

Gebäudedichtheit - eine wichtige Forderung für schadenfreies Bauen

Teil 1: Vermeidung von Zuglufterscheinungen, unkontrollierten Lüftungswärmeverlusten und eines konvektiven Feuchtetransports

Wolf-Hagen Pohl*

1. Grundlagen

Die Außenbauteile eines Gebäudes müssen nicht nur sehr gut wärmedämmen, das heißt kleine U-Werte** aufweisen, sondern auch luft- und winddicht sein. Dies ist erforderlich, da sonst über einen unkontrollierten Luftaustausch zwischen innen und außen durch Undichtheiten in den Außenbauteilen sehr viel Wärme verloren gehen kann. Weiterhin können in den Innenräumen Zuglufterscheinungen auftreten, die ein behagliches Wohnen nicht ermöglichen.

Warme Innenluft kann relativ viel Feuchte in Gasform aufnehmen. Diese Feuchte wird, wenn Undichtheiten in den Außenbauteilen vorhanden sind, über den Luftdurchsatz durch die Außenbauteile nach „draußen“ abgeführt. Auf dem „Weg“ durch das Außenbauteil gelangt die Luft an kalte Bauteilschichten, die Folge: Es entstehen im Einzelfall sehr große Tauwassermengen im Inneren von Außenbauteilen (beispielsweise Wand und Dach).

Luft besteht aus sehr kleinen „Teilchen“, diese sind nur in einem „lockeren Verbund“ im Gasgemisch Luft vorhanden. Luft lässt sich, auch bedingt durch die geringe Masse, bereits durch sehr kleine Kräfte bewegen. Dadurch können große Luftmengen schon durch relativ schmale Fugen oder kleine Fehlstellen in den Schichten der Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche nach außen gelangen. Gleichzeitig strömt an anderen undichten Stellen kalte Außenluft nach innen, die auf die Raumlufttemperatur erwärmt werden muss; diese erwärmte Außenluft, jetzt Innenluft, gelangt wieder nach außen und so weiter.

* Der Autor ist Architekt und wurde 1975 zum Professor an der damaligen Technischen Universität Hannover (heute Universität Hannover) ernannt. Er war Leiter der Abteilung Baustoffkunde und Bauphysik im Institut für Bautechnik und Entwerfen. Seit November 2003 befindet er sich im Ruhestand. Wolf-Hagen Pohl referierte zu diesem Thema am 30. Januar 2004 auf dem 12. Deutschen Klempnertag in Würzburg.

** Der U-Wert hieß früher k-Wert und hat die Einheit $W/(m^2 \cdot K)$

In der Fläche von Bauteilen können Undichtheiten auftreten, wenn sie aus kleinteiligen Elementen erstellt werden, und/oder luftdurchlässige Baustoffe ohne weitere Funktionsschichten verwendet werden. Hier sind beispielhaft zu nennen: unverputztes Mauerwerk, beispielsweise im Bereich von Abseiten, oder auch die Fläche von geneigten Dächern aus Holzkonstruktionen. Wegen des großen Einflusses von Undichtheiten in den Bauteilen der wärmeübertragenden Umfassungsfläche von Gebäuden auf

- den Energieverbrauch (unkontrollierte Lüftungswärmeverluste, energetischer Aspekt),
- das behagliche Wohnen (Zuglufterscheinungen, hygienischer Aspekt),
- das Entstehen von Bauschäden (Wasserdampftransport feuchtechnischer Aspekt) und
- den Luftschallschutz

werden hier die zum Verständnis dieses Einflusses und für Maßnahmen, die ein schadenfreies Konstruieren ermöglichen, die erforderlichen Grundlagen kurz vorgestellt. Welche Kräfte bewirken einen unkontrollierten Luftaustausch über Undichtheiten und wie groß kann der Luftaustausch werden? Antriebsmotoren für einen Luftaustausch zwischen innen und außen bei Undichtheiten in den wärmeübertragenden Bauteilen können sein:

Antriebsmotor 1: Wind

Je nach landschaftlicher Gegebenheit (beispielsweise Küstennähe, Gebirgslage), städtebaulicher Einbindung (beispielsweise Blockbebauung, Zeilenbau, offene Baustruktur, flaches oder geneigtes Dach, Vegetation) und der Ausrichtung des Gebäudes in Bezug auf die Hauptwindrichtung, ist ein Gebäude unterschiedlichen Windbeanspruchungen ausgesetzt. Es entstehen Druck- und Sogkräfte am Gebäude (Bild 1. und 2.). Für eine überschlägige rechnerische Erfassung dieser Motorkraft ist der Wert für die Windgeschwindigkeit von 3 m/s für ein freistehendes, zwei- bis dreigeschos-

siges Gebäude im Binnenland angemessen; es entsteht eine Antriebskraft für den Motor 1 von etwa 10 Pa (Pascal = Einheit des Drucks pro Flächeneinheit, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$).

Antriebsmotor 2: Temperaturunterschied zwischen innen und außen

Die wärmeübertragenden Bauteile eines Gebäudes grenzen unterschiedlich temperierte Luftmassen (innen/außen) voneinander ab. Die Dichte der Luft ändert sich in Abhängigkeit von der Temperatur. Aufgrund der unterschiedlichen Dichte von warmer und kalter Luft entstehen Kräfte an der wärmeübertragenden Umfassungsfläche eines Gebäudes. Diese Kräfte sind abhängig von der Temperaturdif-

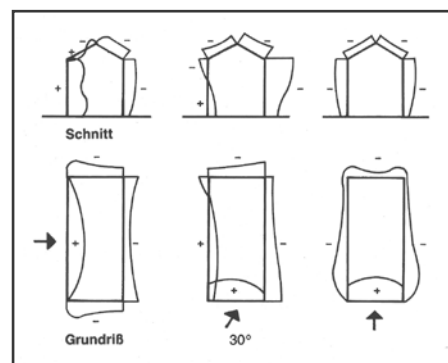


Bild 1.: Grafische Darstellung der Winddruckverteilung am freistehenden Gebäude in Abhängigkeit von der Anströmrichtung des Windes in Grundriss und Aufriss, nach Lit. 10.

Windstärke nach Beaufort	Windgeschwindigkeit m/s	Staudruck/Kraft Pa
0	0,0 - 0,5	0,0 - 0,2
1	0,6 - 1,7	0,2 - 2,0
2	1,8 - 3,3	2,0 - 7,0
3	3,4 - 5,2	7,0 - 17,0
4	5,3 - 7,4	18,0 - 35,0
5	7,5 - 9,8	36,0 - 61,0
6	9,9 - 12,4	62,0 - 98,0
7	12,5 - 15,2	100,0 - 147,0
8	15,3 - 16,2	149,0 - 211,0

Die Windstärken 9 - 12 Bft sind wegen der Seltenheit des Auftretens weggelassen.
 $1 \text{ Pascal (Pa)} = 1 \text{ N/m}^2 = 0,1 \text{ kp/m}^2 = 0,1 \text{ mmWS}$

Bild 2.: Zusammenhang von Windstärke, Windgeschwindigkeit und Staudruck, Lit. 05.

Funktionalität verbunden mit kreativer Gestaltung

DOMICO



Metallprogramme: Dach und Wand



Element-Dach



Element-Halle

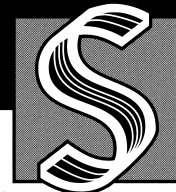
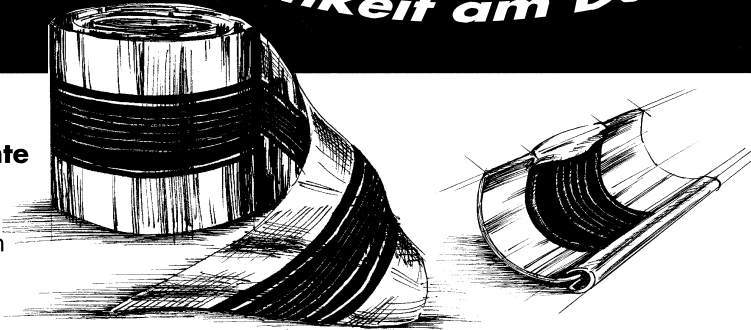
Domico Dach-, Wand- und Fassadensysteme Gesellschaft m.b.H. & Co. KG
Telefon 091 23/99 90 48 · Fax 091 23/99 90 50

www.domico.de

Semmler Dehnungselemente

... mehr Beweglichkeit am Dach!

