

1 Leitfaden Luftdichtheitskonzept

Oliver Solcher

1.1 RAHMENBEDINGUNGEN

Mit der DIN 4108-7 [1] liegt seit langem eine Norm vor, die Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen hinsichtlich luftdichten Bauens vorgibt – und trotzdem sind die Grundsätze luftdichten Bauens in der allgemeinen Baupraxis nicht angekommen.

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) hat in ihren Förderprogrammen für energieeffizientes Bauen bzw. Sanieren [2] als geschuldete Leistung des Sachverständigen die Erbringung der Planung der Gebäudeluftdichtheit (Luftdichtheitskonzept) gefordert. Unter Sachverständigen gehen jedoch die Meinungen weit auseinander, was darunter zu verstehen ist.

Innerhalb des FLiB e. V. hat sich aus diesen Gründen eine Arbeitsgruppe aus Sachverständigen mit dem Arbeitsziel zusammengetan, die Umsetzung des Luftdichtheitskonzepts in der Praxis zu klären und zu erleichtern. Im ersten Schritt wurde versucht, die Bauvorhaben zu unterstützen, die ohne professionelle Baubegleitung durch einen Architekten durchgeführt werden. Eine dauerhaft luftdichte Gebäudehülle erfordert auch hier eine sorgfältige Planung, Ausschreibung, Vergabe und vor allem eine gute Koordinierung aller an der luftdichten Gebäudehülle beteiligten Gewerke. In der Regel sind das kleinere, „unkomplizierte“ Bauvorhaben, bei denen der Bauherr direkt mit den Ausführenden und dem Sachverständigen zusammenarbeitet.

Im „Leitfaden Luftdichtheitskonzept“, der sich an den Bauherren, Sachverständigen und Ausführenden richtet, wird die grundsätzliche Vorgehensweise luftdichten Bauens dargelegt. Ergänzend dazu entsteht als „work in progress“ eine Internetplattform, in der die üblichen Details mit Anschlussmaterialien, Ausführungsempfehlungen sowie Schadenspotential hinterlegt

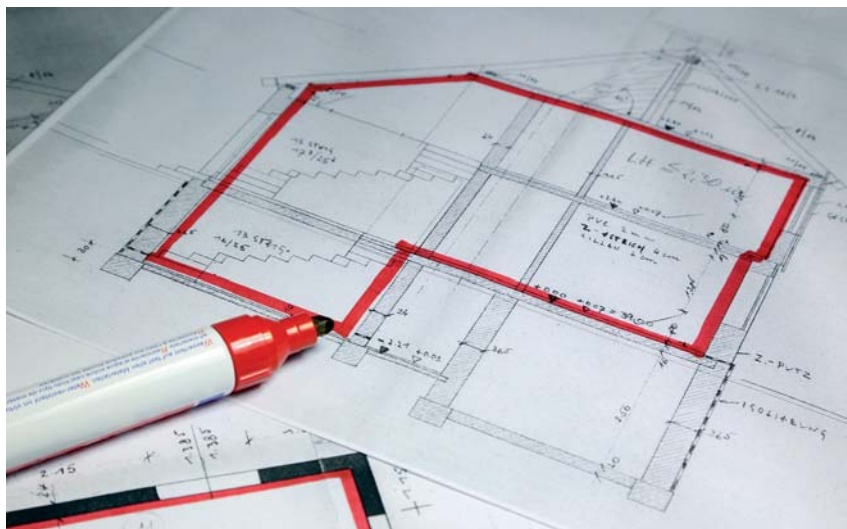


Bild 1.1: Verlauf der Luftdichtheitschicht.

sind, die für Luftdichtheitskonzepte genutzt und vom Sachverständigen heruntergeladen werden können.

Zuerst sollen die notwendigen Details für die Sanierung von Ein- und Zweifamilienhäusern hinterlegt werden und später auch den planenden Architekten in seiner Arbeit unterstützen, indem auch komplexere Details dargestellt werden.

1.2 AUFBAU DES LEITFADENS [3]

Der Leitfaden gliedert sich in verschiedene Abschnitte, die ihren Ursprung in der DIN 4108-7 haben.

1.3 PLANUNG DER LUFTDICHTHEITSSCHICHT

1.3.1 VERLAUF DER LUFTDICHTHEITSSCHICHT

Hier wird beschrieben, wie der Verlauf der luftdichten Ebene festgelegt wird und was dabei zu beachten ist. Schon hier beginnt der Planungsprozess, um z. B. Durchdringungen, Fugen und Anschlüsse auf das notwendige Minimum zu bringen.

1.3.2 RELEVANTE DETAILS

Die relevanten Details werden festgelegt, in einer Checkliste aufgelistet

und wenn möglich in den Bauzeichnungen oder einer Prinzipskizze gekennzeichnet.

1.3.3 MATERIALIEN

Alle Materialien der luftdichten Ebene sowie deren räumliche Zuordnung inkl. der Ausführung von Fugen und Anschlüssen werden festgelegt.

Hier werden auch die Materialien aufgelistet, die in der Fläche als luftdicht gelten und somit die Luftdichtheitsebene darstellen.

1.3.4 AUSFÜHRUNG

Details sind so zu beschreiben, dass sie sich handwerklich umsetzen lassen.

Alle Detaillösungen sind als Anhänge dem Luftdichtheitskonzept beizufügen. Hierbei können beispielhafte Detaillösungen der Detaildatenbank entnommen werden. Die Details der Datenbank umfassen:

- eine herstellerneutrale grafische Darstellung,
- eine Beschreibung der notwendigen Ausführung und zugehörigen Materialien sowie
- einen Verweis auf mögliche Mängel bei unsachgemäßer Ausführung.

2 Grundlagen für die Klebpraxis – Hinweise für Verarbeiter

Ulrich Höing

Aus der Beratungspraxis der Ampack AG, aus Gesprächen mit Händlern, besonders auch mit Verarbeitern, Lehrpersonen und Gutachtern erscheint es aus erkennbarer Dringlichkeit geboten, in diesem Kapitel nochmals auf die Grundlagen der Klebertechnik für luftdichte Schichten einzugehen. Kleben ist ein physikalisch-chemischer Vorgang, der vielen Einflussgrößen unterliegt. Die Kenntnis dieser fördert die Sensibilität von Planer, Verarbeiter und Bauherr und trägt zur dauerhaften Qualität und Energieeffizienz von Gebäuden bei.

Die DIN 4108, Teil 7, Ausgabe 2011 [1] beschreibt sehr ausführlich, wie die Luftdichtheitsschichten auszuführen sind. Sie hat Lehrbuchcharakter und nimmt sowohl die Planer als auch die Bauleitung und die Ausführenden in die Pflicht. Leider ist festzustellen, dass der Inhalt dieser Norm noch nicht flächendeckend Eingang in die Praxis gefunden hat. Der nachfolgende Artikel versteht sich als Ergänzung zu dieser Norm und soll einige Punkte der Planung und der praktischen Ausführung vertiefen. Dieser schließt inhaltlich an den Artikel zu diesem Thema aus Band 1 des FLiB-Buches [2] an und berücksichtigt neuere Erfahrungen.

2.1 GRUNDSÄTZLICHES ZUM KLEBEN UND ZUR PLANUNG

Die Bedeutung der Verarbeitungstemperatur

Von der Bedeutung der Verarbeitungstemperatur wurde verschiedentlich schon berichtet. Die Erfahrungen aus der Praxis zeigen jedoch, dass die Untergrenze oft sehr stark strapaziert wird. Deshalb nochmals der Hinweis, dass die Verarbeitungstemperatur für den Untergrund, für das zu verarbeitende Klebemittel und für die Umgebungstemperatur gilt. Über das Wochenende im Montagefahrzeug bei Minustemperaturen gelagerte Klebemittel werden selbst bei korrekter Ver-

arbeitung nicht das gewünschte Ergebnis erzielen. Ausreichender Anpressdruck hin oder her. Hier muss einfach die Physik des Klebens Rechnung getragen werden. Manche vermeintliche Reklamation über ungenügende Klebkräfte haben hierin ihren Ursprung. Niedrige Außentemperaturen führen oft auch zu Taubildung, auf deren Gefahr weiter unten noch eingegangen wird.

