

# Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten

von

Gerd Hauser und Anton Maas  
Gesamthochschule Kassel · Universität

## 1. Einleitung

Dampfsperren und Wärmedämmschichten sind bei vielen Außenbauteilen zur Erfüllung deren feuchte- und wärmeschutztechnischer Funktionen notwendig. Bei der Bemessung des Feuchte- bzw. Wärmeschutzes wird dabei in der Regel davon ausgegangen, daß diese Elemente ohne Fugen und Fehlstellen eingebracht werden. Wie die Ausführungen der Praxis zeigen, ist diese Annahme meist unzutreffend. Ausführungsmängel bzw. Planungen, die eine ordnungsgemäße Einbringung von Dampfsperren und Wärmedämmschichten unter baupraktischen Gegebenheiten nicht zulassen, sind häufig vorzufinden. Geplantes und Ausgeführtes klaffen oftmals weit auseinander.

Bei Fugen und Fehlstellen in Wärmedämmschichten erfolgt eine Erhöhung der Transmissionswärmeverluste bzw. der Verluste, die durch konvektiven Wärmetransport durch ein undichtes Bauteil entstehen. Desweiteren treten lokal niedrige raumseitige Oberflächentemperaturen auf, die unter Umständen Schimmelpilzbildung zur Folge haben. Aufgrund von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren kann durch Diffusion bzw. Konvektion ein erhöhter Feuchtetransport in ein Bauteil stattfinden und damit die zulässige Tauwasserbildung überschritten werden.

Im folgenden werden Fugen und Fehlstellen in Wärmedämmschichten und Dampfsperren anhand von Beispielen betrachtet und deren Auswirkungen quantitativ aufgezeigt.

## 2. Thermische Auswirkungen

Thermische Auswirkungen ergeben sich hinsichtlich der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste.

### 2.1 Transmissionswärmeverluste

Fehlstellen in Wärmedämmschichten wirken wie Wärmebrücken, durch die einerseits zusätzliche Wärmeverluste und andererseits tiefe raumseitige Oberflächentemperaturen hervorgerufen werden. Die Kennzeichnung zusätzlicher Wärmeverluste erfolgt durch einen Wärmebrückenverlustkoeffizienten WBV, welcher die Wärmeverluste pro laufendem Meter und 1K Temperaturdifferenz darstellt [1]. Die raumseitigen Oberflächentemperaturen von Außenbauteilen sind zur Einschätzung der thermischen Behaglichkeit sowie insbesondere der Gefahr der Tauwasser- oder gar Schimmelpilzbildung von Bedeutung. Sie werden durch ein dimensionsloses Temperaturdifferenzverhältnis gemäß folgender Definition beschrieben

$$\theta = \frac{\vartheta_{\text{Oi}} - \vartheta_{\text{La}}}{\vartheta_{\text{Li}} - \vartheta_{\text{La}}} \quad (1)$$

mit

$\vartheta_{\text{Oi}}$  = innere Oberflächentemperatur in °C

$\vartheta_{\text{Li}}$  = Raumlufttemperatur in °C

$\vartheta_{\text{La}}$  = Außenlufttemperatur in °C

Die Auswirkungen einer Fehlstelle in einer Dämmschicht sind in Bild 1 für unterschiedliche Konstruktionen dargestellt. Es handelt sich um ein Bauteil mit einer Unterkonstruktion in vier Varianten ( Gasbeton, Stahlbeton, Spanplatte und Stahlblech ), einer Dämmstoffschicht von 80 mm Dicke und einer "Außenhaut". Die Konstruktion ist einmal mit und einmal ohne Hinterlüftung ausgeführt, wobei unterschiedliche Wärmeübergangskoeffizienten angesetzt werden. In Bild 1 sind für die unterschiedlichen Konstruktionen die Wärmebrückenverlustkoeffizienten (WBV-Werte) und in Bild 2 die minimalen Oberflächentemperaturen in Abhängigkeit von der Breite des Spaltes im Dämmstoff aufgetragen. Die Spaltbreite ist im Bereich von 0 bis 20 mm variiert. Die Wärmeübertragung im Hohlraum wird mittels äquivalenter Wärmeleitfähigkeiten gem. [2] beschrieben. Die berechneten WBV-Werte zeigen in Abhängigkeit von der Unterkonstruktion den erwarteten Verlauf und betragen bei den größten betrachteten Spaltbreiten von 20 mm zwischen etwa 0,02 W/(mK) für den Gasbeton und etwa 0,066 W/(mK) für das Stahlblech. Die unterschiedlichen äußeren Wärmeübergangskoeffizienten zeigen nur eine geringe Auswirkung auf den WBV-Wert. Der WBV-Wert von 0,066 W/(mK) bei der Stahlblechunterkonstruktion entspricht bei einem k-Wert des nichtbelüfteten Bauteils von 0,46 W/(m²K) einer Erhöhung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten um 0,13 W/(m²K), falls bei einer Dämmstoffbreite von 50 cm jeweils an den Längsseiten 2 cm breite Fugen vorhanden sind. Wie schon die relativ kleinen WBV-Werte erwarten lassen, treten auch relativ geringe Oberflächentemperaturabsenkungen auf. Bei -10 °C Außenlufttemperatur und 20 °C Raumlufttemperatur beträgt für die Unterkonstruktion "Spanplatte" die tiefste raumseitige Oberflächentemperatur 17,6 °C ohne Spalt bzw. 14,4 °C bei 20 mm breitem Spalt. (Die Wärmeleitfähigkeit der Spanplatte ist richtungsunabhängig mit 0,13 W/(mK) festgelegt.)