- **Semmler Dehnungselemente** in verschiedenen Ausführungen. Sonderanfertigungen auf Anfrage.



Semmler GmbH
Robert-Bosch-Straße 2
35305 Grünberg
Tel.: (0 64 01) 60 57
Fax: (0 64 01) 49 08
www.semmler.com
semmler-gruenberg@t-online.de

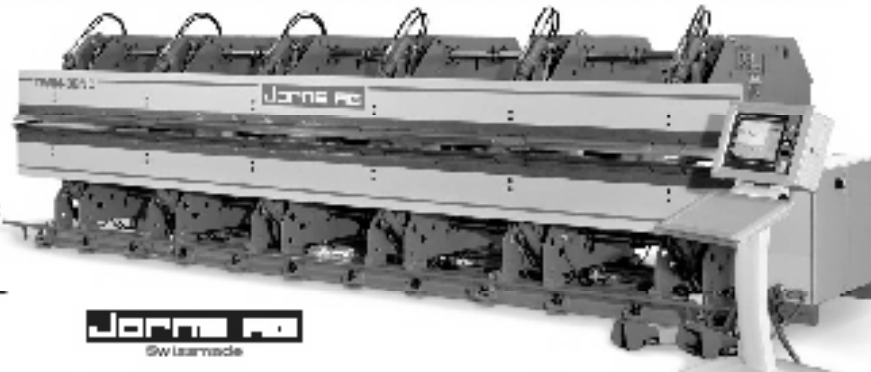
maschinen
Stockert

6-Meter Bauprofile: Abkanten ohne Drehen und Wenden!

Ihre Vorteile:

- Einlegeteile bis 1.170 mm
- Biegeleistung bis 3,0 mm
- Arbeitslänge 4-, 6-, 8- oder 10 m
- Höchste Biegegenauigkeit
- TWIN-BEND, d.h. 2 Biegeanlagen, eine oben und eine unten – 50% Zeitersparnis!

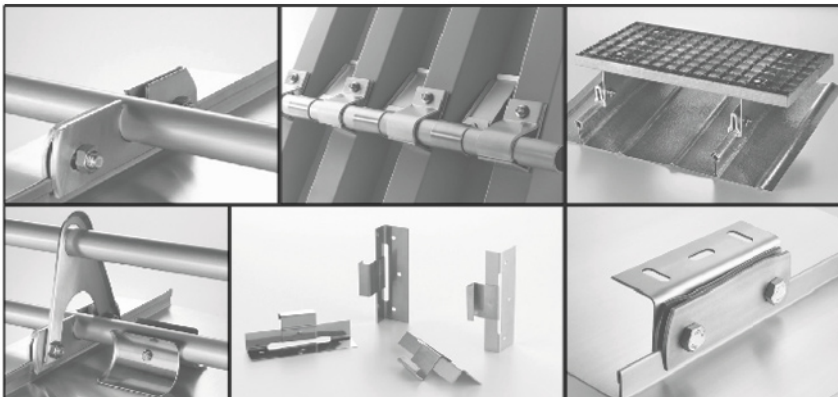
Fragen Sie uns!



Jarno RC
Swissmade

Telefon 08102 / 89488 · Fax 08102 / 89460 · www.maschinen-stockert.de

REES- Produkte – Die Originalen fürs Dach!



**SCHNEEFANGSYSTEME
HAFTENPROGRAMM
TRITTSTUFENHALTER
SOLARHALTER**

Herstellung und Entwicklung:

**SCHNEEFANG-SYSTEME
REES**

GmbH & Co. KG

Im Steinbach 25 · D-87561 Oberstdorf
Tel. (0 83 22) 40 71 · Fax (0 83 22) 48 44
www.rees-oberstdorf.de · info@rees-oberstdorf.de
Lieferung und Verkauf durch den Fachhandel

Temperatur °C	Dichte der Luft	
	trocken kg/m ³	feucht kg/m ³
-20	1,40	1,38
-15	1,37	1,35
-10	1,34	1,32
-5	1,32	1,30
± 0	1,29	1,27
5	1,27	1,25
10	1,25	1,22
15	1,23	1,20
20	1,21	1,18
25	1,19	1,15
30	1,17	1,13
35	1,15	1,11

Näherungsweise kann linear interpoliert werden.

Bild 3.: Änderung der Dichte der Luft in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte, Lit. 05.

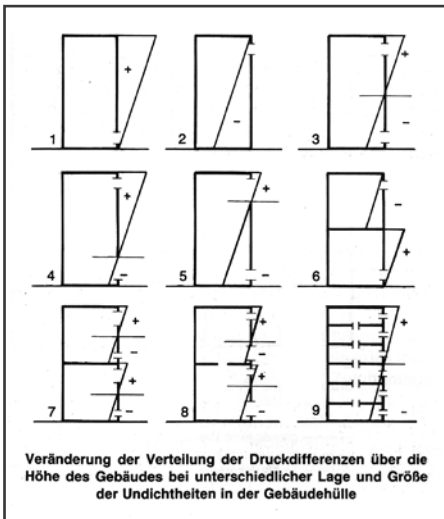


Bild 4.: Gebäude mit Undichtheiten, Verteilung der Druckdifferenz über die Höhe des Gebäudes, schematische Darstellung, nach Lit. 03.

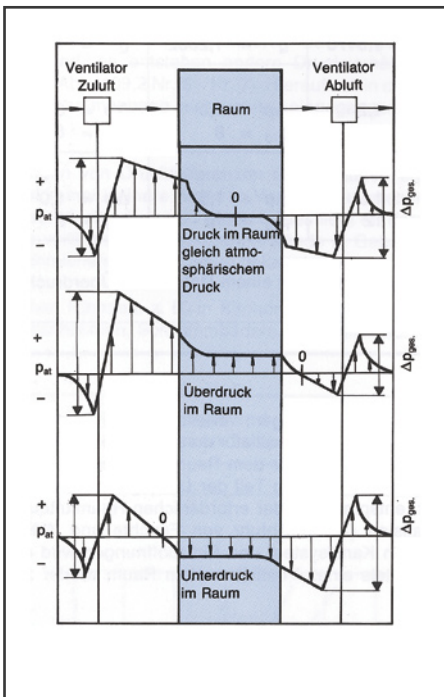


Bild 5.: Mögliche Druckverhältnisse im Innenraum beim Betreiben einer raumluftechnischen Anlage, nach Lit. 04.

ferenz zwischen innen und außen, der Höhendifferenz und der Größe der Undichtheiten in der Gebäudehülle.

In Bild 3. sind Angaben über die Änderung der Dichte der Luft aufgeführt. Für eine überschlägige rechnerische Erfassung dieses Einflusses kann von folgenden Temperaturen ausgegangen werden: Innenluft +20 °C, Außenluft 0 °C; hierbei entsteht pro m Höhe eine Druckdifferenz von etwa 0,6 Pa. Bei einer Höhendifferenz der Undichtheiten im Gebäude von 10 m entsteht für den Motor 2 eine Antriebskraft von etwa 6 Pa.

In Bild 4. kann abgelesen werden, dass die Druckdifferenz und damit die Motorkraft mit dem Höhenabstand der Undichtheiten zunimmt. Bei mehrgeschossigen Gebäuden, so auch schon bei Reihenhäusern, kann eine beachtliche Höhendifferenz auftreten, da das Treppenhaus oft vom Keller bis zum Boden mehr oder weniger offen ausgebildet ist, beziehungsweise dazwischen angeordnete Türen nicht luftdicht schließen.

Anmerkung: Ein Gebäude ist in diesem Zusammenhang nichts anderes als ein „merkwürdig geformter Schornstein“ (Schornsteinzugprinzip, je höher der Schornstein, um so besser „zieht“ er). Umgangssprachlich wird dieses Phänomen so beschrieben: erwärmte Luft wird leichter und steigt auf. Man spricht von einem thermischen Auftrieb.

