



UNIV.-PROF. DR.-ING. GERD HAUSER

Ordinarius der Technischen Universität München
Leiter des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik

LUFTDICHTHEIT DER WÄRMETAUSCHENDEN GEBÄUDEHÜLLE – EIN ESSENZIELLER BEITRAG ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ IN GEBÄUDEN UND ZUR VERMEIDUNG VON BAUSCHÄDEN!

Die notwendige Minderung des Primärenergieverbrauchs muss

- primär durch eine Energieeffizienzsteigerung insbesondere bei Gebäuden
- und sekundär durch eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien

erreicht werden.

Erst Energieeffizienzsteigerung, dann Einsatz erneuerbarer Energien

In der öffentlichen Diskussion steht die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien im Vordergrund, obwohl Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung eine noch deutlich höhere praktische Bedeutung haben. So lieferten 2006 in Deutschland erneuerbare Energien zur Stromerzeugung 70 TWh und zur Wärmeenergieerzeugung 90 TWh (79 TWh entfallen hierbei auf feste Biomasse). Allein durch die passive Solarenergienutzung unserer Wohngebäude werden jährlich im Durchschnitt 83 TWh geerntet. Über diese Nutzung erneuerbarer Energien wird jedoch nicht gesprochen. Würde allein der Wohngebäudebestand energetisch so saniert, dass eine Verbrauchsminderung auf 35% einträte, was technisch realisierbar ist, so ergäbe sich ein Einsparpotenzial von 640 TWh. Das heißt, Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung beherbergen Potenziale, die um eine Zehnerpotenz höher sind als die der erneuerbaren Energien. Die Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich ist der Hauptschlüssel zur Lösung unserer Energie-Probleme.

Hier darf jedoch kein Gegeneinander gesehen oder erzeugt werden, sondern es soll klar werden, dass die Energieeffizienzsteigerung die Basis und Grundlage jeglicher sinnvollen Maßnahme sein muss, auf die dann mit erneuerbaren Energien aufgesetzt werden sollte, um z.B. Plus-Energiehäuser zu schaffen.

Dies sind Gebäude, die im Jahr mehr Energie erzeugen, als sie verbrauchen. Vermutlich werden wohl alle Neubau-

ten ab 2020 dieses Kriterium erfüllen und zusätzlich auch noch den Strombedarf für den dann strombetriebenen Individualverkehr im innerstädtischen Bereich abdecken – Gebäude werden zu Mini-Kraftwerken.

Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung stehen zur Verfügung

Zur Energieeffizienzsteigerung stehen verschiedene Elemente zur Verfügung wie

- Minderung der Transmissionswärmeverluste
- Minderung der Lüftungswärmeverluste
- Erhöhung der Wärmegewinne
- Nutzungsgradsteigerung des Wärmeerzeugers
- Erhöhung des Tageslichtangebots und des Leuchtenwirkungsgrads
- Maßnahmen zur Vermeidung von Kältetechnik

Ein Großteil dieser Maßnahmen wird bereits bei Neubauten und bei Modernisierungsmaßnahmen in großem Umfang realisiert und ist praktisch erprobt. Die Geschwindigkeit der Umsetzung ist aufgrund zahlreicher Hemmnisse wie unter anderem auch des mangelhaften Wissenstransfers aus der Forschung zur Baustelle noch zu gering und es fehlt zum Teil an kostengünstigen Systemlösungen.

Luftdichtheit spielt große Rolle

Undichtheiten in der wärmetauschenden Gebäudehülle bewirken einen Luftaustausch zwischen Raum- und Außenluft, der vom Nutzer nicht zu

beeinflussen ist. Ein dem Bedarf des Nutzers angepasster Luftaustausch ist auf diesem Wege nicht möglich, es entstehen unnötige Wärmeverluste. Mit zunehmender Verminderung der Transmissionswärmeverluste infolge höherer Dämmwirkung der Bauteile und verbesserter Anschlussausbildungen spielen diese Lüftungswärmeverluste eine immer größere Rolle und müssen möglichst minimiert werden.

Es ist ein Irrtum zu glauben, dass durch diesen ungesteuerten Luftaustausch, auch Infiltrationsluftwechsel genannt, ein ausreichender Beitrag zur Feuchteabfuhr geleistet werden könne. Dieser muss durch entsprechendes Öffnen der Fenster oder über Lüftungsanlagen sichergestellt werden.

Luftdichtheit leistet Zusätzliches

Neben der energetischen Bedeutung der Luftdichtheit ist ihre Wirkung auf den thermischen Komfort von großer Bedeutung. Zugerscheinungen in unmittelbarer Fassadennähe sind vielen von uns aus der Jugend noch vertraut, wenn es durch die undichten Fensterfugen „wie Hechtsuppe zog“. Auch erhöhte Lufttemperaturen waren nicht in der Lage, diese Unbehaglichkeiten zu kompensieren.

Weniger spürbar, aber hinterhältiger sind die durch Undichtheiten entstehenden Bauschäden. Bei Überdruck im Gebäudeinnern infolge von entsprechender Windanströmung oder der höheren Temperatur im Innenraum gegenüber Außenluft strömt feuchtwarme Luft durch Undichtheiten in die Konstruktion und bei entsprechender

Verweildauer kommt es zu einem Tauwasserausfall, dessen Menge schnell zu Bauschäden führen kann. Die meisten Durchfeuchtungsschäden bei Bauteilen mit Hohlräumen rühren von diesem Mechanismus her. Entsprechende Konsequenzen müssen bei der Ausführung, aber auch bei der Planung gezogen werden.

Zertifikat der Nachhaltigkeit

Derartige Eigenschaften werden in Kürze über ein Zertifikat der Nachhaltigkeit ausweisbar und dokumentierbar sein. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Städtebau (BMVBS) und die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) bereiten derzeit mit Hochdruck gemeinsam ein entsprechendes deutsches Zertifizierungssystem vor, das entsprechend den Schutzzielen

- Ressourcenschutz
- Erhaltung der natürlichen Umwelt
- Sicherung und Erhalt von Werten
- Verbesserung des Umfeldes und Schutz der öffentlichen Güter
- Gesundheit und Behaglichkeit von Gebäudenutzern

folgende Hauptkriterien erfasst:

- ökologische Qualität
- ökonomische Qualität
- soziokulturelle und funktionale Qualität

Daneben gehen Kriterien des Bereichs

- Qualität der technischen Ausführung

in das Zertifikat ein.

Die Bedeutung der Luftdichtheit der wärmetauschenden Gebäudehülle wird dabei mittels der Einzel-Kriterien „Primärenergiebedarf“, „thermischer Komfort“ und „Energetische und feuchtetechnische Qualität der Gebäudehülle“ erfasst und in ihrer Bedeutung gewürdigt.

Das vorliegende Buch soll dazu beitragen, die vielfältigen Aspekte der Luftdichtheit der wärmetauschenden Gebäudehülle vorzustellen und Lösungsansätze in die Praxis zu tragen – als Beitrag zur Nachhaltigkeit unserer Gebäude.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser



DIPL.-ING. WILFRIED WALTHER

Sachverständiger in Springe in den Bereichen Luftdichtheit, thermischer und hygrischer Bauphysik

DAS FLIB-BUCH - BAND 1

Der vorliegende erste Band dieses Buches stellt die grundlegenden Themen zur „Luftdichtheit der Gebäudehülle“ umfassend dar. Initiiert vom Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen haben sich Autoren bereit gefunden, ihr Wissen für dieses Buch zusammenzutragen und eigenverantwortlich darzustellen. Kombiniert mit Beiträgen aus früheren Veröffentlichungen des Fachverbandes ist es das erste Werk auf dem deutschsprachigen Markt, das zusammenfassend über dieses Thema informiert.

Im ersten Kapitel geht es um Argumente und Grundlagen, die für eine gute Luftdichtung der Gebäudehülle sprechen. Das Thema „Luftqualität im Gebäude“ lenkt den Fokus auf die „Schadstoffeinträge in Wohngebäuden“ und stellt diese umfassend dar. Dabei handelt es sich um den ersten umfangreichen und fundierten Beitrag zu diesem Thema.

Der rote Faden des zweiten Kapitels „Geschichte der Luftdichtheit“ beginnt mit der Vergangenheit und zeigt, wie sich die Normung und die Bedeutung des Themas allmählich wandeln. Die Luftdichtheitsanforderung an die Gebäudehülle kann mit unterschiedlicher Herangehensweise erschlossen werden: Welchen Stellenwert hat die Normung? Welche Forderungen bestehen aus Gründen der Belüftung mit und ohne Lüftungsanlagen?

Für diejenigen, die Luftdichtheitsmessungen durchführen, ist sicherlich das dritte Kapitel entscheidend, über Messung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle nach DIN EN 13829. Es beschreibt ausführlich die Durchführungen der Messung nach DIN und bietet so einen guten Leitfaden für qualitativ hochwertige Messungen.

