

# Luftdichtheit der Gebäudehülle

Dipl.-Ing. Dirk Reichel, Dipl.-Ing. Thomas Hartmann TU Dresden,  
Institut für Thermodynamik und TGA

Mit der stetigen Verbesserung des Wärmeschutzes, bis hin zum Niedrigenergiehausstandard in der avisierten Energieeinsparverordnung 2000, erlangen bislang eher unbeachtete Effekte einen so erheblichen Stellenwert, daß deren verstärkte Berücksichtigung unabdingbare Notwendigkeit wird. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die Luftdichtheit von Gebäuden zu nennen.

Bislang wird die Diskussion um die Dichtheit von Gebäuden vordergründig unter dem Gesichtspunkt geführt, daß der hohe Grad der Gebäudeabdichtung häufig kaum noch einen nennenswerten Luftaustausch ermöglicht, was infolge dessen zu einer Vielzahl von Problemen, insbesondere zum verstärkten Schimmelpilzbefall, geführt hat. Diese Betrachtungsweise beschreibt unbestritten einen heute bestehenden problematischen Zustand, der jedoch lediglich für einen prädestinierten Teil der Gebäude Relevanz besitzt. Zu diesen Gebäuden zählen insbesondere Etagenwohnungen des Mehrfamilien-Geschoßwohnungsbaus, die mit fugendichten Fenstern ausgestattet sind. Da diese Wohnungen zumeist aus massiven (nahezu luftdichten) Bauteilen bestehen und darüber hinaus nur geringe Außenwandflächen aufweisen, sind die Möglichkeiten des Luftaustausches erheblich eingeschränkt, und es entsteht eine sehr geringe Luftdurchlässigkeit quasi von allein.

Daneben existiert jedoch ein weiteres Problemfeld, welches die Konsequenzen zu undichter (luftdurchlässiger) Gebäude zum Gegenstand hat. Eine luftdurchlässige Gebäudehülle wirkt sich nicht nur negativ in Hinblick auf den Heizwärmeverbrauch aus, sondern erhöht ferner erheblich das Risiko unzureichender Raumbeheizung (Heizleistungsdefizit), von spürbaren Zugserscheinungen bei hohen Windlasten sowie bauphysikalischen Schädigungen der Baukonstruktion. Letztere entstehen durch die Wasserdampfkondensation aus feuchter Luft beim Abströmen von Luft aus dem Gebäude, wenn diese die Wärmedämmebene passiert.

## Gesetzliche Grundlagen

Bereits vor mehr als 15 Jahren wurde im Zusammenhang mit der 1. Novellierung der Wärmeschutzverordnung 1984 in der Bundesrepublik die luftdichte Bauweise gesetzlich vorgeschrieben. Obwohl bereits auch schon damals die Maßgabe bestand, das gesamte Gebäude möglichst luftundurchlässig zu errichten, beschränkten sich die ersten Aktivitäten vorwiegend auf den Einbau nahezu fugendichter Fenster und Türen. In der 2. Novellierung der Wärmeschutzverordnung im Jahre 1995 /WSV95/ wurde der Thematik zwar bereits ein etwas breiterer Raum eingeräumt, jedoch wurden auch hier vorläufig keine zahlenmäßigen Vorgaben an eine maximal zulässige Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle gestellt. Dies hat sich mit der Veröffentlichung von Grenzwerten im Bundesanzeiger 140 (7/1998) /BA98/ schlagartig verändert, da diese Vorgaben über den § 10 Abs.2 der /WSV95/ auch für die Wärmeschutzverordnung selbst Gültigkeit erhalten haben. In Abweichung an DIN 4108 Teil 7 wurde die maximal zulässige Luftdurchlässigkeit festgelegt für

- Gebäude mit natürlicher Lüftung mit  $n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$
- Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen mit  $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ .

Es besteht auch weiterhin keine Pflicht zum Nachweis der Luftdichtheit, doch wenn eine Überprüfung stattfindet, sind die Grenzwerte einzuhalten. Werden die Anforderungen nicht erfüllt, besteht nunmehr für den Bauherren erstmals ein einklagbares Recht auf Nachbesserungen bzw. Minderungen auf die unzureichend erbrachten Bauleistungen. Neu ist seit der Veröffentlichung im Bundesanzeiger auch, daß der bislang großzügig vergebene Bonus für den Einbau kontrollierter Wohnungslüftungsanlagen nunmehr nur noch in Anspruch genommen werden darf, wenn das Gebäude nachweislich die Dichtheitsanforderungen erfüllt.

Die nunmehr innerhalb der Wärmeschutzverordnung hinsichtlich der Luftdichtheit praktizierte Vorgehensweise wird in der avisierten Energieeinsparverordnung voraussichtlich einen neuen Stellenwert erhalten. Vorgesehen ist, auch Gebäuden ohne mechanische Lüftungsanlagen, bei nachweislicher Einhaltung der Luftdichtheit einen Bonus zukommen zu lassen. Dies wird, neben der erwarteten Zunahme der kontrollierten Wohnungslüftung bei zukünftiger Niedrigenergiebauweise, zu einem deutlichen Ansteigen durchzuführender Luftdichtheitsprüfungen führen. Es bleibt zu hoffen, daß dadurch eine Verbesserung der Bauausführungsqualität erreicht wird.

