

# Luftdichtheit von Holzhäusern\*

Achim Geißler und Gerd Hauser, Kassel

Dipl.-Ing. Achim Geißler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Bauphysik der Universität Kassel

Dr.-Ing. Gerd Hauser ist Professor für Bauphysik der Universität Kassel

**Schlüsselwörter:** Luftdichtheit; Holzhäuser; Messungen

## Zusammenfassung

Luftdichtheitsmessungen mit der Blower Door-Methode an 87 Häusern in Holzbauweise liefern eine Fülle von Informationen über typische Leckagen derartiger Gebäude. Die Ergebnisse der Messungen werden anhand von Kenngrößen verglichen dargestellt. Die Verteilung der Gesamtleckage auf die Bereiche 'Keller', 'Kerngebäude' und 'Dachgeschoß' kann aus Zusatzmessungen abgeschätzt werden. Der Anteil der Leckage durch Fensterfalze wird ebenfalls abgeschätzt. Typische Leckagewege werden aufgezeigt und diskutiert.

\* Die diesem Artikel zugrunde liegenden Untersuchungen wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft geförderten, über die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. abgewickelten AIF Forschungsprojektes Nr. 9579 durchgeführt.

## 1 Bedeutung der Luftdichtheit

Die dringende Notwendigkeit, den Heizenergieverbrauch von Gebäuden aus umweltschutztechnischen Gründen drastisch zu reduzieren, ist umstritten. Hinsichtlich der Minimierung der Wärmeverluste lagen die Schwerpunkte der Forschung bislang im Bereich hochwärmemedämmender Konstruktionen und insbesondere der geeigneten Ausbildung von Anschlußdetails hinsichtlich Wärmebrücken. Das Forschungsinteresse hat sich jedoch seit einiger Zeit auf die Verringerung der Lüftungswärmeverluste verlegt, da der Anteil dieser Verluste prozentual mehr und mehr ins Gewicht fällt.

Die Dichtheit von Außenbauteilen ist aber nicht nur bezüglich des Heizenergieverbrauchs, sondern auch bezüglich der Bauschadensvermeidung, insbesondere bei zweischaligen Dach- und Wandkonstruktionen von größter Bedeutung [1]. In der Regel resultieren Durchfeuchtungsschäden von Dachkonstruktionen nicht wie bislang meist vermutet aus Diffusionsvorgängen, sondern aus Durchströmungsvorgängen [2, 3]. Die damit einhergehenden Wärmetransporte können die Wärmeverluste infolge Wärmeleitung ebenfalls weit übertreffen [4, 5, 6]. In der Praxis wird diesem Aspekt bislang viel zu wenig Bedeutung beigemessen. Die Kürze der Behandlung dieses Gesichtspunktes in DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau" [7], für die erst jetzt der Teil 7 "Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen" herausgegeben wird, und in der Wärmeschutzverordnung steht in keinem Verhältnis

nis zu ihrer Bedeutung [8, 9].

Bevor gezielt Maßnahmen ergriffen werden können, um zuverlässig eine ausreichende Luftdichtheit zu erreichen, müssen die Schwachstellen üblicher Konstruktionen detailliert bekannt sein. Dies gilt insbesondere für den Gebäudebestand, aber auch für neu zu bauende Gebäude.

Im folgenden werden Ergebnisse aus Luftdichtheitsmessungen mit der Blower Door-Methode [10, 11] an 87 Gebäuden in Holzbauweise vorgestellt. Ziel dieser Untersuchung ist es zum einen, die durchschnittliche Luftdichtheit von Holzhäusern zu ermitteln, zum anderen, typische Leckagen bzw. Schwachstellen in der Konstruktion zu bestimmen.

## 2 Objektauswahl

Die Auswahl der für die Messung der Luftdichtheit heranzuziehenden Objekte wird im wesentlichen anhand der folgenden Kriterien festgelegt:

- Die Gebäude sollen in Holzbauweise errichtet sein. Als 'Gebäude in Holzbauweise' werden auch ausgebaute Sparren- oder Pfettendächer sowie (in geringer Stückzahl) Fachwerkhäuser betrachtet.
- Die Objekte sollen nach Möglichkeit unterschiedlichen Alters sein.

- Die Objekte sollen im gesamten Bundesgebiet verteilt stehen.
- Die Gebäude sollen in einem Zustand sein, der als 'betriebsecht' betrachtet werden kann. Das bedeutet, die Gebäude sollen sich nicht im Bau befinden bzw. der Baufortschritt muß so weit sein, daß die Luftdichtheitsebene als fertiggestellt betrachtet werden kann.

Im Verlauf des Projektes erweist sich jedoch die Verfügbarkeit von Objekten als maßgebliches Auswahlkriterium.

