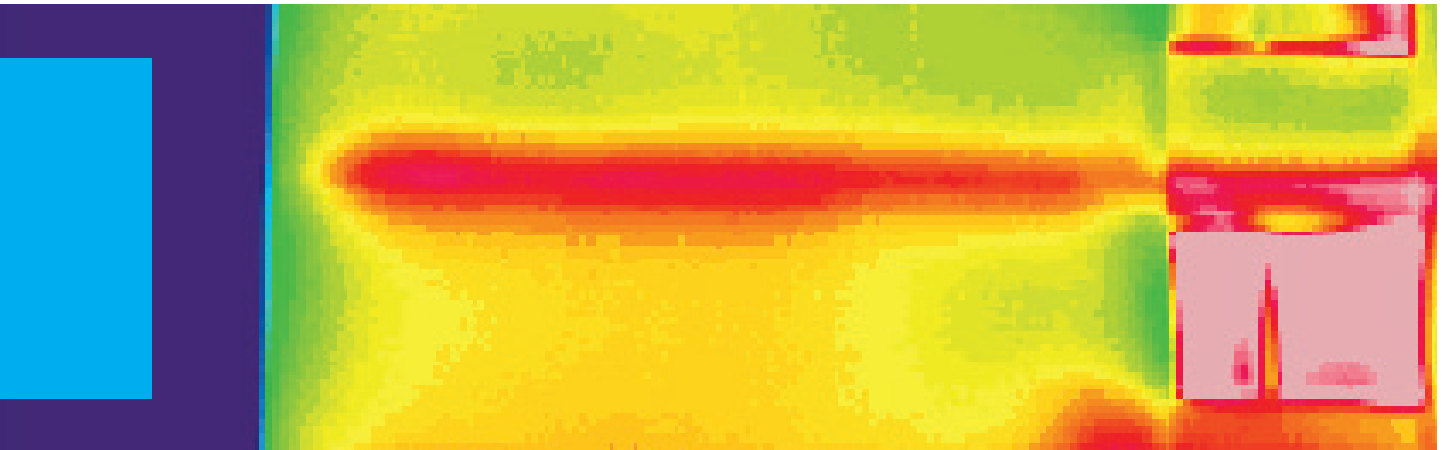


Wärmebrücken

Roger Blaser Zürcher



1.	Einleitung	3
2.	Grundlagen	4
3.	Normative Beurteilung des Risikos	4
4.	Sachverhalt	5
5.	Baukonstruktive Massnahmen	6

Bauphysik an der FHNW: Zertifikatskurs startet im September 2014

Die Gebäudehülle hat als Teil eines nachhaltigen Gebäudekonzepts in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen. Gewachsen ist auch die Komplexität der Konstruktionen und damit das Potenzial für Bauschäden. Auf diese Entwicklung zeitgerecht zu reagieren, bedingt aktuelles bauphysikalisches Wissen.

Das Weiterbildungszentrum der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik bietet einen adressatengerechten und praxisnahen Zertifikatskurs zu diesem Thema an. Das berufsbegleitende Angebot CAS Bauphysik startet am 28. September an der FHNW.

Weitere Infos unter www.fhnw.ch/wbbau oder 061 467 45 45.

1. Einleitung

Wärmebrücken (früher auch: Kältebrücke) sind begrenzte thermische Schwachstellen einer Baukonstruktion, durch die mehr Wärme strömen kann als durch ungestörte Flächen?

Grundsätzlich sind Wärmebrücken zu vermeiden. Dies nicht nur wegen den gesetzlichen und normativen Anforderungen, welche einen lückenlosen Wärmedämmperimeter verlangen, sondern auch, um Bauschäden zu verhüten. Wärmebrücken bergen ein enormes Energieverlust- und Bauschadenpotenzial. Umso erstaunlicher ist es, dass die noch in diesem Jahr zu erwartende Neuausgabe der Norm SIA 380/1 (Thermische Energie im Hochbau) mit strengeren Grenzwerten für den Wärmedurchgang, aber ohne Limiten für Wärmebrücken geplant ist.

