

## Luftdurchlässigkeit von schweizerischen Wohnhäusern in Holz- oder gemischter Bauweise \*

J. Sell, F. Kropf, D. Michel, Abteilung Holz, und P. Hartmann, Abteilung Bauphysik  
Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA), Dübendorf



Messungen der Luftdurchlässigkeit an verschiedenen Typen von über 30 Wohnbauten in Holz- oder gemischter Bauweise in der Schweiz haben ergeben, daß – mit Ausnahme von einigen ausgereiften vorfabrizierten Häusern – der Lüftungswärmeverlust durch die Gebäudehülle oft groß ist. Im Hinblick auf die Verbesserung des Ansehens des Holzhausbaus, auf die Vermeidung von Zugerscheinungen bzw. Verbesserung der Behaglichkeit und vor allem, um die Lüftungswärmeverluste zu reduzieren, sind umfassende Maßnahmen erforderlich. Beim Neubau konzentrieren sich die Bemühungen auf die sorgfältige Planung von Konstruktionsdetails, auf organisatorische Maßnahmen, auf eine saubere Ausführung kritischer Anschlüsse und auf eine Kontrolle der Ausführung. Beim Altbau sind bewährte Verbesserungsmaßnahmen zu erarbeiten und populär zu machen. In Anlehnung an Länder mit großer Erfahrung im Holzhausbau sind – neben Verbesserungen der Konstruktionsdetails – auch in der Schweiz der Einsatz von trockenem Bauholz und eine gewisse Standardisierung und Verkleinerung der Bauholzquerschnitte erstrebenswert.

### Air permeability of Swiss domestic houses with wooden or wood/brick constructions

Measurements (in Switzerland) of the air permeability of more than 30 different domestic dwellings built of wood only, or wood and brick combined, have demonstrated that – with exception of some well-conceived prefabricated buildings – the heat losses due to air infiltration through the building envelope are frequently quite great. In order to reduce these heat losses, to eliminate uncomfortable draft and to improve the image of wooden houses in general, comprehensive measures are required. For newly to be built houses, the efforts must go towards a knowledgeable planning of decisive construction details and their careful execution, a good timing of relevant construction steps and a better supervision. For the upgrading of existing buildings, measures of proven efficiency have been developed and should be passed on to the building trade on a large scale. In analogy to countries with a long experience in wooden housing construction, a reduction of cross sections and the use of dry lumber is to be encouraged in order to reduce the air permeability of the building envelope.

### 1 Einleitung

Unter dem Titel „Luftdichtigkeit der Gebäudehülle“ wurde an der EMPA – nach über 3jähriger Laufzeit – ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben abgeschlossen. Generelles Ziel der Untersuchung war es, einerseits den Holzhausbau in der Schweiz zu fördern, andererseits Heizenergie einzusparen.

\* Die Untersuchung wurde durch den Schweiz. Nationalfonds, NFP 12/Holz, unterstützt

Es sind drei Gründe, die in den letzten Jahren dazu geführt haben, daß insbesondere bei Holzbauten ein kontrollierter Luftaustausch immer wichtiger wird:

Wegen der wesentlich besseren Wärmedämmung heutiger Bauten spielen die Lüftungsverluste anteilmäßig eine immer größere Rolle;

Bewohner reagieren heute in der Regel erheblich empfindlicher auf Komfortbeeinträchtigungen durch unzulässige Luftströmungen;

schließlich können Leckstellen der Gebäudehülle auch zu Feuchteschäden infolge Kondensatbildung führen.

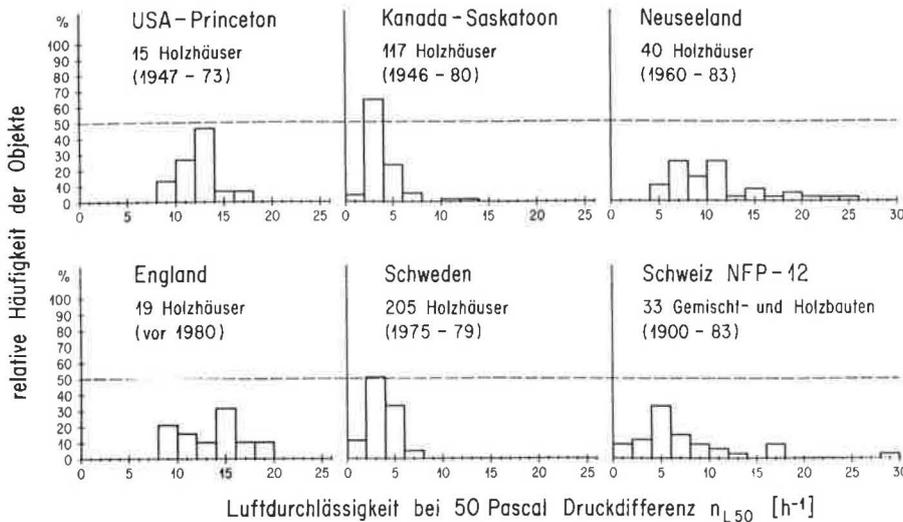
Ein kontrollierter Luftaustausch kann an sich auf einfache Weise mit einer mechanischen Belüftung erzielt werden. Da der Einführung mechanischer Lüftungsanlagen, wie sie in nordischen Staaten häufig, z. T. sogar gesetzlich vorgeschrieben sind, bei uns erhebliche Hindernisse entgegenstehen, kann ein zweiter Weg eingeschlagen werden. Hierbei wird durch eine angepaßte Luftdurchlässigkeit der Fassade ein „Grundluftwechsel“ garantiert. Durch zusätzliches Öffnen der Fenster kann der Benutzer den Luftwechsel nach Bedarf erhöhen.