Was fachgerechtes Kleben und Dichten ausmacht, was Kleben überhaupt ist und wie geklebt wird, ist Thema des sehr kompakten und mit wichtigen Grundlagen versehenen Kapitels 4, das in der Form bisher einmalig ist. Weitere Kompetenzen sowohl in der Beratung bei Planern und Handwerkern als auch in der Qualitätssicherung werden hier erschlossen.

Aus diesem Grund ist auch das Kapitel 5 in dieses Buch mit aufgenommen worden. Unter Berücksichtigung der Infiltration werden die physikalischen Zusammenhänge von natürlicher und ventilatorgestützter Lüftung beschrieben sowie deren Wirkung auf die Luftwechselrate. Das Kapitel gibt nicht nur Einblick in die verschiedenen Lüftungssysteme und deren Planungsgrundlagen, sondern auch in die neue E-DIN 1946-6.

Das letzte Kapitel widmet sich den rechtlichen Aspekten des Themas. Es bietet uns Anwendern, Technikern und Planern einen besonders fundierten Einblick in die Grundlagen des öffentlichen Rechts, die Auslegungen der vergangenen und aktuellen Rechtsverordnungen, den Stand der Technik und die allgemeinen Regeln der Technik im Zivilrecht.

Wir danken allen Autoren und ideellen Unterstützern für ihr Engagement für dieses sehr interessante Werk.

Wilfried Walther

Kassel, Mai 2008
im Auftrag des FLiB e.V.

1 Gründe für eine Luftdichtheit der Gebäudehülle

Torsten Bolender
Armin Weissmüller

Die Gründe für eine luftdichte Bauweise von beheizten und / oder klimatisierten Gebäuden sind vielfältig und vielen aus eigener Erfahrung wohlbekannt. Zudem war eine undichte Gebäudehülle schon unseren Vorfahren ein Dorn im Auge und sie haben, wie auf dem Bild 1.1 zu erkennen, bereits effektive Abdichtungsmaßnahmen gekannt, um Zugluft zu vermeiden.



Bild 1.1: Bei Holzblockbauten diente mitunter Moos und Lehm als Dichtmaterial für Fugen und Ritzen. (Foto: Eicke-Hennig)

Zum Erreichen dieser Ziele, in der Energieeinsparverordnung [2] festgelegt, ist es erforderlich, sich schon zu Beginn der Planungsphase eines Gebäudes mit dem Thema zu befassen. Zunächst ist zu klären, wo die Luftdichtheitsebene eines Gebäudes verläuft und aus welchen Materialien sie besteht. Die Lage der Luftdichtheitsebene ist, abhängig vom Wandaufbau und den gewählten Baumaterialien, vom Planer in einem Luftdichtheitskonzept festzulegen.

Die DIN 4108-7 [3] kennt eine Reihe von Materialien, welche die Luftdichtheitsebene ausbilden können. Unter anderem sind dies die unterschiedlichen Putze, Bahnen aus Kunststoffen oder Baupappen sowie plattenartige Bauprodukte aus Holz oder Gips. All diese Bauprodukte sind im Sinne der Norm geeignet, um eine Luftdichtheitsebene zu bilden, die verhindert, dass Luft von außen in das Bauteil einströmt bzw. von innen nach außen gelangt.

So können Schäden durch Kondensation an Bauteilen (konvektiver Feuchtetransport) vermieden und Lüftungswärmeverluste minimiert werden. In unserer Klimazone wird meist die Luftdichtheitsebene in Funktionseinheit mit der diffusionshemmenden Schicht (Dampfbremse) ausgeführt.

Ist dies der Fall, sind auch die Anforderungen aus DIN 4108-3 [5] zu erfüllen.

Im folgenden Kapitel werden die Gründe und Hintergründe für eine luftdichte Ausführung der Gebäudehülle kurz dargestellt. Zugleich finden sich Hinweise auf die weitergehenden Informationen zu den einzelnen Themen in diesem Buch.

Die Wichtigkeit einer luftdichten Hülle eines Gebäudes zeigt sich schon daran, dass alle Hauptgebiete der Disziplin Bauphysik berührt werden. Luftdichtheit steht in engem Zusammenhang mit Wärme- und Feuchteschutz sowie dem Brand- und Schallschutz von Gebäuden. Weitere gute Gründe für eine luftdichte Ausführung sind hoher Wohnkomfort, Ausgrenzung von Schadstoffen und der planmäßige Betrieb von Lüftungsanlagen. Nicht zuletzt haben der Verordnungsgeber sowie die Normung sich des Themas angenommen und stellen seit Jahren konkrete Anforderungen an die Ausführung, die auch messtechnisch nachgewiesen werden kann [1] (► Kapitel 2.1 und 2.3).

ANMERKUNG

An dieser Stelle sei noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anforderungen der DIN 4108-7 und die im Buch beschriebenen Aspekte sich auf die meist raumseitig verlegte Luftdichtheitsebene und nicht auf die meist außenseitig der Wärmedämmung verlegte Winddichtheitsebene beziehen. Diese Begriffe werden leider auch in der Fachwelt verwechselt, was häufig zu erheblichen Verstimmungen bei den am Bau Beteiligten führt.

Hierbei ist zu beachten, dass Durchdringungen vermieden und Anschlüsse auf ein notwendiges Minimum reduziert werden. Vereinfacht kann man sagen, dass ein Bauteil im Regelquerschnitt dann ausreichend luftdicht ist, wenn es ebenso dicht ist wie eine verputzte Wand.

Weitere Hinweise zur dauerhaften Herstellung von Luftdichtheitsebenen sind der DIN 4108-7 [3] zu entnehmen (► Kapitel 4).

Bild 1.2 zeigt das Prinzip der geplanten Luftdichtheitsebene.

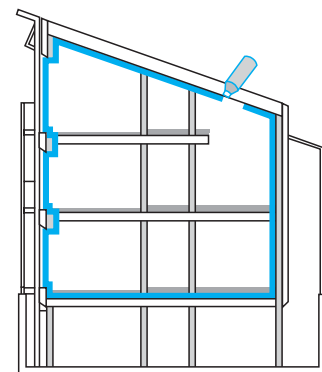


Bild 1.2: Die Luftdichtheitsebene muss mit einem Stift „abgefahren“ werden können, ohne dabei abzusetzen (in Anlehnung an [4]).

Wolfgang Bischof

1.9 LUFTQUALITÄT UND LUFTDICHTHEIT VON GEBÄUDEN

1.9.1 RAUMLUFTQUALITÄT UND AUSSENLUFT

Im Jahre 1858 forderte Max von **Pettenkofer** in seinen Münchner Vorlesungen: „*Nie darf das Haus eine Vorrichtung sein, uns von der äusseren Luft abzuschliessen, sowenig als die Kleidung.*“ In recht eindrucksvoller Weise wird die für uns heute kaum mehr vorstellbare Situation in überbelegten Wohnungen von **Friedberger** (1923) dargestellt. So wurden in der Zeit vor dem morgendlichen Aufstehen CO₂-Konzentrationen von 0,23 % (0,12 bis 0,55 %) gemessen und parallel dazu starke Geruchsbelastungen wahrgenommen. Hohe Luftfeuchten, hervorgerufen durch Exhalationen und Schweiß, durch Kochen und Waschen auf engstem Raum, führten zu Tauwasserbildung mit Feuchteschäden und Modergeruch, und herumliegende Kleidungsstücke zeigten zum Teil Schimmelbildung. Vielfach waren die Wände so feucht, dass Tapeten überhaupt nicht hafteten und Holzverkleidungen faulten. Durchschnittswerte von 147 Räumen ergaben in der Heizperiode eine relative Luftfeuchtigkeit von 78 % (61 bis 94 %). Hohe Luftfeuchtigkeit liefert auch Hausstaubmilben ideale Bedingungen, und es treten Silberfische und Kellerasseln auf. In feuchten Räumen fanden **van Wageningen** et al. (1987) eine höhere Prävalenz an respiratorischen Beschwerden als in trockenen. Auch fäkal-orale Infektionen sind häufiger.

