentechnik zur Lüftungswärmerückgewinnung reduzieren Wärmeverluste durch Lüftung
- Die Luftdichtheit der Gebäudehülle verhindert Wärmeverluste durch Fugen und Spalten

Konstruktive Wärmebrücken

Ursache

Bauteilanschlüsse stellen sogenannte konstruktionsbedingte Wärmebrücken dar. Diese müssen mit viel Sorgfalt geplant und ausgeführt werden.

Konstruktionsbedingte Wärmebrücken entstehen im Umfeld von konstruktiven Anschlüssen, zum Beispiel bei Balkonauskragungen oder Dach/Außenwand-Verbindungen.

In der Praxis können Bauteilanschlüsse oft hohe Wärmeverluste und niedrige raumseitige Oberflächentemperaturen aufweisen. **Tauwasserausfall** und **Schimmelpilzbildung** können die Folge sein.

Balkone bzw. ungedämmte auskragende Bauteile

Bei ungedämmten auskragenden Bauteilen wie beispielsweise Stahlbeton-Balkonen oder Stahlträgern ergibt das Zusammenwirken der **geometrischen Wärmebrücke** (Kühlrippeneffekt der Auskragung) sowie der **materialbedingten Wärmebrücke** (Durchstoßen der Wärmedämmebene mit Stahlbeton oder Stahl) einen starken Wärmeabfluss. Auskragungen zählen unter anderem zu den kritischsten Wärmebrücken in der Gebäudehülle. Mögliche Folgen ungedämmter Auskragungen sind erhebliche Wärmeverluste und eine signifikante Absenkung der inneren Oberflächentemperatur im Detailbereich.

Dies führt zu deutlich erhöhten Heizkosten und einem erhöhten Schimmelpilzrisiko im Anschlussbereich der Auskragung.

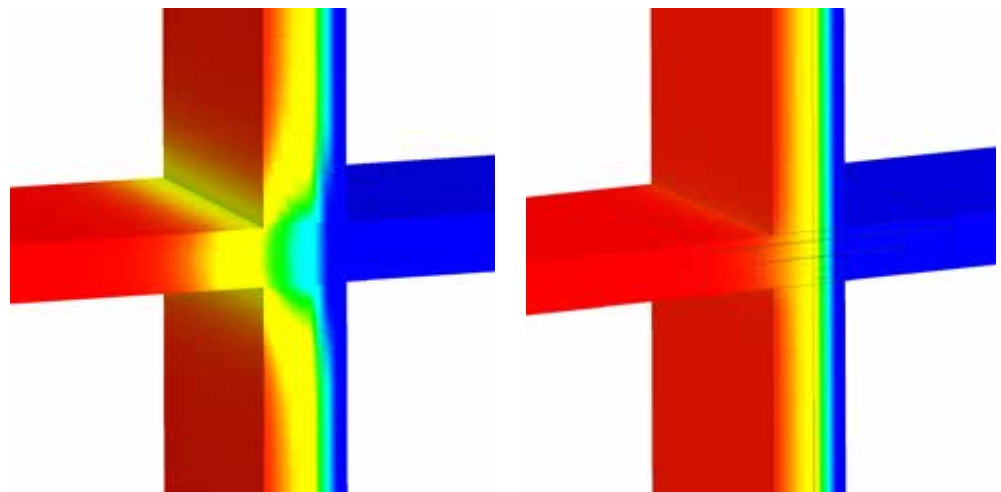


Abbildung 14: Durchlaufende Balkonplatte gegenüber Lösung mit Schöck Isokorb®; Links: durchlaufende Balkonplatte ohne thermische Trennung, Rechts: Mit Schöck Isokorb® thermisch getrennte Balkonplatte

In Abbildung 14 ist der Temperaturverlauf einer Stahlbeton-Balkonplatte mit und ohne thermische Trennung farbig dargestellt. In der linken Abbildung ohne thermische Trennung zeigt sich deutlich die „Störung“ der parallel laufenden Isothermen (größere Anteile an blauen und somit kalten Bereichen). Die Wärmeverluste sind höher und die inneren Oberflächentemperaturen in der Kante (gelber Bereich) sind wesentlich niedriger im Vergleich zur rechten Abbildung mit thermischer Trennung. In der rechten Abbildung mit Schöck Isokorb® ist der Temperaturverlauf nahezu ungestört wie im Regel-Wandquerschnitt, der Wärmeverlust wird erheblich reduziert.

Attika

Bei Attika-Anschlüssen ergeben sich ähnliche wärmetechnische Problemstellungen wie bei Balkonen. Bei Attiken kommt es bei Außenecken zu 3-dimensionalen Wärmebrücken. Neben dem Einfluss der geometrischen Wärmebrücke (ungünstiges Oberflächenverhältnis innen/aussen) stellt die Verankerung der Attika in der Wand des Weiteren eine materialbedingte Wärmebrücke dar.

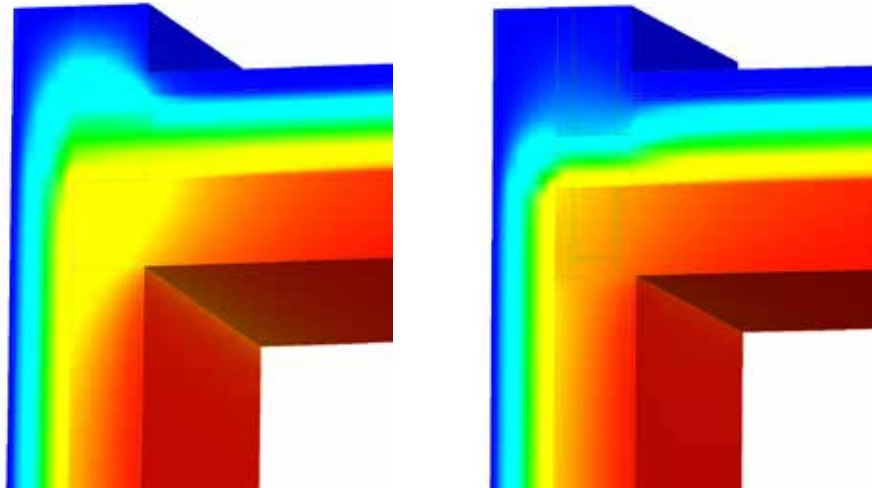


Abbildung 15: Durchlaufender Attikaanschluss gegenüber Lösung mit Schöck Isokorb®; Links: durchlaufender Attikaanschluss ohne thermische Trennung, Rechts: Mit Schöck Isokorb® thermisch getrennter Attikaanschluss

