



Schlussbericht 21. November 2011 / 2

Praxistest Luftdichtigkeits-Messungen bei Minergie-P[®]-Bauten

Luftdichtigkeits-Messungen bei Minergie-P[®]-
Wirtschaftsbauten (Dienstleistungs- und Gewerbebauten),
Industrie- und Lagergebäuden

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Thermografie Verband Schweiz (theCH)
8212 Neuhausen
www.thech.ch

Messteams des Ringversuchs

- Awerk architekten AG, Toni Fahrni, Schulgasse 18, 3280 Murten
- Bauchek-Tanner, Christoph Tanner, Irchelstrasse 28, 8400 Winterthur
- Clicon AG, Hansjörg Fäh, Rebhaldenstrasse 63, 8625 Gossau – Zürich
- Energietechnik Lehner, Christoph Lehner, Tina 4, 9467 Frömsen
- Hochschule Luzern T&A, Beda Bossard, Technikumstrasse 21, 6048 Horw
- Otmar Spescha Ingenieurbüro für energieeffizientes Bauen, Otmar Spescha, Untere Mangelgasse 3, 6430 Schwyz

Auftragnehmer:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG)
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Autoren:

Gregor Notter, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, gregor.notter@hslu.ch
Beda Bossard, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, beda.bossard@hslu.ch
Urs-Peter Menti, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, urs-peter.menti@hslu.ch
Christoph Tanner, Bauchek-Tanner, bct@bauchek-tanner.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500376 / SI/500376-02

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Dank

Folgenden Personen und Institutionen gilt ein besonderer Dank ohne diese das Projekt nicht im vorliegenden Rahmen durchgeführt werden konnte:

Harald Siegrist für die Mithilfe bei der Suche von Objekten für die Ringmessung und Messung an besonderen Bauteilen.

Stadt Illnau-Effretikon (Bauherrin), Robert Widmer (Hauswart) und SRT Architekten AG (zur Verfügungstellung von Planunterlagen), dass Sie uns den Kindergarten Hagen in Illnau-Effretikon für den Ringversuch unentgeltlich zur Verfügung gestellt haben.

Den Firmen / Gebäudebesitzern welche ihre Objekte für die Messungen der speziellen Bauteile zur Verfügung gestellt haben.

Den Mitgliedern des Thermografie Verband Schweiz für die Teilnahme am Workshop.

Den Messteams des Ringversuchs für ihre Teilnahme am Versuch.

Dem BFE für die Ermöglichung dieses Projektes.

Zusammenfassung

Für die Label „Minergie-P“, „Minergie-A“ und „Passivhaus“ wird eine sehr hohe Luftdichtigkeit der Gebäudehülle gefordert. Diese ist vor der Label-Übergabe mittels eines Messresultats zwingend nachzuweisen (Blower-Door-Messung), wobei Grenzwerte einzuhalten sind.

Die internationale Norm EN 13829 lässt bezüglich Luftdurchlässigkeits-Messverfahren verschiedene Varianten zu. Deshalb hat der Verein Minergie im Januar 2007 die Richtlinie „Luftdurchlässigkeitsmessungen bei MINERGIE-P® und MINERGIE®-Bauten“ (RILUMI) herausgegeben. Diese hat sich für Wohnbauten bisher gut bewährt. Für die 2009 neu definierten Minergie-P-Kategorien (Nicht-Wohnbauten) eignet sich die RILUMI jedoch nur noch bedingt und es müssen z.B. für grosse Gebäude immer wieder individuelle Messverfahren definiert werden. Um die brennendsten diesbezüglichen Probleme untersuchen zu können wurde deshalb das BFE-Projekt um ein Jahr verlängert und einige Zielsetzungen wurden neu definiert.

Ein Hauptthema des Projekts war der Nachweis für die Reproduzierbarkeit der Messungen von Wohnbauten. Dafür wurde ein Ringversuch mit 6 Messteams durchgeführt. Die Resultate haben gezeigt, dass die Abweichungen mit der RILUMI als Grundlage in einem akzeptablen Rahmen liegen.

Weiter wurde ein Workshop mit erfahrenen Messexperten durchgeführt, bei welchem verschiedene messtechnische Themen von Nicht-Wohnbauten diskutiert wurden. Dabei wurde auch die Relevanz von verschiedenen Norm-Vorgaben diskutiert.

Da keine Erfahrungswerte zur Dichtigkeit von „kritischen Bauteilen in Nicht-Wohnbauten“ (Schiebetüren, Rolll Tore, etc.) vorliegen, wurden im Rahmen des Projekts mehrere Messungen dazu durchgeführt.

Mit dem Projekt konnten punktuell verschiedene Problemstellungen zum heutigen Messverfahren erkannt und analysiert werden. Für grosse Gebäude und Nicht-Wohnbauten sind weitere Untersuchungen notwendig und es sollten neue Abnahmeverfahren definiert werden.

Résumé

Pour les labels „Minergie-P“, „Minergie-A“ et „maison passive“, une très forte étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment est exigée. Celle-ci est impérativement à justifier à l'aide d'un résultat de mesurage (mesurage Blower-Door) avant la remise du label, tout en respectant des valeurs limites.

La norme internationale EN 13829 permet différentes variantes quant à la procédure de mesurage de la perméabilité à l'air. C'est pourquoi l'association Minergie a sorti la directive „mesurages de la perméabilité à l'air sur des constructions MINERGIE-P® und MINERGIE®“ (RILUMI) en janvier 2007. Celle-ci a jusqu'à présent bien fait ses preuves pour des constructions d'habitation. Aux catégories Minergie-P nouvellement définies en 2009 (constructions de non-habitation), la RILUMI ne se prête que sous certaines conditions. Par exemple pour des grands bâtiments, il faut toujours définir de méthodes de mesurage individuelles. Pour pouvoir étudier les problèmes les plus urgents à ce sujet, le projet-BFE a été prolongé d'une année et quelques objectifs ont été redéfinis.

Un sujet principal du projet était le justificatif pour la reproductibilité des mesurages de constructions d'habitation. Pour ce faire, un round-robin test avec 6 équipes de mesurage a été mené. Les résultats ont montré qu'avec la RILUMI comme base, les différences se situent dans un cadre acceptable.

Puis, un atelier avec des experts en mesurage a été mené pour discuter différents sujets métrologiques de constructions de non-habitation et l'importance de différentes prescriptions de norme.

Comme ils n'existent aucunes valeurs empiriques sur l'étanchéité „d'éléments de constructions critiques de constructions de non-habitation“ (portes coulissantes, porte roulante etc.), plusieurs mesurages y ont été menés dans le cadre du projet.

Avec le projet, différentes problématiques concernant la méthode de mesurage actuelle ont pu être identifiées et analysées ponctuellement. Pour des grands bâtiments et constructions de non-habitation, d'autres analyses sont nécessaires et il faudrait définir de nouvelles méthodes de réception des travaux.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	7
1.1.	Ausgangslage	7
1.2.	Zielsetzung	7
1.3.	Vorgehen.....	8
1.4.	Aufbau des Berichts	8
2.	Durchgeführte Arbeiten	9
2.1.	Literaturrecherchen	9
2.2.	Ringversuch	9
2.3.	Checkliste für Bauausführende	24
2.4.	Workshop	24
2.5.	Umgang mit „kritischen“ Bauteilen	28
2.6.	Handhabbares Messverfahren für grosse Gebäude.....	35
2.7.	Bewertung der Sekundär-Messwerte.....	38
2.8.	Vorschläge für die Anpassung der Richtlinie für Luftdichtigkeitsmessungen	40
3.	Schlussfolgerungen.....	42
4.	Literaturverweise	43
4.1.	Minergie Dokumente	43
4.2.	Normen.....	43
4.3.	Weitere Literatur.....	43
5.	Anhänge	44
5.1.	Anhang A	45
5.2.	Anhang B	54

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

Für die Label „Minergie-P“, „Minergie-A“ und „Passivhaus“ wird eine sehr hohe Luftdichtigkeit der Gebäudehülle gefordert. Bevor das Zertifikat vergeben wird, ist die Luftdichtigkeit mit einem Luftdichtigkeitstest (auch bekannt als Blower-Door-Messung) nachzuweisen und es sind zwingend Grenzwerte zu erfüllen. Auch für den „Minergie“ Standard gibt es Grenzwerte. Diese sind aber weniger streng und für das Label nicht zwingend nachzuweisen. Die Festsetzung aller Minergie-Grenzwerte, und die Definitionen für die Messmethodik sind 2007 in der vom Verein Minergie herausgegeben Messrichtlinie „*Luftdurchlässigkeitsmessungen bei MINERGIE-P® und MINERGIE®-Bauten*“ (RILUMI) [1] beschrieben worden. Diese Richtlinie orientiert sich primär an den Vorgaben der EN 13829 [4] und lehnt sich bezüglich Grenzwerten an die Vorgaben des Passivhaus-Standards [11] an. Der Vergleich mit den Definitionen und Grenzwerten in der Norm SIA 180 (1999) [6, 6a] ist dabei aus messtechnischen Gründen nicht möglich.

Bei Einreichung des Projektes im Jahre 2009 wurden fast ausschliesslich Wohnbauten und kleinere Verwaltungsbauten nach den Anforderungen von Minergie-P ausgeführt. Erst vereinzelt wurden auch grössere Verwaltungs-, Industrie- und Lagerbauten nach Minergie-P erstellt. Für diese Bauten wurden die Anforderungen der Wohnbauten eins zu eins übernommen. Die Schlusskontrolle der Gebäudehülle erfolgte dabei immer mit der Messung der Luftdurchlässigkeit nach den Vorgaben der RILUMI [1].

Die Erfahrung der Zertifizierungsstelle Minergie-P hat gezeigt, dass die geforderten Grenzwerte für Minergie-P Neubauten von $n_{50,st}=0.6 \text{ h}^{-1}$ meistens erfüllt werden. Anders aber bei den 2009 dazugekommenen Minergie-P Modernisierungen, für welche eine gelockerte Anforderung von $n_{50,st}=1.5 \text{ h}^{-1}$ definiert wurde. Obwohl der Grenzwert deutlich weniger streng ist, wurde er doch einige Male, insbesondere bei Holzbauten, nicht erreicht. Diese Aussage basiert allerdings auf noch relativ wenigen Untersuchungen, wobei auch zu berücksichtigen ist, dass sich bei der Kategorie Modernisierung oder bei Mischbauten (Modernisierung mit Neubau-Anteil) für verschiedene Fragestellungen bezüglich Messanordnungen und Auswertungen neue Situationen ergeben die in der RILUMI nicht geregelt sind.

Im Weiteren ist unbekannt, wie genau sich ein Messwert reproduzieren lässt. So ist bei einem Neubau und bei einer Modernisierung unbekannt, wie gross die Unterschiede von Messresultaten z.B. in Folge der unterschiedlichen Messinfrastruktur bzw. von der Messfirma oder von den klimatischen Aussenbedingungen sind.

Das vorliegende Projekt soll deshalb Antworten zu diesen Fragen geben.

In der Zwischenzeit hat sich zudem gezeigt, dass die oben aufgeführten Fragestellungen zwar wichtig sind, dass sich aber gerade im Zusammenhang mit der bei der Minergie-P-Zertifizierung nachzuweisenden Luftdichtigkeit neue Fragestellungen ergeben haben, die aus unserer Sicht eine noch höhere Priorität haben (vor allem auch im Zusammenhang mit den immer häufiger werdenden Luftdichtigkeitsmessungen bei grossen Gebäuden). Hier hat sich nun gezeigt, dass aus betrieblichen wie terminlichen Gründen eine Messung des ganzen Gebäudes nicht mehr möglich ist.

Mit der Verlängerung des Projektes wurden Anfang 2011 auch neue Zielsetzungen und Themen definiert. Einige 2009 gesetzten Ziele wurden deshalb weggelassen.

1.2. Zielsetzung

Zielsetzungen 2009:

Das Bundesamt für Energie hat 2009 die Hochschule Luzern – Technik & Architektur (ZIG) mit der Durchführung der Studie „Praxistest Blower-Door-Messung bei Minergie-P-Bauten“ beauftragt. Die wesentlichen durch die Studie zu klärenden Fragestellungen sind:

- Kritisches Überprüfen der heute gültigen Anforderungen an die Luftdichtigkeit bei Minergie-P-Bauten.
- Analyse einzelner Faktoren, welche die Messwerte beeinflussen (Messfirma, Aussenklima während der Messung).
- Ermitteln des bei einer Modernisierung realisierbaren Verbesserungspotentials betreffend Luftdichtigkeit.
- Beurteilung des Einflusses von Publikumseingängen (z.B. Schiebe- und Drehtüren) auf die Luftdichtigkeit.

Die gewonnenen Erkenntnisse fliessen in die „Richtlinie für Luftdurchlässigkeitsmessungen bei MINERGIE-P® und MINERGIE®-Bauten“ (RILUMI) ein. Falls nötig, werden die Anforderungen für die Luftdichtigkeit bei Minergie-P angepasst.

Zielsetzungen nach Anpassung des Projektes:

Folgende Arbeiten wurden teilweise bereits durchgeführt;

- Literaturrecherchen
- Objektsuche für Ringversuche
- Erste Messungen Ringversuche
- Erarbeitung Checkliste

Auf folgende – gemäss ursprünglichem Projektbeschrieb geplanten – Arbeiten soll verzichtet werden:

- Messungen Neubau / Modernisierung
- Messungen vor/nach Sanierung (keine geeigneten Objekte)
- Messungen Einfluss Aussenklima

Neu bzw. detaillierter sollen Vorschläge zur Beantwortung aktueller Fragestellungen erarbeitet werden:

- Umgang mit „kritischen“ Bauteilen (Industrietore, Lift, ...)
- Handhabbares Messverfahren für grosse Gebäude
- Bewertung der Sekundär-Messwerte (Norm-Vorgaben)

Diese Arbeiten sollen vor allem auch mittels Beizug von Messpraktikern (z.B. im Rahmen eines Workshops) durchgeführt werden. So ist auch gewährleistet, dass die erarbeiteten Ergebnisse in der Praxis hohe Akzeptanz bekommen.

1.3. Vorgehen

Zu Beginn der Arbeit wurde Literaturrecherchen gemacht um Erkenntnisse über neuere normative Anforderungen zu erhalten. Anschliessend wurde das Referenzobjekt für den Ringversuch gesucht und ausgewählt. Diese Messungen wurden dann von 5 Messteams vorgenommen. Parallel dazu wurden kritische Bauteile gesucht und anschliessend gemessen. Ebenfalls zur gleichen Zeit fand der Workshop mit den Messpraktikern statt um eine breite Abstützung der zu haben.

1.4. Aufbau des Berichts

Der Bericht gliedert sich nach den Themen des neu definierten Programms vom Januar 2011.

Vom Leser werden Kenntnisse der „Richtlinie für Luftdurchlässigkeitsmessungen bei MINERGIE-P® und MINERGIE®-Bauten“ (RILUMI) [1] und der Norm EN 13829 (SIA-Norm 180.206) [2] vorausgesetzt.

2. Durchgeführte Arbeiten

2.1. Literaturrecherchen

Basierend auf der Literaturliste des Empa Projekts MEBLUN [7], erstellt durch Christoph Tanner, von 2004, wurde nach weiteren Publikationen und Normen gesucht und die Relevanten in der Liste ergänzt.

Da die Literaturliste des Empa Projekts nicht publiziert wurde, steht die vollständige Liste im Anhang 6.1

2.2. Ringversuch

Objektwahl:

Ursprünglich versuchte man 2 Objekte für den Ringversuch zu finden. Diese sollten bezüglich Standort einerseits im Nordwesten, andererseits im Osten der Schweiz liegen.

Weitere Anforderungen an die Testgebäude waren:

- MINERGIE oder Minergie-P Standard
- mit kontrollierte Lüftungsanlage mit WRG
- Wohnhaus / Bürocharakter
- Zeitlich gute Verfügbarkeit
- Eignung für allfällige Teilmessungen
- wohlwollende Eigentümer / Nutzer, welche die Messungen erlauben

Nach längerer Evaluation wurden zwei Kindergartengebäude gefunden, welche diesen Ansprüchen genügten. Einerseits ein Kindergarten in Jegenstorf, evaluiert von Harald Siegrist, der dafür als externer Gehilfe beigezogen wurde, andererseits der Kindergarten Hagen in Illnau-Effretikon (Minergie-Label Nr. ZH-1170).

Link zum Objekt: - MINERGIE-Objekt-Link:

<http://www.minergie.ch/buildings/de/details.php?gid=ZH-1170>

Nach der Anpassung der Projektthemen im Januar 2011 wurde jedoch entschieden, dass die Messungen für den Ringversuch nur in Illnau-Effretikon durchgeführt werden. Die nachstehenden Bilder zeigen die wesentlichen Strukturen des gewählten Testgebäudes Kindergarten Hagen.

Technische Daten: Der Kindergarten hat 3 Lüftungsanlagen und einen Wärmepumpenboiler. Diese Installationen sind in einem Technikraum, der vollständig innerhalb der thermischen Gebäudehülle und damit innerhalb der Messzone liegt.



