

Luftdichtheit in Ziegel-Massivgebäuden

Einleitung

Die Luftdichtheit der Außenhülle eines Gebäudes wird zunehmend als Qualitätsmerkmal verstanden und kann im Massivbau dessen übrige positiven Eigenschaften weiter verbessern. Neben der Schadensfreiheit und vor dem Hintergrund der Energieeinsparung wird ein höherer thermischer Komfort erreicht, ein besserer Schallschutz erzielt und eine nachhaltige Bauqualität sichergestellt. Die Wichtigkeit dieser Forderungen bringt der III. Bauschadensbericht der Bundesregierung [1] deutlich zum Ausdruck, in dem neben der Forderung zur Bedarfslüftung insbesondere auf Schäden durch mangelhafte Luftdichtheit von Gebäuden hingewiesen wird.

Eine dauerhaft luftdichte Ausführung aller Bauteilanschlüsse wird schon seit Bestehen der DIN 4108 [2] seit dem Jahr 1952 gefordert. Dort wird die Luftdurchlässigkeit der Fensterfugen zwischen Blend- und Flügelrahmen durch den Fugendurchlasskoeffizienten a [$\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}^{2/3})$] beschrieben und je nach Anwendungsfall begrenzt. Die früher recht hohen a -Werte zwischen etwa 1 und 2 konnten zu nicht unerheblichen Lüftungswärmeverlusten beheizter Räume führen, sodass sie bei der Ermittlung der Raumheizlast nach DIN 4701 [3] berücksichtigt wurden.

War in der Vergangenheit eine hohe Luftwechselrate in den Gebäuden zur Gewährleistung einer ausreichenden Zufuhr von Verbrennungsluft für die vorwiegend offenbeheizten Wohnräume notwendig, ergibt sich diese Erfordernis bei den heute üblichen zentralbeheizten Gebäuden nicht mehr. Auch der in der Vergangenheit deutlich schlechtere bauliche Wärmeschutz mit den damit verbundenen Tauwasserproblemen machte hohe Luftwechselraten erforderlich. Mit der Erhöhung des baulichen Wärmeschutzes und der Zunahme der per-

sonenbezogenen Wohnflächen sinkt die Tauwassergefahr deutlich und die Feuchteabfuhr aus den Räumen kann über kleinere Luftwechselraten sichergestellt werden.

Neben der energetischen Relevanz einer luftdichten Gebäudehülle kommt der Schadensfreiheit der hochwärmegeprägten Bauteile eine besonders große Bedeutung zu. So sind insbesondere nicht ausreichend luftdichte Dächer durch konvektiven Feuchteintrag stark gefährdet. Entsprechende Untersuchungen [4] und [5] zeigen, dass bedeutende Wassermengen zusätzlich zur Diffusion in und durch wärmegeprägte Steildächer ohne ausreichende Luftdichtheitsschichten und Anschlüsse eingetragen werden können und zu erheblichen Schäden führen.

Luftwechselzahlen

Die in der Bauphysik verwendete Luftwechselzahl n gibt an, wie oft das vorhandene Nettoraumvolumen in einer Stunde mit der Außenluft ausgetauscht wird. Der Mindestluftwechsel in Wohnräumen zum CO_2 – Ausgleich und zur Feuchteabfuhr sollte etwa $0,5 \text{ h}^{-1}$ betragen. Berücksichtigt man eine durchschnittliche Wohn- bzw. Nutzfläche von 30 m^2 pro Person ergibt sich bei lichten Raumhöhen von $2,4 \text{ m}$ ein Wert von über $30 \text{ m}^3/\text{pers} \cdot \text{h}$, der sich mit den Anforderungen der DIN 1946 [6] an intensiv genutzte Wohn- und Aufenthaltsräume deckt.

