

Luftdichtigkeits-Messungen: Bitte besser... !

„Messung und Beurteilung der Luftdichtigkeit von Niedrigenergiehäusern“ Erkenntnisse aus dem EMPA / BFE Projekt [12]

Christoph Tanner, Architekt FH, EMPA, Abteilung Bauphysik,
Überlandstrasse 129, CH-8600 Dübendorf.

Zusammenfassung

Eine luftdichte Gebäudehülle hat viele qualitative Vorteile. Mittels einer Messung kann dieser Qualitätsfaktor auch nachgewiesen werden. Aber: Bei einer Beurteilung des Messresultates kann es schwierig werden, denn einerseits werden unterschiedliche Kennwerte ermittelt ($v_{a,4}$, n_{50} , q_{50}) und andererseits fehlen in den Normen detaillierte Ausführungsbestimmungen. Dadurch entsteht Spielraum und es müssen bei einer Messung verschiedene subjektive Entscheide gefällt werden. So ergeben sich z.B. je nach Wahl der Messzone oder je nach Abdichtungs-Ort der Lüftungsanlage grosse Unterschiede in den Messergebnissen. Bei der Beurteilung von Niedrigenergiebauten kommt dazu, dass die z. T. extrem niedrigen Grenzwerte ($0.6 [h^{-1}]$) nur aus energetischen Gründen gefordert werden, obwohl bekanntermassen zwischen der Luftwechselzahl n_{50} und den energetisch relevanten Lüftungswärmeverlusten (durch Infiltration/Exfiltration) nur ein indirekter Zusammenhang besteht. Das hinterlässt Fragen über den Stellenwert und die Vergleichbarkeit von Luftwechselzahlen. Vorschläge für einheitliche Messanordnungen und Datenauswertungen werden z. Zt. diskutiert. Ziel ist es, eine Messanleitung zu erstellen, die einfache, pragmatische Lösungen aufgezeigt, damit die Messwerte so dargestellt sind, dass sie (international) vergleichbar sind.

Résumé:

Une enveloppe de bâtiment imperméable à l'air présente des avantages. Ce facteur de qualité peut être vérifié par une mesure. Toutefois l'évaluation des résultats d'une telle mesure peut être ardue car d'une part il est possible de déterminer plusieurs valeurs caractéristiques ($v_{a,4}$, n_{50} , q_{50}) et d'autre part les normes ne contiennent aucune prescription d'exécution détaillées. Ceci laisse un certain vague et il faut ainsi prendre différentes décisions subjectives lors de la mesure. Ainsi par exemple les résultats obtenus peuvent varier fortement suivant le choix de la zone de mesure ou suivant la localisation de l'étanchéité de l'installation de ventilation. Sur les bâtiments basse énergie, vient encore s'ajouter à cela le fait que les valeurs limites extrêmement basses ($0.6 [h^{-1}]$) ne sont exigées que pour des raisons énergétiques alors qu'il est bien connu qu'il n'existe qu'une relation indirecte entre le taux de renouvellement d'air n_{50} et les déperditions calorifiques par infiltration/exfiltration. Ceci laisse ouvertes des questions sur la valeur informative et la comparabilité des valeurs de taux de renouvellement d'air. Des propositions de dispositions de mesure et d'évaluation des résultats unifiées sont actuellement en discussion. L'objectif poursuivi est d'établir des instructions de mesure donnant des solutions simples et pragmatiques aboutissant à un mode de présentation des valeurs de mesure qui permette leur comparaison sur le plan international.

1 Bedeutung der Luftwechselzahl

Die mit der Blower Door ermittelte Luftwechselrate beschreibt die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle. Aus dem ermittelten Wert sind Charakteristik und Verteilung der verbleibenden Leckagen nicht ersichtlich. Diese sind mit anderen Mitteln (z. B. von Hand oder mit IR-Thermografie) ausfindig zu machen.

Die Prüfnorm EN 13829 (2000) [1] gibt vor, wie der Leck-Volumenstrom im Differenzdruckverfahren zu messen ist. Für die Gebäudepräparation und die Datenauswertung bleibt jedoch Spielraum offen. So ist nicht vorgegeben, welche Bezugsgrösse (Volumen/Hüllfläche/Grundfläche) und welches Messverfahren (A = Nutzungszustand, B = Gebäudehülle) anzuwenden ist. Auch weitere Variablen werden zwar beschrieben, sind aber für die Ermittlung einer Luftwechselzahl nicht zwingend vorgegeben. Dies führt zu einer ganzen Reihe von möglichen Luftwechselzahlen, und zu länderspezifischen Spezifikationen:

- CH: SIA 180 [2]: $(n_{L,50}), v_{a,4}$
- D: EnEV [3]: n_{50}
- D: DIN 4108-7 [4]: n_{50}, q_{50}, w_{50}
- weitere: siehe [5].

Werden nun Messresultate international verglichen (z.B. n_{50} -Wert), so wird das problematisch, weil das Resultat, je nach Land, mit unterschiedlicher Messmethodik ermittelt wurde. Gemeinsam bleibt dann lediglich, dass die gemessenen Leck-Luftvolumenströme (Messkurve) einen quantitativen Hinweis darstellen, wie viele Leckagen die Umhüllung der gemessenen Zone insgesamt aufweist.

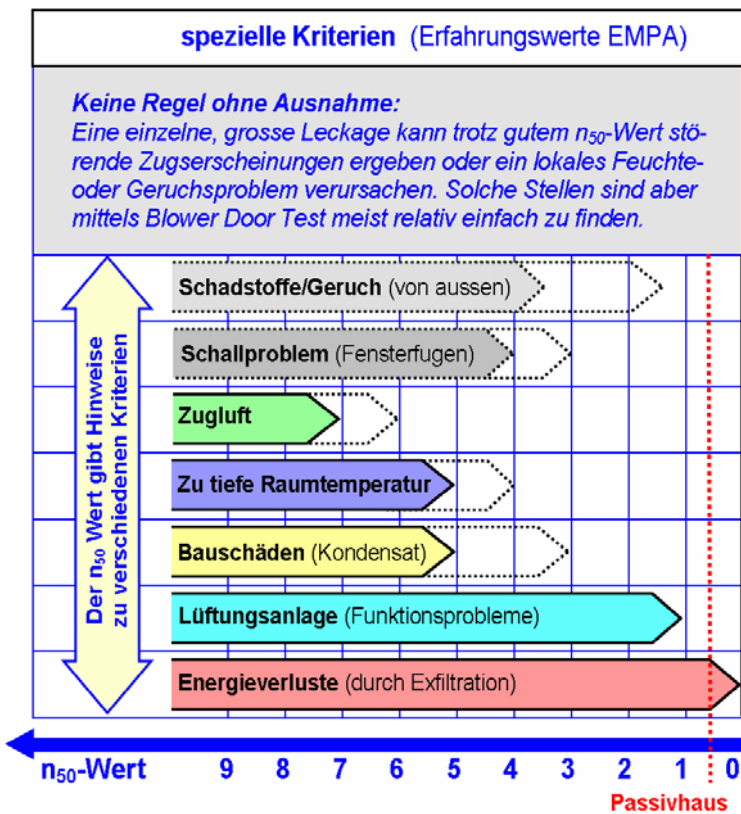
Nicht zu verwechseln ist die Luftwechselzahl im Differenzdruck mit dem natürlichen Aussenluftwechsel (Infiltration/Exfiltration). Dieser hängt nicht nur von der Summe der Leckagen in der Gebäudehülle ab, sondern von weiteren Einflüssen wie Leckagenverteilung, Wind, Temperaturen und natürlich vom Benutzerverhalten. Eine direkte Umrechnung ist deshalb nicht möglich. Soll über effektive Lüftungswärmeverluste eine klare Auskunft gegeben werden, so steht dafür die Messmethode für den natürlichen Aussenluftwechsel mit dem Indikatorgasverfahren zur Verfügung [6].