Abbildung 1: Aussenansicht Kindergarten Illnau-Effretikon

Quelle: Gebäudeliste Minergie; <http://www.minergie.ch/buildings/de/bildmain.php?gid=ZH-1170&imgcount=1>

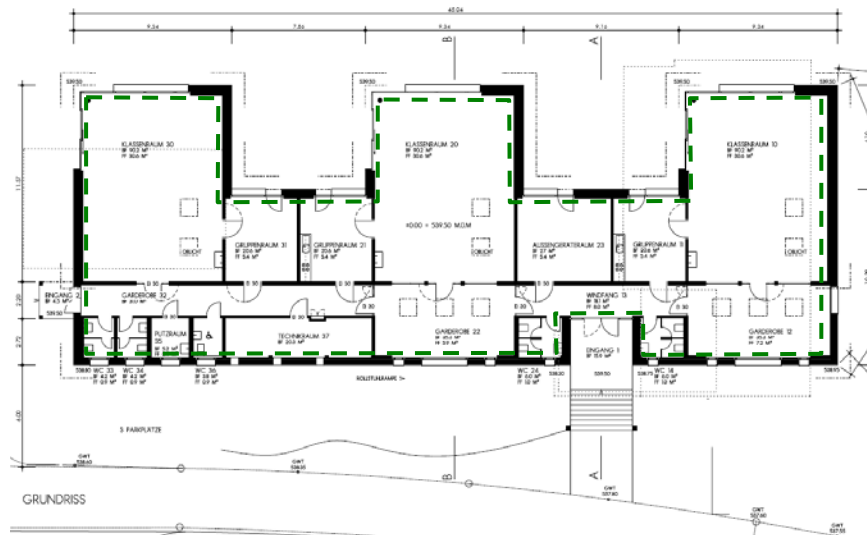


Abbildung 2: Grundriss mit eingetragener Luftdichtigkeitsebene

Quelle: Grundrissplan der SRT Architekten AG, 8044 Zürich

Schema der Messzone

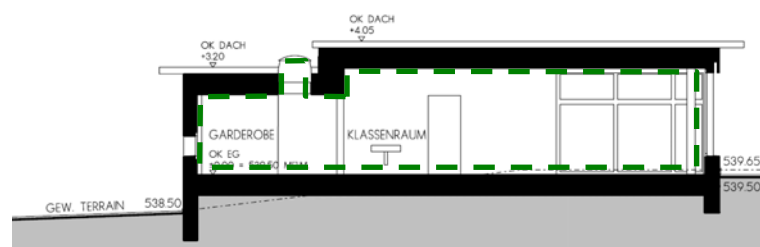


Abbildung 3: Querschnitt mit eingetragener Luftdichtigkeitsebene

Quelle: Schnittplan der SRT Architekten AG, 8044 Zürich

Messteams:

Am Ringversuch haben sechs Messfirmen teilgenommen. Zwei Teams haben zwei verschiedene Gerätetypen eingesetzt, sodass insgesamt 8 Messungen ausgeführt wurden.

- Awerk architekten AG, Toni Fahrni, Schulgasse 18, 3280 Murten
- Bau-Check Tanner, Christoph Tanner, Irchelstrasse 28, 8400 Winterthur
- Clicon AG, Hansjörg Fähr, Rebhaldenstrasse 63, 8625 Gossau – Zürich
- Energietechnik Lehner, Christoph Lehner, Tina 4, 9467 Frömsen
- Hochschule Luzern T&A, Beda Bossard, Technikumstrasse 21, 6048 Horw
- Otmar Spescha Ingenieurbüro für energieeffizientes Bauen, Otmar Spescha, Untere Mangelgasse 3, 6430 Schwyz

Vorgaben:

Für die Messungen wurden folgende Vorgaben abgegeben:

- Messung 1: Ganzer Kindergarten, alle Räume (mit diesem Zustand gibt es keine Nachbarzonen)
- Im Unter- und Überdruck
- Einbauort BlowerDoor: Tür zu Mädchen WC Ost.
- 2. Messung nach Absprache vor Ort, je nach Zeit und Situation.
- Messungen nach RILUMI, Messverfahren: B
- Die Berechnung der Bezugsgrößen (bitte Fläche AE und Volumen VT berechnen) erfordert etwas Zeit, ist aber ein wichtiger Faktor für die Auswertungen und Vergleiche.
- Provisorische Abdichtungen: Für die Messungen galten für alle Messteams die gleichen Vorgaben. Mit Hilfe von vorbereiteten Kunststofffolien wurden die 3 Frischluftöffnungen an der Nordostfassade sowie die 3 Abluftstutzen auf dem Flachdach mit Hilfe des Projektbegleiters Ch. Tanner abgedichtet. Dazu auch die sich auf dem Dach befindenden Zu- und Abluftöffnungen des Wärmepumpenboilers.
- Material für die provisorischen Abdichtungen wird vor Ort zur Verfügung gestellt.
- Christoph Tanner ist bei allen Messungen dabei und gibt Auskunft und Hilfestellungen.
- Berichterstattung: Der Bericht ist so zu verfassen, wie wenn er der Minergie-P Zertifizierungsstelle als Abnahmemessung abgegeben werden müsste.
- Dazu gehören auch die 2 Seiten mit der Zusammenfassung der Resultate.

Ergebnisse:

Zuordnung der Messungen zu den verwendeten Messgeräten:

Messung 1		Minneapolis Typ 3 mit Druckmessdose
Messung 2		Minneapolis Typ 4 mit APT
Messung 3		Minneapolis Typ 4 mit DG 700
Messung 4		Minneapolis Typ 4 mit DG 700
Messung 5		Blowtest 3000
Messung 6		Minneapolis Typ 4 mit DG 700
Messung 7		Minneapolis Typ 4 mit DG 700
Messung 8		Minneapolis Typ 4 mit APT

Tabelle 1: Zuordnung der Messgeräte zu den Messungen

Berechnungen der Bezugsgrößen

Jedes Messteam hat die Bezugsgrößen selber anhand von abgegebenen Planunterlagen ermittelt.

Definitionen:

Hüllfläche A_E [m²]

Die Hüllfläche des untersuchten Gebäudes oder der Nutzungseinheit ist die Gesamtfläche aller Böden, Wände und Decken / Dächer, die das untersuchte Volumen umschließen. Wände und Böden gegen Erdreich und unbeheizte Nebenzonen sind eingeschlossen.

Ist relevant für die Zertifizierung von Gebäuden nach dem Minergie-A-(ECO)- und Minergie-P-(ECO)-Label.

Volumen V_T [m³]

Das Innenvolumen ist das Luftvolumen im untersuchten Gebäude oder der Nutzungseinheit. Es wird berechnet, indem die Nettogrundfläche mit der mittleren lichten Raumhöhe multipliziert wird.

Ist relevant für die Zertifizierung von Gebäuden nach deutschem Passivhaus Institut.

Auswertung der Bezugsgrössenberechnungen:

Hüllfläche:

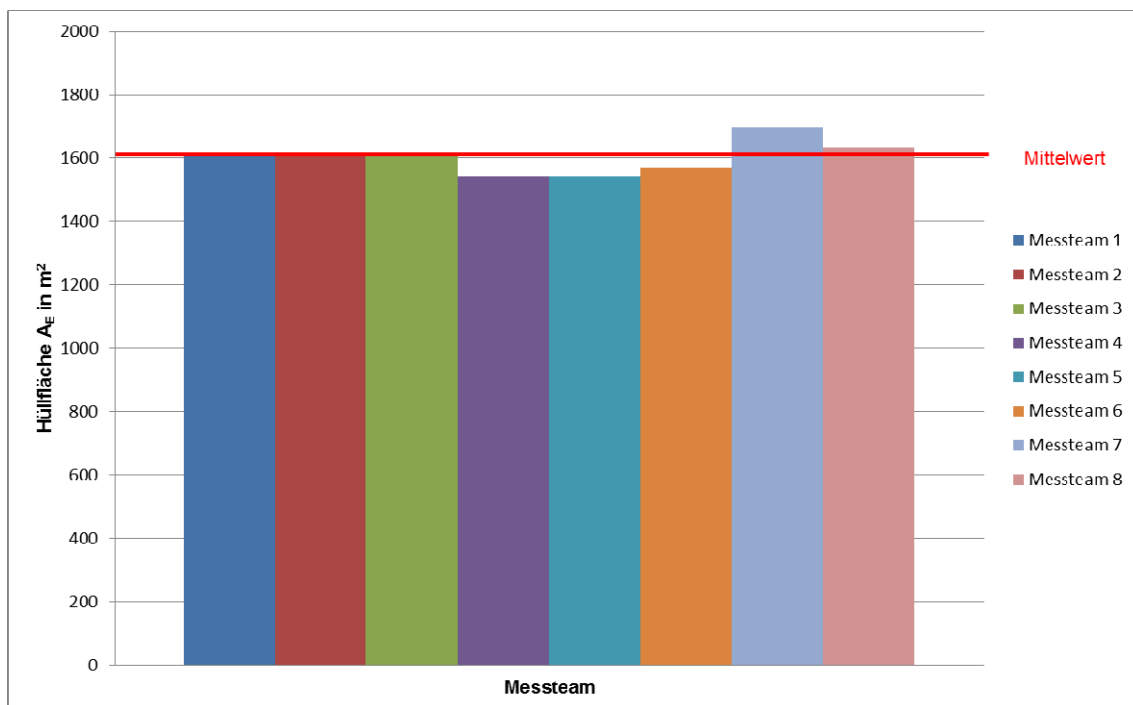


Abbildung 4: Ermittelte Hüllflächen in m² der Messungen 1 bis 8; Mittelwert = 1'603 m²

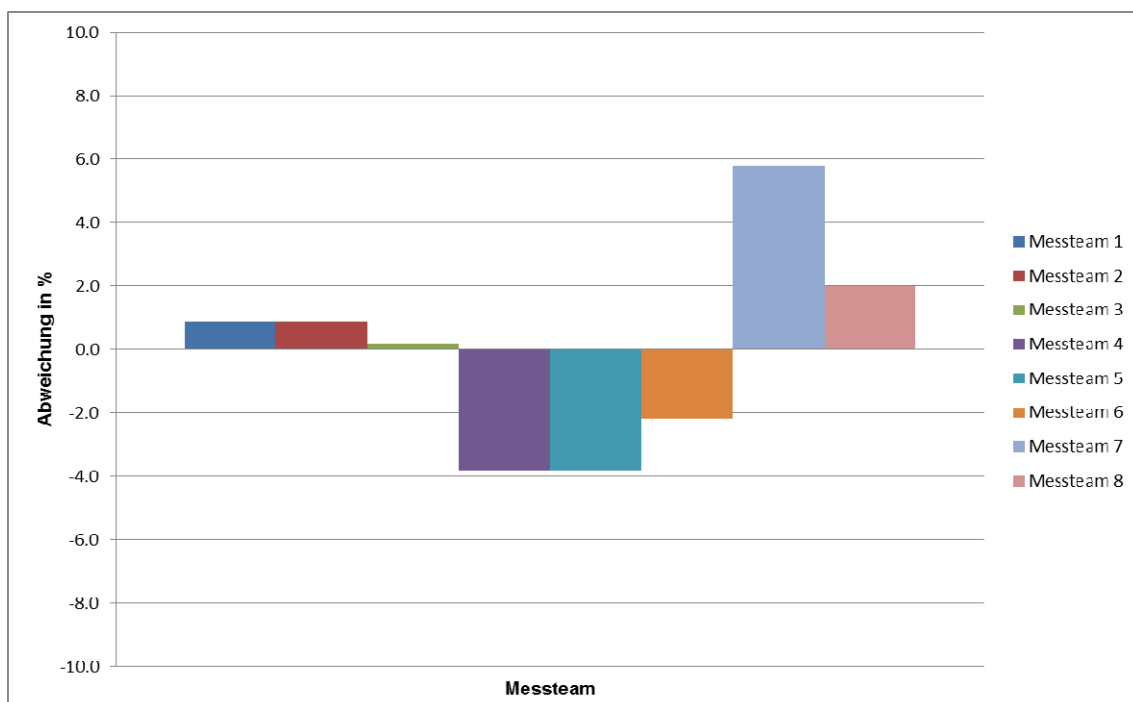


Abbildung 5: Abweichungen der Hüllflächen der einzelnen Messungen in % vom Mittelwert

Volumen:

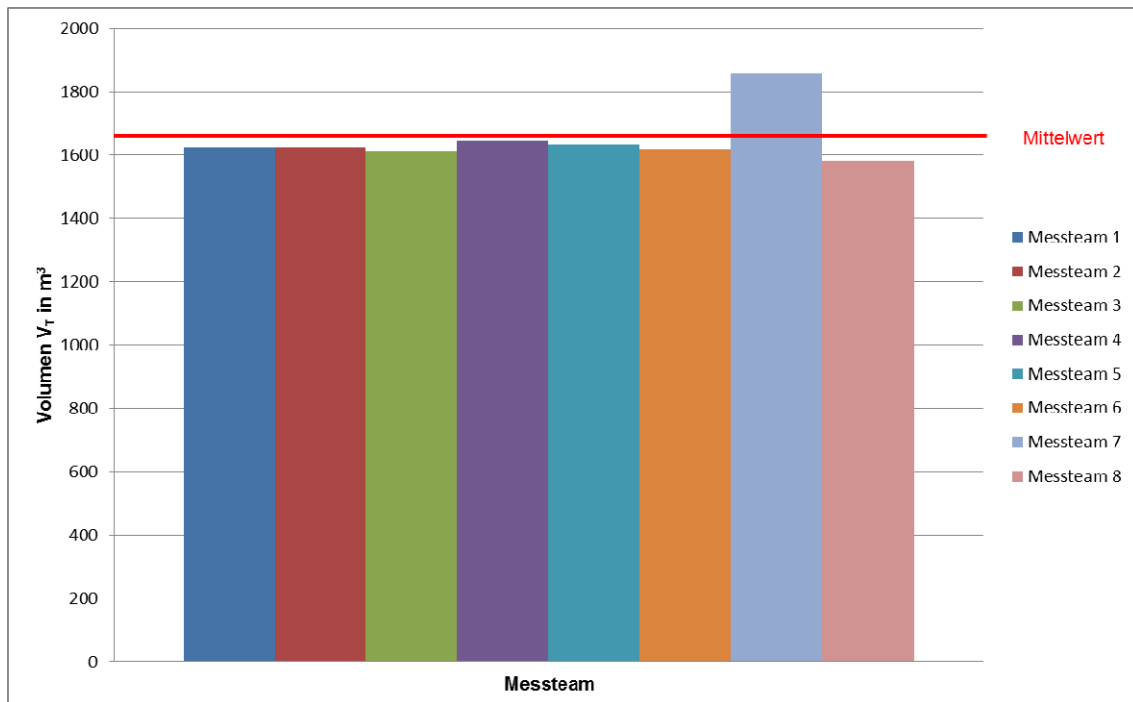


Abbildung 6: Ermittelte Volumen im m^3 der Messungen 1 bis 8; Mittelwert = 1'650 m^2

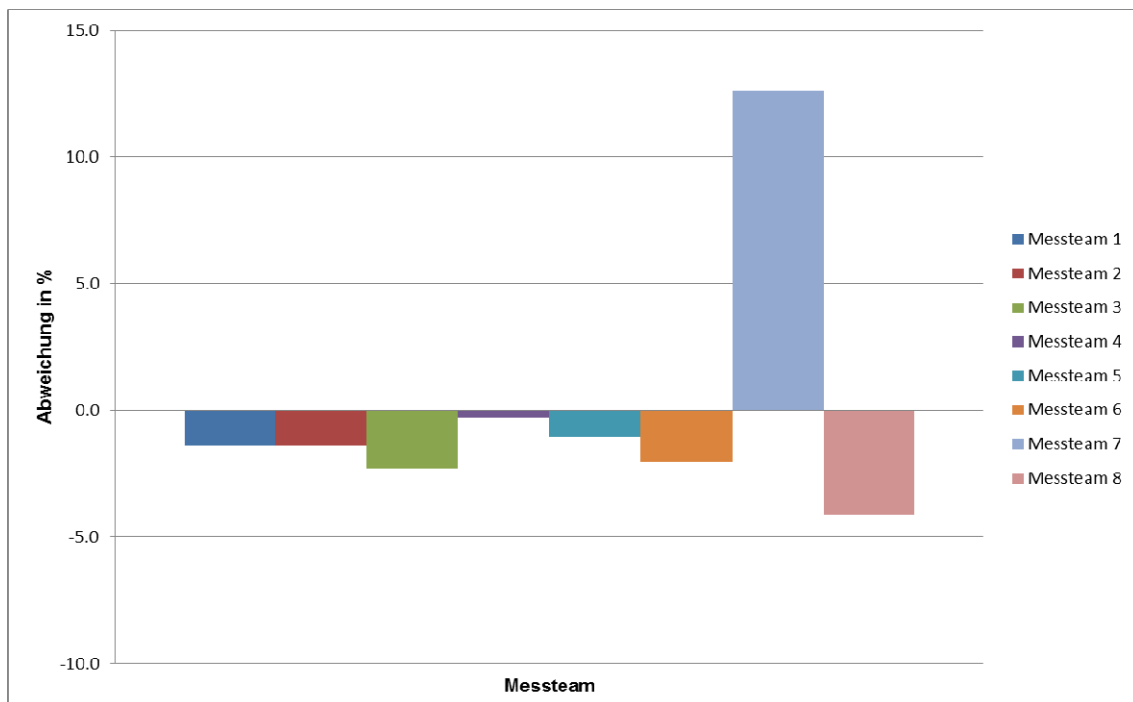


Abbildung 7: Abweichungen der Volumen der einzelnen Messungen in % vom Mittelwert

In der EN-Norm 13829 [4] wird unter Punkt 8.2 von einer typischen Unsicherheit der Bezugsgrößen von 5% bis 10% gesprochen.

Im Beiblatt des Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e. V. [13] zur Norm DIN EN 13829 [analog 4] werden Teil-Messungenauigkeit je nach Bestimmung der Bezugsgrößen wie folgt definiert:

- Bei genauer Bestimmung 3%
- Bei stichprobenhafter Bestimmung 6%
- Bei Abschätzung 12%

Die Auswertung dieser Parameter im durchgeführten Ringversuch zeigt, dass die Abweichungen bei den Bezugsgrößen fast immer unterhalb von 5% liegen.