Neben dem in der Regel über Fensteröffnen oder über mechanische Lüftungsanlagen sicherzustellenden Luftwechsel ergibt sich ein unkontrollierter zusätzlicher Infiltrationsluftwechsel über Bauteilfugen, Undichtheiten in der Gebäudehülle etc. Dieser resultiert aus den statischen Druckdifferenzen der Windanströmung am Gebäude und aus den temperaturbedingten Luftdruckunterschieden zwischen Innenraum und Außenluft. Diese Luftwechselzahl liegt

zwischen $0,1 \text{ h}^{-1}$ bei sehr dichten und $0,3 \text{ h}^{-1}$ bei weniger dichten Gebäuden. An dieser Stelle wird erkennbar, dass dieser Infiltrationsluftwechsel im Verhältnis zum kontrollierten Luftwechsel einen erheblichen Anteil am Lüftungswärmeverlust in der Heizperiode ausmachen kann. Diesem Umstand trägt die in der Bearbeitung befindliche Norm DIN V 4108-6 [7] Rechnung, nach der der Jahresheizwärmebedarf von Wohngebäuden berechnet werden kann. So wird in luftdichten Gebäuden mit einem Gesamtluftwechsel n von $0,6 \text{ h}^{-1}$ in der Heizperiode gerechnet, während weniger luftdichte Gebäude einen Wert von $0,7 \text{ h}^{-1}$ zugewiesen bekommen.

Prüfung der Luftdichtheit

Die Definition der ausreichenden Luftdichtheit eines Gebäudes erfolgt in der DIN V 4108 – 7 von 1996 [8]. Häuser mit mechanischer Lüftungsanlage müssen dichter sein als solche mit Fensterlüftung. Der nach dem Blower-Door-Verfahren ermittelte n_{50} Wert, der sich bei einer Druckdifferenz von 50 Pascal ergibt, darf 1,0 pro Stunde in mechanisch bzw. 3,0 pro Stunde in Fenster gelüfteten Gebäuden nicht überschreiten.

Die Blower-Door-Prüfungen werden in der Regel von Ingenieurbüros durchgeführt, die Überprüfung eines Einfamilienhauses in bezugsfertigem Zustand dauert etwa eine Stunde zuzüglich der Nebenarbeiten und der Messauswertung. Sollen darüber hinaus eventuell vorhandene Leckagestellen gesucht werden, ist je nach Bauzustand und Bauweise mit einem erheblichen Mehraufwand zu rechnen. Dieser Umstand macht deutlich, dass die Überprüfung der Luftdichtheit zu einem möglichst frühen Zeitpunkt und zwar vor Beendigung aller Innenarbeiten erfolgen sollte. Dies setzt voraus, dass die Luftdichtheitsschichten komplett fertig gestellt und sämtliche Bauteilschlüsse luftdicht ausgeführt sind. Die Kosten einer solchen Messung belaufen sich in einer weiten Spanne zwischen 500 und 2000 DM.

Neuere Untersuchungen [8] zeigen allerdings, dass die Unsicherheiten zur Genauigkeit von Blower-Door-Prüfungen sehr hoch sind. Insbesondere der während der Messung herrschende Winddruck auf die Fassaden und die Art der Leckagen beeinflussen ein Ergebnis erheblich. Nicht zuletzt

die Bestimmung des Bezugsvolumens (Netto-Innenvolumen) kann bei unübersichtlichen Verhältnissen mit entsprechend hohen Fehlern behaftet sein. Sind die möglichen Leckagen z.B. nur auf einer Fassade zu finden, ist die Einzel-Messunsicherheit mit 17 – 42 % am größten. Die Gesamtunsicherheit bei keinem oder nur geringen Windanfall kann zwischen 6 und 35 % betragen. Im Zweifelsfall ist damit zur Einhaltung vorgegebener Anforderungen eine Überprüfung der Randbedingungen äußerst sinnvoll.

Die im Schluss-Entwurf vorliegende europäische Prüfnorm prEN 13829 zum Differenzdruckverfahren (Blower Door) [9] beschreibt die Prüfmethode und gibt ebenfalls Anhaltspunkte zur Genauigkeit des Verfahrens. Hier wird die Gesamtunsicherheit der abgeleiteten Größen mit bis zu $\pm 15 \%$ bei windstillem und bis zu ± 40 bei windigem Wetter angegeben.

Luftdichtheitskonzept

Zum Erzielen einer luftdichten Gebäudehülle ist möglichst schon in der Entwurfsphase, aber spätestens im Rahmen der Detailplanung, unbedingt ein Luftdichtheitskonzept zu erstellen. Sämtliche Bauteilschlüsse mit Konstruktions- oder Materialwechseln sind zu planen, den entsprechenden Gewerken im Rahmen der Ausschreibungen zuzuordnen und nach aller Erfahrung auch bauüberwachend zu begleiten.