Eine zu hohe Luftdurchlässigkeit kann verschiedene Probleme verursachen. Grafik 1 (links) zeigt, dass je nach *Kriterium* der n_{50} -Bereich, in dem Probleme auftreten können, auf unterschiedlichem Niveau liegt.

Grafik 1 (rechts) zeigt, wegen welchen Einflüssen die Luftwechselzahl nicht mit dem natürlichen Aussenluftwechsel gleichgesetzt werden kann. Es ist auch ersichtlich, dass gerade im energetischen Bereich, wo Forderungen nach extrem niedrigen Grenzwerten bestehen, besonders starke Einflüsse vorhanden sind. Extrem tiefe Grenzwerte garantieren also nur bedingt kleine Lüftungswärmeverluste.

Zum Vergleich: Es solle bei einem neuen Auto der Benzinverbrauch minimiert werden. Es nützt nur bedingt vorzuschreiben, dass der Hubraum extrem klein sein muss. Aerodynamik, Gewicht etc. und schliesslich auch das Benutzerverhalten entscheiden ebenso über den tatsächlichen Verbrauch.

Berechnungen der EMPA (A. Weber) an einem Gebäudemodell mit gleich bleibendem $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ haben gezeigt, dass mit unterschiedlicher Leckagenverteilung in der Gebäudehülle auch unterschiedliche Lüftungswärmeverluste entstehen. In hohen Messzonen (3 Geschosse) sind die Verluste wegen des Kamin-Effekts um ca. 50 % grösser als in einem eingeschossigen Gebäude. Durch Simulation eines leichten Überdruckes im ganzen Gebäude (+ 3 Pa, z.B. erzeugt durch die Lüftungsanlage) kann der Lüftungswärmeverlust sogar verdoppelt werden! Für den praktischen Fall heisst das, dass ein Haus mit $n_{50} = 1.0 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ durchaus einen kleineren Lüftungswärmeverlust haben kann, als ein Haus mit $n_{50} = 0.6 \text{ [h}^{-1}\text{]}$!



Grafik 1 links

Je nach Kriterium ist der n_{50} -Bereich, in dem Probleme auftreten auf verschiedenem Niveau (Erfahrungswerte). Extrem tiefe n_{50} -Werte werden nur aus energetischen Gründen verlangt.

Einflüsse auf spezielle Kriterien					
Planung		Bauphase		Nutzung	
Geb. Standort (Temp., Wind)	Gebäudeform (Konzept der Luftdichtung)	Leckagen Geb. (Grösse + Lage)	Leckagen Lüft. (Rohre, Verteiler)	Lüftungsanlage (Druck + / - Filter)	Bewohnerverhalten (Lüften)
0	0	++	+	++	+
++	+	+	0	++	+
++	+++	++	0	+	+
++	++	+++	0	+	+
+	++	+++	0	++	+++
0	0	+	+++	+++	++
++	++	++	+	+++	++
↑ Architekt	↑ Architekt Bauherr	↑ Handwerker	↑ Lüftungs-Techniker	↑ Bewohner Lü.Service	↑ Bewohner

Grafik 1 rechts

Viele Einflüsse wirken sich bezüglich einem Kriterium mehr oder weniger stark aus. Alle Einflüsse (nicht nur die Luftdurchlässigkeit!) haben eine Wirkung auf die tatsächlichen Lüftungswärmeverluste!

2 Unsicherheiten der Messmethode

Spricht man von Fehlerbereichen und den Unsicherheiten so betrifft das bei den meisten Messmethoden die Mess-unsicherheit. Bei der Luftdurchlässigkeitsmessung ist dies jedoch meist nicht der massgebende Faktor, denn objektspezifische und methodische Unsicherheiten können eine weit grössere Auswirkung auf das Resultat haben. Die EN 13829 [1] beschreibt zwar, dass die Gesamtunsicherheit der Messung in den meisten Fällen kleiner als $\pm 15\%$ ist und bei windigem Wetter $\pm 40\%$ erreichen kann, erläutert aber die entscheidenden methodischen Probleme nicht.

Heutige Grenzwert-Überschreitungen können massive rechtliche und finanzielle Folgen haben, vor allem für Gebäude im Niedrigenergiebereich.

Ziel des EMPA / BFE Projektes ist es, eine Messanleitung zu erarbeiten, die ein klares Konzept und logische Messanordnungen vorschlägt, damit in der Praxis nicht weiterhin die (ökonomische!) Frage gestellt wird, was bei einer Grenzwertüberschreitung zu tun ist: Auftrag für eine weitere Messung mit veränderter Gebäudepräparation geben, Ausschöpfen des Normenspielraumes bei der Datenauswertung, Minderwertforderung aufstellen, oder doch Leckstellen suchen und nachbessern?

Einflussgrösse	Unsicherheit	Messtechnik	Objekt und Umgebung	Methodik (subjektiv)
Messtechnik (Blower Door)	± 5 - 10 %	x		x
Unterdruck / Überdruck	± 0 - 20 % *)		x	x
Bezugsgrösse (V&A Bestimmung)	± 5 - 15 %		x	x
Objekt-Formfaktor (A / V Verhältnis)	± 5 - xx %		x	x
Windeinfluss bei der Messung	± 0 - 40 %		x	
Messzeitpunkt bezügl. Bauphase	± 0 - 20 %		x	x
Messzeitpunkt bezügl. Jahreszeit	± 0 - 30 %		x	x
Messzeitpunkt bezügl. Geb.alter	± 0 - 10 %		x	
Leckagen Lüftungsanlage	± 0 - 50 % *)		x	x
Extrapolation der Messkurve für $v_{a,4}$	± 0 - 50 %	x		x

Die Unsicherheiten basieren auf Abschätzungen, eigenen Erfahrungswerten und Literatur.
*) Leckagen in Lüftungsanlagen oder bei Ventilatoren ergeben bei der Messung absolute Zuschlagswerte und wirken sich deshalb bei sehr dichten Gebäuden umso stärker aus.