Im Vordergrund der Betrachtungsweise, auch historisch gesehen, steht die Veratmung der Raumluft und ihre Belastung durch die Expirationsluft. Von allen der von Menschen ausgehenden Komponenten der Belastung seiner nächsten Umwelt (Kot, Urin, Hautschuppen, Schweiß, Darmgase etc.) sind die Exhalationen aus Mund und Nase sowohl die unvermeidlichsten als auch mengenmäßig die bedeutendsten. Bereits 1777 erkannte **Lavoisier**, dass der CO₂-Anstieg in schlecht gelüfteten Räumen zu gesundheitsgefährdenden Verhältnissen bei der Einatmung führen kann (**Witthauer** et al. 1993). Und **Brown-Sequard** und **d'Arsonval** vermuteten

sogar Giftigkeit der Ausatemluft und prägen für diese hypothetischen Gifte 1888 den Begriff Anthropotoxine. Obwohl **Brown-Sequard** und **d'Arsonval** (1888) die ersten experimentellen Untersucher zu dieser Problematik waren, wurde bereits 1870 durch **Ransome** postuliert, dass Menschen durch ihren Stoffwechsel gewisse toxische Gase in die Umgebung vorrangig durch die Atmung emittieren. In Deutschland vertraten **Seegen** und **Nowack** (1879) die Meinung, der Mensch müsse unbedingt auch organische, durch Ätzkali nicht absorbierbare Stoffe ausatmen, die nach der Wiedereinatmung giftig wirken. Der Hygieniker **Uffelmann** (1888) konnte zeigen, dass bei einem 10-stündigen Aufenthalt von drei Personen in einem kleinen geschlossenen Raum der CO₂-Gehalt um das 2,5-Fache und der Gehalt an organischer Substanz (getestet mit KMnO₄-Lösung) fast um den gleichen Wert steigt.

Pettenkofers Forderung nach einer freizügigen Lüftung des Aufenthaltsraumes von Menschen ist im historischen Kontext sehr gut nachvollziehbar. Doch hat bereits ebendieser (1858) für den Innenraum eine sinnvolle Emissionsbegrenzung verlangt: „*Wenn ich einen Düngerhaufen im Zimmer habe, so thue ich viel gescheidter, diesen zu entfernen, anstatt das Zimmer stärker zu ventilieren. Wir verfahren viel rationeller, wenn wir von vornherein die Mittheilung solcher Verunreinigungen an die Luft unserer Wohnräume verhüten, als wenn wir hintennach ihre Folgen durch Ventilation zu beseitigen suchen.*“ Heute bedeutet Prävention im Bereich der Luftqualität des umbauten Raumes, dass möglichst nur Emissionen aus Metabolismus und Aktivitäten des Menschen maßgeblich für die Verunreinigungslast sind. Dies heißt gleichzeitig, dass die Belüftung des Innenraumes sich an jenen Emissionen orientiert und damit bei Abwesenheit von Personen auf ein Minimum reduziert werden kann. Dass dieses Konzept energetische Vorzüge aufweist, ist unbestreitbar. Aber auch aus Sicht der Raumluftqualität kann die Einschränkung einer unkontrollierten freizügigen Lüftung vorteilhaft sein. Ursächlich hierfür ist der Einfluss der Außenluftqualität auf die Raumluft. Dabei gilt es einerseits zu beachten, dass Pettenkofers Anmerkung „*Wir halten jede Luft, wel-*

che auf unsere Sinne oder unser Befinden anders wirkt, als die Luft im Freien, mit Recht für verunreinigt“ heute nur noch unter definierten örtlichen und zeitlichen Randbedingungen gültig ist. Andererseits gehen in Abhängigkeit von der lufthygienischen und meteorologischen Situation, von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Luftbeimengungen und von den baulichen wie lüftungstechnischen Gegebenheiten mit dem Durchtritt der Außenluft in den Raum Konzentrationsänderungen einher.

Erst die genaue Kenntnis dieses multifaktoriellen Geschehens hilft uns, den tatsächlichen Effekt der Lüftung auf die Innenraumlufthygiene zu erfassen. Ein bewährtes und bereits seit vielen Jahrzehnten in der Forschung genutztes Hilfsmittel ist hierbei das Verhältnis von Raumluft- und Außenluftkonzentration, gewöhnlich angegeben als I/A oder I/O (indoor/outdoor). Ein Quotient <1 weist auf die Dominanz von Außenquellen hin – Luftdichtheit wäre in diesem Fall präventiv. Bei I/A>1 überwiegen die Emissionen aus Innenraumquellen und eine Erhöhung des Luftwechsels führt zur Verringerung der stofflichen Last. Voraussetzung für die valide Bestimmung des I/A-Quotienten ist eine Außenluftmessung in direkter Gebäudenähe bzw. bei mechanischer Lüftung in der Nähe der Außenluftansaugung. Weiterhin sind Innenraumquellen der betrachteten Luftbeimengung – vor allem deren instationäres Emissionsverhalten – zu berücksichtigen. So finden **Kaneko** et al. bei NO₂-Messungen in Wohnungen I/A-Werte zwischen 0,3 und 33,1. Diese große Schwankungsbreite zeigt, dass punktuelle Messungen zu groben Fehleinschätzungen führen können. Ursachen hierfür sind z. B. eine hohe zeitabhängige Varianz der Emissionen im Raum oder auch Veränderungen in der Außenluft, wie sie etwa der Wechsel der Windrichtung hervorruft.

In der Vergangenheit wurde auch vorgeschlagen, den reziproken Wert des I/A-Quotienten als Schutzfaktor zu bezeichnen (**Alzona** et al.). Je kleiner das Verhältnis I/A, umso mehr schützen uns die Gebäudehülle, das Gebäude selbst und ggf. seine lüftungstechnischen Einrichtungen im Innenraum vor potenziell in der Außenluft vorkommenden Schadstoffen.

2 Anforderungen im Wandel – Luftdichtheit damals und heute

Anne Fingerling

Eine kleine Geschichte der Blower-Door

Schon der griechische Philosoph Sokrates (470 – 399 v. Chr.) prägte, laut Überlieferung, die einfache Formel: „Das ideale Haus ist im Sommer kühl, im Winter warm“ [Humm 1990, S. 7]. Für ein behagliches, gesundes Wohnklima sind zwei Aspekte entscheidend: Eine gute Wärmedämmung in Verbindung mit einer luftdichten Gebäudehülle.

2.1 LUFTDICHTHEIT IM WANDEL DER ZEIT

Die Menschen haben über alle Bau-epochen hinweg versucht, eine möglichst geringe Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle zu erreichen. In Holzblockbauten beispielsweise stopften die Bewohner Fugen und Ritzen mit Moos oder Lehm aus, um unangenehme Zugerscheinungen zu vermeiden.

Aber auch großflächige Innenverkleidungen aus Holz oder aus Gips auf einem Schilfrohr- oder Holzlattenuntergrund dienten dem Zweck einer niedri-



Bild 2.1: Bei Holzblockbauten diente mitunter Moos und Lehm als Dichtmaterial für Fugen und Ritzen. [Foto: Eicke-Hennig]

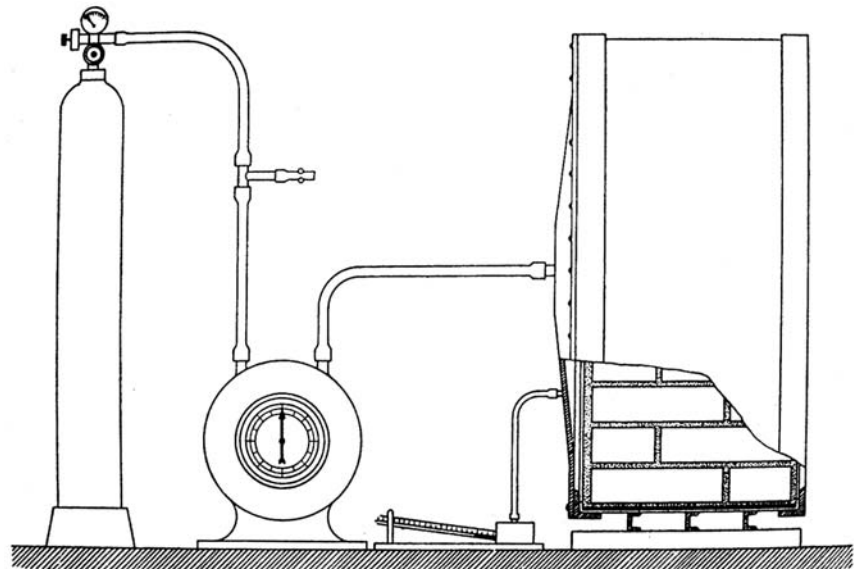


Bild 2.2: Raisch betrachtete nicht mehr den Baustoff allein, sondern die Wand als Ganzes. Hier sein Versuchsaufbau zur Überprüfung der Luftdurchlässigkeit einer Wandkonstruktion.