Für die Einteilung der Objekte und die Auswertung der Messungen werden die folgenden Kategorien von Holzbauweisen festgelegt:

- **Fertighaus:** Gebäude, die in industriellem Maßstab, d. h. in größeren Stückzahlen mit identischen Konstruktionsdetails hergestellt werden und weitestgehend vorgefertigt an die Baustelle geliefert werden.
- **Holzrahmenbau:** Gebäude, die als Einzelstücke bzw. in geringer Stückzahl in Holzrahmenbauweise erstellt werden.
- **Holzsänderbau:** Gebäude, die als Einzelstücke bzw. in geringer Stückzahl in Holzsänder- bzw. Holzskelettbauweise erstellt werden.
- **Blockhaus:** Gebäude, deren Außenwände aus massiven Balken bestehen.
- **ausgebautes Dachgeschoß:** Zu Wohnzwecken hergerichtete Dachgeschosse von Häusern in Massivbauweise.
- **Fachwerkhaus:** Gebäude, die in Fachwerkbauweise errichtet wurden, jedoch keine Fertighäuser sind.

Die untersuchten Objekte werden weiterhin nach dem Alter des Gebäudes zum Zeitpunkt der Messung in fünf Kategorien eingeteilt. Die Kategorie 'Fachwerkhaus' nimmt hierbei eine Sonderstellung ein. Eine Messung eines nicht in erheblichem Maße sanierten Fachwerkgebäudes scheint nicht sinnvoll. Die Angabe des Datums der Fertigstellung von Sanierungsmaßnahmen als Baujahr erscheint jedoch ebenfalls nicht angebracht, müssen bei Fachwerkhäusern doch häufig aus unterschiedlichsten Gründen große Kompromisse bei Sanierungsarbeiten eingegangen werden. Alle gemessenen Fachwerkhäuser werden daher der Alterskategorie 'über 15' zugeordnet.

Die Alterskategorien werden wie folgt festgelegt: Das Alter des Gebäudes beträgt zum Zeitpunkt der Messung

- **bis zu einem Jahr**

- **bis fünf** Jahre
- **bis zehn** Jahre
- **bis fünfzehn** Jahre und
- **über fünfzehn** Jahre

In jeder genannten Bauweisen-Kategorie und nach Möglichkeit auch in jeder Alters-Kategorie werden mehrere Objekte gemessen. Tabelle 1 gibt einen Überblick, wie sich die gemessenen Objekte in die einzelnen Kategorien aufteilen.

**Tabelle 1:** Übersicht über die Verteilung der untersuchten Objekte auf die Kategorien 'Bauweise' und 'Alter'.

Alterskategorie	bis					$\Sigma$
	1	5	10	15	über 15	
Fertighäuser	28	14	5	4	2	53
Holzrahmenbauten	14	1	–	–	1	16
Holzsänder-/Holzskelettbauten	3	1	2	–	1	7
Blockhäuser	2	–	–	–	–	2
ausgebaute Dachgeschoße	1	2	1	–	–	4
Fachwerkhäuser	–	–	–	–	5	5
$\Sigma$	48	18	8	4	9	87

### 3 Meßergebnisse

Als Vergleichsgrößen für die Dichtheit von Gebäuden werden in der Literatur unterschiedliche Kenngrößen herangezogen. In vorliegender Untersuchung werden vergleichende Betrachtungen und Gegenüberstellungen von Gebäuden und Bauweisen anhand der Kenngrößen  $n_{50}$  und NBV [12], durchgeführt. Die Kenngröße  $n_{50}$  entspricht dem Luftwechsel, also dem ausgetauschten Luftvolumen bezogen auf das Gebäudevolumen, bei einer Druckdifferenz von 50 Pa zwischen dem Gebäudeinneren und der Umgebung. Die Kenngröße NBV ist der Quotient aus dem bei 50 Pa Druckdifferenz durch die Gebäudehülle strömenden Luftvolumenstrom und der Nettogrundfläche des Gebäudes.

Für sämtliche Betrachtungen der ermittelten Kenngrößen ist die jeweilige Objektanzahl und auch das durchschnittliche Alter dieser Objekte zu berücksichtigen (siehe Tabellen 1 und 2).

### 3.1 Randbedingungen

Eine Luftdichtheitsmessung nach der Blower Door-Methode besteht aus einer Unterdruckmessung, bei der mit dem zum Meßsystem gehörenden Ventilator Luft aus dem Gebäude abgesaugt wird und einer Überdruckmessung, bei der der Ventilator die Luft in das Gebäude drückt. Gemessen wird der vom Ventilator geförderte Volumenstrom und die dadurch über die Gebäudehülle aufgebrachte Druckdifferenz.

Zur Bildung der Kenngrößen werden die Meßwerte 'Volumenstrom',  $\dot{V}$ , und 'Druckdifferenz über die Gebäudehülle',  $\Delta p$ , für jedes Objekt zunächst anhand des üblichen Exponentialansatzes

$$\dot{V} = C \Delta p^{0,65}$$

durch Ermittlung des Luftdurchlässigkeitskoeffizienten  $C$  angepaßt. Anhand der so gewonnenen Gleichungen wird der Volumenstrom für 50 Pa Druckdifferenz bestimmt. Die vereinfachende Annahme des Druckexponenten zu  $n = 0,65$  kann bei Gebäuden mit typischen Leckagen angesetzt werden [13]. In Bild 1 sind die durch freie Anpassung ermittelten Druckexponenten, der Mittelwert für Über- sowie Unterdruckmessungen und die Häufigkeitsverteilung der durch die vorgenommene Festlegung von  $n = 0,65$  entstehenden Abweichung des Volumenstromes bei 50 Pa Druckdifferenz dargestellt. Es ist ersichtlich, daß die Abweichung vernachlässigbar und damit die Vereinfachung zulässig ist.