Tabelle A

2.1 Messtechnische Unsicherheiten

Zahlreich ist die Literatur, in der über die Messunsicherheit bei Blower Door-Messungen berichtet wird. Meist beziehen sich diese Untersuchungen aber primär auf die *Messtechnik*, deren Unsicherheit mit etwa ± 10 % beschrieben wird [7].

Ein Vergleichstest mit neun Blower Door-Anlagen, in einem Kellerraum der EMPA, wo klar definierte Leckagen vorhanden waren, bestätigte diese Unsicherheiten und zeigte Resultate von - 8 bis + 10 % (= 18% Differenz).

2.2 Objekt- und umgebungsbezogene Unsicherheiten

Ein Gebäude befindet sich nie in einem stationären Zustand, es verändert sich laufend: Im Bauprozess ständig, während der Nutzung weniger. Das wirft zwangsläufig die Frage auf, ob eine Blower Door-Messung überhaupt repetierbar ist? Sicher ist: die Luftwechselzahl ist kein beständiger, physikalischer Wert, wie z. B. der U-Wert (Einflüsse siehe Tabelle A).

Eine Messung mit Leckagenortung in der Bauphase ist sinnvoll und erwünscht, da allfällige Leckstellen ohne grossen Aufwand nachgebessert werden können. Allerdings gilt das nicht als Abnahme, da das Gebäude durch die Fertigstellung noch verändert wird. EMPA Messungen zeigen, dass infolge Fertigstellung der Gips- und Malerarbeiten die Luftdichtigkeit eher noch verbessert wird, infolge nachträglicher Installationsarbeiten (insbesondere elektrischer Installationen) und mit dem Einbau der Lüftungsanlage aber zusätzliche Leckagen geschaffen werden.

Die EN 13829 beschreibt zwei Messverfahren, die je eine unterschiedliche Gebäudepräparierung verlangen: A (Ziel: Gebäudehülle), B (Ziel: Nutzungszustand). Für beides wird aber vorausgesetzt, dass das Gebäude fertig erstellt ist.

Damit nach vorgezogenen Messungen im Bauzustand nicht noch eine zweite Messung als Abnahme gemacht werden muss, könnte ein Kompromis sein, dass eine einfache Orientierungsmessung aus der Bauphase einen geforderten Grenzwert z. B. um 20 % unterschreiten muss (als Sicherheitsbereich), damit die Luftdurchlässigkeits-Prüfung als „erfüllt“ gewertet werden kann.

Undichte Lüftungsanlagen

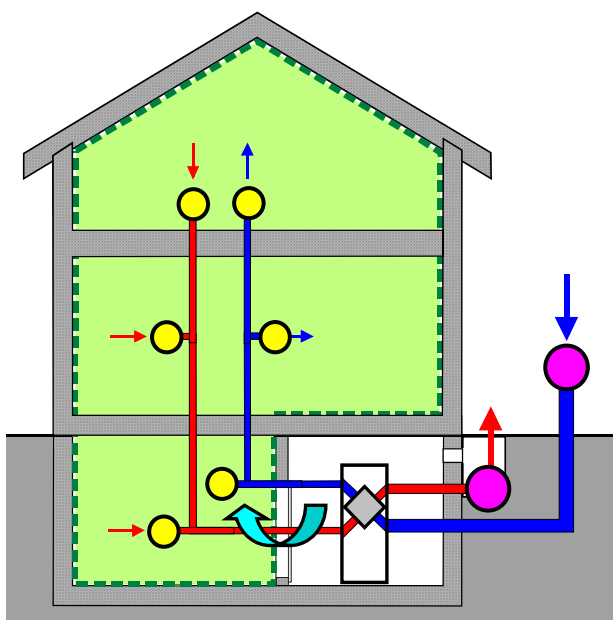
Niedrigenergiehäuser brauchen nicht nur aus energetischen Gründen eine sehr dichte Gebäudehülle, sondern auch um die Funktionstüchtigkeit der in diesen Häusern üblichen Lüftungsanlage (mit WRG) zu gewährleisten. Durch den Einbau einer Wohnungslüftung entstehen Verbindungen von innen nach aussen, womit bei einer n_{50} -Messung Luftumgehungen durch undichte Rohrstellen möglich werden. Je nach Abdichtungsort der Lüftungsanlage wird so ein grösserer oder kleinerer Teil dieser Leckagen mitgemessen. Diese Leckagen aus dem haustechnischen Bereich dürfen aber nicht mit den Leckagen in der Gebäudehülle gleichgesetzt werden und sollten nicht ins n_{50} -Resultat einfließen.

Im Rahmen mehrerer Projekte von EMPA, BFE, FHS sowie AWEL, wurden im Jahr 2003 ca. 25 MINERGIE-Häuser [12] vom Typ EFH ausgemessen. Eines der Ziele war, zu klären, ob bei Blower Door-Messungen die Lüftungsanlage genügend abgedichtet werden kann und ob ein Leckluftstrom an der Lüftungsanlage feststellbar und quantifizierbar ist. So wurden an allen Objekten mehrere Messungen durchgeführt, um die Lüftungsanlagen jeweils an verschiedenen Orten abzudichten (Grafik 2a). Soweit möglich, geschah dies in folgenden Schritten:

- (1) Abdichtung nur innen (alle Zu- und Abluftdurchlässe in den einzelnen Räumen),
- (2) Abdichtung nur aussen (Frisch- und Fortluft auf der Gebäudeaussenseite),
- (3) Abdichtung innen und aussen.