Darum prüfe, wer sich ewig bindet...

Von den Herstellern der Klebemittel werden die üblichen und marktgängigen Untergründe aus dem Bereich der Luftdichtheitsschichten im Zuge der Produktentwicklung und -auslobung geprüft und in den Verarbeitungsempfehlungen auch angegeben. Die Anzahl und Variationsmöglichkeit der Fügepartner (Baustoffe) sind jedoch unendlich groß. Und es gibt einige Untergründe, die sich – unabhängig von der Oberflächenbeschaffenheit – mit Klebemitteln nicht so recht vertragen mögen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier erwähnt:

- Oberflächen mit einer unsichtbaren Nachbehandlung (lackierte oder auch nur gewachste Oberflächen),
- Oberflächen mit herstellbedingt verunreinigten Oberseiten (Formteile auf Basis Polyurethan, OSB-Platten mit Trennmittel, Bleche, Betonformteile),
- Materialien, die herstellbedingt Inhaltsstoffe abgeben können (Weich-PVC, Bitumen, Schäume, EPDM oder auch Gummi),
- Oberflächen, die korrosionsanfällig sind in Verbindung mit wasserbasierten Klebemitteln,
- Oberflächen, die korrosionsanfällig sind in Verbindung mit einem Klebemittel mit saurem pH-Wert.
- Im Bereich von Luftdichtheitsschichten zwar noch nicht eingesetzt, aber im Dach zunehmend verbreitet, zeigen sich thermoplas-

tische Polyurethane (TPU) als schwer verklebbar.

Bei Verklebungen auf solche Untergründe sind also Sorgfalt, vertiefte, gemeinsame Abklärungen mit den Herstellern von Klebeband und auch dem Untergrund oder letztlich auch Eigenversuche angezeigt.

Wie in einer menschlichen Partnerschaft kann es vorkommen, dass sich ein Fügepartner im Laufe der Zeit verändert und die „Bindungskräfte“ abnehmen. Fälschlicherweise kommt a priori der Klebstoff unter Verdacht. Tatsache ist, dass sich auch feste Baustoffe über die Lager- und Nutzungszeit verändern können (Weichmacherwanderung, Austreten der Additive für Brandschutz und UV-Stabilität, Abnahme der Oberflächenenergie, Spaltung von Molekülen etc.). Solche Situationen sind dann labortechnisch genauer zu untersuchen, um die wahren Gründe für eine solche Veränderung zu erkennen.

Heikle Untergründe

Mit diesem Titel war der Abschnitt zum Thema „Primern“ in Band 1 dieser Schriftenreihe [2] überschrieben. Wohl wissend, dass dies im Handwerk eine ungeliebte Tätigkeit ist, so bleibt doch die Tatsache bestehen, dass – je nach Oberflächenbeschaffenheit – darauf nicht verzichtet werden kann und darf.

Das Thema Alterung

Immer wieder wird in der Branche die Haltbarkeit und Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen hinterfragt. Sicher, es gibt junge Produkte, die erst in den letzten 10 Jahren auf den Markt gekommen sind. Aber es gibt genügend Klebeprodukte, die eine erwiesene Langzeiterfahrung von mehr als 25 Jahren nachweisen können. Reinkrylate oder auch modifizierte Akrylate als Basisrohstoff haben ihre Eignung längst bewiesen. Das zeigen Nachprüfungen von entnommenen Proben aus Gebäuden oder das Testen von alten Rückstellmustern.

3 Umsetzung der Luftdichtheit in der Altbausanierung

Martin Giebeler

3.1 LUFTDICHTUNGSKONZEPTE IN DER ALTBAUSANIERUNG

Bei Neub Gebäuden kann man mittlerweile sagen: Luftdichtheit hat sich etabliert – jedenfalls gilt das für Wohngebäude. Es gibt bewährte Konstruktionen und Produkte mit Verarbeitungsweisen, die in der Handwerkerwelt angekommen sind. Wo noch Mängel vorliegen, beruhen sie auf Nachlässigkeit, aber nicht auf fehlenden Möglichkeiten.

Bekannterweise erfolgt der Großteil baulicher Tätigkeit seit Jahren nicht im Neubau, sondern in der Modernisierung des Bestands. Die Erfahrungen hier sind noch nicht so weit fortgeschritten. Zwar haben Pioniere schon früh den Bedarf von luftdichtenden Maßnahmen im Bestand erkannt, aber weil die Ausgangslagen, Intentionen und Möglichkeiten so verschieden sind wie die Häuser, die verbessert werden sollen, fiel es schwer, die Erkenntnisse zu bündeln und in einfache Fachregeln zu gießen.

Dieser Versuch wurde jedoch jetzt unternommen. Die Zeit schien reif dafür, und so traf sich eine Arbeitsgruppe im Rahmen der WTA (Wissenschaftlich-technische Arbeitsgemeinschaft für Denkmalpflege und Bauwerkserhaltung), um die existierenden Erkenntnisse zu sammeln und niederzuschreiben. Damit soll Planern eine Hilfestellung gegeben werden, um sie vor den größten Fehlern zu bewahren.

Dem Ausschuss wurde nach den ersten Treffen klar, dass ein Regelwerk nicht ausreichen würde, und so kam es zu dem Entwurf eines Merkblatts in drei Teilen. Je ein Teil ist den Themen Planungsprinzipien, Detailplanung und messende Qualitätssicherung gewidmet. Diese Merkblätter „Luftdichtheit im Bestand“ liegen in den Teilen E-6-9 bis E-6-11 nun vor. Die folgenden Betrachtungen streifen den Inhalt in Grundzügen (gehen teils auch darüber hinaus) und sollen dazu

ermuntern, bei Interesse das Merkblatt käuflich zu erwerben. Wer sich intensiv mit Luftdichtheit beschäftigt, wird viel von dem, was er in der Praxis erfährt, wiedererkennen. Nicht zuletzt liefert das auch Argumentationsstoff, falls man Überzeugungsarbeit leisten muss.

3.1.1 ANFORDERUNG IM BESTAND

Aus der EnEV wie auch aus DIN 4108, Teil 7, lassen sich Grenzwerte entnehmen, die jedoch für Neubauten formuliert sind. Eine Anforderung an Altbauten besteht erst einmal nicht, es sei denn, ein Altbau würde weitgehend rückgebaut und erfährt eine Sanierung/Modernisierung, die einem Neubau vergleichbar wird, weil die relevanten Bauteile Dach, Decken, Wände, Fenster, Türen und Schächte gänzlich neu gestaltet werden.

Das Merkblatt, Teil 1, liefert Skizzen und Formeln, mit denen sich eine Abschätzung treffen lässt, welche Enddichtheit (in Abhängigkeit von der Ausgangsdichtheit) sich einstellen wird, und zwar bei Teilsanierung, Komplettsanierung und Erweiterung. Um die Ausgangsdichtheit zu kennen, ist eine Anfangsmessung unumgänglich. Sie kann u. U. mit vereinfachtem *Procedere* erfolgen.

Will man sie einsparen, wird aus qualifiziertem Abschätzen ein unqualifiziertes Raten. Mit einer Messung gewinnt man nicht nur einen Ausgangswert; man erkennt bei der damit einhergehenden Begehung, welche Bauschichten dichtend wirken und welche Bauteile schon heute undicht sind. Das sensibilisiert den Mess-



Bild 3.1: Anbau (umgenutzte Scheune).

Es drängt sich unweigerlich die Frage auf, welche Dichtheit man realistisch am Ende erwarten kann. Die Antwort auf diese Frage wird davon abhängen,

- wie gut oder schlecht der Ausgangszustand des Gebäudes ist und
- wie tief in den bisherigen Zustand eingegriffen wird.

dienstleiter und andere Beteiligte und liefert konkrete Erkenntnis, welches Bauteil verbleiben kann (oder gar verbleiben muss) und welches man zugänglich machen und ertüchtigen sollte. Unverputzte Mauerwerkspartien beispielsweise müssen unbedingt erkannt werden, sonst führen sie schnell zum Überschreiten des geforderten Grenzwerts.