Die luftdichte Hülle muss das gesamte beheizte Volumen vollflächig umschließen, im Geschosswohnungsbau möglichst jede einzelnen Wohneinheit für sich selbst, um hier über Treppenhäuser, Versorgungsschächte, etc. Leckagen auszuschließen. Insbesondere ausgebaute Dachgeschosse mit Pfettendach und Kehlgebälk sind auf Grund der Vielzahl der konstruktionsbedingten Durchstoßpunkte zu beachten. Geringe Anschlusslängen, eine reduzierte Anzahl von Durchdringungen und ein mechanischer Schutz der im Leichtbau verwendeten Folien oder Pappen sind Voraussetzung für dauerhafte Ausführungen und reduzieren das Schadenspotenzial. Eine Übersicht der kritischen Details und deren sachgerechte Ausführung gibt die DIN V 4108-7 [10], die sich derzeit allerdings noch in Überarbeitung befindet.

Für den Massivbau aus Ziegeln gilt für die flächigen Bauteile, dass nassverputztes Mauerwerk mit mindestens einer verputzten Oberfläche grundsätzlich luftdicht ist. Dies wird gemäß E DIN 4108-3, 1999-07 festgestellt. Demgegenüber muss bei Holzbauteilen generell eine Luftdichtheitsschicht angebracht werden [11].

Aus der Literatur sind Werte der Luftdurchlässigkeit für verschiedene Materialien und flächige Bauteile bekannt. Die Luftdurchlässigkeit wird ebenfalls bei einem Differenzdruck von 50 Pa ermittelt und es wird ein

stündlicher Luftvolumenstrom pro m² Bauteilfläche angegeben [m³/(m²*h)]. Materialschichten mit einem Kennwert größer 0,1 m³/(m²*h) gelten als nicht geeignet, der Kennwert eines Bauteils sollte kleiner 1 m³/(m²*h) sein. Dabei kann die Luftdichtheit eines Bauteils selbstverständlich kleiner sein als die Einzelwerte der verwendeten Baumaterialien, da z.B. Stöße, Fugen und Fehlstellen in der Praxis zwangsläufig zu unvermeidbaren Leckageraten führen. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht der Luftdurchlässigkeit verschiedener Stoffe und Bauteile [12,13]:

	Luftdurchlässigkeit [m ³ /(m ² *h)] bei 50 Pa	
	minimal	maximal
Zementputz (außen)	0,001	0,002
Kalkzementputz (außen)	0,002	0,05
Kalkputz (innen)	0,02	0,6
Gipskartonplatte	0,002	0,03
Mauerwerk verputzt	0,1	2
Betonfertigteile-Konstruktion	1	10
Gipskartonplatten (Fugen offen)	-	50
Profilholz mit Nut + Feder	60	100
Holzpaneele aus MDF oder Spanplatten	8	18
Akustikdecke	90	200
Dach Aufsparrendämmung oder innenseitige Winddichtung	3	20
Dach Zwischensparrendämmung oder innenseitige Winddichtung	10	40
PE-Folie 0,1 mm	-	0,0015
Baupappen	0,01	3
Bitumenpappe	0,008	0,02
Unterspannbahn	-	1
Holzfaserdämmplatte bituminiert	1,1	2,3
Holzweichfaserplatte	2	3,5

Luftdichte Bauteilanschlüsse

Eine sorgfältige Ausführung der flächigen Bauteile und die entsprechende Fügung der aneinanderstoßenden Konstruktionen bewirkt die gewünschte Dichtheit der gesamten Hülle. In der Fläche ist darauf zu achten, dass nach Fertigstellung der Luftdichtheitsschicht durch ein bestimmtes Gewerk diese nicht durch Folgearbeiten verletzt wird. Gerade bei geschichteten Bauteilen wie im