Holzhäuser stehen bei uns im Ruf, wegen ihrer großen Fugenzahl und weil Konstruktionsholz nach dem Einbau oft erheblich schwindet, häufig zu luftdurchlässig zu sein. Es ist eine wichtige Frage, ob dies wirklich so ist. So werden z. B. in der Schweiz demnächst Richtwerte für angepaßte Luftdurchlässigkeiten der Gebäude in Kraft gesetzt (im Rahmen einer SIA-Norm). Für fensterbelüftete Bauten ist dies ein Bereich mit einem oberen und unteren Grenzwert. (Um Einbußen der Luftqualität und zu hohe Raumluftfeuchtigkeiten zu vermeiden, darf die Luftdurchlässigkeit fensterbelüfteter Gebäude auch nicht zu tief liegen.) Die Holzbaubranche muß wissen, wo sie im Hinblick auf diese neuen Richtwerte steht und welche Anforderungen sie demnächst wird erfüllen müssen.

Der Gesamtbericht über die Untersuchung steht in Kürze als EMPA-Publikation zur Verfügung (Kropf u. a. 1987). Es wird auf die dort zusammengestellte Literatur verwiesen.

### 2 Methodisches

In einem ersten Schritt wurden bisherige Kenntnisse über die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle und ihre Einflußgrößen zusammengetragen. Dabei wurden auch ausländische Erfahrungen, vor allem aus Schweden und Kanada, ausgewertet (Bild 1). Es gilt aber zu bedenken, daß die in Bild 1 gezeigten Meßwerte dieser Länder aus Gebäuden mit mechanischer Lüftung stammen. Ferner wurde aus verschiedenen be-



**Bild 1.** Häufigkeitsverteilungen der Luftdurchlässigkeitswerte  $n_{L50}$  von Häusern in verschiedenen Ländern; die Daten für die Schweizer Häuser stammen aus der vorliegenden Untersuchung

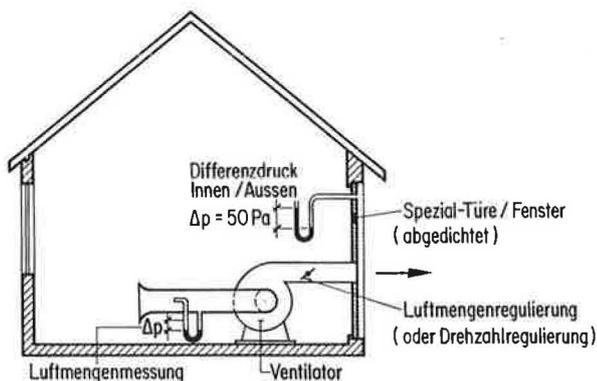
**Fig. 1.** Distributions of frequency of the air permeability data ( $n_{L50}$ ) of houses in different countries; the data of the Swiss houses stem from the present study

kannten Methoden für die Messung der Luftdurchlässigkeit ein geeignetes Verfahren ausgewählt. Neben der guten Reproduzierbarkeit und Anschaulichkeit der Meßresultate war gefordert, daß die Meßeinrichtung transportabel und der Aufwand für den Meßvorgang in bewohnten Häusern zumutbar war.

Die Wahl fiel auf das Differenzdruckverfahren. Mit einer verfeinerten, flexiblen Meßeinrichtung wurden über 30 Bauten ausgemessen. Ferner wurden jene Leckstellen der Gebäude mit Hilfe der gleichzeitig eingesetzten Infrarot-Thermografie lokalisiert und sichtbar gemacht, die für die Luftdurchlässigkeit verantwortlich waren.

### 2.1 Meßprinzip und Vorgehen

Um die durch Fugen, Ritzen und andere Undichtigkeiten strömende Luftmenge messen zu können, wird mit einem in die Außentür oder in ein Fenster eingebauten Ventilator ein Druckgefälle zwischen dem Innern und Äußern eines Gebäudes erzeugt; geplante Öffnungen nach außen wie Kamine, Abzugshauben etc. werden luftdicht abgedichtet. Bei einer bestimmten Fördermenge erreicht der sich aufbauende Druckunterschied nach kurzer Zeit einen stabilen Zustand (Bild 2). Der im Versuch bestimmte Zusammenhang zwischen Leckluftstrom und Differenzdruck gibt ein Maß für die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle.