### **Meßprinzipien**

Zur Durchströmung von Öffnungen ist eine Druckdifferenz erforderlich, die in der Realität durch Windkräfte, thermische Auftriebsdrücke oder mit RLT-Anlagen erzeugt wird.

Zur meßtechnischen Bestimmung der Luftdichtheit von Gebäuden wird dieses Druckpotential in gewünschter Höhe künstlich mit Hilfe eines oder mehrerer mobiler Ventilatoren geschaffen. In diesem Zusammenhang dominiert das sog. „Blower-Door-Verfahren“. Dabei wird in eine großformatige Außenwandöffnung des Gebäudes (i.d.R. Außen- oder Balkontür oder Fenster) ein verstellbarer Rahmen eingesetzt, der über ein luftdichtes Segeltuch einen volumenstromregelbaren Ventilator aufnimmt.



Abbildung 1: Einbau einer Blower-Door in eine Balkontür

Mit dem regelbaren Ventilator wird entweder Luft in das Gebäude hineingeblasen (Überdruck) oder daraus abgesaugt (Unterdruck). Gezielt wird dabei der Druckbereich zwischen 10 bis 60 Pa (Über- bzw. Unterdruck) abgefahren und dabei der entsprechende Volumenstrom bestimmt. Die Messung gestaltet sich sehr einfach, wenn ein Bereich untersucht werden soll, der vollständig durch Außenwände eingeschlossen wird, weswegen

die Untersuchung kompletter Einfamilienhäuser sehr unkompliziert durchzuführen ist. Für diese sog. Ein-Zonenmessung ist die genaue meßtechnische Verfahrensweise in DIN EN ISO 9972 beschrieben.

Eine Reihe von Objekten grenzen jedoch an benachbarte Zonen, so daß bei einer einfachen Messung auch die Undichtheiten zu dieser benachbarten Zone in das Meßergebnis einfließen und dieses folglich verfälschen. Um diesen negativen Einfluß zu unterbinden bzw. um Kenntnis über den Anteil einzelner Leckagen bzw. deren räumliche Verteilung zu erlangen, müssen die auf der Blower-Door-Methode aufbauenden sog. „erweiterten Meßmethoden“ angewendet werden. Diese Methoden sind ausführlich in /Geißler97/, /Blasnik92/ und /Feustel90/ vorgestellt. Sämtliche erweiterten Meßmethoden setzen eine Querdurchströmung der Hüllfläche voraus (kürzester Weg), wovon bei massiven Bauteilen i.d.R. ausgegangen werden kann. Mehrschalige Wandaufbauten lassen jedoch in der Regel auch in ihrem Inneren eine Weiterverteilung der Luft und damit eine Längsdurchströmung zu, was eine abgesicherte Interpretation von Meßergebnissen nahezu unmöglich macht. Da Bauelemente in Leichtbauweise mehrschalig aufgebaut sind, ist von der Anwendung der erweiterten Meßmethoden in derartigen Gebäuden abzuraten.

Zur Ergebnisinterpretation werden international eine Reihe von Kennwerten verwendet. Dabei dominiert eine Größe, der sog.  $n_{50}$ -Wert. Der  $n_{50}$ -Wert stellt den über die Gebäudeundichtheiten auftretenden Luftwechsel bei einer Druckdifferenz von 50 Pa dar. Er wird gebildet, indem der bei 50 Pa bestimmte Volumenstrom auf das lichte Volumen<sup>1</sup> des Objektes bezogen wird.

## **Meßresultate**

### *Luftdichtheit von Etagenwohnungen*

Es fand bereits Erwähnung, daß Etagenwohnungen, die mit modernen, fugendichten Fenstern ausgestattet sind, eine sehr geringe Luftdurchlässigkeit zugeschrieben wird. Um diese Vermutung mit konkretem Zahlenmaterial zu fundieren, wurde im Rahmen einer umfangreichen Forschungsarbeit die Luftdichtheit von Etagenwohnungen in massiven, aus Betonplattenelementen zusammengesetzten Mehrfamilienhäusern am Beispiel der Kategorie „industrieller Wohnungsbau der neuen Bundesländer“ untersucht /Reichel98/. Insbesondere baulich instandgesetzte und wärmeschutztechnisch verbesserte Gebäude dieser speziellen Bauart repräsentieren in Hinblick auf die Luftdichtheit jedoch auch einen Großteil von neuerrichteten bzw. modernisierten massiven Etagenwohnungen im allgemeinen.