Antriebsmotor 3: Betrieb einer raumluftechnischen Anlage

Werden Gebäude mit Lüftungsanlagen ausgestattet, so können in Räumen sowohl Normaldruckverhältnisse (Innendruck = Außendruck) als auch Überdruck-/Unterdruckverhältnisse gegenüber außen entstehen. Dies kann durch unterschiedliche Venti-

ladorleistungen, Umlenkungen beziehungsweise unterschiedliche Reibungsbeiwerte in den Lüftungsleitungen geschehen. In Bild 5. sind diese Situationen schematisch dargestellt. Für eine überschlägige rechnerische Erfassung dieses Einflusses kann eine Antriebskraft für den Motor 3 von etwa 5 Pa angesetzt werden.

Die Größenordnung der Kräfte, hervorgerufen durch die drei „Antriebsmotoren“, kann innerhalb eines sehr weiten Bereiches schwanken. Für eine überschlägige Bestimmung des Luftaustausches über Undichtheiten soll bei einem Einfamilienhaus als Antriebskraft 6 Pa angesetzt werden (siehe hierzu das Ablesebeispiel in Bild 6. und Beispiel 1: „Energetische und feuchtetechnische Problemstellungen einer Fuge“). Diese Antriebskraft verursacht Luftvolumenströme durch die wärmeübertragenden Bauteile, wenn dort Undichtheiten vorhanden sind. In diesem Zusammenhang können für die Heizperiode zwei Fälle unterschieden werden.

Fall A: Über die Druckdifferenz wird ein Luftdurchsatz von innen nach außen durch die wärmeübertragenden Bauteile hervorgerufen. Hierbei wird Innenluft mit zum Beispiel 20 °C und 50 % relativer Feuchte in Richtung des Druckgefälles nach außen transportiert. Zum Druckausgleich strömt dabei an einer anderen Stelle Außenluft nach innen.

Die luftdichte Schicht muss auf der Innenseite des wärmeübertragenden Bauteils und zwar auf der Innenseite der Wärmedämmschicht, das heißt auf der „warmen“ Seite der Konstruktion, eingebaut werden, damit die warme und feuchte Innenluft nicht in das Innere des Bauteils gelangt. Dort könnte sonst an kalten Bauteilschich-

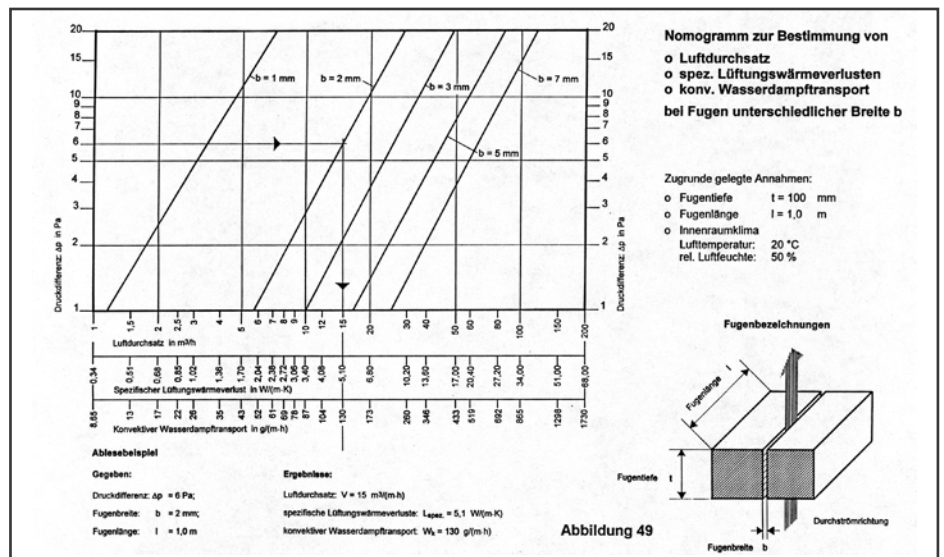


Bild 6.: Nomogramm zur Bestimmung des Luftdurchsatzes, der spezifischen Lüftungswärmeverluste und des spezifischen Wasserdampftransportes bei Fugen unterschiedlicher Breite, modifiziert nach Lit.02.

ten Tauwasser entstehen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem „konvektiven Wasserdampftransport“ beziehungsweise von einer Tauwasserbildung infolge eines konvektiven Wasserdampftransportes. Es stellt sich die Forderung: Luftdichtheit

Fall B: Über die Druckdifferenz kann auch ein Luftdurchsatz von außen nach innen hervorgerufen werden. Hierbei wird kalte Außenluft in das Innere des wärmeübertragenden Bauteils transportiert. Dabei kann die wärmeschutztechnische Qualität eines Bauteils nennenswert verschlechtert werden, ohne dass die kalte Außenluft bis in das Innere des Gebäudes gelangt. Hier sind zwei Mechanismen zu nennen:

-- Durch das Eindringen der kalten Außenluft in einen strömungsoffenen Wärmedämmstoff (beispielsweise Mineralfaser) nimmt dieser Bereich Außenlufttemperatur an, er steht somit nicht mehr für die Dämmwirkung zur Verfügung.

Im Bereich von offenen Fugen zwischen den Platten aus Wärmedämmstoff kann die kalte Außenluft hinter die Wärmedämmstoffplatten (beispielsweise auf einer Mauerwerkswand aufgebracht) gelangen. Besteht hinter den Platten eine kleine Luftschicht (sie kann durch Einbautoleranzen entstanden sein), so erwärmt dort das warme Mauerwerk die kalte Außenluft, sie wird „leichter“ und nimmt Wärme mit. Es entsteht dadurch eine Luftbewegung um die Wärmedämmschicht herum. Man nennt diese Luftbewegung auch Rotationsströmung; siehe hierzu auch die DIN EN ISO 6946: 1996-11*, hier speziell die Korrekturfaktoren bei Einbau von Wärmedämmstoff bei der Ermittlung der U-Werte der Außenbauteile! Durch beide Mechanismen kann sich die Wärmedämmwirkung der Außenbauteile deutlich verringern. Aus diesem Grund ist in speziellen Fällen der Einbau einer winddichten Schicht auf der Außenseite der Wärmedämmschicht erforderlich (Wärmedämm-schutzschicht).

Es stellt sich die Forderung: Winddichtheit

Neben den „Antriebsmotoren“ übt auch die Fuge beziehungsweise Fehlstelle (zum Beispiel geometrische Beschaffenheit der Undichtheit) einen Einfluss auf die Größenordnung des auftretenden Luftwechsels und die damit verbundenen Folgen aus. In

* Die vorgenannte Norm trägt den Titel „Änderungen gegenüber DIN 4108-5:1981-08, Ersatz der Abschnitte 3, 4, 5 und 10. Bauteile, Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient. Berechnungsverfahren.“

dem bereits erwähnten Bild 6. ist ein Nomogramm dargestellt. Damit können die Lüftungswärmeverluste und der konvektive Wasserdampftransport (Tauwasserbildung) abgeschätzt werden. Das Beispiel 1 mit praxisnahen Annahmen soll die energetische und feuchtetechnische Auswirkung von Undichtheiten aufzeigen. Hierbei wird das Ziel verfolgt, den Bauschaffenden nahe zu legen, sich dieser Problemstellung in Planung und Ausführung besonders anzunehmen.

Beispiel 1: Energetische und feuchtetechnische Problemstellungen einer Fuge

Bei folgenden Annahmen: Breite $b = 2$ mm, Tiefe in Durchströmrichtung $t = 100$ mm, Fugenlänge $l = 1,0$ m, Druckdifferenz $\Delta p = 6$ Pa, ergibt sich ein Luftvolumenstrom von etwa $15 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ durch die Fuge; siehe hierzu das Ablesebeispiel in Bild 6.

Auswirkungen bei folgenden Annahmen:

1 m^2 Außenwand soll 1 m Fuge der vorgenannten Qualität besitzen. Die thermischen Daten für Luft: $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$. Bei Berücksichtigung dieser Daten ergibt sich eine dem U-Wert gleichwertige Größe. Es entsteht ein spezifischer Lüftungswärmeverlust von etwa $5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Der Vergleich mit dem U-Wert eines sehr gut gedämmten wärmeübertragenden Bauteils ohne Fugen, beispielsweise $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, ergibt eine Verschlechterung um den Faktor 25!

