

Beispiele aus der Gutachterpraxis:

Niedrigenergiebauweise und Fensterdichtheit

Hans Froelich

Niedrigenergiebauweisen sind ohne dichte Gebäudehülle einschließlich dichter Fenster nicht denkbar. Wenn auch für das Niedrigenergiehaus eine genaue Begriffsdefinition fehlt, so läßt sich doch aus verschiedenen Aussagen und Veröffentlichungen der letzten Jahre feststellen, daß das angestrebte Anforderungsniveau der geplanten Energieeinsparverordnung den schon 1994/95 angekündigten Niedrigenergiehausstandard erreichen soll.

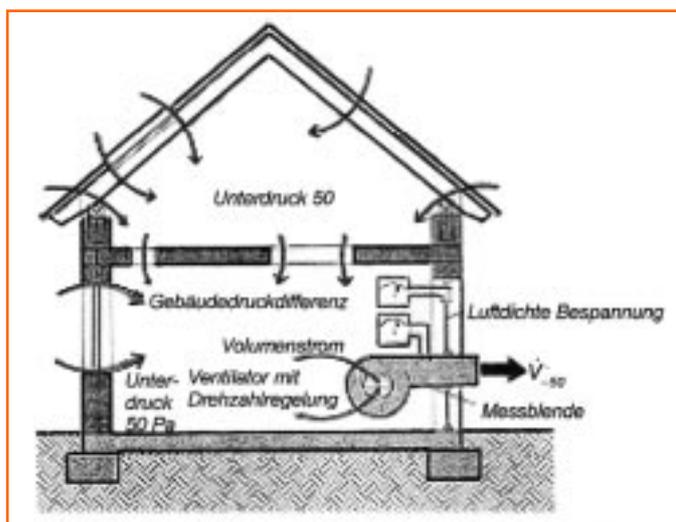


Bild 1:
Die Messung der Luftdurchlässigkeit mit dem „Blower door Meßverfahren“ (V_{50} : Volumenstrom der Luftdurchlässigkeit bei 50 Pa Unterdruck) [4]

Die erheblichen Absenkungen der mittleren Energiebedarfszahlen in den letzten 20 Jahren sowie die noch geplanten weiteren Reduzierungen des Heizenergiebedarfs setzen sich jeweils

Luftdichtheit wurden keine wesentlich höheren Anforderungen gestellt, als die schon in früheren Regelwerken enthaltenen Vorgaben. Es wurde allerdings erstmals in § 4 „Anforderungen

Diese Regeln der Technik wurden dann im Bundesanzeiger vom 31. 7. 1998 formuliert. Dabei wurde auf die DIN V 4108-7:1996-11 verwiesen. Mit diesen Entwicklungsschritten ergaben sich einige entscheidende Änderungen, die auch für Fenster erhebliche Konsequenzen haben können.

1. Wärmeschutzverordnung	1977 bis 1984	unter 200 kWh/(m ² a)
2. Wärmeschutzverordnung	1984 bis 1995	150 kWh/(m ² a)
3. Wärmeschutzverordnung	ab 1995	100 kWh/(m ² a)
geplante Energieeinsparverordnung	ab 2001/2002?	70 kWh/(m ² a)

Tabelle 1: Vergleichszahlen des mittleren Energiebedarfs [1]

aus den Hauptkomponenten des Transmissionswärmebedarfs und des Lüftungswärmebedarfs zusammen. Die Zielgrößen des maximal zulässigen Heizenergiebedarfs konnten bisher noch zu einem Großteil durch wärmeschutztechnische Verbesserungen der Flächen, d. h. durch Verwendung von Bauteilen mit geringeren Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte bzw. U-Werte) erreicht werden. So war die letzte Novellierung der Wärmeschutzverordnung hauptsächlich durch die produktionstechnischen Entwicklungen von Wärmeschutz-Verglasungen ermöglicht worden. An die

an die Dichtheit“ ein Hinweis aufgenommen, daß bei wärmeübertragenden Umfassungsflächen, die aus Verschalungen oder gestoßenen bzw. überlappenden sowie plattenartigen Bauteilen bestehen, luftundurchlässige Schichten über die ganze Fläche vorzusehen sind. Außerdem wurde als Novum der Hinweis aufgenommen, daß im Einzelfall eine Überprüfung nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik vorgenommen werden kann.