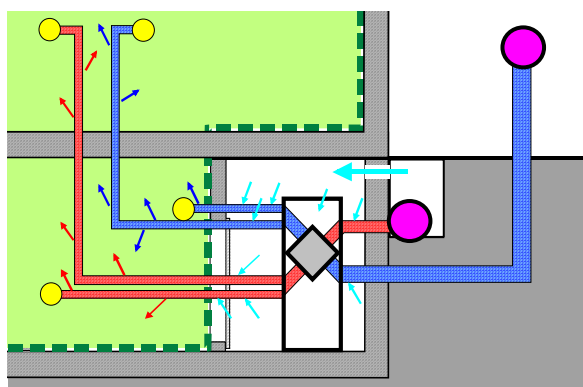
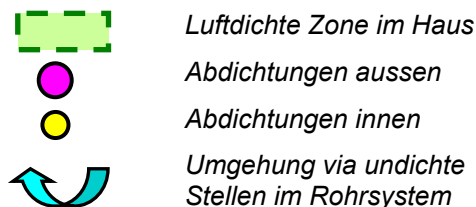
Keine der Abdichtung konnte aber eine totale Abschottung der Lüftungsanlage bewirken (Grafik 2b). Selbst mit doppelter Abdichtung innen und aussen gab es durch das Rohrsystem Luftumgehungen, die somit quantitativ in die Luftwechselzahl einfließen. Eine totale Abschottung ist meist nur im Bauzustand möglich, wenn die Lüftungsanlage noch nicht eingebaut ist und die Aussparungen der zentralen Frisch- und Fortluftöffnungen abgedichtet werden können (Grafik 2c).

Die Resultate der Messungen waren überraschend: Je nach Abdichtungsort strömen bis zu 50 % des Leckluftstroms durch die Lüftungsrohre (Grafik 3). Der Hauptgrund dafür lag in den meisten Fällen bei den Verbindungsstücken und Verteilern der Rohrleitungen, die nicht zusätzlich mit Klebeband abgedichtet waren oder im Lüftungsgerät selbst.



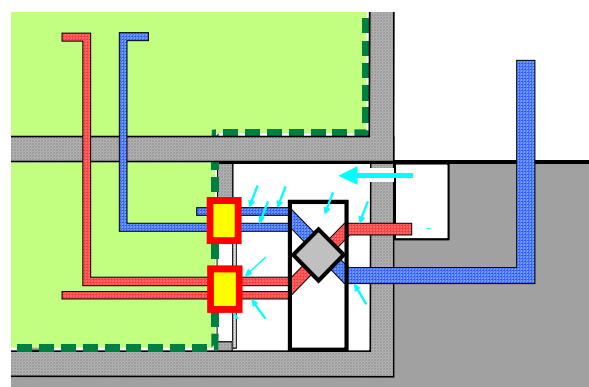
Grafik 2a

Wird bei einem Gebäude mit Lüftungsanlage die Luftdurchlässigkeit erst im Nutzungszustand gemessen (Abnahme), so werden trotz Abdichtung der Zu- und Abluft bzw. auch der Fort- und Frischluft Leckströme durch das Rohrsystem der Lüftung mit gemessen, die nicht der Gebäudehülle zugeschlagen werden dürfen. Auch eine Abdichtung beim Lüftungsaggregat verhindert das Problem nicht.



Grafik 2b

Luftumgehungen entstehen durch alle nicht hermetisch abgedichteten Rohrverbindungen.

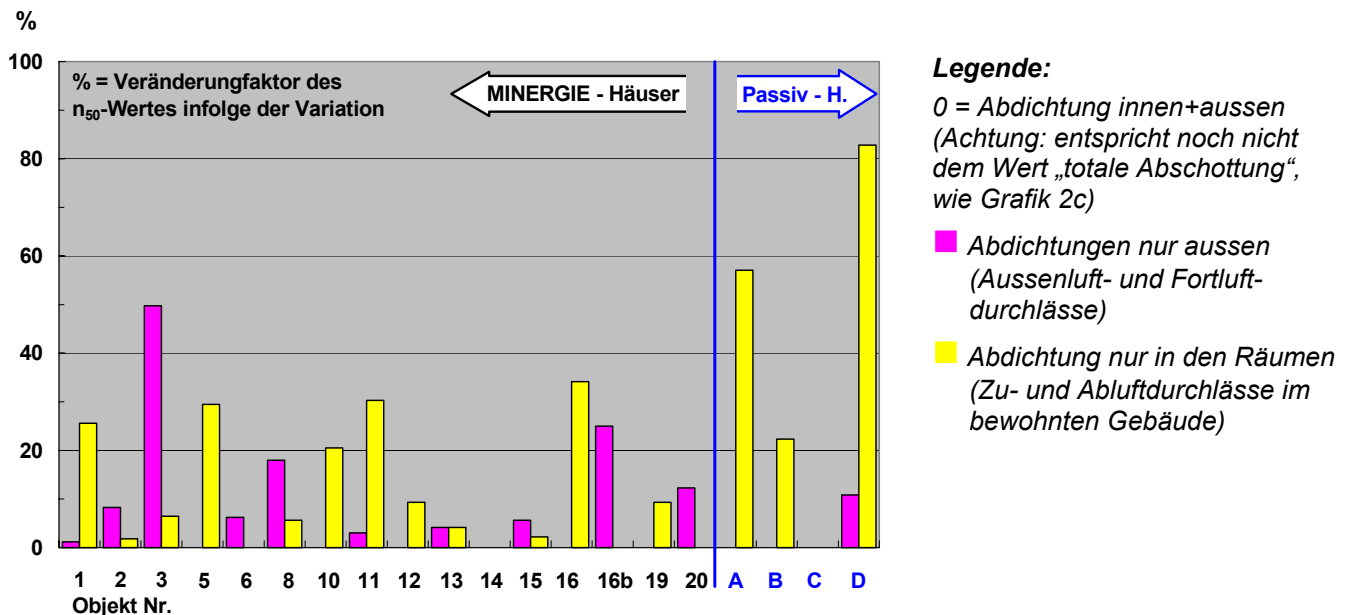


Grafik 2c

Nur eine totale Abschottung bei der Luftdichtigkeitsebene (am besten in der Bauphase) verhindert Luftumgehungen.

In haustechnischen Normen sind Hinweise zur Abnahme von Lüftungsanlagen einschliesslich der Überprüfung der Dichtheit zu finden [8]. Für den Wohnungsbau sind jedoch solche Prüfungen z. Zt. nicht mit akzeptablem Aufwand durchführbar. Selbst Lüftungsabnahme-Protokolle weisen in der Regel keine Messdaten von Zu- und Abluftströmen aus den einzelnen Räumen (in m^3/h) aus.

Eine Blower Door-Messung hat, wie gezeigt, neues Potential und kann durch schrittweises Abdichten wertvolle Hinweise über die Dichtheit der Lüftungsanlage geben.



Grafik 3:

Unterschiedliches Abdichten von Lüftungsanlagen bei Blower Door Messungen. Die Grafik zeigt, wie bei einseitiger Abdichtung der n_{50} -Wert massiv höher sein kann (Basis 0 = Abdichtung innen + aussen).

Bei den Passivhäusern sind die Werte wegen den allgemein tieferen n_{50} -Werten prozentual noch höher.