Auswertung der gemessenen Volumenströme V_{50} [m^3/h]:

Volumenstrom V_{50} Unterdruck [m^3/h]:

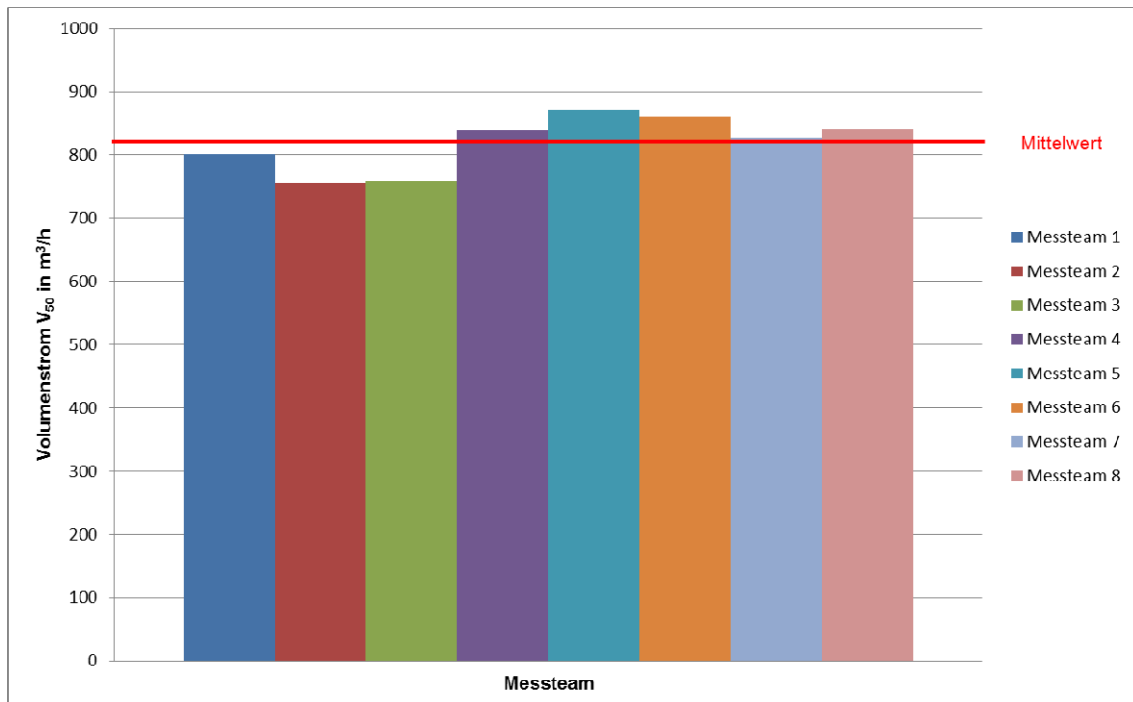


Abbildung 8: Ermittelte Volumenströme der Messungen 1 bis 8 bei Unterdruck in m^3/h ; Mittelwert = $819 \text{ m}^3/\text{h}$

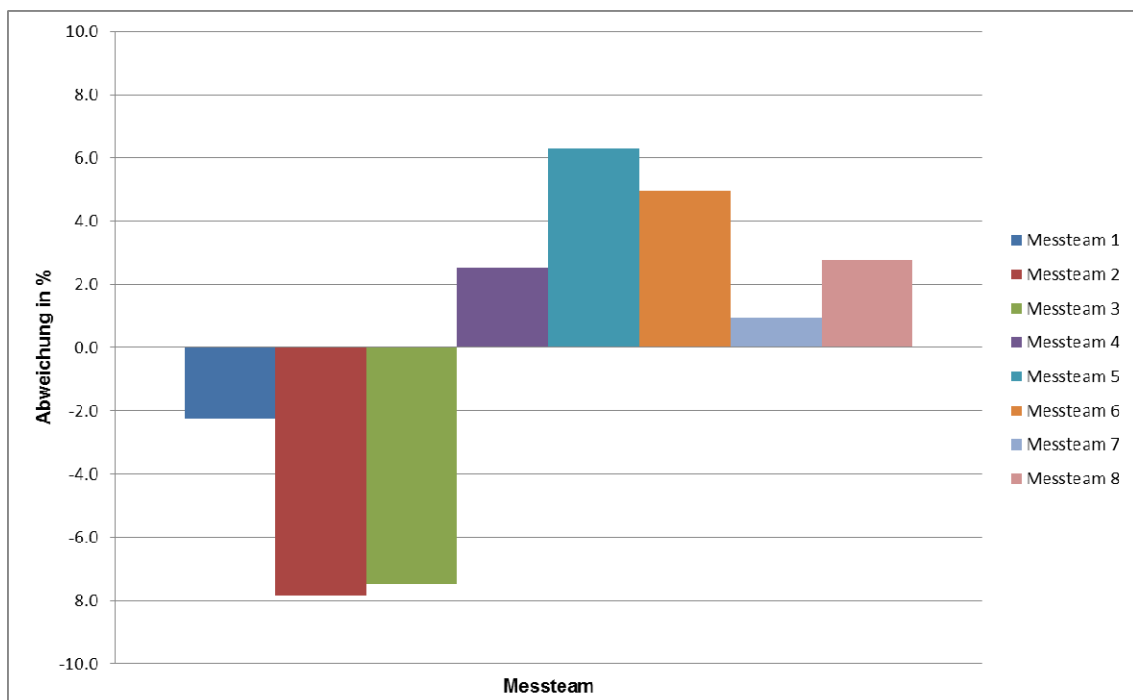


Abbildung 9: Abweichungen des Volumenstrom Unterdruck der einzelnen Messungen in % vom Mittelwert

Volumenstrom V_{50} Überdruck [m^3/h]:

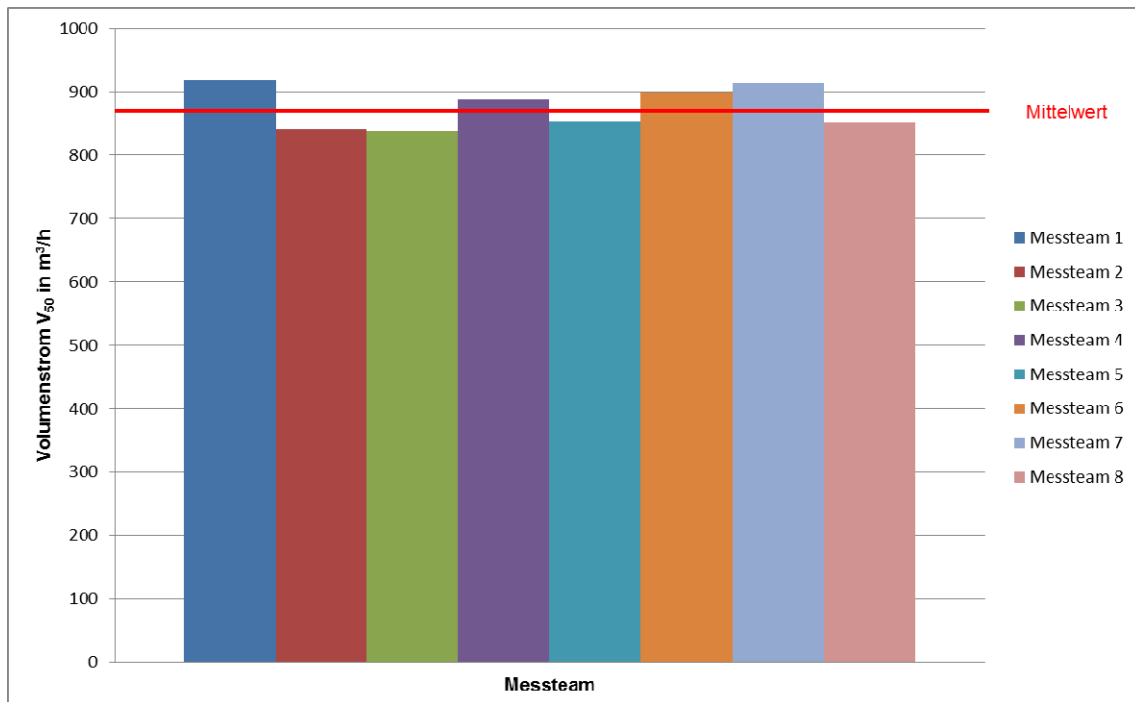


Abbildung 10: Ermittelte Volumenströme der Messungen 1 bis 8 bei Unterdruck in m^3/h ; Mittelwert = 876 m^3/h

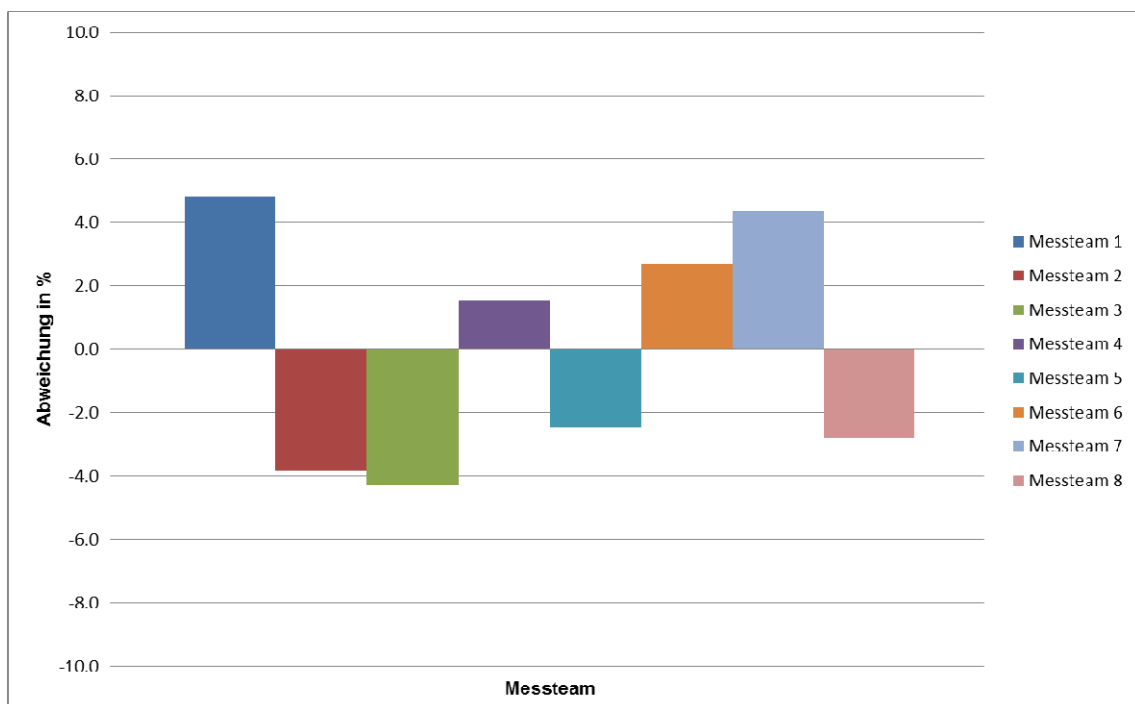


Abbildung 11: Abweichungen des Volumenstrom Überdruck der einzelnen Messungen in % vom Mittelwert

Berechnete Kennwerte q_{50} und $n_{50,st}$

q_{50} ist der hüllflächenbezogene Leakagestrom bei 50 Pa Druckdifferenz. [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]

$n_{50,st}$ ist der hüllflächenbezogene Leakagestrom multipliziert mit dem standardisierten Formfaktor F von 0.8. Dieser ist das Verhältnis von Hüllfläche zu Innenvolumen. [h^{-1}]

q_{50} -Werte:

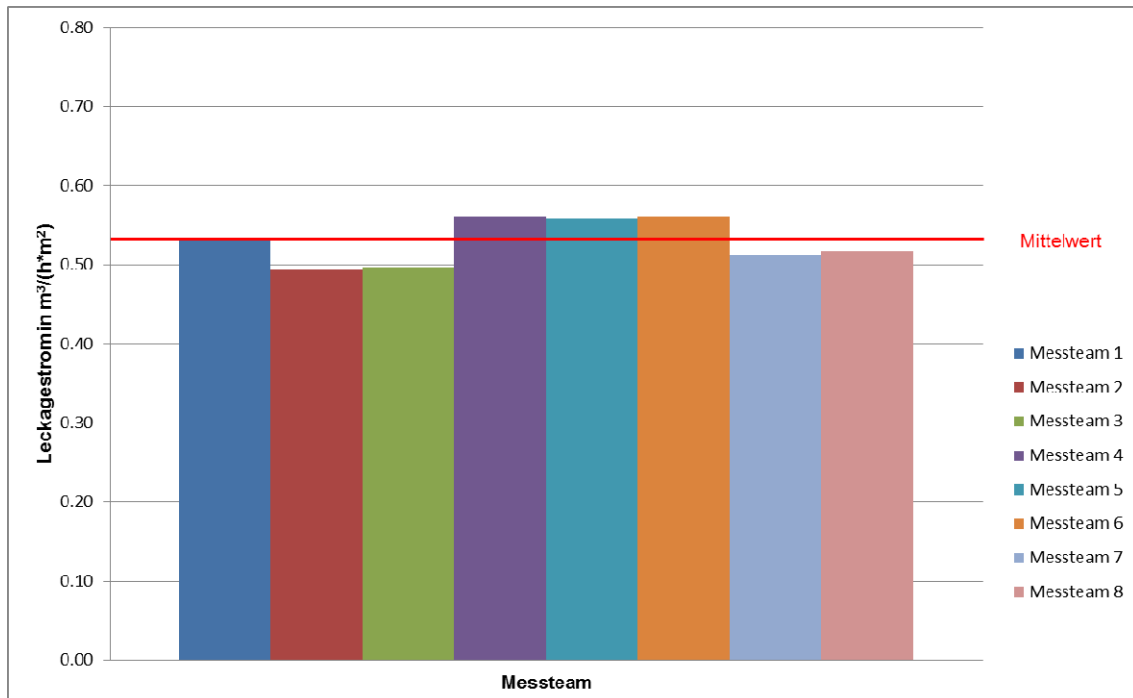


Abbildung 12: Ermittelte q_{50} -Werte der Messungen 1 bis 8 als Mittelwert aus Unter- und Überdruck in $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$

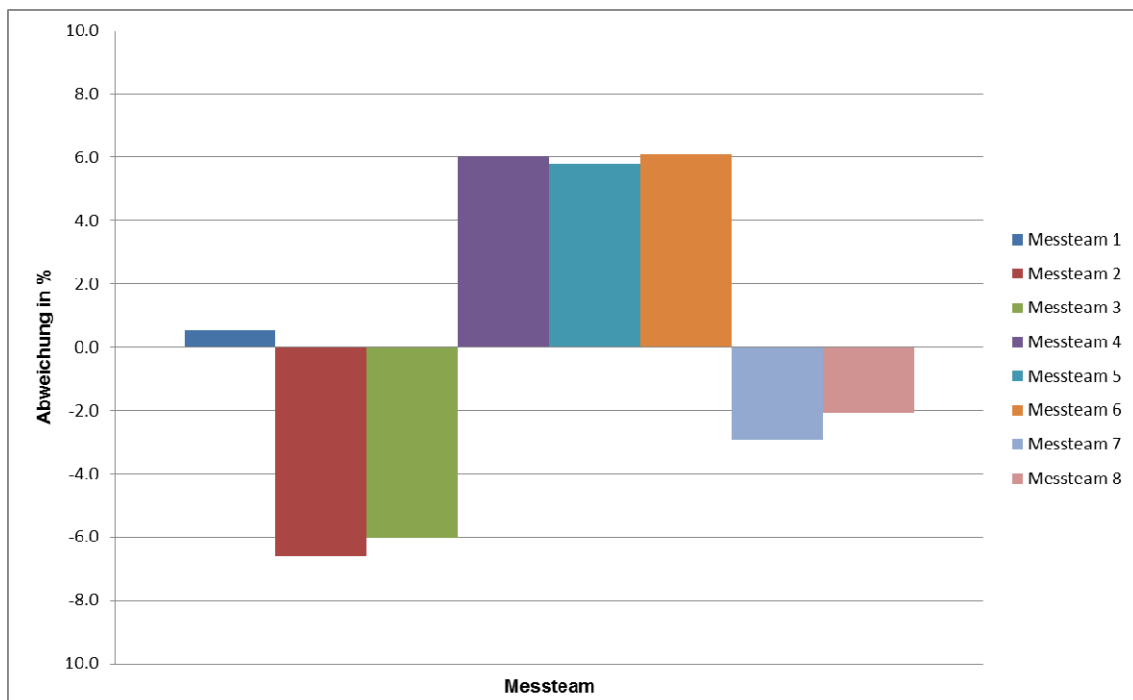


Abbildung 13: Abweichungen der Kennwerte q_{50} der einzelnen Messteams in % vom Mittelwert

$n_{50,st}$ -Werte:

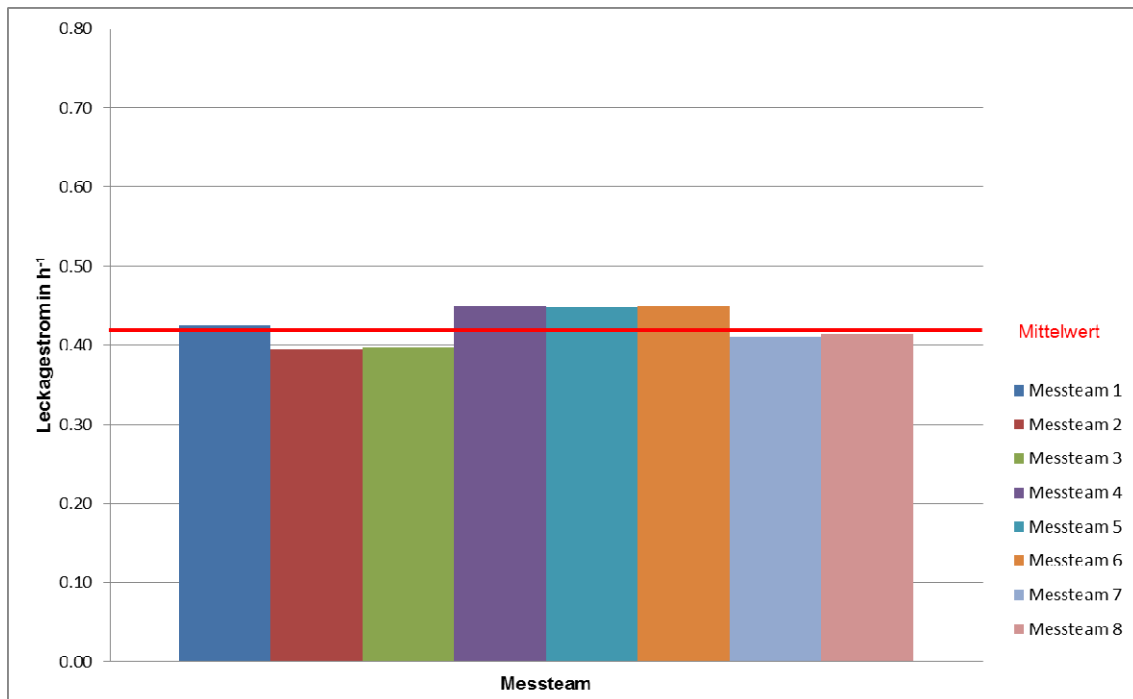


Abbildung 14: Ermittelte $n_{50,st}$ -Werte der Messungen 1 bis 8 als Mittelwert aus Unter- und Überdruck in h^{-1}

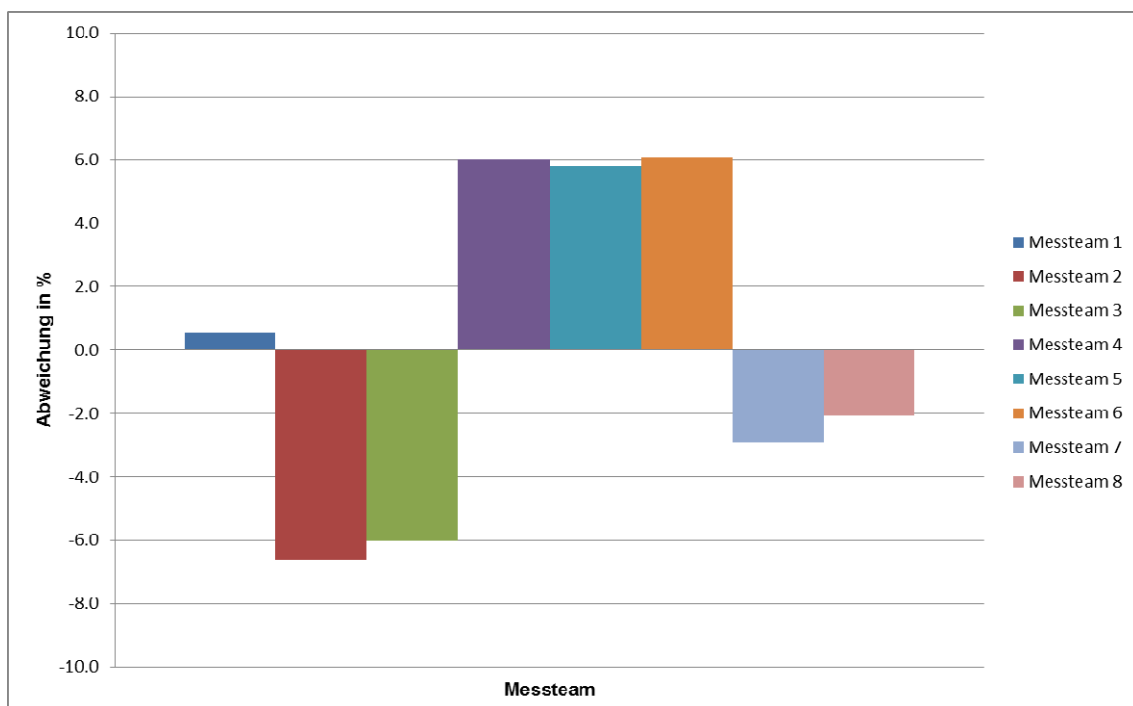


Abbildung 15: Abweichungen der Kennwerte $n_{50,st}$ der einzelnen Messteams in % vom Mittelwert

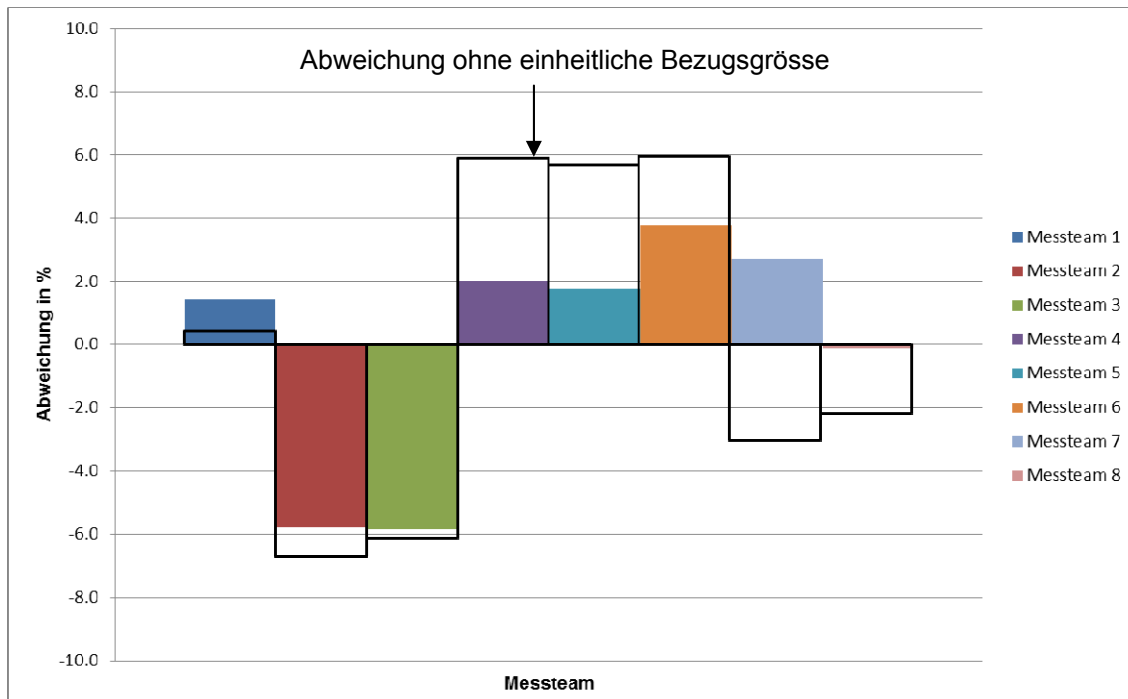


Abbildung 16: Abweichungen der Kennwerte q_{50} und $n_{50, \text{st}}$ der einzelnen Messteams in % bezogen auf die mittlere Hüllfläche von 1603 m^2

Fazit:

Das Resultat zeigt, dass die Abweichungen der hüllflächenbezogenen Volumenströme beim durchgeführten Ringversuch in einem Bereich von $\pm 7\%$ liegen. Dies liegt in einem üblichen Rahmen.

Eine Aussage zur Geräteabhängigkeit kann nicht gemacht werden, da nur eine Messung mit dem Gerät Blowtest 3000 durchgeführt wurde. Alle übrigen wurden mit dem Gerät Minneapolis BlowerDoor ausgeführt.

Im Jahre 2010 wurden in Deutschland [14] und Tschechien [15] ebenfalls Ringversuche durchgeführt. Bei diesen Versuchen lagen bei zwei Dritteln der Teilnehmenden die Abweichungen der Volumenströme ebenfalls im Bereich von $\pm 7\%$.

Ergebnisse der Leckageortung:

Auszug aus der RILUMI [1]:

Die Bestimmung der Luftwechselrate ist eine quantitative Messung. Das Messresultat sagt aber nicht, wo denn die noch verbleibenden Leckstellen sind. Diese Frage kann mit der qualitativen Lecksuche beantwortet werden. Bei Problem- und Schadenfällen ist die Lecksuche meist zwingend, da nur so die Ursache gefunden werden kann.

Bei jeder Messung ist eine „kleine“ Lecksuche als **vorausgehende Prüfung** zwingend vorgeschrieben. (vgl. Kap. 5 der Messrichtlinie)

Wird vom Auftraggeber zusätzlich eine – nicht vorgeschriebene, aber empfohlene – Lecksuche mit Dokumentation der Leckstellen gefordert, so gilt dafür:

- Referenzdruck: 50 Pascal
- Lecksuche bei Unterdruck

Damit wird gewährleistet, dass bei der Visualisierung/Messung der Leckstellen stets die gleichen Ausgangsbedingungen herrschen. Je nach Situation werden so quantitative Leckagenvergleiche möglich.

Leckageortung im Kindergarten Hagen, bei 50 Pa Unterdruck:

Alle Teams führten vor oder nach den Messungen eine Lecksuche bei 50 Pascal Unterdruck durch, um so die Lage der grössten Leckstellen ausfindig machen zu können. Diese Lecksuche wurde je nach Möglichkeiten ausgeführt mit:

- Thermografie (war nicht bei allen möglich, schon wegen der Temperaturdifferenzen)
- Rauchstäbchen / Nebelgenerator
- Strömungsprüfröhrchen
- von Hand
- mit Anemometer
- durch Hören (Pfeifgeräusche)
- mit Wollfäden

Die nachstehende Auflistung zeigt eine Zusammenfassung der gefundenen Leckstellen, bzw. einen Kommentar zu Bauteilen. Bei einigen ist bekannt, dass sie neuralgische Punkte bezüglich Luftleckagen sind.

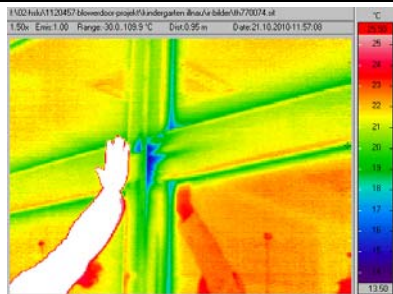
Zone-Nr.	Raum und Bauteil	Foto
1a	Klassenraum Süd: Hebeschiebetür: genügend dicht (bezüglich heute technisch machbarem) = gut!	
1b	Fenster: Rahmenstösse beim Kämpfer: stark undicht	 
1c	Südecke: undicht	
1d	Oblichter: genügend dicht, OK	
1e	Steckdosen: dicht, OK	

Tabelle 2: Leckagen der Zone 1 mit Kommentaren, IR-Bild und Fotos

2a	Gruppenraum C: Fenstertür: Spürbare Leckstelle: unten rechts bei der Sockelleiste Restliche Fensterfugen: OK	
2b	Steckdosen: OK	

Tabelle 3: Leckagen der Zone 2 mit Kommentaren und Foto

3a	WC / Putzraum (Südost): Keine relevanten Leckagen festgestellt	
----	--	--

Tabelle 4: Leckagen der Zone 3 mit Kommentar

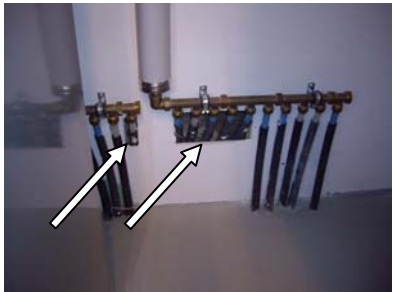
4a	Technik-Raum: Warmwasserverteilung Westseite: Undicht Luftstrom aus Plattendurchbrüchen.	
4b	Elektrodurchführungen an der Decke: OK	
4c	Verteiler Bodenheizung: OK	

Tabelle 5: Leckagen der Zone 4 mit Kommentaren und Fotos

5a	Gruppenraum B: dicht: OK	
----	------------------------------------	--

Tabelle 6: Leckagen der Zone 5 mit Kommentar

6a	Klassenraum Mitte: Hebeschiebetür: genügend dicht (bezüglich heute technisch machbarem) einige Leckstellen sind jedoch von Hand spürbar	
6b	Fenster: (Analog 1b) Rahmenstösse beim Kämpfer: stark undicht Glasleisten zu Scheiben: ebenfalls feine Leckströme spürbar. Generell: Rahmenstösse der Fenster: mässig undicht.	
6c	Steckdosen: dicht, OK	

Tabelle 7: Leckagen der Zone 6 mit Kommentaren

7	Küchenabluft: Kein Thema, da Umluft!	
---	--	--

Tabelle 8: Leckagen der Zone 7 mit Kommentar

8	Garderobe B: Fenster und Oblichter: OK	
---	--	--

Tabelle 9: Leckagen der Zone 8 mit Kommentar

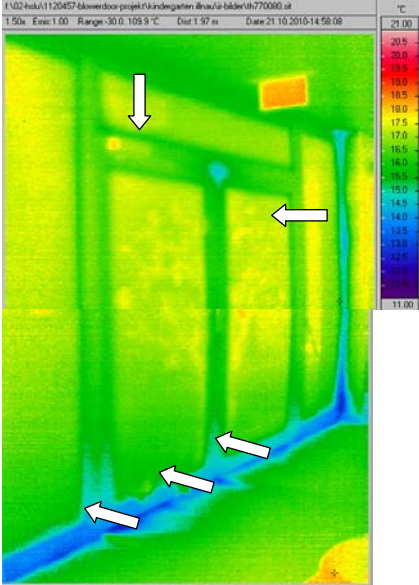
9	Haupteingang Nordost: Mässig bis stark undicht an der Bodenanschlussfuge. Fugen von Eingangstüren werden erfahrungsgemäss schneller undicht als Fensterfugen. Grund: Präzision (Justierung) der Türschliessung lässt schnell nach und die Abnutzung der Fugen ist hoch.	 
---	--	--

Tabelle 10: Leckagen der Zone 9 mit Kommentar, IR-Bild und Foto

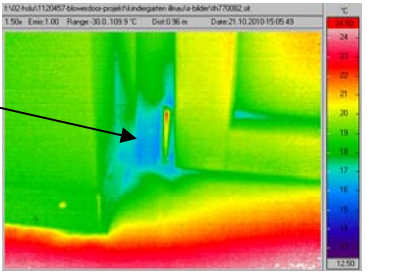
10	Gruppenraum A: Fenstertür unten links: Achtung! Trotz IR Anzeige keine relevante Leckstelle! Wahrscheinlich: Wärmebrücke	 
----	---	--

Tabelle 11: Leckagen der Zone 10 mit Kommentar, IR-Bild und Foto

11a	Klassenraum Nord: Hebeschiebetür: genügend dicht, aber innerhalb des Kindergartens die schlechteste.	
11b	Fenster: (Analog 1b) Rahmenstösse beim Kämpfer: stark undicht Generell: Rahmenstösse der Fenster: mässig undicht.	
11c	Oblichter und Steckdosen: OK	

Tabelle 12: Leckagen der Zone 11 mit Kommentaren

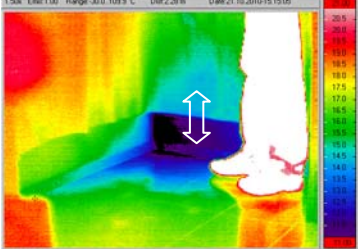
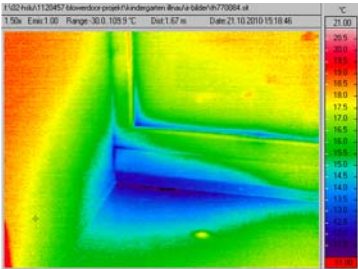
12a	Garderobe A: Nordecke: partiell starke Leckströme durch die Anschlussfuge zum Boden (Riss unter der Sokkelleiste). Grund, weshalb es nach oben sichtbar ist: Es stand ein Möbelstück in der Ecke welches den Kaltluftstrom an die Wand umleitete.		
12b	Gleiche Ursache links davon, beim Fenster Nordwest. Hier stand ein Kindersofa davor.		

Tabelle 13: Leckagen der Zone 12 mit Kommentaren, IR-Bilder und Fotos

2.3. Checkliste für Bauausführende

Die aufgrund von Anregungen durch Fachexperten erarbeitete Checkliste (siehe Anhang 6.2) dient den Bauausführenden dazu vor der ersten Luftdichtheitsmessung die Luftdichtigkeitsebene anhand diverser, für die Messung relevanter Punkte zu kontrollieren.

Bei der Literaturrecherche ist uns die Publikation von W. Rein mit dem Titel "Luftdichtheit der Gebäudehülle, Qualitätssicherung am Bau mittels BlowerDoor-Messung, Arbeitshilfe für Bauleiter" [9] aufgefallen. In dieser sind praktische Anwendungen für Bauausführende beschrieben.

2.4. Workshop

Am 28. Juni 2011 wurde in Luzern durch den Thermografie Verband Schweiz (theCH), Gruppe BlowerDoor, und die Hochschule Luzern – Technik & Architektur im Rahmen des BFE-Projektes ein Workshop zu den Themen in den nachfolgenden Abschnitten durchgeführt.