**Bild 2.** Schematische Darstellung der Vorrichtung zur Messung der Luftdurchlässigkeit  $n_{L50}$  nach dem Differenzdruckverfahren

**Fig. 2.** Scheme of set-up for measuring the air permeability by the pressure-difference method

Die Messung wird bei einem Druckunterschied von etwa 10 bis 70 Pa (= 7 mm Wassersäule) durchgeführt. Als Kenngröße wird hierauf der Volumenstrom bei 50 Pascal herangezogen und durch das Nettogebäudevolumen (ohne Wände, aber inkl. Möbel) dividiert, so daß man den Luftwechsel pro Stunde bei 50 Pa erhält, den sog.  $n_{L50}$ -Wert. Dieser unter Normbedingungen ermittelte Wert ist eine international anerkannte Vergleichszahl für Luftdurchlässigkeiten. Sie ist nicht zu verwechseln mit dem Luftwechsel, der sich bei natürlichen Klimabedingungen oder allenfalls infolge mechanischer Lüftung ergibt. Für die Beurteilung der Meßergebnisse sei darauf hingewiesen, daß in der Schweiz die neu bearbeitete SIA-Norm 180, „Wärmeschutz im Hochbau“ (z. Zt. im Einspruchverfahren), für fensterbelüftete Gebäude (bis 6 Stockwerke) einen Richtwert von  $n_{L50} = 2,5$  bis  $4,5 \text{ h}^{-1}$  vorgibt; der niedrige Wert gilt für wenig, der höhere für stark windexponierte Gebäude.

Um festzustellen, wo die entsprechenden Leckstellen liegen, muß ergänzend (unter Einhaltung eines konstanten Differenzdrucks) die Infrarot-Thermografie eingesetzt werden. Bei diesem Verfahren werden mit einer auf Infrarot-(Wärme-)Strahlung empfindlichen Videokamera die Temperaturverteilungen auf Oberflächen sichtbar gemacht: Kaltstellen erscheinen dunkel, warme Stellen hell. Dieses Verfahren erlaubt zwar nur qualitative Aussagen, liefert aber eine anschauliche Dokumentation der Leckstellen (Bild 3).

### 2.2 Meßobjekte

Als Meßobjekte wurden Wohngebäude berücksichtigt, bei denen mindestens die Dachkonstruktion oder ein Stockwerk aus Holz bestehen. Insgesamt wurden in der kalten Jahreszeit zwischen 1983 und 1986 34 Gebäude bzw. Gebäudeteile untersucht, die sich in folgende Kategorien einteilen lassen:

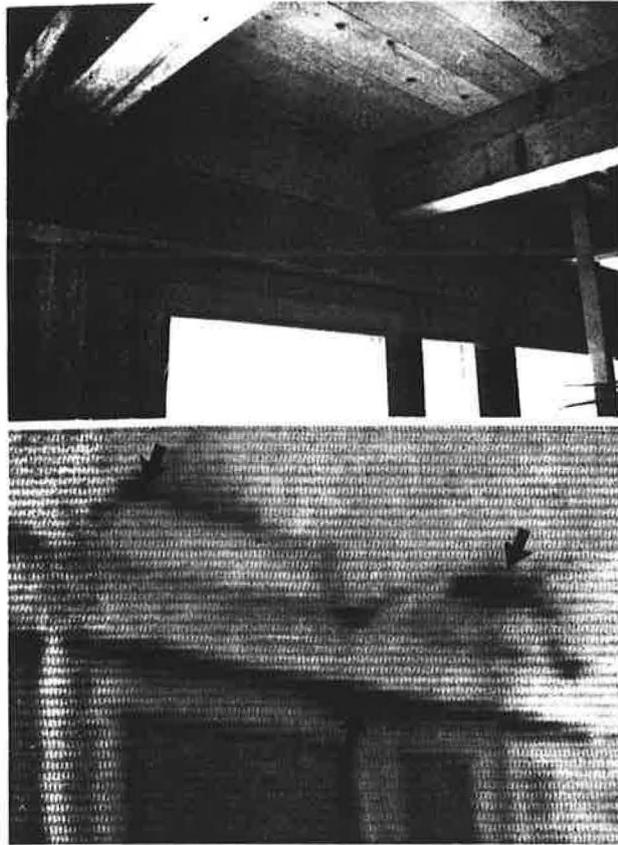
7 freistehende Einfamilienhäuser (EFH) in gemischter Bauweise, bei denen das Obergeschoß und/oder das ausgebaute Dachgeschoß in Holzbauweise erstellt ist,