[Quelle: Raisch 1928]

gen Luftdurchlässigkeit. In Altbauten werden bei Umbauarbeiten in Wand- und Deckenkonstruktionen auch immer wieder Schichten aus alten Zeitungen gefunden. Diese zeitgeschichtlich mitunter äußerst interessanten Zeugnisse wurden nicht etwa aus historischem Bewusstsein heraus der Nachwelt erhalten, sondern hatten eindeutig „die Funktion einer Luftdichtung zu übernehmen“ [Preisig 1990, S. 4]. Als grundsätzlich luftundicht dürfen die früheren Fenster gelten, denn Falzdichtungen waren noch nicht bekannt. Um Zugerscheinungen im Winter zu mindern, wurden Kissen oder gerollte Decken in die Kastenfenster eingelegt. Bei Fenstern oder Türen in Altbauten sind derartige improvisierte „Luftdichtungen“ durchaus auch heute noch zu beobachten. Inzwischen stehen zahlreiche Produkte und Systemlösungen verschiedener Hersteller zur Verfügung, um eine dauerhafte und qualitativ hochwertige Luftdichtheit der gesamten Gebäudehülle zu gewährleisten – eine fachlich qualifizierte und einwandfreie Ausführung immer vorausgesetzt. Nähere Angaben zu diesem Thema finden Sie im Kapitel 4 „Kleben - Materialien und Verarbeitung“.

2.1.1 ATMENDE WÄNDE?

Die Aspekte Raumluftqualität und Hygiene spielen ab dem 19. Jahrhundert eine zunehmende Rolle. In diesem Zusammenhang darf der Name des Chemikers und Hygienikers Max von Pettenkofer nicht fehlen. Seine bekannten Versuchsreihen, die hier nicht näher erläutert werden sollen, führten ihn zu der Annahme, dass der Luftaustausch durch die Außenwände hindurch ein wesentlicher Beitrag zur Reinigung der Raumluft sei [Pettenkofer 1877] [Walch 1997].

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts galt diese Theorie jedoch bereits als überholt: 1928 wies Erwin Raisch nach, dass „die Forderung des Hygienikers nach ‘atmenden Wänden’ zum Zwecke der Lüfterneuerung in Räumen keine berechnete innere Begründung hat“ – im Gegensatz zu den „unvermeidlichen Undichtigkeiten von Fenstern und Türen“ [Raisch 1928, S. 489], die erhebliche Wärmeverluste verursachen.

Raisch erkannte bereits die Bedeutung des Putzes für die luftdichte Ausführung des Mauerwerks. Er stellte fest, „dass verputzte Flächen, gleich-

Der nachfolgende Text ist das Ergebnis einer langen Diskussion in den Gremien des FLiB e. V.

2.2 LUFTDICHTHEITSANFORDERUNGEN IN DER VERGANGENHEIT

Vorbemerkung

In der Fachöffentlichkeit wird immer wieder die Frage nach den Luftdichtheitsanforderungen in der Vergangenheit diskutiert. Mit der folgenden Stellungnahme soll dieser Fragenkomplex mit auszugsweisen Zitaten aus einschlägigen Regelwerken (Teil A) sowie mit fachlichen Argumentationen und Hinweisen (Teil B) untersetzt werden.

2.2.1 TEIL A: ZITATE AUS REGELWERKEN

2.2.1.1 WÄRMESCHUTZVERORDNUNG(EN) (WSCHV)

WärmeschutzV vom 11. August 1977

§ 3 Begrenzung der Wärmeverluste bei Undichtheiten

- (1) Die Fugendurchlaßkoeffizienten der außenliegenden Fenster und Fenstertüren von beheizten Räumen dürfen die in Anlage 2¹ genannten Werte nicht überschreiten.
- (2) Die sonstigen Fugen in der wärmeübertragenden Umfassungsfläche müssen dauerhaft und entsprechend dem Stand der Technik luftundurchlässig abgedichtet sein.

1.2 WärmeschutzV vom 16. August 1994

§ 4 Anforderungen an die Dichtheit

- (1) Soweit die wärmeübertragende Umfassungsfläche durch Verschaltungen oder gestoßene, überlappende sowie plattenartige Bauteile gebildet wird, ist eine luftundurchlässige Schicht über die gesamte Fläche einzubauen, falls nicht auf andere Weise eine entsprechende Dichtheit sichergestellt werden kann.
- (2) Die Fugendurchlaßkoeffizienten der außenliegenden Fenster und Fenstertüren von beheizten Räumen dürfen die in Anlage 4² ... genannten Werte nicht überschreiten.
- (3) Die sonstigen Fugen in der wärmeübertragenden Umfassungsfläche müssen entsprechend dem Stand der Technik dauerhaft luftundurchlässig abgedichtet sein.

Anlage 4

Anforderungen an die Dichtheit zur Begrenzung der Wärmeverluste

2 Nachweis der Dichtheit des gesamten Gebäudes

Soweit im Einzelfall erforderlich wird zu überprüfen, ob die Anforderungen des § 4 Abs. 1 bis 3 ... erfüllt sind, erfolgt diese Überprüfung nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik, die nach § 10 Abs. 2³ bekanntgemacht sind.

2.2.1.2 DIN 4108 TEIL 2, AUSGABE AUGUST 1981

6 Wärmeschutz im Winter, Energiesparender Wärmeschutz im Winter

6.2 Begrenzung der Wärmeverluste infolge Undichtheiten

6.2.1 Außenbauteile

6.2.1.1 Bei Fugen in der wärmeübertragenden Umfassungsfläche des Gebäudes, insbesondere auch bei durchgehenden Fugen zwischen Fertigteilen oder zwischen Ausfachungen und dem Tragwerk, ist dafür Sorge zu tragen, daß diese Fugen entsprechend dem Stand der Technik dauerhaft und luftundurchlässig abgedichtet sind (siehe auch DIN 18540 Teil 1 bis Teil 3).

Aus einzelnen Teilen zusammengesetzte Bauteile oder Bauteilschichten (z. B. Holzverschalungen) müssen im allgemeinen zusätzlich abgedichtet werden.

6.2.1.2 Der Eindichtung der Fenster in die Außenwand ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Fugen müssen entsprechend dem Stand der Technik dauerhaft und luftundurchlässig abgedichtet sein.

Joachim Zeller

2.3 ANFORDERUNGEN AN DIE LUFTDICHTHEIT IN DER GEGENWART

2.3.1. GRENZWERTE NACH ENERGIEEINSPARVERORDNUNG

Die Grenzwerte für die Luftdurchlässigkeit von Neubauten sind in Anlage 4 der Energieeinsparverordnung [EnEV 2007] angegeben. Demnach darf „der nach DIN EN 13829:2001-02 bei einer Druckdifferenz zwischen Innen und Außen von 50 Pa gemessene Volumenstrom – bezogen auf das beheizte oder gekühlte Luftvolumen – bei Gebäuden

- ohne raumluftechnische Anlagen 3 h^{-1} und
- mit raumluftechnischen Anlagen $1,5 \text{ h}^{-1}$

nicht überschreiten“.

Die Grenzwerte bestehen in dieser Höhe seit Juli 1998. Sie gelten gleichermaßen für Wohn- wie Nichtwohngebäude und unabhängig davon, ob ein messtechnischer Nachweis der Dichtheit vorgesehen ist oder nicht.

Der Grenzwert für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen ist auch dann einzuhalten, wenn die energetischen Vorteile der raumluftechnischen Anlage (geringere Luftwechselrate, ggf. Wärmerückgewinnung) im Nachweis nicht berücksichtigt werden.

Über die Gebäudepräparation für die Messung gibt es in der EnEV keine Angabe. (vgl. Kapitel 3.8)

Die Anforderungen der EnEV gelten für das fertige Gebäude, d.h. ab dem Zeitpunkt der baurechtlichen Abnahme.

Teilweise mechanisch gelüftete Gebäude

In einem Bürogebäude kann es beispielsweise vorkommen, dass die Büros über Fenster gelüftet werden, während Konferenzräume mit raumluftechnischen Anlagen ausgestattet werden. Im Wohnungsbau (z.B. bei Bauherrengemeinschaften) kommt es vor, dass ein Teil der Wohnungen über Lüftungsanlagen gelüftet werden, die anderen nicht.

In derartigen Fällen, in denen Zonen ohne und solche mit raumluftechnischen Anlagen vorhanden sind, muss der volumengewichtete Mittelwert der Grenzwerte nach EnEV eingehalten werden. Uneinigkeit herrscht unter Sachverständigen darüber, ob darüber hinaus auch die Anforderungen in jeder Zone einzuhalten sind (vgl. 2.3.6).

In einer Zone mit raumluftechnischer Anlage kann es auch Räume ohne eigenen Luftdurchlass geben: Ein zwischen Zu- und Ablufträumen gelegener Flur beispielsweise gehört zur Überströmzone und gilt deshalb als mechanisch gelüftet (Grenzwert $1,5 \text{ h}^{-1}$). Auch wegen einzelner Räume, bei denen der Anschluss an die Lüftungsanlage vergessen wurde (oft z.B. bei Abstellräumen), wird der Grenzwert nicht erhöht.