Daran haben folgende Luftdichtheitsexperten teilgenommen:

Tanner Christoph (Vorsitz)	Baucheck-Tanner; Leiter theCH Blower-Door-Gruppe
Notter Gregor	HSLU; Zertifizierungsstelle Minergie-P
Bossard Beda	HSLU; Zertifizierungsstelle Minergie-P
Mühlebach Hans	QC-Expert AG; Bauschadenexperte
Fäh Hansjörg	Clicon AG; Blower-Door-Messexperte
Schöni Marco	Xella Porenbeton Schweiz AG; Blower-Door-Messexperte
Isabaeva Kenjagul	Gartenmann Engineering AG; Blower-Door-Messexperte
Truffer Philipp	Truffer Ingenieurberatung AG; Blower-Door-Messexperte
Schnieper Bärli	Ultraschall Messtechnik; Messtechnikexperte

Folgende Themen wurden diskutiert:

- Überblick zu in der Schweiz gemessenen Grossbauten
- Diskussion zur Thematik Grossbauten / q_{50} versus n_{50} in Deutschland
- Besprechung der Fragestellungen zu Wohnbauten / Aufgaben 1 – 9
- Zwei Konzepte von Grossbauten
- Besprechung der Fragestellungen zu Nicht-Wohnbauten / Aufgaben 10 - 12
- Fassadenmessungen und Bezüge zu Bauteilnormen bzw. Minergie-Modulvorgaben
- Vorschläge für Messungen, u.a. auf Grund der diskutierten Beispiele

Fragestellungen / Aufgaben:

Den Teilnehmern wurden vorgängig 9 Fragen zu Messergebnissen bei Wohnbauten und 3 Fragen zu Grossbauten gestellt.

Die Auswertung der Antworten zu den Wohnbauten zeigt, dass unabhängig nach Frage oder Teilnehmer die Aufgabenstellung unterschiedlich interpretiert und beantwortet wurden.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ja	nein	nein	nein	nein	ja aber...	nein	nein	nein
2	ja	nein	ja	nein	ja	ja aber...	ja	ja	ja
3	ja	ja aber...	ja aber...	nein	ja	ja	nein	ja	nein
4	ja	nein	ja	ja	nein	ja	ja, aber...	nein	nein
5	ja	nein	ja	nein	nein	ja aber...	nein	ja	nein
6	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein
7	ja	nein	ja	nein	nein	ja aber...	ja	ja	nein
8	nein	ja	nein	nein	---	nein	ja, aber...	ja, aber...	nein
9	ja	nein	nein	ja, aber...	nein	ja aber...	ja, aber...	---	nein

Abbildung 17: Matrix zur Auswertung der Antworten der Teilnehmer (Wohnbauten).

Wohnbauten:

Nach längeren Diskussionen zu den einzelnen Fragestellungen konnte ein Konsens gefunden werden. Dieser ist in der nachfolgenden Grafik ersichtlich.

Fallbeispiele / RILUMI - Wohnbauten												
Nr.	Fragestellung	q50-Wert	Experte									Konsens
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Beide Messkurven haben nur je 3 Punkte (bei Unter- und Überdruck: 20, 40, 60 Pa) Mittelwert beider Messreihen	0.70	ja	nein	nein	nein	nein	ja aber...	nein	nein	nein	nein
2	Eine Messreihe hat eine Korrelation $r = 0.968$ (10 Messpunkte), wobei vor allem die untersten 4 Messpunkte (bis 40 Pa und bis 100 m3/h) streuen. Messgerät: Blowtest 3000 Mittelwert beider Messreihen	0.70	ja	nein	ja	nein	ja	ja aber...	ja	ja	ja	ja aber...
3	Eine Messung hat in der Überdruckreihe einen n Wert = 1.1 (Messkurve von 20 bis 80 Pa) Unterdruck: alles OK mit q50 -Wert 0.35 Mittelwert beider Messreihen	Üb = 0.65 Un = 0.35 0.5	ja	ja aber...	ja aber...	nein	ja	ja	nein	ja	nein	nein aber...
4	Korrekt deklarierte Messung, Mittelwert beider Messreihen	0.81	ja	nein	ja	ja	nein	ja	ja aber...	nein	nein	ja
5	Ein zu hohes Messresultat mit korrekter Unter- und Überdruckmesskurve liegt vor. Es wurden danach Leckabdichtungen im Dach vorgenommen. Die Nachmessung ergibt q50 0.63 aber: Es liegt nur eine Unterdruckmessung vor.	(0.90) 0.63	ja	nein	ja	nein	nein	ja aber...	nein	ja	nein	nein
6	Es liegt eine gut dokumentierte 1-Punkt Orientierungsmessung bei 50 Pa Unter- & Überdruck vor. Mittelwert beider Messpunkte	0.30	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein
7	Korrekt deklarierte Messung, Unterdruck: $r = 0.982$, $n = 0.68$, q50 -Wert 0.69 Überdruck: $r = 0.971$, $n = 0.95$, q50 -Wert 0.87 Wind: Beaufort 3 mit ca. 6 m/s Mittelwert beider Messreihen	0.78	ja	nein	ja	nein	nein	ja aber...	ja	ja	nein	ja
8	Gute Messung einer MFH-Wohnung, DG, Holzbau. Es fehlt: Info über den Zustand der Nachbarwohnungen unten und nebenan (Fenster offen oder zu ?). Mittelwert beider Messreihen	0.70	nein	ja	nein	nein	---	nein	ja aber...	ja aber...	nein	nein
9	EFH mit beheiztem und belüftetem Hobby- und Technikraum im Keller (in thermischer Geb. Hülle) Messungen: Mittelwert beider Messreihen, mit Keller (Hobby) Mittelwert beider Messreihen, ohne Keller	0.90 0.70	ja	nein	nein	ja aber...	nein	ja aber...	ja aber...	---	nein	ja aber... nein aber...

Abbildung 18: Einzelantworten der Teilnehmer und Konsens (nach Diskussionen) bei den Wohnbauten.

Nicht-Wohnbauten:

Anhand von konkreten Objekten, welche sich zum Zeitpunkt des Workshops im Bau befanden, wurden Fragestellungen zur Zonierung, zum Messkonzept und zu Teilmessungen gestellt. Die entsprechenden Antworten und der gefundene Konsens sind in der nachfolgenden Grafik ersichtlich.

Fallbeispiele / RILUMI - Nicht-Wohnbauten												
Nr.	Fragestellung	q50-Wert	Experte									Konsens
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	Gesamtmessung eines Geschäftshauses, VT = 20'000 m3, AE = 6'500 m2 Diverse Nutzun-gen, Läden, Büros, Lager. Kein Messkonzept vorhanden. Maximaler Messdruck: bis 30 Pa, 5 Messpunkte Mittelwerte der Mess. (Umrechnung auf 50 Pa)	0.35	nein	nein	nein aber...	nein	---	ja aber...	nein	---	nein	nein
11	Gesamtmessung eines Produktionsbetriebes (Das Konzept sieht nur 1 Gesamtmessung vor). Gebäude: VT = 40'000 m3, AE = 11'000 m2 Für die Messung wurden alle kritischen Bauteile (1 Lift, 4 Rolllotre, eine Drehtür) abgedichtet. Maximaler Messdruck: bis 30 Pa, 5 Messpunkte Mittelwerte der Mess. (Umrechnung auf 50 Pa)	0.72	ja	nein / ja	ja	nein	---	nein	nein	---	ja	ja
12	Grossbau, Messkonzept vorhanden. Es wird mittels einer rückwärtigen Hilfskonstruktion (verklebte OSB-Platten) ein Raum geschaffen um einen Fassadenbereich (mit 90 % Fenster) auszumessen. Messwert nur im Bezug auf die Fassade [m2] Messwert im Bezug auf die Fassade plus Holzwand [m2] Messwert im Bezug auf AE des „provisorischen“ Raumes [m2] (ein Leckstrom durch die Hilfskonstruktion kann nicht ermittelt werden, detektierbare Lecks: keine).	1.2 0.6 0.45	ja	ja	ja	ja	nein	nein aber...	---	ja	ja aber...	ja

Abbildung 19: Einzelantworten der Teilnehmer und Konsens (nach Diskussion) bei den Nicht-Wohnbauten.

Diskussion zur Thematik Grossbauten / q_{50} versus n_{50} in Deutschland:

In Deutschland laufen zur Zeit Diskussionen zur Thematik der Grossbauten und zu einem Wechsel der Bezugsgrössen. Anstelle des volumenbezogenen Leakagestroms n_{50} soll auf den hüllflächenbezogenen Leakagestrom q_{50} analog Minergie gewechselt werden.

Folgende Empfehlungen für Gebäude grösser 4000 m³ stehen zur Diskussion [10]:

- Mindeststandard: $q_{50} \leq 3,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Verbesserter Standard: $q_{50} \leq 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Optimaler Standard: $q_{50} \leq 0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

Bezogen auf die Anforderungen bei Minergie-A- und Minergie-P-Bauten; $q_{50} \leq 0,75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$; bedeutet dies, dass der verbesserte Standard doppelt so hoch und der optimale Standard um 20% tiefer liegen.

Die übrigen diskutierten Themen und deren Antworten sind in die nachfolgenden Abschnitte eingeflossen.

2.5. Umgang mit „kritischen“ Bauteilen

Der Begriff „kritische Bauteile“ wird im Rahmen der Thematik Luftdichtigkeit erst seit ca. 1 Jahr verwendet. Er bezeichnet Bauteile, bei denen tendenziell eine hohe Luftdurchlässigkeit zu erwarten ist. Solche Bauteile sind normalerweise nur bei Nicht-Wohnbauten im Einsatz und es ist in Diskussion, wie sie bei BlowerDoor Tests zu behandeln sind. So wird es aus heutiger Sicht vermehrt Fälle geben, bei denen eine Werkhalle die Minergie-P Grenzwerte erfüllt, wenn z.B. die Rolltore für die Anlieferung abgedichtet sind. Ohne deren Abdichtung besteht aber kaum eine Chance, den Grenzwert einzuhalten und damit das Minergie-P Label zu bekommen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Norm-Vorgaben der Einzelbauteile genauer anzusehen und in die Beurteilungen mit einzubeziehen.

Zu den „kritischen Bauteilen“ gehören z.B.:

- Doppellifttüren (in Aussenwänden)
- Eingänge für Publikumsverkehr (Schiebetüren, Drehtüren etc.)
- RWA-Flügel / Fenster
- Leitungs- und Versorgungsschächte
- Lüftungsanlagen, WRG Geräte etc.

Prüfverfahren und Klassifizierung:

SN EN-Norm Nr.	SIA Nr.	Jahr	Titel
12153	329.002	2000	Vorhangfassaden – Luftdurchlässigkeit - Prüfverfahren
12152	329.001	2002	Vorhangfassaden – Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung
1026	331.055	2000	Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit - Prüfverfahren
12207	331.301	1999	Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung
12427	343.104	2000	Tore – Luftdurchlässigkeit - Prüfverfahren
12426	343.103	2000	Tore – Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung
12835	342.008	2000	Luftdichte Abschlüsse – Luftdurchlässigkeit - Prüfverfahren
13125	342.011	2001	Luftdichte Abschlüsse – Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung

Tabelle 14: Zusammenstellung von Prüf- und Klassierungsnormen luftdichter Bauteile

Die obgenannten Normen schreiben Prüfverfahren im Labor vor. Die Einbausituation am Bau wird dabei nicht berücksichtigt. Deshalb können nur bedingt Rückschlüsse auf die Auswirkungen im eingebauten Zustand gezogen werden.

Ausgemessene kritische Bauteile

Im Rahmen der neuen Projektziele wurden bei allen nachfolgenden Bauteilen die Messungen wie folgt durchgeführt:

- Messungen im Unter- und Überdruck
- 1. Messung mit abgeklebtem kritischem Bauteil. Hiermit wurde die Dichtheit der Hüllflächen ohne kritisches Bauteil ermittelt.
- 2. Messung mit kritischem Bauteil in eingebautem Zustand.
- Aus der Differenz der ermittelten Volumenströme wurde der Verlust pro Quadratmeter kritischer Bauteilfläche berechnet.

Schiebetüren:

Objekt				Unterdruck				Überdruck			
Nr.	V_T	A_E	$A_E \text{ kB}$	V_1	V_2	ΔV	$q_{50} \text{ kB}$	V_1	V_2	ΔV	$q_{50} \text{ kB}$
	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /(m ² *h)]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /(m ² *h)]
1	32	63	3.12	3'700	3'400	3'00	96	3'000	2'300	700	224
2	62	94	4.21	2'200	2'140	60	14	2'030	1'960	70	17
3	30	49	5.40	878	391	487	90	902	417	485	90

Tabelle 15: Auswertung Schiebetüren

Legende:

- V_T Innenvolumen des Messraums
- A_E Hüllfläche des Messraums
- $A_E \text{ kB}$ Fläche des kritischen Bauteils
- V_1 Volumenstrom ohne Abklebung des kritischen Bauteils
- V_2 Volumenstrom mit Abklebung des kritischen Bauteils
- ΔV Differenz der Volumenströme V_1 und V_2
- $q_{50} \text{ kB}$ Leckagestrom über das kritische Bauteil



Abbildung 20: Ausgemessene Schiebetüre

Karusselltüren:

Objekt				Unterdruck				Überdruck			
Nr.	V_T	A_E	$A_E \text{ kB}$	V_1	V_2	ΔV	$q_{50 \text{ kB}}$	V_1	V_2	ΔV	$q_{50 \text{ kB}}$
	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /(m ² *h)]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /(m ² *h)]
1	19	53	6.21	430	150	280	45	410	80	330	53
2	33	61	5.10	2'343	1'120	1'223	240	-	-	-	-

Tabelle 16: Auswertung Karusselltüren

Legende:

- V_T Innenvolumen des Messraums
- A_E Hüllfläche des Messraums
- $A_E \text{ kB}$ Fläche des kritischen Bauteils
- V_1 Volumenstrom ohne Abklebung des kritischen Bauteils
- V_2 Volumenstrom mit Abklebung des kritischen Bauteils
- ΔV Differenz der Volumenströme V_1 und V_2
- $q_{50 \text{ kB}}$ Leckagestrom über das kritische Bauteil



Abbildung 21: Ausgemessene Karusselltüre

Rolltore:

Objekt				Unterdruck				Überdruck			
Nr.	V_T	A_E	$A_E \text{ kB}$	V_1	V_2	ΔV	$q_{50} \text{ kB}$	V_1	V_2	ΔV	$q_{50} \text{ kB}$
	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /(m ² *h)]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /(m ² *h)]
1	2'334	1'171	33*	3'612	2'480	1'132	34	3'232	2'399	833	25
2	19'269	6'460	67**			1'100	16				
3	24'223	6'258	55***	2'558	1'928	630	11				

Tabelle 17: Auswertung Rolltore

* Zwei Tore mit 17.0 m² und 16.0 m²; Total 33.0 m²

** Drei Tore mit 24.6 m², 21.7 m² und 20.7 m²; Total 67.0 m²

*** Je zwei Rolltore mit 12.8 m² und zwei mit 14.7 m²; Total 55.0 m²

Legende:

V_T Innenvolumen des Messraums

A_E Hüllfläche des Messraums

$A_E \text{ kB}$ Fläche des kritischen Bauteils

V_1 Volumenstrom ohne Abklebung des kritischen Bauteils

V_2 Volumenstrom mit Abklebung des kritischen Bauteils

ΔV Differenz der Volumenströme V_1 und V_2

$q_{50} \text{ kB}$ Leckagestrom über das kritische Bauteil



Abbildung 22: Ausgemessenes Rolltor

Elektrische Rauchabzugklappen im Liftschachtkopf:

Objekt				Unterdruck				Überdruck			
Nr.	V_T	A_E	$A_E \text{ kB}$	V_1	V_2	ΔV	$q_{50 \text{ kB}}$	V_1	V_2	ΔV	$q_{50 \text{ kB}}$
	$[\text{m}^3]$	$[\text{m}^2]$	$[\text{m}^2]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$
1	4'535	1'777	0.54	1'224	1'087	137	254	1'337	1'222	115	213

Tabelle 18: Auswertung elektrische RWA-Klappen im Liftschachtkopf

Legende:

- V_T Innenvolumen des Messraums
- A_E Hüllfläche des Messraums
- $A_E \text{ kB}$ Fläche des kritischen Bauteils
- V_1 Volumenstrom ohne Abklebung des kritischen Bauteils
- V_2 Volumenstrom mit Abklebung des kritischen Bauteils
- ΔV Differenz der Volumenströme V_1 und V_2
- $q_{50 \text{ kB}}$ Leckagestrom über das kritische Bauteil



Abbildung 23: Ausgemessene Rauchabzugklappe

Normatives seitens Minergie zu Fenster und Türen:

Für die Minergie-Module „Fenster und Fenstertüren“ werden ebenfalls Anforderungen gestellt welche einer Typenprüfung im Labor entsprechen. Folgende Anforderungen sind definiert:

Bauteil	MINERGIE Modul-Vorgabe bezüglich Luftdichtheit
MINERGIE® - Fenster	gem. Norm SN EN 12207 min. Klasse 3
MINERGIE® - Dachflächenfenster	---
MINERGIE® - Hebeschiebetüren und Schiebetüren	gem. Norm SN EN 12207 min. Klasse 4

Tabelle 19: Anforderungen an Minergie-Modul Fenster und Fenstertüren

Bauteil	MINERGIE-P Modul-Vorgabe bezüglich Luftdichtheit
MINERGIE®-P Fenster	gem. Norm SN EN 12207 min. Klasse 4
MINERGIE®-P Dachflächenfenster	---
MINERGIE®-P Hebeschiebetüren und Schiebetüren	---

Tabelle 20: Anforderung an Minergie-P-Modul Fenster

Klassifizierung von Fenstern und Türen nach SN EN 12207 :

Klasse	Referenzluftdurchlässigkeit bei 50 Pa (m ³ /hm ²)
1	31.5
2	17.0
3	5.7
4	1.9

