

Luftdichtheit von Dachkonstruktionen

Mit dem in der nächsten Zeit zu erwartenden Energieeinsparungsgesetz erhält die luftdichte Gebäudehülle eine noch größere Bedeutung, als ihr zur Zeit im Zusammenhang mit der Wärmeschutzverordnung zugemessen wird.

Grundlage für die Planung und Ausführung ist zur Zeit die Vornorm DIN V 4108-7 „Wärmeschutz im Hochbau, Teil 7, Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele“ vom 8. Juli 1998. Auffällig ist der Begriff „Luftdichtheit“, der offensichtlich so

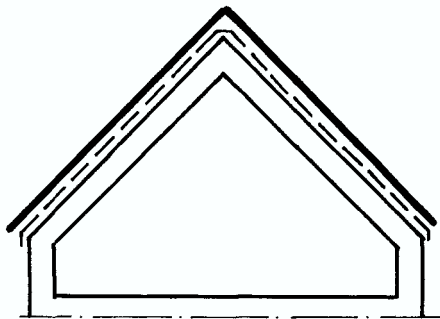


Abb. 1: Winddichtheitsebene

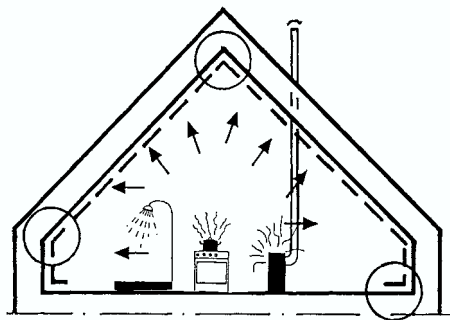


Abb. 2: Luftdichtheitsebene

gewählt wurde, um eine Unterscheidung zur Winddichtheit zu erreichen.

Die Abb. 1 und 2 zeigen den grundsätzlichen Unterschied zwischen der Lage und der Funktion der Winddichtung und der Luftdichtheitsebene. Die Abb. 3 zeigt die Druck- und Sog-Verhältnisse an einem Gebäudeprofil. Die winddichte Schicht liegt naturgemäß außen unter der Eindeckung. Sie soll das Einströmen von Luft von außen in das Gebäudeinnere unterbinden, in den Sogbereichen aber auch in umgekehrter Richtung. Winddichte Schichten sollten dampfdurchlässig sein, damit Feuchtigkeit aus der Konstruktion ausdiffundieren kann. Ausnahme: wasserdichtes Unterdach.

Die Winddichtungsebene ist im Regelfall einfacher einzubauen als die Luftdichtheitsebene. Sie hat die Funktion, die Konstruktion von Außenwand/Dach feuchtfrei zu halten, verhindert ein Hinterströmen der Wärmedämmung und schützt vor Eindringen kalter Außenluft in strömungsoffene Wärmedämmstoffe (z. B. Mineralfasern). Luftdicht eingebaute Dampfbremsen können gleichzeitig als Luftdichtheitsebene wirken.

Feuchtigkeit in der Konstruktion (1)

Feuchtigkeit bewirkt innerhalb der Konstruktion eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe. Gleichzei-

tig ist sie – insbesondere bei Holzbauteilen – die Voraussetzung für das Wachstum von holzerstörenden Pilzen und schafft Lebensbedingungen für holzerstörende Insekten.

Das Eindringen von Feuchtigkeit in die Konstruktion kann auf drei Arten geschehen:

1. durch unmittelbares Eindringen von Wasser, zum Beispiel durch Bewitterung (Schlagregen).
2. durch Wasserdampfdiffusion (s. Abb. 4). Wasserdampfdiffusion ist das „Wandern“ von Wasserdampf innerhalb eines Bauteils. Es „wandert“ (diffundiert) dabei in Richtung des geringeren Dampfdrucks in das Innere des Bauteils, wo (insbesondere in der kalten Jahreszeit, der „Tauperiode“) die Temperatur abnimmt und schließlich der Taupunkt (die Temperatur, an der der Wasserdampf sich zu Wassertropfchen kondensiert) erreicht und unterschritten wird. Bei bauphysikalisch korrekt aufgebauten Konstruktionen wird das hier entstehende „Kondenswasser“ während der warmen Jahreszeit (Verdunstungsperiode) wieder an die Außenluft abgegeben.