Für alle folgenden Betrachtungen wird der Druckexponent  $n$  daher konstant zu 0,65 angenommen und es wird mit den anhand der Kurvenanpassung berechneten Volumenströmen gearbeitet.

### 3.2 Ergebnisse im Überblick

Bild 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der bei dieser Untersuchung ermittelten  $n_{50}$ -Werte im Vergleich mit Werten aus anderen Untersuchungen [4, 14, 15]. Es ist zu erkennen, daß nur die Gebäude der in [14] vorgestellten Untersuchung expliziter Niedrigenergiehäuser (NEH) im Mittel eine Tendenz zu einer höheren Luftdichtheit aufweisen.

In Tabelle 2 sind, getrennt in die vorgestellten Bauweisenkategorien, die sich aus der jeweils genannten Anzahl Objekte ergebenden mittleren Alter sowie die mittleren  $n_{50}$ - und NBV-Werte wiedergegeben. In Tabelle 3 sind die entsprechenden Daten nach den Alterskategorien aufgeschlüsselt dargestellt.

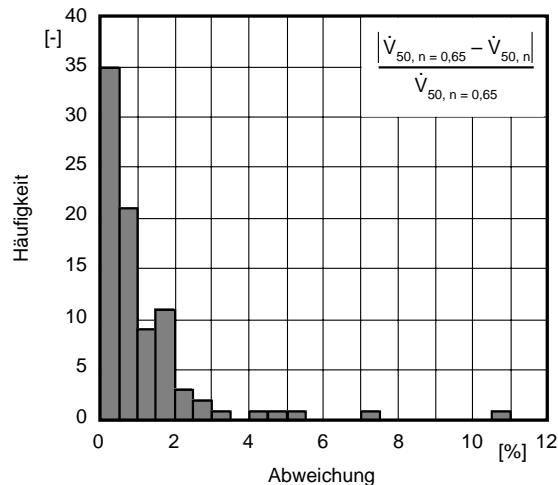
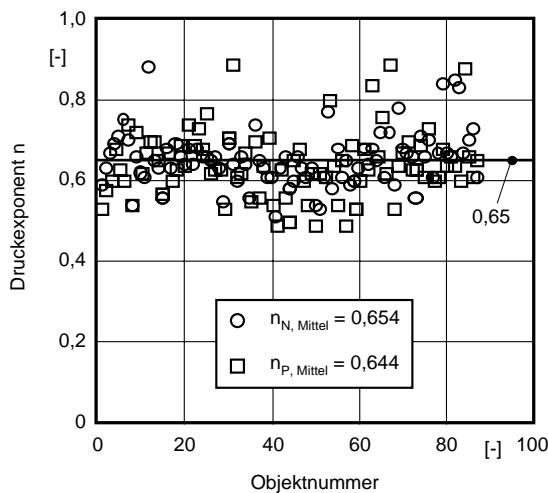
**Tabelle 2:** Bauweise, Objektzahl, mittleres Alter sowie mittlere  $n_{50}$ - und NBV-Werte.

Bauweisen-kategorie	Anz. Obj. [-]	mittl. Alter. Jahre	$n_{50}$ $\text{h}^{-1}$	NBV $\frac{\text{m}^3}{\text{h m}^2}$
Fertighäuser	53	4,7	4,2	10
Holzrahmen-bauten	16	2,4	4,4	10
Holzständer-häuser	7	6,9	5,5	16
Blockhäuser	2	1,0	5,3	17
ausgebaute Dachgeschoße	4	5,3	4,4	13
Fachwerkhäuser*	5	20,0	12,6	28

(\* siehe Hinweise zu der Altersfestlegung)

**Tabelle 3:** Alterskategorie, Objektzahl sowie mittlere  $n_{50}$ - und NBV-Werte.

Alterskategorie	Anz. Obj. [-]	$n_{50}$ $\text{h}^{-1}$	NBV $\frac{\text{m}^3}{\text{h m}^2}$
bis 1	48	3,2	8
bis 5	18	5,6	14
bis 10	8	4,3	11
bis 15	4	4,5	11
über 15	9	13,4	30

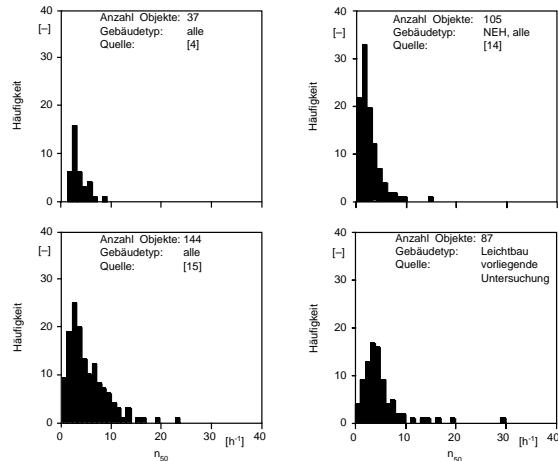


**Bild 1:** Druckexponenten anhand freier Anpassung, für Über- ( $n_P$ ) bzw. Unterdruckmessungen ( $n_N$ ) und Abweichung des Volumenstromes durch die Annahme eines konstanten Druckexponenten  $n = 0,65$ .