(n_{50} -Mittelwert von 16 MINERGIE Häusern = $1.2 [\text{h}^{-1}]$)

(n_{50} -Mittelwert von 4 Passivhäusern = $0.5 [\text{h}^{-1}]$)

2.3 Methodische Unsicherheiten

Unklare oder widersprüchliche Messvorschriften und fehlende Regelungen führen zu methodischen Unsicherheiten, weil bei jeder Messung subjektiv über das weitere Vorgehen entschieden wird. Folgende Punkte sind für Luftdichtheitsmessungen besonders problematisch:

Messzone

Wo sind die Grenzen der Messzone? Im Dachbereich ist das meist problemlos erkennbar. Im Keller jedoch, wo Hobby- und Technikräume oft in unbeheizten Zonen liegen und trotzdem zum Teil mit Zu- und Abluft von der Lüftungsanlage versorgt werden (damit z. B. Wäsche getrocknet werden kann), ist die Festlegung oft nicht eindeutig. Die Entscheidung, was schlussendlich einbezogen wird, ist also subjektiv. Auch bei MFH besteht dringender Klärungsbedarf, denn es ist ein grosser Unterschied, ob das ganze Gebäude oder nur eine einzelne Wohnung gemessen wird (vgl. Kap. 3.1).

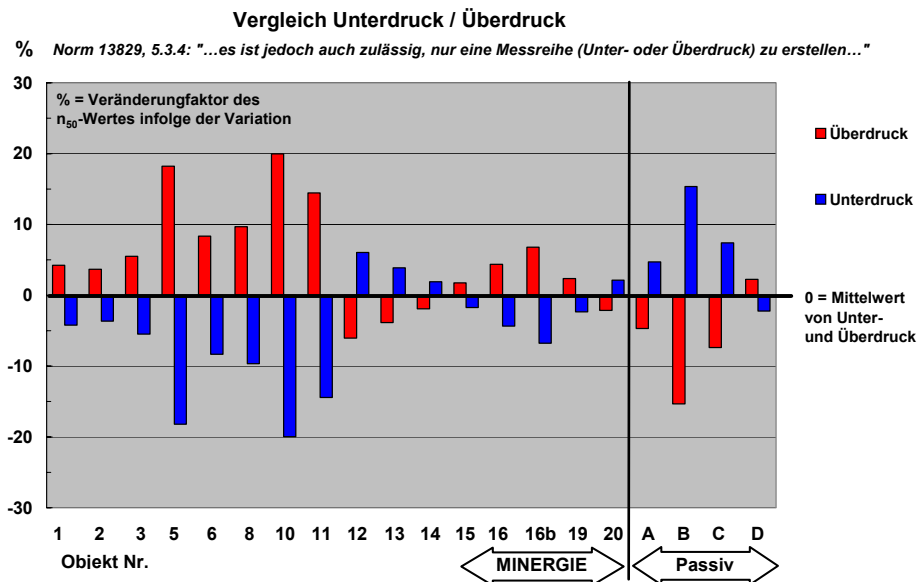
Als Forderung gilt hier: Genau wie der Wärmedämmperimeter, sollte auch der Luftdichtheitsperimeter klar aus den Bauakten ersichtlich sein (Pläne / Nachweise).

Zustand der Nachbarzone

Wenn verschiedene Nutzungszonen (und damit Messzonen) aneinander grenzen (REFH, MFH), stellt sich für die Messung die Frage nach dem Zustand der Nachbarzone. Sollen darin die Fenster geöffnet werden, um so die Zonengrenzen dem ganzen Differenzdruck auszusetzen oder sind die Fenster zu schliessen, damit die Nachbarzone als Pufferraum wirkt? Auch hier zeigen Messwerte markante Unterschiede.

Unterdruck- und Überdruck

Die EN 13829, wie auch die SIA 180 empfehlen eine Unter- und eine Überdruckmesskurve aufzunehmen, tolerieren aber, dass für die Auswertung nur eine Messkurve verwendet wird. Verschiedene Gründe können zu erheblichen Differenzen zwischen Unter- und Überdruckmessung führen: Fensterdichtungen schliessen normalerweise besser bei Überdruck oder ein nicht abgedichteter [9] Küchen-Fortluftventilator, bei dem mit zunehmendem Überdruck die Rückstauklappe öffnet, beeinflusst den Messwert erheblich. Wie damit umzugehen ist, bleibt dem Messenden überlassen.



Grafik 4

Normalerweise wird als Grundlage für die Messung der Mittelwert von Unter- und Überdruckmessung eingesetzt. Die Normen erlauben aber, für die Datenauswertung nur eine Messreihe zu verwenden. Folge: Je nach Auswahl kann das Resultat massiv verändert werden.

3 Spezifische Mängel des n_{50} - und $v_{a,4}$ -Wertes

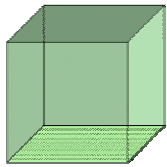
3.1 Der n_{50} -Wert

Die Luftwechselzahl n_{50} wird ermittelt, indem der Leck-Volumenstrom des Gebäudes (bei 50 Pa Differenzdruck [m^3/h]) durch das Gebäudevolumen (bzw. Messzonen-Volumen [m^3]) dividiert wird. Der n_{50} -Wert hat also einen Volumenbezug. Vergleicht man nun die Werte von verschiedenen grossen Gebäuden, so ist das problematisch, weil bei zunehmender Gebäudegrösse die Hüllfläche nur mit der 2. Potenz [m^2] zunimmt, das Volumen aber mit der 3. Potenz [m^3]. D.h. mit zunehmender Gebäudegrösse wird die Hüllfläche prozentual immer kleiner. Da aber die Leckagen nur in der (Hüll)Fläche sein können, hat das zur Folge: Je grösser das Volumen der Messzone, desto einfacher ist es, einen guten n_{50} -Wert zu erreichen.

Beispiel / Folge: Sieht man die Luftwechselzahl als Qualitätsangabe für die Gebäudehülle, so müsste der n_{50} -Messwert von einer Kirche etwa verdoppelt werden, damit sich betreffend Gebäudehüllenqualität ein korrekter Vergleich zu einem EFH machen lässt!

Umgewandelt und erweitert bedeutet diese Feststellung, dass nur bei gleichem Formfaktor von Gebäuden (Verhältnis von Oberfläche zu Volumen = A_E / V_T), deren n_{50} -Werte miteinander verglichen werden sollte. Je grösser der Unterschied der Formfaktoren, desto fragwürdiger wird also ein Vergleich.

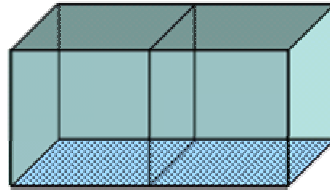
Dies ist - mindestens teilweise - bekannt, weshalb einige Länder die n_{50} -Grenzwerte für verschiedene Volumina abgestuft haben oder für bestimmte Fälle Grenzwerte mit einem Flächenbezug einsetzen. Für Passiv- und MINERGIE-P Grenzwerte ist jedoch nichts zusätzliches definiert und es besteht klar Verbesserungsbedarf.