Michael Wehrli

3.2 LUFTDICHTUNGSKONZEPTE IM STEILDACH – VERLAUF UND AUSFÜHRUNG DER LUFTDICHTUNG VON AUSSEN

Der Markt für die energetische Sanierung von Altbauten ist, auch unterstützt durch verschiedene Förderprogramme, seit Jahren im Aufschwung begriffen. Viele Fachbetriebe und Planer haben sich weitergebildet und bieten inzwischen baubegleitende Energieberatung für die Sanierung von Bestandsbauten an, um Kunden die eigene Kompetenz in diesem Bereich deutlich zu machen. Wenn man bei der Energieberatung die möglichen Einsparpotenziale verschiedener Bauteile vergleicht, fällt auf, dass die Dämmung der obersten Geschossdecke beziehungsweise des Daches in der Regel die effektivsten Mittel sind, um den Energiebedarf eines Gebäudes deutlich zu reduzieren. Es lohnt sich also, das Dach und gängige Methoden zur Sanierung in diesem Bereich einmal genauer anzusehen.

Während sich das Vorgehen zur Montage von Luftdichtung und Wärmedämmung bei der Dachsanierung von innen nicht wesentlich von einer Neubaution unterscheidet, gibt es bei der Dachsanierung von außen verschiedene Methoden, um Luftdichtung und Wärmedämmung auf einen modernen, zeitgemäßen Stand zu bringen. Der Beitrag zeigt auf, welche Lösungsmöglichkeiten sich generell bieten, welche Vor- und Nachteile jeweils mit ihnen verbunden sind und welche Anschlussdetails zu lösen sind. Dazu wird im ersten Teil ein Überblick verschiedener Konzepte zur Dachsanierung von außen gegeben. Der zweite Teil des Beitrags geht auf die Anschlussdetails ein und zeigt Ausführungsbeispiele.

3.2.1. EINE GUTE BESTANDSAUFNAHME UND PLANUNG LOHNT SICH

Ausgangspunkt für die Sanierung ist häufig ein Bestandsdach, bei dem Wohnkomfort und sommerlicher Wärmeschutz eingeschränkt sind und die Wärmedämmung nicht mehr den Bedürfnissen der Zeit nach Energieeffizienz entspricht. Die Luftdichtung/Dampfbremse hat, wenn sie überhaupt vorhanden ist, meist nicht den Stand der heutigen Technik und Ausführungsqualität. So sind Zugluft im Wohnbereich und Konvektion in der

Dämmebene bei Bestandsbauten häufig anzutreffen. Aufgrund unterschiedlicher Bauepochen und regionaler Besonderheiten trifft man eine große Vielfalt unterschiedlicher Bauweisen an. Jedes Dach hat Besonderheiten, die es von anderen unterscheidet. **Deswegen ist die sorgfältige Bestandsaufnahme der vorhandenen Konstruktion sehr wichtig, bevor es zur eigentlichen Planung der Ausführung kommt.**

Wenn alle vorhandenen Bauteilschichten im Bestandsdach und den angrenzenden Wänden bekannt sind und deren Zustand abschätzbar ist, kann auf dieser Basis entschieden werden, welche Lösungskonzepte für die Sanierung geeignet sind und wie am besten vorzugehen ist. Das Ergebnis sollte eine zukunftssichere Konstruktion mit optimierter Bauteilsicherheit einerseits und einer angemessenen Kosteneffizienz andererseits sein. Die zunächst in Bestandsaufnahme und Planung investierte Zeit lohnt sich, um den folgenden Bauablauf zu optimieren und unnötige Risiken bei diesen, der Witterung ausgesetzten Arbeiten zu reduzieren.

Bei der Bestandsaufnahme stellen sich Fragen wie:

- Welche Bestandteile der vorhandenen Konstruktion können erhalten bleiben?
- Wie weit muss ich zurückbauen?
- Kann bestehende Dämmung erhalten bleiben, zum Beispiel als Schutz-

GUTE GRÜNDE FÜR DIE DACHSANIERUNG VON AUSSEN

- Die Erneuerung der Dacheindeckung steht an.
- Dämmung und Luftdichtung sind nicht mehr auf dem Stand (bei weniger als 16 cm herkömmlicher Dämmstärke ist eine energetische Sanierung bei einer Neueindeckung in der Regel gesetzlich verpflichtend ohnehin gegeben).
- Es entsteht kein Platzverlust auf der Innenseite durch die höheren Dämmstärken.
- Eine Innenverkleidung ist schon vorhanden und soll erhalten bleiben.
- Die Bewohner möchten bereits ausgebauten Dachräume ohne große Unterbrechung weiter nutzen.

lage für die Dampfbremse? (Ist die Funktion der alten Dämmung noch gegeben, ist sie auch gesundheitlich unbedenklich oder besteht eine Belastung durch Schimmel, Feinstaub oder tierische Rückstände?)

- Ist eine funktionsfähige Luftdichtung/Dampfbremse vorhanden?
- Sind die innen verbleibenden Bestandsschichten geeignet für die neue Konstruktion (diffusionsoffen, tragfähig)?



Bild 3.13: Mauerkrone: Die Vorbereitung des luftdichten Randanschlusses erfordert viel Zeit. [Foto: Moll/pro clima]

4 Luftwechsel durch Leckagen und Öffnungen

Joachim Zeller

In vielerlei Hinsicht ist es interessant zu wissen, wie groß der Infiltrations- bzw. Exfiltrationsvolumenstrom durch Gebäudeundichtheiten oder bestimmte Öffnungen ist, beispielsweise um abschätzen zu können, wie sich Gebäudeundichtheiten auf die Lüftungswärmeverluste auswirken, oder um beurteilen zu können, inwieweit freie Lüftung den hygienischen oder thermischen Erfordernissen genügt.

Die Druckverhältnisse an der Gebäudehülle sind wetterabhängig und ändern sich deshalb ständig. Dementsprechend ändern sich auch die Luftvolumenströme bei freier Lüftung. Bei Angaben zu Luftvolumenströmen oder Luftwechselraten muss man daher unterscheiden zwischen Angaben für bestimmte, momentane Witterungsverhältnisse und Mittelwerten über das Jahr oder über die Heizzeit. Da die meisten Zusammenhänge zwischen Volumenstrom und Witterungsparameter nicht linear sind, ist zudem der Mittelwert des Volumenstroms über einen bestimmten Zeitraum in der Regel nicht gleich dem aus den Mittelwerten der Witterungsparameter berechneten Volumenstrom.

Eine einfache Gleichung für eine Abschätzung der **mittleren Infiltrationsluftwechselrate über die Heizzeit** ist im Anhang zu ISO 13789 enthalten. Solange kein Unter- oder Überdruck durch Lüftungsanlagen erzeugt wird, ergibt sich demnach die mittlere Luftwechselrate als das 0,1-fache, das 0,07-fache oder das 0,04-fache der Luftwechselrate bei 50 Pascal, je nach Windexponiertheit des Gebäudes.

Tatsächlich hängt die Luftwechselrate aber nicht nur von der Undichtheit des Gebäudes und der Windexponiertheit ab, sondern auch von

- der Höhe der Nutzungseinheit und der Lage der Öffnungen,
- den Windgeschwindigkeiten und -richtungen in der jeweiligen Region,

- den Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen.

Ein Verfahren zur rechnerischen Abschätzung der Luftvolumenströme durch freie Lüftung **für einen bestimmten Zeitpunkt und damit für konkrete Werte der Windgeschwindigkeit und Außentemperatur** ist in DIN EN 15242 beschrieben. Damit kann auch ermittelt werden, wo Luft ein- und wo sie ausströmt. Dieses Verfahren wird nachfolgend wiedergegeben. Für einzelne berechnete Beispiele werden die Ergebnisse dargestellt.

Im Zuge der Überarbeitung der Normen zur Umsetzung der europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wird EN 15242 durch die neue Norm EN 16798, Teil 7, ersetzt werden, die im Januar 2015 als Entwurf veröffentlicht wurde. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich aber auf die noch gültige EN 15242.