### 3.3 Bewertung

Der Entwurf zum Teil 7 der DIN 4108 [8] nennt Mindestanforderungen an die Luftdichtheit der Gebäudehülle; für Gebäude ohne lüftungstechnische Anlage wird  $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$  bzw.  $\text{NBV}_{h=2,5m} \leq 7,5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  beziehungsweise für Gebäude mit lüftungstechnischer Anlage  $n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$  bzw.  $\text{NBV}_{h=2,5m} \leq 2,5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  genannt. Für Gebäude mit lüftungstechnischer Anlage mit Wärmerückgewinnung ist die genannte Anforderung auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage als Mindestanforderung zu betrachten.

In Bild 3 ist die prozentuale Häufigkeitsverteilung des  $n_{50}$ - und des NBV-Wertes der im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung gemes-



**Bild 2:** Häufigkeitsverteilung der im Rahmen dieses Forschungsprojektes ermittelten  $n_{50}$ -Werte neben Werten aus Messungen in Deutschland, in Schweden und in der Schweiz.

senen Gebäude aufgezeigt. In beiden Diagrammen sind zusätzlich die o. g. Anforderungen an den NBV-Wert angegeben. Die angesetzte mittlere Geschoßhöhe von 2,5 m entspricht dem Mittelwert der mittleren Geschoßhöhe aller gemessenen Gebäude. Es ist ersichtlich, daß der überwiegende Teil der gemessenen Gebäude beide Anforderungen nicht erfüllt.

Nur 30 % der Gebäude sind für Fensterlüftung als hinreichend luftdicht zu erachten, nur 5 % der im Rahmen dieses Forschungsprojektes gemessenen Gebäude genügen der Anforderung für Gebäude mit Lüftungsanlage.

### 3.4 Ergebnisse von Detailuntersuchungen

Im Rahmen der Messungen können einige Gebäude detaillierter, d. h. bereichsweise untersucht werden. In Tabelle 4 ist ein Überblick über diese zusätzlich durchgeföhrten Messungen gegeben. Allerdings konnten derartige Untersuchungen nur innerhalb der Bauweisenkategorie 'Fertighaus' an einer für eine getrennte Betrachtung ausreichenden Anzahl Gebäude durchgefördert werden. Alle anderen Kategorien sind zu hier zu 'sonstige' zusammengefaßt.

Aus diesen zusätzlich durchgeförderten Messungen können folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Im Mittel weisen die Gebäude eine Leckageverteilung auf, bei der rund 24 % im Bereich des Dachgeschosses und ungefähr 18 % im Keller verursacht werden. Hierbei entsteht die Leckage im Keller vorwiegend im Bereich des Heizungskellers (vgl Bild 4).

**Tabelle 4:** Übersicht über 42 zusätzlich durchgeführte Detailuntersuchungen an 34 Objekten.

Objekttyp	Keller	Dach	$\Sigma$
Fertighaus	14	12	26
sonstige	8	8	16

- Erhebliche Teile der Gesamtleckage entstehen typischerweise durch Bereiche, die bei der Planung offensichtlich als nicht zum Gebäudeinneren gehörig betrachtet werden. Hier seien beispielsweise Abseitenräume genannt, die zwar außerhalb der Wärmedämmung liegen und mit ggf. gut abgedichteten und wärmegedämmten Türen versehen sind, in denen jedoch Installationen verlegt sind, die unabgedichtet in Leichtbaudecken und -wände geführt werden (vgl. auch die Bilder 6, 7 und 8)

Auch Türen zu unbeheizten Kellerräumen bzw. Durchdringungen von Wänden und Decken zwischen unbeheizten und beheizten Teilen des Gebäudes (vgl. Bild 9) sind zu nennen.

- Extremwerte von bis zu 70 % der Gesamtleckage über den Dachbereich können insbesondere bei Fertighäusern dann vorkommen, wenn das Gebäude als 'Ausbauhaus', d.h. also mit erheblichen Eigenleistungen des Bauherren vor allem im Dachbereich, verkauft wurde. Bezeichnend ist hier, daß derartige Objekte mehrfach von den Bauherren beim Hersteller reklamiert wurden.

Gerade im Dachbereich ist daher überlegenswert, ob die Dichtheitsebene nicht grundsätzlich vom Hersteller möglichst weit außen und bis zum First durchgehend gelegt wird. Auf diese Weise wären sowohl die Ausbauhausproblematik gelöst als auch eventuelle Undichtheiten in der Kehlbalkenlage unbedeutend.

### 3.5 Leckageanteil der Fenster

Mit den zur Verfügung stehenden Daten über laufende Meter Fensterfalze vieler der gemessenen Gebäude kann abgeschätzt werden, wie groß der Leckageanteil der Fensterfalze an der Gesamtleckage der Gebäude typischerweise ist.

Diese Abschätzung bedingt, für die Fensterfalze eine Annahme hinsichtlich des Luftdurchlaßkoeffizienten zu treffen. In Tabelle 5 sind die angesetzten Luftdurchlaßkoeffizienten für drei Fälle zusammengefaßt: Meßwerte aus [16] sowie die Beanspruchungsgruppen A bzw. B-D aus [17].