2 freistehende EFH in reiner Holzbauweise (nur Keller-geschoß massiv); eines dieser beiden Objekte konnte von der Planungsphase an bis zur Fertigstellung begleitet werden,

3 freistehende vorgefertigte EFH,

4 Altbauten in Riegel-, Block- oder massiver Bauweise,

je 2 gleiche Häuser bzw. Wohnungen aus zwei Reihenüberbauungen, wovon eines in Holzbauweise, das andere massiv gebaut ist,



**Bild 3.** Oben: normales Foto; unten: Infrarot-Fotografie einer nicht luftdichten Durchdringung der Außenwand durch die Deckenbalken. Schwarz erscheinende Stellen sind kälter als die Umgebungsflächen bzw. undicht (Pfeile)

**Fig. 3.** Above: normal picture; below: IR-photograph of air leaks around joists penetrating the outer wall. Black zones are colder than ambient areas and show air-leaks (arrows)

6 praktisch gleiche Reihen-Einfamilienhäuser (REFH) einer Siedlung, Holzbauweise,  
 8 REFH-Wohnungen einer weiteren Siedlung, Gemischtbauweise.  
 Die Dachgeschosse waren bei allen Gebäuden ausgebaut und bewohnt.

### 3 Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Allgemeiner Überblick

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Messungen zahlenmäßig zusammengefaßt und im Bild 1 als Häufigkeitsverteilung der  $n_{L50}$ -Werte von 33 Objekten dargestellt. Die Grafik zeigt, daß zwar ein großer Teil der schweizerischen Häuser des untersuchten Typs (insgesamt 15 Objekte bzw. 44%) eine nach bisheriger Praxis für Holzbauten recht geringe bis mittlere Luftdurchlässigkeit von  $n_{L50} < 5 \text{ h}^{-1}$  aufweist und damit teilweise auf gleichem Niveau liegt wie neuere Häuser in Kanada und Schweden. Doch sind 12 Häuser (35%) mit  $n_{L50} = 5$  bis  $10 \text{ h}^{-1}$  ziemlich undicht und weitere 7 Objekte (21%) mit  $n_{L50} > 10 \text{ h}^{-1}$  sehr undicht. Anders ausgedrückt, mehr als die Hälfte der untersuchten Objekte würden die kommenden schweizerischen Grenzwerte der Luftdurchlässigkeit nicht (annähernd) erfüllen.

Wertet man die Ergebnisse nach den verschiedenen Gebäudekategorien aus, so zeigt sich (Bild 4), daß die größten

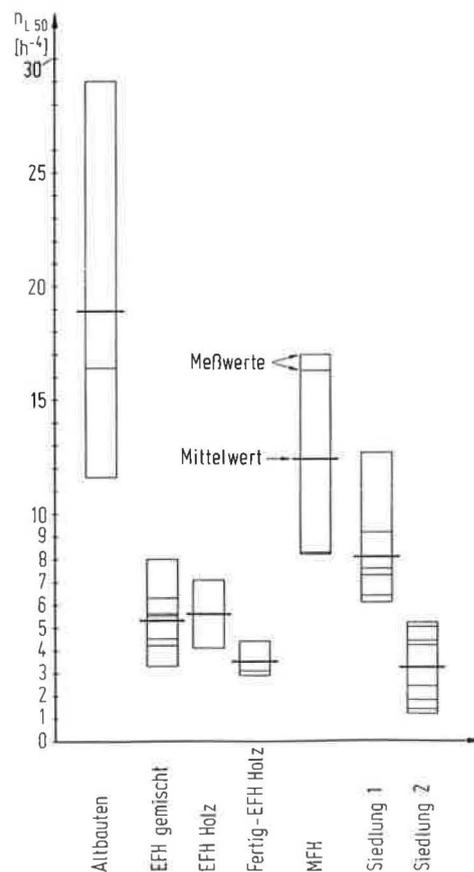
**Tabelle 1.** Zusammenstellung der Meßergebnisse, nach Gebäudegruppen geordnet

Haustyp	Baujahr	Mittlere Luftdurchlässigkeit $n_{L50}$	Äquivalenter Lochdurchmesser in cm
4 Altbauten (davon 3 ausgewertet)	17. Jh. bis 1870 19. Jh.	19,0 Nicht meßbar	36
7 EFH, gemischte Bauweise	1969–1983	5,3	34
2 EFH, Holzbauweise	1981–1984	5,6	28
2 EFH-Fertighäuser, Holzbauweise	1973–1980	3,5	22
4 MFH, gemischte Bauweise, 1 Haus Holzbauweise	1981–1983	12,4	43
6 REFH, Holzbauweise, Siedlung 1	1982	8,1	42
8 REFH, gemischte Bauweise, Siedlung 2	1983	3,2	17

**Erläuterungen:**

EFH = Einfamilienhaus  
 MFH = Mehrfamilienhaus  
 REFH = Reiheneinfamilienhaus } Alle mit ausgebautem Dachgeschoß

Gemischte Bauweise bedeutet, daß zumindest 1 Geschoß (meist das Obergeschoß) oder innerhalb eines Geschosses eine oder mehrere Wände in Holz und der Rest massiv ausgeführt sind.