Dach, kann eine z.B. durch den Zimmermann sachgerecht angelegte Dichtheitsschicht durch Elektro-/Sanitärinstallationen oder durch nachträglichen Einsatz von Dachflächenfenstern etc. in ihrer Funktion wirkungslos werden. Die Zuordnung der Bauleistung "Luftdichtheit" ist für alle Baubeteiligten von Wichtigkeit. Etwa 15 verschiedene Positionen in einem typischen Wohngebäude sind besonders zu beachten:

Rohbauphase	Detail	Maßnahme
1.	Anschluss der Kellerdecke zur Außenwand	Außenwände vollflächig ohne Vorlage aufsetzen
2.	Mauerkronen und –brüstungen	mit oberseitigem Mörtelabgleich versehen
3.	Fertigrolladenkästen	am Auflager rundum mit Mörtel abgleichen
4.	Elektro-/Sanitärinstallationen	Steckdosen rundum eingipsen, Leitungsschlitze vollflächig luftdicht schließen
5.	Vorwandinstallationen	vor Außenwänden oder zu unbeheizten Bereichen ist das Mauerwerk vorher zu verputzen
6.	Schornsteindurchführungen	Ausstopfen und dauerelastisch verschließen

Ausbau-phase	Detail	Maßnahme
7.	Fensteranschlüsse	zum Baukörper entweder komplett einschäumen oder Fugen ausstopfen und nachträglich luftdicht versiegeln
8.	Innenputz	Wandfuß der Außenwand bis auf die Rohdecke verputzen
9.	Abseiten	gemauerte Drepel bzw. Kniestöcke komplett verputzen
10.	Deckenaussparungen/-durchbrüche	von Installationen ausstopfen und sorgfältig verschließen
11.	Mauerkronen	zusätzlich oberseitig mit Dämmstoff versehen
12.	Dach-/Wandanschlüsse	an Außen-/Innenwänden mit geeigneten dauerhaften Techniken ausführen
13.	Dachflächenfenster	Luftdichtheitsschicht nachträglich abdichten
14.	Dunstrohre	Luftdichtheitsschicht nachträglich abdichten
15.	Bodenluke	Luftdichtheitsschicht nachträglich abdichten

Umsetzung in der Praxis

Die zuvor beschriebenen Maßnahmen sind in der Niedrigenergiebauweise seit Jahren baupraktisch erprobt und erfolgreich umgesetzt worden. Zahlreiche Veröffentlichungen

zur geprüften Luftdichtheit von Wohngebäuden liegen vor [12, 14-21]. Deren Auswertung nach der Qualität der Leichtbauweisen zu derjenigen massiver Gebäude zeigt die folgende Auswertung:

Anzahl	Luftdurchlässigkeit n_{50} [h^{-1}]			Summe
	< 1,0	1,0 – 3,0	> 3,0	
Massivbauten	56	107	61	224
Leichtbauten	6	32	75	113

Erreichen 25 Prozent der untersuchten Massivbauten einen Messwert $n_{50} < 1,0 h^{-1}$ und sind somit für den Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen geeignet, beträgt der Anteil bei den Leichtbauweisen lediglich 5 Prozent. Gravierender allerdings ist der Umstand, dass 66 Prozent dieser Gebäude den Grenzwert von $3,0 h^{-1}$ überschreiten, mit Maximalwerten von bis zu $15 h^{-1}$.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist die Nachhaltigkeit der Maßnahmen zur Luftdichtheit. So werden in den einschlägigen Regelwerken klare Hinweise zur Langzeitbeständigkeit verschiedener Dichtstoffe und deren Kombination gegeben. Während Ortschaften, mit Paketklebebandern verklebte Folienstöße und nachschwindende plattenförmige Holzbaustoffe nicht für langlebige Maßnahmen geeignet sind, ergeben sich bei Massivbauteilen auch über Jahre hinweg keine sichtbaren Veränderungen. Die in Bochum–Werne in Massivbauweise erstellten Ziegel-Niedrigenergiehäuser wurden mittels Blower-Door-Verfahren untersucht. Die Erstmessungen fanden unmittelbar vor Bezug im Herbst 1996 statt, Wiederholungsmessungen im Herbst 1999. Die Veränderungen der n_{50} - Messwerte bewegten sich zwischen $-0,3$ und $+0,4 h^{-1}$, ohne das zwischenzeitlich irgendwelche Veränderungen an den Gebäuden vorgenommen wurden. Die Mittelwerte der 9 Häuser lagen

bei der Nachmessung knapp $0,1 h^{-1}$ über den Werten der Messung von 1996. Vor dem Hintergrund der hohen Unsicherheiten der Messgenauigkeit können die Veränderungen der n_{50} - Werte sicherlich als marginal bezeichnet werden. Daraus lässt sich ableiten, dass sogar über den Zeitraum, in dem die Gebäudeaustrocknung stattfand und Schwind- und Setzungsverformungen abliefen, die hier getroffenen Maßnahmen dauerhaft ihren Zweck erfüllen.