In der Abbildung 15 ist die Temperaturverteilung im Attika-Anschluss ohne (links) und mit (rechts) thermischer Trennung zu sehen. Der **Wärmestrom** fließt vom warmen (rot) zum kalten (blau) Bereich. Der Attika-Anschluss ohne thermische Trennung (links) weist hohe Wärmeenergieverluste durch die Attika auf, dies verursacht niedrige Innenoberflächentemperaturen. Während beim Anschluss mit thermischer Trennung (rechts) kaum Wärmeenergie durch das tragende Wärmedämmelement geleitet wird. Das zeigt sich durch die höheren inneren Oberflächentemperaturen in der Kante Wand/Decke.

Innendämmung

Wandaufbauten mit Innendämmung unterscheiden sich wärmetechnisch von Konstruktionen mit Außendämmung dadurch, dass die tragende Schicht der Wandkonstruktion auf der Außenseite und somit außerhalb der Dämmebene liegt. Bei Innendämmung muss, um eine Geschossdecke auf der Wand aufzulagern, die Dämmebene durchstoßen werden. Aus diesem Grund entstehen konstruktive Wärmebrücken bei Innendämmung typischerweise an den Auflagern der Geschossdecken. Wird in der Dämmebene keine thermische Trennung vorgesehen, wird vermehrt Wärmeenergie durch die Decke in die Wandkonstruktion und an die Umgebung (Aussenraum) abgegeben.

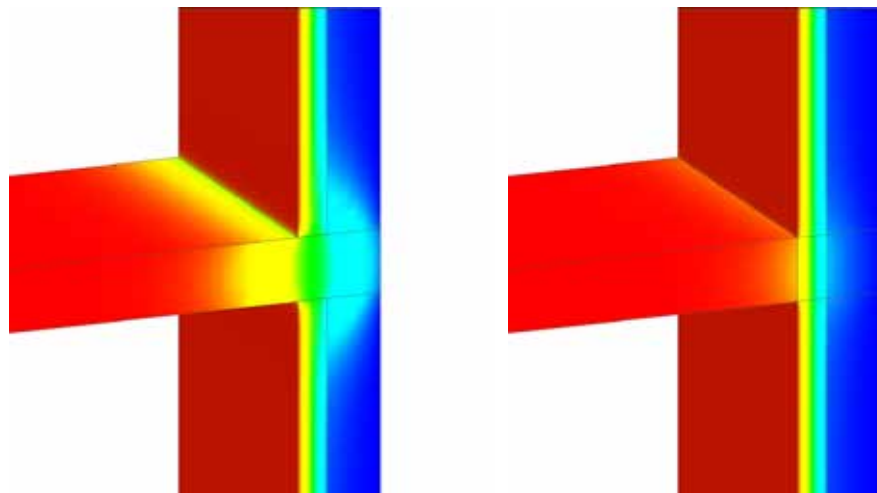


Abbildung 16: Durchlaufende Deckenplatte bei Innendämmung gegenüber Lösung mit Schöck Isokorb®; Links: durchlaufende Deckenplatte ohne thermische Trennung, Rechts: Mit Schöck Isokorb® thermisch getrennte Deckenplatte

Die Abbildung 16 zeigt den Vergleich zwischen einer thermisch getrennten Auflagerung der Geschossdecke (rechts) und einer Konstruktion mit Wärmebrücke (links). Wie in der Abbildung zu sehen, wird die Geschossdecke durch die Dämmebene geführt und verursacht (links) ohne thermische Trennung eine Wärmebrücke mit deutlich niedrigeren Oberflächentemperaturen (gelb-grüner Bereich). Durch die Verwendung eines tragenden Wärmedämmelements können Wärmeverluste und das Risiko von Schimmel- und Tauwasserbildung wesentlich reduziert werden.

Fassadenanker

Bei kerngedämmten Sandwich- oder Elementwänden müssen die beiden Betonschalen statisch miteinander verbunden werden. Häufig werden hierfür Edelstahl-Gitterträger verwendet. Problematisch hierbei ist die hohe Wärmeleitfähigkeit von Stahl. Dabei wirken die Gitterträger als Wärmebrücke durch die Dämmebene. Das bewirkt erhöhte Wärmeverluste, welche in der Energiebilanz berücksichtigt werden müssen.

Eine Alternative bietet der Schöck Thermoanker, er verbindet die äußere Schale der Element- und Sandwichwände nahezu ohne Wärmebrücken. Der Schöck Thermoanker aus Glasfaserbewehrung ersetzt den herkömmlichen Gitterträger und optimiert die Wand somit bauphysikalisch. Er dient als Verbindungselement und verbessert die Wärmedämmeigenschaft der Wand um 45% (im Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten). Dieses hervorragende Ergebnis wird durch seine niedrige Wärmeleitfähigkeit, $\lambda=0,71 \text{ W/(mK)}$ ermöglicht. Somit leitet der Schöck Thermoanker 20 mal weniger als Edelstahl (siehe Abbildung 17).