3. durch Wasserdampfkonvektion (s. Abb. 5). Unter Wasserdampfkonvektion versteht man das Hineinströmen von Wasserdampf in ein

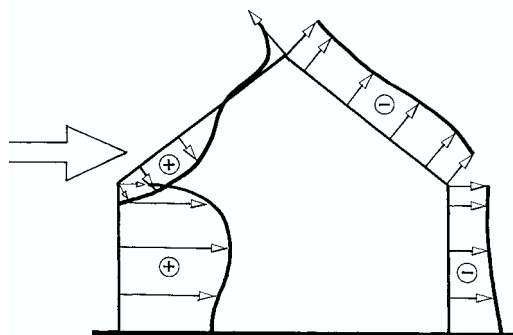


Abb. 3: Winddruck- (+) und Windsogsituation (-) auf ein geschlossenes Gebäudeprofil einwirkend

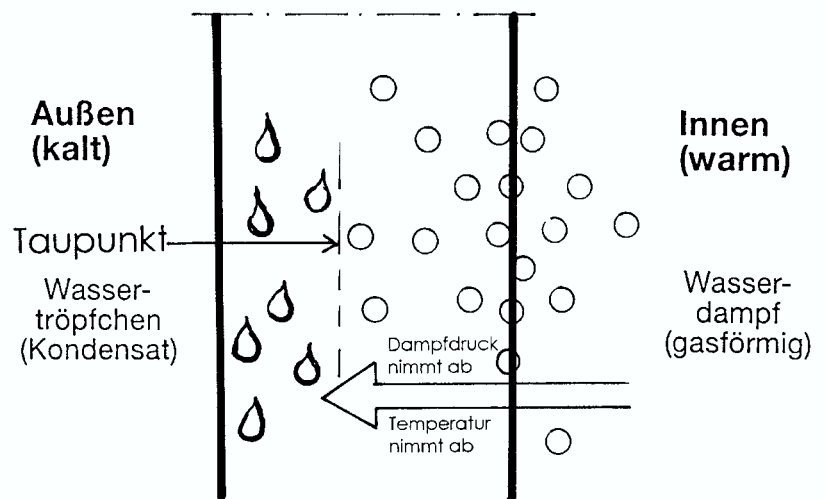


Abb. 4: Wasserdampfdiffusion aufgrund unterschiedlicher Druckverhältnisse
Abhilfe: Dampfbremse bzw. -sperre

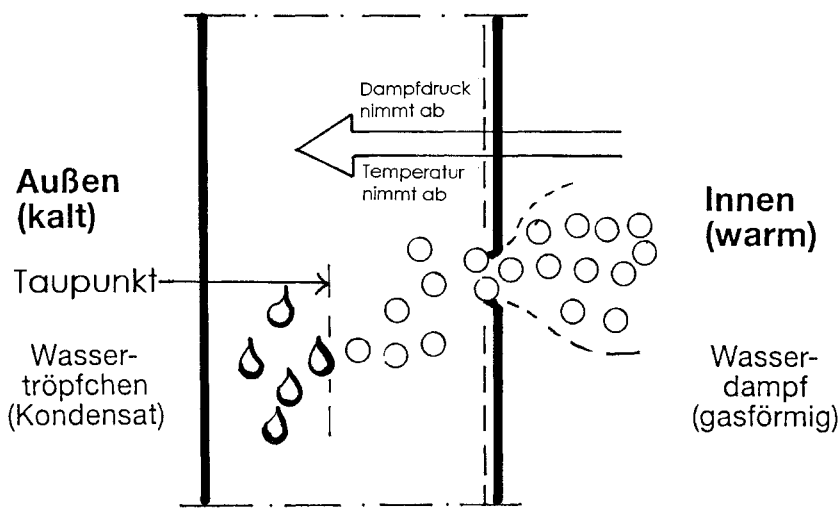


Abb. 5: Wasserdampfkongvektion in das Bauteil infolge verletzter Luftdichtheitsschicht

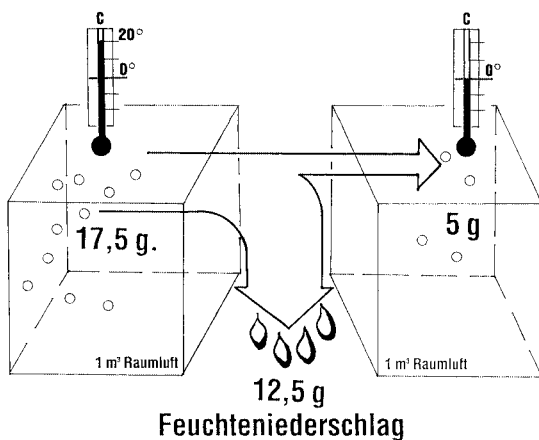


Abb. 6: Wasserkondensation bei Temperaturabnahme der Luft

Bauteil durch Undichtigkeiten in der Bauteiloberfläche, den Randabschlüssen oder durch Fugen.

Im Vergleich zur „langsamen“ Wasserdampfdiffusion wird bei der Wasserdampfkongvektion innerhalb kurzer Zeit das Tausend- bis Zehntausendfache an Feuchtigkeit in das Bauteil transportiert. Die meist nur örtlich begrenzt auftretenden enormen Feuchtebelastungen können durch Ausdiffundieren nicht ausgeglichen werden, es entstehen unweigerlich Wasseransammlungen und Folgeschäden.