Da bislang allerdings auf Grund der recht jungen Messtechnik noch keine abgesicherten Zahlen zur Langzeitbeständigkeit und zum Alterungsverhalten der in der Regel aus Kunststoffen bestehenden Abdichtungsmaterialien in der Praxis in ausreichendem Umfang vorliegen, kann die folgende, im Abstand von drei Jahren wiederholte Luftdichtheitsmessung der Ziegel-Niedrigenergiehäuser Bochum-Werne (Bild 1) nur Anhaltswerte geben:

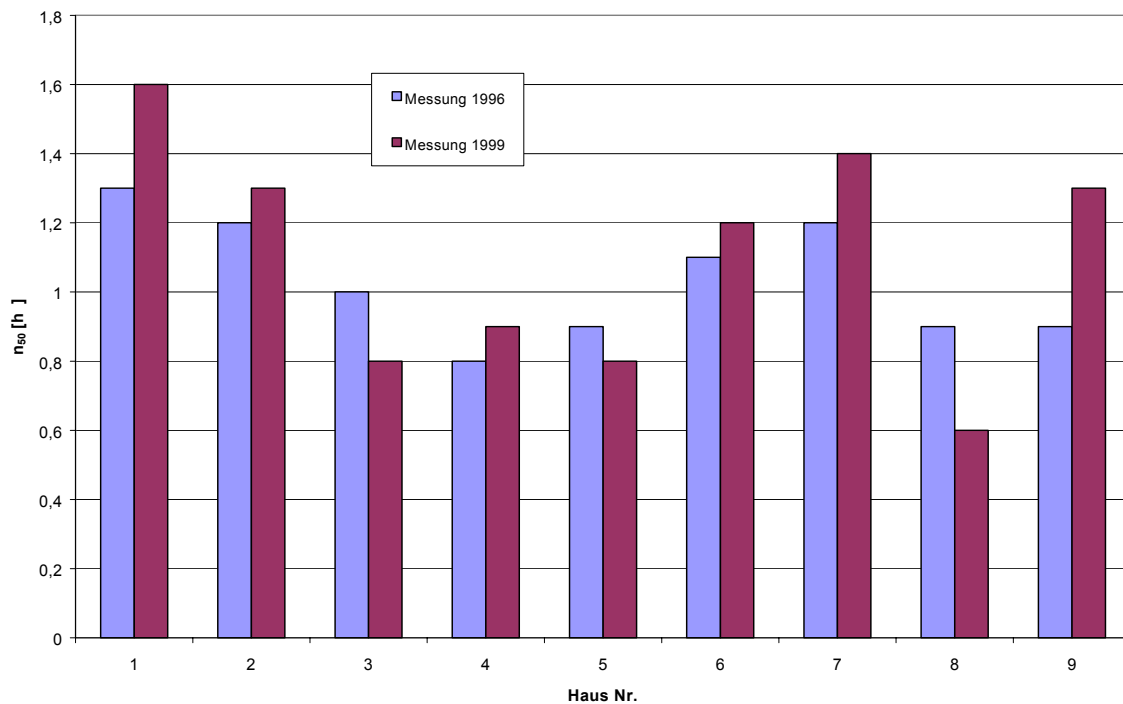


Bild 1: Luftdurchlässigkeit der Ziegel-Niedrigenergiehäuser Bochum-Werne

Fazit

Die Begrenzung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle ist zur Vermeidung von Bauschäden und zur Reduzierung unkontrollierbarer Lüftungswärmeverluste ein anzustrebendes Ziel. Dies bedeutet auch, dass unter normalen Wohnbedingungen keine Schadstoffanreicherungen der Raumluft und keine unzulässigen Feuchteerhöhungen auftreten, da diese Belastungen grundsätzlich über eine wie auch immer zu praktizierende Bedarfslüftung abgebaut werden müssen.