„EFH“

$A_E = 378 \text{ m}^2$ Formfaktor:
 $V_T = 500 \text{ m}^3$ $A_E / V_T = 0.76$

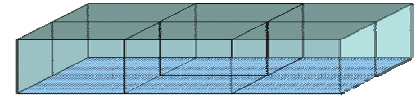
Grafik 5a



„Kirche“

$A_E = 1587 \text{ m}^2$ Formfaktor:
 $V_T = 4000 \text{ m}^3$ $A_E / V_T = 0.40$

Grafik 5b



„Wohnung“

$A_E = 366 \text{ m}^2$ Formfaktor:
 $V_T = 300 \text{ m}^3$ $A_E / V_T = 1.22$

Grafik 5c

Diese Überlegungen zeigen, dass an Stelle eines Volumenbezuges ($n_{50} = V_{50} / V$) besser ein (Hüll)Flächenbezug ($q_{50} = V_{50} / A_E$) anzuwenden ist. Um bisherige n_{50} -Werte richtig einschätzen zu können bzw. um sie korrekt mit andern Gebäuden vergleichen zu können, sollten sie über einen Formfaktor umgerechnet werden. Welches aber ist (bzw. wäre) denn die Basis-Gebäudegrösse oder der Basis-Formfaktor für den heutige n_{50} -Grenzerte festgelegt wurden? Dies ist bis jetzt nirgendwo beschrieben. Es lässt sich aber aus unserer nationalen Baukultur und aus der heutigen Bauweise der Passiv- und MINERGIE-Häuser ungefähr ableiten:

Ein Schweizer Durchschnitts-EFH (2 bis 3 Geschosse, meist mit Steildach und kubischer Form, hat ein Luftvolumen V_T von ca. 600 m^3 ($V_T = \text{inkl. Wände und Decken}$) und einen Formfaktor (A_E / V_T) im Bereich von 0.75 bis 0.85 (im Durchschnitt = 0.80). Für CH MFH-Wohnungen liegt der Formfaktor im Bereich von 0.9 (Attika Whg) bis 1.4. Das zeigt deutlich, dass (bisherige) n_{50} -Werte von Wohnungen nicht mit EFH-Werten verglichen werden sollten.

Da für Passiv- und MINERGIE-Gebäude vermutlich weiterhin n_{50} -Grenzwerte gefordert werden, ist es interessant, an einigen Gebäuden zu sehen, wie stark sich eine Berücksichtigung des Formfaktors auswirkt. Durch folgende Umrechnungen entsteht ein neuer, „**korrigierter**“ $n_{50,k}$ -Wert, der wie der q_{50} -Wert (mit Flächenbezug) *vergleichstauglich für alle Gebäudeformen* ist.

Detailliertere Infos zu diesen Umrechnungen siehe Schlussbericht EMPA / BFE Projekt [12].

$$n_{50,k} = q_{50} \cdot 0.80$$

$$\text{oder } n_{50,k} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_E} \cdot 0.80$$

n_{50} = Luftwechsel bei 50 Pa, herkömmliche Definition (mit Volumenbezug)

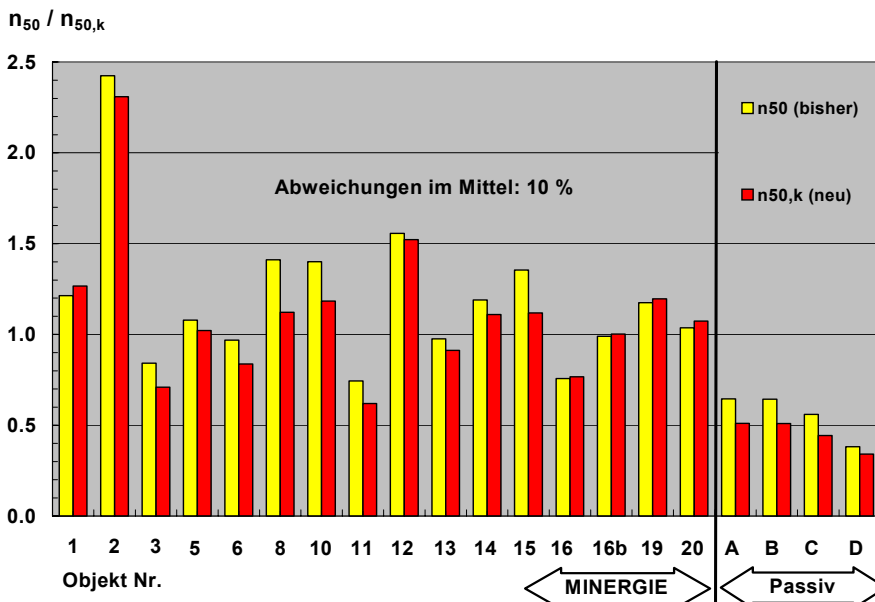
$n_{50,k}$ = Luftwechsel bei 50 Pa, mit Formfaktor-Korrektur

V_T = Volumen Total inkl. Wände und Decken

A_E / V_T = Formfaktor (soll Basiswert aus EFH = 0.80)

q_{50} = Luftwechsel bei 50 Pa (mit A_E Flächenbezug)

A_E = Oberfläche (effektiv) Definition nach EN 13829



Grafik 6:

Auswirkung einer Formfaktor-Korrektur.

Für 16 MINERGIE und 4 Passivhäuser wurde der n_{50} -Wert auf einen neuen, vergleichstauglichen $n_{50,k}$ -Wert umgerechnet.

Wären es n_{50} -Werte von Wohnungen eines MFH, so würden die $n_{50,k}$ -Werte deutlich tiefer liegen, weil Wohnungen eine relativ grosse Oberfläche haben (= hoher Formfaktor).