Fehlstellen o.g. Typs können z.B. bei Sparren- bzw. Pfettendächern auftreten, wobei sich zwei Wärmebrückenwirkungen überlagern. Bei Zugrundelegung eines Aufbaus wie er in Bild 3 dargestellt ist, bestehend aus einer Gipskartonplatte, einer inneren Dampfsperre, einem

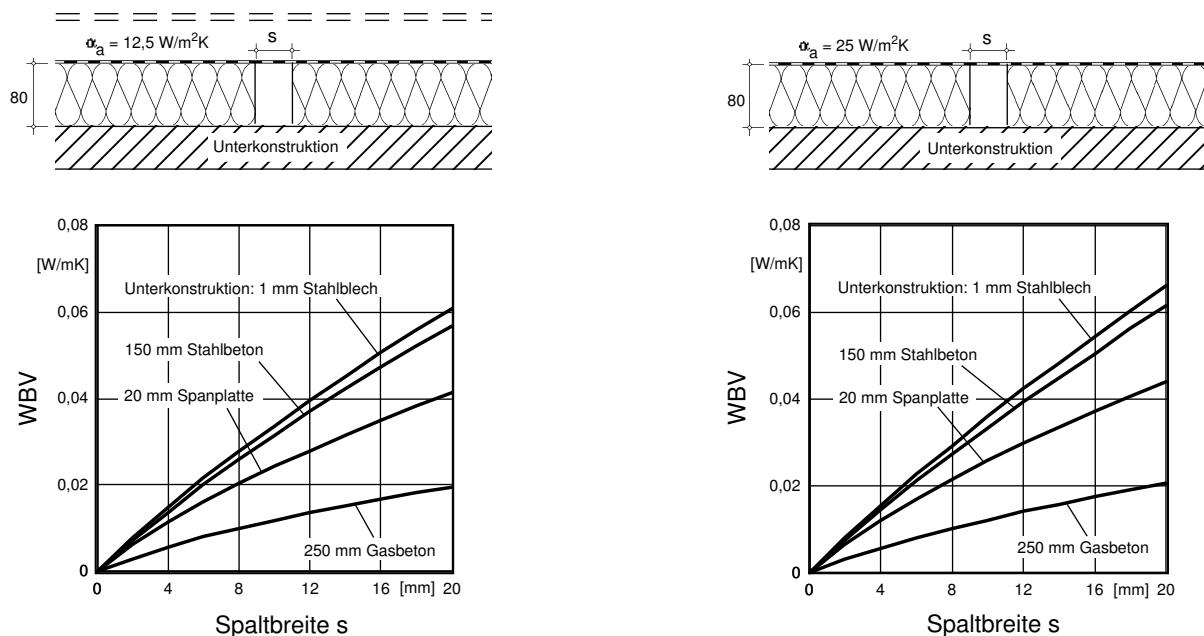


Bild 1: Abhängigkeit des Wärmebrückenverlustkoeffizienten von der Spaltbreite und der Unterkonstruktion unterschiedlicher, belüfteter und nichtbelüfteter Konstruktionen. Die hier und bei den folgenden Bildern zugrunde gelegten Stoffwerte entsprechen DIN 4108 [2].

