

Jahresbericht 2003

Messung und Beurteilung der Luftdichtigkeit von Niedrigenergiehäusern (MEBLUN)

Autor und Koautoren	Christoph Tanner
beauftragte Institution	EMPA Bauphysik
Adresse	Ueberlandstrasse 129
E-mail, Internetadresse	christoph.tanner@empa.ch
BFE Vertrags-Nummer	82467
Dauer des Projekts (von – bis)	2001-2004

ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt wurde verlängert bis Sept. 2004. Im Sommer 2003 wurden mit verschiedenen Partnern Messungen an ca. 20 Niedrigenergiehäusern (alle mit Komfortlüftung) gemacht, wobei das Augenmerk vor allem auf die Gebäudepräparation für die n_{50} -Messung und die Abdichtung der Lüftungsanlagen gerichtet wurde.

Es zeigte sich, dass nicht nur beim Ermitteln der Bezugsgrössen etc. grosse Unsicherheiten entstehen, sondern vor allem auch bei der Abdichtungsart der Lüftungsanlage. Via Undichtheiten bei den Lüftungsrohren kann ein Leckstrom die Gebäudehülle umgehen, was vor allem bei sehr dichten Gebäuden einen Leckanteil von mehr als 50 % ausmachen kann. Sprich: Mehr als die Hälfte der vom Blower Door festgestellten Undichtheiten können von der Lüftungsanlagen stammen! Ist das Gebäude noch im Bauzustand, wo für eine Messung meist noch die Aussparungen für die Lüftungsrohre abgedichtet werden können, so entfällt das Problem.

Trotz vielen Normen (EN 13829, SIA 180, FLIB Beiblatt zur EN13829) sind für die n_{50} -Messpraktiker ganz entscheidende Parameter für die Gebäudepräparation (noch) nicht definiert. Deshalb wird eine Messanleitung entworfen und am Blowshop im Februar 2004 mit Messpraktikern diskutiert. Dabei werden auch Varianten besprochen, wie mit den umstrittenen CH Grenzwerten ($v_{a,4}$) und den SIA - EN Normwidersprüchen umgegangen werden kann.

Projektziele

Projektziele für die 1. Etappe (2001-2002):

1. Literaturrecherchen
2. Kontaktaufnahme und Informationsbeschaffung
3. Vereinfachung des Messverfahrens
4. Leckströme von Lüftungsanlagen eruieren

Projektziele für die 2. Etappe (2002-2003):

5. Praxistaugliche Messanleitungen erarbeiten
6. Ringversuche durchführen
7. Messauswerte-Software
8. Wissensvermittlung
9. Anschaffungen / Inbetriebnahme

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

0. Projektverlängerung

Wegen starkem Engagement der EMPA an der SWISSBAU 2003 standen die Projektaufgaben ein halbes Jahr im Hintergrund. Im Sommer 2003 ergab sich dann dafür eine ideale Zusammenarbeit mit einem Projekt der FH St' Gallen womit 16 Luftdichtigkeitsmessungen in Minergiehäusern gemacht werden konnten. Die Auswertungen dieser Messdaten waren für viele Fragestellungen im EMPA – BFE Projekt sehr wertvoll und werden laufend weiter analysiert. Aus diesen Gründen wurde beim BFE Antrag gestellt, das Projekt bis Sept. 2004 zu verlängern, was ohne weitere Auflagen bewilligt wurde.

Bezüglich Projektzielen waren/sind 2003 folgende Aktivitäten im Gang:

1. Literaturrecherchen

Eine Liste der aktuellen Publikationen zum Thema, insbesondere zu den Normen und Richtlinien aus dem deutschsprachigen Raum wird ständig aktualisiert.

2. Kontaktaufnahme und Informationsbeschaffung

Im vergangenen Jahr wurden verschiedene Themenbereiche des Projektes mit externen und internen Leuten intensiv diskutiert. Details siehe Kapitel Nationale und Internationale Zusammenarbeit.

Für das Jahr 2004 ist Ende Februar ein weiterer Workshop (Blowshop 2) geplant. Eingeladen sind alle der EMPA bekannten CH-Anbieter von Luftdichtigkeitsmessungen. D.h. alles Praktiker, die die Probleme einer n_{50} -Messung aus erster Hand kennen.