**Tabelle 5:** Luftdurchlaßkoeffizienten für Fenster. Meßwerte aus [16] sowie Grenzwerte gemäß DIN 18055 [17] für die Beanspruchungsgruppen A bis D.

Fall	a	
	$[\frac{m^3}{h \text{ m } Pa^n}]$	$[\frac{m^3}{h \text{ m daPa}^{-\frac{1}{2}}}]$
Mittelwert gemessen	0,05	0,2
Beanspruchungsgruppe B-D	0,22	1,0
Beanspruchungsgruppe A	0,43	2,0

In Bild 5 ist für die genannten Annahmen der Anteil der Leckage durch die Undichtheit von Fenstern an der Gesamtleckage der gemessenen Objekte aufgezeigt. Es ist ersichtlich, daß die Leckage der Fenster für die Gesamtleckage eine untergeordnete Rolle spielt. Hierbei ist zu betonen, daß dieser Betrachtung ausschließlich die Leckage durch die Fenster selbst, also durch die Dichtungsebene (Falze) der Fenster zugrunde liegt. Die meist vorhandene aber nicht ohne weiteres quantifizierbare Leckage durch den Fenstereinbau ist nicht berücksichtigt.

## 4 Diskussion typischer Leckagewege und Leckagen

Viele in Zusammenhang mit den Messungen stattfindende Diskussionen haben gezeigt, daß die bislang übliche Detaildarstellung kaum geeignet scheint, die für eine luftdichte Konstruktion wesentlichen Punkte allgemein verständlich und zuverlässig zu erfassen. Eine Folge hiervon ist, daß einige typische Schwachstellen in der Konstruktion älterer Gebäude auch bei neuen Gebäuden immer wieder vorkommen. Insbesondere sekundäre Leckagen führen in Holzhäusern schnell zu unerwartet hohen Gesamtleckagen. Diesen sekundären Leckagen häufig zugrunde liegende Leckagewege werden im folgenden kurz beschrieben.

### 4.1 Leckagewege

Die durchgeführten Messungen haben insbesondere auch bei Fertighäusern häufig Leckagen aufgedeckt, die eine Durchströmung von Wänden und Decken ermöglichen. In den Bildern 6 bis 10 sind Beispiele für typische Fälle derartiger Leckagewege skizziert.

Die Luftdichtheitsebene ist bei dem in Bild 6 skizzierten Aufbau in der Abseitenwand und im Dach sowie in der obersten Geschoßdecke vorgesehen. Diese Ebenen werden allerdings mehrfach durchdrungen, was zu den dargestellten typischen Leckagewegen führt. Im Laufe einer Blower Door-Messung werden als Folge 'undichte Steckdosen' bzw. 'undichte Einbauspülkästen' und dergleichen festgestellt. Bei der in Bild 7 skizzierten Konstruktion ist die Luftdichtheitsebene im Dach bis zur Fußpfette durchgehend. Häufig wird die Folie, welche als Luftdichtheitsschicht fungiert, jedoch nicht an der Fußpfette und den Giebelwänden luftdicht befestigt. So ist diese Anbindung nur im Bereich der Sparren dicht. Weiterhin führen meist Türen in den Abseitenbereich, um diesen beispielsweise als Abstellraum nutzen zu können. Da die Folie selten geschützt ist, wird sie innerhalb kurzer Zeit eine Vielzahl von Verletzungen aufweisen.

Bei beiden Konstruktionen ist zusätzlich der stirnseitige Abschluß der Geschoßdecke in den Gefachen ein kritischer Bereich. Sind hier Leckagen vorhanden, kann wiederum praktisch die ganze Konstruktion von innen nach außen oder umgekehrt durchströmt werden.

Eine typische Ausbildung des Anschlußbereiches Spitzboden/beheizter Teil des Gebäudes ist in Bild 8 skizziert. Die Luftdichtheitsschicht ist in der Kehlbalkenlage verlegt. Diese Schicht wird jedoch häufig von Kabeln oder anderen Installationen durchdrungen. Hierdurch entstehen Leckagen auch in die Innenwände des Gebäudes, die bei einer Messung wiederum als 'undichte Steckdose in der Innenwand' usw. feststellbar sind.

Derartige Leckagewege können nicht nur im Dachbereich auftreten. Auch Verbindungen von unbeheizten Räumen oder angebauten Garagen mit Hohlräumen einer Leichtbau-Wand oder einer Leichtbau-Decke bereiten der Luft den Weg in die gesamte Konstruktion. In Bild 9 ist ein solcher Leckageweg skizziert. Durch ein einfaches Kellerfenster mit Daueröffnungen beispielsweise, dringt Luft in den Kellerraum ein. Über Durchdringungen der Kellerdecke für Installationen gelangt die Luft in die Innenwände und damit in den beheizten Teil des Gebäudes.

Weitere kritische Bereiche sind Ausbildung und Einbau von Rolladenkästen. Hier sind zwei Aspekte zu beachten: zum einen muß der Rolladenkasten so in die Wand eingebaut sein, daß keine direkten Leckagen im Randbereich entstehen. Zum anderen muß der Kasten selbst so konzipiert sein, daß durch ihn keine indirekten Leckagen entstehen können (vgl. Bild 10).