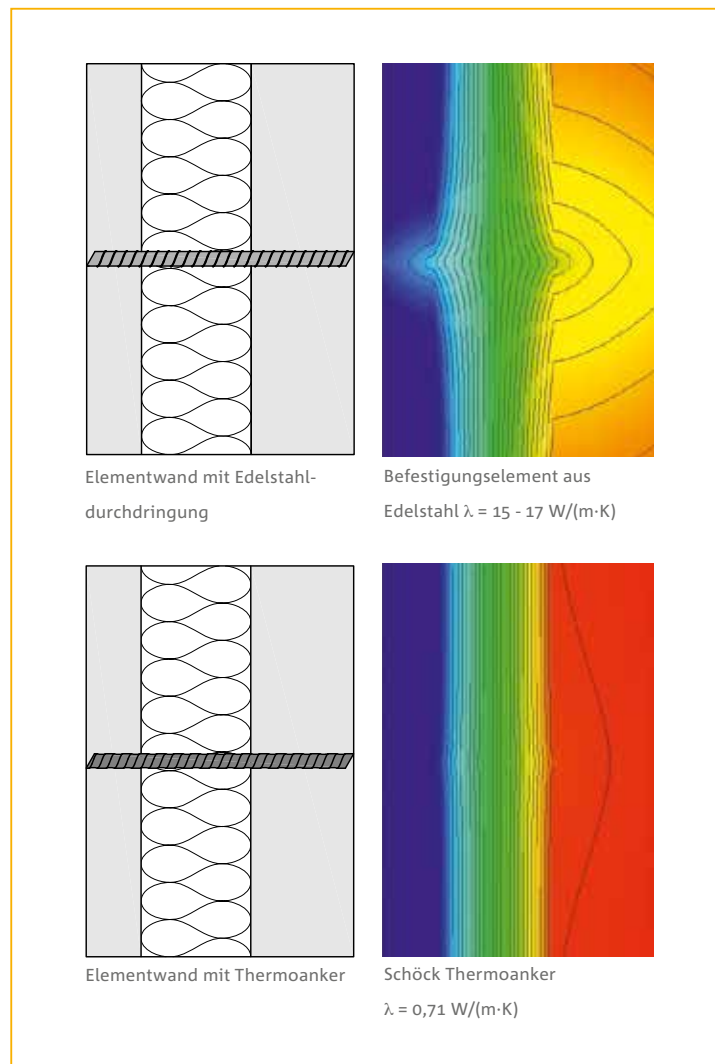


Abbildung 17: Kerngedämmte Elementwand mit Edelstahldurchdringung gegenüber Lösung mit Schöck Thermoanker

Gebäudesockel

Beim ungedämmten Gebäudesockel unterbricht das aufgehende Mauerwerk die Wärmedämmhülle des Gebäudes zwischen der Außenwanddämmung und der Dämmung der Kellerdecke. Dadurch bildet sich in Verbindung mit der hohen Wärmeleitfähigkeit der Mauersteine eine massive Wärmebrücke am Gebäudesockel aus (siehe Abbildung 18 links). Weiterhin ist der tatsächliche Wert der Wärmeleitfähigkeit entscheidend vom Feuchtegehalt des Baustoffes abhängig. Dieser negative Effekt schlägt beim aufgehenden Mauerwerk in hohem Maße zu Buche. Eine Zunahme um 1 Vol.-% Feuchtegehalt hat eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerkes um ca. 10% zur Folge. Ein Feuchtegehalt von 10-20 Vol.-% ist bei herkömmlichen Mauerwerk aufgrund des Feuchteintrages während der Bauphase üblich.

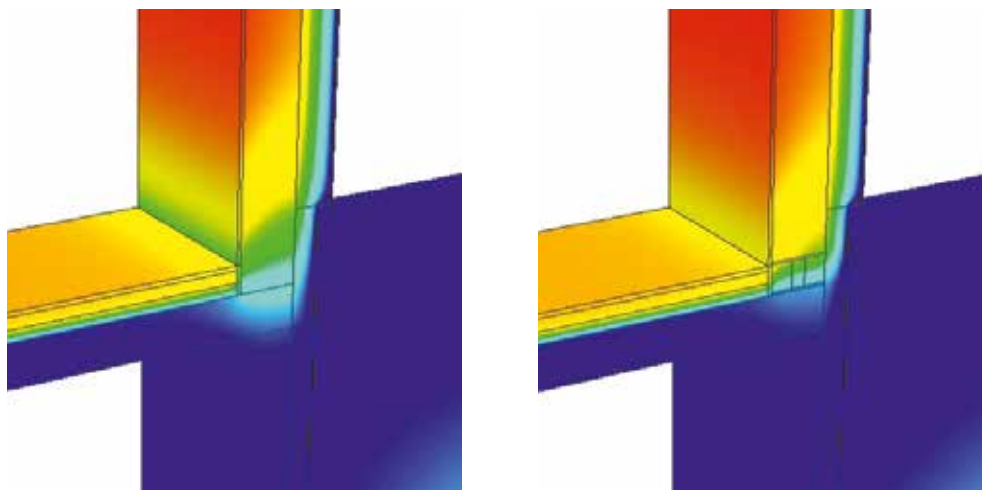


Abbildung 18: ungedämmter Gebäudesockel gegenüber Lösung mit Schöck Novomur®

Dies ist gleichbedeutend mit erhöhten Wärmeverlusten und dadurch erhöhten Heizkosten sowie einer Absenkung der raumsteigen Oberflächentemperatur mit darauf folgender Gefahr von Tauwasserausfall und Schimmelpilzbildung. Daher ist ein feuchteschutztechnisch optimierter Mauerfuß essentiell für eine effektive Wärmedämmebene.

Das tragende Wärmedämmelement Novomur® erfüllt die Symbiose zwischen Wärme- und Feuchteschutz optimal. Durch seine wasserabweisende Eigenschaft ist die geringe Wärmeleitfähigkeit bereits von Anfang an sichergestellt ohne, dass eine zusätzliche Vorkehrung für den Feuchteschutz erforderlich ist. Gepaart mit seiner hohen Tragfähigkeit ist Schöck Novomur® der optimale Mauerfuß für ihr Gebäude und schließt die Lücke in der Wärmedämmung zwischen Außenwanddämmung und der Dämmung über der Kellerdecke (siehe Abbildung 18 rechts).

Berechnung



Berechnen Sie Ihre Wärmebrücke selbst, schnell und einfach mit dem Wärmebrücken-Rechner.