Insgesamt fanden ca. 60 Etagenwohnungen in 9 verschiedenen Städten Berücksichtigung. Neben der Ein-Zonen-Messung der gesamten Wohnung wurden mehr als 100 Einzelräume der Wohnungen mit erweiterten Meßmethoden (Guard-Zone-Methode) untersucht.

Die Resultate lassen keine signifikanten Unterschiede der Luftdichtheit von unsanierten und nur mit einem WDVS versehenen Etagenwohnungen erkennen. Das gleiche trifft für sanierte

---

<sup>1</sup> aus den Innenabmaßen bestimmtes Volumen abzüglich des Volumens der Innenwandbauteile, jedoch ohne Berücksichtigung von Einbauten

und mit modernen Fenstern teilsanierten Wohnungen zu. Folgerichtig werden die Resultate der jeweiligen Sanierungszustände in der Auswertung zusammengefaßt.

Für 31 Etagenwohnungen, die mit alten Fenstern oder lediglich einem Wärmedämmverbundsystem ausgestattet waren, wurde ein  $n_{50}$ -Medianwert von  $1.6 \text{ h}^{-1}$  ermittelt.

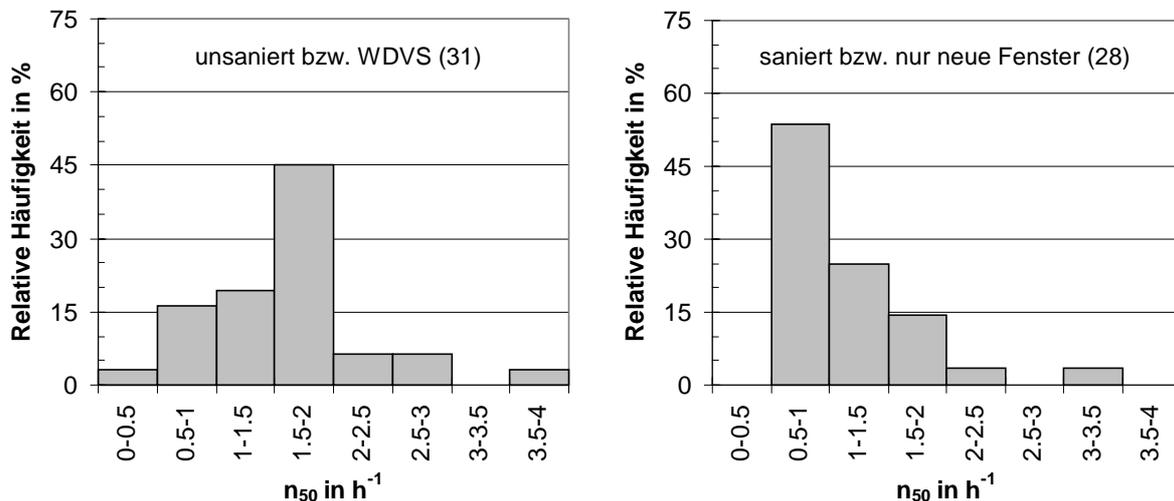


Abbildung 2: Relative Häufigkeiten der ermittelten  $n_{50}$ -Werte von 59 Etagenwohnungen in massiver Bauweise (Betonplattenelemente) geordnet nach dem Sanierungsgrad der Objekte.

Anm.: Der Einfluß des geschoßübergreifenden Installationsschachtes wird durch der Messung vorangestellte Abdichtungsmaßnahmen ausgeschaltet.

Dieser Wert reduziert sich nach erfolgter Fenster- bzw. Komplettsanierung um ca. 40% auf  $n_{50}=0.9 \text{ h}^{-1}$ .

Zu diesen Resultaten trägt der geschoßverbindende Installationsschacht nicht bei, da dieser im Vorfeld, zusammen mit den unmittelbar an diesen grenzenden Räumen (meistens fensterlose Bäder und Küchen), vollständig abgedichtet wurde.

Von den unsanierten Wohnungen weisen lediglich knapp 20% der untersuchten Objekte  $n_{50}$ -Werte kleiner als  $1.0 \text{ h}^{-1}$  auf. Dieser Anteil verdreifacht sich nahezu bei den untersuchten sanierten Wohnungen und beträgt 54%.

In Etagenwohnungen besteht das bereits erwähnte Problem von Undichtheiten zu benachbarten Wohnungen. Um die Größe des über diese sog. inneren Leckagen bewirkten Anteiles am Gesamtmeßergebnis abschätzen zu können, wurden mehrere Wohnungen komplett bzw. teilweise gegenüber anderen Nachbarwohnungen mit der Guard-Zone-Methode druckkompensiert und die so erhaltenen Resultate den Ergebnissen bei konventioneller Vorgehensweise gegenübergestellt.

Im Mittel bestimmt sich daraus ein über die inneren Leckagen stattfindender  $n_{50}$ -Anteil von  $0.45 \text{ h}^{-1}$ . Das entspricht bei den sanierten Etagenwohnungen einem Anteil von ca. 50%, so daß der wirkliche Außenluftwechsel (bei 50 Pa) hier lediglich  $0.45 \text{ h}^{-1}$  beträgt.