Wechselzahlen und Austausch von Luft über Dachgeschosse

Als Meßgröße der Luftdichtheit wurde schon vor etwa 20 Jahren die Luftwechselzahl n_{50} eingeführt. Für diese Meßgröße ist folgende Definition gültig:

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V_L} \left[\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^3} \right] \text{ in h}^{-1}$$

Es handelt sich also um einen Luftvolumenstrom, der bei einer Druckdifferenz $\Delta p = 50 \text{ Pa}$ ermittelt und durch das Innenvolumen des Gebäudes bzw. der entsprechenden Meßzone dividiert wird. Über das Verfahren und die Meßergebnisse hat J. Zeller anlässlich der Rosenheimer Fenstertage 1999 ausführlich berichtet [2]. Das Prinzip der als Blower door Methode zeigt Bild 1.

Aus einer Vielzahl von Messungen, die in den letzten Jahren auch in Deutschland durchgeführt wurden, ergaben sich große Streubreiten der Meßergebnisse. Während bei Massivbauten noch relativ enge Streubereiche von n_{50} -Werten mit 1 h^{-1} bis 4 h^{-1} ermittelt wurden, lagen die Schwankungen bei Niedrigenergiehäusern in Leichtbauweise zwischen $0,2 \text{ h}^{-1}$ und über 10 h^{-1} .

Aus einer Veröffentlichung [3] von A. Geißler und G. Hauser ergeben sich bei Holzhäusern entsprechend der Alterskategorie die in Tabelle 2 genannten Werte.

Alterskategorie (in Jahren)	Anzahl Objekte	n_{50} in h^{-1}
bis 1	48	3,2
bis 5	18	5,6
bis 10	8	4,3
bis 15	4	4,5
über 15	9	13,4

Tabelle 2: n_{50} -Werte in Abhängigkeit von der Alterskategorie

Aus Untersuchungen und Veröffentlichungen [4] ist jedoch insbesondere die Erkenntnis abzuleiten, daß die Dachgeschosse ganz erhebliche Luftdurchlässigkeiten n_{50} aufweisen können. Hier werden bei fehlender oder unzureichend dicht ausgeführter Luftdichtheitsschicht n_{50} -Werte von über 20 h^{-1} festgestellt. Auf diese Erkenntnisse wurde bereits in der seit 1. 1. 1995 gültigen Wärmeschutzverordnung mit der Forderung in § 4 Absatz 1 reagiert (siehe 1 Einleitung).

Zur praktischen Umsetzung der Luftdichtheitsanforderungen wurde dann die bereits erwähnte DIN V 4108-7: 1996-11 geschaffen mit dem Titel: „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen; Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispielen.“

In dieser Norm wurden erstmals auch konkrete n_{50} -Werte als Empfehlungen genannt und zwar

$n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$ bei natürlicher Lüftung

$n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$ bei raumlufttechnischen Anlagen

Inzwischen wurde diese Norm überarbeitet. Sie soll nun als DIN 4108-7

erscheinen. Bei Messungen nach der europäischen Norm prEN 13829 dürfen folgende Werte nicht überschritten werden:

$n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$ bei Gebäuden mit natürlicher Lüftung,
 $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen.

Da außerdem in der geplanten EnEV bei Nachweis der Luftdichtheit bei Berechnungen des Heizwärmebedarfs ein geringerer Luftwechsel ($n = 0,6 \text{ h}^{-1}$ an Stelle von $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ bei fehlendem Nachweis) in Ansatz gebracht werden

darf, ergibt sich ein weiterer Anforderungsdruck, für dichtere Gebäudehüllen zu sorgen.