Basierend auf dem λ_{eq} -Wert des Schöck Isokorb® können mit dem Schöck Wärmebrücken-Rechner komplexe bauphysikalische Eigenschaften für eine individuelle Konstruktion ermittelt werden. Dieser Wärmebrücken-Rechner basiert auf dem Wärmebrückenprogramm WinIso2D und führt Berechnungen auf einem eigenen Server in Echtzeit durch. (Der Wärmebrücken-Rechner befindet sich auf www.psi.schoeck.de und ist auf allen Endgeräten verfügbar.) Planer können damit eine bestimmte Wärmebrücke berechnen, bei der alle relevanten bauphysikalischen Eigenschaften ermittelt werden:

- **ψ -Wert** (längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke),
- **Oberflächentemperaturen**,
- **f_{Rsi} -Werte** (Temperaturfaktor: Grenzwert, der das Risiko für Schimmelpilzbildung beschreibt),
- **Isothermen-Verlauf** (graphische Darstellung der Temperaturverteilung mit Hilfe von Linien gleicher Temperatur) sowie
- **Protokoll und graphische Darstellung des Bauteilaufbaus und der Berechnungsergebnisse.**

Lexikon

Jährlicher Heizwärmebedarf

Der jährliche Heizwärmebedarf eines Gebäudes beschreibt die Energie, die notwendig ist, um ein Gebäude zu beheizen. Nicht beinhaltet sind dabei die Verluste der Anlagentechnik sowie die Verluste bei Energiegewinnung und Transport (siehe Abbildung 17).

Damit wird deutlich, dass es sich hierbei um eine Größe handelt, die nur einen sehr kleinen Ereignisrahmen betrachtet.

Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs

$$Q_h = 66 \cdot (H_T + H_v) - 95 \cdot (Q_s + Q_i)$$

- H_T : Spezifischer Transmissionswärmeverlust
- H_v : Spezifischer Lüftungswärmeverlust
- Q_s : Solare Gewinne
- Q_i : Interne Gewinne

Bei der Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs werden die Wärmeverluste durch alle Bauteile (Transmissionswärmeverluste) und durch Lüftung berücksichtigt. Dem werden die Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung und interne Gewinne wie durch elektrische Geräte gegenübergestellt.

Jahres-Primärenergiebedarf

Der Jahres-Primärenergiebedarf beschreibt den Energiebedarf von der Herstellung bzw. Gewinnung der Energiequelle sowie den Transport und den Verbrauch. Damit werden regenerative Energiequellen sowie effiziente Anlagentechnik und ein hoher Wärmedämmstandard positiv berücksichtigt.

Folglich betrachtet der Primärenergiebedarf den „tatsächlichen“ Energieverbrauch und bietet somit eine sehr umfassende Vergleichs- und Bewertungsmöglichkeit.

Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs

(vereinfachter Ansatz für Wohngebäude)

$$Q_p = (Q_h + Q_w) \cdot e_p$$

- Q_h : Jahres-Heizwärmebedarf
- Q_w : Zuschlag für Warmwasser
- e_p : Anlagenaufwandszahl

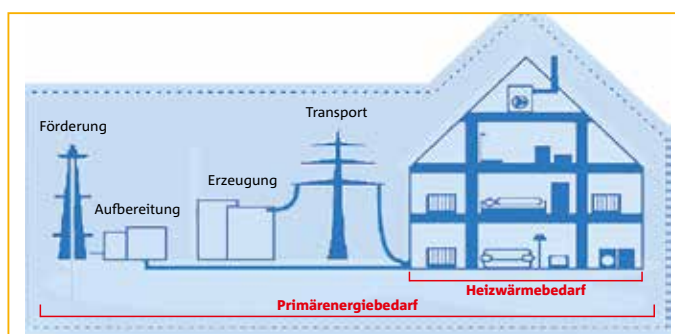


Abbildung 17: Darstellung zur Abgrenzung Primärenergiebedarf zu Heizwärmebedarf. Der Heizwärmebedarf definiert den Energieverbrauch im Gebäude der ab der Heizungsanlage zur Beheizung der Räume aufgewendet wird. Während der Primärenergiebedarf zusätzlich die Energiebeschaffung und die Qualität der Heizungsanlage beinhaltet.

Spezifischer Transmissionswärmeverlust Q_T

Der spezifische Transmissionswärmeverlust beschreibt die Wärmeverluste, die durch die Gebäudehülle abgegeben werden.

Zur Ermittlung der Transmissionswärmeverluste werden die energetischen Verluste durch die einzelnen flächigen Bauteile des Gebäudes sowie die Energieverluste durch Wärmebrücken summiert. Die Transmissionswärmeverluste durch flächige Bauteile werden durch den **U-Wert** des Bauteils pro Fassadenfläche des Bauteils berechnet. Die Transmissionswärmeverluste durch Wärmebrücken H_{WB} können entsprechend der drei folgenden Möglichkeiten ermittelt werden. Eine ausführliche Beschreibung findet sich unter **EnEV Wärmebrücken-Nachweis**.

Anforderungen an den Transmissionswärmeverlust

Das österreichische Institut für Bautechnik (OIB) schreibt in ihrer Richtlinien 6 (Oktober 2011) fest, dass Gebäude bei Neubau oder umfassender Sanierung so zu planen und auszuführen sind, dass Wärmebrücken möglichst minimiert werden. Im Falle zweidimensionaler Wärmebrücken ist jedenfalls die ÖNORM B 8110-2 einzuhalten. Bei den Transmissionswärmeverlusten ist der Wärmeverlust über die Wärmebrücken zu berücksichtigen. Die Berechnung der Leitwertzuschläge L_ψ und L_χ erfolgen gemäß ÖNORM EN ISO 10211-1. Dabei gilt:

Linienförmiger Leitwert von j Wärmebrücken: $L_\psi = \sum \psi_j \cdot l_j$

Punktförmiger Leitwert von k Wärmebrücken: $L_\chi = \sum \chi_k$

Berechnung des Transmissionswärmeverlustes

$$Q_T = 0,024 \cdot L_T \cdot HGT \quad \text{mit: } L_T = L_e + L_u + L_g + L_\psi + L_\chi \quad \text{in W/K}$$

Für den Wärmeverlust über Wärmebrücken gibt es nach ÖN B 8110-6 verschiedene Möglichkeiten der Ausführung und Berechnung

1. Detaillierter Wärmebrücken-Nachweis

$$L_\psi + L_\chi = \sum \psi_j \cdot l_j + \sum \chi_k$$

Dieser Ansatz ist nur zulässig, wenn Wärmebrückendetails nachgewiesen werden, durch Angaben in Wärmebrückenkatalogen oder durch FE-Berechnungen, gemäß ÖNORM EN ISO 10211.