Eine der bekanntesten Wärmebrücke, nebst der nach aussen im Balkon auskragenden Geschosstrenndecke (Kragplatte), ist der Boden-Wand-Anschluss. Dieser Schwachstelle wurde in den letzten Jahren durch die Verwendung von Mauerwerk-Sockeldämmelementen Rechnung getragen. Somit war das Problem für das Mauerwerk gelöst. Mit den in den letzten Jahren geforderten, verschärften Tragfähigkeitsanforderungen gemäss Norm SIA 260 ff für die Erdbebensicherheit von Gebäuden und den Wünschen von Bauherrschaften bezüglich Grundrissflexibilität wurde das Mauerwerk teilweise verdrängt und durch Stahlbeton ersetzt. Was auf der einen Seite gut für das Tragwerk des Gebäudes ist, bedeutet in bauphysikalischer Hinsicht eine massive Verschlechterung.

Wärmebrücken sind oft Ursache von Bauschäden respektive hohen Energieverlusten. Auch deshalb ist diesem Detail höchste Beachtung zu schenken. Mit den revidierten Versionen der Normen SIA 180 (Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden) sowie 380/1 (Heizwärmebedarf) ist dieses Thema sehr aktuell.

Die Sorgfalt muss nicht nur bei energetischen Sanierungen von Bestandsbauten oder hochgedämmten Bauten gewährleistet sein, denn im ungünstigsten Fall können bei Bauten über Wärmebrücken Wärmeverluste von bis zu 46% erfolgen (Merkblatt Minimale Wärmebrücken und erdbebensicheres Bauen).

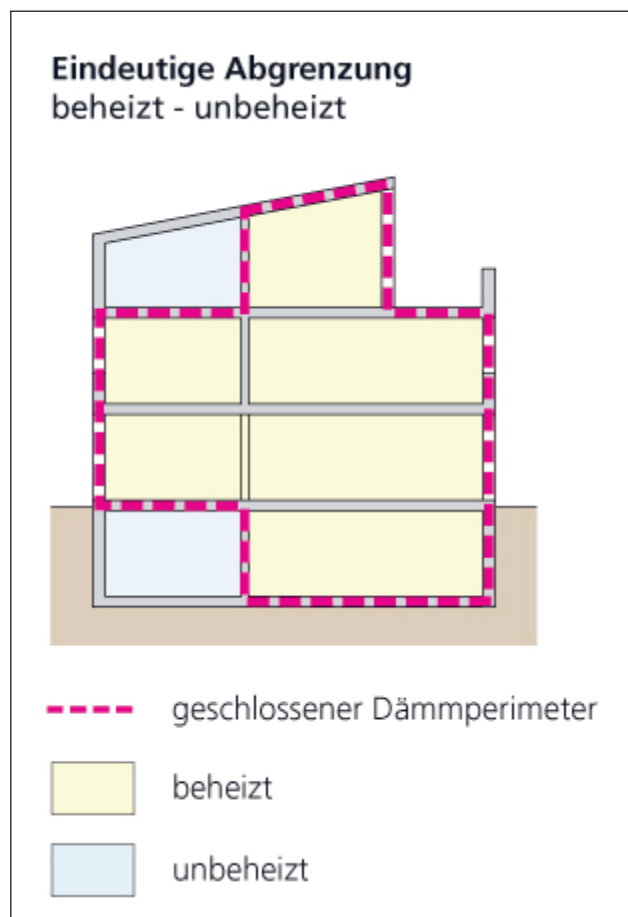


Abbildung 1: Wärmedämmperimeter (Quelle: energieschweiz.ch)



Abbildung 2: Innenansicht einer Aussenwand auf der Geschosstrenndecke zwischen Untergeschoss und Erdgeschoss (Quelle: Archiv ingBP)

2. Grundlagen

Aus baukonstruktiver und bauphysikalischer Sicht können Wärmebrücken in geometrische, konstruktive oder stoffbedingte und konvektive Wärmebrücken gegliedert werden. Zudem lassen sich diese linearen oder punktuellen Wärmebrücken zuordnen.