Daneben treten fatale feuchtetechnische Problemstellungen auf. In dem Beispiel gelangen bei einer Innenluft von 20°C und 50% relativer Feuchte pro Meter Fugenlänge und Stunde etwa 130 Gramm Wasserdampf in das Bauteil. Bei belüfteten Konstruktionen müssten sich hier – je nach strömungstechnischen Parametern (Spaltlänge, Spalthöhe, Ein- und Auslassöffnungen, Dachneigung und so weiter) – Strömungsgeschwindigkeiten von mehreren m/s einstellen, um diese Feuchtemengen schadensfrei abführen zu können. Diese Geschwindigkeiten lassen sich nur motorisch erreichen. Selbst in aus strömungstechnischer Sicht optimal ausgebildeten Konstruktionen lassen sich im Mittel Strömungsgeschwindigkeiten nur im Zentimeterbereich pro Sekunde erreichen. Feuchteschäden im Inneren des Bauteils aufgrund des konvektiven Wasserdampftransportes sind dann zwangsläufig die Folge und zwar unabhängig davon, ob es sich um eine gezielt belüftete oder nicht belüftete Konstruktion handelt. Soweit zu Beispiel 1.

Es gilt daher, die wärmeübertragenden Bauteile so auszubilden, dass die

Gebäudedichtheit erreicht und auch langfristig sichergestellt werden kann. Dieses Ziel ist nur durch das Aufstellen und Umsetzen eines Dichtheitskonzeptes zu erreichen, sonst sind gute Ergebnisse nur Zufallsprodukte. Die Luftdichtheit der Außenbauteile eines Gebäudes (Regelkonstruktionen, Durchdringungen in den Außenbauteilen und Anschlüssen der Bauteile untereinander) ist die Grundvoraussetzung für alle weiteren Maßnahmen zur Verringerung des Heizwärmebedarfs. Diese Forderung gewinnt an Bedeutung, je höherwertiger der Wärmedämmstandard der Bauteile wird, besonders bei Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Kann die Gebäudedichtheit nicht erreicht werden, so laufen alle Maßnahmen für einen erhöhten Wärmeschutz weitgehend „ins Leere“. Weiterhin können auch gravierende Feuchteschäden entstehen und Zuglufferscheinungen die thermische Behaglichkeit beeinträchtigen. Daraus folgt: die Luftdichtheit sollte möglichst früh im Bauablauf messtechnisch überprüft werden. Hier eignet sich die Differenzdruck-Methode am besten.

2. Regeln und Beispiele für luftdichtes Planen und Ausführen

Um Undichtheiten zu vermeiden, müssen nicht nur die Flächen der Regelkonstruktionen der wärmeübertragenden Bauteile, sondern auch die Nahtstellen, die durch das Zusammenfügen der Bauteile entstehen, und Durchdringungen abgedichtet werden. In Bild 7. bis 9. ist ein Mindeststandard in Planung und Ausführung für die Bereiche „Dachfläche“ und „Anschluss Dachfläche an eine Wand“ für die so genannte Randleistendämmung (Dämmstoff mit aufkaschierter Aluminium-Folie) dargestellt. Beim Einbau einer Folie als Dampfbremse beziehungsweise luftdichter Schicht* ist sinngemäß, wie dargestellt, zu verfahren.

*Eine luftdichte Schicht kann sowohl als Dampfbremse oder auch als Dampfsperre ausgeführt werden. Entscheidend für die Auswahl einer dieser beiden Ausführungsarten ist bei jedem Einzelfall – mit seinen konstruktiven und klimatischen Randbedingungen – also die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke, dem Produkt aus dem so genannten s_d -Wert ($\mu \cdot d$), das bedeutet Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl multipliziert mit der Schichtdicke. Die Neufassung der DIN 4108-3 vom Juli 2001 „Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung“ als Ersatz für die vorausgegangene Fassung vom August 1981 nennt die Begriffe Dampfsperre und Dampfbremse nicht. Es gelten seither folgende Begriffe: diffusionsoffene Schicht = Bauteilschicht mit $s_d \leq 0,5 \text{ m}$; diffusionshemmende Schicht = Bauteilschicht mit $0,5 \text{ m} < s_d < 1,500 \text{ m}$ und diffusionsdichte Schicht = Bauteilschicht mit $s_d \geq 1,500 \text{ m}$ (was einer Dampfsperre entspricht).

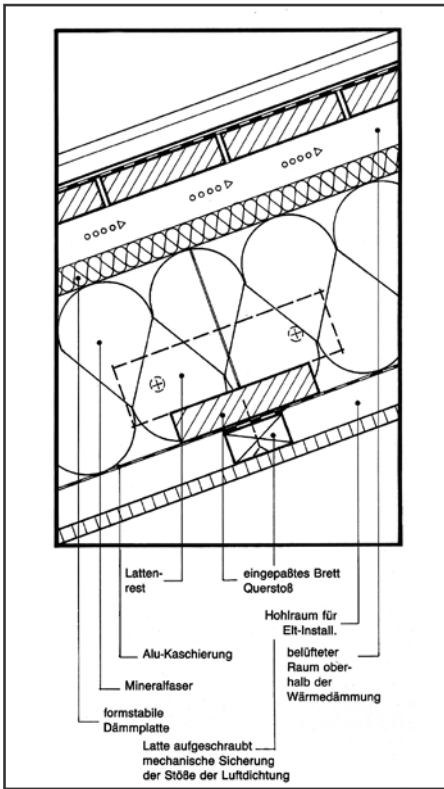


Bild 7.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich des Querstoßes bei Wärmedämmschicht mit Aluminium-Kaschierung, beziehungsweise bei Einbau einer Folie als luftdichte Schicht, Lit. 05.

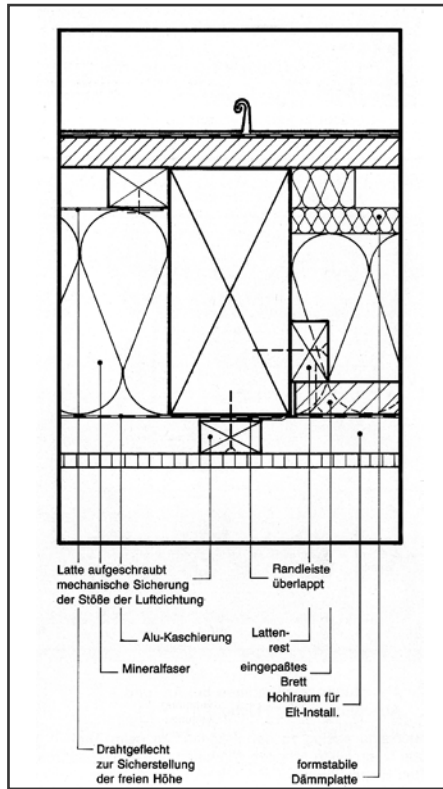


Bild 8.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich des Längsstoßes bei Wärmedämmschicht mit Aluminium-Kaschierung, beziehungsweise bei Einbau einer Folie als luftdichte Schicht, Lit. 05.

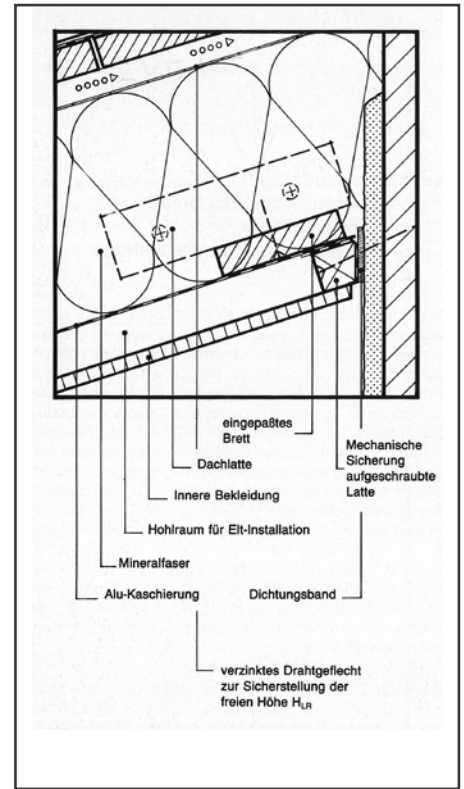


Bild 9.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich der An- und Abschlüsse der Dachfläche an andere vertikale Bauteile bei Wärmedämmschicht mit Aluminium-Kaschierung, beziehungsweise bei Einbau einer Folie als luftdichte Schicht, Lit. 05.