Mit Ziegel-Massivbauweisen ist dies Ziel einfacher zu erreichen als mit Leichtbauweisen aus Holz. Eine Fülle von Regelwerken sowie entsprechende Ausführungsanleitungen zeigen, dass die Umsetzung derartiger Details möglich ist. Die hierzu notwendigen Arbeitsschritte müssen allerdings geplant, ausgeschrieben und überwacht werden. Die dann erreichte Qualität des Gebäudes wird nachhaltig zum Wohnkomfort beitragen und die Energieverbräuche gering halten.

Literatur zur Luftdichtheit

- [1] Deutscher Bundestag: Dritter Bericht über Schäden an Gebäuden, Ausgaben 3/1996, Drucksache 13/3593, Bonn.
- [2] DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau, Ausgaben 1952, 1960, 1969, 1974, 1975, 1981, Beuth Verlag, Berlin.
- [3] DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, 1959, 1983, Beuth Verlag, Berlin.
- [4] Knublauch, E., e.a.: Über die Luftdurchlässigkeit geneigter Dächer. Gesundheits-Ingenieur 108 (1987), Heft 1.
- [5] Borsch-Laaks, A.: Tauwasserrisiken durch Dampfkongvektion im Steildach. BbauBI (1999), Heft 8.
- [6] DIN 1946: Raumlufttechnik, 1983, Beuth Verlag, Berlin.
- [7] E DIN V 4108-6: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6, Berechnung des Jahresheizenergiebedarfs, Ausgabe 1999, Beuth Verlag, Berlin.

- [8] Geißler, A.: Genauigkeit von Luftdichtheitsmessungen, Tagungsband des 4. EUZ Blower-Door-Symposiums, Hannover, 14. Okt. 1999.
- [9] prEN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren, Schluss-Entwurf, April 2000, Beuth Verlag, Berlin.
- [10] DIN V 4108-7: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 7, Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen – Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele, Vornorm, Ausgabe 11/1996, Beuth Verlag, Berlin.
- [11] DIN 4108-3: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3, Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung, Ausgabe 7/1999, Beuth Verlag, Berlin.
- [12] Feist, W.: Das Niedrigenergiehaus, 4. Auflage, Verlag C.F. Müller, Heidelberg, 1997.
- [13] Scharte, N.: Bedeutung der Winddichtigkeit ausgebauter Dachgeschosse, Bauhandwerk 1989, Heft 5.
- [14] Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW (Hrsg.): Das Niedrigenergiehaus - Förderprogramm NRW, 2.33 – 1998, Aachen.
- [15] Wirtschaftsmin. Baden Württemberg (Hrsg.): Energie- und Kosten sparende Wohngebäude in Schopfheim, Broschüre, Stuttgart, 1995.
- [16] Eicke-Hennig, W.: Erfahrungen mit dem NEH-Förderprogramm in Hessen, IBK Bau Fachtagung 212, Darmstadt, 1996.
- [17] Geißler, A., Hauser, G.: Untersuchung der Luftdichtheit von Holzhäusern, AiF Forschungsvorhaben Nr. 9579, IRB Stuttgart, T 2717, Stuttgart, 1996.
- [18] Reiß, J., Erhorn, H.: Mehrfamilien Niedrigenergiehaus Mannheim, WB 81/1995, Bericht des Fraunhofer Instituts für Bauphysik, Stuttgart, 1995.
- [19] Kluttig, H., Erhorn, H.: Niedrigenergiehäuser in Ziegelbauweise, WB 100/1998, Bericht des Fraunhofer Instituts für Bauphysik, Stuttgart, 1998.
- [20] Stadtwerke Hannover (Hrsg.): Demonstrationsprogramm Niedrigenergiehäuser (Zwischenbericht).
- [21] Selk, M., Depner, J.: Luftdichtheitsprüfungen von Wohngebäuden - Niedrigenergiehaus-Förderung in Schleswig-Holstein, Bericht der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., Kiel, 2000.
- Bonn, Juli 2000
Gi-GdJ AMz