Ziel der Veranstaltung wird sein, die wichtigsten Punkte zu definieren und zu regeln, die bei der Gebäudepräparation beachtet werden müssen, damit eine Messung nachvollziehbar und repetierbar wird.

3. Vereinfachung des Messverfahrens

Auf Grund von vielen n_{50} -Messungen, welche die EMPA mit verschiedenen externen Messteams zusammen durchgeführt hat, lässt sich folgendes erkennen:

Die Ergebnisse, die derzeit (relativ einfach) mit dem Blower Door Verfahren erzielt werden, können bis heute mit keinem anderen Messverfahren im gleichen Umfang und mit der gleichen Qualität erreicht werden. Verfahren, die einen Unterdruck nicht stationär halten können, eignen sich für Luftdichtigkeitsabnahmen wenig. Bei den meisten Messungen muss nämlich vor der Datenerfassung einmal probeweise ein stationärer Unterdruck erzeugt werden, um damit festzustellen, ob

alle Fenster und Aussentüren gut verschlossen sind, die Ofen(frischluft)klappen geschlossen sind, die Lüftungsdurchlässe genügend abgedichtet wurden, etc. Zudem kann dabei ohne grossen Aufwand gleichzeitig festgestellt werden, wo relevante Leckstellen in der Gebäudehülle sind.

Eine qualitative Verbesserung der n_{50} Resultate und damit auch eine Vereinfachung der Messung kann schon erreicht werden, indem der Messende klare Anweisungen bekommt (eine Messanleitung), welche Punkte bei der Gebäudepräparation zu beachten sind.

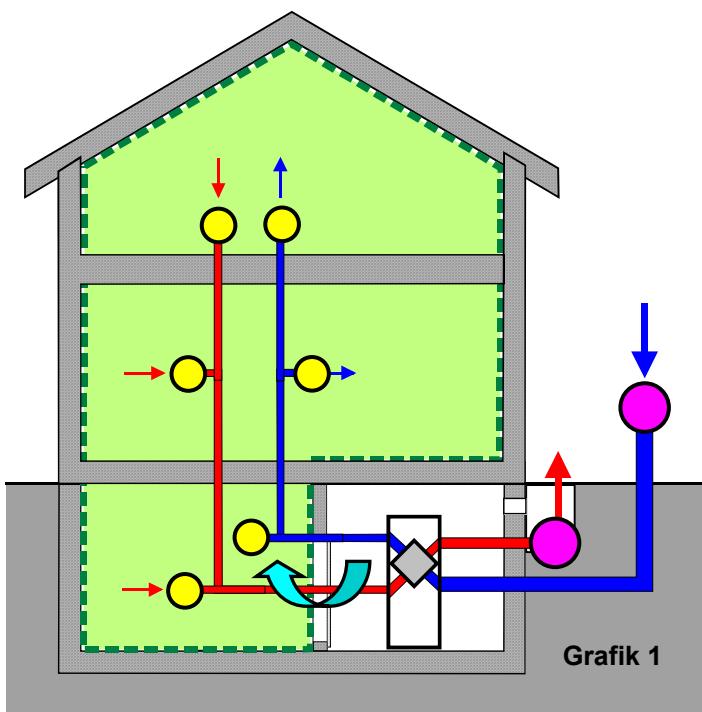
Verschiedentlich wurden von der EMPA auch probeweise einige Unterdruck-Messungen mit der hausinternen Lüftungsanlage (sofern vorhanden) gemacht. Erste Resultate zeigen aber, dass eine Aussage bezüglich Lüftdichtheit der Gebäudehülle mit noch viel grösseren Unsicherheiten behaftet ist, als dies ohnehin schon bei der Blower Door Methode der Fall ist (vgl. Kap. 8).

Parallel zum EMPA – BFE Projekt hat das AWEL (Kt. ZH) ebenfalls einen Messauftrag an eine Fachgruppe vergeben, um zu klären, ob Messungen mit der Lüftungsanlage zweckdienlich sind oder nicht. Ausgeführt werden diese Messungen Nov./Dez. 2003, teilweise auch zusammen mit der EMPA. Es wird sicher interessant, die EMPA Erkenntnisse zu solchen Messresultaten mit denen der externen Fachgruppe zu vergleichen.