Aus Abbildung 3 geht neben Außenluftanteil und dem Anteil über die inneren Leckagen zusätzlich der Einfluß des Installationsschachtes beispielhaft hervor, wenn dieser vor Beginn der Messung nicht abgedichtet wird.

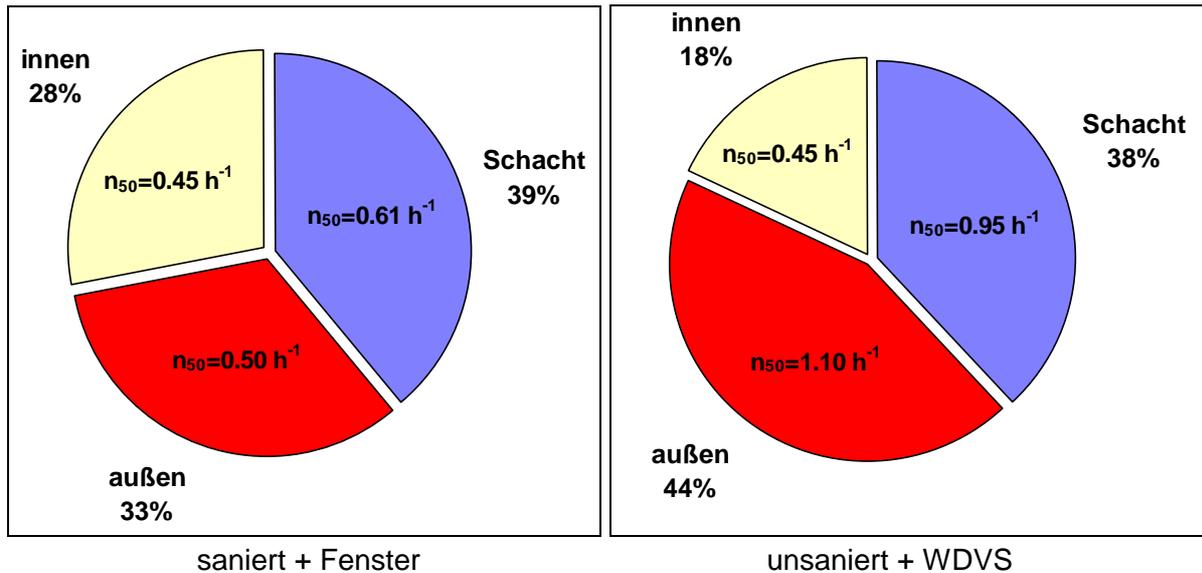


Abbildung 3: Anteile von Undichtheiten unterschiedlicher Herkunft an der Gesamtdichtheit von massiven Etagenwohnungen.

Interessant ist ferner, daß beispielhaft nachgewiesen werden konnte, daß das Verhältnis der Luftdurchlässigkeit zwischen sanierten und unsanierten Gebäuden von 0.5 maßgeblich die Folge des Fensteraustausches ist.

Aufgrund des sehr hohen Grades der Luftdichtheit dieser Gebäude empfiehlt sich hier dringend die konzeptionelle Einbindung der Zuluftproblematik in die Gebäudeplanung. Als einfachster zu beschreitender Lösungsweg bieten sich Außenluftdurchlässe nach DIN 1946 Teil 6 an, wobei die direkte Integration in das Fenster kostenmäßig und ästhetisch von Vorteil ist. Derartige Lüftungseinrichtungen sollten zur Grundausstattung jeder mit fugendichten Fenstern ausgerüsteten Wohnung gehören.

#### *Ein- und Zweifamilien-, Reihen- und Doppelhäuser (Eigenheime)*

Meßtechnische Untersuchungen zur Luftdichtheit von Gebäuden konzentrierten sich bisher vorrangig auf Ein- und Zweifamilienhäuser. Demnach liegt für diese Gebäudegruppe eine Vielzahl von nationalen und internationalen Resultaten vor /Geißler96/, /IWU95/, /Brunsell80/, /Sell89/. Viele Resultate zeigen, daß sich die  $n_{50}$ -Werte neuerrichteter Häuser im Mittel zwischen 4 bis 6  $h^{-1}$  einordnen. Bessere Ergebnisse sind erreichbar, wenn das Erreichen einer geringen Luftdurchlässigkeit bereits Ziel der Gebäudeerrichtung war ( $n_{50}=2.6 h^{-1}$ , /IWU95/). Insgesamt zeigt sich, daß Ein- und Zweifamilienhäuser systematisch undichter sind als Etagenwohnungen, was im wesentlichen durch deutlich größere Außenhüllflächen, eine Vielzahl schwierig abzudichtender Details sowie den im Regelfall immer vorhandenen Leichtbauanteil (mind. Dachstuhl) verursacht wird, wobei letzterer ohne eine sorgfältige Abdichtung immer eine wesentliche Schwachstelle bildet. Abbildung 4 zeigt dabei ein Detail, welches häufig anzutreffen ist und keinesfalls als Beispiel dienen sollte. Ausführliche Hinweise zur Planung und Ausführung luftdichter Konstruktionen sind in /IWU95/, /Borsch93/ sowie in DIN 4108 Teil 7 enthalten.