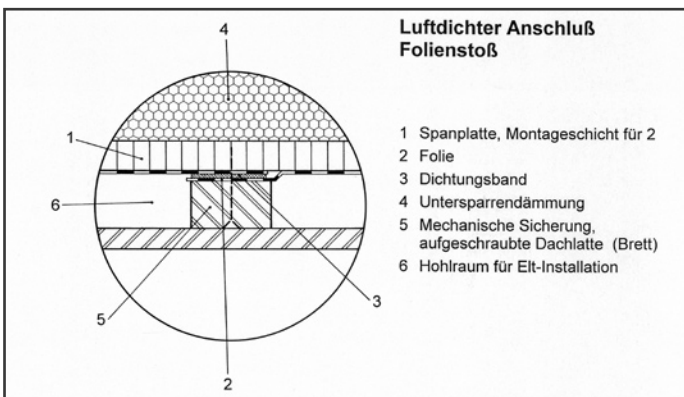


Bild 10.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich eines Quer- oder Längsstoßes. Hier: Abdichtung eines Folienstoßes mit mechanischer Sicherung durch eine aufgeschraubte Latte; siehe auch Bild 14, Lit. 06.

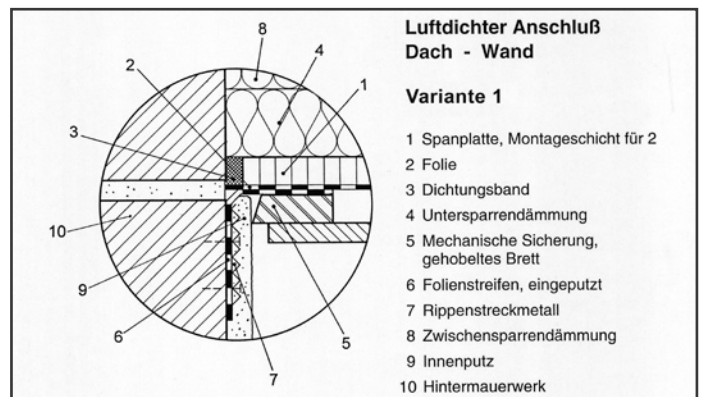


Bild 11.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich Anschluss geneigtes Dach an eine Wand. Hier: Anschluss mit eingeputzter Folie; siehe auch Bild 15, Lit. 06.

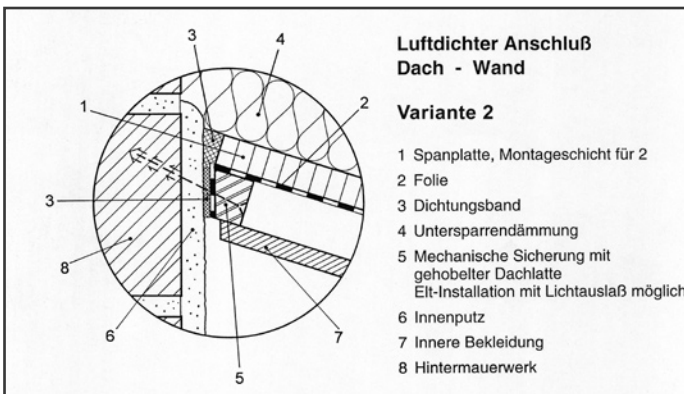


Bild 12.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich Anschluss geneigtes Dach an eine Wand. Hier: Anschluss mit Dichtband und mechanischer Sicherung durch aufgeschraubte Latte (Variante zu Bild 11); siehe auch Bild 16, Lit. 06.

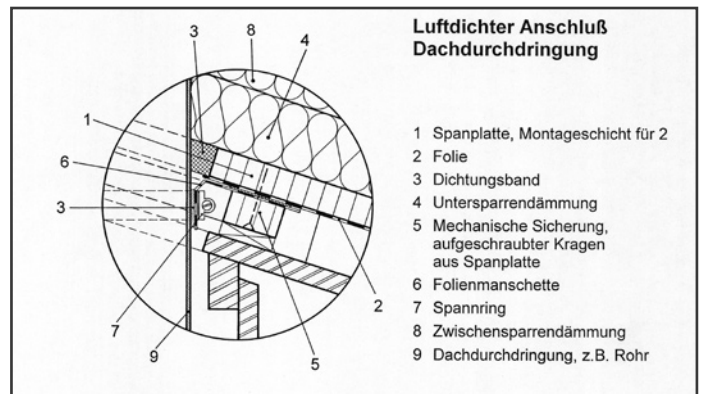


Bild 13.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich einer Durchdringung. Hier: Abdichtung der Rohrdurchführung durch das geneigte Dach mit Hilfe einer Manschette und mechanischer Sicherung; siehe auch Bild 17, Lit. 06.

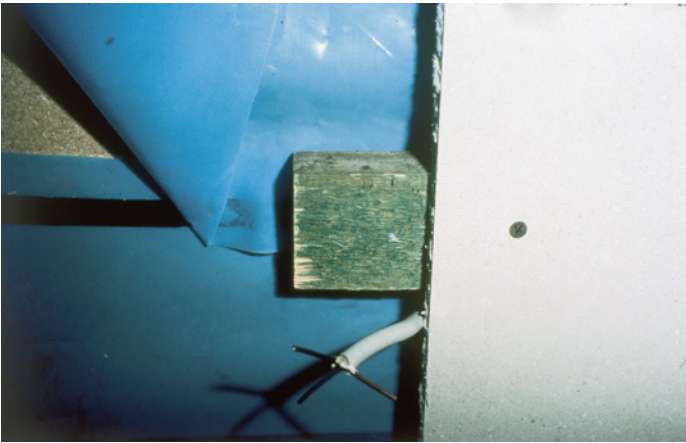


Bild 14.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich eines Quer- oder Längsstoßes. Hier: Abdichtung eines Folienstoßes mit mechanischer Sicherung durch eine aufgeschraubte Latte. Schaffung einer Installationsschicht zur Vermeidung von Durchstoßungen der luftdichten Schicht bei Führung von Elektrokabeln, Steckdosen und Kabelauslässen für Leuchten; siehe auch Bild 10.



Bild 15.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich Anschluss geneigtes Dach an eine Wand. Hier: Anschluss mit eingeputzter Folie, hier das Einputzen der Folie mit Hilfe eines Putzträgers, beispielsweise Rippenstreckmetall.; siehe auch Bild 11.

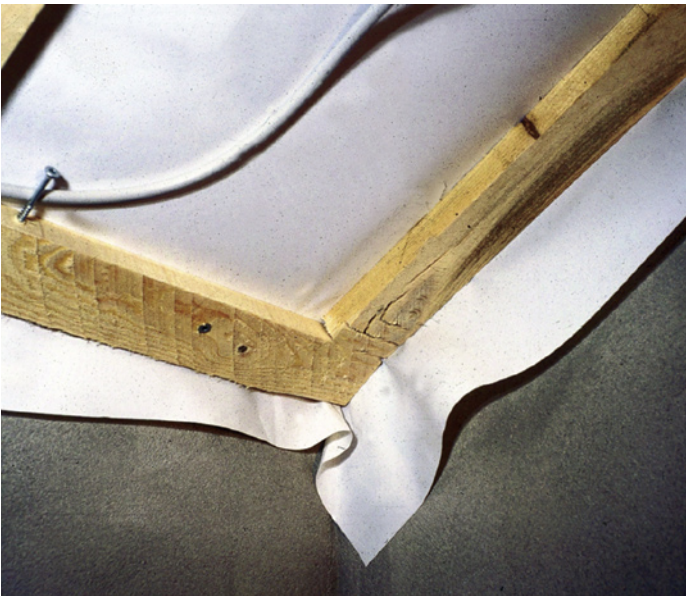


Bild 16.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich Anschluss geneigtes Dach an eine Wand. Hier: Anschluss mit Dichtband und mechanischer Sicherung durch aufgeschraubte Latte, siehe auch Bild 12. (Variante zu Bild 11.).



