

Abb. 2: Grundriss des Dachgeschosses

- XPS Styrodur:  $\lambda = 0,035$  W/mK,
- XPS Styrodur Umkehrdach:  $\lambda = 0,041$  W/mK.

Beim ersten Ortstermin Anfang Dezember 2014 war in der betreffenden Außenecke eine dreiecksförmige Verfärbung am Übergang von der Außenwand zur Decke feststellbar. Gemäß Angabe der Eigentümer sei diese Stelle mittels Schimmelpilzdesinfektionsmittel behandelt worden.

Zum Zeitpunkt der ersten Ortsbesichtigung konnte eine relative Luftfeuchtigkeit von 54 % und eine Raumlufttemperatur

von +21,0°C gemessen werden. Vergleichende Feuchtigkeitsmessungen mit einer Aktivelektrode nahe der Ecke und Messungen an unverfärbten Wandbereichen ergaben nur leicht erhöhte Feuchtigkeitsmesswerte im Bereich der Außenecke.

Bei einem weiteren Ortstermin im Dezember 2014 wurden dann Thermografieaufnahmen im Schlafzimmer gefertigt. Die Randbedingungen wurden gemessen, hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes abgeschätzt und gemittelt.

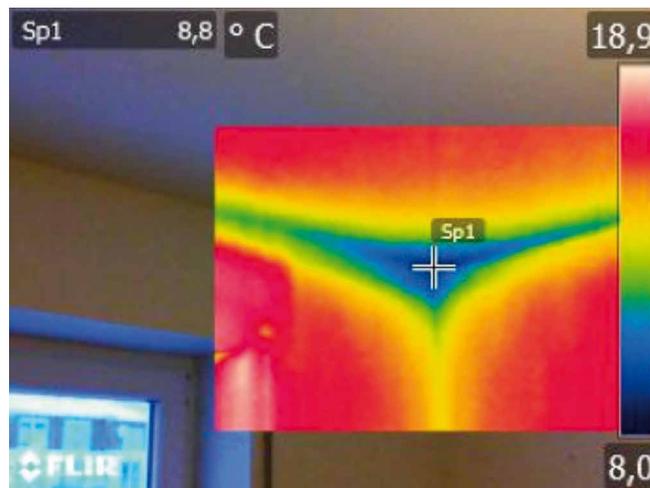


Abb. 3: Thermografieaufnahme der nördlichen Ecke des Schlafzimmers

Randbedingungen:

- $\theta_i = +19,0^\circ\text{C}$
- $\theta_e = -2,0^\circ\text{C}$
- $\varphi_i = 55\%$

#### 4 Berechnungen

Da die vorstehend beschriebenen thermischen Messungen (Thermografie) unter instationären Bedingungen durchgeführt wurden, die gemessenen Oberflächentemperaturen somit also nicht in einem eindeutigen Bezug zu den gleichzeitig gemessenen Innen- und Außentemperaturen stehen, wurde die betreffende Wärmebrücke mit einem Wärmebrückenrechnungsprogramm thermisch untersucht. Verwendet wurde hierbei die Software »Psi-Therm 3D 2014 der VISION-WORLD GmbH Latedorf«. Mit der Software wird die von Schimmelpilzbildung betroffene Außenwanddecke im Schlafzimmer am Übergang zur Geschosdecke und zur Dachterrasse unter Ansatz der Normklimarandbedingungen der DIN 4108-2 untersucht.

Dabei werden folgende Klimarandbedingungen angesetzt:

- Innenlufttemperatur  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ ,
- relative Luftfeuchte innen  $\varphi_i = 50\%$ ,
- Außenlufttemperatur  $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ ,
- Wärmeübergangswiderstand innen (beheizte Räume)  
 $R_{si} = 0,25$  m<sup>2</sup>K/W,
- Wärmeübergangswiderstand innen (unbeheizte Räume)  
 $R_{si} = 0,17$  m<sup>2</sup>K/W,
- Wärmeübergangswiderstand außen  
 $R_{se} = 0,04$  m<sup>2</sup>K/W.

Im Ergebnis der Simulationsberechnung ergibt sich eine Oberflächentemperatur von 9,91°C, woraus sich ein Temperaturfaktor  $f_{Rsi}$  von 0,60 errechnet.