4.1 BERECHNUNGSMETHODE

4.1.1 LÜFTUNGSZONE

Mit dem Berechnungsverfahren werden Luftvolumenströme zwischen einem Gebäude oder Gebäudeteil (Lüftungszone) und außen ermittelt. Für die Lüftungszone wird eine einheitliche Innentemperatur und ein einheitlicher Innendruck [1] angenommen. Anders gesagt: es wird unterstellt, dass sich die Luft innerhalb der Zone frei bewegen kann. Das Modell gilt daher für alle Fälle, bei denen die Strömungswiderstände zwischen innen und außen deutlich größer sind als die zwischen zwei Räumen innerhalb der Zone.

Möchte man beispielsweise In- und Exfiltrationsvolumenströme durch Gebäudeundichtheiten berechnen, dann kann man in der Regel eine einzelne Wohnung als Lüftungszone betrachten. Auch geschlossene Innentüren stellen keine nennenswerten Strömungswiderstände dar, verglichen mit einer dichten Gebäudehülle und dichten Wohnungstüren. Für die Abschätzung der Wirkung von freier

Nachlüftung über offene Fenster dagegen darf man nur solche Räume zu einer Lüftungszone zusammenfassen, die über offene Innentüren miteinander im Luftverbund stehen.

Unerheblich für die Einteilung eines Gebäudes in Lüftungszone ist es, ob die jeweilige Zone von einer oder mehreren Lüftungsanlagen versorgt wird oder ob eine Lüftungsanlage auch andere Lüftungszone versorgt. Ein Luftaustausch mit angrenzenden Lüftungszone kann nach dem genormten Verfahren nicht berücksichtigt werden.

4.1.2 LECKAGEN UND ÖFFNUNGEN

An luftdurchlässigen Teilen der Gebäudehülle ergibt sich ein Luftvolumenstrom als Funktion des Differenzdrucks zwischen außen und innen:

$$\dot{V}_{comp} = f(\Delta p_{comp}) \quad (1)$$

mit

\dot{V}_{comp} Volumenstrom durch die Komponente „comp“. Zufluss wird mit positivem, Abfluss mit negativem Vorzeichen versehen

Δp_{comp} Druckdifferenz zwischen außen und innen [2]

In der Norm wird zwischen Undichtheiten und Luftdurchlässen unterschieden. Da die in der Norm für unregelmäßige Luftdurchlässe angegebenen Gleichungen auch auf andere Öffnungen anwendbar sind, werden nachfolgend die Begriffe „Öffnungen“ und „Undichtheiten“ verwendet.

An **Öffnungen** tritt turbulente Strömung auf. Der Zusammenhang zwischen Druck und Volumenstrom lässt sich folgendermaßen beschreiben:

$$\dot{V}_{op} = C_{op} \cdot \text{sign}(\Delta p) \cdot |\Delta p_{comp}|^{0,5} \quad (2)$$

Der Strömungskoeffizient C_{op} lässt sich aus der Öffnungsfläche abschätzen:

$$C_{op} = C_d \cdot A_{op} \cdot \sqrt{2/\rho} \cdot \frac{3600s}{h} \quad (3)$$

5 Messpraxis

Stefanie Rolfsmeier

5.1 LUFTDURCHLÄSSIGKEITSMESSUNG GROSSER GEBÄUDE

Die Überprüfung der Luftdichtheit großer Gebäude stellt besondere Anforderungen an die Planung und die Durchführung der Luftdurchlässigkeitsmessung. Im Gegensatz zum Einfamilienhaus, das von einem Messdienstleister mit nur einem Messgerät gemessen werden kann, sind in großen Gebäuden, zu denen Schulen, Schwimmbäder, Altenheime, Verwaltungsgebäude, Hotels und Hallen zählen, häufig mehrere Messgebläse sowie personelle Unterstützung notwendig.

Die Gebäudepräparation und die Leckageortung sind um ein Vielfaches aufwendiger als in kleinen Bauten. Eine gute Organisation erleichtert die Messung und der Zeit-, Personal- und Kostenaufwand lässt sich besser kalkulieren. Dieser Beitrag gibt einen Einblick in die Besonderheiten der Luftdurchlässigkeitsmessung großer Gebäude.

5.1.1 GRUNDSÄTZLICHES

5.1.1.1 WAS IST EIN GROSSES GEBÄUDE?

Es gibt unterschiedliche Ansätze, ab welcher Größe ein Gebäude als „groß“ eingestuft wird.

In der DIN EN 13829, die den Ablauf einer Messung beschreibt, hat ein großes Gebäude ein Volumen von mehr als etwa 4.000 m³.

Die Energieeinsparverordnung 2013/14 und die DIN 4108-7 stellen ab einem Luft- bzw. Innenvolumen von mehr als 1.500 m³ auch Anforderungen an die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle q_{50} . Denn große Gebäude erreichen leicht niedrige Luftwechselraten n_{50} , obwohl die Gebäudehülle große Einzelleckagen aufweisen kann. Das liegt an ihrem großen Volumen im Verhältnis zu einer kleinen Hüllfläche (kleines A/V-Verhältnis).

Der einzelne Messdienstleister wird ein Gebäude als „groß“ bezeichnen, wenn zusätzliche Messgeräte für die Messung notwendig sind oder sich der Messaufwand erheblich von der Messung eines Einfamilienhauses unterscheidet.

5.1.1.2 EIN-ZONEN-GEBÄUDE

Im Sinne der DIN EN 13829 „Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden“ kann eine Luftdurchlässigkeitsmessung in einem sogenannten „Ein-Zonen-Gebäude“ durchgeführt werden: Es muss möglich sein, mit der Messeinrichtung im gesamten Gebäude den gleichen Druck aufzubauen. Darunter fallen beispielsweise Hallen, die aus einem großen Raum bestehen.

Doch auch Büro- oder Verwaltungsbauten mit vielen Einzelräumen können durch das Öffnen aller Innentüren wie ein „Ein-Zonen-Gebäude“ behandelt werden. Bei großen und verschachtelten Gebäuden kann es unter Umständen zu einem Druckabfall in einem Gebäudeteil kommen, wenn zwischen den Gebäudeteilen nicht genügend große Nachströmwege (Treppenhäuser, Flure, Durchgänge etc.) zur Messeinrichtung vorhanden sind. In diesem Fall werden die Messgeräte so im Gebäude verteilt, dass in allen Bereichen der gleiche Druck erzeugt wird.

5.1.1.3 MESSZEITPUNKT

Zum Nachweis der Gebäudedichtheit für eine Norm (z. B. DIN 4108-7) oder Verordnung (Energieeinsparverordnung) wird die Luftdurchlässigkeitsmessung nach Fertigstellung der Gebäudehülle durchgeführt [DIN EN 13829]. Diese Schlussmessung, teilweise auch Abnahmemessung genannt, findet kurz vor Übergabe des Gebäudes an den Bauherren statt. Doch es ist sinnvoll, eine weitere Messung früher im Bauablauf zur Qualitätssicherung der Luftdichtheitsebene einzuplanen, um noch Nacharbeiten an der luftdichten Ebene zu ermöglichen. Bei großen Gebäuden mit vie-

len Geschossen können frühzeitige Messungen von einzelnen Gebäudeteilen bzw. Räumen auch deswegen in Erwägung gezogen werden, um systematische Fehler aufzudecken und im weiteren Bauablauf zu vermeiden.

5.1.1.4 WETTEREINFLUSS

Windeinfluss und Unterschiede zwischen der Lufttemperatur im Gebäude und der Außentemperatur erzeugen „natürliche Druckdifferenzen“ zwischen Gebäudeinnerem und außen. Mit zunehmender Größe und Höhe eines Gebäudes erhöht sich das Risiko, dass ihr Einfluss die Messung beeinträchtigt. Daher sind optimale Wetterbedingungen kleine Temperaturunterschiede sowie Windstille bzw. leichter Wind.