2.3.2 VERPFLICHTUNG ZUR MESSUNG Neubau

Die EnEV bietet die Möglichkeit, im Nachweis für einen Neubau verminderte Lüftungswärmeverluste anzusetzen, sofern eine „Dichtheitsprüfung“ vorgesehen ist. Wird die Messung im Nachweis angesetzt, dann muss sie auch nach Fertigstellung der luftdichten Hülle durchgeführt werden. In folgenden Fällen ist der messtechnische Nachweis erforderlich:

- Bei Wohngebäuden wird eine mechanisch betriebene Lüftungsanlage angerechnet. (EnEV Anlage 1, Nr. 2.10)
- Beim vereinfachten Verfahren (Heizperiodenbilanzverfahren) für neue Wohngebäude wird der kleinere Wert für den spezifischen Lüftungswärmeverlust H_V angesetzt. (Faktor $0,163 \text{ W}/(\text{K m}^3)$ nach EnEV Anlage 1, Nr. 3 Tabelle 2, Zeile 3)
- Beim Monatsverfahren wird für die Luftwechselrate der Wert $0,6 \text{ h}^{-1}$ angesetzt. (DIN 4108, Teil 6, Tabelle D.3, Zeile 8.1)
- Bei Nichtwohngebäuden wird im Nachweis die Dichtheitskategorie I nach Tabelle 4 der DIN V 18599, Teil 2 angesetzt.

Für den Nachweis der Dichtheit muss das gesamte Gebäude untersucht werden. Es reicht also nicht, im Mehrfamilienhaus nur einzelne Wohnungen oder im Bürohaus nur einen Ausschnitt aus der Fassade zu untersuchen. (vgl. Abschnitt 3.2.2)

Bestehende Gebäude

Für das Aufstellen des Energieausweises ist keine Dichtheitsprüfung erforderlich.

Wird aber eine Dichtheitsprüfung durchgeführt, und werden die Neubau-Grenzwerte der EnEV eingehalten, dann dürfen analog zum Neubau geringere Lüftungswärmeverluste angesetzt werden.

2.3.3 GRENZWERTE NACH DIN 4108, TEIL 7

Im Jahr 2002 wurden mit der Aktualisierung der DIN 4107, Teil 7 die Grenzwerte der Norm an die der Energieeinsparverordnung angeglichen.

Während die Verordnung keine Aussage über die Gebäudevorbereitung macht, gelten die Anforderungen der Norm für eine Messung nach Verfahren A.

In der Norm gibt es neben der volumenbezogenen Anforderung (n_{50}) auch eine hüllflächenbezogene Anforderung. Die Luftdurchlässigkeit q_{50} (hüllflächenbezogener Leckagestrom) darf nicht größer sein als $3,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

Diese Zusatzanforderung sollte bei großen Gebäuden mit einem Innenvolumen von mehr als 1500 m^3 geprüft werden. Wegen des kleinen Hüllflächen-Volumen-Verhältnisses können bei großen Gebäuden die Grenzwerte für die Luftwechselrate bei 50 Pascal (n_{50}) auch dann eingehalten sein, wenn die Gebäudehülle relativ undicht ist. Die Zusatzanforderung der Norm verlangt somit einen gewissen Mindeststandard für die Qualität der Gebäudehülle.

2.3.4 GRENZWERTE FÜR SPEZIELLE ZERTIFIKATE

Für das RAL-Gütezeichen Niedrigenergiebauweise [RAL-GZ 965] und für das Zertifikat „qualitätsgeprüftes Passivhaus“ des Passivhaus-Instituts [Passivhaus-Institut] gelten folgende Grenzwerte für n_{50} :

- RAL-Gütezeichen Niedrigenergiebauweise: $1,0 \text{ h}^{-1}$
- qualitätsgeprüftes Passivhaus: $0,6 \text{ h}^{-1}$

2.3.5 QUALITATIVE ANFORDERUNGEN

Vermeidung schädlicher Einzellecks

Die Energieeinsparverordnung [EnEV 2007] verlangt in § 6, dass die „wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft

Johannes Werner, Matthias Laidig

2.4 EMPFEHLUNG VON LUFTDICHTHEITSANFORDERUNGEN

2.4.1 ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag zeigt anhand einer Gleichung aus DIN EN 832, wie Gebäudehülle und ventilatorgestützte Lüftung als verkoppeltes System jährliche Lüftungswärmeverluste und Heizlast im Auslegefall modellhaft festlegen.

- Für Gebäude mit hocheffizienten Zu- / Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung ist ein Grenzwert $n_{50} = 1,0$ /h angemessen, ein Zielwert von $n_{50} < 0,6$ /h ist sinnvoll. Zu- und Abluftmassenstrom müssen bei einem Messfehler von 10% balanciert eingestellt werden. Eine Luftdurchlässigkeit $n_{50} < 0,3$ /h hat keinen wesentlichen baupraktischen Einfluss mehr.
- Für Gebäude mit Abluftanlagen ist ebenfalls ein oberer Grenzwert $n_{50} = 1$ /h für die Gebäudehülle selbst angemessen. Eine gute Stabilität der Außenluftverteilung macht einen Zielwert von $n_{50} < 0,6$ /h sinnvoll.
- Außenluftdurchlässe sollten auf einen Anteil $\geq 75\%$ der im Auslegefall vom Abluftventilator geförderten Luftmenge ausgelegt werden.

2.4.2 LUFTDICHTHEIT ALS VORAUSSETZUNG FÜR BEDARFSGERECHTE LÜFTUNG

2.4.2.1 LUFTDICHTHEIT ALS NOTWENDIGE EIGENSCHAFT

Luftdichtheit von Gebäudehüllen ist funktionell notwendig (Vermeidung von Bauschäden und Zugluft, Schallschutz etc.) [Zeller 2004] und in Deutschland auch schon seit mehr als zwei Jahrzehnten baurechtlich eingeführt [DIN 4108-2:1981]. Für Neubauten gilt nach [EnEV 2007] und [DIN 4108-7] allgemein ein oberer Grenzwert $n_{50} \leq 3$ /h, für Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen $n_{50} \leq 1,5$ /h, wobei für letztere ein geringerer Wert explizit empfohlen wird. Da [DIN 4108-2] mit ihrer qualitativen Forderung („Die Außenbauteile müssen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik luftdicht ausgeführt sein“) jedoch auch für Altbausanierungen gilt, ist auch im Zuge von Sanierungen auf luftdichte Außenbauteile und Konstruktionsfugen zu achten. Auch wenn derzeit hier wohl noch kein Grenzwert der Luftdurchlässigkeit allgemein an-

erkannt ist, so ist zu beachten, dass bestimmte Gebäudetypen und Baualterklassen von sich aus schon relativ dicht sind [Panzhauser 1993], [Heinz 2000] und im Zuge von Sanierungen ohne weiteres auf Neubaustandard gebracht werden können. Zumindest müssen bei einer grundlegenden Sanierung von Bauteilen dort die Anforderungen von DIN 4108-2 (Wärmeschutz und Luftdichtheit) beachtet werden.

2.4.2.2 GESICHERTE LÜFTUNG ALS EINE VORAUSSETZUNG GESUNDEN WOHNENS

In einer repräsentativen Untersuchung des deutschen Wohnungsbestands [Brasche 2003] wird festgestellt, dass in 21,9% der Wohnungen sichtbare Schäden wie Feuchte- und Stockflecken oder Schimmelpilz auftreten; Lüftungsrelevant sind 14,2% bei den Feuchteschäden und 5,8% beim Schimmelpilzbefall; eine Dunkelziffer für nicht sichtbare Schäden ist hierin noch nicht berücksichtigt.

Die Studie bestätigt auch den in der medizinischen Fachliteratur beschriebenen gesundheitsschädlichen Einfluss von Feuchte- und Schimmelpilzschäden in Wohnungen; das Risiko für Erkrankungen wie Asthma, Allergien oder häufigere Erkältungen nimmt signifikant zu. Es ist festzustellen, dass ein für deutsche Wohnungen insgesamt relevantes Problem vorliegt.

Kontinuierliche, nutzerunabhängige Lüftung (insbesondere mit nutzerunabhängiger mechanischer Abluftanlage) erwies sich in dieser Untersuchung als die wichtigste, allgemein einsetzbare Maßnahme, das Risiko für Feuchteschäden signifikant zu senken. Dies bestätigt erneut die Notwendigkeit der Forderung aus [DIN 4108-2], den notwendigen Luftwechsel in der Heizperiode planerisch und ohne Berücksichtigung der Infiltration sicherzustellen.