Die Abb. 6 zeigt wie viel Wasser aus der Raumluft herauskondensiert, wenn die Temperatur von z. B. 20° C auf 0° C herabgesetzt wird. Bei einem Durchschnittswohnraum von 40 m² Rauminhalt ist dies immerhin 1/2 l Wasser. Bei konventionellen Hüllkonstruktionen konnte sich dieses Kondensat z. B. an

einfachverglasten Fenstern niederschlagen oder über saugfähige Putzflächen temporär aufgenommen werden. Die „Luftundichtheit“ und mangelnde Winddichtung sorgten dafür, dass die Feuchte schnell wieder abtrocknete. Moderne Konstruktionen, die darauf

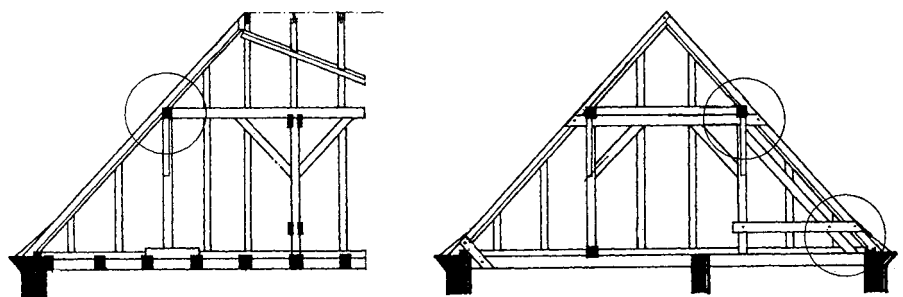


Abb. 7: Komplexe Dachkonstruktion mit vielfältigen Anschlüssen, Durchdringungen etc.

ausgerichtet sind, Lüftungswärmeverluste zu minimieren und unkontrollierten Luftaustausch zu verhindern, sind in höchstem Maße darauf angewiesen, ihre Hüllkonstruktion vor eindringender Feuchte zu schützen.

Dies gilt für Neubauten gleichermaßen wie auch für Bestandsveränderungen und genau an dieser Stelle kommen eine Reihe von Zweifeln auf:

1. Ist die Luftdichtheitsebene in jedem Fall nachhaltig sicher herzustellen?
2. Ist die Vornorm DIN V 4108-7 zu sehr neubauorientiert?
3. Sind die Unabwägbarkeiten - Gewerkefolge, Nutzerverhalten, Konstruktionsverhalten, z. B. bei nachträglich ausgebauten Dachgeschossen, ausreichend berücksichtigt?

Die nachstehenden Abbildungen sollen verdeutlichen, dass eine differenzierte auf den jeweiliger Fall bezogene Vorgehensweise Sinn macht.

Dachgestühle des Gebäudebestandes in Form von Pfettendächern, stehenden und liegenden Formen sind für den nachträglichen Ausbau zu Wohnzwecken mehrfach problematisch (s. Abb. 7) und finden sich in den eher „theoretischen“ Ansätzen der DIN nicht wieder:

- komplexe Anschlusssituationen,
- Vielzahl von Durchdringungen,
- wenig eindeutige, störungsfreie Ebene zur Aufnahme der Luftdichtheitsschicht,
- Bewegungen des Dachstuhls, Trockenschwinden durch Beheizung bedingt durch Nutzung.

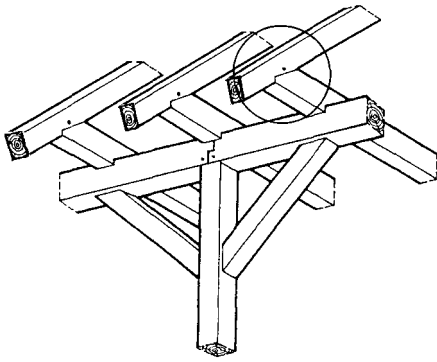


Abb. 8: Pfettenkonstruktion

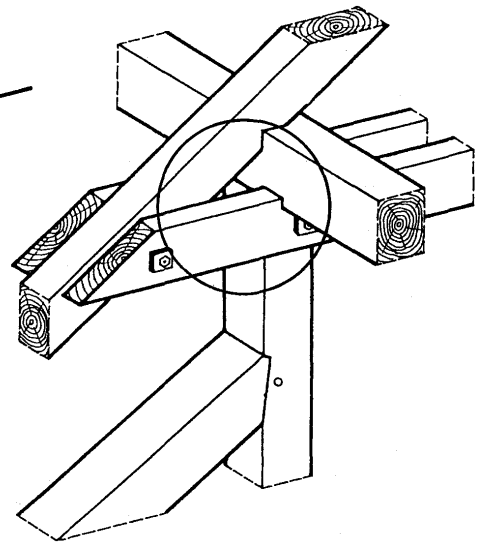
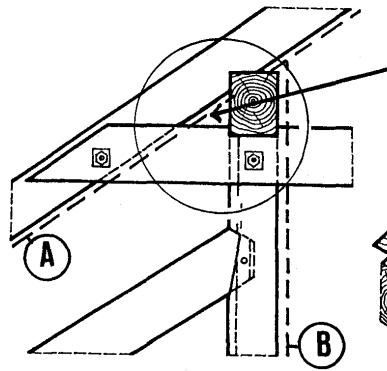