Ein paar Tage vor dem Messtermin können die Windstärke und die Außentemperatur über die Wettervorhersage abgefragt und deren Auswirkungen wie folgt eingeschätzt werden:

Auswirkungen von Temperaturunterschieden auf die natürliche Druckdifferenz

Bei niedrigen Außentemperaturen steigt warme Luft im Gebäude aufgrund von Thermik auf und tritt über Leckagen im oberen Gebäudeteil aus, während im unteren Gebäudebereich kalte Außenluft über Undichtheiten nachströmt. Unter diesen Bedingungen wird im oberen Gebäudeteil ein Überdruck, eine positive natürliche Druckdifferenz, und im unteren Bereich ein Unterdruck mit einer negativen Druckdifferenz erzeugt.

Je größer die Temperaturunterschiede sind und je höher das Gebäude ist, desto größer werden auch die natürlichen Druckdifferenzen. Unter der Annahme, dass die Leckagen gleichmäßig über die Gebäudehöhe verteilt sind, kann mit der folgenden Formel [Zeller] schon vor dem Messtermin die zu erwartende natürliche Druckdifferenz auf Höhe des Erdgeschosses (Einbauort der Messeinrichtung) abgeschätzt werden:

Torsten Bolender

5.2 LUFTDURCHLÄSSIGKEITSMESSUNGEN FÜR DEN BRANDSCHUTZ

DOOR-FAN-TEST FÜR RÄUME MIT FEUERLÖSCHANLAGEN

Der vorliegende Beitrag wendet sich an all diejenigen, die schon einige Erfahrung mit Luftdurchlässigkeitsmessungen an Wohngebäuden gemacht haben und das Einsatzgebiet der vorhandenen Messausrüstung erweitern wollen. Es wird ein erster Einblick in die Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Blower-Door- und Door-Fan-Test gegeben. Auch Planer/Fachplaner, die sich mit dem Thema „Luftdichtheit von EDV, Technik- und Lagerräumen“ im Zusammenhang mit Gaslösch- oder aktiven Brandvermeidungsanlagen [1] auseinandersetzen möchten, erhalten praktische Hinweise zur Messung, Planung und Ausführung.

5.2.1 EINFÜHRUNG BLOWER-DOOR-TEST VERSUS DOOR-FAN-TEST

Blower-Door-Messungen an Gebäuden und Bauteilen werden schon seit über drei Jahrzehnten in größerer Zahl u.a. in den USA, Kanada, Schweden, aber auch seit über 20 Jahren in Deutschland durchgeführt. Erste Messungen der Luftdurchlässigkeit an Bauteilen vor einem energetischen Hintergrund sind sogar schon 1932 in einem Artikel der Zeitschrift Gesundheits-Ingenieur beschrieben (siehe auch [FLiB 2012] Abschnitt 2.1 – Luftdichtheit im Wandel der Zeit). Spätestens seit der Einführung der Energieeinsparverordnung im Februar 2002 ist der sogenannte Blower-Door-Test [2] den am Bau Beteiligten bekannt.

Anders sieht es jedoch aus, wenn man sich dem Thema Brandschutz zuwendet. Den im Zusammenhang mit gasgelöschten Räumen eingesetzten Door-Fan-Test [3] kennen nur verhältnismäßig wenige Bauschaffende. Dabei ist das Prinzip der Luftdurchlässigkeitsmessung (Differenzdruckverfahren, statisch) dasselbe wie bei der Messung eines neu errichteten Wohnhauses. Hintergrund für einen Door-Fan-Test ist zu überprüfen, ob ein Raum eine ausreichend hohe Dichtheit der Umfassungsfläche aufweist, damit das Löschgas nach Auslösen der Löschanlage in möglichst hoher (löschfähiger) Konzentration im Raum verbleibt.

Wenn auch die Motivation für einen Door-Fan-Test eine andere ist, so ist das Ziel, eine dauerhaft luftundurchlässige Hülle zu erstellen und den Erfolg zu überprüfen, das Gleiche. Mit dem Blower-Door-Test will man mit Blick auf eine energiesparende Bauweise die Luftdichtheit der Gebäudehülle (Umfassungsfläche) überprüfen und meist auch klären, ob die Anforderungen, die seitens Energieeinsparverordnung [EnEV], der [DIN 4108-7] sowie von Kreditgebern oder Kommunen gestellt werden, eingehalten werden. Aber auch der Nutzer stellt Anforderungen (siehe [FLiB 2012] Abschnitt 1.1 bis 1.7), für deren Einhaltung eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle erforderlich ist. Wird diese nicht erreicht, sollte ein versierter Anbieter einer solchen Messung auch gleich den Grund benennen und am besten auch die Lösung für das Problem liefern können.

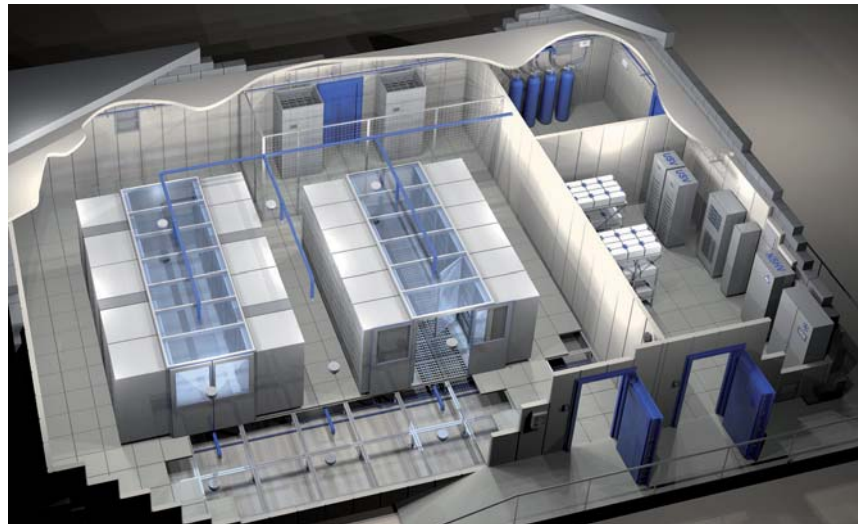


Bild 5.22: Schemaskizze eines modernen Rechenzentrums. [Abdruck genehmigt durch proRZ Rechenzentrumsbau GmbH, Wallmenroth]

Beim Door-Fan-Test liegt die treibende Kraft hinter den Dichtheitsanforderungen an die Umfassungsfläche von Gebäuden und Anlagen nicht in der Energieeinsparverordnung, sondern in den Anforderungen, die die Versicherungswirtschaft stellt. Auch veranlassen wirtschaftliche, organisatorische und technische Motive die Betreiber einer Gaslösch- oder aktiven Brandvermeidungsanlage [4] dazu, einen Door-Fan-Test durchzuführen.

Bei jeder Art von Löschanlage geht es zuerst um den Schutz von Menschen und Tieren, dann um Gebäude, Inventar oder nicht wieder beschaffbare Daten, Güter und Kunstgegenstände.

Auch sind eine hohe Verfügbarkeit von Technik (z.B. Cloud-Dienste) und nicht zuletzt die Versicherungsprämie wichtige Argumente. Der energetische Hintergrund spielt in aller Regel eine untergeordnete Rolle bzw. wird derzeit eher selten in Ansatz gebracht. Die einschlägigen Normen in diesem Bereich beschreiben daher nur die Planung und Dimensionierung von Gaslöschanlagen und das Prüfen der Raumdichtheit. Grenzwerte, wie z.B. der n_{50} -Wert, der in [EnEV] und [DIN 4108-7] beschrieben ist, spielen im Zusammenhang mit dem Door-Fan-Test zumindest auf normativer Ebene keine Rolle.

5.2.2 MESSEN STATT FLUTEN

Der Door-Fan-Test ist, wie bereits dargestellt, mit einem Blower-Door-Test im Sinne der [EN 13829]/[ISO 9972] durchaus vergleichbar. Die Unterschiede beim Messen und Auswerten

liegen im Detail und werden im nächsten Abschnitt näher beschrieben. Zunächst aber soll etwas ausführlicher auf den Hintergrund solcher Messungen an gasgelöschten und dauerinertisierten (sauerstoffreduzierte Atmosphäre) Räumen eingegangen werden.