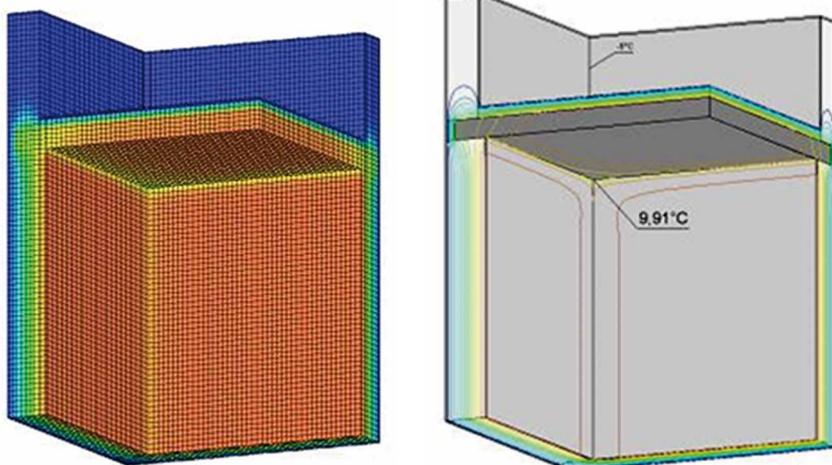


Abb. 4: Darstellung der modellierten und diskretisierten Wärmebrücke in der Berechnungssoftware mit Temperaturverlauf.

## 5 Bewertung

Bei den Verfärbungen an der nördlichen Außenwanddecke im Schlafzimmer handelte es sich augenscheinlich um Schimmelpilzbewuchs, auf eine Beprobung und Laboruntersuchung wurde aufgrund der schon erfolgten Desinfektion verzichtet.

Voraussetzung für die Sporenauskeimung und das Sporenwachstum von Schimmelpilzen ist

- eine ausreichend hohe Luftfeuchte oder Porenluftfeuchte,
- eine ausreichend hohe Temperatur,
- ein geeigneter Untergrund (Substrat)
- über einen ausreichend langen Zeitraum.

Im vereinfachten Verfahren der DIN 4108-2 wird zur Vermeidung eines Schimmelpilzrisikos nur der Faktor der relativen Luftfeuchte als Kriterium des Schimmelpilzrisikos angeführt. Nach DIN 4108-2 besteht das Risiko von Schimmelpilzbildung, wenn die Temperatur der Wandoberfläche unter den Normklimarandbedingungen 12,6°C bzw. der Temperaturfaktor  $f_{Rsi}$  den Wert von 0,7 unterschreitet. In diesem Fall überschreitet die relative Luftfeuchte an der Wandoberfläche einen Wert von 80 %, was als kritischer Schwellenwert für Schimmelpilzbildung angesehen wird.

Der Temperaturfaktor ist nach DIN EN ISO 10211 wie folgt definiert.

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} \quad [-] \quad (1)$$

- $f_{Rsi}$  Temperaturfaktor [-]
- $\theta_{si}$  raumseitige Oberflächentemperatur [°C]
- $\theta_i$  Innenlufttemperatur [°C]
- $\theta_e$  Außenlufttemperatur [°C]

Setzt man nun abschätzend die während der Ortsbesichtigung gemessenen Temperaturen (unter Vernachlässigung der instationären Verhältnisse) in die Gleichung ein, so ergibt sich ein Temperaturfaktor von

$$f_{Rsi} = \frac{(8,8 - -2)}{(19 - -2)} = 0,51 < 0,7$$

Das Schimmelpilzkriterium der DIN 4108-2 ist also nicht eingehalten. Ein Einsetzen der örtlichen Messwerte ist jedoch wegen der instationären Vorgänge des Wärmetransportes nicht korrekt. Die im Innenraum gemessenen Temperaturen können nicht unmittelbar den Außentemperaturen gegenübergestellt werden. Die auf die Außenseite einer Außenwand einwirkende Temperatur pflanzt sich nicht unendlich schnell durch den Wandquer-

schnitt fort und zeigt sich nicht zeitgleich an der Innenseite, sondern unterliegt einer gewissen Trägheit. Diese Ausbreitungsgeschwindigkeit des Temperaturfeldes, welche durch die Temperaturleitfähigkeit (nicht Wärmeleitfähigkeit) beschrieben wird, wird durch die Stoffeigenschaften des Bauteils, z.B. die Wärmespeicherfähigkeit oder die spezifische Wärmekapazität bestimmt. Zu dem Zeitpunkt, an welchem die Auswirkungen einer außenseitig aufgetragenen Temperatur innenseitig ankommen, herrschen jedoch sowohl außenseitig als auch innenseitig bereits abweichende Temperaturverhältnisse, welche ihrerseits wieder Einfluss auf die Messungen haben.

