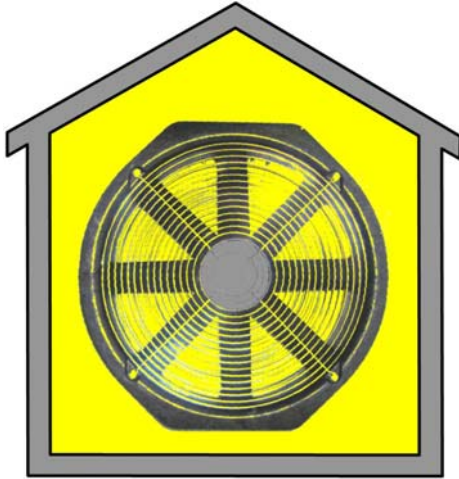


Messanleitung

Stand: Januar 2007



Richtlinie für Luftdurchlässigkeitsmessungen bei MINERGIE-P®- und MINERGIE®-Bauten

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort
2. Zu deklarierender Wert
3. Vorabklärungen
4. Gebäudepräparation
5. Bei der Messung
6. Datenauswertung
7. Berichterstattung
8. Grenzwerte / Beurteilung
9. Literatur und Regelwerke

Anhang

- A Erläuterung zu $n_{50, st}$
- B Leckagensuche und Windgeschwindigkeiten
- C MFH Messungen (aus Anwendungshilfe MINERGIE-P®)
- D Abdichtungen für Messverfahren A und B
- E Zusammenfassung für die Berichterstattung

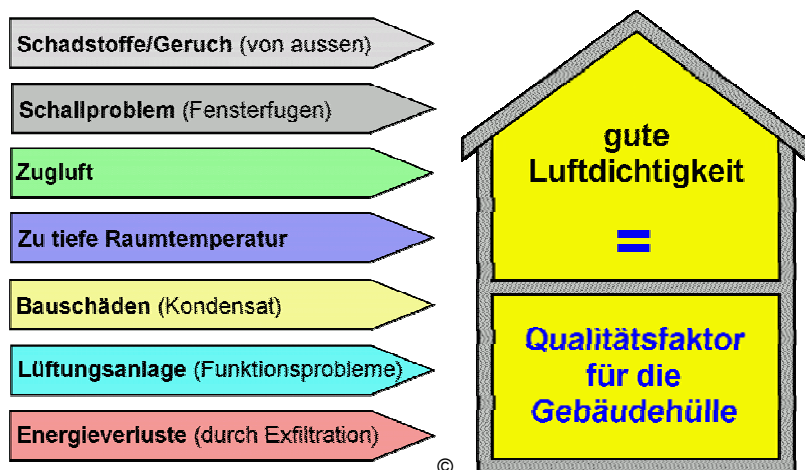
1. Vorwort

Da in den Normen EN 13829 [4] und SIA 180 [1,2] viele verfahrenstechnische Anordnungen bei Luftdurchlässigkeits-Messungen nicht geregelt sind bzw. wegen unterschiedlichen Bedürfnissen der Länder offen gelassen werden, ist es für den Praktiker notwendig, eine Messanleitung zu haben, welche die wichtigsten Anordnungen und Vorgehensweisen für die Luftdurchlässigkeitsmessung von MINERGIE-P®- und MINERGIE®-Gebäuden beschreibt. Nur wenn die wesentlichen Randbedingungen klar geregelt sind, ist gewährleistet, dass die Messresultate einen akzeptablen Unsicherheitsbereich aufweisen, womit erst ein Vergleich mit Grenzwerten sinnvoll wird.

Diese Messanleitung regelt die wichtigsten verfahrenstechnischen Anordnungen. Es ist jedoch zwingend notwendig, als Grundlage für eine Messung auch **die Vorgaben der EN 13829 [4] zu berücksichtigen**.

In die Luftwechselzahlen (n_{50} , q_{50} , w_{50} , $v_{a,4}$) werden zum Teil völlig unterschiedliche Erwartungen projiziert. Die Grundsatzfrage lautet dabei immer: Beschreibt die Luftwechselzahl die *Qualität der Gebäudehülle* oder ist sie primär eine *energetische Angabe* für die Lüftungswärmeverluste? Beides kann sie nicht gleichzeitig, da die Gebäudepräparation und die Datenauswertung für das eine oder andere Ziel ausgerichtet werden müssen.

Auf Grund eines n_{50} und/oder $v_{a,4}$ -Wertes kann nicht direkt auf den natürlichen Luftwechsel n_L oder auf die Energieverluste geschlossen werden. Diese hängen neben den Leckstellen in der Gebäudehülle auch stark vom Benutzerverhalten (Lüften), von den Wetterverhältnissen (Wind, Temperaturen etc.) und von der Lage der Leckagen ab.