Ein Raum, der die viel beschworene CLOUD beherbergt, wird allgemein auch als Serverraum bezeichnet, obwohl Begriffe wie IT-Raum, Rechenzentrum oder Datacenter es korrekter beschreiben (siehe Bild 5.22). In einem solchen, meist gut gegen äußere Einflüsse geschützten Raum bzw. Gebäude stehen oft hun-

Patrick Stork, Johannes Lötfering, Christian Thomschke

5.3 EINFLUSS VON LUFTDICHTHEIT UND LÜFTUNG AUF DEN BETRIEB VON FEUERSTÄTTEN FÜR FESTE BRENNSTOFFE

DER 4 PA-TEST – NACHWEIS DER DRUCKVERHÄLTNISSE IM GEBÄUDE

5.3.1 VORWORT

Feuerstätten für feste Brennstoffe erfreuen sich auch in neuen oder renovierten Gebäuden mit niedrigem Heizwärmebedarf großer Beliebtheit. In Form einfacher Kaminöfen steigern sie die Behaglichkeit und Wohlfühl-Atmosphäre im Gebäude. Die Bedeutung als zentrale Einrichtung zum Heizen steht hierbei hintenan.

Als Öfen mit Wassertasche und Solarthermie-Anbindung werden sie zunehmend aber auch für die Beheizung und Trinkwassererwärmung des gesamten Gebäudes eingesetzt.

Was ist zu beachten, wenn eine solche Feuerstätte in einer dichten Gebäudehülle betrieben werden soll?

Ein Feuer benötigt drei elementare Dinge: Brennstoff, Entzündungstemperatur und Sauerstoff in Form von Verbrennungsluft. Unter der Annahme, dass genügend Brennstoff und eine ausreichend hohe Temperatur zur Verfügung stehen, soll im Folgenden die ausreichende Versorgung mit Verbrennungsluft näher betrachtet werden.

5.3.1.1 VERBRENNUNGSLUFTBEDARF VON FEUERSTÄTTEN

Für eine Feuerstätte wird gemäß Muster-Feuerungsverordnung (MFeuV) [1] mit einem theoretischen brennstoffunabhängigen Verbrennungsluftbedarf von 1,6 m³/h je 1 kW Nennwärmeleistung gerechnet. Außerdem wird ein 0,4-facher Luftwechsel durch Infiltration ins Gebäude angenommen. [2]

Nach Gleichung (1) folgt dann, dass der Aufstellraum einer Feuerstätte bis 35 kW Nennwärmeleistung eine Mindestgröße von 4 m³ Raumluft je kW Nennwärmeleistung haben muss, sofern die Verbrennungsluft dem Aufstellraum entnommen wird – sog. raumluftabhängige Betriebsweise:

$$\frac{1,6 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{kW})}{0,4 \text{ h}^{-1}} = 4 \text{ m}^3 / \text{kW} \quad (1)$$

Beispiel:

Einem Kaminofen mit einer Nennwärmeleistung von 6 kW muss also ein Verbrennungsluftvolumenstrom von $6 \text{ kW} \cdot 1,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{kW}) = 9,6 \text{ m}^3/\text{h}$ ungehindert zuströmen. Unter Anwendung vorstehender 4 m³-Regel müssen 24 m³ Rauminhalt im Aufstellraum bzw. Raumluftverbund verfügbar sein. Dies entspricht bei einer Raumhöhe $H_R = 2,5 \text{ m}$ einer Nutzfläche von $A_{NE} = 9,6 \text{ m}^2$, ist also in aller Regel unkritisch.

Die Annahme eines 0,4-fachen Luftwechsels erscheint im nicht-sanierten Gebäudebestand realistisch. Was gilt aber für neue oder sanierte Gebäude, in denen in der Regel obige moderne Feuerstätten eingesetzt werden?

5.3.1.2 RICHTLINIEN UND VERORDNUNGEN

Für die dem natürlichen Luftwechsel zugrunde liegende Dichtheit der Gebäudehülle fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) [3]:

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

In der Anlage 4 der EnEV werden die für die Anrechnung in der Energiebedarfsrechnung nachzuweisenden Höchstwerte der Luftwechselrate bei 50 Pa, sog. n₅₀-Werte, definiert:

- bei Gebäuden ohne raumlufttechnische Anlagen 3,0 h⁻¹ und
- bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen 1,5 h⁻¹.

Die DIN 4108-7 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“ [4] folgt der EnEV hinsichtlich dieser Höchstwerte und empfiehlt bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen sogar einen n₅₀-Höchstwert von 1,0 h⁻¹. Um dies dauerhaft sicherzustellen, fordert Abschnitt 5 – implizit – ein Luftdichtheitskonzept:

„Die Luftdichtheitsschicht ist sorgfältig zu planen, auszuschreiben und auszuführen. Die Arbeiten sind zwischen den Beteiligten am Bau zu koordinieren. Bei der Planung ist für jedes Bauteil der Hüllfläche die Art und Lage der Luftdichtheitsschicht festzulegen.“

Diese Anforderungen führen in Verbindung mit verbesserter Bautechnik dazu, dass die Infiltrationsvolumenströme immer weiter abnehmen. In der Praxis werden unter Beachtung des Luftdichtheitskonzepts bei Neubauten, aber auch in Sanierungsfällen, durchaus n₅₀-Werte unterhalb 0,6 h⁻¹ realisiert und mittels Luftdurchlässigkeitstest nachgewiesen. Für Passivhäuser darf der n₅₀-Wert maximal 0,6 h⁻¹ betragen.

Würden bei den früher üblichen natürlichen Luftwechseln die anfallenden Feuchtelasten durch die Undichtheiten der Gebäudehülle noch ausreichend abtransportiert, kann davon heute bei dichten Gebäuden und Wohnungen nicht mehr unbedingt ausgegangen werden.

Aus diesem Grund schreibt die DIN 1946-6 „Lüftung von Wohnungen“ [5] in Abschnitt 4 seit einigen Jahren, ergänzend zum Luftdichtheitskonzept der DIN 4108-7, ein Lüftungskonzept vor:

„Für neu zu errichtende oder zu modernisierende Gebäude mit lüftungstechnisch relevanten Änderungen ist ein Lüftungskonzept zu erstellen. Das Lüftungskonzept umfasst die Feststellung der Notwendigkeit von lüftungstechnischen Maßnahmen und die Auswahl des Lüftungssystems. Dabei sind bauphysikalische, lüftungs- und gebäudetechnische sowie auch hygienische Gesichtspunkte zu beachten.“

Nach Abschnitt 4.2.1 der DIN 1946-6 sind lüftungstechnische Maßnahmen in einer Nutzungseinheit erforderlich, wenn der notwendige Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz $q_{v,ges,NE,FL}$ den Luftvolumenstrom durch Infiltration $q_{v,Inf,wirk}$ überschreitet:

$$q_{v, ges, NE, FL} > q_{v, Inf, wirk} \quad (2)$$

In die Berechnung des wirksamen Luftvolumenstroms durch Infiltration nach DIN 1946-6 fließt der n₅₀-Wert direkt ein:

$$q_{v, Inf, wirk} = f_{wirk, Komp} \cdot A_{NE} \cdot H_R \cdot n_{50} \cdot \left(\frac{f_{wirk, Lage} \cdot \Delta P}{50 [Pa]} \right)^n \quad (3)$$

Jürgen Luft

5.4 ANFORDERUNGEN AN LUFTLEITUNGS-SYSTEME BEI MECHANISCHER LÜFTUNG

5.4.1 NOTWENDIGKEIT VON (MECHANISCHER) LÜFTUNG

Die Notwendigkeit einer Lüftung von „in energieeffizienter Bauweise erstellten Räumen und Gebäuden“ wurde bereits in Band 1 des FLiB-Buches „Gebäude-Luftdichtheit“, auch mit den diversen Ausführungsvarianten, ausführlich beschrieben (siehe dort Kapitel 5: Lüftung in luftdichten (Wohn-) Gebäuden). Wie die Lüftung erfolgt, ist grundsätzlich erst einmal freigestellt, solange diese den Feuchteschutz gewährleistet und eine ausreichend gesundheitlich zuträgliche Raumluftqualität zur Verfügung gestellt wird (siehe auch Arbeitsstättenverordnung).