Wie die gemessenen Luftwechsellzahlen bei etwas älteren Gebäuden zeigen, kam über Undichtheiten in Dachgeschossen ein erheblicher Luftaustausch zustande. Parallel dazu wurden auch erhebliche Mengen an Feuchtigkeit mitgeführt. Dieser konvektive Feuchtetransport hat nicht selten zu großen Feuchteschäden in Dächern geführt. Dies ist ein weiterer Grund gewesen, besondere Anforderungen an eine raumseitige luftdichte Ebene im Dachbereich oberhalb der beheizten Zone zu stellen.

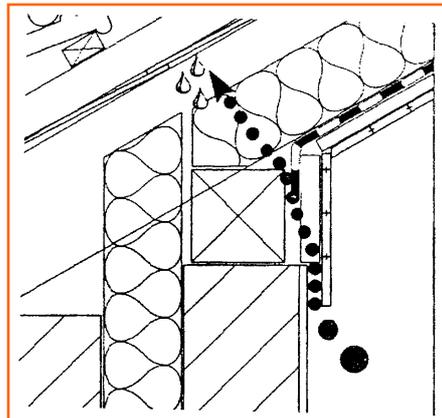


Bild 2: Undichtheit an Traufanschluß bei Kaltdachkonstruktion

Beispiele derartiger undichter Anschlüsse mit Folgen zeigen die Bilder 2 bis 5.