Tabelle 21: Anforderungen Tore nach EN 12207

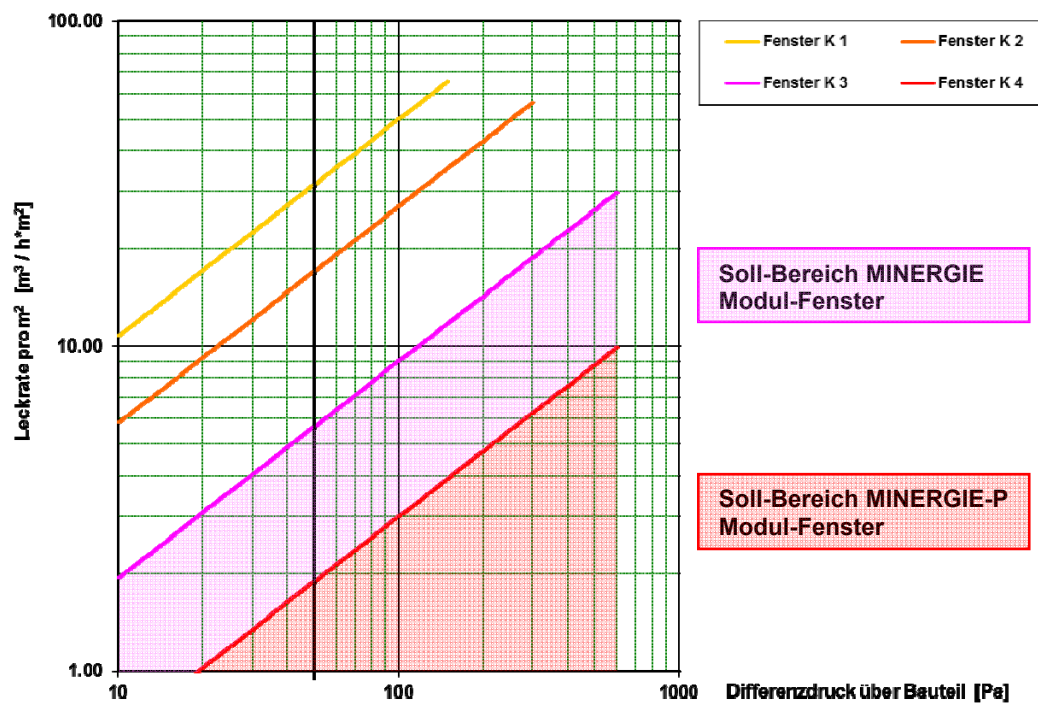


Abbildung 24: Graphische Darstellung der Anforderungen nach SN EN 12207

Tore:

Die EN 12426 gibt Klassierungen und Grenzwerte für Tore an, die für die vorliegende Studie von Interesse sind:

Klasse	Grenzwert bei 50 Pa
0	-
1	24.0 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
2	12.0 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
3	6.0 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
4	3.0 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
5	1.5 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
6	

Tabelle 22: Anforderungen Tore nach EN 12426

In der EN 12427 wird das Prüfverfahren beschrieben, welche analog den Fenstern im Labor durchgeführt wird und eine Typenprüfung darstellt. Das Prüfverfahren ist also nicht im eingebauten Zustand am Bau anwendbar. Deshalb können nur bedingt Rückschlüsse auf die Auswirkungen im eingebauten Zustand gezogen werden.

SIA-Norm 343; Türen und Tore

Unter Punkt 2.15 werden die automatischen Türen und Tore aufgezählt. Dabei werden automatische Türen (z.B. Drehflügel-, Schiebe-, Karusselltüren) und automatische Tore (z.B. Rolltore, etc.) unterschieden.

Für die Klassifizierung der Luftdurchlässigkeit der automatischen Tore wird auf die SN EN Norm 12426 verwiesen. Bei den automatischen Türen auf die DIN-Normen 18650-1 und 18650-2 verwiesen. In diesen DIN-Normen werden keine Anforderungen bezüglich der Luftdichtheit definiert. Eine Umfrage bei drei Schweizer Herstellern von automatischen Torsystemen hat ergeben, dass darauf tendiert wird, dass die Anforderungen an die Luftdichtheit nach der SN EN Norm 12207, Klasse 2, definiert wird.

Fazit:

Die Messungen an den kritischen Bauteilen zeigen, dass die Luftdichtheit je nach Qualität des Bauteils und dessen Einbau sehr unterschiedlich sind.

Eine Schiebetüre erfüllt die Anforderungen an die Klasse 2 nach SN EN 12207. Die übrigen ausgemessenen Schieb- und Karusselltüren erfüllen die Anforderungen an die Luftdichtheit nach der SN EN Norm 12207 nicht.

Von den ausgemessenen Rolltoren erfüllen die Tore der Messung 1 die Klasse 0, diejenigen der Messung 2 die Klasse 1 und die Tore der Messung 3 die Klasse 2 nach SN EN 12426.

Bei allen Torsystemen bestehen Differenzen bezüglich der Luftdichtheit zwischen den verschiedenen Anbietern.

Zur Zeit dürfen für die Abnahmemessung nach Minergie-P die kritische Bauteile bei der Bestimmung des Leakagestroms $n_{50, \text{st}}$ provisorisch abgedichtet werden. Zusätzlich muss der Leakagestrom über das kritische Bauteil; die kritischen Bauteile; bestimmt und deklariert werden.

2.6. Handhabbares Messverfahren für grosse Gebäude

Überblick in der Schweiz gemessener Grossbauten

Anhand der untenstehenden Tabelle werden die Folgen aufgezeigt, wenn bei Grossbauten n_{50} statt q_{50} bestimmt wird: Durch den Volumenbezug (mit dem n_{50} -Wert) können Fassadenflächen von Grossbauten bis zu 8-mal undichter sein als bei einem vergleichbaren EFH, und werden so den Grenzwert immer noch erreichen.

Da die Passivhäuser (und auch DIN-Grenzwerte in Deutschland) auf dem n_{50} -Wert basieren, sind Bewertungen von grossen Gebäuden natürlich wenig sinnvoll. Diese Erkenntnis ist nicht neu und es gibt vermehrt Forderungen, dies auch in Deutschland zu ändern [P. Simons 10]

Volumen V_T [m ³]	Oberfläche A_E [m ²]	V_{50} Unterdruck [m ³ /h]	V_{50} Überdruck [m ³ /h]	q_{50} [m ³ /(m ² *h)]	n_{50} [h ⁻¹]
5'452	2'353	698	960	0.35	0.15
6'391	3'232	1'024	1'038	0.32	0.16
8'867	2'871	779	793	0.27	0.09
11'862	4'233	3'063	2'995	0.72	0.26
11'895	5'235	1'918	1'908	0.37	0.16
13'182	4'727	1'084	1'233	0.25	0.09
19'357	5'504	2'025	3'195	0.47	0.13
20'391	6'487	1'850	2'138	0.31	0.10
20'391	6'487	1'850	2'138	0.31	0.10
22'025	8'268	5'152	5'544	0.65	0.24
24'223	6'258	2'558	2'840	0.43	0.11
39'186	9'645	6'377	7'291	0.71	0.17
117'133	11'303	7'193	7'790	0.66	0.06
Sollwert Minergie-P				≤ 0.75	
Sollwert Passivhaus					≤ 0.6

Tabelle 23: Zusammenstellung Kennwerte grosser in der Schweiz gemessener Bauten

Mögliche Messverfahren für grosse Gebäude

Immer öfter werden Gebäude im Minergie-P Standard erstellt die sehr gross (Energiebezugsfläche grösser als 20'000 m²) und / oder komplex strukturiert sind. Bei solchen Gebäuden sind Messungen der ganzen Gebäudehülle und damit Resultate, die mit Wohngebäuden / EFH vergleichbar sind aus verschiedenen Gründen höchst problematisch bis unmöglich. Aus Grundsatzüberlegungen ist hier auch die Sinnfrage zu stellen, denn grosse Gebäude haben kaum in hoher Priorität ein Problem infolge von Lüftungswärmeverlusten.

Problematisch sind korrekte Messungen von Grossbauten u.a. darum, weil es viel Zeit dafür braucht. Zeit, in der das ganze Gebäude nicht betreten werden darf. Dies auch noch in der Endausbauphase, wo sowieso meist kritische Terminphasen zusammenlaufen.

Für eine solche Messung braucht es u.U. Tage für die Vorbereitung und evtl. mehrere Tage für die Messung. Die Norm EN 13829 [4] verlangt z.B. im Kap. 5.3.1 eine Kontrolle der gesamten Gebäudehülle im Differenzdruck-Zustand, was sehr aufwendig werden kann.

Die folgenden Varianten sind eine Zusammenstellung aus Erfahrungen und der Diskussion anlässlich des Workshops (siehe 2.4).

- **Variante 1 (wird aktuell bei zwei Objekten angewendet)**

Luftdurchlässigkeitsmessung an einer Musterfassade / am Mustergebäude

Luftdurchlässigkeitsmessungen an verschiedenen Fassadenbereichen in der Bauphase

Luftdurchlässigkeitsmessungen von Brandabschnitten

Luftdurchlässigkeitsmessungen von Nutzungszonen

Spezialmessungen wie :

- Thermografische Kontrollen
- Druckdifferenzmessungen im Winter
- evtl. Komfortmessungen

Offene Fragen:

- Welche Grenzwerte für Fassadenbereiche werden verlangt?
- Welche Bezugsgrößen werden definiert?
- Wieviel Prozent der luftdichtigkeitsrelevanten Gebäudehüllfläche muss gemessen werden?

- **Variante 2: Bauteilanforderungen**

Teilmessungen und Bezüge zu Bauteilnormen bzw. Minergie Modulvorgaben

Allerdings wäre das fallweise im Widerspruch zum Reglement mit den Modulvorgaben:

„Ein Gebäude braucht zum Erfüllen des Minergie- Standards für das Gesamtgebäude nicht zwingend mit Bauteilen (z.B. Fenster) ausgerüstet zu sein, die die Anforderungen an das MINERGIE®- Modul (z.B. Fenster) erfüllen“.

Offene Fragen:

- Welche Grenzwerte für Bauteile werden verlangt?

- **Variante 3: Projekt- und Baubegleitung**

Begleitung des Projektes durch einen erfahrenen Messpraktiker während der Planungs- und Ausführungsphase.

Offene Fragen:

- Sehr grosse Individualität!
- Definition des Umfangs der Begleitung!

- **Variante 4: Keine Messung mehr**

Bei grossen Gebäuden sollen keine Luftdichtheitsmessungen mehr durchgeführt werden.

Offene Fragen:

- Ab welcher Grösse des Gebäude?
- Ist es richtig, dass EFH und Wohnbauten prozentual viel mehr ausgeben müssen für die Qualitätsüberprüfung des Bauwerkes?
- Welche Gebäudekategorien müssen nicht mehr gemessen werden?

- **Variante 5: Messung freiwillig**

Die Luftdichtheitsmessungen können auf freiwilliger Basis durchgeführt werden um eine Qualitätskontrolle der Gebäudehülle zu erhalten. Alle Minergie-Standards wären somit in der Basisvariante reine „Planungslabels“.

Offene Fragen:

Wie soll das Label für Gebäude aussehen die eine Luftdichtheitsmessung ausführen und damit nachweisen, dass die Gebäudehülle praktisch luftundurchlässig ist?

- **Variante 6: Messung mit der hausinternen Lüftungsanlage**

Über die hausinterne Lüftungsanlage sollen die Volumenströme bei verschiedenen Druckdifferenzen bestimmt werden.

Offene Fragen:

Mit dieser Varianten können u.U. die Anforderungen nach der SN EN 13829 nicht eingehalten werden.

Auch „kritisch“ bezüglich dem Minergie Reglement „MINERGIE®-Modul Komfortlüftung“. Auszug: „Für die Volumenstrommessung sind nur Messgeräte einzusetzen, die für eine zuverlässige Messung kleiner Luftvolumenströme geeignet sind (z.B. Flowfinder). Für die Abnahme sind Luftvolumenstrommessungen mit Anemometern nicht zulässig“.

- **Variante 7: Kontrolle der Dichtigkeit der Lüftungsanlage und der Verteilungskanäle.**

Es liegen verschiedene Hinweise und Messresultate vor [7], die zeigen dass Kanalsysteme zum Teil erhebliche Leckstellen aufweisen. Belege von Abnahmemessungen nach den Normen [6b, 6c, 6d] liegen kaum je vor.

Fazit:

Auf Grund der bisherigen Erfahrungen bedarf es noch weiterer Diskussionen zwischen den Fachleuten, welche / welches Abnahmeverfahren im Sinne von MINERGIE-P und Minergie-A bei solchen Grossbauten sinnvoll ist. Es steht ausser Zweifel, dass eine Kontrolle, welcher Art auch immer, absolut notwendig ist. Als Erkenntnis aus der Diskussion anlässlich des Workshops ist die Variante 1 anzuwenden.

Es wäre wünschbar, analog der RILUMI [1] eine Richtlinie zu haben, die Messungen von Nicht-Wohngebäuden beschreibt.

Idealerweise sollte ein solches Dokument mit folgenden Interessengruppen besprochen und ausgearbeitet werden:

- Zertifizierungsstelle Minergie-P
- Verein Minergie
- Blower Door Gruppe des Thermografie Verbandes
- Kommission SIA 180
- Ausbildner im Bereich Blower Door Messungen

2.7. Bewertung der Sekundär-Messwerte

Der Begriff „Sekundär-Werte“ wird im Rahmen der Thematik Luftdichtigkeit erst seit ca. 1 Jahr verwendet. Er bezeichnet (Mess-) Werte, die nach der Vorgaben einer Norm einzuhalten sind, die aber selber keine Grenzwerte für die Beurteilung sind.

So beschreibt z.B. die Norm SN EN 13829 [4], dass die Messkurve min. 5 Messpunkte enthalten muss, und dass die Abweichung zwischen den Messpunkten nicht grösser als 10 Pascal sein darf. In der Praxis zeigt sich, dass solche Vorgaben oft nicht eingehalten werden, obwohl die Messungen durchaus nachvollziehbar sind und die Grenzwerte erfüllt werden. Es ist deshalb in Diskussion, wie mit all den verschiedenen - mehr oder weniger wichtigen - Vorgaben umzugehen ist.

Bei Prüfberichten der Luftdichtheitsmessung, die der Zertifizierungsstelle Minergie-P eingereicht wurden, zur Erlangung des definitiven Zertifikates wurde festgestellt, dass diese Sekundärwerte, wozu auch der „Strömungsexponent n “ und „Korrelationskoeffizient r “ gehören, oft ausserhalb der Sollwerte liegen.

Aufgrund der nachgenannten Punkte ist ersichtlich, dass zur Überprüfung und Qualitätssicherung der Messungen verschiedene technische Randbedingungen erfüllt werden müssen.

- **Strömungsexponent „ n “**

Der Strömungsexponent „ n “ beschreibt die Krümmung der Messkurve. Der Wert muss zwischen 0.5 (turbulente Strömung) und 1.0 (laminare Strömung) liegen. Stimmen diese Werte nicht, so ist eine Messung ohne Begründungen nicht nachvollziehbar. In der Regel liegt der Strömungsexponent zwischen 0.55 und 0.8 (siehe SIA-Norm 180 [6]).

Oft werden Berichte eingereicht bei welchen entweder bei der Unter- oder Überdruckmessung oder sogar bei beiden Messungen der Strömungsexponent unter- oder oberhalb der vorgenannten Grenzwerte liegen. Dies deutet darauf hin, dass sich während der Messung an der Luftdichtigkeitsebene Veränderungen ergeben haben. Dies können aufgerissene Abklebungen, Klappen, usw. sein.

- **Korrelationskoeffizient „ r “**

Der Korrelationskoeffizient „ r “ ist ein Mass dafür, wie gut die Messwerte auf der idealen, berechneten Messkurve liegen. Wenn alle Punkte im Streudiagramm exakt auf dieser Messkurve liegen, so ist $R = 1.00$.

Gemäss einschlägiger Literatur sollte der Korrelationskoeffizient „ r “ grösser als 0.98 bei Luftdichtheitsmessungen liegen. Tiefer liegende Werte zeigen, dass die Messpunkte zu grossen Schwankungen unterworfen sind. Mögliche Ursachen dafür können zu starker Wind, Veränderungen in der Abdichtung, etc. sein.

- **Gerätetypen und deren Einsatzbereich:**

		
Minneapolis BlowerDoor	Wöhler BC 21	Blowtest 3000
ca. 19 - 7'200 m ³	ca. 100 - 3'000 m ³	ca. 150 - 3'000 m ³
		
Infiltec	Blow-Tec ICodata	WINCON
ca. 71 - 9'265 m ³ neu ab 10 m ³	ca. 65 - 9'500 m ³	bis ca. 9'800 m ³ nicht für Volumenstrommessung! nur für Lecksuche mit Unterdruck

Tabelle 24: Zusammenstellung Messgerätetypen und Messbereich (Volumenstrom)

Quelle: Daten und Bilder sind Herstellerangaben aus dem Internet

Anhand der Gerätetypen und deren Einsatzbereiche ist ersichtlich, dass verschiedenen Luftdichtigkeits-Messanlagen bei sehr dichten Gebäuden (und das müssen MINERGIE-P Gebäude sein) nicht mehr innerhalb des kalibrierten Messbereiches arbeiten können.

Dies hat zur Folge, dass bei sehr tiefen Volumenströmen die Messwerte ungenau werden und damit auch die Messkurven unschöne oder zum Teil untaugliche Kennwerte haben (schlechte Korrelation, n Werte über 1.0 oder unter 0.5).