Dämmstoff:	0,04 W/(mK)	Gipskartonplatte:	0,21 W/(mK)	Spanplatte, Holz:	0,13 W/(mK)
Gasbeton:	0,21 W/(mK)	Stahlbeton:	2,10 W/(mK)	Stahlblech:	60,00 W/(mK)

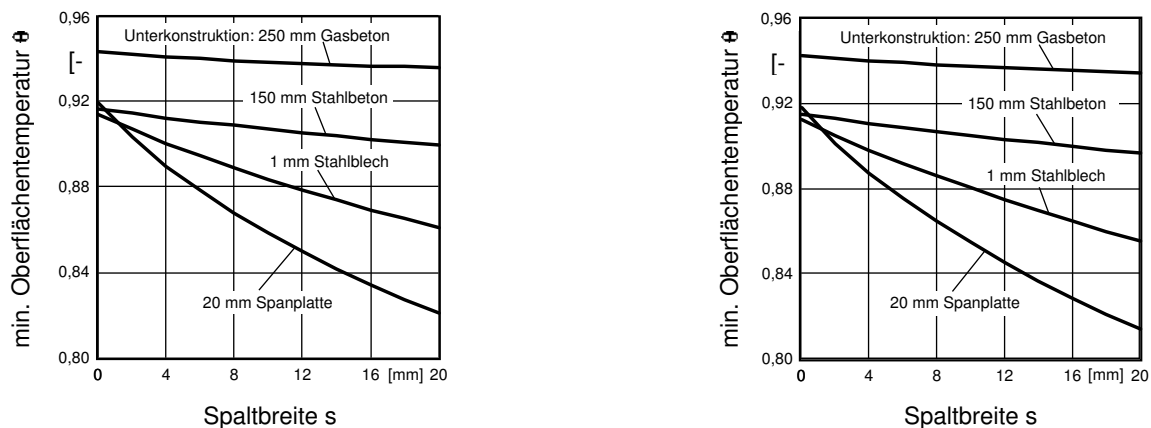


Bild 2: Abhängigkeit der minimalen Oberflächentemperatur von der Spaltbreite und der Unterkonstruktion unterschiedlicher, belüfteter und nichtbelüfteter Konstruktionen. Zugrunde gelegte Daten und Konstruktionen: Wie Bild 1.

Sparrenfeld mit Zwischendämmung, einer Unterspannbahn, einer Lattung und einer Dacheindeckung, ergeben sich die ebenfalls in Bild 3 wiedergegebenen WBV- bzw.  $\theta$ -Werte. Die Dämmstoffdicke beträgt dabei 60 mm oder 160 mm. (Bei völligem Füllen des Sparrenzwischenraumes ist eine Konterlattung erforderlich!) Die Spaltbreite wird wieder zwischen 0 und 20 mm variiert. In der Auftragung des WBV-Wertes über der Spaltbreite ist dargestellt, daß der Wärmebrückeneffekt in zwei Anteile aufgeteilt werden kann. Zum einen die Wirkung des Sparrens allein und zum anderen die Wirkung des Sparrens in Kombination mit dem Spalt. Erkennbar ist, daß der WBV-Wert von der Dämmstoffdicke nur geringfügig beeinflusst wird. Betrachtet man den Fall, daß zwischen dem Sparren und dem Dämmstoff ein Spalt von 20 mm vorhanden ist, verschlechtert sich auch hier der  $k_m$ -Wert bei z. B. 80 cm Sparrenabstand nahezu unabhängig von der Dämmstoffdicke um  $0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Die tiefste raumseitige Oberflächentemperatur wird von der Dämmstoffdicke stark beeinflusst und beträgt bei einer Dämmstoffdicke von 6 cm und den o.g. Randbedingungen  $14,6^\circ\text{C}$  ohne Spalt bzw.  $9,8^\circ\text{C}$  bei 20 mm breitem Spalt.

In den beiden betrachteten Beispielen ist bei der Berechnung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten und der minimalen Oberflächentemperatur in dem Bereich des Spaltes, bzw. des Gefaches eine stehende Luftschicht berücksichtigt. Dieser Ansatz kann sicherlich nicht gelten, wenn in dem ersten Beispiel die "Außenhaut" nicht vorhanden ist, bzw. in dem anderen Beispiel das Dach belüftet ist. Bild 4 zeigt schematisch eine belüftete Konstruktion, die mit der Variante "Stahlblech-Unterkonstruktion" aus Bild 1 verglichen werden kann. Die "Außenhaut" fehlt hier und eine Durchströmung des Spaltes ist zu erwarten. Für die Berechnung des Wärmeübergangs an den Spaltbegrenzungen ist die Kenntnis des Wärmeübergangskoeffizienten in diesem