Abb. 9: Pfette und Zange

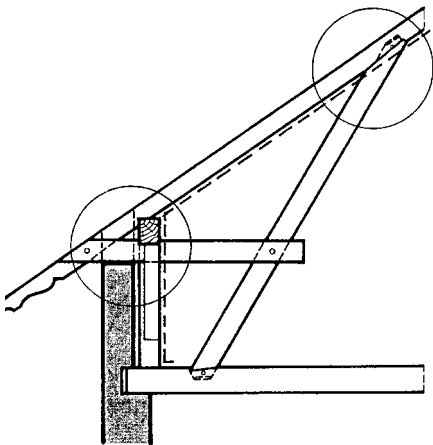


Abb. 10: Komplexe Abseite

Die Abb. 8 bis 10 zeigen weitere für die Herstellung der Luftdichtheitsschicht problematische Dachkonstruktionen des Bestandes.

Die Abbildung 11 veranschaulicht auch für den Neubaubereich in schematischer Form die jeweils optimale Lage für die Luftdichtheitsebene:

1. Aufsparrenlösung mit aufgesetzten Sparrenköpfen – günstig,
2. eindeutige Lage der Luftdichtheitsebene innen,
3. Anschlüsse an Pfette – ungünstig,
4. Überdeckung Pfette – günstig.

Nicht nur im Bereich von Dachdurchdringungen können Luftundichtigkeiten auftreten, auch im Übergangsbereich Mauerwerksabschluß/Dachkonstruktion ergeben sich insbesondere bei „konventioneller“ Herstellung Fugen, unregelmäßige Flächen mit Hohlraum-bildung etc. (s. Abb. 12).

Abhilfe schafft hierbei das Prinzipdetail aus dem Beiblatt 2 zur DIN 4108 „Wärmebrücken“, 1998. Wenn Mauer-

abschlüsse in dieser Form umhüllt werden und die Luftdichtheitsanschlüsse funktionieren, kann von einer nachhaltigen Lösung ausgegangen werden.

Ausführung

In der DIN 4108-7 finden sich unter Ausführung folgende Hinweise:

„Beim Herstellen der Luftdichtheitsschicht ist auf eine sorgfältige Ausführung der Arbeiten aller am Bau Beteiligten zu achten.“

Es ist zu beachten, dass die Luftdichtheitsschicht und ihre Anschlüsse während und nach dem Einbau weder durch Witterungseinflüsse noch durch

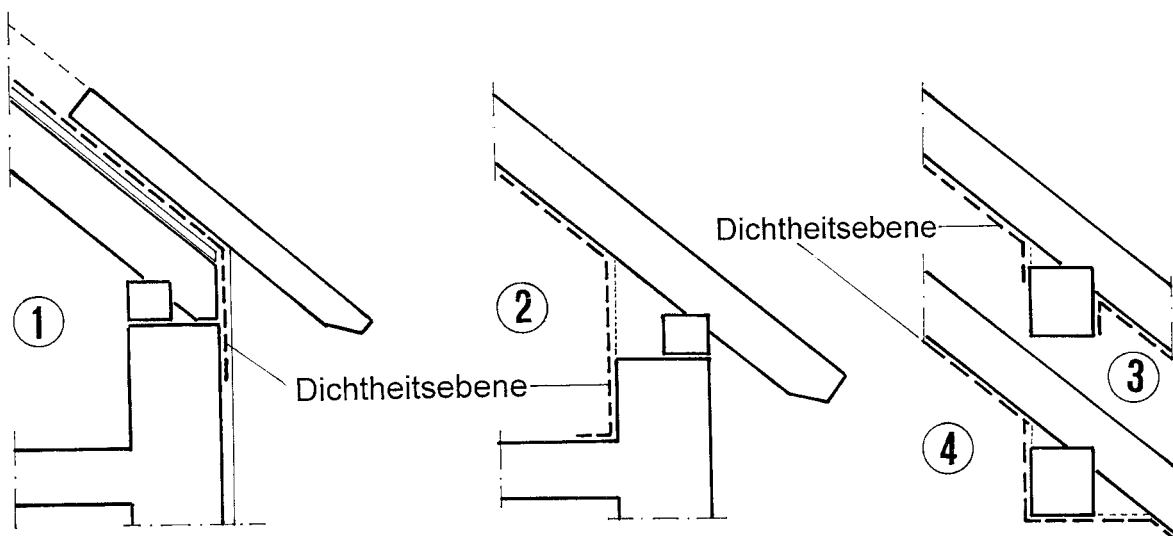


Abb. 11: Schematische Darstellung zur Lage der Luftdichtheitsebenen

nachfolgende Arbeiten beschädigt werden.

Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit der Luftdichtheitschicht hängen wesentlich von ihrer fachgerechten Ausführung ab. Die Verarbeitungsrichtlinien der verwendeten Materialien sind zu berücksichtigen.“

Unsere derzeitige Baustellenrealität sieht demgegenüber noch gänzlich anders aus:

- bei mangelnder Bauüberwachung ist die sorgfältige Ausführung der Arbeiten eher zweifelhaft.
- Die Gewerke untereinander achten auf ihren Verantwortungsbereich und weniger auf Leistungen anderer Gewerke.
- Weder eine durchgängig fachgerechte Ausführung ist Baustellenrealität, noch kann davon ausgegangen werden, dass alle werblichen Versprechungen der zur Verfügung stehenden Materialien auch eingehalten werden können.
- Auf die Nichtberücksichtigung der Problematik von Altdächern wurde bereits hingewiesen.

Abb. 14 und 15 sollen veranschaulichen, dass Systemdetails häufig nicht unbedingt praxisorientiert entwickelt sind.

In Abb. 14 wird praxisfern von einem Anschluss an eine Putzfläche ausgegangen ①. Der Punkt ② soll darauf hinweisen, dass Putzflächen, insbesondere wo sie in unzugängliche Bereiche geführt werden, kaum geeignet sind, um als Anschlussflächen zu dienen. Folie, Kompriband, Anpressplatte, Befestigungsmittel und Befestigungsautomat sind hier gleichzeitig zu halten und anzusetzen?

Die Lösung in Abb. 15 scheint schon praktikabler zu sein. Die Luftdichtheitsebene wird im Zuge der Rohbauarbeiten eingebaut, provisorisch mit einem Putzträgerband ② befestigt und überputzt. Gefahr der Beschädigung der Luftdichtheitsebene durch die Putzkerle bleibt aber bestehen!

Eine Folienbucht herzustellen macht durchaus Sinn – aber wie sieht hier die Ecklösung aus?

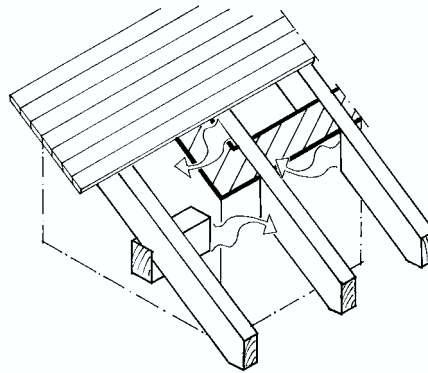


Abb. 12: Potentielle "undicht Stellen"

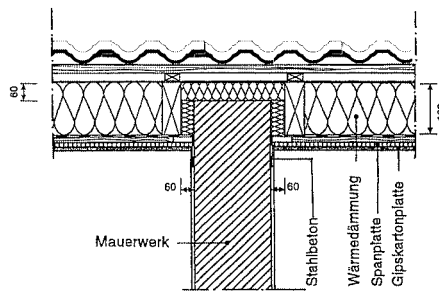


Abb. 13: Dach-Innenwand-Anschluss

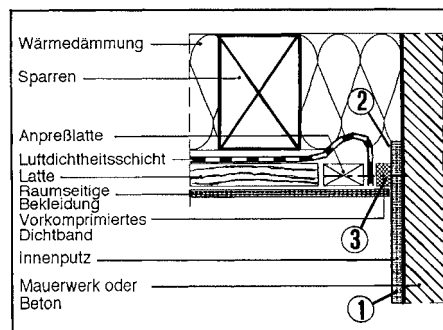


Abb. 14: Luftdichter Anschluss an Putzfläche

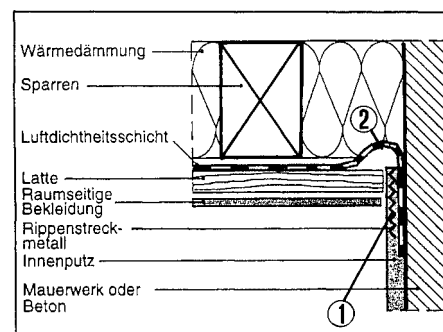


Abb. 15: Luftdichter Anschluss an Rohbaufäche

Installationsebene

Bei den nachfolgenden Innenausbauarbeiten dürfen die Bemühungen um eine luftdichte Konstruktion natürlich nicht wieder zunichte gemacht werden. Nicht selten wird die Wind- und Dampfsperre nämlich aus Unkenntnis über die komplizierten bauphysikalischen Zusammenhänge erst nachträglich verletzt. Der Einbau von Steckdosen ist hier nur einer von vielen Anlässen für mögliche Beschädigungen. Mit einer Installationsebene, die raumseitig vor der Luftdichtheitschicht angeordnet wird, können Durchdringungen von vornherein vermieden werden (s. Abb. 16).

Nachweis der Luftdichtheit

Bisher und auch im Zuge des erwarteten Energieeinsparungsgesetzes ist davon auszugehen, dass es keine Verpflichtung zum Nachweis der Luftdichtheit gibt und geben wird. Tests werden demnach in der Regel auf dem Vertragswege vereinbart werden.