Bild 18.: Falsch geplante Rohrdurchführung durch das geneigte Dach. Das Rohr liegt zu dicht an der Wand. Diese Situation lässt sich aus handwerklicher Sicht nicht luftdicht ausbilden.



Bild 17.: Luftdichtheit, Abdichtungsmaßnahme im Bereich einer Durchdringung. Hier: Abdichtung der Rohrdurchführung durch das geneigte Dach mit Hilfe einer Folienmanschette mit Dichtband und Spanning, Manschette mit Brettresten mechanisch auf Holzwerkstoffplatte gesichert (verschraubt); siehe auch Bild 13.

Eine Abklebung in den oben aufgeführten Bereichen als alleinige Abdichtungsmaßnahme ist nach Auffassung des Autors im Hinblick auf die Forderung nach „dauerhaft“ nicht ausreichend. Es sollte immer eine mechanische Sicherung der Abdichtungsstellen mit Hilfe eines aufgeschraubten Brettes oder einer Dachlatte erfolgen (Bild 10. bis 17.). Zur Vermeidung von Undichtheiten ist ein Dichtheitskonzept aufzustellen. Das Dichtheitskonzept muss schon frühzeitig im Rahmen einer Ganzheitsbetrachtung, das heißt schon im Frühstadium des Entwurfsprozesses (Festlegung der Zuordnung von Räumen, Festlegung des Tragwerks und so weiter) entwickelt werden. Ein Negativbeispiel hierzu zeigt Bild 18.

Hierzu sind Gespräche zwischen Fachplanern, beispielsweise dem Tragwerksingenieur, und Handwerkern zwingend erforderlich. In Bild 19. und 20. ist ein Beispiel für das Vorgehen anlässlich einer Ganzheitsbetrachtung zeichnerisch und mit textlichen Erläuterungen dargestellt. Hierfür wurde ein Kehlbalkendach mit Wohnräumen oberhalb der Kehlbalkenlage verwendet.

Das Dichtheitskonzept ist dann später in der Entwurfs- und der Ausführungsplanung in Wort und zeichnerischer Darstellung bis hin zur Maßstabebene 1:1 konsequent zu realisieren und zwar in der Form, dass Dichtheitssysteme für die einzelnen Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche und ihrer Anschlüsse beziehungsweise Durchdringungen entwickelt werden.

Diese Dichtheitsysteme müssen auch auf der Baustelle einwandfrei und dem Stand der Technik entsprechend ausgeführt werden. Hierzu gehört auch eine sorgfältige Überwachung dieser Arbeiten durch die örtliche Baulei-

tung und später eine messtechnische Überprüfung der Gebäudedichtheit. Beim Aufstellen eines Dichtheitskonzeptes ist ein stufiges Vorgehen empfehlenswert. Dabei sind Festlegungen zu treffen und verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Das Dichtheitskonzept muss in Abdichtungssysteme für die jeweiligen Anschlüsse, das heißt in Konstruktionen (Baustoffe) umgesetzt werden. Wegen der Vielzahl von Einflussparametern der verschiedenen Gebäudetypen kann die nachfolgende Aufzählung hier nicht abschließend sein. Sie ist für den realen Einzelfall eventuell noch entsprechend zu erweitern.

Festlegung 1: Bestimmung der Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche des Gebäudes

Festlegung der Außenbauteile, die den Wärmeschutz übernehmen sollen. Es ist darauf zu achten, dass sowohl die wärmegeämmten Bauteile als auch die Schichten, welche die Luftdichtheit sicherstellen, das gesamte beheizte Volumen, das heißt den Baukörper ohne Unterbrechung umschlie-

ßen; wo dies nicht möglich ist, sind flankierende Maßnahmen vorzusehen. Hierbei ist eine räumliche Betrachtung erforderlich.

Festlegung 2: Festlegung des Konstruktionstyps der Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche
Festlegung, ob ein monolithisches Bauteil (beispielsweise Stahlbeton und Mauerwerk) oder ein mehrschichtiges Bauteil zur Ausführung kommen soll mit einer Funktionstrennung auf verschiedene Bauteilschichten. Hierbei interessiert die Lage der Wärmedämmschichten in Bezug auf die Tragschicht/Tragelement beispielsweise im Bereich des Daches; siehe auch Bild 21. und 22.

Festlegung 3: Festlegung der luftdichten Schicht der verschiedenen Bauteile

Zuordnung der Aufgabe der Luftdichtheit einer speziellen Schicht beziehungsweise Prüfen, ob eine andere Schicht diese Aufgabe mit übernehmen kann (beispielsweise Holzwerkstoffplatte zur Aussteifung der Konstruktion, Regelung des Diffu-

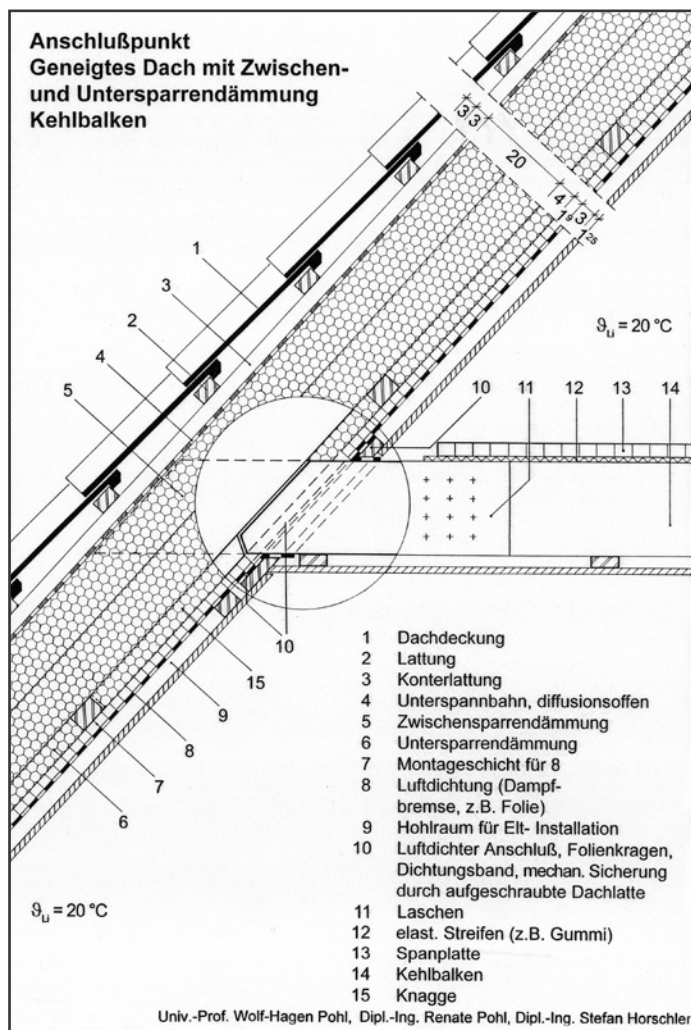


Bild 19.: Versuch einer Ganzheitsbetrachtung unter der Prämisse Durchstoßungen der luftdichten Schicht zu vermeiden, dargestellt für ein Kehlbalkendach. Schwierig herzustellender Anschluss „Kehlbalken – luftdichte Schicht (Folie)“, siehe auch Bild 20, Lit. 07.