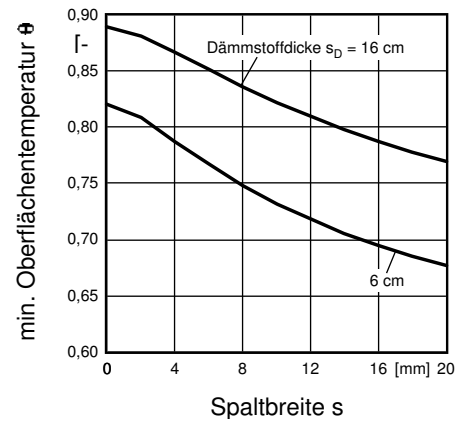
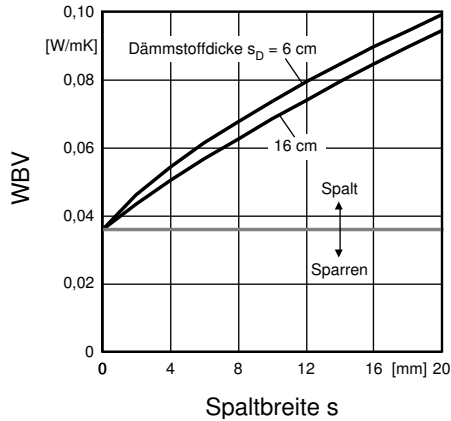
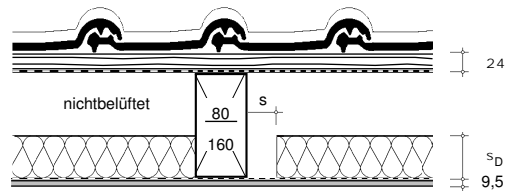


Bild 3: Wärmebrückenverlustkoeffizient und minimale Oberflächentemperatur in Abhängigkeit von der Spaltbreite und der Dämmstoffdicke in einem Sparrenfeld. Zugrunde gelegte Daten: Wie Bild 1.

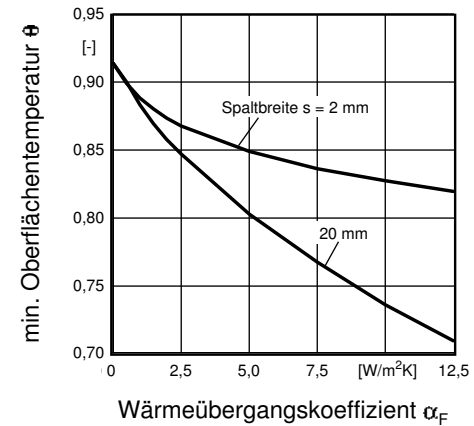
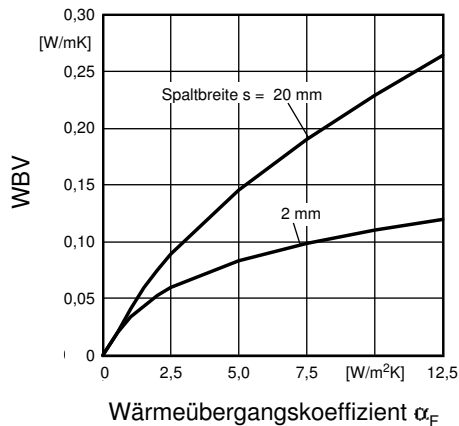
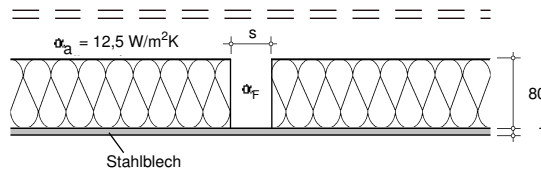


Bild 4: Einfluß des Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_F$  auf den Wärmebrückenverlustkoeffizienten und die minimale Oberflächentemperatur bei unterschiedlicher Spaltbreite. Zugrunde gelegte Daten: Wie Bild 1.

Bereich, hier mit  $\alpha_F$  gekennzeichnet, erforderlich. Der Wärmeübergangskoeffizient ist allgemein abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit, von der Temperaturdifferenz, von den geometrischen Abmessungen, von den Stoffwerten und den Kontaktzeiten [3,4]. Zahlenwerte für dieses Problem sind aus der Literatur nicht bekannt. Der Strahlungsanteil des Wärmeübergangskoeffizienten im Spalt ist aufgrund der kleinen Temperaturdifferenzen gering. Von maßgeblicher Bedeutung ist der konvektive Anteil, der wiederum hauptsächlich von der Strömungsgeschwindigkeit und der Geometrie des Spaltes abhängig ist. Praktisch auftretende Werte müssen durch Messungen bestimmt werden. Für die Berechnung des WBV-Wertes

und der minimalen Oberflächentemperatur werden im Spalt Wärmeübergangskoeffizienten im Bereich von 0 bis 12,5 W/(m²K) angesetzt, um den Effekt prinzipiell aufzeigen zu können.