Nach § 4 der Wärmeschutzverordnung 1995 ist die Gebäudehülle dicht zu gestalten. Als dicht gilt nach der DIN V 4108-7 vom 8. Juli 1998:

„wenn es

- bei Lüftungsanlagen: einen n_{50} von $< 1,5^1/h$ und einen w_{50} von $8,75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ aufweist
- bei Fensteröffnungen: einen n_{50} von $< 3,0^1/h$ und einen w_{50} von $7,50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ aufweist.

Das Blower-Door-Messverfahren selbst (zulässige Windstärken, Anordnung der Schläuche, Fehlerrechnung, Toleranzen) ist in ISO 9972 beschrieben.“

Die Abb. 17 zeigt das Prinzip des Blower-Door-Prüfverfahren. Dabei wird der Luftaustausch bei einem künstlich erzeugten Druckunterschied gemessen. Dieser Druck liegt so weit über den „natürlichen Bedingungen“, dass wechselnder Wind oder schwankende Thermik unter einer bestimmten Größenordnung nicht ins Gewicht fallen; sie werden „überspielt“. Die Messung wird damit reproduzierbar, Anforderungsgrenzwerte können definiert werden, Messungen an unterschiedlichen Standorten werden vergleichbar. Gemäß internationaler Vereinbarung

beträgt der Prüfdruck 50 Pa. Nur bei Windstärken, die einen Staudruck ähnlicher Größenordnung erzeugen (Stärke 5 nach Beaufort) wird die Messung zu ungenau. Der Prüfdruck könnte natürlich erhöht werden, aber damit geht die Praxisnähe verloren, und es ergäben sich Schwierigkeiten in der Messdurchführung (abreißende Folien, Fixierung des Spannrahmens). In gleicher Weise kann wahlweise auch Überdruck erzeugt werden. Aus Gründen der Praktikabilität hat man sich in Amerika auf die Meßdurchführung bei Unterdruck geeinigt. In Europa sind sowohl Unterdruck- als auch Überdruckmessung üblich (nacheinander, mit anschließender Mittelung der Messwerte).

Das Blower-Door ist ein luftdicht eingepasster Ventilator, dessen Förderleistung gemessen werden kann. Die Messung beruht auf einer einfachen Gesetzmäßigkeit: durch Heraussaugen eines Luftstromes aus dem Gebäude wird ein Unterdruck aufgebaut. Dieser Unterdruck wiederum führt zum Eintritt von Außenluft an allen undichten Stellen der Gebäudehülle. Ist die Förderleistung des Gebläses groß genug, lässt sich durch das Einregeln der Drehzahl ein beliebiger Unterdruck aufrechterhalten. Bei diesem konstanten Unterdruck ist die Gesamtheit einströmender Luft („Leckage“) so groß, wie der mit dem Blower-Door hinausgeförderte Luftstrom.

Der dermaßen „erzwungene“ Luftdurchsatz liegt höher, als der „natürliche“ Luftaustausch des Gebäudes. Der gemessene Luftvolumenstrom in m^3/h muss nun relativiert werden. Bei einer Sporthalle müssen z. B. größere Werte zulässig sein, als beim kleinen Reihenhausausschnitt. Man bezieht diesen Wert also auf:

- die Wohnfläche (Kennwert w_{50}),
- Die Hüllfläche (Kennwert q_{50}),
- das Volumen des Gebäudes (Kennwert n_{50}).

Der Index 50 steht dabei jeweils für die Ermittlung bei 50 Pa. Das maßgebliche Volumen für den n_{50} ist das Innen-, nicht das umbaute Volumen! Steht nur die Angabe für das umbaute Volumen zur Verfügung, kann mit einem Abzug von 20 Prozent grob das Innenvolumen ermittelt werden.

Beispiel: Bei einem umbauten Raum von $625 \text{ m}^3 = \text{ca. } 500 \text{ m}^3$ Innenvolumen und einer Gesamtleckage von $2100 \text{ m}^3/\text{h}$ ergäbe sich n_{50} mit $2100/500 = 4,2/\text{h}$. Das bedeutet, das Raumvolumen tauscht sich beim Prüfdruck über viermal pro Stunde aus. Das wäre, gemessen an der Norm, zuviel. Hier zeigt sich nun ein Vorteil, falls die Messung noch vor dem weiteren Innenausbau erfolgte: Eine Nachbesserung ist einfach möglich. Deren Erfolg ist mit dem Blower-Door wiederum nachweisbar.

Ein Blower-Door-Test mit Gebäudepräparation und Lecksuche dauert üblicherweise zwei Stunden. Er kostet für den Standardfall inkl. Anfahrt, Auswertung und Protokoll, je nach Anbieter: 700–1200 DM.

Weitere Prüfverfahren sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen. Die Abb. 18 zeigt ein Beispiel einer Blower-Door-Messreihe (vor und nach der Sanierung).