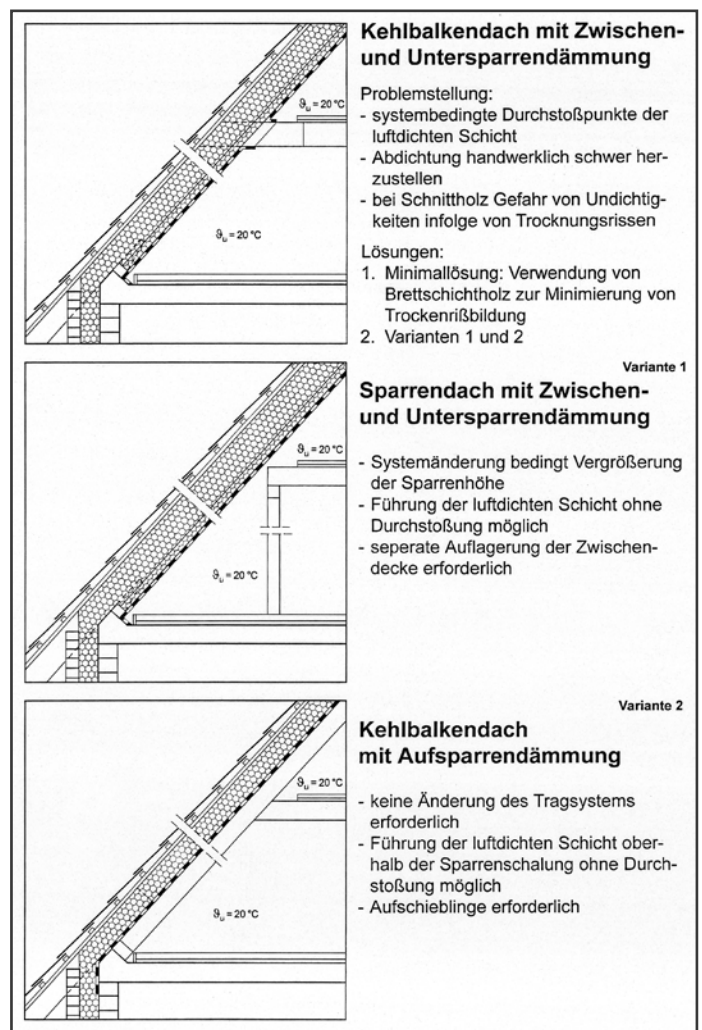


Bild 20.: Versuch einer Ganzheitsbetrachtung unter der Prämisse, Durchstoßungen der luftdichten Schicht zu vermeiden, dargestellt für ein Kehlbalkendach. Änderung des Tragwerks; siehe auch Bild 19.

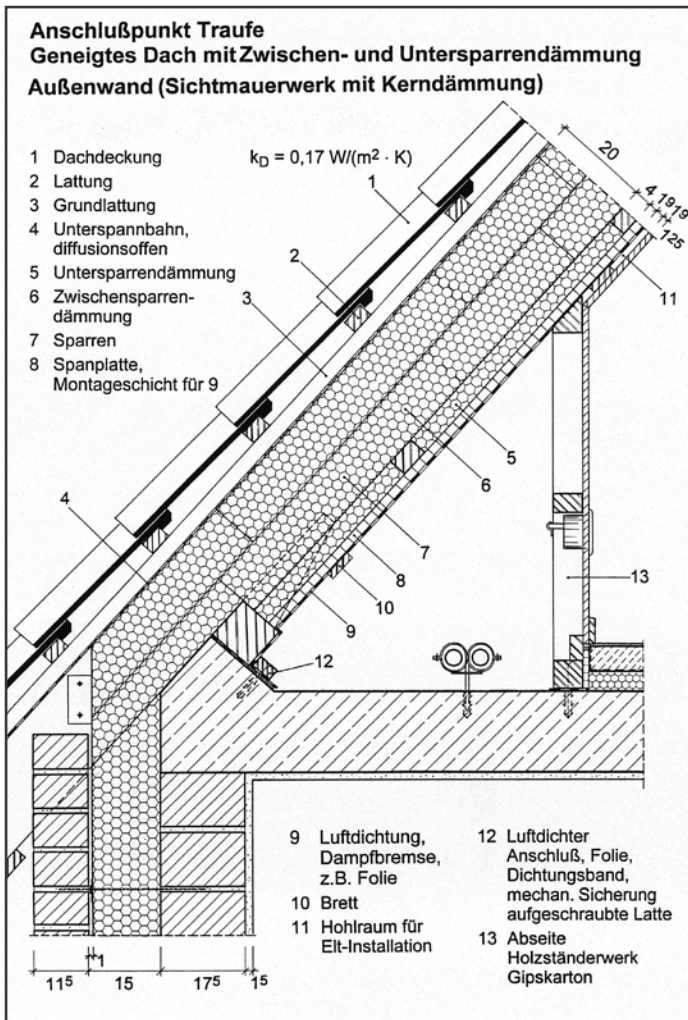


Bild 21.: Geneigtes Dach (Kehlbalken- bzw. Sparrendach) mit Zwischen- und Untersparrendämmung, Anschluss an die Außenwand. Führung der luftdichten Schicht (Folie auf Holzwerkstoffplatte) hinter der abseitenwand bis auf die Stahlbetondecke, Lit. 07.

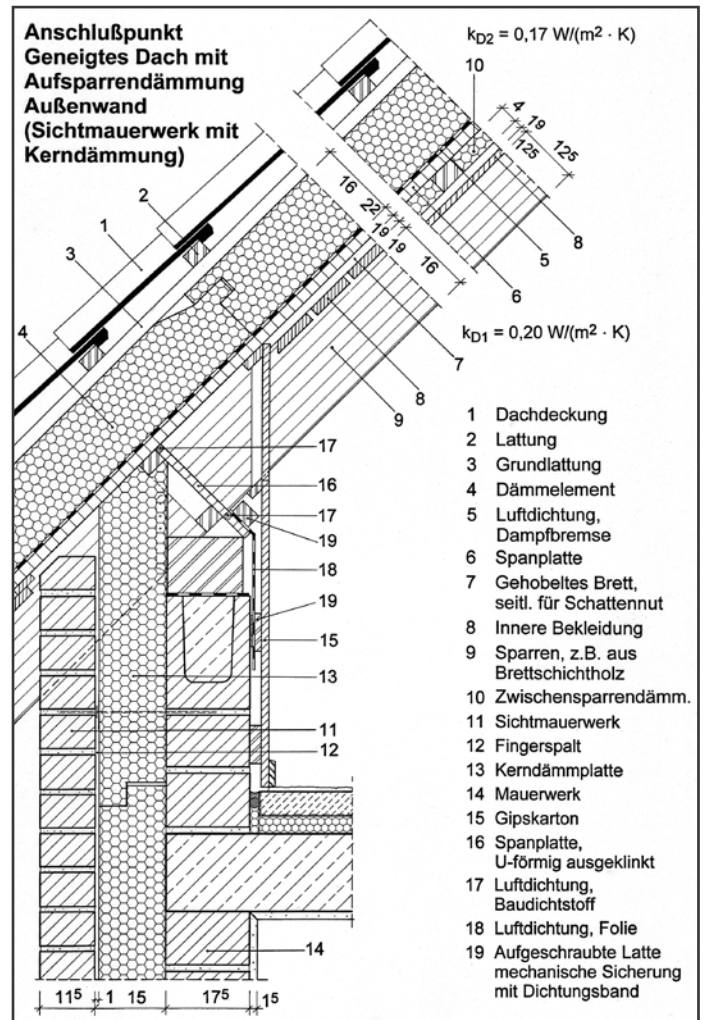


Bild 22.: Geneigtes Dach (Pfettendach) mit einem Aufsparrendämmsystem, Anschluss an die Außenwand. Alternativ zu der dargestellten Lösung ist ein Aufschiebling möglich, Vermeidung des „Durchstoßeffektes“; siehe Bild 20, Lit. 07.

sionsvorganges, Verbesserung des Luftschallschutzes).

Festlegung 4: Festlegung von Maßnahmen im Bereich von Anschlusssituationen der Außenbauteile untereinander beziehungsweise an andere Bauteile. Hier ist das Verbinden der Schichten, welche die Luftdichtheit sicherstellen sollen, zu untersuchen. Hierbei interessiert, ob unterschiedliche Baustoffe vorhanden sind und welche speziellen Verbindungsmittel möglich sind. Hierzu gehört auch Kenntnis über die Beschaffenheit der Untergründe, um gegebenenfalls Zusatzmaßnahmen festlegen zu können.