2.4.3 ZUSAMMENWIRKEN VON MECHANISCHER LÜFTUNG UND INFILTRATION

Der Gesamtvolumenstrom setzt sich aus dem vom Ventilator geförderten sowie den in- und exfiltrierten Volumenströmen zusammen. Berücksichtigt man noch die mögliche Wärmerückgewinnung aus dem ventilatorgeführten Teil durch den Wärmerückgewinnungsfaktor η , so erhält man folgende Gleichung des energieäquivalenten Volumenstroms \dot{V}_{eq}

Gleichung 1

$$\dot{V}_{eq} = \dot{V}_f \cdot (1 - \eta) + \dot{V}_x$$

Antreibende Kräfte für alle Luftströmungen sind Druckdifferenzen, die durch Auftrieb und Wind (freie Lüftung \dot{V}_x) sowie Ventilatoren \dot{V}_f erzeugt werden. Es sollte daher nicht verwundern, dass freie und ventilatorgestützte Lüftung sich gegenseitig beeinflussen. [DIN V 4108-6] zitiert aus [DIN EN 832] eine grundlegende Gleichung, in der die Wirkung des Betriebs einer ventilatorgestützten Lüftungsanlage (Zuluftstrom \dot{V}_{sup} , Abluftstrom \dot{V}_{ex}) auf die freie Ex- und Infiltration \dot{V}_x über die Gebäudehülle (belüftetes Volumen V , Luftdurchlässigkeit n_{50} , Gebäudeabschirmung gegenüber Wettereinflüssen e und f) beschrieben wird.

Gleichung 2

$$\dot{V}_x = \frac{V \cdot n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left[\frac{\dot{V}_{sup} - \dot{V}_{ex}}{V \cdot n_{50}} \right]^2}$$

\dot{V}_x ist dabei der kleinere Wert aus In- und Exfiltrationsvolumenstrom. Der Anteil am Infiltrationsvolumenstrom, der beispielsweise durch Abluftüberschuss erzwungen wird, ist darin also nicht enthalten.

Dividiert man den energieäquivalenten Volumenstrom \dot{V}_{eq} durch das belüftete Gebäudevolumen V , so ergibt sich die energieäquivalente Luftwechselrate n_{eq} , wobei für die mechanisch verursachte Luftwechselrate n_f der größere des Zu- bzw. Abluftstroms einzusetzen ist.

$$n_{eq} = n_f \cdot (1 - \eta_v) + n_x$$

Diese Gleichung lässt sich nach Umformungen schreiben als:

Gleichung 3

$$n_{eq} = n_f \cdot (1 - \eta_v) + \frac{n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left(\frac{n_d}{n_{50}} \right)^2}$$

mit n_d : Differenzluftwechselrate zwischen Zu- und Abluft, auch Disbalance genannt; n_x : der kleinere Wert aus Infiltrations- und Exfiltrationsrate [1/h],

3 Messung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle

Joachim Zeller

3.1 MESSPRINZIP

Allgemein

Mit einem Gebläse wird im Gebäude ein Unter- oder Überdruck gegenüber außen erzeugt. Die Drehzahl des Gebläses wird so gewählt, dass sich der gewünschte Differenzdruck (10 bis 100 Pascal) einstellt. Der vom Gebläse geförderte Luftmassenstrom wird gemessen. Er ist gleich groß wie der Massenstrom, der gleichzeitig durch Undichtheiten in der Gebäudehülle strömt. Somit ist er ein Maß für die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle.

Diese Messung führt man bei Unter- und Überdruck bei unterschiedlichen Beträgen des Differenzdrucks aus. Durch Ausgleichsrechnung erhält man den Volumenstrom bei 50 Pascal (Pa), in der Norm Leckagestrom genannt.

Kenngroßen

Dividiert man den Leckagestrom durch das lichte Gebäudevolumen, so erhält man die **Luftwechselrate bei 50 Pascal** (n_{50}). Diese Kenngröße ist sowohl in Deutschland als auch international am gebräuchlichsten. Sie ist vor allem dann gut geeignet, wenn es um den Zusammenhang zwischen Luftdichtheit und Lüftung geht, z.B. bei der Berechnung der Lüftungswärmeverluste durch wetterbedingte In- und Exfiltration.

Der Begriff „Luftwechselrate“ birgt allerdings die Gefahr von Verwechslungen. Die Fugenluftwechselrate unter natürlichen Wetterbedingungen beträgt beispielsweise wegen der kleineren Drücke je nach Wetter nur etwa ein Viertel bis ein Vierzigstel der Luftwechselrate bei 50 Pa (vgl. Kapitel 2.4).

Die **Luftdurchlässigkeit** (q_{50}) erhält man, indem man den Leckagestrom durch die Hüllfläche des Gebäudes dividiert. Sie beschreibt die Qualität der Luftdichtung. Während die Luftwechselrate bei 50 Pascal bei großen Gebäuden aufgrund des günstigen

Oberflächen-Volumen-Verhältnisses fast automatisch klein ausfällt, lässt die Luftdurchlässigkeit auch bei solchen Gebäuden eine Beurteilung der Qualität der luftdichten Hülle zu.

Halbiert man den Betrag des Leckagestroms bei 50 Pa (in m^3/h), so erhält man die **äquivalente Leckfläche** in Quadratcentimeter. Durch eine scharfkantige Öffnung dieser Größe in einer dünnen Platte würde bei 50 Pa gleich viel Luft strömen wie durch die Gebäudehülle. Die reale Öffnungsfläche wird allerdings häufig größer sein, weil die Gebäudehülle keine dünne Platte ist, sondern die Strömungspfade oft einen langen Weg durch die Gebäudehülle nehmen.

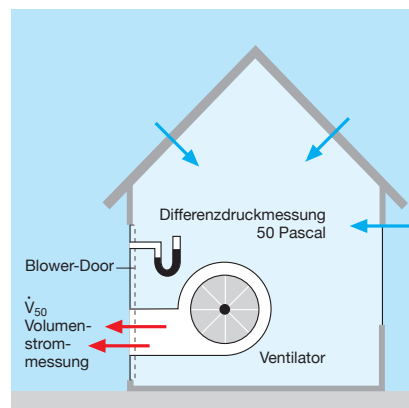


Bild 3.1: Mit dem Gebläse wird beispielsweise Unterdruck erzeugt. Bei unterschiedlichen Drücken werden gleichzeitig der Differenzdruck und der Volumenstrom am Gebläse gemessen. Außerdem werden Undichtheiten durch Zugluft offensichtlich.

Volumenstrom – Massenstrom

Bei stationären Verhältnissen, d.h. wenn sich der Druck im Gebäude nicht ändert, ist der Massenstrom (gemessen z.B. in kg/h) durch die Gebäudehülle gleich dem Massenstrom, den das Gebläse fördert. Wäre es anders, würde die Menge der Luft im Haus zu- oder abnehmen.

Dagegen können die Volumenströme (gemessen in m^3/h) unterschiedlich sein. Ist beispielsweise die Raumluft wärmer als die Außenluft, dann strömt bei Unterdruck wegen der höheren

Dichte der Außenluft ein kleinerer Volumenstrom durch die Gebäudehülle als durch das Gebläse nach außen strömt.

Bei der Auswertung der Messung werden alle Volumenströme auf Normbedingungen (20 °C , 1013 hPa) umgerechnet. Außerdem wird rechnerisch berücksichtigt, dass nicht nur der Volumenstrom, sondern auch der Massenstrom durch eine bestimmte Öffnung von der Dichte der strömenden Luft abhängt. Somit ist die als Messergebnis angegebene Kenngröße fast unabhängig von den Wetterbedingungen zum Zeitpunkt der Messung.

Blower-Door

Meist wird für die Messung eine „Blower-Door“ verwendet. Dabei wird ein Nylontuch mit Hilfe eines verstellbaren Rahmens luftdicht in eine Eingangs- oder Terrassentür eingespannt. Eine Öffnung im Tuch mit einem elastischen Kragen erlaubt den luftdichten Einbau des Gebläses. Zur Messung des Volumenstroms ist die saugseitige Öffnung des Gebläses als Einlaufmessdüse ausgebildet.



Bild 3.2: Foto einer eingebauten Blower-Door. [Foto: BlowerDoor GmbH]

4 Kleben - Materialien und Verarbeitung

Ulrich Höing

Der Bauherr erwartet heute, dass sein Zuhause nicht nur ein angenehmes Wohnklima aufweist, sondern auch weder zu feucht noch zu trocken ist. Luftzug und Wind schätzt man nur in der freien Natur, nicht aber im eigenen, gemütlichen Wohnzimmer. Einen wichtigen Beitrag dazu leisten dauerhaft verarbeitete Luftdichtheitsschichten. Die Materialien dafür, deren Verklebung, Verarbeitung und das nötige Wissen um das Wie und Was sind der Inhalt dieses Kapitels.