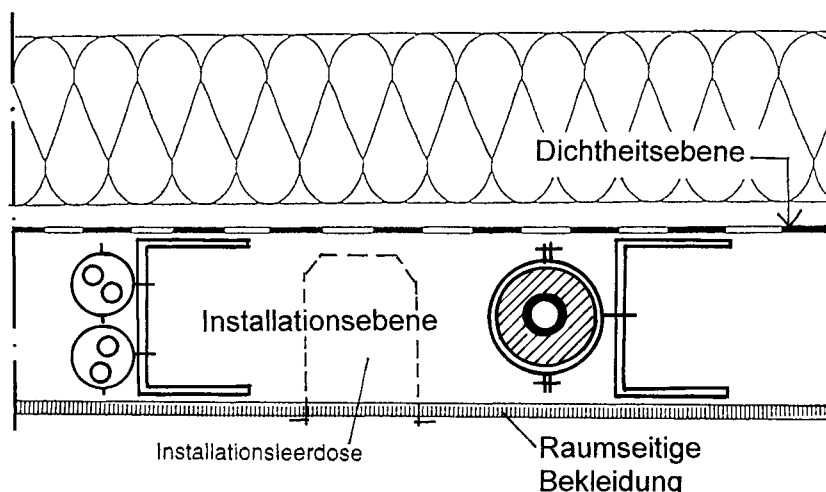


Abb. 16: Installationsebene als Schutzbereich gegenüber der Luftdichtheitsebene

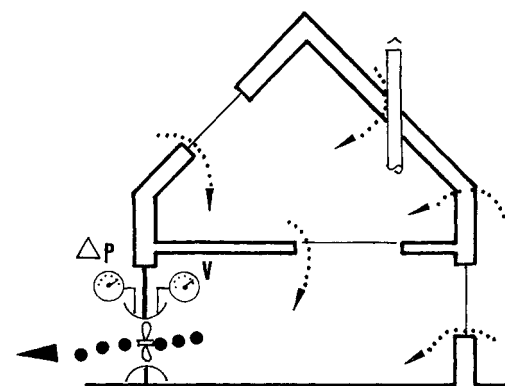


Abb. 17: Prinzip der Blower-Door-Prüfung

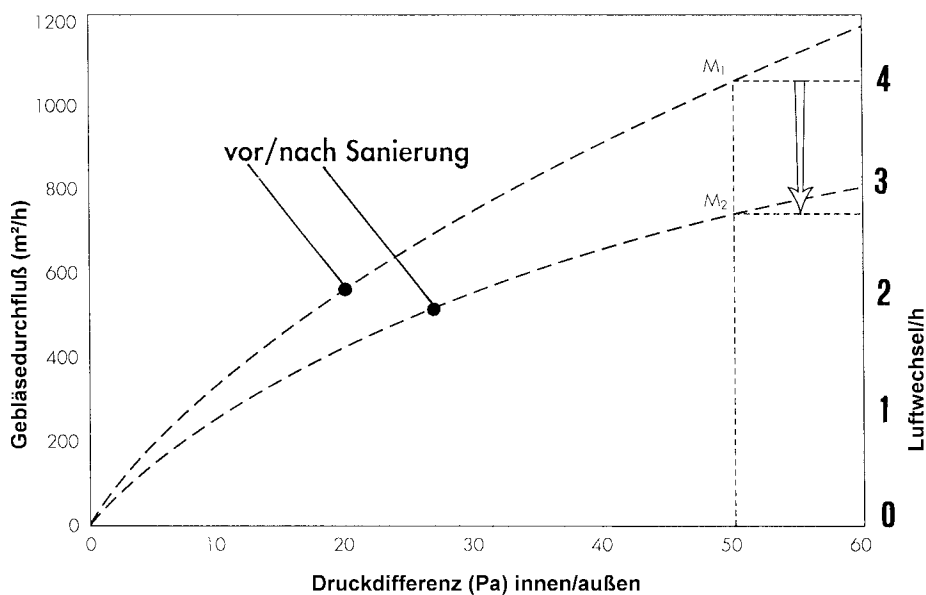


Abb. 18: Beispiel einer Blower-Door-Messreihe (vor/nach Sanierung)
Quelle: Martin Giebeler

Einige Hinweise zur Vermeidung von Schimmelpilzen

Neuere Erkenntnisse zeigen, dass ausgeglichene Temperaturen im Innenbereich von Wohngebäuden an den Bauteiloberflächen wichtiger sind als das „richtige“ Lüften: (2)

Es ist nicht zu vergessen, dass Wohnungen für die Behaglichkeit gebaut werden, ein Mindestluftwechsel aus hygienischen Gründen nicht unterschritten werden darf und ein erhöhter Luftwechsel aus Komfortgründen anzustreben ist.

Dieser Luftwechsel ist über die vorgesehenen Öffnungsflächen der Gebäudehülle (z. B. Fenster mit variabel einstellbaren Öffnungsquerschnitten im Falz) herbeizuführen, was nicht damit zu verwechseln ist, dass die Innenschalen der übrigen Bauteile gut luftdicht sein müssen.

Die flinke Steuerbarkeit des Raumklimas im allgemeinen und der Bedarfslüftung im besonderen durch die Nutzer muss gewährleistet sein, da diese am besten auf ihre individuellen, physiologischen Bedürfnisse reagieren können. Dabei müssen anlagentechnische Zwangsmaßnahmen, die die Berechenbarkeit der Lüftung für übereifrige Rechenkünstler und Energiesparer verbessert, hinten anstehen.