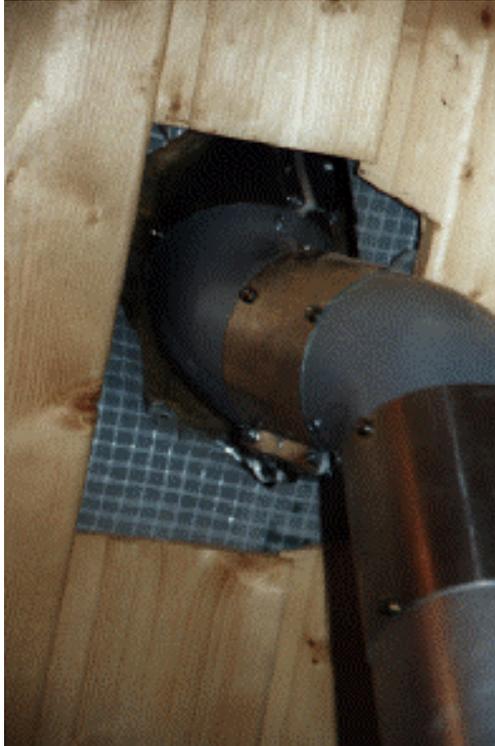


Abbildung 4: Nicht abgedichtete Abgasdachdurchführung

Bei der Errichtung einer großen Anzahl von Eigenheimen werden zur Reduzierung der Baukosten Eigenleistungen erbracht. Viele Komplettthausanbieter haben sich mit sog. Ausbauhäusern auf die entsprechende Nachfrage eingestellt. Der Grad des nachträglichen Ausbaus kann dabei unterschiedlich sein, umfaßt jedoch sehr häufig die Dämmung und Luftdichtung der Dachkonstruktion.

In einer eigenen Untersuchung von 25 neuerrichteten Ein- und Zweifamilienhäusern /Reichel97-2/ in Leicht- und Gemischtbauweise (5 Gemischtbauten, 17 Fertigteil-, 3 Blockhäuser) wurde eine differenzierte Betrachtung der Gebäuden dahingehend vorgenommen, ob in bezug auf die Luftdichtheit Unterschiede auftreten, wenn maßgebliche Bauleistungen an der Außenhülle in Eigenleistung bzw. vollständig von Fachfirmen erbracht wurden.

In mehr als der Hälfte der Gebäude wurden zumindest der Dachgeschoßausbau von den Eigentümern selbst übernommen. Das betraf einerseits das Auskleiden der Gefache mit Dämmmaterial, das Aufbringen der Dampfsperre/-bremse, die raumseitige Beplankung und das Tapezieren. Übereinstimmend erklärten alle befragten Bauherren mit Eigenleistungsanteil, daß eine luftdichte Ausführung der Konstruktion ein neuartiger Aspekt für sie sei, dem während der Arbeiten keinerlei Beachtung geschenkt wurde.

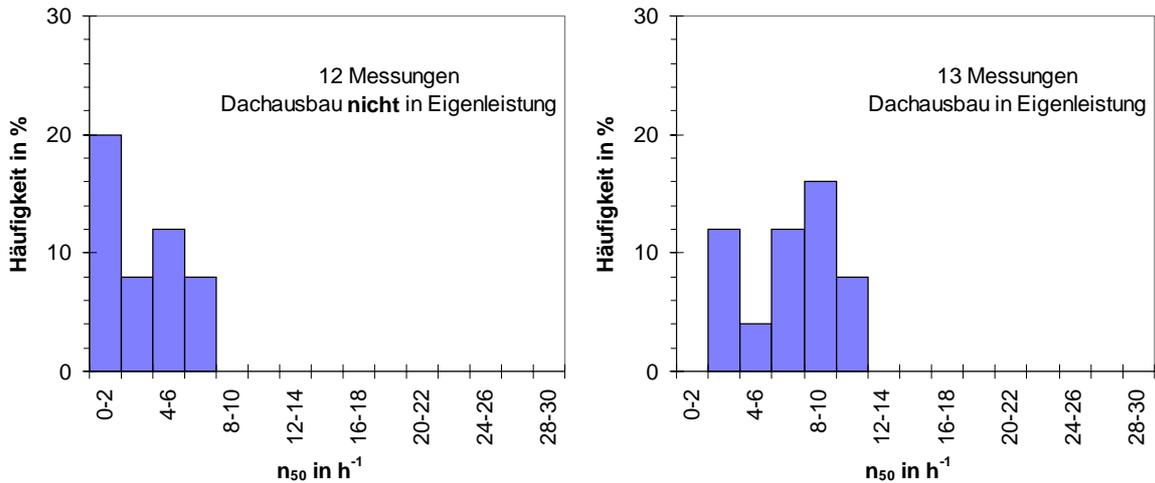


Abbildung 5: Relative Häufigkeitsverteilung der  $n_{50}$ -Werte für untersuchte Ein- und Zweifamilienhäuser mit und ohne Eigenleistungen an der Außenhülle