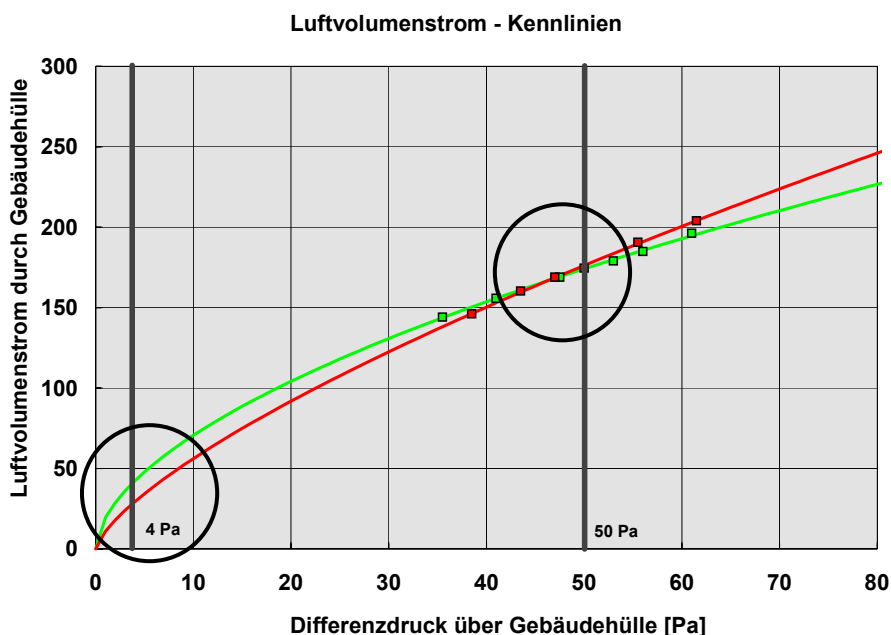
3.2 Der Schweizer $v_{a,4}$ -Wert

Aus den Überlegungen in Kap. 3.1 drängt sich auf, statt einem Volumenbezug generell einen (Hüll)Flächenbezug zu machen. In der neuen Norm SIA 180 (1999) wurde dieser Ansatz aufgenommen und es entstand der Schweizer $v_{a,4}$ -Wert [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$] (= Volumenstrom-Messwert bei 4 Pa Differenzdruck, mit Hüllflächenbezug).

Wie die Praxis der letzten Jahre nun zeigt, ergeben sich mit dieser speziellen Schweizerlösung aber etliche Probleme: Definition der Hüllfläche: Im Gegensatz zur EN 13829 (2000) werden für die Hüllfläche nach SIA 180 die Bauteile gegen Erdreich nicht mitgezählt (weil sie dicht sind). Ebenso vernachlässigt werden Trennwände zu beheizten Nachbarzonen, da offensichtlich nur das energetische Kriterium betrachtet wird. Gleichzeitig fordert aber die Norm, dass diese Trennwände dicht sein müssen ... Der Messpraktiker steht damit vor dem Problem, diese Flächen messen und überprüfen zu müssen (bei MFH Wohnungstrennwänden ist das wegen Geruchsemissionen sehr wichtig), muss aber für die Auswertung nach SIA 180 diese Flächen dann ausschliessen !

Als weiterer Nachteil erweist sich, dass für die Hüllfläche die Aussenabmessungen gefordert werden (was vor Ort schwierig zu messen ist) obwohl die Luftdichtigkeitsschicht meist nahe der inneren Oberfläche liegt. Möglich, dass man glaubte, dass diese Flächen aus dem Energienachweis übernommen werden können. Die Praxis zeigt jedoch, dass dies kaum mit vernünftigem Aufwand möglich ist, da die Werte je nach Nachweisverfahren sehr unterschiedlich dargestellt, gewichtet und aufsummiert sind. Kommt dazu, dass ein fertiges Gebäude meist eine veränderte Version gegenüber der Planung darstellt.

Eine weitere Schwierigkeit bei der $v_{a,4}$ -Wert-Definition handelte man sich ein, indem man den massgebenden Volumenstrom bei 4 Pascal (V_4) aus der Messkurve nimmt und nicht wie gehabt bei 50 Pa. Da die effektiven Messwerte allesamt höher liegen, muss die Kurve bis zum 4 Pa Wert extrapoliert werden, was bei mehreren Messungen, bei denen durchaus verschiedene Kurvenkrümmungen entstehen können (mit jeweils unterschiedlichen n-Faktoren, $V = D \cdot \Delta p^n$) zu massiven Verzerrungen der Messwerte führen kann (Grafik 7).



Grafik 7

Die Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit der Messung wird wegen der Extrapolation der Kennlinie auf 4 Pa fragwürdig. Für den $v_{a,4}$ können sich grosse Differenzen zum n_{50} -Wert ergeben.

Grafiklinie 1:

$$V_4 = 41 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{50} = 171 \text{ m}^3/\text{h}$$

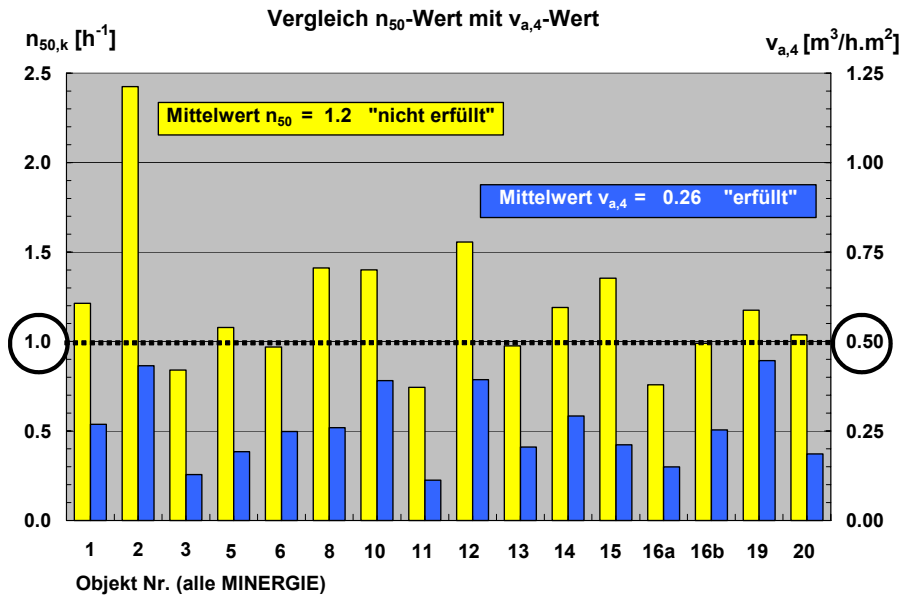
Grafiklinie 2:

$$V_4 = 29 \text{ m}^3/\text{h} \quad (-29\%)$$

$$V_{50} = 176 \text{ m}^3/\text{h} \quad (+4\%)$$

Diese spezielle Hüllflächen- und Volumenstromdefinition sorgt somit auch dafür, dass eine Umrechnung von $v_{a,4}$ zu n_{50} praktisch nicht möglich ist, bzw. nur dann, wenn die genauen Messdaten und die Gebäudedaten zur Verfügung stehen.