Bei einer Spaltbreite von 2 mm ergeben sich für den Wärmebrückenverlustkoeffizienten Werte, die bis zu einem Faktor 15 höher liegen als dies unter der Berücksichtigung einer stehenden Luftschicht der Fall ist. Bei der Spaltbreite von 20 mm beträgt dieser Faktor 4,4. Der Einfluß der Spaltbreite auf den WBV-Wert ist geringer als bei reiner Wärmeleitung (Bild 1). Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei den gewählten Spaltbreiten für die Wärmeübertragung

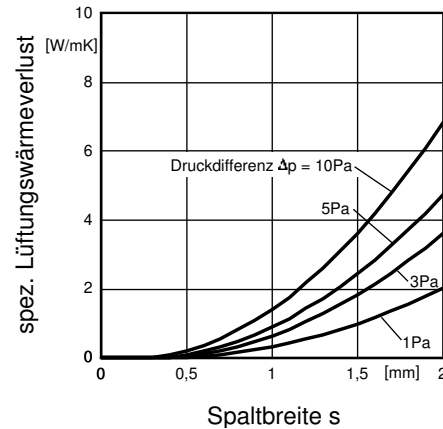
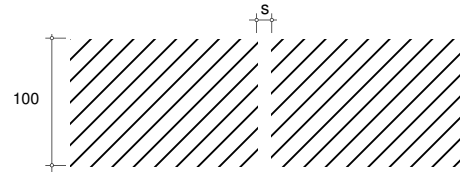
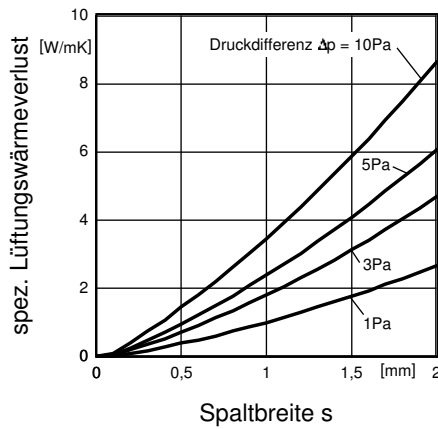
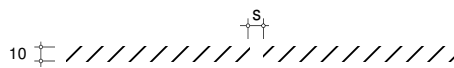


Bild 5: Abhängigkeit der spez. Lüftungswärmeverluste von der Spaltbreite und der wirksamen Druckdifferenz bei unterschiedlichen Bauteildicken.

die deutlich größeren seitlichen Flächen der Spaltbegrenzung durch den Dämmstoff maßgeblich sind.

Die minimale Oberflächentemperatur wird deutlich herabgesetzt und sinkt bei einer Spaltbreite von 20 mm um 0,2. Dies entspricht bei den zuvor genannten Randbedingungen einer Absenkung von 6 K.

## 2.2 Lüftungswärmeverluste

Führen Fugen bzw. Fehlstellen in der Wärmedämmschicht zu Undichtigkeiten, durch welche Luft durch eine Konstruktion strömen kann, stellen sich Lüftungswärmeverluste (infolge Infiltration) ein. Typische Beispiele sind belüftete Dachkonstruktionen, welche innenseitig mit Profilholzbrettern, die keine Dichtigkeit gewährleisten, verkleidet sind und die Luftdichtigkeit durch eine Folie nicht ausreichend sichergestellt ist. Häufig treten auch Undichtigkeiten bei belüfteten Hallendächern auf, bei denen die Unterkonstruktion aus einer abgehängten Kassetten- oder Rasterdecke oder aus Blechprofilen besteht. Hier muß ebenfalls durch eine Folie oder durch Dichtungsbänder die Luftdichtigkeit der Konstruktion gewährleistet sein. Luft kann durch vorhandene Spalte in eine Konstruktion strömen, wenn zwischen dem Gebäudeinneren und einem belüfteten Zwischenraum oder dem Äußeren des Gebäudes eine Druckdifferenz vorhanden ist.

Druckdifferenzen können durch Windeinwirkung, durch thermischen Auftrieb im Gebäude oder durch Lüftungsanlagen entstehen. Die Abschätzung der Größenordnungen der Druckdifferenzen gestaltet sich schwierig, da sich die genannten Effekte überlagern können. Prüfungen der Dichtigkeit von Gebäuden werden meist bei einer Druckdifferenz von 50 Pa durchgeführt [5, 6]. Dieser Wert ist für durchschnittlich auftretende Verhältnisse sicherlich zu hoch, so daß hier Druckdifferenzen bis zu 10 Pa Berücksichtigung finden.