Lineare Wärmebrücken sind Störungen (z. B. Balkonanschlüsse, Sockelausbildungen), welche auf eine Länge bezogen sind. Der durch diese Wärmebrücke verursachte

Wärmeverlust wird mit dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten – dem Ψ -Wert – ausgedrückt. Punktuelle Wärmebrücken sind Störungen (z. B. Fassadenanker, Stützen), welche auf einen Punkt bezogen sind. Der durch diese Wärmebrücke verursachte Wärmeverlust wird mit dem punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten – dem χ -Wert – ausgedrückt.

Unbeheizter Keller		3.4-A1				
U-Wert Wand in $W/(m^2 \cdot K)$	U-Wert Kellerdecke in $W/(m^2 \cdot K)$			Ψ -Wert in $W/(m \cdot K)$		
	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
0.15	0.24	0.20	0.15	0.12	0.08	0.04
0.20	0.22	0.18	0.14	0.10	0.07	0.04
0.25	0.20	0.16	0.12	0.09	0.06	0.02
0.30	0.17	0.14	0.10	0.08	0.05	0.02
0.35	0.15	0.12	0.08	0.06	0.03	0.01
0.40	0.12	0.09	0.06	0.04	0.01	-0.01

Einschränkungen		Zuschläge	
Mauerfusselement	ohne	Mauerfusselement	- 0.05 $W/(m \cdot K)$
Mauerwerk		Mauerwerk Aussenwand Stahlbeton	+ 0.30 $W/(m \cdot K)$
Aussenwand	Backstein	Fassadentyp Hinterlüftung	- 0.05 $W/(m \cdot K)$
Fassadentyp	Kompaktfassade	Dämmung bis 20 cm unterhalb UK Kellerdecke	- 0.04 $W/(m \cdot K)$
Dämmung	bis UK	Dämmung bis 50 cm unterhalb UK Kellerdecke	- 0.05 $W/(m \cdot K)$
	Kellerdecke	Dämmung bis 80 cm unterhalb UK Kellerdecke	- 0.06 $W/(m \cdot K)$

Abbildung 3: Sockelausbildung (Quelle: Wärmebrücken-katalog BFE)

Säulenfuss, Stahlbeton		6.1-U4		
U-Wert Decke in $W/(m^2 \cdot K)$	Durchmesser Stütze in cm			χ -Wert in W/K
	10	12	15	
0.15	0.05	0.07	0.11	
0.20	0.06	0.08	0.12	
0.25	0.07	0.09	0.13	
0.30	0.08	0.10	0.14	

Einschränkungen	Zuschläge

Abbildung 4: Stütze (Quelle: Wärmebrücken-katalog BFE)

3. Normative Beurteilung des Risikos

Die Norm SIA 180 kennt, im Gegensatz zur Norm SIA 380/1 oder den kantonalen Energiegesetzen, keine Grenzwerte für lineare respektive punktuelle Wärmebrücken. Dies wird sich auch mit anstehenden Neuausgaben nicht ändern. Die geforderte Bauschadensfreiheit wird über den Oberflächentemperaturfaktor bewertet. Der Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} definiert das Verhältnis der Differenz zwischen inneren Bauteiloberflächentemperatur und Aussenlufttemperatur und der Differenz zwischen Raumlufttemperatur und Aussenlufttemperatur bei vorgegebenem inneren Wärmeübergangswiderstand R_{si} . Die Normwerte unterscheiden zwischen Anforderungen an die Tauwasserfreiheit und an die Schimmelpilzfreiheit. Zudem enthält die Norm ein vereinfachtes Verfahren, welches grundsätzlich bei transparenten Bauteilen und Wärmebrücken nicht angewendet werden darf und ein detailliertes Berechnungsverfahren. Für das vereinfachte Verfahren ist f_{Rsi} von $> 0,75$. Beim Berechnungsverfahren kann der Wert, je nach Klimaregion, Jahreszeit und Bauteilkonstruktion (Art, Lage und dgl.) stark differenzieren.

Formel Nr. 1: Oberflächentemperaturfaktor (vereinfachtes Verfahren)

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} > 0,75 \quad [-]$$

Da im Regelfall nicht die ungestörte Bauteilfläche das Problem bezüglich Tauwasser- respektive Schimmelpilzbildung darstellt, muss auch bei einer Bewertung mittels Oberflächentemperaturfaktor eine zwei- oder gar dreidimensionale Betrachtung ($f_{Rsi,2D}$ oder $f_{Rsi,3D}$) angewendet werden.