Durch die Vorgaben in DIN 4108-7 wurden für derartige Problemstellen

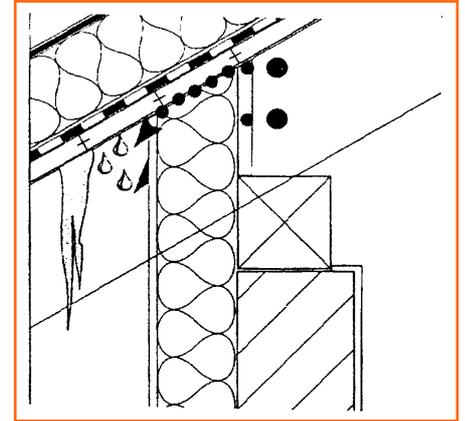


Bild 3: Undichtheit an Traufanschluß bei Warmdachkonstruktion

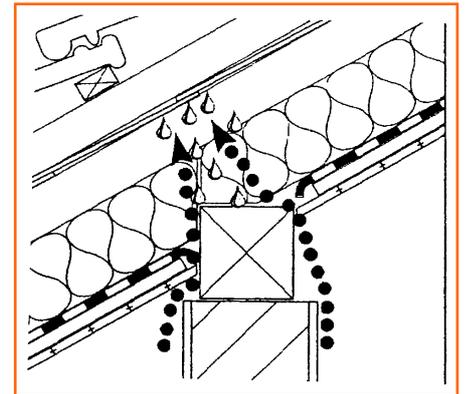


Bild 4: Undichtheit bei Zwischenwand bzw. Mittelpfette bei Kaltdachkonstruktion

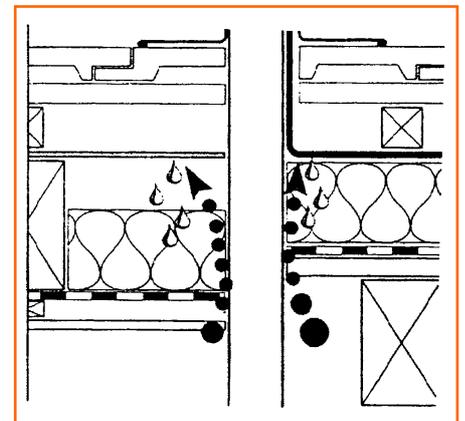


Bild 5: Undichtheit an Anschluß an durchdringendem Bauteil

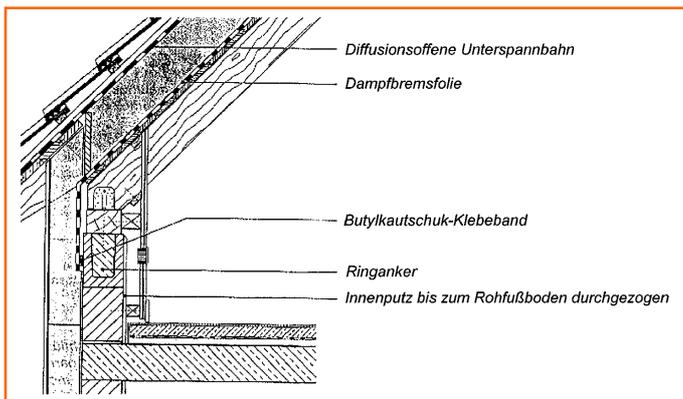


Bild 6: Luftdichtungsanschluß zwischen Schrägdach und Aufsparrendämmung und Ringanker im Traufbereich

werden. Bild 8 zeigt, um welche Mengen es dabei geht.

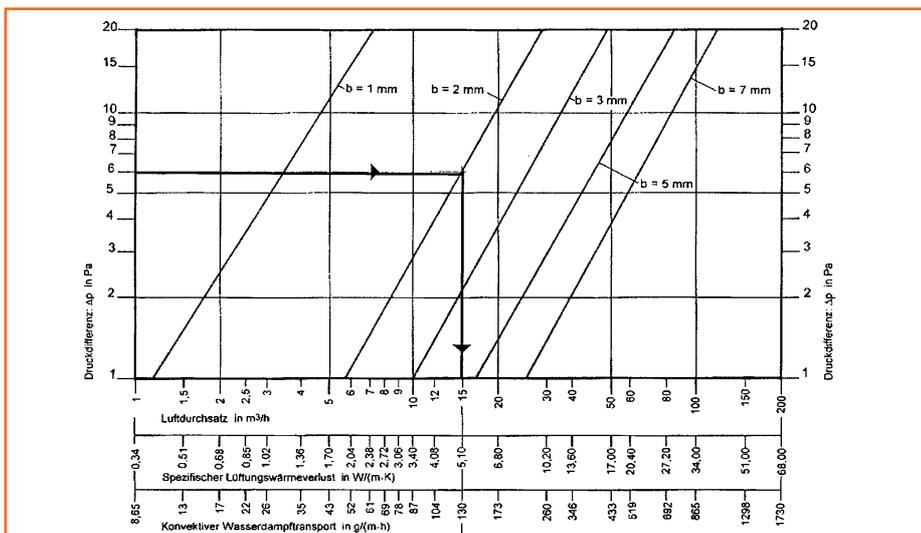
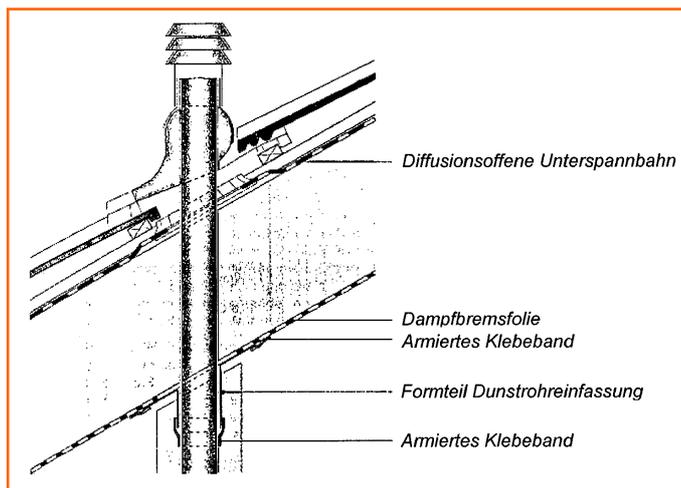
Vergleicht man die Wasserdampfmenge, die über Konvektion durch einen Spalt von 1 m Länge und 1 mm Breite nach außen gelangt, mit der Wasserdampfmenge, die durch Diffu-

Maßnahmen festgelegt, um den Luftdurchtritt zu verhindern. Beispiele hierfür zeigen die Bilder 6 und 7.