Dass es offensichtlich schwierig ist, für eine solche neue Definition adäquate Grenzwerte zu finden, zeigt sich erst mit der statistischen Auswertung von Messdaten: In Grafik 8 ist ersichtlich, dass der in SIA 180 (1999) geforderte $v_{a,4}$ -Grenzwert für Neubauten (mit mechanischen Zu- und Abluftanlagen) wesentlich larger geworden ist, als dass es die alten Anforderungen (SIA 180, 1988) mit dem n_{50} -Wert waren. Würde eine solche statistische Auswertung mit MFH-Wohnungen gemacht, sähe wegen der speziellen (Hüll)Flächendefinition alles wieder völlig anders aus.



Grafik 8

Ein Vergleich von 16 MINERGIE EFH mit den SIA 180 Grenzwertanforderungen zeigt: Für EFH Neubauten mit mechanischer Lüftung sind die Anforderungen mit der Einführung des $v_{a,4}$ -Wertes wesentlich larger geworden!

SIA 180 Grenzwerte

(für Neubauten mit Lüftungen)

SIA 180 (1988):

$n_{50} = \max. 1.0 [h^{-1}]$

SIA 180 (1999):

$v_{a,4} = \max. 0.5 [m^3/h \cdot m^2]$

4 Präzisierungen und Vereinfachungen sind gefragt

Trotz aller Probleme und Ungereimtheiten ist und bleibt die Luftwechselzahl für die Gebäudehülle eine wichtige, generelle Qualitätsangabe und soll möglichst klein sein. Wer extrem tiefe Grenzwerte verlangt, sollte aber bedenken, dass ein n_{50} -Wert im Gegensatz zum U-Wert nicht einfach zahlenmässig planbar ist und dass die Lüftungswärmeverluste nicht direkt von der Luftwechselzahl (n_{50} , $v_{a,4}$, u. a.) abhängen. Treten Klagen über Zugserscheinungen, zu tiefe Raumtemperaturen o. ä. auf, so stehen für eine Abklärung zahlreiche weitere Untersuchungsmethoden und Normen zur Verfügung (Tabelle B). Ein Blower Door-Einsatz dient in diesem Fall primär dem Nachweis der Leckstellen. Die Blower Door-Messung sollte nicht als „Hürde“ auf dem Weg zum Ziel (Grenzwert, Label/Zertifizierung) betrachtet werden, sondern als baubegleitende Dienstleistung zur Qualitätssicherung.

Spezielle Kriterien	Genauere Nachweise / Messmethoden:	Normen:
Schadstoffe / Geruch (Strasse, Nachbarn)	- Luftschadstoffmessung - Raumluftqualität	SIA V382/1 VDI 6022
Schall (z.B. Strassenlärm durch Fensterfugen)	- Schallmessung	SIA 181, DIN 4109, DIN 52210
Zugluft	- Messung der Luftgeschwindigkeiten - Komfortmessung	EN ISO 7730, SIA 180, DIN 1946
Zu tiefe Raumtemperaturen	- Temperaturmessung - Komfortmessung	EN ISO 7730, SIA 180, DIN 4701
Bauschäden (Kondensat in der Konstruktion)	- sichtbare Feuchteschäden (Probeöffnungen) Schlagregen, Kondensat, Schimmelpilzbildung	SIA 180, DIN 4108
Lüftungsanlage (Dichtigkeit, Funktion)	- Funktionskontrollen, Abnahmen, Dichtigkeit - Luftmengenmessungen, Bilanz	prEN 14134 prEN 13779 (A.10.2) SIA Merkblatt 2023
Energieverlust (Lüftungswärmeverluste)	- Luftwechsel mit Tracergas - Energiebilanz	EN ISO 12569 SIA 380n - 384n



Der n_{50} -Wert gibt einen integralen Hinweis zu verschiedenen Kriterien

Luftdichtigkeit n_{50}	- <i>Quantitativ:</i> Blower Door Test - <i>Qualitativ:</i> Leckstellennachweis von Hand, mit Rauch, Anemometer, IR Thermografie	EN 13829/ISO 9972 + länderspezifische Normen
--	---	---

Tabelle B

Verschiedentlich wurde schon versucht, mit alternativen Messmethoden ein schnelleres und einfacheres Messverfahren für die Luftdurchlässigkeit zu entwickeln. Ziel war meist ein „Quick-Check“ zur Klärung der Notwendigkeit einer genaueren Untersuchung. So wurde in einem Forschungsprojekt des AWEL (2003) [10] an sechs EFH der Versuch unternommen, mit den Ventilatoren der Lüftungsanlage einen Differenzdruck im Gebäude zu erzeugen. Dabei wurden Drücke von 3 bis 9 Pa erreicht - zu wenig um mittels Extrapolation einen n_{50} -Wert abschätzen zu können. Ebenso ist damit keine einfache Hand-Ortung von Leckagen möglich und Leckstellen in der Lüftungsanlage werden nicht erkannt.

In der Diskussion um die Luftwechselzahl bestehen nicht nur "ideologische" Differenzen über die Messmethode, sondern es stossen auch divergierende Interessen zusammen. So wird im Planungsinstrument EN 13465 [11] für energetische Berechnungen einfach ein n_{50} -Wert abgeschätzt. Da Annahmen einfacher sind als Messungen, werden für real existierende Bauten gleich noch Tabellen mitgeliefert, die eine bessere Abschätzung ermöglichen. Solche theoretischen Annahmen erschüttern jeden Messpraktiker, denn selbst mit viel Erfahrung lässt sich vor einer Messung keine zuverlässige Prognose abgeben, wie dicht das zu messende Gebäude ist. Erst der Blower Door-Test „lüftet“ das Rätsel und die Leckortung begründet das Resultat.

Literatur

- [1] EN 13829:(2000) *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert).*
- [2] SIA 180 (1988) *Wärmeschutz im Hochbau.*
SIA 180 (1999) *Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau.*
- [3] *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, (Energieeinsparverordnung – EnEV, 2001)*
- [5] Limb, M. J.: *A Review of International Ventilation (2001): Airtightness, Thermal Insulation and Indoor Air Quality Criteria*
- [6] EN ISO 12569 (2001): *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung des Luftwechsels von Gebäuden - Indikatorgasverfahren (ISO 12569:2000)*
- [7] Feist, W. (2001): *Wie genau sind eigentlich Blower-Door Messungen bei Passivhäusern?*
- [8] EN 14134 *Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfung und Einbaukontrollen von Lüftungsanlagen von Wohnungen*
- [9] *Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e. V. FliB Beiblatt zu DIN EN 13829 (2002): Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren*
- [10] www.minergie.ch
- [11] EN 13465 (2004) *Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmen in Wohnungen*
- [12] Tanner, Ch. (Herbst 2004): *Schlussbericht EMPA / BFE Projekt Messung und Beurteilung der Luftdichtigkeit von Niedrigenergiehäusern (MEBLUN)*