4. Sachverhalt

Im Grundsatz interessiert jedoch bei allen Berechnungen der resultierende Oberflächentemperaturfaktor oder die zu erwartende raumseitige Oberflächentemperatur. Die raumseitige Oberflächentemperatur deshalb, weil bei vielen Planern noch immer die kritischen Oberflächentemperaturen für Tauwasserfreiheit von $> 9,3^\circ\text{C}$ und für Schimmelpilzfreiheit von $> 12,5^\circ\text{C}$ in Erinnerung sind. Grund dafür bilden die Annahmen zur Aussenlufttemperatur von -10°C und zur Raumlufthtemperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchte von $< 50\%$. Obschon sich diese Kennwerte hartnäckig halten, entsprechen sie seit langem nicht mehr den normativen Anforderungen.

Formel Nr. 2: Näherungsformel zur Berechnung der Oberflächentemperatur

$$\theta_{si} = \theta_i - \left[\frac{U}{h_i} * (\theta_i - \theta_e) \right] = [f_{Rsi} * (\theta_i - \theta_e)] + \theta_e \quad [^\circ\text{C}]$$

Da tiefe raumseitige Oberflächentemperaturen mit tiefen Aussenlufttemperaturen zusammenhängen, ist für die meisten Planer eine Wärmebrückenbeurteilung (Kragplatte, Boden-Wand-Anschluss, usw.) nur für die winterliche Situation interessant. Die winterliche Betrachtung entspricht jedoch nur der «halben Miete». Denn es stellt sich die Frage, welche Situation sich ergibt bei Bauteilen, die das ganze Jahr tiefere Oberflächentemperaturen haben, z. B. der Anschluss der Stahlbetonwand auf einer Einstellhallendecke, die Wand auf einer Bodenplatte, usw. Hier ist die Temperaturdifferenz das ganze Jahr gegeben und unabhängig von den jahreszeitlichen Lufttemperaturschwankungen.

Eine reale Beispielsituation soll das Problem vereinfacht visualisieren. Wird die Wärmedämmung bei einer Geschosstrenndecke zwischen Keller oder Einstellhalle und beheizten Räumen im Erdgeschoss auf der Flachdecke ausgeführt, müssen die Innen- und Aussenwände thermisch entkoppelt werden. Muss die Konstruktion aus Gründen der Erdbebensicherheit als durchgängige Stahlbetonkonstruktion realisiert werden, so ergeben sich

tiefere raumseitige Oberflächentemperaturen. Was oft als marginale Temperatursenke bezeichnet wird, kann ganzjährig zum Problem werden. Wird von einer Aussenlufttemperatur von 20°C bzw. 24°C ausgegangen, so liegt im Normalfall eine identische Raumlufthtemperatur und somit Oberflächentemperatur bei den ungestörten Umschliessungsflächen der Räume im Erdgeschoss vor. Somit findet ein Wärmestrom zu den unbeheizten Räumen im Untergeschoss (Raumlufthtemperatur von 10°C bzw. 12°C) statt. Daraus resultiert eine Minderung der raumseitigen Oberflächentemperatur.

Für die Sommermonate muss aufgrund des höheren Feuchtegehaltes in der Aussenluft von einer relativen Luftfeuchte von etwa 65% ausgegangen werden.