Feuchtetransport über Undichtheiten der Dachhaut

Über Fugen können im Vergleich zu Flächen große Luft- und damit auch Wasserdampfmen gen transportiert

Bild 7: Luftdichtungsanschluß zwischen Dunstrohr und Schrägdach mit Zwischensparrendämmung mit Hilfe eines Formteils



Ablesebeispiel

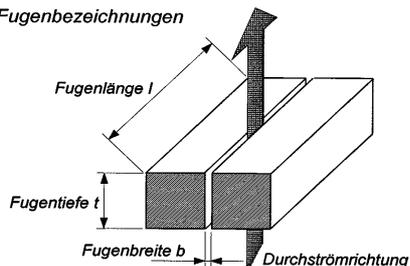
Gegeben

Druckdifferenz: $\Delta p = 6 \text{ Pa}$
 Fugenbreite: $b = 2 \text{ mm}$
 Fugenlänge: $l = 1,0 \text{ m}$

Ergebnisse

Luftdurchsatz: $V = 15 \text{ m}^3/(\text{mh})$
 spezifische Lüftungswärmeverluste: $L_{\text{spez}} = 5,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 konvektiver Wasserdampftransport: $W_k = 130 \text{ g}/(\text{mh})$

Fugenbezeichnungen



Zugrunde gelegte Annahmen:

Fugentiefe $t = 100 \text{ mm}$,
 Fugenlänge $l = 1,0 \text{ m}$,
 Innenraumklima: Lufttemperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$,
 relative Luftfeuchte 50 \% .

sion über 1 m^2 einer Dachfläche pro Tag hindurchtritt, so wird der erhebliche Einfluß von Fugen deutlich. Bei einer Dachfläche von 120 m^2 wird über einen Spalt von 1 m Länge und 1 mm Breite etwa dreimal soviel Wasserdampf transportiert wie über die gesamte Dachfläche.

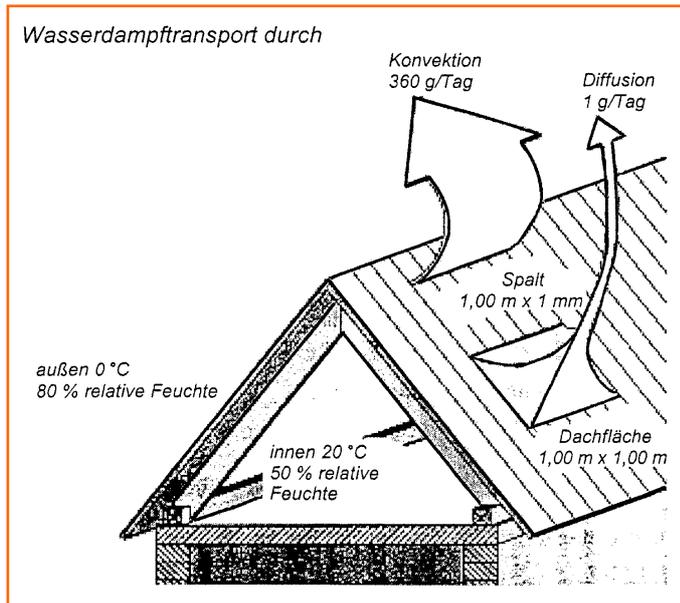
Wenn dieser Luft- und damit auch Wasserdampftransport aus nachvollziehbaren Gründen nahezu vollkommen unterbunden werden soll, müssen die sich daraus ergebenden Konsequenzen, auch für Fenster, deutlich angesprochen und geklärt werden.