Tatsächlich hatte man sich in der Vergangenheit sehr stark in EN-Normen auf die mechanische (ventilatorgestützte) Lüftung und hier auf die zentrale Anlagentechnik beschränkt. In der neuesten Überarbeitung der EN 13779, „Lüftung von Nichtwohngebäuden...“ (erscheint unter EN 16798-3 bzw. -4), wird auch die sogenannte Fensterlüftung unter natürlicher Lüftung erwähnt werden. Durch die aus Gründen der Energieeinsparung in unseren Breiten immer dichter auszuführenden Gebäude, vor allem auch im Bestand, muss gerade die Möglichkeit freier Lüftung (natural ventilation) berechnungsmäßig nun auch in europäischen Normen (wie zuvor bereits in DIN 1946-6) berücksichtigt werden, da diese sich meist als nicht ausreichend erweist.

Mittlerweile haben sich selbst im Bereich von Nichtwohngebäuden auch dezentrale Lösungen etabliert, sofern konstruktiv geeignete Gebäudeausführungen (z.B. geringe Raumtiefe) und ein entsprechendes Nutzungsprofil vorliegen. Vor- und Nachteile der diversen Systemlösungen gilt es, projektbezogen abzuwägen, wobei in den meisten Fällen die bewährte, zentrale Lüftung zur Ausführung gelangt. Durch die Anordnung eines zentralen Gerätes mit Außenluftansaugung und Fortluft an günstigen Ansaug-/Auslass-Bauwerkspositionen kommen dabei Luftleitungen in allen Varianten zur Anwendung, die in

Bezug auf Dichtheit nicht nur hinsichtlich der Durchdringungen der Gebäudehülle einer Beachtung bedürfen. Grund genug, sich hier dem Thema Luftleitungen zu widmen, ohne dabei unbedingt auf deren eigentliche Lüftungstechnische Funktion selbst eingehen zu wollen.

5.4.2 ENERGIEEINSPARUNG

Ca. 40 % des Gesamtenergieverbrauchs innerhalb der EU wie auch in Deutschland entfallen auf Gebäude. Ausgehend von der EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) lautet damit auch für den Betrieb raumlufttechnischer Anlagen die Zielsetzung, die CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Der Transport der Luft benötigt dabei den größten Teil der Energie. Verschiedene Maßnahmen, um das geförderte Luftvolumen zu reduzieren, können dazu beitragen, den Leistungsbedarf der eingesetzten Ventilatoren zu vermindern.

Tatsächlich sind es 2 Faktoren, die man mit Luftleitungen beeinflussen kann, betrachtet man die Gleichung für die Ventilatorleistung:

$$P_{el} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_t}{1000 \cdot \eta}$$

= Nennvolumenstrom + Leckage Druckverlust

Bild 5.29: Formel für die Ventilatorantriebsleistung.

Das Luftvolumen muss aber nicht nur gefördert, sondern je nach Anlagenfunktion auch aufbereitet (das heißt: gefiltert, erwärmt, gekühlt und gegebenenfalls be- oder entfeuchtet) werden. Ein lufthygienisch nicht notwendiges, z.B. durch Leckagen verursachtes, erhöhtes Luftvolumen verursacht also weitere Kosten – in der Regel über die gesamte Nutzungsdauer einer Anlage. Luft, die nicht aufbereitet und nicht gefördert werden muss, hat das höchste Energieeinsparpotenzial.

Ein (undichter) Kanal in Nichtwohngebäuden wird 20 Jahre und länger betrieben und kann, weil meist kaum zugänglich, nicht nachgebessert werden. Andere Komponenten können

ausgetauscht bzw. nachgebessert werden – Luftleitungen meist nicht. Die Formel für die Ventilatorantriebsleistung zeigt auch die Faktoren auf, welche sich mit Luftleitungen beeinflussen lassen. Grundsätzlich gilt es, erst einmal den benötigten Nennvolumenstrom zu ermitteln. Hier gibt es unterschiedliche Ansätze, was mit der kommenden Überarbeitung der DIN EN 15251 (erscheint unter EN 16798-1 bzw.-2) noch deutlicher werden wird.

Die künftigen RLt-Anlagenvarianten werden alle mehr oder weniger auf eine bedarfsabhängige Luftvolumenstromregelung hinauslaufen, wie auch in der EnEV gefordert. Die EnEV spricht in dem Zusammenhang von selbsttätiger Regelung in Bezug auf Feuchte, thermische und stoffliche Lasten in Abhängigkeit von der Zeit – wobei immer der „zum Zwecke der Gesundheit ... erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt“ sein muss. Mit künftig geringer bemessenen Volumenströmen wird somit auch die Überwachung der Raumluftqualität, z.B. nach VDI 6022 Blatt 3, sicherlich noch mehr Bedeutung erhalten.



Bild 5.30: Kombi-Messgerät mit Datenlogger für die in Beurteilungsstufe 1, VDI 6022-3 genannten Parameter der Raumluftqualität: Feuchte, Temperatur, CO₂. [Quelle: Fa. Wöhler]

Wie zu der Formel für die Ventilatorantriebsleistung bereits angemerkt, sind aber auch die Leckagen zu berücksichtigen, die an allen Komponenten, so auch an den Luftleitungen auftreten können.

Die Ventilatorformel täuscht eine lineare Abhängigkeit vor, tatsächlich aber geht der (Leckage-) Volumenstrom in der dritten Potenz ein, da nach Formel-Auflösung der Volumenstrom bereits bei Berechnung des Druckverlustes Δpt im Quadrat eingeht:

6 Dauerhaftigkeit der Gebäude-Luftdichtheit – Feldmessungen

Sören Peper

Für das schadenfreie und energiesparende Bauen stellt eine gute Luftdichtheit der Gebäudehülle eine zwingende Voraussetzung dar. Die Bemühungen in der Planung und bei der Umsetzung sowie die Kontrolle mittels Luftdichtheitsstest haben eine hochwertige Gebäudehülle als Ziel.

Produkte in Klimaschränken vorgenommen, um die Dauerhaftigkeit prüfen und sicherstellen zu können. Die zum Teil schon sehr langen Systemgarantien der Hersteller können die Sicherstellung der Luftdichtheit eines Gebäudes über Zeiträume von 30 bis 50 Jahren (je nach Bauteil) allerdings nicht abdecken, selbst wenn das Produkt die Anforderung sicherstellt. Im

– wie eigentlich generell notwendig – vor Baubeginn eine Planung der Luftdichtheit erfolgte. Ausgewählt wurden dafür Gebäude, bei denen das Luftdichtheitskonzept sowie die Erst- bzw. Abnahmemessung gut dokumentiert waren. So konnten bei den Nachmessungen insbesondere die bei den Erstmessungen gefundenen Leckagen überprüft werden. Des Wei-



Bild 6.1: Außenansichten der im Rahmen der Untersuchung auf Luftdichtheit geprüften Gebäude.

Es wird dann davon ausgegangen, dass die realisierte Luftdichtheit eines Gebäudes über die gesamte Lebensdauer bestehen bleibt. Dabei sind die folgenden Punkte relevant:

- **Planung:** Luftdichtheitskonzept mit Detailplanung aller Anschlüsse, Verbindungen und Durchdringungen
- **Material:** Eignung bzw. notwendige Qualitäten der verwendeten Produkte
- **Montage:** Handwerklich passende Umsetzung

In allen drei Bereichen gibt es Bemühungen in der Qualitätssicherung und -verbesserung. Im Bereich der Luftdichtheitsprodukte (Klebebänder, Folien, Dichtungsbänder und Spritzmassen etc.) werden unter anderem Versuche zur künstlichen Alterung der

Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e. V. wurden in der Arbeitsgruppe „Klebebänder“ zusammen mit Herstellern Kriterien zur Produktbewertung und Prüfung von Klebebändern erarbeitet. Unter anderem diese Ergebnisse fließen in die Erstellung der neuen Norm zu diesem Thema (DIN 4108 Teil 11) ein.