## 4.2 Leckagen

Vor dem Hintergrund oben angeführter Leckagewege soll die im Rahmen der vorgestellten Untersuchung festgestellte Häufigkeit verschiedener

**Tabelle 6:** Größenordnung der Leckage durch Türen zu unbeheizten Räumen, Spitzbodenluken sowie Rolladenantrieben bei 50 Pa Druckdifferenz.

	Typ.	Wert	Max.-wert
		$\frac{m^3}{h}$	$\frac{m^3}{h}$
Türe zu unbeh. Räumen	150	300	
Luke zum Spitz- boden	100	500	
Rolladenantrieb	0,5 [18]	2,4 [18]	

Leckagen betrachtet werden. In Bild 11 ist ein Überblick über die am häufigsten vorgefundenen Leckageorte gegeben. Aufgetragen ist das Vorkommen einer bestimmten Leckage bezogen auf das Vorkommen eines der genannten Details. Leckagen wie beispielsweise Außenwand/Boden sind selbstverständlich auf die Gesamtanzahl aller gemessenen Objekte bezogen.

Von den aufgeführten Leckagen können im Rahmen der durchgeföhrten Messungen Türen zu unbeheizten Räumen und Luken zum Spitzboden grob quantifiziert werden. Gemessene Luftdurchlaßkoeffizienten für Rolladenantriebe (Riemen- und Kurbelantriebe) sind in [18] angegeben. Tabelle 6 enthält eine Übersicht über die Größenordnung dieser Leckagen.

Stellt man die in Tabelle 6 genannten Maximalwerte des Volumenstroms bei 50 Pa Druckdifferenz dem für Einfamilienhäuser typischen Volumen von ca. 300-500 m<sup>3</sup> gegenüber, so ist ersichtlich, daß bereits eins der genannten Schwachstellen 'Türe zu unbeheiztem Raum' bzw. 'Luke zum Spitzboden' genügen kann, um eine für Lüftungsanlagen unzureichende Luftdichtheit vorzufinden. Die häufig diskutierten Rolladenantriebe dagegen wirken sich kaum auf die Luftdichtheit aus.

## 5 Zusammenfassung

Luftdichtheitsmessungen an insgesamt 87 über ganz Deutschland verteilten Holzhäusern unterschiedlicher Bauweise und unterschiedlichen Alters werden durchgeführt. Die Gebäude, an denen die Messungen durchgeföhrten werden, sind nahezu ausschließlich 'normale Häuser', also keine explizit als 'Niedrigenergiehaus' oder anderweitig speziell geplante bzw. errichtete Häuser.

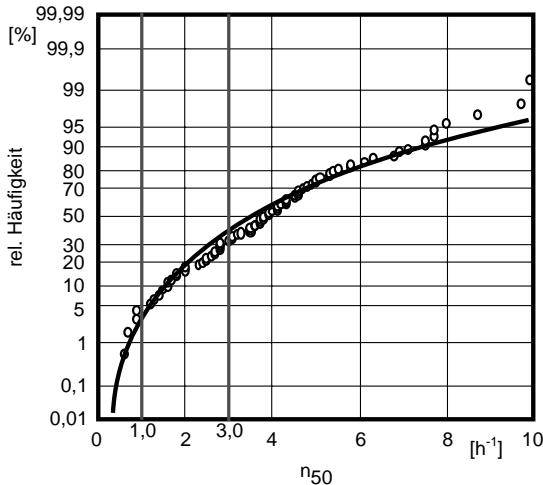
Nur 30 % der hier untersuchten Gebäude erfüllen die zu erwartenden Anforderungen an die Luftdichtheit für Gebäude mit Fensterlüftung, nur 5 % erweisen sich als für den Einbau einer lüftungstechnischen Anlage genügend luftdicht.

Wird die 'vertikale' Leckageverteilung betrachtet, zeigen durchgeführte Zusatzmessungen, daß im Mittel ca. 23 % der Gesamtleckage über den Dachbereich und knapp 20 % der Leckage über den Keller entstehen. Extremwerte im Dach sind hierbei über 70 % der Gesamtleckage. Diese Extremwerte können bei 'Ausbauhäusern' gemessen werden.

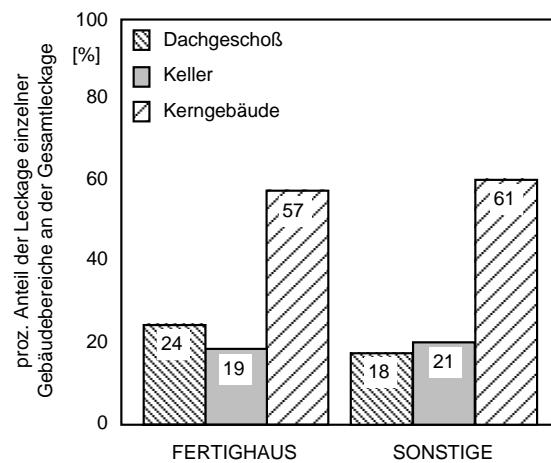
Im Rahmen der Messungen wiederholen sich bestimmte festgestellte Leckagen bei einer überwiegenden Anzahl von Objekten. Als Schwachpunkte in der Luftdichtheit können insbesondere konzeptionelle Fehler im Dach- und Kellerbereich, Luken zum Spitzboden, Außenwand/Boden-Anschlüsse, die Fensterlaibung sowie Türen zu unbeheizten Räumen genannt werden.