**Bild 4.** Darstellung der gemessenen Luftdurchlässigkeiten  $n_{L50}$  nach Gebäudetypen. Die horizontalen Linien innerhalb der einzelnen Säulen stellen Einzelmesswerte dar

**Fig. 4.** Graph showing the air permeability data  $n_{L50}$  (mean, single data) measured in the various types of houses

Dichtigkeitsprobleme bei den vier Altbauten bestehen. Bei deren Erstellung wurde die Luftdurchlässigkeit noch wenig beachtet. Einerseits war nämlich der übliche Kaltestrich von den Wohnräumen getrennt, bzw. die Luftdichtungsebene lag zwischen Estrich und Wohnraum, so daß sich das nicht luftdichte Dach nicht ungünstig auswirkte; andererseits standen kaum Materialien und Technologien zur Verfügung, mit denen eine ausreichende Dichtigkeit zu erreichen war. Die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle wurde erst dann zum Problem, als zunehmend Dachpartien oder Dachstockwerke ausgebaut und in den Wohnbereich einbezogen wurden. Weitere wichtige Ergebnisse sind:

Die freistehenden EFH in reiner Holzbauweise sind nicht wesentlich luftdurchlässiger als die Häuser in gemischter Bauweise. Bei der Wandfläche scheint es also nicht besonders schwierig zu sein, eine ausreichende Dichtigkeit zu erzielen.

Die vorfabrizierten, freistehenden EFH in Holzbauweise sind – bei geringerer Streuung der Meßergebnisse – weniger durchlässig als die „Baustellenhäuser“. Offensichtlich und erwartungsgemäß ermöglicht es die industrielle Fertigung der Bauelemente unter kontrollierten Bedingungen, die Dichtungsebenen und Anschlußdetails mit gleichbleibend guter Ausführungsqualität herzustellen.

Die Luftdurchlässigkeit der einzelnen Reihenhäuser einer größeren Wohnüberbauung in Holzbauweise (Siedlung 1) ist unzulässig hoch. Diese Siedlung zeigt in besonders deutlicher Weise die Anschlußprobleme zwischen Massiv- und Holzkonstruktionen in der Gebäudehülle. Individuelle gestalterische Lösungen mit stark gegliederter (zerklüfteter) Fassade fördern diese Probleme noch. Daß sich aber auch eine einheitlich gute bis befriedigende Dichtigkeit erzielen läßt, zeigt die untersuchte zweite Reihenhäuser-Siedlung mit wenig gegliederten Außenflächen. Doch ist auch hier das ausgebaute Dachgeschoß viel durchlässiger als die übrigen Gebäudeteile.

### 3.2 Hauptsächlichste Schwachstellen der Gebäudehülle

Da gute Standardlösungen schwieriger Konstruktionsdetails und Richtlinien über praktikable Maßnahmen zur Erzielung einer geringen Luftdurchlässigkeit zur Zeit noch weitgehend fehlen, wird heute die Planung der Luftdichtungsebene meist nicht konsequent gehandhabt; vielmehr wird die Lösung dieses Problems häufig dem ausführenden Handwerker überlassen. Dieser ist jedoch selten in der Lage, unter dem üblichen Termindruck gewissermaßen ad hoc Lösungen zu erbringen, die den modernen bauphysikalischen Anforderungen entsprechen. Damit erklären sich die oft ungünstigen und stark vom Zufall beeinflussten Resultate, besonders beim heute so populären ausgebauten Dachgeschoß.

Jeglicher Materialwechsel, besonders bei den Nahtstellen verschiedener Bauteile oder gar Arbeitsgattungen, bringt Probleme, die bisher zu wenig beachtet worden sind. Dies gilt vor allem für die meist komplizierten dreidimensionalen Anschlüsse (etwa im Dachrandbereich und beim Übergang von Decken zur Außenwand), aber auch für den Anschluß von Fensterrahmen ans Mauerwerk (Bild 3).

Eine weitere Kategorie von Schwachstellen sind Durchdringungen der Gebäudehülle, vorwiegend von Sparren und Pfetten, ferner von elektrischen und sanitären Installationen. Das gelegentlich ironisch zitierte Problem der „Frischluff aus der Steckdose“ ist durchaus ernst zu nehmen und vor allem bei Umbauten nicht einfach zu lösen. Die weitaus wichtigste Schwachstelle der Luftdichtigkeit ist jedoch der Dachbereich, vor allen Dingen der Dachrandanschluß. Die er-

wähnte Durchdringung der Giebelwand und der übrigen Wände durch Holzbalken sowie das Durchlaufen des Dekkentangens über dem sogenannten Ortssparren stellen dabei die wichtigsten Probleme dar. Zudem ist im Bereich der Anschlüsse die – in der Fläche durchaus lückenlose und funktionstüchtige – Luftdichtungsebene oft nicht dicht ausgeführt.