Grafik 1

Eine undichte Gebäudehülle kann verschiedene Probleme verursachen. Es wird deshalb nach den heutigen Regeln der Baukunst eine möglichst dichte Gebäudehülle gefordert. Je dichter die Gebäudehülle, desto kleiner ist die Gefahr, dass sich bauphysikalische, energetische oder komfortrelevante Probleme ergeben.

Die Sicherstellung der notwendigen Frischluft für die Bewohner ist Sache der Haustechnik oder der Bewohner (Fensterlüftung) und hat nichts mit der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle zu tun.

Entsprechend diesen Überlegungen fließen in diese Richtlinie nicht primär energetische Aspekte ein, sondern es wird eine Luftdurchlässigkeitsmessung beschrieben, die auch Bauteile wie z.B. Wohnungstrennwände, die nicht im thermischen Gefälle stehen, erfasst und bewertet.

Der Verfasser dieser Richtlinie:
Christoph Tanner

2. Zu deklarierende Werte

1. **Luftdurchlässigkeit** q_{50} flächenbezogener Wert nach EN 13829
 2. **Luftwechselrate** $n_{50, st}$ volumenbezogener Wert mit standardisiertem Formfaktor

Warum $n_{50, st}$?

Der heute viel verwendete n_{50} -Wert (mit Volumenbezug) hat ein grundsätzliches Problem mit folgenden Auswirkungen:

Je grösser das Gebäude (bzw. je tiefer der Formfaktor $F = A_E / V_T$ der Messzone), desto einfacher ist es, einen guten n_{50} -Wert zu erreichen. Oder Umgekehrt: Bei genau gleicher Bauqualität der Gebäudehülle, ist der n_{50} -Wert umso besser, je grösser das Gebäude ist.

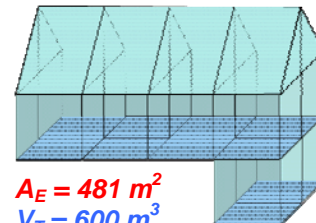
Wenn die Anforderungen an die qualitative Dichtigkeit der Gebäudehülle bei verschiedenen Gebäudetypen immer gleich sein soll, ist es erforderlich, einen **standardisierten Formfaktor** bei der Festlegung der Luftwechselrate $n_{50, st}$ zu definieren. Dieser basiert auf den Daten der Hüllfläche und korrigiert/standardisiert den bisherigen n_{50} -Wert nur dann, wenn das Objekt bzw. die Messzone bezüglich Grösse und Form nicht dem „durchschnittlichen EFH“ entspricht, bzw. wenn der Formfaktor nicht gleich 0.8 ist (vgl. Grafik 2).

Das „durchschnittliche EFH“, mit Formfaktor 0.8, stand bisher mehr oder weniger latent bei jeder n_{50} -Grenzwert-Festsetzung als Model im Hintergrund. Den standardisierten $n_{50, st}$ -Wert erhält man mit der Umrechnungsformel: $n_{50, st} = q_{50} \cdot 0.80$ (Herleitungen siehe Anhang A).

Mit dem $n_{50, st}$ -Wert wird der Charakter und das Grössenverständnis des „alten“ n_{50} -Werts beibehalten. Das Thema der unterschiedlichen Objektgrössen wird aber eliminiert, da im Hintergrund der Flächenbezug steht. Für einen „gerechten“ Vergleich von Luftwechselzahlen ist ein Flächenbezug notwendig, weil Leckstellen nur in der Hüllfläche liegen können. Ob auf der andern Seite der Leckstellen ein Aussenraum, ein Keller oder eine Nachbarwohnung liegt spielt im vorgängig definierten *qualitativen Sinn* keine Rolle. Jede Leckstelle interessiert und soll gemessen und bewertet werden.

Grafik 2

Durchschnittliches CH - EFH als Basisgebäude:



$$A_E = 481 \text{ m}^2$$

$$V_T = 600 \text{ m}^3$$

Formfaktor:

$$A_E / V_T = 0.80 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$\text{Formfaktor } F = A_E / V_T$$

A_E = innere Oberfläche der Messzone (EN 13829)

V_T = inneres Volumen (Total, inkl. Innenwände und Zwischendecken)

Begriffe und Definitionen nach EN 13829

Luftdurchlässigkeit q_{50}

Art. 6.3.2: Die Luftdurchlässigkeit q_{50} ergibt sich durch die Gleichung $q_{50} = V_{50} / A_E$

Hüllfläche A_E

Art. 3.3: Grenze, die das Innenvolumen (Messzone), das Gegenstand der Messung ist, von der äusseren Umgebung oder andern Gebäudeteilen trennt.