4.1 MATERIALIEN ZUR HERSTELLUNG LUFTDICHTER EBENEN

Häufig in der Praxis eingesetzte Klebematerialien

Meist fallen einem hierzu zuerst die einseitigen Klebebänder ein, aber es gibt eine Vielzahl weiterer Klebemittel zur Ausführung einer luftdichten Ebene. Zu erwähnen sind folgende Materialien, ohne Anspruch auf Vollständigkeit:

- Ein- oder doppelseitige Klebebänder mit oder ohne Abdeckpapier
- Klebemittel ohne Träger
- Vorkomprimierte Bänder aus imprägnierten Schäumen
- Einputzbänder
- Profile aus Gummi oder Kunststoff
- Randanschlussklebstoffe
- Flüssigklebstoffe

Diese Materialien dienen dazu, Bahnen oder plattenartige Werkstoffe untereinander zu verkleben, Anschlussverklebungen an andere Baustoffe oder Untergründe herzustellen oder Durchdringungen luftdicht auszubilden. Abzugrenzen sind diese (fast) lösbaren Haftklebstoffe von den unlöslichen Klebemitteln für Strukturverklebungen, wie sie im Holzleimbau, Flug-, Boots- und Fahrzeugbau eingesetzt werden. Damit sei darauf hingewiesen, dass die o.g. Klebemittel nicht geeignet sind, dauernde Lasten im Gebäude aufzunehmen.

Bahnen, Folien, Papiere, Vliese, Platten (Substrate oder Untergründe genannt)

Wie schon im vorhergehenden

Abschnitt und in der Überschrift gesagt, kleben wir irgendetwas mit irgendetwas auf irgendeinen Untergrund. Prinzipiell haben wir es also mit drei „Partnern“ zu tun, die wir einerseits als Teilkomponenten begreifen müssen, andererseits trägt jede Komponente zum Erfolg – sprich zur dauerhaften Verklebung – bei. Das wird in der Praxis leider oft übersehen. Man spricht über das Klebemittel und „vergisst“ die anderen zwei „Partner“. Anzumerken ist, dass der Einsatz von Plattenmaterialien – als Ergänzung zu den häufig eingesetzten Bahnen – zulässig ist und den z. Zt. geltenden Normen entspricht. Meist sind jedoch im Bereich von Anschlüssen und Durchdringungen gesonderte Maßnahmen nötig.

Leider werden im Bereich dieser Materialgruppe heute Produkte angeboten, die aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit von Hause aus als schwierig zu verkleben einzustufen sind. Aufzuführen sind im Besonderen faserige, staubige und absandende Oberflächen. Es sei auf die weiter unten dargestellte Risikomatrix hingewiesen (Tabelle 4.1)

OPTIMALE KLEBEBANDBREITE

Ein Wort noch zur optimalen Klebebandbreite. Heute gibt es noch vereinzelt Klebebandbreiten mit 50 mm, oft aus reinen Kostenüberlegungen. Durchgesetzt haben sich am Markt jedoch Klebebänder mit 60 mm Breite. Und dies macht Sinn, denn so stehen bei einer Überlappungsverklebung je Seite 30 mm zur Verfügung. Denn vergessen werden darf nicht, dass jeder zur Verfügung stehende cm mehr Sicherheit bedeutet. Wird das Klebeband außermittig über den Stoß geklebt, bedeutet außerdem jeder cm einen Verlust von 33% Sicherheit (1 cm Verlust bezogen auf mögliche 3 cm Klebebreite). Dies ist der Grund, warum führende Hersteller mehrere Breiten anbieten, dies auch wegen des Umstandes, dass u.U. noch Fugen überbrückt werden müssen und für diese dann Klebebreite verloren geht. Ähnlich verhält es sich beim Verkleben von Platten-Stirnstoßen. Hier kann die Stirnfläche eigentlich nicht als zu verklebender Untergrund angesehen werden, da die Klebebänder auf den rauen und faserigen Stirnstoßen von OSB-, DWD- und Spanplatten sehr schlecht haften. Zieht man nun die Plattendicke von den üblichen 60 mm der Klebebandbreite ab, bleiben meist je Seite kaum noch 2 cm übrig, was nicht ausreicht. Hier sind Klebebänder mit 75 mm oder mehr zu empfehlen. Auch Versätze von Bauteilebenen oder Montagetoleranzen können die Verwendung breiterer Bänder erforderlich machen.

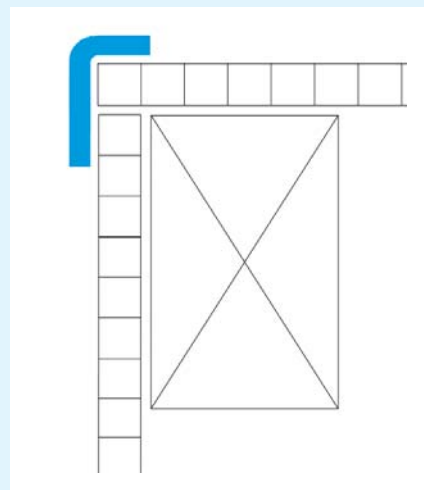


Bild 4.1: Die notwendige Klebebandbreite ist abhängig von der Konstruktion und der Klebefähigkeit des Untergrundes, hier 75 mm

5 Lüftung in luftdichten (Wohn-)Gebäuden

Ehrenfried Heinz

5.1 NOTWENDIGKEIT DER LÜFTUNG VON GEBÄUDEN BZW. RÄUMEN

Am 1. Oktober 2007 ist abermals eine Novelle der Energieeinsparverordnung (EnEV) in Kraft getreten. Ähnlich wie die vorangegangenen Verordnungen zum Wärmeschutz (WSchV) bzw. zur Energieeinsparung fordert auch die EnEV 2007 aus Gründen einer nachhaltigen Energiebedarfs-Begrenzung bei der Errichtung bzw. spezifizierten Änderung (Modernisierung) von Gebäuden neben anderem nicht nur die Herstellung einer luftundurchlässigen Gebäudehülle („Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend den anerkannten Regeln der Technik abgedichtet ist.“ (§ 6 (1)), sondern auch die Einhaltung von Grenzwerten für die „Fugendurchlässigkeit außen liegender Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster“. Hinsichtlich der Anforderungen an die höchstens zulässige Luftundichtheit der Gebäude hat sich gegenüber EnEV 2002 prinzipiell jedoch nichts geändert.

In Fachkreisen und darüber hinaus ist mittlerweile allgemein bekannt und auch anerkannt, dass weitestgehend luftdichte Gebäude neben den geforderten energetischen noch weitere Vorteile besitzen (siehe Abschnitt 5.3). Trotzdem gibt es immer noch Stimmen, die aus Lüftungstechnischen Gründen Bedenken gegen eine zu große Dichtheit der Gebäude anmelden. Nicht nur der Schimmelpilzbefall in (zu) vielen unserer Wohnungen scheint ihnen dabei Recht zu geben. Das Phänomen tritt bekanntlich vor allem bei instand gesetzten bzw. modernisierten, in geringerem Umfang aber auch bei neu errichteten, also vornehmlich luftdicht(er)en Gebäuden auf. Eine diesbezügliche repräsentative Untersuchung im Winterhalbjahr 2000/01 über den Schimmelpilzbefall in 5.530 von 8.000 zufäl-

lig ausgewählten Wohnungen (WE) aller deutschen Bundesländer [ZIV03, HEINZ04] führte auf Basis eines umfangreichen Fragespiegels zu folgendem Ergebnis:

Von den erfassten Wohnungen wiesen

- 1.213 (21,9 %) mindestens einen durch Feuchte verursachten Schaden auf (entspricht ca. 8,3 Mio. WE). In
- 787 (14,2 %) Wohnungen waren die Schäden Lüftungsrelevant (ca. 5,4 Mio. WE). In
- 513 (9,3 %) Wohnungen handelte es sich hierbei um Schimmelpilzbefall (ca. 3,55 Mio. WE), in
- 320 (5,8 %) Wohnungen war der Schimmelpilzbefall Lüftungsrelevant (ca. 2,2 Mio. WE).

Der Begriff „lüftungsrelevanter“ Schaden gilt dabei auch für Schäden, die nicht zwangsläufig mit unzureichenden Lüftungstechnischen Maßnahmen in der Wohnung bzw. unzureichendem Fensterlüften durch die Nutzer zu tun haben. Nicht ausreichende Heizung sowie ungenügende Wärmedämmung mit den daraus resultierenden niedrigen Raumluft- bzw. inneren Oberflächentemperaturen fallen ebenfalls darunter.