Mit Hilfe von Isothermenberechnungen kann bei der Innenwand im Erdgeschoss im Bereich des Fusspunktes eine raumseitige Oberflächentemperatur von $17,0^\circ\text{C}$ bzw. $19,5^\circ\text{C}$ berechnet werden. Wird die Aussenwand in der Gebäudeecke betrachtet, so liegt eine dreidimensionale Situation mit einer zu erwartenden raumseitigen Oberflächentemperatur von $16,5^\circ\text{C}$ bzw. $18,2^\circ\text{C}$ vor. Damit die Fusspunkte jedoch keiner Gefährdung für Schimmelpilzbildung unterliegen, muss die raumseitige Oberflächentemperatur einen Wert von $16,5^\circ\text{C}$ bzw. $20,3^\circ\text{C}$ übersteigen. Wie das Rechenbeispiel zeigt, kann die Schimmelpilzfreiheit nicht garantiert werden, was oft nicht beachtet wird. Die Tendenz zu mechanischen Wohnungslüftungen hilft zwar auf der einen Seite zu kontrollierteren und damit zu schadensunanfälligeren Umgebungsbedingungen (genau definierte Raumlufthfeuchte). Auf der anderen Seite entstehen immer häufiger Bereiche, in denen kein Luftwechsel mehr stattfinden kann (hinter Schränken, in Ecken, usw.). Da dies technisch kaum zu verhindern ist, entsteht bei fehlerhaften Konstruktionen in diesen unbelüfteten Zonen ein grosses Schadenspotenzial.

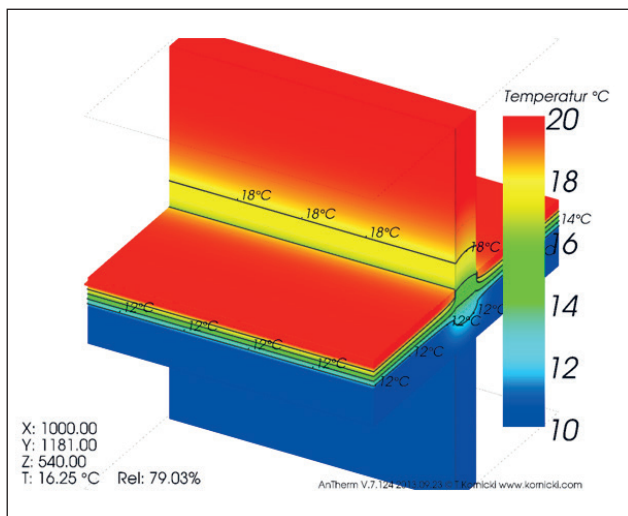


Abbildung 5: Zweidimensionale Isothermenberechnung einer nicht thermisch entkoppelten Innenwand auf einer Geschosstrenndecke ($\theta_{i,EG} = 20^\circ\text{C}$, $\theta_{i,UG} = 15^\circ\text{C}$ und $\theta_e = 20^\circ\text{C}$) (Quelle: alphadock.ch)

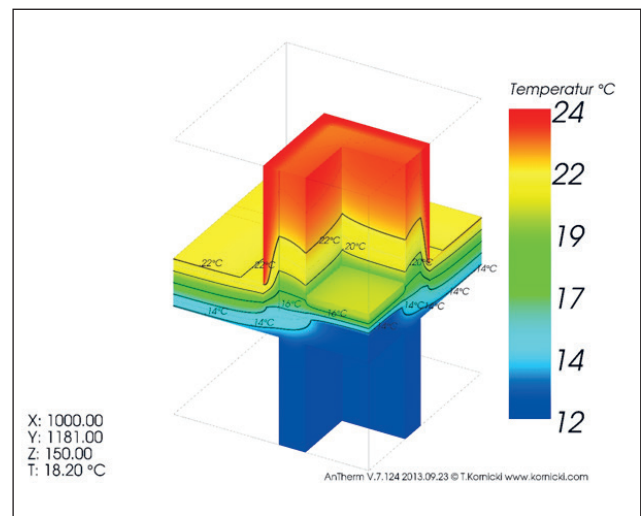


Abbildung 6: Dreidimensionale Isothermenberechnung einer thermisch nicht entkoppelten Aussenwand mit verputzter Aussenwärmedämmung auf einer Geschosstrenndecke ($\theta_{i,EG} = 20^\circ\text{C}$, $\theta_{i,UG} = 15^\circ\text{C}$ und $\theta_e = 20^\circ\text{C}$) (Quelle: alphadock.ch)

5. Baukonstruktive Massnahmen

Trotz der grossen Zahl derartiger thermischer Schwachstellen, entstehen, gemessen an den vielfach nicht eingehaltenen Bedingungen für die Schadenfreiheit, relativ wenig wirklich problematische Schadenfälle. Woran liegt das?