## Literatur

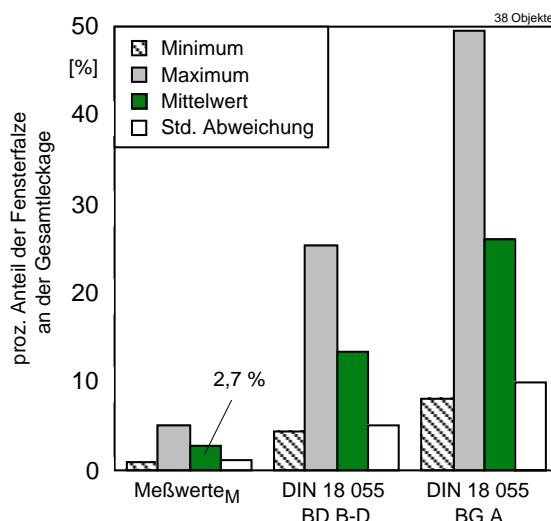
- [1] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn. *Dritter Bericht über Schäden an Gebäuden*, Januar 1996.
- [2] Schulze, H. *Vermeidung von Feuchteschäden im Holzhausbau*. Forschungsbericht, TU Braunschweig, August 1990.
- [3] Wagner, H. *Luftdichtigkeit und Feuchteschutz beim Steildach mit Dämmung zwischen den Sparren*. wksb (1989), 27.
- [4] Kropf, F., Michel, D., Sell, J., Zumoberhaus, M. und Hartmann, P. *Luftdurchlässigkeit von Gebäudehüllen im Holzhausbau*. Bericht 218, EMPA Dübendorf/Schweiz, Nov 1988.
- [5] Hauser, G. und Maas, A. *Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmsschichten*. Deutsche Bauzeitschrift 24 (1992), H. 1, S. 97–100.
- [6] Scharte, N. *Bedeutung der Winddichtigkeit ausgebauter Dachgeschosse*. Bauhandwerk (1989), 5.
- [7] DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau", August 1981.
- [8] DIN V 4108 "Wärmeschutz im Hochbau", Teil 7 "Luftdichtheit von Bauteilen und An schlüssen", Vornorm, November 1996.
- [9] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV). vom 16. August 1994.
- [10] The Energy Conservatory. *Minneapolis Blower Door Operational Manual Model 3*. 5158 Bloomington Ave. S. Minneapolis, MN 55417.
- [11] Geißler, A. und Hauser, G. *Messung und Kennzeichnung der Luftdichtheit von Gebäuden*. DBZ 43 (1995), H. 10, S. 213–219.
- [12] Hauser, G. und Geißler, A. *Kenngrößen zur Beschreibung der Luftdichtheit von Gebäuden*. wksb (1995), Sonderausgabe Dezember.
- [13] Blasnik, M. und Fitzgerald, J. *In Search of the Missing Leak*. Home Energy (November/December 1992), 6.
- [14] Zeller, J., Dorschky, S., Borsch-Laaks, R. und Feist, W. *Luftdichtigkeit von Gebäuden*. Forschungsbericht, IWU/EBÖK/EUZ, August 1995.
- [15] Orme, M., Liddament, M. und Wilson, A. *An Analysis and data summary of the AIVC's numerical database*. Technical Note AIVC 44, Air Infiltration and Ventilation Centre, University of Warwick Science Park, March 1994.
- [16] Schmid, J. et al. *Lüftung im Wohnungsbau*. Forschungsbericht, ift – Institut für Fenster technik e.V., Rosenheim, 1983.
- [17] DIN 18055 "Fenster – Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung. Anforderungen und Prüfung.", Oktober 1981.
- [18] Hartmann, P., Mühlbach, H. und Steinemann, U. *Retrofit–Planning–Tools for institutional and residential buildings with user influenced air infiltration*. In 4th AIC Conference, Air Infiltration Reduction in existing Buildings (September 26–28 1983).



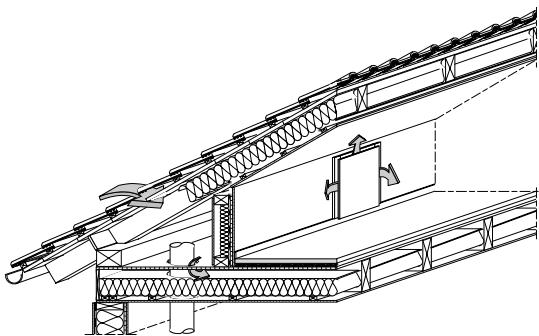
**Bild 3:** Prozentuale Verteilung der gemessenen Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz sowie der NBV-Werte. Es sind die in der Vornorm DIN 4108-7 genannten Anforderungen an die Luftdichtheit eingezeichnet. (Für den NBV-Wert wird eine mittlere Geschoßhöhe von 2,5 m angesetzt).