2.8. Vorschläge für die Anpassung der Richtlinie für Luftdichtheitsmessungen

Anpassungen aufgrund von Normen:

	EN 13829	Entwurf ISO 9972 (2006)	RILUMI 2007	Neuvorschläge
Strömungsexponent n	---	zw. 0.5 und 1.0 Ist auch in SIA 180	nach EN13829	RILUMI 2011
Korrelation r	---	> 0.98 (r^2 besser > 0.96)	nach EN13829	zw. 0.5 und 1.0
kleinster Messwert,	10 Pa oder 5 x Δp natürl.	10 Pa oder 5 x Δp natürl.	nach EN13829	> 0.98
grösster Messwert, min.	50 Pa (besser bis 100 Pa)	50 Pa (besser bis 100 Pa)	nach EN13829	Spannweite der Messreihe: min. 40 Pa. Der 50 Pa-Wert muss min. 5 Pa innerhalb der Messreihe liegen. 3)
grosse Gebäude (> 4000 m ³)	max. Druck 25 Pa ist zulässig !	max. Druck 25 Pa ist zulässig !	nach EN13829	↩
Abstand der Messpunkte	max. 10 Pa	max. 10 Pa	nach EN13829	max. 15 Pa (wegen ± vom Wind)
Anzahl Messpunkte	min. 5	min. 5	nach EN13829	min. 5, erwünscht sind 8
Unter- und Überdr.-Kennlinie	nicht zwingend	nicht zwingend	zwingend beide Messkurven	↩
natürliche Druckdifferenzen	Dauer Min. 30 Sek. Max. Abweichung: 5 Pa	Dauer Min. 30 Sek. Max. Abweichung: 5 Pa	nach EN13829	↩
Verfahren A Verfahren B Verfahren C	A = Geb. im Nutzungszustand B = Nur Gebäudehülle ---	A = Geb. im Nutzungszustand B = Nur Gebäudehülle C = A und spez. Abdichtungen	anzuwenden ist Verfahren B = Nur Gebäudehülle	↩
Wetterbedingungen: Messzonenhöhe x Temp. Diff.	max. 500 m-K	max. 250 m-K	nach EN13829	max. 250 m-K
Windstärke bei Messung	bis Beaufort 3 / max. 6 m/s	bis Beaufort 3 / max. 6 m/s	nach EN13829	↩
Zustand der Nachbarzonen	---	---	Fenster müssen offen sein	↩
Messunsicherheit	- für Messkurve auszuweisen - Gesamtunsicherheit: nein ! (informativ: mit Wind bis ± 40 %)	- für Messkurve auszuweisen - Gesamtunsicherheit: nein ! (informativ: mit Wind bis ± 20 %)	- max. Messunsicherheit ± 20 %	↩

3) 10 Pa ist oft schwierig zu messen! Deshalb Vorschlag für leicht gelockerte Definition. Auch im Hinblick auf die neuen Probleme mit Messungen in sehr grossen Gebäuden.

Tabelle 25: Vorschläge für die Anpassung der Richtlinie für Luftdichtheitsmessungen

Anpassungen aufgrund von Gerätetypen:

Um diesbezüglich nicht verschiedene Messgeräte vom Markt auszuschliessen, wird von MINERGIE vorübergehend folgender pragmatischer Ansatz festgelegt:

Liegt der Messwerte $n_{50, \text{st}}$ der Über- und / oder Unterdruckmessung unter 0.3 h^{-1} , so sind bei Messkurven mit Volumenströmen unter $100 \text{ m}^3/\text{h}$ die Anforderungen an den Strömungsexponenten n und an die Korrelation r nicht zwingend einzuhalten.

Zur Sicherheit wird dafür jedoch verlangt, dass eine 2. Messung (Unter- und Überdruck) durchgeführt wird. Diese soll mindestens eine halbe Stunde später stattfinden und ist im Bericht genauso wie die erste Messung zu deklarieren.

3. Schlussfolgerungen

Der Ringversuch hat gezeigt, dass bei kleineren Bauten die Abweichungen bei den Berechnungen und bei den Messungen in einem akzeptablen Rahmen liegen. Eine Aussage über den Einfluss der verwendeten Geräte kann nicht gemacht werden. Einzig eine Messung wurde mit dem Gerät Blowtest 3000 durchgeführt, die übrigen 7 Messungen mit Minneapolis BlowerDoor- Geräten.

Für Wohnbauten sind aus heutiger Sicht bei der Richtlinie für Luftdichtkeitsmessungen bei Minergie-, Minergie-P- und Minergie-A-Bauten (RILUMI) [1] nur kleinere Anpassungen vorzunehmen.

Bei Nichtwohnbauten sind sieben Varianten für mögliche Messverfahren erarbeitet worden. Bei allen Varianten sind noch offene Fragen welche vertiefter geklärt werden müssen, dies auch im Hinblick auf die sich im Moment in Überarbeitung befindlichen SIA-Norm 180 [6, 6a]. Hier sollen die Resultate der weiteren Abklärungen einfließen.

Eine ausgemessene Schiebetüre erfüllt die Anforderung der Klasse 2 nach der SN EN Norm 12207, die übrigen beiden liegen oberhalb des Klassifizierungsbereichs. Die ausgemessenen Rolll Tore wiesen einen mittleren flächenbezogenen Leakagestrom (Mittelwert aus Unter- und Überdruck) auf, der gegenüber der Anforderung für Klasse 2 der SN EN Norm 12426, um die Faktoren 1 bis 20 mal höher liegt.

Bei den Sekundärwerten „Strömungsexponent n “ und „Korrelationskoeffizient r “ müssen für eine von Minergie akzeptierte Messung die Vorgaben eingehalten werden. Bei Messgeräten bei welchen der unterste Messbereich des Volumenstroms über $100 \text{ m}^3/\text{h}$ liegt, kann bei deutlich tieferen gemessenen Volumenströmen eine Abweichung der Werte akzeptiert werden wenn der geforderte Grenzwert um mehr als die Hälfte ($n_{50,\text{st}} < 0.3 \text{ h}^{-1}$) unterschritten wird. Jedoch muss $\frac{1}{2}$ Stunde später nochmals eine Messung durchgeführt werden um die Sicherheit zu erlangen, dass die erste Messung nicht ungültig ist.

4. Literaturverweise

4.1. Minergie Dokumente

- [1] Richtlinie für Luftdurchlässigkeitsmessungen bei Minergie-A[®]-, MINERGIE-P[®] und MINERGIE[®]-Bauten, Verein Minergie; Stand März 2011
- [2] Anwendungshilfe MINERGIE-P, Verein Minergie; Stand März 2011
- [3] Reglement für Modul-Fenster, -Türen, Hebeschiebetüren, Verein Minergie; Stand 01.09.2011

4.2. Normen

- [4] SN EN 13829 (SIA 180.206): Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert); Stand November 2000
- [5] ISO 9972 „Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method (second edition, 2006)
- [6] Norm SIA 180, „Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau“ (1999)
- [6a] Norm SIA 180, „Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau“ (Vernehmlassung 2010)
- [6b] SN EN 14134, (SIA 382.202) 2004; „Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfung und Einbaukontrollen von Lüftungsanlagen von Wohnungen“
- [6c] SN EN 1507, (SIA 382.303) 2006; „Lüftung von Gebäuden - Rechteckige Luftleitungen aus Blech – Anforderungen an Festigkeit und Dichtheit“
- [6d] Merkblatt SIA 2023, „Lüftung in Wohnbauten“, gültig ab 1.6.2008
Weitere Bauteilnormen siehe Anhang A

4.3. Weitere Literatur

- [7] BFE-Projekt „Messung und Beurteilung der Luftdichtigkeit von Niedrigenergiehäusern“ (MEBLUN), Empa Bauphysik, Ch. Tanner, 2004
- [8] Thermografie Verband Schweiz, Homepage Information zu Blower-Door-Messungen <http://www.thech.ch/de/blowerdoor>, 2011
- [9] W. Rein: „Qualitätssicherung am Bau mittels BlowerDoor-Messung, Arbeitshilfe für Bauleiter“; undatiert
- [10] Referat „Bemessung zu fördernder Volumenströme bei großen Gebäuden – Diskussion der Bezugsgrößen“; Paul Simons; 6. Buildair-Symposium 6.5.2011 Berlin
- [11] Passivhaus-Institut „Was ist ein Passivhaus“ <http://www.passiv.de>
- [12] Der schweizerische Hauseigentümer „Luftdicht ist Pflicht“ Ch. Tanner, 2011
- [13] Beiblatt Fachverband Luftdichtigkeit im Bauwesen (FlüB); Ausgabe 3, April 2008
- [14] Referat „Ringversuche zu Luftdurchlässigkeitsmessungen vom Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V.“; Stefanie Rolfsmeier; 6. Buildair Symposium 6.5.2011 Berlin
- [15] Referat „Ringversuchsmessung tschechischer Anbieter von Luftdichtheitstests“; Jiri Novak; 6. Buildair Symposium 6.5.2011 Berlin

5. Anhänge

5.1. Anhang A

Da der Schlussentwurf des BFE-Projekts MEBLUN [7] nicht vollständig publiziert wurde wird hier die ergänzte Literaturliste vollständig wiedergegeben.

Publikationen

Nr.	Autor	wo publiziert	Datum	Titel	Seiten
1	Tanner Christoph	EMPA Bauphysik	1993 03	Die Messung von Luftundichtigkeiten in der Gebäudehülle	8
2	Steinemann Urs	NEFF Projekt 226 Phase 2	1994 12	Klassierung der schweizerischen Bausubstanz und Messwerte zur Luftdurchlässigkeit von MFH, Büro- und Verwaltungsgebäuden	47
3	Dorer Viktor	SIA Heft 50/1994	1994 12	Natürlicher Luftaustausch in Gebäuden: Wie planen, wie messen?	4
4	Borsch-Laaks Robert	ISBN 3-927846-68-6	1995 08	Luftdurchlässigkeit von Gebäuden Luftdurchlässigkeitsmessungen mit Blower Door in Niedrigenergiehäusern und anderen Gebäuden	221
5	Steinemann Urs	NEFF Projekt 226	1995 09	Untersuchungen zur Luftdurchlässigkeit von schweizerischen Bauten	24
6	Walter Wilfried Dorschky Sigrid	Energie- und Umweltzentrum am Deister (EUZ)	1995 09	Gute Luft... wenig lüften Luftdichtheit und Lüftung in Wohngebäuden	200
7	Büchli Roland	EMPA, Bauschäden	1995 10	Luftdichtigkeit kanadischer Wohnbauten	70
8	Gerd Hauser Geissler Achim	wksb Sonderausgabe	1995 12	Kenngrossen zur Beschreibung der Luftdichtheit von Gebäuden	5
9	Walther Wilfried	Bau + Energie + Umwelt GmbH	1996 03	Minneapolis Blower Door (Modell 3)	90
10	Walther Wilfried	Bau + Energie + Umwelt GmbH	2000 07	Minneapolis Blower Door (Modell 4)	105
11	Geissler Achim Hauser Gerd	UNI Kassel	1996 03	Untersuchung der Luftdichtheit von Holzhäusern AiF Forschungsvorhaben Nr. 9579	46
12	Geissler Achim Hauser Gerd	bauen mit Holz 7/96	1996 07	Luftdichtheit von Holzhäusern	7
13	Zeller Joachim, eböck	RWE Energie Aktiengesellschaft, Essen	1996 11	Luftdichtigkeit von Wohngebäuden Messung und Bewertung, Ausführungsdetails	67
14	Zeller Joachim, eböck	RWE Energie Aktiengesellschaft, Essen	1998 08	Luftdichtigkeit von Wohngebäuden Messung und Bewertung, Ausführungsdetails	67
15	Geissler Achim	nicht öffentlich	1997	Messvorschrift für Blower Door Messungen	24
16	Maas Anton Geissler Achim	sbz 1997/22	1997	Dicht ist Pflicht	5
17	Geissler Achim	UNI Kassel	1998	Messergebnisse zur Luftdichtheit von Gebäuden und theoretische Ermittlung der in der Praxis erreichbaren Messgenauigkeit.	118
18	Geissler Achim	VIP 98 VED-Verlag GmbH, Berlin	1998	Automatisierte Luftdichtheitsmessungen von Gebäuden	7
19	Geissler Achim	wksb 43 H42	1998	Reproduzierbarkeit von Luftdichtheitsmessung	9

Nr.	Autor	wo publiziert	Datum	Titel	Seiten
20	Richter Wolfgang Reichel Dirk	Gesundheits-Ingenieur H5	1998	Untersuchungen zur Luftdichtheit von Mehrfamilienhäusern in massiver Bauweise	3
21	Geissler Achim Hauser Gerd	UNI Kassel	1998 04	Reproduzierbarkeit von Messungen zur Luftdichtheit von Gebäuden AiF Forschungsvorhaben Nr. 10650	183
22	Ampack Team	Ampack Ausbildungsunterlagen	1999 09	"Grundlagen und Theorie" zu Dampfdiffusion, Luftdichtheit, Winddichtheit, Austrocknungskapazität	47
23	Geissler Achim	Tagungsband 4. EUZ Blower Door Symposium	1999 10	Genauigkeit von Luftdichtheitsmessungen	7
24	Architos	www.architos.ch/kleindok.pdf	2000	Baustandards der RENGGLI AG, Technische Dokumentation	11
25	Weier Hubert	Heizung Lüftung Haustechnik HLH H4	2000	Genauigkeit der Blower Door-Messung	6
26	Hall Monika	Bauphysik H6	2000	Anwendung der erweiterten Blower Door-Messmethoden	3
27	Geissler Achim	Bauphysik H5	2000'	Luftdichtheit	3
28	Tanner Christoph	Manuskript zu Vorlesung ETHZ	2000 01	Spezialfragen der Bauphysik Vorlesung WS 1999 / 2000 Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle Nachweise gemäss SIA 180	20
29	Keller Bruno	Manuskript zu Vorlesung ETHZ	2000 01	Spezialfragen der Bauphysik Vorlesung WS 1999 / 2000 Erfahrungen mit der neuen Aerosol-Messmethode	11
30	Hall Monika Geissler Achim Hauser Gerd	UNI Kassel	2000 04	Quantifizierung einzelner Leckagen und Leckwege bei Gebäuden in Holzbauart, Abschlussbericht AiF Forschungsvorhaben, Teil 1	80
31	Hall Monika Geissler Achim Hauser Gerd	UNI Kassel	2000 04	Quantifizierung einzelner Leckagen und Leckwege bei Gebäuden in Holzbauart, Abschlussbericht Teil 2 Handbuch zur Durchführung von Blower Door-Messungen	52
32	Geissler Achim Hauser Gerd	UNI Kassel	2000 05	Leckageortung an Gebäuden	103
33	Tanner Christoph	Der schweizerische Hauseigentümer	2000 10	Die luftdichte Gebäudehülle Teil 1	2
34a	Tanner Christoph	Der schweizerische Hauseigentümer	2000 11	Die luftdichte Gebäudehülle Teil 2	3
35	The Energy Conservatory Minneapolis	The Energy Conservatory	2000 11	Automated Performance Testing System (APT)	83
36a	The Energy Conservatory Minneapolis	The Energy Conservatory	2000 11	Automated Performance Testing System (APT)	11
37	Hall Monika Geissler Achim	wksb Heft 46	2000 12	Blower Door Messtechnik – Der Leckageverteilung auf der Spur	5

Nr.	Autor	wo publiziert	Datum	Titel	Seiten
38	Geissler Achim	Gesundheits-Ingenieur H1	2001	Auswertung von Messergebnissen zur Luftdichtheit von Gebäuden	7
39	Geissler Achim	Bauphysik H4	2001	Theoretische Ermittlung der in der Praxis erreichbaren Genauigkeit von Luftdichtigkeitsmessungen Teil 1 : Einführung, Grundlagen und Modellbildung	7
40	Geissler Achim	Bauphysik H5	2001	Theoretische Ermittlung der in der Praxis erreichbaren Genauigkeit von Luftdichtigkeitsmessungen Teil 2 : Ergebnisse und Zusammenfassung	7
41	-	Bauphysik H5	2001	27 Aachener Bausachverständigentage 2001	1
42	Tanner Christoph	Wohnen	2001 01	Luftdicht heisst nicht stickig	3
43	Amrhein S. Tanner Christoph		2001 11	Schlussbericht CEPHEUS Kapitel 9.3 Ergebnisse Luftdichtigkeitstests Kapitel 9.4 Ergebnisse Thermografie	4
44	Niedrig Energie Institut Dettmold (D)	www.nei-dt.de Forschungsministerium Nordrhein Westfalen	1998	Baupraxis Niedrigenergie-Häuser Kapitel 6 : Luftdichtheit Bericht über die Messwerte von 120 Wohneinheiten	34
45	Rosenthal Bernd	EUZ	2001 10	Blower Door Symposium des euz Blower Door und IR Thermografie für die Gebäude- diagnose	112
46	Bolender Torsten	EB Energie Effizientes Bauen	2001.11	Zertifizierter "Luftdichtheitsprüfer" ab März 2002	1
47	Sören Peper	Tagungsband der 6. Europäischen Passivhaustagung	2002.01	Referat: "Luftdichte Passivhäuser" Erfahrungen, Probleme, Lösungen und Dauerhaftigkeit	11
48	Hall Monika Köhnke E. U. Hauser Gerd	UNI Kassel Bericht F 2397 / FVU 46/97 Fraunhofer IRB Verlag	2001.03	Konstruktionskatalog und Empfehlungen zur Verbesserung der Luftdichtheit im Holzbau	73
49	Geissler Achim Bolender Torsten FLIB	BDB AIXtract (Bund Deutscher Baumeister)	2002.03	Luftdichtigkeit	4
50	Hall Monika Geissler Achim	Bauphysik H24	2002	Anforderungen an die Gebäudedichtheit und den Dichtheitsnachweis im Rahmen der EnEV	3
51	Rainer Bolle	Bauphysik H 4	2003	Leserzuschrift	1
52	Feist Wolfgang	Passiv Haus Institut	1999 10	Protokollband Nr. 17 Dimensionierung von Lüftungsanlagen in Passivhäusern	>50
53	Feist Wolfgang	Passiv Haus Institut	1999 12	Protokollband Nr. 18 Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern	116
54	Feist Wolfgang	Passiv Haus Institut	2001	Klimaneutrale Passivhaus-Reihenhaussiedlung Hannover-Kronsberg (CEPHEUS Projektinformation Nr. 18)	6