Der durchschnittliche  $n_{50}$ -Wert ohne Eigenanteil beträgt  $3.4 h^{-1}$  (median  $3.2 h^{-1}$ ). Für die Gebäude, in denen der Ausbau des Dachgeschosses von nicht für die Problematik Luftdichtheit sensibilisierten Nutzern selbst durchgeführt wurde, war ein mittlerer  $n_{50}$ -Wert von  $7.1 h^{-1}$  (median  $7.6 h^{-1}$ ) und damit mehr als eine Verdoppelung der Luftdurchlässigkeit nachzuweisen. Folglich treten zwischen den Ergebnissen ohne und mit Eigenleistung gravierende Unterschiede auf.

Die Konsequenz aus dieser Tendenz kann nur sein, daß bei Häusern, die mit einem die Luftdichtheit beeinflussenden Eigenleistungsanteil angeboten werden, dem Bauherren die Bedeutung der Luftdichtheit gründlich darzulegen ist. Ferner sind Anleitungen zur Abdichtung der wesentlichen potentiellen Schwachstellen zu geben.

Experimentelle Laboruntersuchungen zur Luftdurchlässigkeit typischer Leckagen /Reichel97-1/ unterstreichen, daß, hochgerechnet auf das Holzdach eines Einfamilienhauses, durch eine nicht verklebte und lediglich mit 5 cm Überlappung verlegte Dampfsperre, die darüber hinaus an First und Fußboden bündig abschließt und nicht in das Giebelmauerwerk eingebunden ist, allein über diesen Bereich bereits ein  $n_{50}$ -Anteil von  $2.5 h^{-1}$  erfolgt.

### Energetische Auswirkungen

Der über Undichtheiten in der Gebäudehülle stattfindende Luftaustausch kann erhebliche Lüftungswärmeverluste zur Folge haben, da die unkontrolliert einströmende Luft vom Heizungssystem auf Raumlufttemperatur erwärmt werden muß.

Bilanziert man die energetischen Aufwendungen zur Erwärmung der einströmenden Außenluft über die Heizperiode, läßt sich ein entsprechender Jahresheizwärmebedarf für diese Komponente bestimmen. Dieser ist im wesentlichen abhängig von der Dichtheit der Gebäudehülle sowie von den Windangriffsmöglichkeiten. Weitere Einflußgrößen sind der Gebäudedämmstandard, die lokale Verteilung und Ausbildung der Leckagen.

Grundlage von Abbildung 6 sind die in /Hartmann98/ publizierten Ergebnisse von detaillierten Simulationsrechnungen.

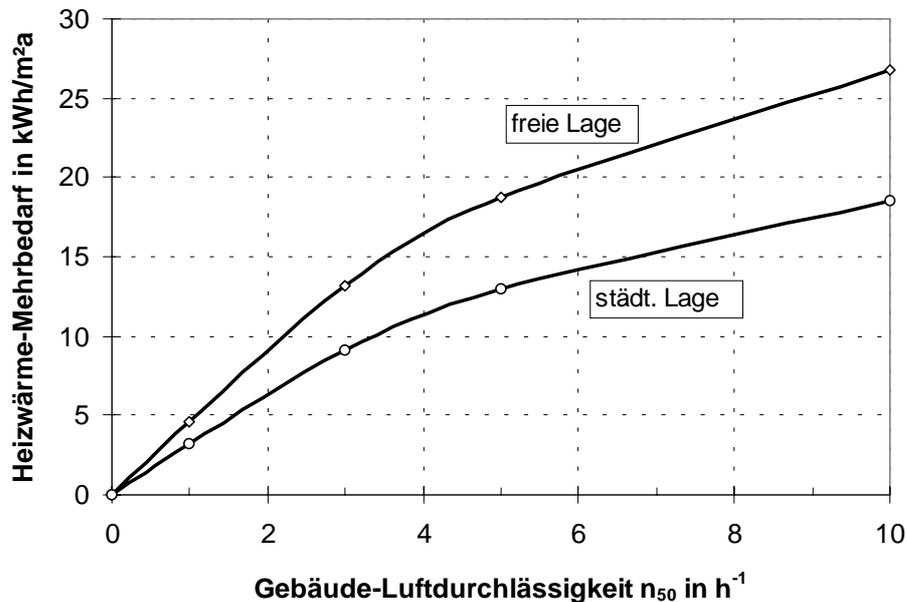


Abbildung 6: Jährlicher Mehrbedarf an spezifischer Heizwärme durch Leckagen in der Gebäudehülle ohne anlagenbedingte Druckdifferenzen zwischen innen und außen (Fugen-, Fensterlüftung, volumenstromneutrale Be- und Entlüftungsanlagen) mit dem Gebäudestandort als Parameter. Grundlage der Simulationsrechnungen ist ein Reihen-Mittelhaus mit Niedrigenergiehausstandard.