Mittlerweile hat sich auf dem Markt ein neuer Typ von Blower Door etabliert [1]. Das APT System (= Automated Performance Testing, Minneapolis BD Typ 4) kann eine Druckkennlinie automatisch abfahren und für jeden Messpunkt beliebig viele Einzelmesswerte erfassen. Damit wird das Blower Door Messverfahren u.a. schneller und auch stabiler bezüglich Druckschwankungen infolge Wind. Die EMPA hat für das Projekt eine solche Anlage beschafft und wird detaillierte Vergleichsmessungen durchführen.

4. Leckströme von Lüftungsanlagen eruieren

Bei Wohngebäuden mit Komfortlüftung entstehen durch die Lüftungskanäle Verbindungen von innen nach aussen. Damit werden „zusätzliche Leckstellen“ in der Gebäudehülle geschaffen, über die bei einer n_{50} -Messung Luftumgehungen möglich werden. Bei einer Blower Door Messung wird deshalb je nach Abdichtungsart der Lüftungsanlage ein Teil dieser Leckagen mit gemessen. Dieser Anteil betrifft jedoch nicht die Gebäudehülle und sollte separat ausgewiesen werden. Auch bezüglich den effektiven Energieverlusten, die infolge von Leckagen zu erwarten sind, können Luftverluste der Lüftungsanlage nicht mit denjenigen der Gebäudehülle gleichgesetzt werden.



Grafik 1:

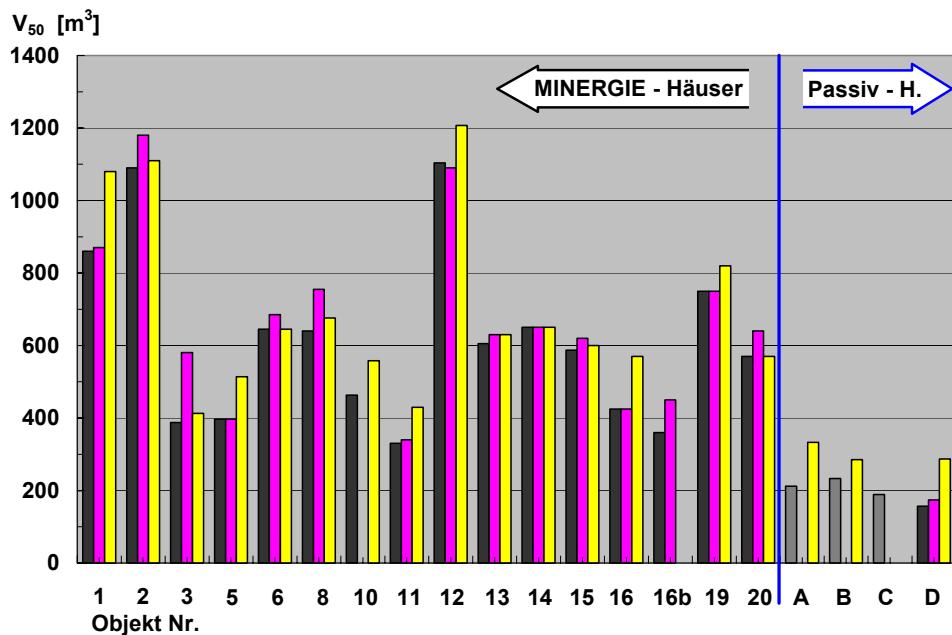
Schema: EFH mit Komfortlüftung

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

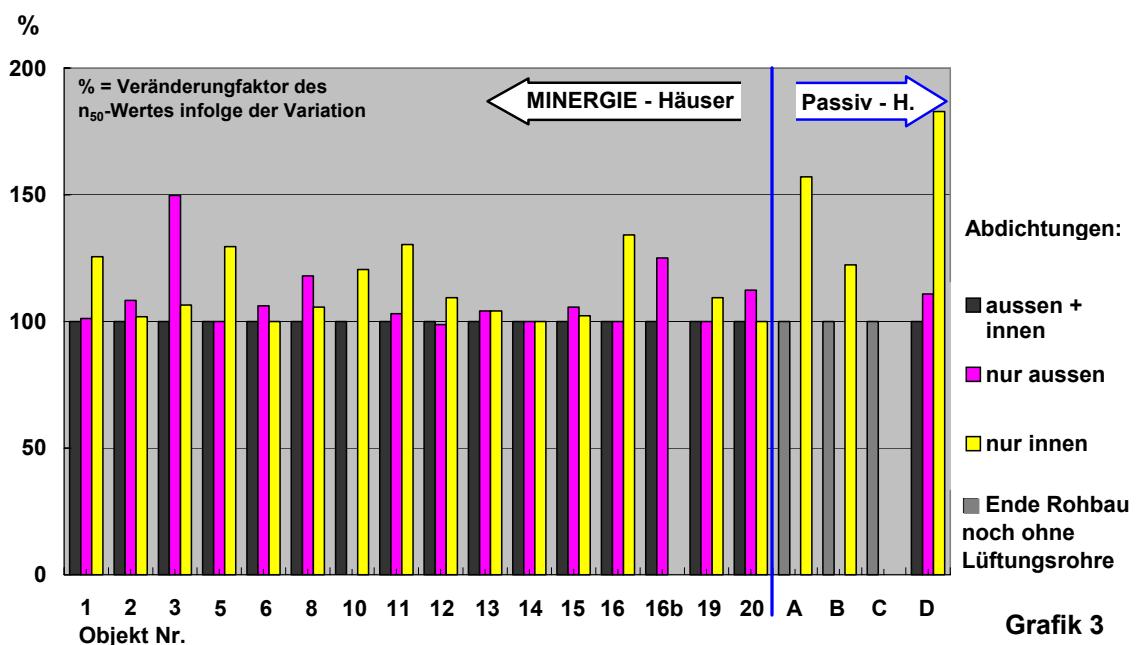
- Luftpfl dichte Zone im Haus
- Abdichtungen aussen
- Abdichtungen innen
- ↔ Umgehung via un dichte Stellen im Rohrverteilssystem

In Zusammenarbeit mit einem FHS Projekt und weiteren Partnern wurde versucht, anhand von ca. 20 MINERGIE Objekten (Typ EFH), zu messen, wie viel (Luft) Leckanteil auf Kosten der Lüftungssysteme und wie viel auf Kosten der Gebäudehülle geht.

Dabei zeigte sich, dass je nach Abdichtungsart bei einer Messung bis zu 50% des Luftleckstroms durch die Lüftungsrohre gezogen werden kann. Grund dafür ist u. a. die Abdichtungsqualität der Rohrleitungen, insbesondere der Bogen, Verbindungsstücke und Verteiler sowie der Wanddurchbrüche.



Grafik 2



Grafik 3

Grafik 2: Dargestellt ist der gemessene Volumenstrom, der für den n_{50} -Wert noch durch das Gebäudevolumen dividiert werden muss.

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

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

Grafik 2 und 3: Unterschiedliches Abdichten von Lüftungsanlagen bei Blower Door Messungen.
 innen = Abdichtung nur in den Räumen (Zu- und Abluftdurchlässe, im bewohnten Gebäude)
 aussen = Abdichtungen nur aussen (Aussenluft- und Fortluftdurchlässe, im bewohnten Gebäude)
 Ende Rohbau = Die Messung wurde auch im Bauzustand durchgeführt. Die Gebäudehülle ist dicht, die Lüftungsanlage noch nicht eingebaut, so dass die Aussparungen für die Lüftungsrohre abgedichtet werden können. Die resultierenden Unterschiede betragen bis zu 50 %, bei den Passivhäusern sind sie wegen den allgemein tieferen n_{50} Werten prozentual noch höher.

8 Wissensvermittlung

Detaillierte Erkenntnisse aus all den Messungen werden im Schlussbericht dargestellt. Erste Erkenntnisse werden im Blowshop 2004 mit den Praktikern diskutiert, mit dem Ziel, einen Vorschlag für neue Beurteilungskriterien und Grenzwerte für die Schweiz auszuarbeiten.

Genauigkeit der Messwerte

Wie gross die Messunsicherheit bei Luftdichtigkeitsmessungen ist, wurde in der Literatur bereits beschrieben und berechnet [2]. Allerdings konzentrieren sich diese Untersuchungen meist auf die Problematik der Messtechnik und übersehen dabei, dass die Gebäudepräparation je nach Objekt ein entscheidender Faktor ist, ob eine Messung reproduzierbar und nachvollziehbar ist oder nicht. Ein Sonderfall bezüglich der Messunsicherheit ist der Schweizer $v_{a,4}$ Wert (SIA 180, 1999 [3]), der wegen zu starker Extrapolation der Messkurve (Die Messpunkte liegen jeweils weit über der 4 Pa Grenze) eine Unsicherheit von 50 % oder mehr erreicht.