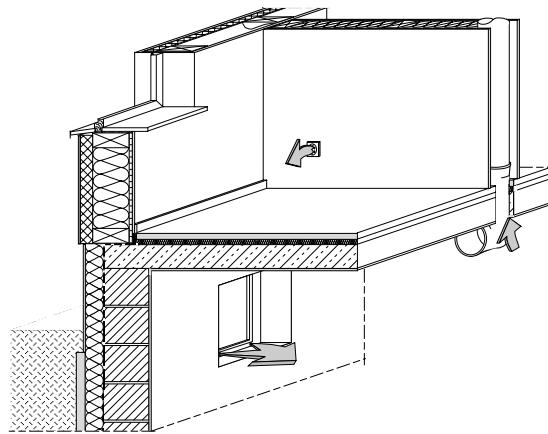
**Bild 4:** Mittlere prozentuale Verteilung der Gesamtleckage auf die Bereiche 'Dachgeschoß', 'Kerbereich' sowie 'Keller'. Mittelwerte aus 26 respektive 16 Zusatzmessungen an insgesamt 34 Objekten.



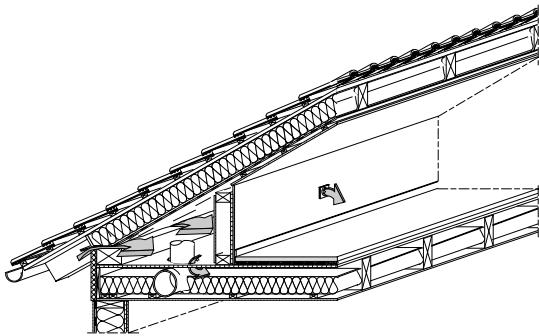
**Bild 5:** Prozentualer Anteil der Leckage durch Fensterdichtungen (Falze) an der Gesamtleckage. Zugrundegelegt sind die in Tabelle 5 genannten Fugendurchlaßkoeffizienten.



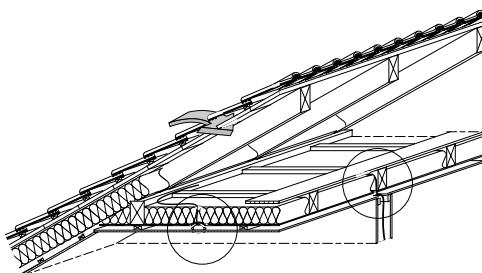
**Bild 6:** Darstellung typischer Leckagewege im Abseiten-/Drempel-Bereich.



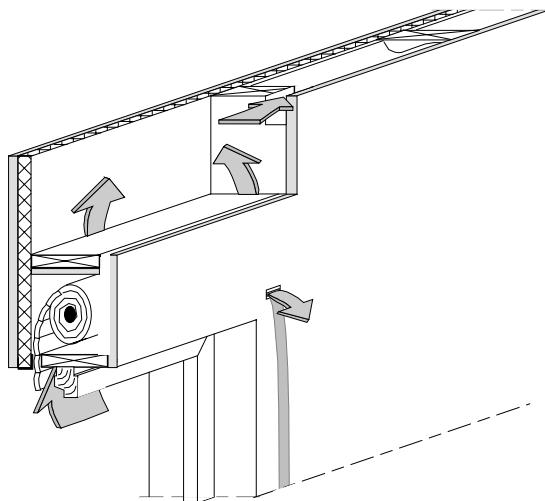
**Bild 9:** Ausschnitt im Keller-/Kellerdeckenbereich mit typischen Leckagewegen.



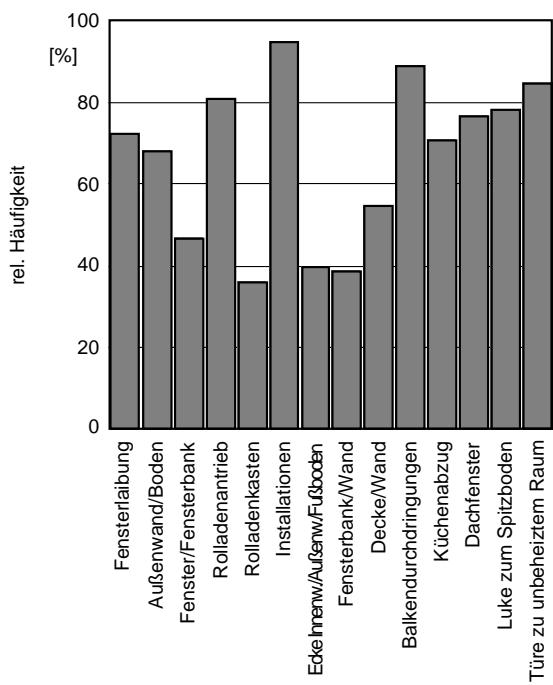
**Bild 7:** Darstellung typischer Leckagewege im Abseiten-/Drempel-Bereich mit in der Dachebene bis zur Fußpfette durchgezogenen Luftdichtheits-schicht.



**Bild 8:** Dachauschnitt im Bereich der Kehlbalken-lage mit zwei typischen Leckagemöglichkeiten.



**Bild 10:** Ausschnitt im Bereich eines Fenstersturzes mit in die Wand integriertem Rolladen'kasten'.



**Bild 11:** Übersicht über die Häufigkeit bestimmter Leckageorte, ausgedrückt als prozentualer Anteil derjenigen Gebäude, die eine bestimmte Leckage aufwiesen, an den Gebäuden, die das betreffende Detail hatten.