Konsequenzen für den Dachschichtenaufbau

Wie mehrfach angeführt, ist die Luftdichtheitsebene nicht in jedem Fall nachhaltig funktionssicher einbaubar. Daraus ist nicht zu schließen, dass auf sie in bestimmten Fällen verzichtet werden kann. Es geht vielmehr darum, insbesondere im Altdachzusammenhang Lösungen zu finden, die als gutmütig oder auch fehlertolerant einzustufen sind. Dies hat nichts mit dem bekannten Ideologiestreit: Wärmedämmung überlüften bzw. nicht überlüften, zu tun, sondern folgt einem jahrzehntelangen Erfahrungsgrundsatz. Die nachstehenden Kriterien sollen die Notwendigkeit verdeutlichen, sich ganzheitlich mit jedem Dach zu beschäftigen und eben nicht zu rein rezeptiven Lösungen zu greifen:

Übersicht der Nachweisverfahren

Verfahren	Einsatzgebiet
Tracer Gas	Beurteilung des natürlichen Luftwechsels, stark witterungsabhängig
Impulsverfahren	nicht mehr eingesetzt, da zu aufwendig
Blower-Door	Beurteilung der Güte der Gebäudehülle insgesamt; reproduzierbar; geringer Aufwand; in kleinerer Bauform auch für die Kontrolle von Lüftungskanälen
Rauchröhrchen	Nachweis von Einströmung bei schon erfolgter Eingrenzung
Vernebelung	Abschätzung von Menge und Verteilung der Leckage; Vermeidung von BD-Falschmessung; psychologische Hilfe
Anemometer	Beurteilung von Wohnkomfortbeeinträchtigung; keine quantitative Aussage der Leckage
Thermografie	Abschätzung von Menge und Verteilung der Leckage; zusätzliche Beurteilung der Transmission; nur im Winterhalbjahr anwendbar; wichtiges Diagnosemittel für Industrie- und Hallenbauten
„AirTest“ o. ä.	Ventilator ohne Durchflussmessung; für Eigenkontrolle ausführender Firmen ohne quantitativen Nachweis

Quelle: Martin Giebeler

A. Ausgangssituationen, die für eine Überlüftung der Wärmedämmschicht sprechen

- Luftdichtheitsebene ist aus Gründen komplexer Anschlusssituationen nicht schlüssig einbaubar (z. B. Altdächer mit stehenden und liegenden Stühlen, Pfettendächer mit Stützen, Kopfbändern etc.)

- Luftdichtheitsebene kann trotz korrekter Ausführung geschädigt werden, z. B. durch:

1. Schwindungen, Lageveränderungen, Torsion von Holzbauteilen, die in Folge Klimawechsels von unbewohnt auf bewohnt eintritt und hierdurch bedingte Abrisse, Undichtigkeiten etc.

2. Beschädigungsfahr nach Einbau durch Folgewerke, Nutzerverhalten etc.

3. hoher Feuchteintrag, der trotz ausreichender Luftdichtheitsmaßnahmen aus Sicherheitsgründen im Bedarfsfall schnell abgeführt werden soll.

- Kein Verzicht auf Holzschutzmittel in der Tragekonstruktion

- Ausreichende Sparrenhöhe, formbeständiger Dämmstoff.

B. Ausgangssituationen, die für einen Verzicht auf Überlüftung der Wärmedämmschicht sprechen oder diese erfordern

- Nebausituationen mit eindeutiger Anschließbarkeit der Luftdichtheitsschicht (z. B. Aufsparrendämmung).

- Bei der Vorschrift „Anordnung eines wasserdichten Unterdaches“ muss nach der Fachregel die Abdichtung über den First geführt werden, eine Entlüftung ist demnach kaum möglich.

- Anordnungen von übermäßig viel Dachgauben, Dachfenstern, die teilweise auch auf Lücke gesetzt sind, stören die Belüftungssituation, so dass eine nicht belüftete Konstruktion sinnvoller erscheint.

- Bei Forderungen auf Verzicht von Holzschutzmitteln in der Tragekonstruktion.

- Falls das tragende System ein Massivdach (Beton, Porenbeton, Ziegelfertigteile) ist.

4. Zusammenfassung

Luftdichte Gebäudehüllen sind nach Lage des Normenwerkes und anderer rechtlicher Rahmenbedingungen unverzichtbar.

Dennoch sind insbesondere im Hinblick auf nachträglich auszubauende komplexe Dachkonstruktionen Zweifel angebracht, ob hier den Forderungen nachgekommen werden kann. Differenzierte und ganzheitliche Vorgehensweisen sind hier angebracht, der Beitrag versucht hier einige Gedanken zusammenzutragen.

(1) Quelle: Der Zimmermann 2/99, S. 4–7

(2) Quelle: Deutsches Ingenieurblatt, April 2000, Dieter Mainka: Dämmung dämmt den Schimmelpilz.