Aber auch der Messzeitpunkt beeinflusst das Resultat: Wird ein Gebäude am Ende des Rohbaus gemessen, was sinnvoll ist, damit allfällige Leckstellen ohne grossen Aufwand nachgebessert werden können, herrschen dabei ganz andere Randbedingungen, als wenn die Messung im bewohnten Zustand gemacht wird (Abnahme). So wird infolge Fertigstellung z.B. durch die Gipserarbeiten die Dichtigkeit verbessert, infolge Einbau der Lüftungsanlage werden aber zusätzliche Leckagen des Rohrleitungssystems das Resultat verschlechtern.

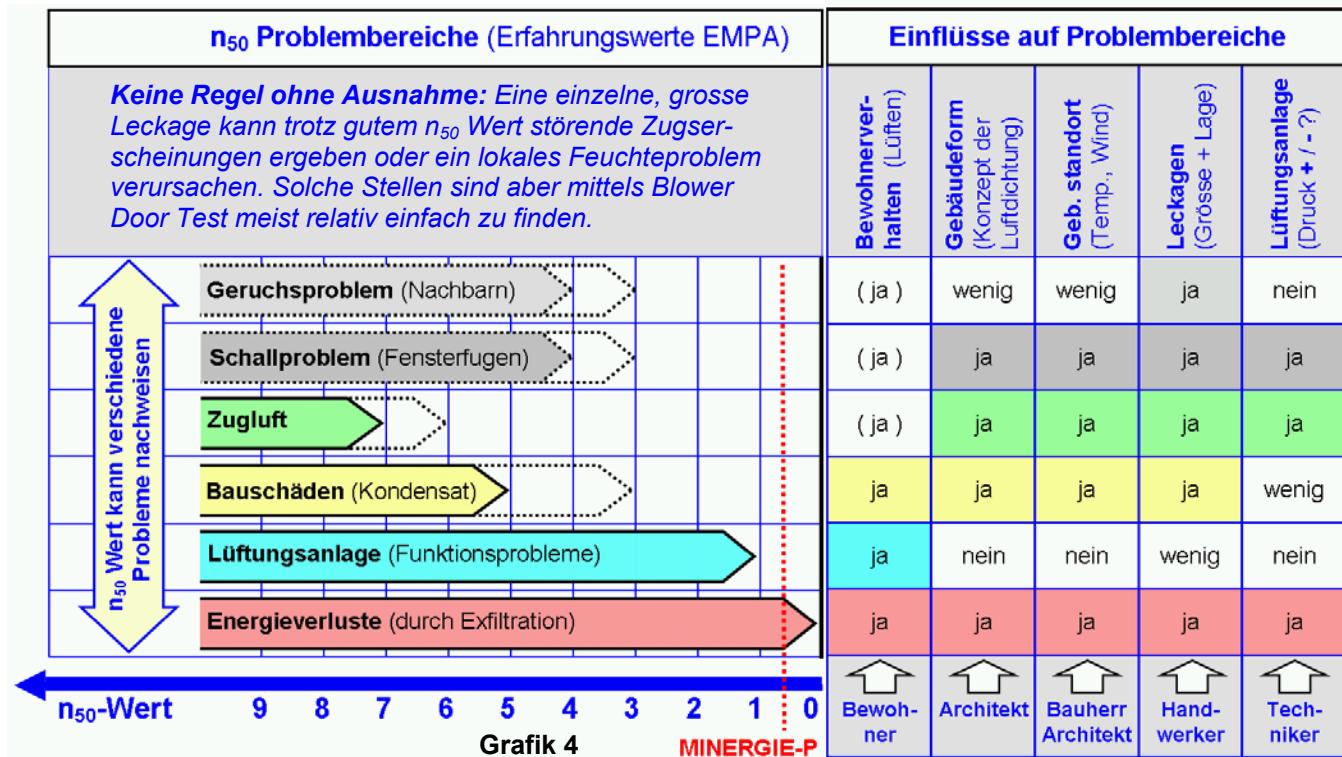
Tabelle: Größenordnung der wesentlichen Unsicherheiten:

Einflussgrösse	Unsicherheit	Messtechnik	Objekt und Umgebung	Methodik (subjektiv)
Messtechnik (Blower Door)	$\pm 5 - 10 \%$	x		x
Unterdruck / Überdruck	$\pm 0 - 20 \%$		x	x
Bezugsgrösse (Vol. / Flächen)	$\pm 5 - 15 \%$		x	x
Windeinfluss bei der Messung	$\pm 0 - 40 \%$		x	
Messzeitpunkt bezügl. Bauphase	$\pm 0 - 20 \%$		x	x
Messzeitpunkt bezügl. Jahreszeit	$\pm 0 - 30 \%$		x	x
Gebäudealter	$\pm 0 - 10 \%$		x	x
Leckagen Lüftungsanlage	$\pm 0 - 50 \%$		x	x
Mathem. Fehler infolge $v_{a,4}$ statt n_{50}	$\pm 20 - 50 \%$	x		x

6 Zweck der Grenzwerte

Eine gute Luftdichtigkeit wird meist mit einer guten Qualität der Gebäudehülle gleichgesetzt. Die Qualität bezieht sich dabei auf verschiedene Einzelthemen, bei denen eine dichte Gebäudehülle Vorteile bringt (vgl. Grafik 4, linker Teil). Deshalb sind in den meisten nationalen Normen Grenzwerte für eine maximal zulässige Luftdurchlässigkeit festgesetzt (CH: SIA 180 [3]). Je tiefer der Grenzwert, desto besser, lautet die allgemeine Devise, da so die Lüftungswärmeverluste minimiert werden können. Besonders bei Niedrigenergiehäusern, die (z. T. zwingend) eine Komfortlüftung mit WRG benötigen, wird diesem Aspekt mit extrem tiefen n_{50} -Grenzwerten Rechnung getragen (Passivhäuser $n_{50} \leq 0.6 \text{ [h}^{-1}\text{]}$).

Das sollte jedoch differenzierter als bisher betrachtet werden: Die Luftwechselzahl ($n_{50} / v_{a,4}$) hat nämlich nur indirekt mit dem Lüftungswärmeverlust zu tun. Eine einfache Umrechnung, wie sie in der EN 832 [4] gemacht wird befriedigt nicht, da für den praktischen Fall objektspezifische Gegebenheiten wie Gebäudestandort, Gebäudetyp, Art der Leckagenverteilung, Wetterverhältnisse und auch das Benutzerverhalten (Lüften) eine massgebende Rolle spielen. In der Literatur finden sich weitere Umrechnungsverfahren [5], wobei auch standortbezogene Klimadaten berücksichtigt werden [6]. All diese Methoden basieren aber auf älteren Gebäuden (vor 1995 gebaut), bei denen die Wechselwirkung von Luftdichtigkeit der Gebäudehülle und Undichtheit der Lüftungsanlagen noch nicht bekannt war oder noch keine Komfortlüftungen vorhanden waren.



Grafik 4: Die Grafik zeigt die Problematik von tiefen *n₅₀*-Grenzwerten und effektivem Energieverlust: Sehr tiefe Grenzwerte werden nur noch zur Minimierung der Energieverlusten gesetzt (MINERGIE-P und Passivhäuser Sollwert $\leq 0.6 [h^{-1}]$, Grafik linker Teil).

Der effektive Energieverlust durch Exfiltration hängt aber im Wesentlichen von 5 Problembereichen (Grafik rechter Teil) ab, die viel stärker ins Gewicht fallen können, als eine gewisse Bandbreite des *n₅₀*-Wertes.

Fazit: Sehr tiefe *n₅₀*-Werte sind nur sinnvoll, wenn die entscheidenden Problembereiche für die Exfiltration ebenfalls berücksichtigt werden.

9. Anschaffungen / Inbetriebnahme

2002 beschaffte die EMPA eine Minneapolis Blower Door, Model 4, mit APT (Lieferant: EUZ, Energie- und Umweltzentrum, D-31832 Springe Eldagsen). Einsatz siehe Kap. „Durchgeführte Arbeiten ... Pt. 3“.