Aus diesem Grund ergibt sich bei der Simulation der Wärmebrücke unter Normklimarandbedingungen ein abweichender Temperaturfaktor, welcher jedoch ebenfalls deutlich unter dem kritischen Wert von 0,7 liegt:

$$f_{Rst} = \frac{(9,91 - -5)}{(20 - -5)} = 0,6 < 0,7$$

## 6 Mängelbeseitigung / Sanierung

Sowohl die abschätzenden Messungen als auch die dreidimensionale Berechnung

**Tabelle 1:** Darstellung der untersuchten Varianten

Variante	Beschreibung	Darstellung			
1	Wärmedämmung Brüstunginnenseite und Deckenoberseite 10 cm. WLG 035. Deckenstirnseitendämmung unverändert, 8 cm WLG 035.		5	Wärmedämmung Brüstunginnenseite und Deckenoberseite 10 cm. WLG 020. Brüstungsober- und -außenseite bis eine Steinhöhe unter die Geschossdecke 8 cm. WLG 020.	
2	Wärmedämmung Brüstunginnenseite und Deckenoberseite 10 cm. WLG 020. Deckenstirnseitendämmung unverändert, 8 cm, WLG 035.		6	Wärmedämmung Brüstunginnenseite 10 cm, und Deckenoberseite 8 cm. WLG 020. Deckenstirnseitendämmung 8 cm WLG 020, nach unten und oben um eine Steinhöhe überstehend.	
3	Wärmedämmung Brüstunginnenseite und Deckenoberseite 10 cm. WLG 035. Deckenstirnseitendämmung 8 cm WLG 035, nach unten und oben um eine Steinhöhe überstehend.		7	Wie Variante 4 nur mit einer WLG 020 auf der Decke über dem Wohnraum.	
4	Wärmedämmung Brüstunginnenseite und Deckenoberseite 10 cm. WLG 035. Brüstungsober- und -außenseite bis eine Steinhöhe unter die Geschossdecke 8 cm. WLG 035.		8	Innendämmung 8 cm Kalziumsilikat »Masterclima«, Lambda= 0,0627 W/mK, an der Deckenunterseite sowie im Randbereich 20 cm hoch.	

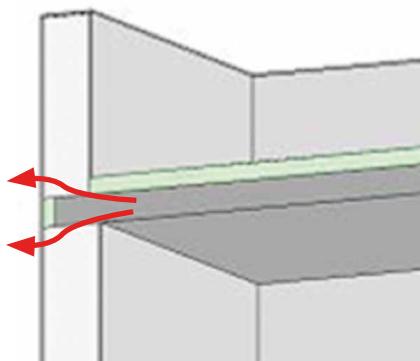


Abb. 5: Darstellung des Wärmestroms »an der Stirnseitendämmung vorbei«.

der Wärmebrücke haben ergeben, dass bei der gewählten Ausführungsart die Anforderungen der DIN 4108-2 im Hinblick auf die Vermeidung von Schimmelpilzbildung auf Bauteiloberflächen nicht erfüllt werden. Dabei ist besonders hervorzuheben, dass es sich bei der dargestellten Konstruktion um eine häufig anzutreffende Bauweise handelt. So konstruierte Deckeneinbindungen sind wenigstens im Bereich von darüber liegenden Brüstungen von Dachterrassen oder Dachflächen überwiegend mangelhaft. Der Fehler liegt darin, dass die Deckenstirnseitendämmung nicht ausreichend weit nach oben und unten verlängert wurde. Der Wärmestrom kann daher »an der Dämmung vorbei« verlaufen, wie Abb. 5 zeigt. Somit erweist sich auch eine Erhöhung der Dämmstoffdicke auf der Dachterrassendecke als nahezu wirkungslos, da diese die gezeigten Effekte nicht verhindern kann.