Es darf im übrigen nicht übersehen werden, daß ein großer Teil der Undichtigkeiten bei diesen kritischen Stellen dadurch entsteht oder zumindest wesentlich verschlimmert wird, daß beim üblichen schweizerischen Wohnbau große Querschnitte verwendet werden und das Konstruktionsholz ziemlich feucht eingebaut wird. In den folgenden ein bis zwei Jahre trocknet dieses Holz und schwindet dabei quer zur Faser oft um mehrere Prozente seiner Dimensionen. Die anschließenden Bauteile vermögen den entsprechenden Bewegungen in der Regel nicht zu folgen, so daß sich Fugen öffnen und Risse bilden.

## 4 Maßnahmen

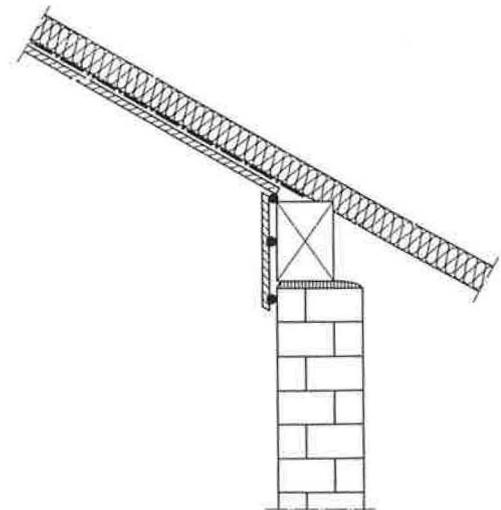
### 4.1 Durchführung und Überprüfung von Verbesserungsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden

Ein Teilschwerpunkt der Untersuchung bestand in der Überprüfung der Wirksamkeit von Verbesserungsarbeiten, die durch das Untersuchungsteam selbst vorgenommen worden waren. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Auswahl des Objektes: Aufgrund der Durchlässigkeitsmessungen und der thermografischen Aufnahmen wurden 7 Häuser (20% aller Objekte) ausgewählt. Die thermografischen Befunde wurden mit den Plänen der Architekten verglichen, um die Leckstellen und ihre Ursache zu ermitteln.

Danach wurde für jedes Objekt ein Katalog möglicher Verbesserungsmaßnahmen erstellt, aus denen erfolgversprechende Maßnahmen ausgewählt wurden.

Das Verbesserungsprojekt wurde im Gespräch mit dem Bauherrn bereinigt und in der Folge möglichst plangemäß durchgeführt; Improvisationen ließen sich trotzdem nicht immer vermeiden. Die Verbesserungsarbeiten wurden in den



**Bild 5.** Abdichtung der Fugen zwischen Mauerwerk, Fußpfette und Dach mit Hilfe eines Brettes und geschlossenzelligen Schaumstoff-Rundprofilen (Polyäthylen)  
**Fig. 5.** Sealing of the joints between brickwork, wooden beam and roof with a board and a round sealing profile (closed-cell PE-foam)

**Tabelle 2.** Maßnahmen zur Verringerung der Luftdurchlässigkeit bestehender Wohnbauten und ihr Ergebnis

Ob- jekt- Nr.	Einzelne Sanierungsmaßnahmen bei									Luftdurchlässigkeit						
	Fenstern	Estrichklappen	Diverse Fugen (vor allem Dachrandanschluß)						$n_{L50}, h^{-1}$							
	Beschläge nachstellen	Falzdichtung mit V-Profilen	Einbau von neuem Schließmechanismus	Addichtung von Rechteck-Schaumstoffband	Empressen von Schaumrundbändern <sup>a</sup>		in eingenetete (gefräste) Fugen	mit zusätzlicher Abdeckung durch Leisten	Abdecken von Fugen mit Brettern, Platten u. a.	Schäumen; Auskitteten	Schäumen + Rundbänder einpressen	Abdecken mit Kunststoff-Folie, Dichtungsbändern und Leisten	Vor Sanierung	Nach 1. Sanierungsstufe	Nach 2. Sanierungsstufe	Erzielte Verbesserung in %
1	x				x				x	x			≈ 8,0	3,6		55
7					x		x		x		x		9,2	4,6		50
8					x		x		x		x		6,4	5,5	4,7	27
13				x				x			x		8,2	1,6		80
15		x	x	x	x			x		x		x	16,3	6,2	6,6	60
35								x			x		≈ 8,0	2,7		65
26	x	x		x	x			x			x		28,9	26,7		8
Mittelwert (ohne Objekt 26)													9,4	4,0		57

<sup>a</sup> Geschlossenzellige Polyäthylen-Bänder mit kreisförmigem Querschnitt

Sommermonaten durchgeführt und benötigten pro Objekt alles in allem zwischen 20 und 90 Arbeitsstunden (Tabelle 2).