Aber nicht nur die unzureichend abgeführte Raumluftfeuchtigkeit kann bei zu dichten Gebäudehüllen in Wohnungen zu Problemen führen. Auch freigesetzte Schad- und Geruchsstoffe können bei zu stark reduzierter freier Lüftung (z. B. infolge von eingeschränkter In- und Exfiltration) und damit verbundener nicht ausreichender Abführung der betreffenden Stoffe Beeinträchtigungen unterschiedlichster Art verursachen. Schon zu Beginn der 1990er-Jahre wurde deshalb mit einer *Entschließung des Bundesrates für einen verbesserten Schutz vor Luftverunreinigungen in Innenräumen* versucht, nachdrücklich auf diesbezügliche Probleme aufmerksam zu machen. Nachfolgend sind einige Lüftungsrelevante Auszüge mit gesundheitlicher Bedeutung aufgeführt („Zitat“ aus Kapitel II vom 25.09.1992 [ASR94]):

- „Jedes zweite Kind unter 15 Jahren ist **Tabakrauch** in der Atemluft ausgesetzt. Es ist davon auszugehen, dass passiv inhalierter Tabakrauch in seinem gesundheitlichen Risikopotential vermutlich alle anderen luftgetragenen Schadstoffe übertrifft.
- Abschätzungen führen etwa 10 % der in der Bundesrepublik Deutschland jährlich zu verzeichnenden Lungenkrebs-Todesfälle auf das Einatmen von **Radon** – Zerfallsprodukt in Häusern – zurück.
- **Mikroorganismen, Keime und allergene Bestandteile im Hausstaub**, z. B. **Pilzsporen, Milben**, werden u. a. für Krankheiten des sogenannten „Sick Building Syndrome“ verantwortlich gemacht.
- **Reinigungs- und Pflegemittel, Farben, Klebstoffe und andere Haushalts- und Hobbyprodukte** können durch Abgabe von leichtflüchtigen organischen Verbindungen vor allem kurzfristig zu akut toxisch-irritativen Gesundheitsstörungen führen.
- **Baumaterialien, Möbel, Textilien und andere Raumausstattungsmaterialien** sowie der Einsatz von **Holzschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln** können zu einer lang anhaltenden Belastung der Innenraumluft beitragen.“

Obwohl schon mehr als 15 Jahre alt, haben diese Aussagen bis heute noch nichts von ihrer Aktualität eingebüßt. Im Gegenteil, die immer besser realisierbare und seit vielen Jahren auch erfolgreich in die Praxis umgesetzte Luftdichtheit der Gebäude kann in Verbindung mit weiteren bzw. neu hinzu gekommenen Schad- und Geruchsstoffen im häuslichen Bereich zu einer zusätzlichen Verschärfung der Problematik führen, wenn Effekte zur Lüftungsseitigen „Heizenergieeinsparung“ vordergründig durch Reduktion einer unverzichtbaren „Mindest“-Lüftung erzielt werden sollen. In [ASR94] wird diesbezüglich deshalb

6 Die Luftdichtheit der Gebäudehülle im öffentlichen und privaten Baurecht

Ulf Köpcke

Die dauerhaft luftundurchlässige Ausführung der wärmeübertragenden Gebäudehülle von Neubauten ist seit Inkrafttreten der dritten Novelle der Wärmeschutzverordnung am 01.01.1995 eine zwingende Forderung des deutschen Bauordnungsrechts. Bauordnungsrecht ist öffentliches Baurecht. Es enthält normative Beschränkungen der durch Artikel 2 und 14 des Grundgesetzes gewährleisteten Baufreiheit, die der einzelne Grundstückseigentümer und Bauherr im Interesse wichtiger Gemeinwohlbelange hinzunehmen hat. Die für derartige Grundrechtseingriffe unverzichtbare gesetzliche Grundlage bietet das Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) aus dem Jahre 1976. Das damalige Gesetzgebungsverfahren war entscheidend von den Erfahrungen der großen Ölkrise geprägt. Die staatliche Anordnung einer verbesserten Gebäudeenergieeffizienz wurde vor allem mit dem (nationalen) Interesse an einer ungestörten Volkswirtschaft und zuverlässigen Energieversorgung der Bevölkerung gerechtfertigt. Heute stehen der Klimaschutz und eine deshalb möglichst nachhaltige, ökologisch vertretbare und ressourcenschonende Energienutzung im Vordergrund der nationalen und internationalen Politikziele.

Damals wie heute [1] sind rechtstechnisch die Bauherren und die Eigentümer Adressaten [2] jener Rechtsnormen, durch welche Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden und deren technische Ausrüstung gestellt werden (vgl. § 1 Abs.1 EnEG). Trotzdem hält sich der Staat bei Überwachung und Durchsetzung dieser Anforderungen weitgehend zurück. Bis heute verzichtet der Gesetzgeber darauf, die Einhaltung der durch Gesetz und Rechtsverordnung verlangten energetischen Gebäudequalität effektiv behördlich überprüfen zu lassen und nur sehr wenige der denkbaren Rechtsverstöße werden tatbestandlich als bußgeldbewehrte Ordnungswidrigkeiten erfasst.

Gleichwohl sind es in der Baupraxis kaum einmal die Bauherren oder Gebäudeeigentümer selbst, die sich um die Beachtung der einschlägigen Vorgaben des Bauordnungsrechts kümmern. Vielmehr wird diese Aufgabe regelmäßig den Planern, Fachplanern und nicht selten auch allein den ausführenden Unternehmern im Rahmen der ihnen jeweils zivilrechtlich erteilten Aufträge überbürdet. Da jedes Bauwerk, das unter Verstoß gegen die Vorgaben des öffentlichen Baurechts errichtet würde, schon allein deshalb „fehlerhaft“ im Sinne des Kauf- oder Werkvertragsrechts wäre, wird die Auseinandersetzung über die Einhaltung der staatlichen Vorgaben zur energetischen Gebäudequalität rechtstatsächlich in die zivilrechtlichen Auseinandersetzungen zwischen dem Bauherrn und den von ihm beauftragten Leistungserbringern verlagert. Der Staat verzichtet weitgehend auf eine exekutive Kontrolle der gesetzlich geforderten energetischen Gebäudequalität zu Gunsten einer Markt- und Verhaltenssteuerung mit den Mitteln des Zivil- und Zivilprozessrechts, vor allem also des privaten Baurechts.

Problematisch wird ein solcher Regelungsmechanismus immer dann, wenn die Vorgaben des öffentlichen Baurechts nicht identisch sind mit jenen Vorgaben, die das private Baurecht den Baubeteiligten für Abschluss und Abwicklung ihrer Bauwerkverträge macht. In den die Planung und Ausführung dauerhaft luftdichter Gebäudehüllen betreffenden rechtlichen Fragestellungen wird diese Problematik besonders deutlich. Denn wenn der Gesetz- und Verordnungsgeber heute in § 6 Abs.1 EnEV normiert, dass die wärmeübertragende Gebäudehülle „luftundurchlässig“ und gleichzeitig „dauerhaft“ sowie „entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik“ abgedichtet sein muss, versteht sich bautechnisch und bauphysikalisch nicht von selbst, welches zivilrechtlich geschuldete Bau-Soll aus dieser Regelung resultiert.

Der vorliegende Beitrag stellt die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der die Luftdichtheit der Gebäudehülle betreffenden öffentlich-rechtlichen und zivilrechtlichen Vorgaben dar und leitet daraus praxisrelevante Hinweise auf vermeidbare Missverständnisse und insbesondere auf vermeidbare Haftungsrisiken ab.

6.1 LUFTDICHTHEIT DER GEBÄUDEHÜLLE IM ÖFFENTLICHEN RECHT

6.1.1 DAS ENERGIEEINSPARUNGSGESETZ (ENEG) ALS GRUNDLEGENDE RECHTSQUELLE

Das im Jahre 1976 in Kraft getretene EnEG stellt bis heute die zentrale bundesrechtliche Grundlage für die Regelungen zur Sicherstellung energiesparenden Bauens und Nutzens von Gebäuden dar. Es wurde zuletzt neu gefasst durch Bekanntmachung vom 01.09.2005 [3]. Nach § 1 dieses Gesetzes müssen Neubauten mit einem Wärmeschutz geplant und ausgeführt werden, durch welchen beim Heizen und Kühlen des Gebäudes vermeidbare Energieverluste unterbleiben. § 2 EnEG gebietet, die Vermeidung unnötigen Energieverbrauchs schon bei Entwurf, Auswahl und Ausführung der Anlagentechnik in Gebäuden zu berücksichtigen, § 3 EnEG verlangt einen entsprechend sparsamen Betrieb solcher Anlagen. Abgerundet wird das gesetzliche Konzept schließlich durch Regelungen zur verbrauchsabhängigen Erfassung und Verteilung der bei Nutzung eines Gebäudes anfallenden Energiekosten (§ 3a EnEG) sowie zur Ausstellung und Verwendung von Energieausweisen für Gebäude (§ 5a EnEG).

Eine wesentliche Ergänzung haben diese Regelungen durch das „Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien“ vom 21.07.2004 [4] erhalten. Erklärter Zweck dieses Gesetzes ist es, im Interesse des Klima-, Natur- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die Einbeziehung langfris-