2. Wärmebrückenkatalog

3. Vereinfachter Ansatz

Dieser Ansatz ist nur zulässig wenn die Wärmebrücken ÖNORM B 8110-6 5.3.2 Absatz 2 ausgebildet sind.

4. Pauschaler Ansatz

gemäß ÖNORM B 8110-6 5.3.2 Absatz 3

Begriffsdefinitionen zu den Formeln:

- HGT sind die Heizgradtage auf den Monat oder auf das Jahr bezogen, vom Standort des Gebäudes abhängig.
- L_T Transmissions-Leitwert eines Gebäudes [W/K]
- L_e thermischer Leitwert für alle Bauteile, die den konditionierten Innenraum und die Außenluft thermisch verbinden [W/K]
- L_u thermischer Leitwert für Bauteile, die den konditionierten Innenraum über unconditionierte Räume mit der Außenluft verbinden [W/K]
- L_g thermischer Leitwert für Bauteile, die den konditionierten Innenraum über den Boden mit dem Außenraum thermisch verbinden [W/K]
- L_ψ Leitwertzuschlag für zweidimensionale Wärmebrücken [W/K]
- L_χ Leitwertzuschlag für dreidimensionale Wärmebrücken [W/K]
- $L_\psi + L_\chi$ ist der Anteil des Wärmebrückeneinflusses an Q_T
- $\sum \psi_j \cdot l_j$ stellt den zusätzlichen Wärmeverlust über alle linienförmigen Wärmebrücken (z. B. Balkone, Mauerfuß am Gebäudesockel) dar, mit ψ_j als außenmaßbezogener, längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der linienförmigen Wärmebrücke j mit der Länge l.
- $\sum \chi_k$ stellt den zusätzlichen Wärmeverlust über alle punktförmigen Wärmebrücken (z. B. Durchdringung der Außenwand durch Stahlträger) dar, mit χ_k als punktförmiger Wärmedurchgangskoeffizient der punktförmigen Wärmebrücke k.

Sommerlicher Wärmeschutz

Wenn durch Sonneneinstrahlung der Wohnraum aufgeheizt wird, spricht man von solaren Wärmegewinnen. Dies kann durch das Aufheizen von Bauteilen oder durch direkte Transmission (Durchgang) der Wärmestrahlung durch Fenster verursacht werden.

Als sommerlicher Wärmeschutz werden die Maßnahmen bezeichnet, die den Wärmeeintrag durch Sonnenstrahlung reduzieren. Dies wird vorzugsweise durch Verschattungsmaßnahmen umgesetzt. Dies kann durch auskragende Bauteile wie Balkone aber auch durch Rollläden, Markisen u. ä. ausgeführt werden. Die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sind in der ÖNORM B 8110-3 geregelt.

Dabei werden Anforderungen an Abmessungen und Ausrichtungswinkel der Fenster, an Verglasungsart, Maßnahmen zur Verschattung und weitere Einflussgrößen wie beispielsweise dem Lüftungsverhalten der Nutzer gestellt.

Wärmestrom Φ

Der Wärmestrom (Watt) beschreibt den Wärmetransport von Wärmeenergie (Joule) abhängig von der Zeit (s). Der Wärmetransport wird durch die temperaturabhängige Eigenbewegung von Atomen und Molekülen verursacht. Dabei ist die Fließrichtung des Wärmestroms per Definition von einem Bereich hoher hin zu einem Bereich niedriger Temperatur gerichtet.

Die Wärmeleitfähigkeit λ

Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt wieviel Wärme durch ein Material dringt. Dabei bedeutet ein kleiner λ -Wert eine niedrige Wärmeleitfähigkeit bzw. einen hohen Widerstand und damit gute Wärmedämmung. So hat Stahl beispielsweise eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit (15 bis 50 W/(mK)), während Dämmung eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist (ca. 0,035 W/(mK)).

Es wird die Wärmemenge in Js gemessen, die in 1 s durch 1 m² einer 1 m dicken homogenen Stoffschicht senkrecht zu den Oberflächen fließt, wenn der Temperaturunterschied 1 K beträgt. Es wird von 10 °C zu 9 °C gemessen.

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit λ_{eq}

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit λ_{eq} eines aus mehreren Baumaterialien bestehenden Bauelementes ist die Wärmeleitfähigkeit eines homogenen, quaderförmigen Ersatzbaustoffes gleicher Abmessung, welcher anstelle des komplexen Bauelementes im eingebauten Zustand die gleiche wärmeschutztechnische Wirkung erzielt.

Gemäß dem Europäischen Bewertungsdokument (European Assessment Document - EAD) für tragende Wärmedämmelemente, das 2017 eingeführt wurde, wird λ_{eq} wie folgt ermittelt.

Bei der Berechnungsmethode nach EAD wird eine detaillierte dreidimensionale Wärmebrückenberechnung mit dem tragenden Wärmedämmelement durchgeführt. Dabei wird der komplexe Aufbau eines tragenden Wärmedämmelements im Detail modelliert und der Wärmeverlust über die Wärmebrücke bestimmt. Aus dem auftretenden Wärmeverlust wird die äquivalente Wärmeleitfähigkeit λ_{eq} und der äquivalente Wärmedurchlasswiderstand R_{eq} ermittelt.

Die äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten λ_{eq} für den Schöck Isokorb® sind den Technischen Informationen zu entnehmen.

Die Detaillierte Wärmebrückenberechnung

Soll ein detaillierter Wärmebrückennachweis, zur Ermittlung von ψ - oder f_{Rsi} -Werten, geführt werden, kann für die Modellierung des Anschlussdetails der λ_{eq} -Wert verwendet werden. Dafür wird ein homogenes Rechteck, mit den Abmessungen des Dämmkörpers des Schöck Isokorb®, an dessen Position im Modell gesetzt und die äquivalente Wärmeleitfähigkeit λ_{eq} zugewiesen, siehe Abbildung. So können einfach bauphysikalische Kennwerte einer Konstruktion errechnet werden.