Art 6.1.2: Die Hüllfläche A_E des untersuchten Gebäudes oder Gebäudeteils ist die Gesamtfläche aller Böden, Wände und Decken, die das untersuchte Volumen (Messzone) umschliessen. Wände und Böden unter Erdniveau sind eingeschlossen. Um die Hüllfläche zu berechnen, müssen die Innenmasse über alles herangezogen werden. Die Stirnflächen der an die untersuchte Gebäudehülle angrenzenden Innenwände, Decken oder Böden werden nicht abgezogen.

Das Innenvolumen V

Art. 3.2: absichtlich beheiztes, gekühltes oder mechanisch gelüftetes Volumen in einem Gebäude oder Gebäudeteil, das Gegenstand der Messung ist, üblicherweise ohne Dachboden, Keller oder Anbauten.

Art 6.1.1 Das Innenvolumen V ist das Luftvolumen im untersuchten Gebäude. Oder Gebäudeteil. Es wird berechnet, indem die Nettogrundfläche (siehe 6.1.3) mit der mittleren lichten Raumhöhe multipliziert wird. Das Volumen von Möbeln wird nicht abgezogen.

In Abweichung zur EN 13829 gilt für MINERGIE-P® und MINERGIE® Messungen:

Das Innenvolumen V_T

Für die grundsätzlichen Überlegungen die zum Basisgebäude mit dem Formfaktor 0.8 führen, kann nicht ein Raum-Luft-Volumen (V , ohne Innenwände und Zwischendecken) verwendet werden, sondern es muss **das ganze, totale Volumen ($V_{\text{Total}} = V_T$) innerhalb der Hüllfläche A_E** betrachtet werden. Bei V_T spielt es keine Rolle, wie viele Innenwände, Zwischendecken, Leitungsschächte etc. vorhanden sind. V_T wird für die Bestimmung von $n_{50, \text{st}}$ jedoch nicht benötigt, es ist lediglich im Formfaktor 0,8 enthalten.

3. Vorabklärungen

Messverfahren A, B oder C

Die EN 13829 [4] beschreibt ein Messverfahren A (Nutzungszustand) und B (Gebäudehülle).

Die Norm ISO/FDIS 9972 [8] definiert neu auch ein Verfahren C.

Für MINERGIE-P® und MINERGIE® Messungen gilt **Messverfahren B**. D.h. bei einer Messung sind alle absichtlichen vorhandenen Öffnungen und Durchlässe *geschlossen* und *abdichtet*. Eine detaillierte Checkliste, was dazu gehört befindet sich in Anhang D.

Ziel des Verfahrens B ist es, nur diejenigen Leckstellen zu ermitteln, die der Gebäudehülle zugeordnet werden. Im Idealfall müsste ein Messresultat $q_{50} = 0$ sein. Bei MINERGIE-P® und MINERGIE® Gebäuden ergeben sich normalerweise keine Unterschiede zwischen den Messverfahren A, B oder C, da - ausser bei der Lüftungsanlage - weitere Öffnungen in der Gebäudehülle schon in der Planung konsequent vermieden werden. Sind z.B. Katzentüren oder andere Öffnungen vorhanden, so können die Anteile dieser Leckstellen bei einer Messung zusätzlich mit Variationsmessungen ermittelt werden. Je nach Situation ist dann auch eine Vergleichsmessung mit Messverfahren A sinnvoll.

Die vorgezogene Messung

Eine Luftdurchlässigkeitsmessung kann auch *vor* der Bauvollendung durchgeführt werden. Für eine sog. „vorgezogene Messung“ müssen alle relevanten Arbeiten für die Dichtung der Gebäudehülle bzw. der Dichtung der Messzone abgeschlossen sein. Erfüllt das Ergebnis die Grenzwertanforderung, so wird das Resultat für die Anforderung nach MINERGIE-P® oder MINERGIE® anerkannt und es muss keine weitere Abnahmemessung nach Bauvollendung durchgeführt werden. Im Messbericht ist der Bauzustand bei der vorgezogenen Messung zu protokollieren, die provisorischen Abdichtungen sind detailliert zu beschreiben (vgl. Beilage D).