Aussagen zur Dauerhaftigkeit auf der Ebene des gesamten Gebäudes und nicht nur der Einzelprodukte, speziell für die Klasse von sehr gut luftdichten Gebäuden ($n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$), liegen bisher nur wenige vor. Aus diesem Grund wurden im Rahmen des Forschungsprojektes der Internationalen Energieagentur „IEA SHC Task 28 / ECBCS Annex 38“ bei insgesamt 17 Passivhäusern Luftdichtheits-Nachmessungen durchgeführt. Passivhäuser stehen in diesem Zusammenhang für energieeffiziente Gebäude, bei denen

terten wurden die Gebäude so ausgewählt, dass alle üblichen Bauweisen wie Massiv-, Leicht- und Mischbau sowie Betonschalungsstein vertreten sind.

Auf diesem Weg konnte die Dauerhaftigkeit der realisierten Konzepte nach 1,4 bis zu 10,5 Jahren überprüft werden. Es wurden Reihen- und Einzelhäuser in den unterschiedlichen Bauweisen an acht Standorten untersucht. Weitere Überprüfungen dazu werden im Jahre 2016 am ersten Passivhaus in Darmstadt-Kranichstein, dann nach 25 Jahren, durchgeführt.

Dieser Beitrag stellt eine Zusammenfassung des Forschungsberichtes „Zur Dauerhaftigkeit von Luftdichtheitskonzepten bei Passivhäusern. Feldmessungen“ [Peper/Kah/Feist 2005] dar, welcher im Rahmen des IEA-Projektes entstanden ist.

7 Der werkvertragsrechtliche Streit um Luftdichtheit

Ulf Köpcke

PRAXISHINWEISE FÜR DIE AUSSERGERICHTLICHE AUSEINANDERSETZUNG, FÜR DAS SELBSTSTÄNDIGE BEWEISVERFAHREN UND FÜR DEN BAUPROZESS

Der werkvertragsrechtliche Streit um die Luftdichtheit der wärmeübertragenden Gebäudehülle ist für Baupraktiker und Baujuristen nichts Ungewöhnliches mehr. Trotzdem sind mit solchen Streitigkeiten ganz spezifische Probleme verbunden:

Luftdichtheitsmängel der Gebäudehülle weisen in aller Regel über einen recht langen Zeitraum keine besonders auffällige oder gar dramatische Symptomatik auf. Der in diesem Sinne eher „schwachen“ Symptomatik steht aber häufig ein sehr hoher Aufwand für eine fachgerechte Mangelbeseitigung gegenüber. Schon die zuverlässige Feststellung von Art und Ausmaß der Ursachen mangelhafter Luftdichtheit der Gebäudehülle erfordert in den meisten Fällen Bauteilöffnungen erheblichen Umfangs. Schnell wird dann schon darüber gestritten, ob nicht bereits der mit solchen zerstörenden Prüfungen verbundene Untersuchungsaufwand unverhältnismäßig wäre. Entsprechend hoch ist die Neigung, solche eingehenderen Untersuchungen möglichst zu verhindern oder jedenfalls hinauszuzögern. Werden die Mängel der Gebäudehülle aber erst sehr bzw. zu spät – nämlich erst nach Eintritt von konvektiven Feuchteschäden, Schimmelpilzbefall und Schäden an der Konstruktion – entdeckt, betragen die Kosten für die Schadensbeseitigung häufig ein Vielfaches jenes Aufwands, der bei frühestmöglicher Mangelbeseitigung angefallen wäre.

Speziell unter juristischem Blickwinkel fällt bei Durchsicht der einschlägigen Rechtsprechung auf, dass im Rahmen der rechtstheoretischen Aufarbeitung des Umgangs mit solchen Mängeln noch relativ große Unsicherheit besteht. Begriffe werden häufig ungenau oder schlicht falsch verwendet (bei-

spielsweise „Luftdichtheit“, „Luftdichtigkeit“, „Winddichtheit“, „Dampfsperre“, „Dampfbremse“, „Luftdichtheitsebene“).

Die werkvertragsrechtliche Bedeutung der DIN 4108-7 oder der durch die Energieeinsparverordnung in Bezug genommenen Grenzwerte für eine normgerecht durchgeführte Luftdichtheitsprüfung wird meistens nicht durch die eigentlich dazu berufenen Gerichte, sondern bereits zuvor durch Sachverständigengutachten „definiert“ und anschließend von den Gerichten nur noch übernommen. Oft bleibt in den Gerichtsentscheidungen unklar, warum und für welche Teile der die Luftdichtheit der Gebäudehülle betreffenden Bauleistungen vom Vorliegen „allgemein anerkannter Regeln der Technik“ ausgegangen wird und warum die konkrete baurechtliche Beurteilung im Einzelfall nicht schon ohne Rückgriff auf solche technischen Regeln auf der ersten oder zweiten Stufe des vom Bundesgerichtshof zum Fehlerbegriff des Werkvertragsrechts entwickelten dreistufigen Prüfschemas erfolgt.

Der vorliegende Beitrag unternimmt den Versuch, praxistaugliche Anregungen und Hilfestellungen dafür zu geben, wie Streitigkeiten über die Qualität der Gebäudeluftdichtheit möglichst sachgerecht, unaufwändig und zielführend ausgetragen werden könnten. Diese Zielsetzung gilt für alle Stufen der rechtlichen Auseinandersetzung (außergerichtlich, im selbstständigen Beweisverfahren oder im Bauprozess) gleichermaßen. Dabei knüpft der vorliegende Beitrag direkt an die Darlegung der öffentlich-rechtlichen und werkvertragsrechtlichen Grundlagen zur Beurteilung der Gebäudeluftdichtheit in Bd. 1 der vorliegenden Veröffentlichung [1] an.

Wiederholungen der dortigen Ausführungen sollen möglichst vermieden werden, weshalb sich entsprechend Bezug nehmende Verweise nicht vermeiden lassen.

7.1 LUFTDICHTHEIT ALS NORMALER MANGEL IN DER HEUTIGEN GERICHTSPRAXIS

7.1.1 DIE RECHTLICHEN RAHMENBEDINGUNGEN

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle ist durch die Energieeinsparverordnung ordnungsrechtlich für jedes Neubauvorhaben zwingend vorgeschrieben, § 6 Abs. 1 EnEV (2014). Nach dieser Vorschrift sind Neubauten so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend den anerkannten Regeln der Technik abgedichtet ist. Wie jede zwingende bauordnungsrechtliche Anforderung wird damit die Luftdichtheit der Gebäudehülle werkvertragsrechtlich bei jedem Neubauvorhaben zu einem automatisch geschuldeten Teil des Bau-Solls, ohne dass diese Anforderung in den Verträgen zwischen Auftraggebern und Planern bzw. ausführenden Unternehmen gesondert erwähnt werden müsste. [2]

Dabei gilt das bauordnungsrechtliche Gebot einer luftdichten Gebäudehülle grundsätzlich bedingungslos. Insbesondere der im Verordnungstext enthaltene Hinweis auf die luftundurchlässige Abdichtung auch aller Bauteilfugen verdeutlicht dies. Dementsprechend hat der Ordnungsgeber auch absichtsvoll keine Grenzwerte für die einzuhaltende Luftdichtheit vorgegeben. [3] Soweit § 6 Abs. 1 S. 2 EnEV (2014) i.V.m. der dazugehörigen Anlage 4 auf Grenzwerte für die Luftwechselrate Bezug nimmt, beinhaltet dies ausschließlich eine optionale rechnerische Berücksichtigung der Luftdichtheit bei der Ermittlung des nach § 3 Abs. 3 und 4 Abs. 3 EnEV maßgeblichen Jahresprimärenergiebedarfs. Dass der Ordnungsgeber gleichzeitig die Herstellung der Luftdichtheit unter Beachtung der anerkannten Regeln der Technik vorschreibt, belegt außerdem die der EnEV zugrunde gelegte Annahme, wonach sowohl die Planung wie auch die Ausführung luftdichter Gebäudehüllen heutzutage