Der Erfolgsnachweis konnte jeweils erst im nachfolgenden Winter erbracht werden. Dabei bestätigte sich, wie wichtig die eingehende vorgängige Prüfung der bauphysikalischen Gegebenheiten und außerdem die sehr sorgfältige Ausführung der Arbeiten selber ist. Wurden diese Voraussetzungen beachtet, waren die Resultate der Verbesserungsarbeiten bemerkenswert. So liegt die durchschnittliche Verringerung der Luftdurchlässigkeit bei über 50%: Der  $n_{L50}$ -Wert wurde von durchschnittlich  $9,4 h^{-1}$  auf  $4,0 h^{-1}$  verringert. Dabei ist allerdings ein Altbau mit sehr durchlässiger Dachpartie nicht miteinbezogen, bei dem zwar einzelne Leckstellen, die Hauptursache der Mängel aber nicht behoben werden konnten (undichte Dachfläche, weil ein reguläres Unterdach fehlte).

## 4.2 Maßnahmen bei Neubauten

### 4.2.1 Allgemeines

Die Meßergebnisse haben in sehr eindrücklicher Weise zahlenmäßig untermauert, was aufgrund praktischer Erfahrungen, Gutachtertätigkeit und ausländischen Untersuchungen erwartet werden mußte: Bei Neubauten in gemischter oder reiner Holzbauweise ist eine ausreichend niedrige Luftdurchlässigkeit zur Zeit oft nicht gesichert. Die Luftdurchlässigkeit der meisten Neubauten liegt in der Schweiz z. T. noch erheblich über dem für die nächste Zeit erwarteten Grenzwert der neuen SIA-Norm 180.

Für alle an der Förderung unseres Holzbaus Interessierten ist es wichtig, die hauptsächlichen Ursachen dieses Sachverhaltes zu kennen.

die in der Planung häufig unzureichend berücksichtigten, auf der Baustelle oft handwerklich improvisierten Nahtstel-

len zwischen verschiedenen Bauteilen, Baustoffen und Arbeitsgattungen;

der praxisübliche Einbau von feuchtem Bauholz mit meist großen Querschnittsdimensionen, das während der Bauaustrocknung absolut große Schwindbewegungen und oft Verdrehungen durchmacht;

Ausführungsmängel, die durch den verbreiteten Termindruck und die rauen Baustellenbedingungen maßgebend gefördert werden.

Die Maßnahmen, die für eine Verbesserung der Luftdichtigkeit erforderlich sind, liegen auf der Hand. Einige sorgfältig geplante und ausgeführte neue Häuser mit guter Luftdichtigkeit und die untersuchten vorfabrizierten Holzhäuser zeigen, daß sich solche Maßnahmen erfolgreich verwirklichen lassen.

### 4.2.2 Planerische und zeitlich-organisatorische Maßnahmen

Bereits bei der Planung können im baulich-konstruktiven Bereich sowie im Hinblick auf den Bauablauf viele Probleme im voraus vermieden werden, wenn folgendes beachtet wird:

Auf individuelle gestalterische und konstruktive Lösungen in kritischen Bereichen sollte zugunsten technisch ausgereifter Lösungen verzichtet werden.

Besonders für dreidimensionale Anschlußdetails zwischen Holz und anderen Baustoffen sind gute konstruktive Lösungen zu erarbeiten und mit der Zeit zu standardisieren; ihre Ausführung ist, z. B. anhand von Checklisten, zu kontrollieren.

Ganz generell soll die Luftdichtungsebene geplant werden; Pfetten, Sparren und die übrigen Holzteile, die für die Luftdichtigkeit wichtig sind, dürfen sie nicht durchdringen oder müssen mit geeigneten Maßnahmen dauerhaft abgedichtet werden. Auch die anderen Durchdringungen sollten

konsequent abgedichtet oder, noch besser, vermieden werden.

Der Bauablauf ist so zu planen, daß die Schnittstelle zwischen den Arbeiten des Zimmermannes und des Dachdeckers nicht zu Unterbrechungen des Bauablaufs führt, solange die Konstruktion nicht wettergeschützt ist. Es muß dafür gesorgt sein, daß die Holzkonstruktion nicht wieder naß werden kann. Die Bauqualität und im besonderen die Luftdurchlässigkeit sollten nicht mehr vom Wetter während der Bauphase abhängig sein. Dies bedingt eine gute Abstimmung der Arbeiten von Zimmermann und Dachdecker.