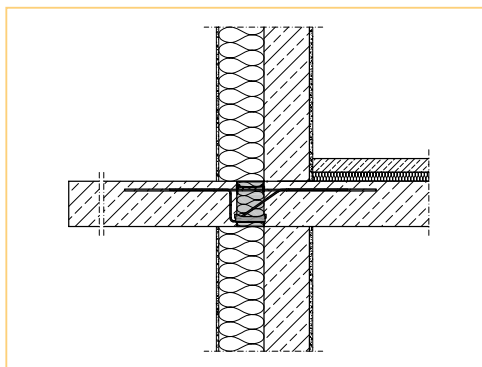


Abb. 18: Darstellung einer Schnittzeichnung mit detailliertem Schöck Isokorb® Modell

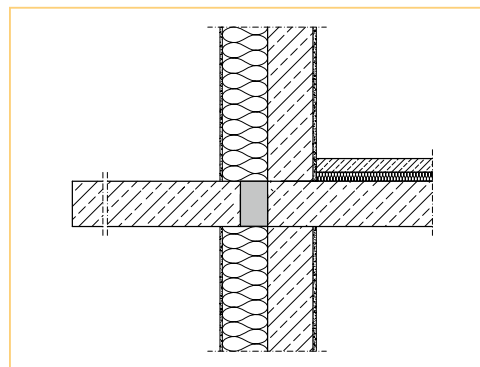


Abb. 19: Darstellung einer Schnittzeichnung mit vereinfachtem Ersatzdämmkörper

Die Berechnungsmethodik zur Ermittlung von λ_{eq} wurde auf Grundlage des Europäischen Bewertungsdokuments (European Assessment Document - EAD) für tragende Wärmedämmelemente und darauf aufbauend für den Schöck Isokorb® in der europäischen technischen Bewertung (European Technical Assessment - ETA) validiert.

Mit marktüblicher Wärmebrücken-Software kann mithilfe der thermischen Randbedingungen nach ÖNORM EN ISO 6946 eine Berechnung erfolgen. Damit können neben den Wärmeverlusten der Wärmebrücke (ψ -Wert) auch die Oberflächentemperaturen θ_{si} und damit auch der Temperaturfaktor f_{Rsi} berechnet werden.

Die einzelnen λ_{eq} -Werte finden Sie in Bauphysikalische Kennwerte online unter: www.schoeck.at/download/bauphysik

Der Wärmedurchlasswiderstand; R-Wert

Der Wärmedurchlasswiderstand ist der Widerstand, den ein Material dem Wärmestrom bei 1 °K für einen m² entgegensetzt.

Berechnet wird R als Dicke des Materials geteilt durch seine Wärmeleitfähigkeit:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right]$$

λ : Wärmeleitfähigkeit in W/(mK)

d: Materialdicke in m

Diese Berechnung eines R-Werts kann auch für ein mehrschichtiges Bauteil durchgeführt werden:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}$$

$$R_T = R_{si} + \sum R_i + R_{se}$$

Die Abbildung unten zeigt einen Schnitt durch eine mehrschichtige Konstruktion.

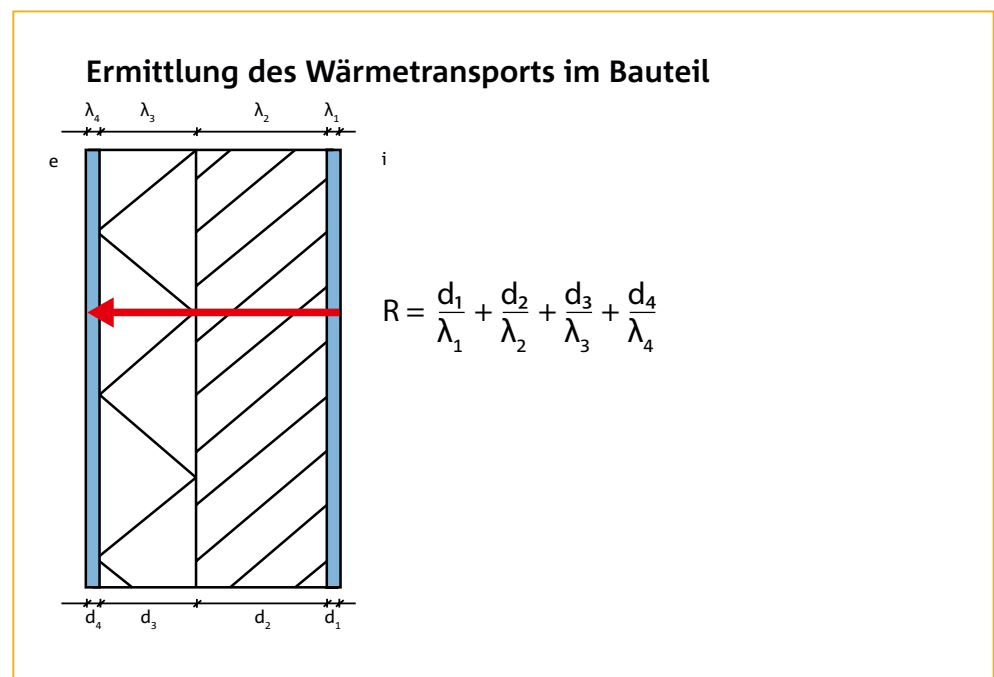


Abbildung 20: Darstellung eines Wandaufbaus, daran wird der R-Wert durch die Dicke der Schichten und die dazugehörigen λ -Werte definiert. Rechts ist zu erkennen wie der R-Wert aus allen Schichten errechnet werden kann.

Der Wärmedurchgangskoeffizient; U-Wert

Der Wärmedurchgangskoeffizient beschreibt den Wärmedurchgang durch ein Bauteil. Er beruht auf dem R-Wert eines Bauteils und beinhaltet zusätzlich den Wärmeübergangswiderstand der an das Bauteil angrenzenden Luftschichten. Damit stellt der U-Wert den tatsächlichen Wärmedurchgang von Raumluft zu Raumluft dar.