Eine vorgezogene Messung (evtl. mit Leckagenortung, vgl. Anhang B) ist in der Bauphase meist sinnvoll und von den Unternehmern erwünscht, da allfällige Leckstellen ohne grossen Aufwand nachgebessert werden können. Mit der Fertigstellung des Gebäudes wird vor allem durch Gips- und Malerarbeiten die Luftdichtigkeit eher noch verbessert infolge nachträglicher Installationsarbeiten (insbesondere elektrische!) oder durch die Montage der *Lüftungsanlage* können aber auch wieder zusätzliche Leckagen geschaffen werden.

Achtung: Eine vorgezogene Messung ist wegen der Bau-Fertigstellung, die meist noch eine Veränderung der Luftdurchlässigkeit bewirkt, nicht wiederholbar und deshalb besonders gut zu dokumentieren.

Orientierungs-Messung

Offt wird bei einer Gebäudeuntersuchung gefordert, in kürzester Zeit, mit kleinstmöglichem Aufwand (Kosten!), einen Hinweis zur Luftdichtigkeit zu geben. Wird mit einem abgekürzten, vereinfachten Verfahren ein Luftdurchlässigkeits-Messresultat ermittelt - z.B. nur mit Unterdruck, nur als 1-Punkt Messung bei 50 Pa, mit nur abgeschätzter Bezugsgrösse - oder mit anderen von dieser Richtlinie abweichenden Messanordnungen, so ist eine solche Messung als „*orientierende Messung*“ zu deklarieren und es ist auf die entsprechend hohe Messunsicherheit hinzuweisen.

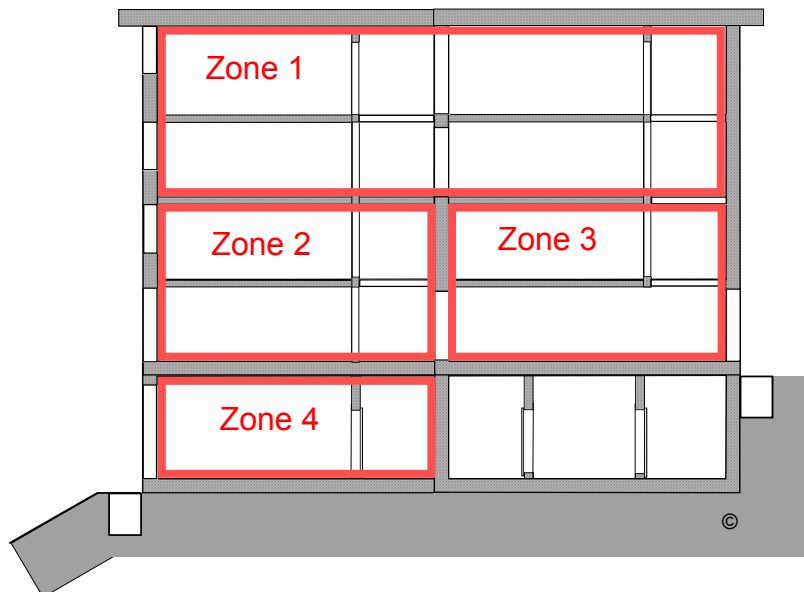
Ein Resultat einer „*orientierenden Messung*“ kann wohl mit Grenzwerten verglichen werden, aber es ist **keine Beurteilung (erfüllt / nicht erfüllt) im Sinne der MINERGIE-P® und MINERGIE® Grenzwerte zulässig**.

Bestimmung der Messzone

In der EN 13829 wird offen gelassen, ob in einem MFH die einzelnen Wohnungen oder das ganze Gebäude gemessen werden sollen.

Für MINERGIE-P® und MINERGIE® steht die Dichtigkeit der gebauten Hülle für den einzelnen Bewohner bezüglich aller Problemfaktoren (vgl. Grafik 1) im Zentrum. Somit ist bei MFH, REFH etc. *jede Wohneinheit* als eine eigene **Messzone** zu betrachten und auch separat zu messen.

PS: Auch die SIA Norm 180 [2] fordert luftdichte Flächen gegen andere Wohn- und Nutzungszonen, bezieht diese aber nicht in das Messresultat ein.



Grafik 3

In MFH muss jede Wohnung gegenüber den andern Wohnungen luftdicht sein!

Folge: Jede Wohnung ist eine separate Messzone und soll für sich gemessen und beurteilt werden.

Das gleiche „Zonen-Prinzip“ wie bei den MFH kann jedoch *nicht* auf einzelne Räume in einer Wohnung übertragen werden. Interne Wände und Decken müssen nicht luftdicht sein! Es werden deshalb keine Grenzwerte für Einzelräume (innerhalb einer Messzone) vorgegeben.