Nr.	Autor	wo publiziert	Datum	Titel	Seiten
55	Feist Wolfgang	Passiv Haus Institut	2001 03	Wie genau sind eigentlich Blower-Door Messungen bei Passivhäusern? (gleich wie Nr. 48!)	6
56	EMPA ZHW et.al	BFE	2002 06	Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung (ENABEL) (Projekt-Kommentar Marc: ausser Spesen nix gewesen...)	>100
57	Feist Wolfgang	Passiv Haus Institut	2000 01	Passivhaus Projektierungs Paket 99 Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser	ca. 80
58	Hässig Werner Basler & Hofmann	Internet www.bhz.ch/publikationen	2001 07	Gesundheitliche und ökologische Aspekte von Komfortlüftungen Schlussbericht zum 1. Arbeitsschritt	27
59	Hässig Werner Basler & Hofmann	Referat und Energiepraxisseminar 1/03	2003	Gesundheitliche Aspekte der Komfortlüftung (Folien aus Referat)	20
60	Specht Rüdiger	Diplomarbeit, FH Darmstadt	2002	Auslegung von Blower-Door Prüfeinrichtungen, Genauigkeit und Kalibrierung	130
61	Energie Schweiz MINERGIE	BBL Bern Nr. 805.282.1d	2003 07	Bau dir dein Luftschloss Besteller-Kit für Komfortlüftungen	20
62	Ch. Zürcher / Th. Frank	vdf Hochschulverlag ETHZ	1997	Bauphysik, Bau und Energie (Band 2, Kap. 4.5)	2
63	Tanner Christoph	Energiefachbuch 2004	2004	Luftdichtigkeit: Das Dilemma bei der Beurteilung	4
64	Tanner Christoph	Internet (BFE): www.empa-ren.ch/ren/Geb-Huelle.htm	2004	BFE Projekt 82467 Messung und Beurteilung der Luftdichtigkeit von Niedrigenergiehäusern (MEBLUN)	9
65	A. Binz, K. Viriden, M. Zimmermann	faktor	2004 04	Ziemlich hoher Druck	6
66	Bolender Torsten	Bauphysik	2004 Heft 1	Messung der Luftdurchlässigkeit an grossen Gebäuden	2
67	Tanner Christoph Mühlebach Hans	Bauphysik	2004 Heft 3	Blower Door-Messungen: Trotz Normen noch viel unklar	7
68	FLiB	Internet: www.flib.de Mitgliederbereich	Stand 2004	Literaturverzeichnis	15
69	Tanner Christoph	Tagungsband Status Seminar 2004	9.09.200 4	Luftdichtkeitsmessungen: Bitte besser...	11
70		AWEL		Schlussbericht	
71		FHS		Schlussbericht	
72	Rein W.		Undatiert	Luftdichtheit der Gebäudehülle, Qualitätssicherung am Bau mittels BlowerDoor-Messung, Arbeitshilfe für Bauleiter	109
73	Geissler Achim Hauser Gerd	UNI Kassel	1994 05	Dichtigkeitsprüfung von Holzverschalungen AiF Forschungsvorhaben Nr. 8795	113
74	Geissler Achim Hauser Gerd	Nachdruck aus Bauen mit Holz 98	1996	Luftdichtheit von Holzhäusern	10

Nr.	Autor	wo publiziert	Datum	Titel	Seiten
75	Gerd Hauser Geissler Achim	bau zeitung, 51, Heft 3	1997	Messung und Kennzeichnung der Luftdichtigkeit von Gebäuden	8
76	Geissler Achim, Bollender Torsten, Hauser Gerd	HLH Band 48	1997	Blower Door-Messungen – erweiterte Messmethoden	10
77	Geissler Achim	EUZ	2001 10	Blower Door und Thermographie, Möglichkeiten und Fallstricke	8
78	Hall Monika	Nachdruck: Tagungsband 2. Sachverständigentag BDZ	2001	Luftdichtigkeitsprobleme im Holzbau	7
79	Geissler Achim	gi, Gesundheits-Ingenieur	2001	Auswertung von Messergebnissen zur Luftdichtheit von Gebäuden	7
80	Hall Monika	Mikado	2002 08	Schicht für Schicht - rundum dicht	5
81	Marco Ragonesi, Urs-Peter Menti, Adrian Tschui, Benno Zurfluh	Faktor Verlag	2010	Buch Minergie-P, 3.Auflage	
82	Urs-Peter Menti	Faktor Verlag, Faktor Heft 16	2007-05	Richtig messen	
83		Faktor Verlag, Heft Faktor Heft 26		Luftdichtigkeit planen!	
84	Verein Minergie	Anwendungshilfe	2011	Luftdichtigkeitsprüfung	

Normen / Richtlinien / Standards

Nr.	Autor	wo publiziert	Datum	Normen / Richtlinien / Standards	Seiten
1	Winkler U.E. et al	SIA	1988	Norm SIA 180, Wärmeschutz im Hochbau	40
2	Roulet Claude-Alain et al	SIA	1999	Norm SIA 180, Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau	63
3	Eggenberger, Frank; Hartmann, Keller; Lenzlinger et al	SIA	2001	Dokumentation D 0166 zu SIA Norm 180 (1999) Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau	111
4	Kt. ZH / Ch. Gmür	Kt. Zürich	2003 03	Vollzugsordner Energie Teil 2: Gebäudehülle	40
5	Verein Minergie	www.minergie.ch	1998 12	MINERGIE Reglement	16
6	Binz Armin Haas Anne Viriden Karl	F+E Programm des BFE	2001 10	MINERGIE-PLUS Definitions-vorschlag	13
7	Feist Wolfgang	www.passivhaus-info.de	2000 01	Passivhaus-Standard	6
8	DIN Norm	DIN Norm	2001 08	DIN 4108-7 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden Teil 7: Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele	24
9	Bundesregierung	Deutschland	1994 08	WSVO (Wärmeschutzverordnung)	5
10	Bundesregierung	Deutschland	2001 11 16	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)	32
11	CEN	CEN	1996 10	prEN ISO 9972 (Schluss-Entwurf) Wärmeschutz - Bestimmung der Luftdichtheit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren	19
12	CEN	CEN	2000 11	EN 13829 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert)	28
13		CEN	2001 03	Beiblatt zur EN 13829 (Entwurf) <u>Definitiv: siehe Nr. u</u>	13
14	FLiB	www.flib.de	2001 01	Unterschiede EN 13829 – ISO 9972	1
15	CEN	CEN	1999 09	prEN 12599 Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe eingebauter raumlüftungstechnischer Anlagen	59
16	CEN	CEN	2001 03	prEN 14134 (Entwurf) Lüftung von Gebäuden- Leistungsprüfung und Einbaukontrollen von Lüftungsanlagen in Wohnungen	21
17	SIA	SIA	1992	Norm SIA V 382/1 (in Revision!) Technische Anforderungen an Lüftungstechnische Anlagen	37
18	SIA	SIA	1992	Norm SIA V 382/3 (in Revision!) Bedarfsermittlung für Lüftungstechnische Anlagen	37

Nr.	Autor	wo publiziert	Datum	Normen / Richtlinien / Standards	Seiten
19	CEN	CEN	1997 05	EN ISO 12114 (Schluss-Entwurf) Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Luftdurchlässigkeit von Bauelementen - Laborprüfverfahren	6
20	CEN	CEN / SIA	1998 09	EN 832 = SIA 380.101 (1999) Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Berechnung des Heizenergiebedarfes.	48
21	Steinemann Urs	Gebäudetechnik 5 1 00	2000 05	Normen für Lüftungsanlagen	2
22	CEN	CEN	2001 10	prEN 13779 (Entwurf) Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room conditioning systems	
23	CEN	CEN	1999 11	prEN 13779 (Entwurf) Lüftung von Gebäuden – Leistungsanforderungen für Raumluftechnische Anlagen	57
24	Luginbühl Urs	VGQ Reglement	2001 03	Reglement für die Qualitätssicherung des VGQ Schweizerischer Verband für geprüfte Qualitätshäuser	11
25	Adriaans Richard	GHB	1997 08	Qualitäts- und Prüfbestimmungen der Garantiegemeinschaft Holzhausbau (GHB)	8
26	FliB e.V.	FliB e.V.	2001 11	Beiblatt zur Din EN 13829 1. Auflage	10
27	FliB e.V.	FliB e.V.	2002 11	Beiblatt zur Din EN 13829 2.. Auflage	15
28	Working Group ILAC Committee 3	ILAC Resolution No. 17/96 (International Laboratory Accreditation Cooperation)	1996	Guidelines on Assessment and Reporting of Compliance with Specification (based on measurements and tests in a laboratory) (In Order to EN 45000 and ISO/IEC Guide 25)	11
29	CEN	CEN	1999 11	EN 12207 Fenster und Türen Luftdurchlässigkeit	5
30	IEA / AIVC Limb Marc J.	AIVC	2001	A Review of International Ventilation, Airtightness, Thermal Insulation and Indoor Air Quality Criteria	200
31	EnergieSchweiz MINERGIE	BBL Bern Nr. 805.282.1d	2003 07	Komfortlüftungen Technische Ergänzungen für Lüftungsplaner	6
32	CEN	CEN	2003 07	prEN 13465 Lüftung von Gebäuden – Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmen in Wohnungen	33
33				Minergie-P Definitionen	
34	SIA Hartmann, Huber, Dorer	SIA	2004 06	Lüftung in Wohnbauten SIA Merkblatt 2023	40
35	ISO / TC 163	ISO	2004 01	ISO 9972 (English Version) Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method	22

Nr.	Autor	wo publiziert	Datum	Normen / Richtlinien / Standards	Seiten
36	CEN	CEN	1999 05	ENV 13005 (GUM) Leitfaden zur Angabe der Messunsicherheit	
37	CEN	CEN	2003 03	EN 12831 ergibt SIA 384.201 Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast	
38	Kt. ZH, AWEL	Vollzugsordner Energie, Kt. ZH (Abschnitt. 2.5)	2009 07	Gebäudeeingänge mit grossem Publikumsverkehr	
39	BFE	Merkblatt	1998 11	Gebäudeeingänge mit grossem Publikumsverkehr	
40	Energie Schweiz	Merkblatt	2004 03	Aufzugsanlagen Wärmeverluste verhindern	4
41	SIA		2002	SN EN 12152 (SIA 329.001) Vorhangfassaden-Luftdurchlässigkeit- Klassifizierung	
42	SIA		2000	SN EN 12153 (SIA 329.002) Vorhangfassaden-Luftdurchlässigkeit- Prüfverfahren	
43	SIA		2000	SE EN 1026 (SIA 331.055) Fenster und Türen-Luftdurchlässigkeit- Prüfverfahren	
44	SIA		1999	SN EN 12207 (SIA 331.301) Fenster und Türen-Luftdurchlässigkeit- Klassifizierung	
45	SIA		2000	SN EN 12424 (SIA 343.101) Tore Windlast Klassierung	
46	SIA		2000	SN EN 12425 (SIA 343.102) Tore Wasser Klassierung	
47	SIA		2000	SN EN 12426 (SIA 343.103) Tore Luftdurchlässigkeit Klassierung	
48	SIA		2000	SN EN 12427 (SIA 343.104) Tore Luftdurchlässigkeit Prüfverfahren	
49	SIA		2000	SN EN 12428 (SIA 343.105) Tore Wärmedurchgangskoeffizient-Berechnung	
50	SIA		2000	SN EN 12444 (SIA 343.108) Tore Widerstand Windlast Prüfung	
51	SIA		2000	SN EN 12489 (SIA 343.111) Tore Wasser Prüfverfahren	
52	SIA		2000	SN EN 12835 (SIA 342.008) Luftdichte Abschlüsse Prüfverfahren	
53	SIA		2001	SN EN 13125 (SIA 342.011) Luftdichte Abschlüsse Klassierung	
54	SIA		2009-03	ISO 9972 AMD1_Beiblatt	
55	DIBt, Fachkommission "Bautechnik"	Internet	2009 12 17	Auslegungen zur ENEV	

Nr.	Autor	wo publiziert	Datum	Normen / Richtlinien / Standards	Seiten
56	Christoph Tanner et al	Verein MINERGIE Internet	2007 01	Richtlinie für Luftdurchlässigkeitsmessungen bei MINERGIE-P® und MINERGIE® Bauten (RI LU MI)	
57	DIN Norm	DIN Norm	2011-01	DIN 4108-7 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele	
58	Diverse	6. Buildair-Symposium Berlin	2011-05	Diverse Referate zur Luftdichtigkeit	
59	DIN Norm	DIN Norm	In Bearbeitung	DIN 4108-11 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 11: Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen mit Klebbändern und Klebmassen zur Herstellung von luftdichten Schichten	
60	SIA	SIA	1.3.2010	Norm SIA 343, Türen und Tore	

5.2. Anhang B

Checkliste Luftdichtigkeit

Vor Durchführung des BlowerDoor-Tests ist die Luftdichtigkeitsebene über das ganze Gebäude lückenlos und vollständig auszuführen. Für eine vorgängige planerische und optische Kontrolle kann die folgende Liste beigezogen werden:

		Ausgeführt	noch aus-zuführen
Bauteil / Bauteilübergänge			
Boden zu Erdreich			
Boden zu unbeheizt			
Boden zu Aussenluft			
Decke zu Erdreich			
Decke zu unbeheizt			
Decke zu Aussenluft			
Dach zu Aussenluft			
Wand zu Erdreich			
Wand zu Unbeheizt	Grundputz aufgebracht		
Wand zu Aussenluft	Innerer Grundputz aufgebracht		
Fenster	Abdichtung Blendrahmen – übrige Bauteile innen und aussen		
	Dichtungen in Fenster- und Blendrahmen eingesetzt		
	Richtig eingestellt und einreguliert		
Dachfenster	Abdichtung Rahmen – übrige Bauteile		
	Dichtungen in Rahmen eingesetzt		
	Richtig eingestellt und einreguliert		
Aussentüren	Abdichtung Rahmen – übrige Bauteile		
	Dichtungen in Rahmen eingesetzt		
	Richtig eingestellt und einreguliert		
Türen zu unbeheizt	Abdichtung Rahmen – übrige Bauteile		
	Dichtungen in Rahmen eingesetzt		
	Richtig eingestellt und einreguliert		
	Abdichtung (Planet) eingebaut und richtig eingestellt		
Boden - Wand	Luftdichtigkeitsebene dicht an- / abgeschlossen und mechanisch gesichert		
Wand - Dach	Luftdichtigkeitsebene dicht an- / geschlossen und in der gesamten Fläche, mit z.B. Schiff- oder Installationsraum-latten, mechanisch gesichert		
Elementstösse	Abgeklebt bei vorfabrizierten Bauteilen		
Stossstellen	Sauber verklebt		
Aussparungen	Rohre mit elastischem Material umwickelt, Durchbrüche auf Deckenstärke ausbetoniert.		
	Brandabschottungen vollständig ausgeführt.		
Konstruktionsübergänge (Materialwechsel)	Abgeklebt, Abgedichtet, etc.		
Deckenstirnen bei Holzbalken-lagen	Luftdichtigkeitsebene sauber an- / abgeschlossen und mechanisch gesichert		
	Bei Neubauten sollen Balkenköpfe die Luftdichtigkeitsebene nicht durchstossen		

		Ausgeführt	noch aus- zuführen
Durchdringungen / Haustechnik etc.			
Kanalisation	Abdichtung Aussen		
	Abdichtung Innen, wenn Apparate noch nicht montiert		
Elektrorohre Hauptleitungen	Abdichtung Aussen		
	Abdichtung Innen		
Elektrorohre übrige Leitungen	Abdichtung Aussen		
	Abdichtung Innen		
El.-Rohre bei äusserem Son- nenschutz	Abdichtung Aussen		
Sanitärentlüftungen	Abdichtung Aussen, wenn keine Belüftungsventile		
Sanitärleitungen	Abdichtung Aussen		
	Abdichtung Innen		
	Abdichtung zu Steig- / Installationsschächten		
Heizungsleitungen	Abdichtung Aussen		
	Abdichtung zu Steig- / Installationsschächten		
Solarleitungen	Abdichtung Aussen Luftdurchlässige, strumpfartige Solarleitungen in Kunst- stoffrohr Ummantelung durch Gebäudehülle und bis zum Solarboiler geführt		
Lüftungsleitungen ZUL/FOL	Abdichtung Aussen Rohrdurchführung mit dauerhaft luftdichter Rohrmanschete eingebaut		
	Abdichtung Innen, werden für den Test manuell temporär abgeklebt		
Lüftungsleitung Frischluft Ofen	Abdichtung Aussen		
	Abdichtung Innen, Frischluftklappe montiert?		
Kamin	Abdichtung Aussen		
	Abdichtung Innen, Kaminklappe montiert?		
	Deckenanschluss bei gedämmten Kaminen mit dichtem Anschlussstück an Decke ausbilden.		
Nachträgliche Installationen	Welche die Luftdichtigkeitsebene durchdringen, sauber ab- geklebt		
Kurbelgetriebe / Gurtenzug	Durchdringungen abgedichtet		
Dampfabzug	Wenn Abluft, so Kontrolle der Rückstauklappen		
Abluftventilatoren Nasszellen	Kontrolle Rückstauklappen		
Wäscheabwurf	Bei Durchdringung der Wärme- / Luftdichtigkeitsebene		
Zentralstaubsaugeranlage	Rohre mit elastischem Material umwickelt, Durchbrüche auf Deckenstärke ausbetoniert.		
Katzenklappe	Dichte Klappe verwenden, für Messung abdichten		
Lüftungsgerät im Warmbereich	Gehäuse abdichten		

Messkonzept / Vorbe- sprechungen			
Messkonzept	Konzept erstellt und eingereicht		
	Konzept durch Zertifizierungsstelle genehmigt		
Besprechung mit allen betei- ligten Unternehmen	Besprechung mit beteiligten Unternehmen und Messfirma vor Beginn Einbau Luftdichtigkeitsebene durchgeführt.		