Das Fenster als Dampfdruckausgleichselement

Hier sind einige Fallbeispiele und Erfahrungen aus der Gutachterpraxis Die Problemfälle mit Tauwasser und Eis in Fensterfalten nehmen zu, und häufig setzt zusätzlich eine Schimmelbildung ein. Spätestens dann wird nach einem Schuldigen gesucht. Die Abläufe ähneln sich. Die Nutzer ziehen den Schluß, daß die Bauteile an denen diese Erscheinungen entstehen fehlerhaft sind. Der Fensterhersteller reagiert mit Ablehnung und Unver-

Bild 8: Nomogramm zur Bestimmung von Luftdurchsatz, spezifischen Lüftungswärmeverlusten und konvektivem Wasserdampftransport bei Fugen unterschiedlicher Breite b [5]

Bild 9: Vergleich des Wasserdampftransports durch Leckageluftstrom und Diffusion am Beispiel einer Dachhaut (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke 10 m, Druckdifferenz 2 Pa)



Konsequenzen

Aus den Darstellungen ergeben sich folgende Konsequenzen:

- Mit der Niedrigenergiebauweise ist zwangsläufig eine praktisch luftdichte Gebäudehülle verbunden. Die entsprechenden Regelwerke existieren und sind inzwischen europaweit entwickelt.
- Bei Niedrigenergiebauweise ist es notwendig, ein Lüftungskonzept für das jeweilige Gebäude festzulegen. Der in DIN EN 832 gegebene Hinweis „Wohnungen mit n_{50} unter 3 h^{-1} bei offenen Luftereinlaßöffnungen könnten für natürliche Belüftung zu dicht sein. In diesem Fall sollten Lüftungsöffnungen an Fenstern erforderlich sein.“ muß ernst genommen werden.

Die Erfahrung mit Problemfällen der letzten Jahre zeigt, daß zwar für Passivhäuser und bestimmte Niedrigenergiehäuser Lüftungskonzepte existieren. Einer Niedrigenergiebauweise für die breite Masse, die nun Standard werden soll, fehlen nutzerunabhängige bzw. nutzerfreundliche Lüftungskonzepte.

- Die Bedeutung raumseitiger Abdichtungen wird offensichtlich, wie sich aus den Gutachterfällen eindeutig erkennen läßt.
- Für Fensterkonstruktionen wird sich die Notwendigkeit ergeben, verstärkt auf die Dampfdruckbelastungen von innen zu reagieren. Für

ständnis, da er ein Fenster gemäß den anerkannten technischen Regeln produziert hat. Der Planer beruft sich ebenfalls darauf, daß er ein Gebäude nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik konzipiert und in besonderem Maße die Anforderungen an den Wärmeschutz und die Gebäudedichtheit berücksichtigt hat.

Analysiert man das Problem dann etwas eingehender, so ist folgendes festzustellen: Das Be- und Entlüftungsverhalten eines solchen Gebäudes weist Störungen auf. Während der kalten Jahreszeit wird die Luft über noch verbliebene Fugen versuchen nach außen zu gelangen. Hierfür ist der vorhandene Dampfdruckgradient verantwortlich. Hinzu kommt, daß sich über die Höhe des Gebäudes hinweg ein Auftrieb bildet, und im obersten Geschoß eine erhöhte Druckdifferenz zwischen Innen und Außen entsteht. So wird die von außen ins Erdgeschoß eindringende Luft, im Gebäude erwärmt und mit Feuchtigkeit angereichert. Feuchte Luft ist weniger dicht als trockene Luft, dieser Umstand und der Auftrieb bewirken, daß die feuchte Luft nach oben steigt. Im Dachgeschoß sind, im Gegensatz zu früher, die Abströmöffnungen syste-

matisch abgedichtet worden. Geplante Ersatzöffnungen fehlen. Das Fenster wird nun von der Raumseite aus zusätzlich beansprucht. Anschlußfugen von Glashalteprofilen, Funktionsfäle und Baukörperanschlüsse sind jetzt mögliche „Angriffsziele“ für die Dampfdruckbeanspruchung (Bild 10).