Zur Verdeutlichung der prinzipiellen Auswirkungen sind in Bild 5 schematisch Bauteile mit einer Spalttiefe von 10 bzw. 100 mm dargestellt. Die spezifischen Lüftungswärmeverluste in W/(mK) sind in Abhängigkeit von der Spaltbreite  $s = 0$  bis 2 mm und der wirksamen Druckdifferenz im

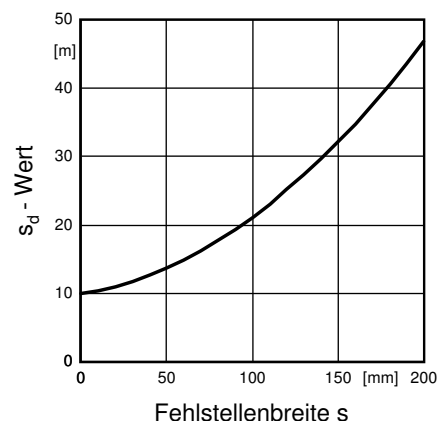
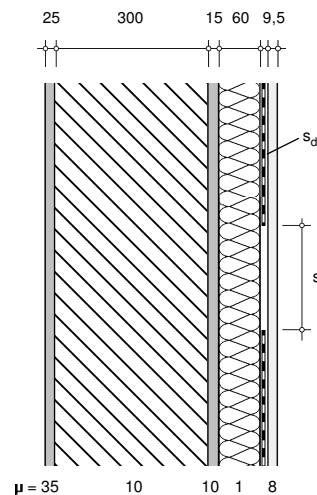


Bild 6: Erforderlicher  $s_d$ -Wert für "Taufwasserfreiheit" in Abhängigkeit von der Spaltbreite.

Zugrunde gelegte Wärmeleitfähigkeiten:  
 Außenputz: 0,87 W/(mK)  
 Mauerwerk: 0,70 W/(mK)  
 Innenputz: 0,35 W/(mK)  
 Dämmstoff: 0,04 W/(mK)  
 Gipskartonplatte: 0,21 W/(mK)

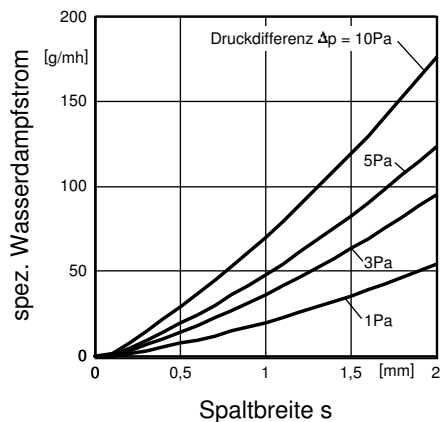
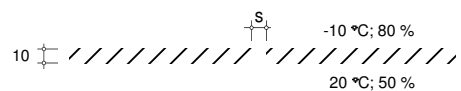


Bild 7: Spez. Wasserdampfstrom in Abhängigkeit von der Spaltbreite und der wirksamen Druckdifferenz bei unterschiedlichen Bauteildicken.

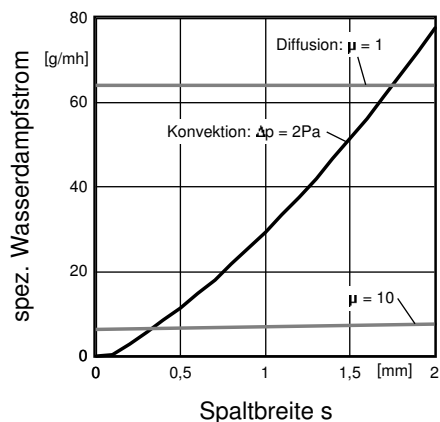
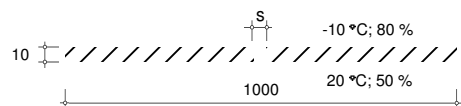
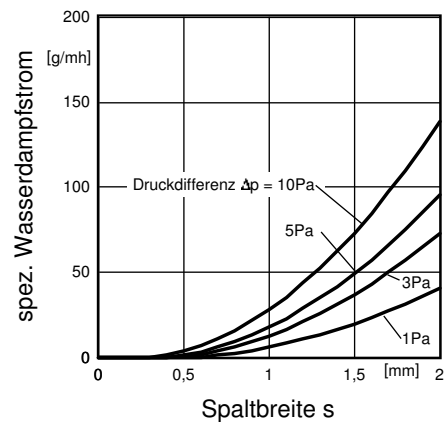
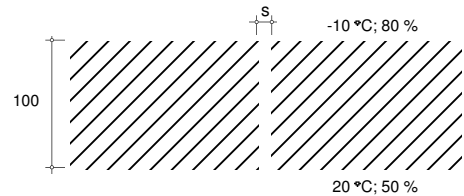
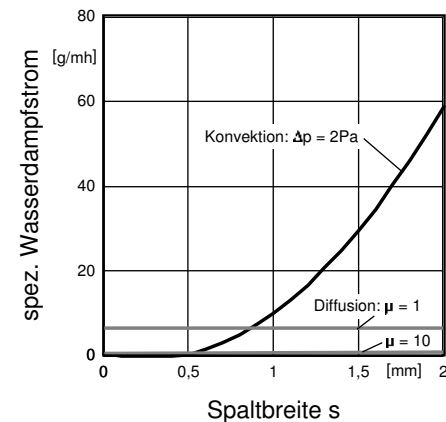
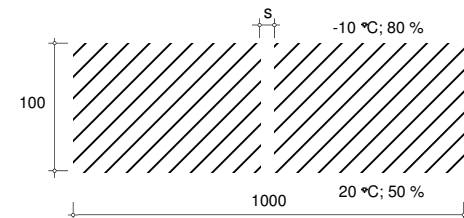