Sind die bisher genannten Maßnahmen nicht oder nicht in genügendem Maße zu verwirklichen, muß durch konstruktive Detaillösungen (z. B. flexible Dichtungen) sichergestellt sein, daß das Schwinden der Holzteile nach der Fertigstellung der Bauten keine Fugenöffnungen und Verletzungen der Luftdichtungsebene verursacht.

#### 4.2.3 Maßnahmen beim Baustoff Holz

Der größere Aufwand im planerischen Bereich und die arbeitsintensiveren Maßnahmen auf der Baustelle können durch Maßnahmen beim Baustoff Holz mindestens zum Teil umgangen werden. Gelingt es nämlich, entweder trockenes Bauholz zu verbauen und/oder nach dem Abbund mit dem weiteren Ausbau wie früher so lange zu warten, bis die größten Schwindverformungen stattgefunden haben, ist bereits viel erreicht. Wo große Bauholzquerschnitte unumgänglich sind, kann der Einsatz von Brettschichtholz vorgesehen werden. Massivholz mit großen Abmessungen, z. B. Pfetten, ist bekanntlich wesentlich schwieriger ausreichend riß- und verformungsfrei herabzutrocknen als kleine Holzquerschnitte wie Bretter und Bohlen; dies ist im übrigen einer der Gründe, warum in den Holzbauländern Skandinavien und Nordamerika generell mit ziemlich kleinen Bauholzquerschnitten gearbeitet wird.

#### 4.2.4 Ausführung und Kontrolle

Im Rahmen unserer Untersuchung (Kropf et al. 1987)<sup>1</sup> wurde verschiedentlich festgestellt, daß bei vielen Konstruktionsdetails die Ausführung nicht mit den Plänen übereinstimmte. Dem ausführenden Unternehmer/Handwerker schien zudem oft nicht bewußt zu sein, worauf es bei einem

<sup>1</sup> Kropf, F.; Michel, D.; Sell, J.; Hartmann, P. 1987: Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle von Holzhäusern und Häusern in gemischter Bauweise. EMPA-Bericht Nr. 216/1987

für die Luftdichtigkeit wichtigen Detail besonders ankommt. Diese Informationslücke und ein häufig nicht genügend fundiertes Problembewußtsein erschweren oder verunmöglichen in der Praxis einwandfreie Ausführungen. Beispielhaft hierfür sind die im Verlaufe unserer Untersuchung oft beobachteten Fälle, bei denen die Beteiligten es nicht für möglich erachteten, daß („nur“) millimeterbreite Ritzen die Luftdurchlässigkeit eines Hauses maßgebend beeinflussen können, oder daß viele kleine Schattenfugen der von außen nach innen durchlaufenden Dachschalung in ihrer Summe eine große Undichtigkeit ergeben.

In Zukunft wird die von der Planer- ebenso wie von der Ausführungsseite als notwendig und sinnvoll akzeptierte Kontrolle der Ausführung wichtiger Details unumgänglich sein; andernfalls sind Grenzwerte der Luftdurchlässigkeit im Bereich von  $n_{1,50} = 2,5$  bis  $4,5 \text{ h}^{-1}$ , wie sie für die Schweiz vorgesehen sind, nicht oder jedenfalls nicht mit genügender Sicherheit zu erfüllen.

Es wird Gegenstand eingehender Untersuchungen sein müssen, in welchem Zeitpunkt der Bauphase die Prüfung der Luftdurchlässigkeit zu geschehen hat. Während für die Prüfung von mechanisch belüfteten, sehr dichten Bauten eine Kontrolle direkt nach Erstellung der Luftdichtung als vorteilhaft erachtet wird (allenfalls kann eine zweite Messung einige Zeit nach Inbetriebnahme erfolgen), steht in unseren fensterbelüfteten Bauten eine Messung etwa 2 Wochen nach Wohnungsbezug zur Diskussion.

## 5 Schlußfolgerungen

Um die zukünftigen Anforderungen an eine angepaßte Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle zu erfüllen, sind beim Bau Zusatzaufgaben zu lösen; das gilt besonders für den Holzhausbau.

Zunächst sind das erforderliche Problembewußtsein und das Wissen um die Zusammenhänge zwischen Planung, Ausführung, Eigenschaften des Baumaterials und Luftdurchlässigkeit zu fördern. Beim Konstruktionsholz sind eine bessere Trocknung und kleinere, standardisierte Querschnitte anzustreben; große Querschnitte sollten vorzugsweise aus Brettschichtholz bestehen. Diese Forderungen haben für die Bauholzlieferanten unter Umständen weitreichende Konsequenzen.

Es erscheint dringlich geboten, daß die angesprochenen Fachleute über geeignete Maßnahmen diskutieren. Gewiß nicht nur, aber auch im Hinblick auf eine bessere Luftdichtigkeit der Gebäudehülle stärken Verbesserungsmaßnahmen die Wettbewerbsfähigkeit des Holzes im Neubau ebenso wie bei der Altbausanierung.