Berechnet wird der U-Wert als Kehrwert der Summe der Wärmeübergangs- und Wärmedurchlasswiderstände:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

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

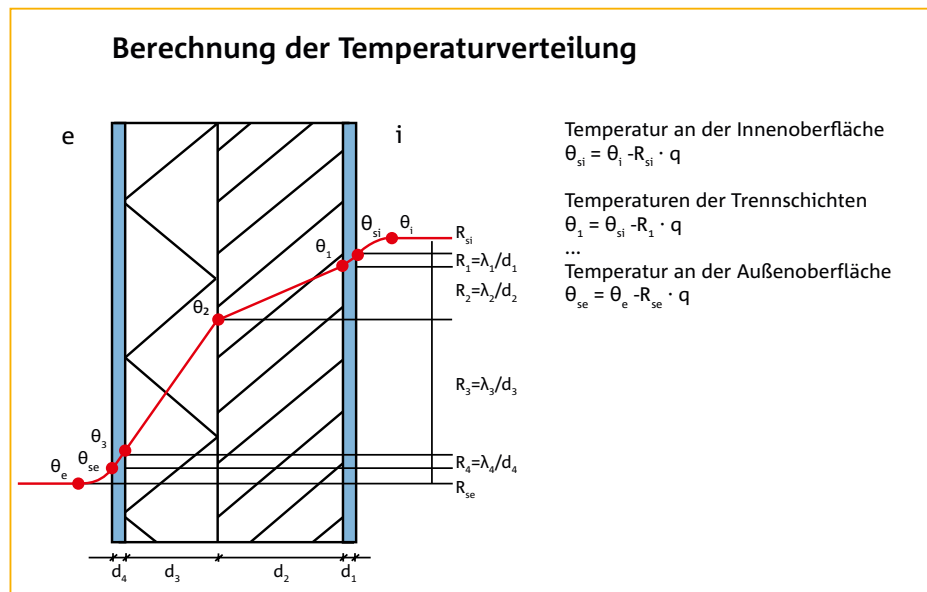


Abbildung 21: Darstellung des Temperaturverlaufes durch eine Wand, dabei wird die Steigung der Temperaturkurve durch die Dicke der Schichten und den dazugehörigen R-Wert definiert. An den Rändern des Bauteils wirkt jeweils zusätzlich noch der R_{si} - und R_{se} -Wert. Rechts ist zu erkennen wie die Temperaturverteilung zwischen den einzelnen Schichten errechnet werden kann.

Thermischer Leitwert

Der thermische Leitwert ist der Quotient aus dem längenbezogenen Wärmestrom und der Temperaturdifferenz zwischen zwei Räumen, die durch die betrachtete Konstruktion verbunden sind. Dadurch stellt der Leitwert die Wärmeverluste durch diese Konstruktion dar.

Formel aus ÖNORM EN ISO 10211:

$$L_{2D} = \frac{\Phi}{\Delta T} \text{ [W/(mK)]}$$

Für eine Konstruktion mit Wärmebrücken setzt sich der dreidimensionale thermische Leitwert L_{3D} aus den flächigen Transmissionswarmeverlusten durch die ungestorteten Bauteile und aus den Transmissionswarmeverlusten durch die Summe aller Wärmebrücken zusammen. Wie in der folgenden Formel (nach ÖNORM EN ISO 10211) dargestellt:

Formel aus ÖNORM EN ISO 10211:

$$L_{3D,i,j} = \sum_{k=1}^{N_k} U_{k(i,j)} \cdot A_k + \sum_{m=1}^{N_m} \Psi_{m(i,j)} \cdot l_m + \sum_{n=1}^{N_n} \chi_{n(i,j)}$$

Dabei ist:

- $U_{k(i,j)}$ der Wärmedurchgangskoeffizient von Teil k des Raums oder Gebäudes;
- A_k die Fläche, für die der Wert $U_{k(i,j)}$ gilt;
- $\Psi_{m(i,j)}$ der lineare Wärmedurchgangskoeffizient von Teil m des Raums oder Gebäudes;
- l_m die Länge, über die der Wert $\Psi_{m(i,j)}$ gilt;
- $\chi_{n(i,j)}$ der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient von Teil n des Raums oder Gebäudes;
- N_k die Anzahl der Wärmedurchgangskoeffizienten;
- N_m die Anzahl der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten;
- N_n die Anzahl der punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten ψ und χ

Der Wärmedurchgangskoeffizient beschreibt die Transmissionswärmeverluste, die durch eine Wärmebrücke entstehen. Hierbei wird unterschieden, ob es sich um eine linienförmige Wärmebrücke (z.B. ein Balkonanschluss) oder eine punktuelle Wärmebrücke (z.B. Anker in der Fassade) handelt.

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ψ („ ψ -Wert“) kennzeichnet den pro lfm. zusätzlich auftretenden Wärmeverlust einer linienförmigen Wärmebrücke. Der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient χ („ χ -Wert“) kennzeichnet entsprechend den zusätzlichen Wärmeverlust über eine punktförmige Wärmebrücke.

Der ψ -Wert ist von der Konstruktionsqualität, den Abmessungen und den **U-Werten** der anschließenden Bauteile abhängig. Dies ist so, da die Wärmebrücke und die angrenzende Konstruktion sich gegenseitig in ihrer Wärmeleitfähigkeit beeinflussen. Damit ändert sich der ψ -Wert, wenn sich die angrenzende Konstruktion ändert, auch wenn die Wärmebrücke gleich bleibt.