Bei leichten Trennwänden aus einer Holz- oder Metallunterkonstruktion muss die luftdichte Schicht (beispielsweise eine Folie) über der leichten Trennwand durchlaufen (eventuell Einbau eines Folienstreifens im Zuge des Einbaus der Trennwand). Sie darf nicht an die Beplankung der leichten Trennwand angeschlossen werden, da sonst eine offene Verbindung zwischen dem Hohlkammersystem der leichten Trennwand und Fugen

im Dämmstoff des Daches mit der Außenluft besteht. An den oben beschriebenen Folienstreifen kann später die Folie aus der übrigen Dachfläche fachgerecht angeschlossen werden (Bild 23.).

Festlegung 5: Festlegung von Installationen (Wasser-, Abwasser-, Elektro- und sonstige Leitungen)

Hier ist zu prüfen, ob sich Durchdringungen der luftdichten Schicht minimieren lassen. Erforderliche Durchdringungen sind besonders sorgfältig zu planen. Prinzipielle Überlegungen dieser Art müssen auch bei Elektroinstallationen angestellt werden. Es gilt zu prüfen, ob eine Installationsebene innenseitig der luftdichten Schicht möglich ist (Bild 10. und 14.).

Das Dichtheitskonzept muss in Abdichtungssysteme für die jeweiligen Anschlüsse, das heißt in Konstruktionen und damit in Baustoffe umgesetzt werden. Hierbei können über die vorgenannten Aspekte hinaus im Einzelfall auch weitere, spezielle Einflüsse von Bedeutung sein. In diesem Zusammenhang muss noch ein wichtiger

Aspekt vorgestellt werden, weil er von den Bauschaffenden oftmals nicht entsprechend berücksichtigt wird. Hierbei geht es um die differenzierte Auseinandersetzung mit dem Begriff „dauerhaft“. In den entsprechenden Regelwerken (beispielsweise DIN 4108, Energieeinsparverordnung), die sich mit dem Wärmeschutz beschäftigen, werden zum Thema Gebäude-dichtheit Forderungen aufgestellt. So heißt es beispielsweise in § 5 Energieeinsparverordnung (Dichtheit, Mindestluftwechsel):

„Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend dem Stand der Technik abgedichtet ist.“

Welche Konsequenzen sind daraus zu ziehen? Jedes wärmeübertragende Bauteil besteht aus mehreren Funktionsschichten. Um ein Bauteil langfristig funktionstüchtig zu halten, ist es unter anderem erforderlich, die „Lebensdauer“ der einzelnen Funktionsschichten aufeinander abzustim-

men. Ausgenommen hiervon sind Verschleißschichten auf den Oberflächen der Bauteile, wie beispielsweise Anstriche, Tapeten und Fußbodenbeläge, die ohnehin in bestimmten Zeitabschnitten erneuert werden müssen und dabei direkt zugänglich sind.

Funktionsschichten aus bauphysikalischer Sicht (beispielsweise Wärmedämmschichten) müssen langlebig sein. Sie sind oft im Inneren von wärmeübertragenden Bauteilen angeordnet. Dies trifft auch für die luftdichte Schicht zu. Sie wird während des Ausbaus oft mit Deckschichten bekleidet und ist somit später nicht mehr für Wartungs- beziehungsweise Erneuerungsarbeiten direkt beziehungsweise ohne größeren Aufwand, zum Beispiel durch Zerstörung und Rückbau verschiedener Bauteilschichten, zu erreichen. Die Lebensdauer der luftdichten Schicht und ihrer Anschlüsse muss daher mindestens so groß sein, wie die der innen angeordneten Deckschichten. Deckschichten können bei geneigten Dächern zum Beispiel aus Gipskartonplatten oder Profilholzbrettern bestehen. Die Lebensdauer dieser Deckschichten kann mehr als 50 Jahre betragen.

Für einige im Handel erhältliche Materialien für Dichtsysteme oder auf der Baustelle ausgeführte, nur geklebte Abdichtungsmaßnahmen, liegen derzeit noch keine Erfahrungen für den vorgenannten langen Zeitraum vor. Zu nennen ist hier beispielsweise die Verklebung von Folien als alleinige Sicherungsmaßnahme der Stoßverbindung. Daraus resultiert die Forderung, dass der Aspekt der Alterungsbeständigkeit des Materials und der Verbindungstechniken bei der Festlegung von Dichtsystemen zwingend zu beachten ist. Auf Grund dieser Überlegungen wird in den Beispielen das Verkleben von Folien nur als Teilmaßnahme eines Dichtsystems angesehen. Derartige Abdichtungen sollten aus Sicht des Autors immer eine mechanische Sicherung (Anpressdruck), beispielsweise in Form eines aufgeschraubten Brettes aufweisen (Bild 10. und 14.). Der negative Einfluss von Undichtheiten aus energetischer Sicht soll anhand einer rechnerischen Abschätzung für ein Einfamilienhaus deutlich gemacht werden, siehe Beispiel 2.

Beispiel 2: Gebäudedichtheit

Rechnerische Abschätzung der energetischen Auswirkung von Undichtheiten

Annahmen:

Ein Einfamilienhaus hat in den „Nahtstellen“, das heißt im Zusammenschluss von Bauteilen, die nachfolgend aufgeführten Fugenlängen:

– Dachbereich:

zwei Giebelwandanschlüsse (Ortgänge), vier Innenwandanschlüsse und drei Durchdringungen (Entlüftungsleitungen über Dach geführt), Fugenlänge $l_1 = 72$ m.

– Fensterbereich:

im Anschluss der Blendrahmen an das Mauerwerk, Fugenlänge $l_2 = 93$ m.

– Es ergibt sich eine Gesamtlänge von $l_{ges} = 165$ m.

– Durch unsachgemäße Ausführung sind 5 % der Gesamtlänge undicht. Es ergibt sich für dieses Beispiel eine wirksame Länge von $l = 8,25$ m. Die Fugenbreite soll im Bereich der Undichtheit $b = 2$ mm betragen. Bei dieser Ermittlung wurde angenommen, dass die einzelnen wärmeübertragenden Bauteile in ihrer Fläche luftdicht ausgebildet worden sind.

– Als „Antriebskraft“ wird die in Bild 6. verwendete Druckdifferenz zwischen innen und außen von 6 Pa (beispielsweise Wind mit 3 bis 5 m/s Geschwindigkeit) zugrunde gelegt.

– Für die Ermittlung der „zusätzlichen“, unkontrollierten Lüftungswärmeverluste werden die thermischen und zeitlichen Randbedingungen für die Heizperiode gemäß dem vereinfachten Verfahren für Wohngebäude der Energieeinsparverordnung, Zahlenwert 66, verwendet. Die Ermittlung erfolgt mit Hilfe des Nomogramms (Bild 6.).

Dieser zusätzliche Verlust stellt die anderen Maßnahmen zur Energieeinsparung aus wirtschaftlicher Sicht in-

Ergebnisse:

a) Volumenstrom V

$$\begin{aligned} V_{\text{vorh}} &= V \cdot l \\ V_{\text{vorh}} &= 15 \cdot 8,25 \\ V_{\text{vorh}} &= 123,8 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

b) Unkontrollierter „zusätzlicher“ Lüftungswärmeverlust

$$\begin{aligned} Q_{v,\text{zus}} &= 5,1 \cdot l \cdot 66 \\ Q_{v,\text{zus}} &= 5,1 \cdot 8,25 \cdot 66 \\ Q_{v,\text{zus}} &= 2777 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

frage. Soweit zu Beispiel 2. Warum die Gebäudedichtheit so zwingend erforderlich ist, wird in Teil 2 dieses Beitrags weiter verdeutlicht. Dort finden sich auch konstruktive Lösungsvorschläge für die Gebäudedichtheit. Sie sollen als Anhalt zur Entwicklung eigener Lösungen unter Berücksichtigung der Randbedingungen des realen Einzelfalles dienen. Weiterhin wird der Messvorgang zur Überprüfung der Gebäudedichtheit beschrieben. Fallstudien vertiefen die vorangegangenen Ausführungen zusätzlich um den Praxisbezug.

Teil 2 dieses Fachbeitrages folgt im nächsten Heft.



Bild 23.: Diese Trennwand stellt ein Hohlkammersystem dar. Die luftdichte Schicht des Daches darf nicht an diese Wand angeschlossen werden, sondern muss in der Ebene des Daches über dieser Wand durchlaufen.