Abbildung 6 vermittelt einen anschaulichen Eindruck darüber, inwieweit Undichtheiten in der Gebäudehülle Einfluß auf den Heizwärmebedarf nehmen können. Als meteorologische Datengrundlage dient das Testreferenzjahr 05 (Würzburg), das nach /Rathert95/ mittleren klimatischen Verhältnissen der Bundesrepublik entspricht. Die Randbedingungen dieses Beispiels sind als günstig anzusehen, da der Standort Würzburg zu den windschwachen Lagen zählt (stärkere Winde lassen den infiltrationsbedingten Heizwärmebedarf ansteigen), das Reihenhaus nur zwei windrelevante Außenseiten aufweist sowie bereits die zukünftige Niedrigenergiebauweise zugrundegelegt wurde (bei schlechterem Dämmstandard vergrößert sich die Heizperiode und damit der Heizwärmebedarf). Trotzdem ist bei Eigenheimen mit  $n_{50}$ -Werten von  $5 h^{-1}$  im Vergleich zu einer dichten Bauweise ( $n_{50} \approx 1 h^{-1}$ ) mit einem Mehrbedarf von ca.  $12 kWh/m^2a$  zu rechnen, was bei Niedrigenergiehausstandard durchaus ca. 20% des Gesamtheizwärmebedarfes ausmachen kann.

### Wirtschaftlichkeit verbesserter Gebäude-Luftdichtheit

Ein interessanter Aspekt ist die wirtschaftliche Einordnung einer Verbesserung der Gebäudeluftdichtheit im Vergleich zu Verbesserungsmaßnahmen auf Seiten des Wärmeschutzes der Außenwände für Neubauten. Dieser Vergleich ist nur für Gebäude mit unzureichender Luftdichtheit, als vorrangig für Ein-, Zwei- und Reihenhäuser sinnvoll.

Der Berechnungsgang erfolgt mit dem Monatsbilanzverfahren nach DIN V 4108 Teil 6. Die Daten für die Transmissionsseite wurden /Oschatz98/ entnommen und für das gleiche zugrundeliegende Gebäudemodell (Reihenhaus mit 4 Wohneinheiten) um den Komplex Luftdichtheit erweitert.

Ausgangspunkt ist jeweils ein Dämm-Niveau nach /WSV95/. Grundlagen für die Dämmmaßnahmen ist ein k-Wert der Außenwände von anfänglich  $0.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Grundlage für die Luftdichtheit ist ein  $n_{50}$ -Wert von  $5 \text{ h}^{-1}$ .

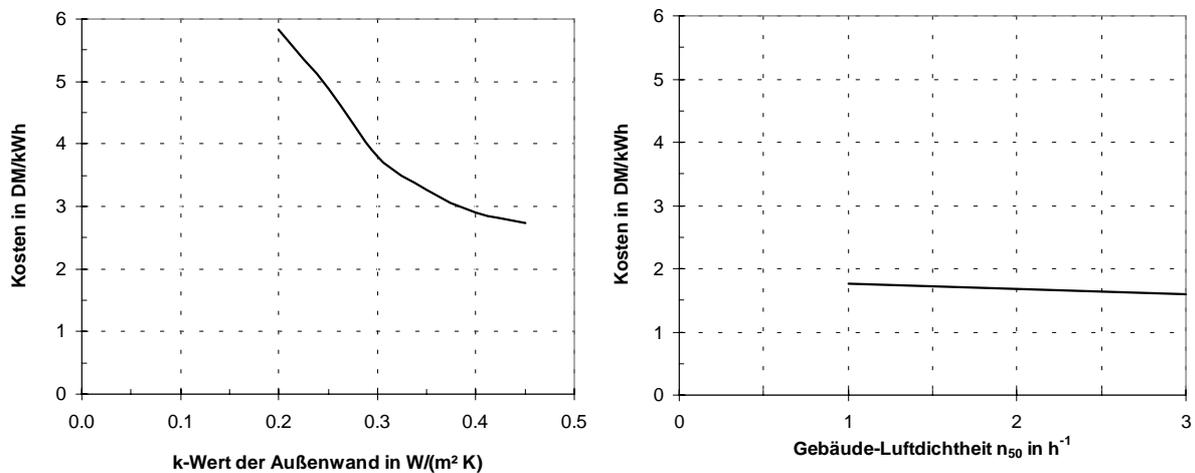


Abbildung 7: Investitionskosten von energetischen Verbesserungen (DM/ingesparte kWh) auf der Transmissionsseite und der Luftdichtheit der Gebäudehülle für mittleren/s Aufwand/Preisniveau