Bild 8: Vergleich der Transportmechanismen Konvektion und Diffusion



Bereich von 1 bis 10 Pa aufgetragen. Die Berechnung des Luftvolumenstroms erfolgt gem. [7]. Es sei darauf hingewiesen, daß hier nur die Konvektion durch Spalte und nicht die Konvektion innerhalb eines Dämmstoffes, vergl. [8], betrachtet wird.

Vergleicht man die Lüftungswärmeverluste mit den zuvor aufgezeigten Wärmebrückenverlustkoeffizienten, welche die gleiche Einheit haben, so zeigt sich, daß je nach betrachteter Konstruktion die Verluste bis zu 2 Zehnerpotenzen höher liegen können. Für den  $k_m$ -Wert bedeutet dies bei einem 100 mm dicken Bauteil von 1 m Breite, das eine Fuge mit einer Breite von 2 mm aufweist, und unter Zugrundelegung einer Druckdifferenz von 10 Pa eine  $k$ -Wert-Erhöhung von  $7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

### 3. Hygrische Auswirkungen

Der Feuchtetransport vom Gebäudeinneren durch bzw. in

ein Bauteil erfolgt im wesentlichen durch Diffusion und/oder Konvektion. Dabei kann es zu Tauwasserbildung kommen. Dies ist unschädlich, wenn durch die Erhöhung des Feuchtegehaltes des Baustoffes der Wärmeschutz und die Standsicherheit des Bauteils nicht gefährdet werden [2]. Einflüsse von Fugen und Fehlstellen werden im folgenden nach den unterschiedlichen Transportmechanismen beschrieben.

#### 3.1 Wasserdampfdiffusion

Die Wasserdampfdiffusion in ein Bauteil kann durch den Einsatz einer Schicht mit hohem Diffusionswiderstand gemindert werden. Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren bewirken zwei- bzw. dreidimensionale Feuchttransportvorgänge, vgl. [9]. Ein typisches Beispiel hierfür ist in Bild 6 dargestellt. Eine Außenwand mit 25 mm Außenputz, 300 mm Mauerstein und 15 mm Innenputz wird zur dringend erforderlichen

Verbesserung des Wärmeschutzes auf der Innenseite mit einer 60 mm starken Mineralfaserdämmung versehen. Zwischen der innenseitig angebrachten Gipskartonplatte mit einer Dicke von 9,5 mm und dem Dämmstoff ist eine Dampfsperre angeordnet. Das Diagramm zeigt, daß für eine funktionstüchtige Dampfsperre - also ohne das Vorhandensein einer Fehlstelle - die äquivalente Luftschichtdicke  $s_d$  ( $s_d$ -Wert) 10 m betragen muß, damit eine Tauwasserbildung im Bauteil gerade vermieden wird. Ist eine Fehlstelle in der Dampfsperre vorhanden, so muß entsprechend dem Kurvenverlauf die äquivalente Luftschichtdicke größer sein um Tauwasserfreiheit zu gewährleisten. Die Berechnung der  $s_d$ -Werte erfolgt nach den Randbedingungen in DIN 4108. Die so erhaltenen Ergebnisse spiegeln nicht die Anforderungen der Norm wieder, da eine gewisse Tauwasserbildung in der Konstruktion vorhanden sein darf (s.o.).

### 3.2 Konvektiver Feuchtetransport

Wie zuvor geschildert treten Lüftungswärmeverluste auf, wenn Luft durch eine Konstruktion strömen kann. Mit dem Luftstrom wird auch Feuchtigkeit in das Bauteil transportiert [10-14]. Unter den dargestellten Randbedingungen für Temperaturen und Feuchtegehalte auf den beiden Seiten des schematisch gezeichneten Bauteils zeigt Bild 7 die Feuchtigkeitsmenge, die bei unterschiedlichen Druckdifferenzen durch einen Spalt mit den angegebenen Abmessungen strömt. Zur Verdeutlichung der Größenordnungen ist in Bild 8 ein Vergleich zwischen den einzelnen Transportmechanismen vorgenommen. Betrachtet wird hier der Wasserdampfstrom, der durch ein Bauteil von 1 m Breite diffundiert, mit dem Strom, der auf konvektivem Wege bei einer Druckdifferenz von 2 Pa durch einen Spalt von 0 bis 2 mm Breite gelangt. Während durch das Bauteil mit einer Dicke von 10 mm und einer Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl ( $\mu$ -Wert) von 1 (z.B. mineralische Faserdämmstoffe) ein vergleichsweise großer spezifischer Wasserdampfstrom diffundieren kann, überwiegt bei dem 100 mm dicken Bauteil deutlich der Anteil, der durch Konvektion transportiert wird. Der spezifische Wasserdampfstrom bedingt durch Konvektion liegt um das 9fache höher als bei der Diffusion mit einem  $\mu$ -Wert von 1. Bei einem  $\mu$ -Wert von 10 (z.B. Gasbeton) beträgt der Faktor 92.