Im Rahmen von Variantenbetrachtungen zur Mängelbeseitigung/Sanierung der betreffenden Wärmebrücke (s. Tabelle 1 + 2) war gut zu erkennen, dass weder das Erhöhen der Dämmstoffdicke auf der Dachterrassendecke noch das Anbringen einer Dämmung auf der Innenseite der Brüstungswand eine ausreichende Erhöhung der inneren Oberflächentemperatur bewirken kann. Erst bei einer entsprechenden Verlängerung der Deckenstirnseitendämmung nach oben und unten und einer Erhöhung des Dämmwertes (WLG 020) konnte eine ausreichende Oberflächentemperatur erzielt werden.

Wie aus der Tabelle 2 zu erkennen ist, führen nur die Varianten 5 bis 8 zu einem Temperaturfaktor oberhalb von 0,7. Nur diese Varianten erfüllen also die Anforderungen der DIN 4108-2. Zur Sanierung der gegenständlichen Problemzone ist

Tabelle 2: Ergebnisse der Variantenberechnungen

Variante	$\vartheta_{si}$	$\vartheta_i$	$\vartheta_e$	$f_{Rsi}$
1	10,4	20	-5	0,62
2	10,89	20	-5	0,64
3	12,2	20	-5	0,69
4	12,27	20	-5	0,69
5	13,91	20	-5	0,76
6	13,74	20	-5	0,75
7	12,66	20	-5	0,71
8 Deckenecke	13,18	20	-5	0,73
8 Übergang Randstreifen	12,97	20	-5	0,72

also eine dieser Varianten zu wählen, wobei die Variante 8 sicher nicht die allgemein übliche Beschaffenheit beschreibt (optische Beeinträchtigung, partielle Verringerung der lichten Raumhöhe), sodass ein Einverständnis des Bauherrn hierzu wohl im Allgemeinen erforderlich sein wird. Im vorliegenden Fall wurde diese Variante 8 im Einvernehmen mit dem Bauherrn realisiert.

## 7 Fazit

Das dargestellte Fallbeispiel zeigt deutlich, dass die so häufig angewandte Bauweise, die in eine wärmedämmende Wandkonstruktion einbindende Geschossdecke nur mit einer stirnseitig angebrachten Wärmedämmung zu versehen, häufig nicht den anerkannten Regeln der Technik, hier der DIN 4108-2, entspricht. Dies gilt nur für Konstruktionen, bei welchen der Wandbildner selbst die Wärmedämmung bildet, wie dies heute zum Beispiel bei hochporisiertem Ziegel- oder Gasbetonmauerwerk der Fall ist.

Wie die Variantenbetrachtungen zeigen, sind oberste Geschossdecken mit darüber liegenden Brüstungen oder Dachattiken besonders empfindlich, da diese ein ungünstiges Verhältnis der außenluftberührten Außenflächen zu den erwärmten Innenoberflächen aufweisen (Kühlrippeneffekt). Die Variantenbetrachtung zeigt, dass auch bei einer umlaufenden Dämmung erhebliche Dämmwerte erforderlich sind, um den erforderlichen Temperaturfaktor gerade so zu erreichen.

Einbindende Geschossdecken zwischen zwei beheizten Geschossen verhalten sich etwas günstiger. Auch hier ist jedoch nicht auszuschließen, dass eine einfache Deckenstirnseitendämmung nicht ausreicht. Derartige Details sollten daher immer thermisch überprüft werden.

### Die Autoren

Dipl.-Ing. (FH),  
Master of Building  
Physics (M.BP.)  
Michael Silberhorn

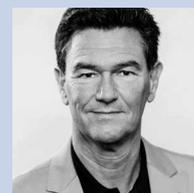


Ingenieurbüro für Bauphysik und Hygrothermik;  
von der Industrie- und Handelskammer Regensburg  
ö.b.u.v. Sachverständiger für Schäden an Gebäuden

Frankenstraße 152, 90461 Nürnberg  
Marktplatz 17, 92342 Freystadt  
Tel. 09179/9653-08  
info@ib-silberhorn.de

www.ib-silberhorn.de

Dipl.-Ing. (FH)  
Michael Holler



von der Industrie- und Handelskammer Karlsruhe  
ö.b.u.v. Sachverständiger für Schäden an Gebäuden

Franz-Sigel-Str. 1  
76646 Bruchsal  
Tel. 07251/982982  
Fax 07251/982981  
holler.ingenieurbuero@t-online.de  
www.holler-sv.de