Obwohl in den Investitionsaufwendungen zur Verbesserung der Luftdichtheit bereits ein bzw. zwei Blower-Door-Tests eingerechnet wurden, stellen sich, ausgehend vom Dämm-Niveau nach /WSV95/, Maßnahmen zur Verringerung des Heizwärmeverbrauchs auf der Abdichtungsseite investiv günstiger dar als die weitere Dämmung der Außenwände. Die realen Kosten können im Einzelfall durchaus von dem hier zugrundeliegenden Preisniveau abweichen, wobei die erkennbare Tendenz, daß die Verringerung der Gebäude-Luftdichtheit mit der Verbesserung des Außenwand-Wärmeschutzes aus Sicht der Investitionskosten konkurrenzfähig ist, erhalten bleibt.

Hinzu kommen die bereits genannten zusätzlichen positiven Effekte bei der Dichtheitsverbesserung in bezug auf die Bauschadensvermeidung und die Erhöhung des thermischen Komforts.

### Fazit

Obwohl die gültige Wärmeschutzverordnung nunmehr die Erstellung möglichst luftdichter Gebäude fordert und mit Grenzwerten hinterlegt, wird die Luftdichtheit von Gebäuden mit der in der avisierten Energieeinsparverordnung vorgesehenen Bonifizierung einen neuen Stellenwert erreichen. Etagenwohnungen, die mit fugendichten Fenstern ausgestattet sind, erfüllen zumeist heute schon die gestellten Anforderungen. Werden hier keine Überlegungen zur Zuluftsicherung (notwendiger Mindestluftwechsel) angestellt, ist mit einer Verschärfung der zur Zeit bereits problematischen Schimmelpilzsituation zu rechnen.

Demgegenüber weisen Eigenheime gegenwärtig ein unbefriedigendes Niveau der Dichtheit auf, was das Auftreten von Bauschäden durch Bauteildurchfeuchtung, Beheizungsprobleme, Zugscheinungen sowie einen deutlich erhöhten Heizwärmeverbrauch begünstigt.

## Literatur

/BA98/

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Bundesanzeiger Nr. 140 vom 31.07.1998, S. 10885

/Blasnik 92/

Blasnik, M.; Fitzgerald, J.: In search of the Missing Leak. Home Energy, 6/1992

/Borsch93/

Borsch-Laaks, Robert: Luftdichtigkeit der Gebäudehülle im Niedrig-Energie-Haus (Anforderungen, Messung, Baupraxis). Sonderdruck, Herausgeber: AG Solar und IC-Consult, 1993

/Feustel90/

Feustel, H.: Measurements of Permeability in Multizone Buildings. Energy and Buildings 14/1990, S. 103-116

/Geißler96/

Geißler, A.; Hauser, G.: Untersuchung der Luftdichtheit von Holzhäusern. Abschlußbericht des AIF-Forschungsvorhabens Nr. 9579, Universität Gesamthochschule Kassel 1996

/Geißler97/

Geißler, A.; Bolender, T.; Hauser, G.: Blower-Door-Messungen - erweiterte Meßmethoden. HLH 5/1997, S. 24-31

/Hartmann98/

Hartmann, T.; Richter, W.: Effektivität von Wohnungslüftungsanlagen aus energetischer Sicht; Technische Universität Dresden; Dresden, März 1998

/IWU95/

Zeller, J. et al.: Luftdichtigkeit von Gebäuden. Bericht des Institutes für Wohnen und Umwelt GmbH Darmstadt, August 1995

/Oschatz98/

Oschatz, B.; Hartmann, T.: Einfluß des Verrechnungsprinzips zwischen bau- und anlagentechnischen Energiesparmaßnahmen auf den Energieträgereinsatz im Rahmen der ESVO 2000. TU-Dresden, Bereich Technische Gebäudeausrüstung, 1998

/Reichel97-1/

Reichel, D.: Experimentelle Untersuchungen zur Luftdurchlässigkeit von Bauteilen. TU-Dresden, Bereich Technische Gebäudeausrüstung, 1997, unveröffentlicht

/Reichel97-2/

Reichel, D.: Messungen der Luftdichtheit von Ein- und Zweifamilienhäusern, TU-Dresden, Bereich Technische Gebäudeausrüstung, November 1997, unveröffentlicht

/Reichel98/

Reichel, D.; Richter, W.: Luftdichtigkeit von industriell errichteten Wohngebäuden in den neuen Bundesländern. BMBau-Forschungsbericht der TU-Dresden, Bereich Technische Gebäudeausrüstung, Januar 1998, IRB-Verlag Reihe „Bauforschung für die Praxis“ Band 44

/Sell89/

Sell, J. et al: Luftdurchlässigkeit von Gebäudehüllen im Holzbau. EMPA-Bericht Nr. 218, November 1989

/WSV95/

Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV) vom 16. August 1994.