Einen grossen Einfluss auf einen Wandfussbereich hat im Winter die Fussbodenheizung. Hierdurch werden die kritischen Stellen erwärmt und somit getrocknet. Ist aber dieses «Wegheizen» von bauphysikalischen Problemen empfehlenswert und nachhaltig? Aufgrund der Bestrebungen zum nachhaltigen Bauen und dem hohen Wärmebrückenanteil von bis zu 30% bei hochgedämmten Bauten sollten Bauschadensrisiken wegen suboptimalen Baukonstruktionen nicht akzeptiert werden. Vielmehr sind die technischen Möglichkeiten zur Schaffung von mangelfreien Konstruktionen anzuwenden.

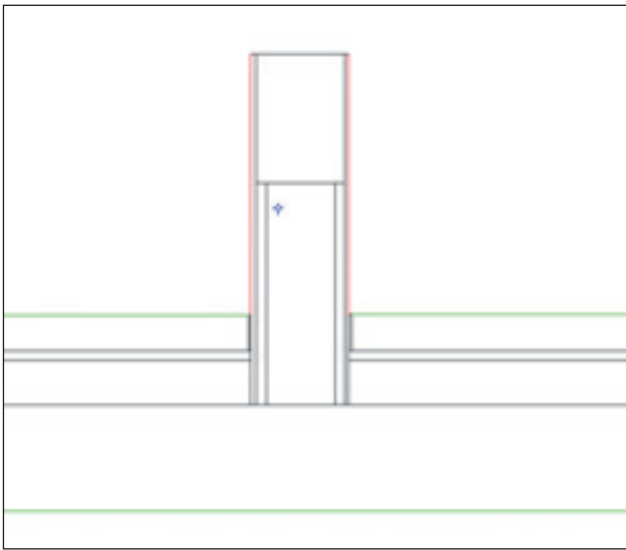


Abbildung 7: Querschnitt Wandfuss mit schematischer Darstellung der Flankendämmung (Quelle: Archiv ingBP)

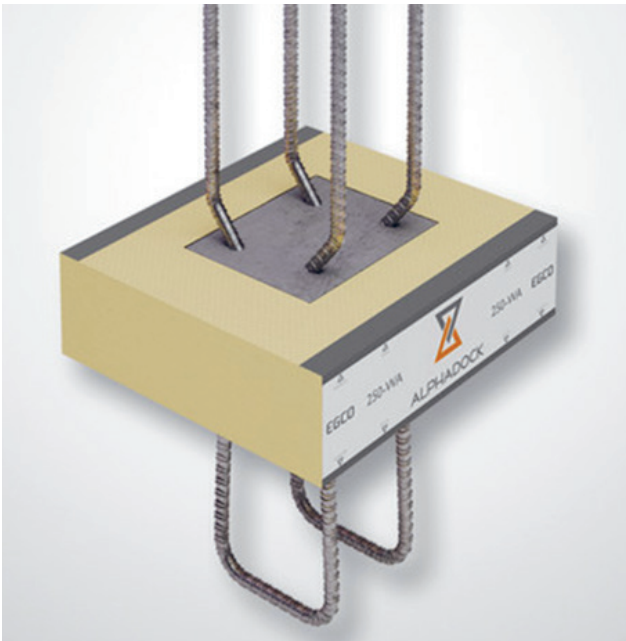


Abbildung 8: Ansicht eines thermischen Entkoppelungselementes (Quelle: alphadock.ch)

Für diese Problemstellungen gibt es eine ganze Palette an Lösungsansätzen. Die früher oft ausgeführte Lösung mit flankierender Dämmung ist aufwändig und somit kostenintensiv. Zudem zeigen sich andere Problemstellungen, wie z. B. Montage von Fussleisten.

Weitere Massnahmen sind Nockenausbildungen (partiell gedämmte Stahlbetonwand) oder eine Lastübertragung mit speziell von der Zulieferindustrie hergestellten Dämmelementen. Die beiden Massnahmen beeinflussen die Baustatik und die Bauakustik stark. Deshalb sind diese Einflüsse zu beachten, um eine korrekte Lösung zu realisieren.