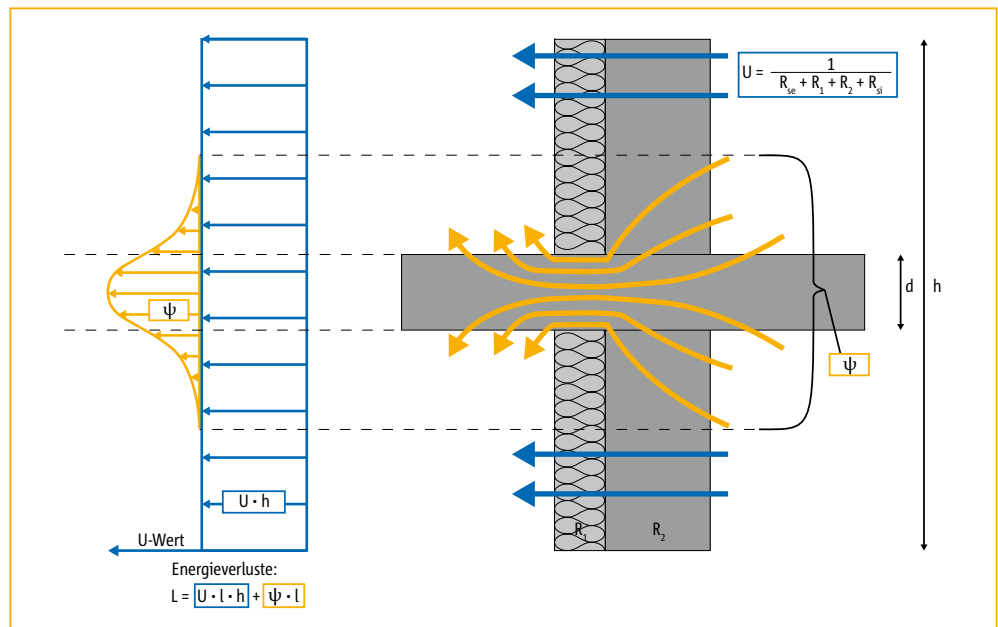


Abbildung 22: Darstellung der Energieverluste durch eine Wand mit durchlaufender Balkonplatte, anhand einer Schnittzeichnung. Rechts ist die Konstruktion mit den auftretenden Wärmeströmen in Pfeilform abgebildet. Links sind die in diesem Schnitt auftretenden Energieverluste dargestellt. Diese sind auch als Formel aufgeführt, mit l wird hierbei die Länge der Konstruktion senkrecht zur Zeichenebene beschrieben.

In Abbildung 22 ist zu sehen wie der ψ -Wert für eine ungestört durch die Wand durchlaufende Balkonplatte aussieht. Dieser zusätzliche Wärmeverlust durch die Balkonplatte beeinflusst auch die angrenzende Wand. Praktisch bedeutet das, dass durch den Abfluss der Wärme über die Balkonplatte auch die Wand oberhalb und unterhalb der Wärmebrücke auskühlt. An den Pfeilen, rechts in der Abbildung, ist zu sehen welchen Weg die Wärmeströme dabei nehmen. Während bei ungestörten Wänden nur horizontale Wärmeströme auftreten (in blau dargestellt) sind die Wärmeströme in Wärmebrücken dreidimensional (in gelb dargestellt). Hieraus wird ersichtlich warum die Ermittlung von ψ -Werten wesentlich komplexer ist als die von U-Werten.

Zur Berechnung von dreidimensionalen Wärmeströmen ist der Einsatz einer Berechnungssoftware daher zwingend erforderlich. Die normative Grundlage bildet die ÖNORM EN ISO 10211. Darin werden die Randbedingungen für die Ermittlung der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ geregelt.

Um den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ zu ermitteln, werden vom thermischen Leitwert L_{2D} die Wärmeverluste abgezogen, die bereits über U-Werte und das Flachenaufma berücksichtigt wurden (siehe Formel).

Auszug aus ÖNORM EN ISO 10211:

9.2 Berechnung der längen- und punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten

Die Ψ - Werte werden bestimmt nach:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j$$

Dabei ist:

- L_{2D} der thermische Leitwert aus einer 2-D-Berechnung des die beiden betrachteten Räume trennenden Bauteils;
- U_j der Wärmedurchgangskoeffizient des die beiden betrachteten Räume trennenden 1-D-Bauteils j ;
- l_j die Länge, für die der Wert U_j gilt.

Die χ -Werte werden bestimmt nach:

$$\chi = L_{3D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i \cdot A_i - \sum_{j=1}^{N_j} \psi_j \cdot l_j$$

Dabei ist:

- L_{3D} der thermische Leitwert aus einer 3-D-Berechnung;
- U_i der Wärmedurchgangskoeffizient des die beiden betrachteten Räume trennenden 1-D-Bauteils;
- A_i die Fläche, über die der U_i -Wert gilt;
- ψ_i der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient;
- l_j die Länge, über die der ψ_i -Wert gilt;
- N_j die Anzahl der 2-D-Bauteile;
- N_i die Anzahl der 1-D-Bauteile.

längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient

(Definition aus ÖNORM EN ISO 10211):

Quotient aus Wärmestrom im stationären Zustand und dem Produkt aus Länge und Temperaturdifferenz zwischen den Umgebungstemperaturen auf jeder Seite der Wärmebrücke.

punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient

(Definition aus ÖNORM EN ISO 10211):

Quotient aus Wärmestrom im stationären Zustand und der Temperaturdifferenz zwischen den Umgebungstemperaturen auf jeder Seite der Wärmebrücke.

Taupunkttemperatur θ_T

Die Taupunkttemperatur θ_T eines Raumes ist diejenige Temperatur, bei der die in der Raumluft vorhandene Feuchtigkeit nicht mehr von der Raumluft gehalten werden kann und dann in Form von Wassertröpfchen abgegeben wird. Die relative Raumluftfeuchte beträgt dann 100 %.

Schimmelpilztemperatur θ_s

An kalten Bauteiloberflächen wird sich dann Schimmelpilz bilden, wenn die Bauteiloberfläche mindestens so kalt ist, dass sich in der direkt anliegenden Luftschicht eine Feuchte von 80 % einstellt. Die Temperatur, bei der dies auftritt, ist die sogenannte Schimmelpilztemperatur θ_s .

Schöck Bauteile Ges.m.b.H
Thaliastraße 85/2/4
1160 Wien
Tel.: +43 1 7865760
Fax: +43 1 7865760-20
office@schoeck.at
www.schoeck.at