### 4. Praktische Konsequenzen

Die Auswirkungen von Fehlstellen in Wärmedämmschichten sind in der Regel relativ klein. Grenzen die Fehlstellen an belüftete Bauteilquerschnitte, können je nach Wärmeübergang zum Teil erhebliche Auswirkungen auftreten. Führen die Fugen bzw. Fehlstellen in der Wärmedämmschicht bzw. in der Dampfsperre zu Undichtigkeiten, durch welche Luft durch die Konstruktion strömen kann, stellen sich um Zehnerpotenzen höhere zusätzliche Wärmeverluste ein als sie durch die Wärmebrückenwirkung verursacht werden.

Die Betrachtung von Fugen bzw. Fehlstellen in Dampfsperren zeigt, daß bei Diffusionsvorgängen die Konstruktionen in der Regel relativ große Fehlstellen in Dampfsperren verkraften können. Demgegenüber wirken sich Fugen bzw. Fehlstellen, welche auch eine Luftundichtigkeit beinhalten, auch hinsichtlich des feuchtetechnischen Verhaltens sehr stark aus. In der Regel sind Konvektionsvorgänge dominant gegenüber Diffusionsvorgängen. Fehlstellen in Dampfsperren führen im allgemeinen nicht zum Schaden, fehlende Winddichtigkeit dagegen sehr häufig.

Als praktische Konsequenz aus dem zuvor genannten folgt

die - eigentlich selbstverständliche - sorgfältige Planung und Ausführung von Konstruktionen, bei denen Fugen und Fehlstellen vermieden bzw. auf ein Minimum begrenzt werden. Dies gilt insbesondere für die Winddichtigkeit sowohl in wärmetechnischer als auch in feuchtetechnischer Hinsicht.

### Literatur

- [1] Hauser, G. und Stiegel, H.: Wärmebrückenatlas für den Mauerwerksbau. Bauverlag Wiesbaden (1990).
- [2] DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau" (Aug. 1981).
- [3] Gröber, Erk, Grigul: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung. Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg, 3. Auflage (1963).
- [4] Schlünder, E. U.: Einführung in die Wärmeübertragung. Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, 5. Auflage (1986).
- [5] Kropf, F., Michel, D., Sell, J., Zumoberhaus, M. und Hartmann P.: Luftdurchlässigkeit von Gebäudehüllen im Holzausbau. EMPA Bericht Nr. 218, Dübendorf/Schweiz (Nov. 1989).
- [6] Knublauch, E., Schäfer, H. und Sidon, S.: Über die Luftdurchlässigkeit geneigter Dächer. gi 108 (1987) Nr. 1, S. 23-26 und S. 35-36.
- [7] Esdorn, H. und Rheinländer, J.: Zur rechnerischen Ermittlung von Fugendurchlaßkoeffizienten und Druckexponenten für Bauteilfugen. HLH 29 (1978) Nr. 3, S. 101-108.
- [8] Zeitler, M. und Schreiner, R.: Einfluß der Konvektion auf die Wärmeübertragung in Dämmkonstruktionen. BWK 12 (1989), S. 525-531.
- [9] Schüle, W. und Reichhardt, I.: Wasserdampfdurchgang durch Öffnungen. wksb Sonderausgabe (Aug. 1980). S. 12-16.
- [10] Scharte, N.: Bedeutung der Winddichtigkeit ausgebauter Dachgeschosse. Bauhandwerk 5 (1989).
- [11] Witte, H. und Klingsch, W.: Mehrschichtige Dächer mit Trapezprofilen - bauphysikalische Problemlösungen. Bauphysik 10 (1988), H. 1, S. 7-11.
- [12] Kern, A.: Steildachdämmung ohne Hinterlüftung. DBZ (1991), Nr. 1, S. 93-95.
- [13] Liersch, K.W.: Wärme gedämmte Dachschrägen. DBZ (1991) Nr. 2, S. 255-258.
- [14] Jablonka, D.: Tauwasser beim luftdurchlässigen geneigten Dach. Das Dachdecker Handwerk (1987), H. 3.