Bild 11 zeigt die Druckverhältnisse in einem Gebäude mit der sich einstellenden Druckdifferenz in Abhängigkeit der Höhe. Die Verhältnisse sind je nach Gebäudetyp (offen oder getrennte Geschoßebenen) sehr unterschiedlich. Hinzu kommt der Windeinfluß.

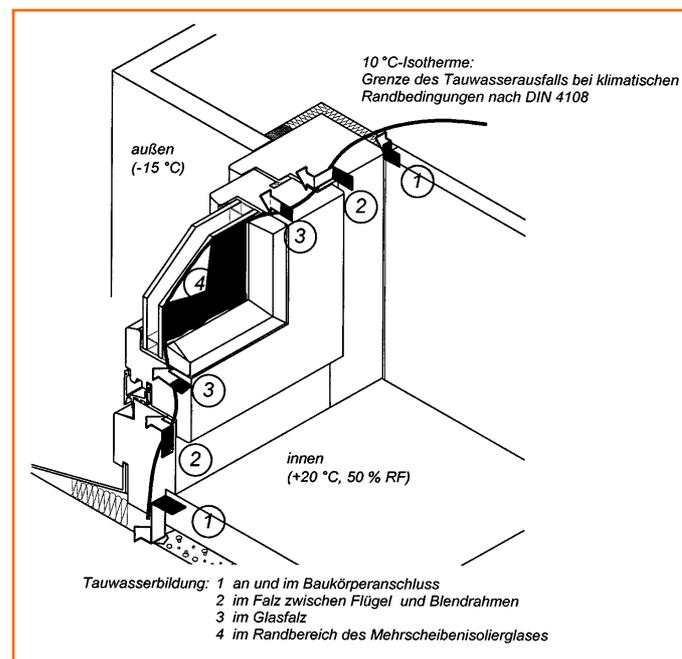


Bild 10: Bereiche am Fenster mit Tauwasserbildung

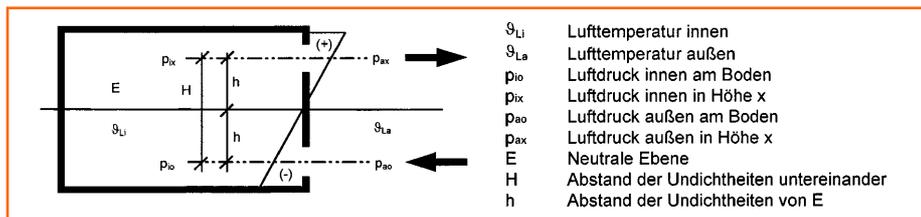


Bild 11: Luftströmung durch Druckausgleich bei Öffnungen in der Gebäudehülle
Bilder: i.f.t.

und Entlüftung eine Rolle spielt. Fehlt diese Komponente, können Verbesserungsmaßnahmen an anderen Stellen keinen vollständigen Ausgleich bewirken.

Literatur

[1] Hegner, H. D.: Die Energieeinsparverordnung 2000. Vortrag vom 29. 4. 1999 in Berlin
 [2] Zeller, J.: Luftundichtigkeiten am Fenster – aufgespürt mit der Blower door. Rosenheimer Fenstertage 1999
 [3] Geißler, A.; Hauser, G.: Luftdichtheit von Holzhäusern. Bauen mit Holz 7/96
 [4] RWE Energie AG Essen (Hrsg.): Luftdichtheit von Wohngebäuden. 2. Auflage 1996
 [5] Pohl, W.-H.: Die neue Wärmeschutzverordnung: Konstruktive und gestalterische Konsequenzen. Seminarbroschüre 1994 □

Baukörperanschlüßfugen liegen die Regeln schon längere Zeit vor. Konstrukteure von Profilsystemen, Beschlägen und Dichtungen werden sich mehr der geschlossenen raumseitigen Dichtungsebene im Bereich

von Funktionsfalten und Glasan-schlüssen widmen müssen.
 • Eine befriedigende Gesamtlösung wird jedoch nur mit einer konzentrierten Aktion gelingen, bei der die Planung und Konzeption der Be-