Nationale Zusammenarbeit

- FHS St' Gallen, Fachbereich Bauwissenschaften, Projekt „Praxistest MINERGIE“, Severin Lenel und Clicon AG Rohrschacherberg, (Durchführung der Messungen), Rene Bruggisser
- HTA Luzern, Abteilung HLK, Messung an Passivhaus in Bilten, Heinrich Huber
- AWEL Kt. ZH, Projekt Messung mit hausinterner Lüftungsanlage, Christoph Gmür und Lemon Consult GmbH Zürich, (Durchführung der Messungen), Daniel Gilgen, Urs Gadola
- weiterer Messbetrieb für Luftdichtigkeit:
MBJ Bauphysik+Akustik AG, Kirchberg, Patric Schneider
- weiterer Messbetrieb für Luftdichtigkeit:
Haus-Technik-Planung Otmar Spescha, Schwyz, Otmar Spescha

- EMPA interne Zusammenarbeit:
Abteilung Energiesysteme und Haustechnik (175)

Internationale Zusammenarbeit

Erfahrungsaustausch:

- EUZ (Energie- und Umweltzentrum) D-31832 Springe Eldagsen
- FliB (Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V.) Deutschland [7]

Bewertung 2003 und Ausblick 2004

Projektziele für die 1. Etappe

- | | |
|--|---|
| 1. Literaturrecherchen | erreicht, wird laufend ergänzt |
| 2. Kontaktaufnahme und Informationsbeschaffung | erreicht, wird weiter verfolgt |
| 3. Vereinfachung des Messverfahrens | in Arbeit |
| 4. Leckströme von Lüftungsanlagen | erreicht, wertvolle Erkenntnisse gewonnen |

Projektziele für die 2. Etappe

- | | |
|--|------------------------------------|
| 5. Praxistauglich Messanleitungen erarbeiten | in Bearbeitung, Entwurf bis 2/2004 |
| 6. Ringversuche durchführen | in Bearbeitung, Beginn 2/2004 |
| 7. Messauswerte-Software | ausstehend |
| 8. Wissensvermittlung | Workshop 2/2004 |
| 9. Anschaffungen / Inbetriebnahme | erreicht, neue Blower Door (APT) |

Ausblick

Während den n_{50} -Messungen in den MINERGIE Häusern wurde erkannt, dass die Abnahme der Lüftungsanlage [8], insbesondere die Dichtheit des Verteilsystems und die in die Wohnräume fließenden Zu- und Abluftmengen (von denen die Druckverhältnisse im Haus abhängen) nie oder nur in Ausnahmefällen quantitativ (m^3/h) bekannt sind. Betreffend effektiven Lüftungswärmeverlusten und der Beurteilung der Luftdichtigkeit der Gebäudehülle sind diese Informationen aber so wichtig, dass verschiedene Projektbeteiligte bereit sind, an einem (Nachfolge) Messprojekt mit der Thematik „Abnahme von Komfortlüftungen“ mitzumachen.

Publikationen

- | | |
|---------------------------------|----------------|
| Artikel im Energiefachbuch 2004 | erreicht [9] |
| Artikel mit VD 175 für AIVC | in Bearbeitung |
| Artikelserie im Heft tec 21 | geplant |
| Artikel im Heft „Bauphysik“ | geplant |

Referenzen

- [1] *Blower Door, APT System, <http://www.blowerdoor.de/html/messverfahren.htm>*
- [2] *Feist Wolfgang, Passiv Haus Institut „Wie genau sind eigentlich Blower-Door Messungen bei Passivhäusern?“ (2001)*
- [3] *Norm SIA 180 (1999) „Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau“*
- [4] *EN 832 (1998) = SIA 380.101 (1999) „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Berechnung des Heizenergiebedarfes“.*
- [5] *Zürcher Christoph, Frank Thomas, vdf, „Bauphysik, Bau und Energie“ (1997)*
- [6] *Weber Tim, KTH Division of Building Technologiy, “Low-energie Houses – Visions and Reality (Paper 2)” (2002)*
- [7] *(Deutscher) Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V. <http://www.Flib.de>*
- [8] *prEN 14134 (CEN Entwurf 3/2001), Lüftung von Gebäuden- Leistungsprüfung und Einbaukontrollen von Lüftungsanlagen in Wohnungen*
- [9] *Tanner Christoph, Schweizer Energiefachbuch 2004, „Luftdichtigkeit: Das Dilemma der Beurteilung“ (2003)*