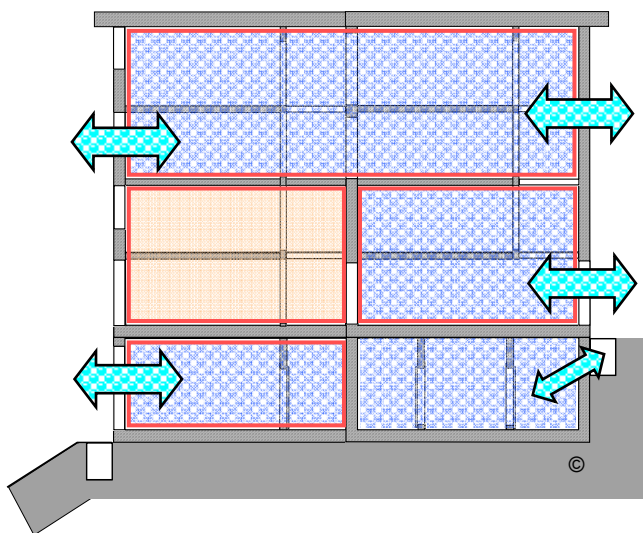
Tip: Eine Abschätzung über den Leckanteil eines Raumes (ob gross oder klein) kann bei 50 Pa Differenzdruck meist via Zimmertür und subjektiver Empfindung gemacht werden (Tür um einen kleinen Spalt öffnen, dann Luftzug prüfen oder Handkontrolle am unteren, offenen Türspalt).

Bei Überbauungen mit vielen Wohnungen kann davon ausgegangen werden, dass die Bauqualität bei identischen Bauteilen verschiedener Wohnungen ähnlich ist. Damit kann zur Qualitätsprüfung nötige Anzahl Luftdurchlässigkeitsmessungen eingeschränkt werden. Wie viele Wohnungen bei MINERGIE-P® gemessen werden müssen, regelt grundsätzlich die Anwendungshilfe MINERGIE-P® (Auszug siehe Anhang C). Die BlowerDoor-Messkonzepte (Luftdurchlässigkeits-Messkonzepte) müssen für sämtliche Gebäudekategorien vorgängig mit der Zertifizierungsstelle MINERGIE-P® abgesprochen werden.

4. Gebäudepräparation

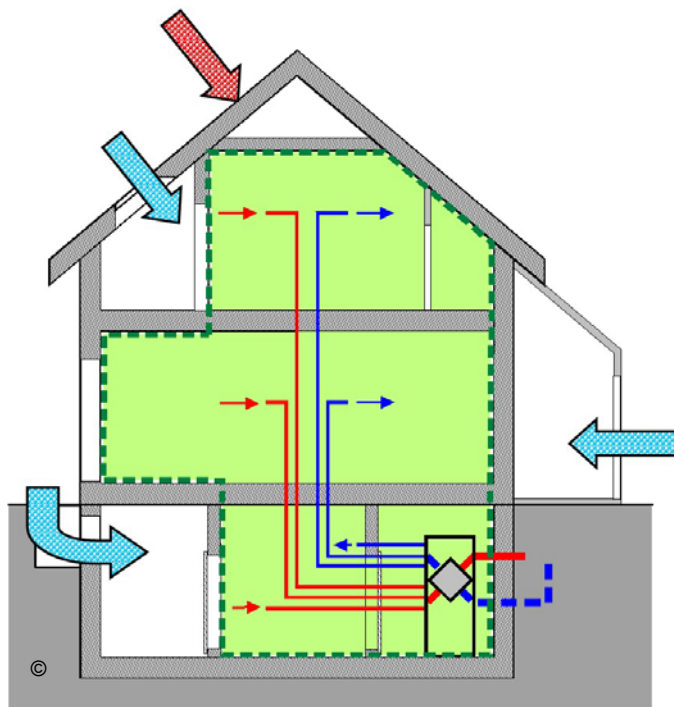
Zustand der Nachbarzonen

Oft treten Klagen von MFH-Bewohnern wegen Geruchsbelästigungen durch die Nachbarwohnung auf. Damit die Trennwände zu diesen Nachbarzonen analog den Aussenwänden geprüft werden können (im gleichen Differenzdruck), sind in allen Nachbarzonen und in den Pufferräumen ausserhalb des Luftdichtigkeitsperimeters die Fenster, Lüftungsflügel etc. zu öffnen. Dies gilt auch für den unbeheizten Keller, Wintergarten, Garage etc. Die effektiven Zustände während der Messung sind im Prüfprotokoll / Bericht zu beschreiben.



Grafik 4


Messung einer Wohnung in einem MFH:
Die Fenster der Nachbarzonen (und damit auch im Treppenhaus) sind zu öffnen.



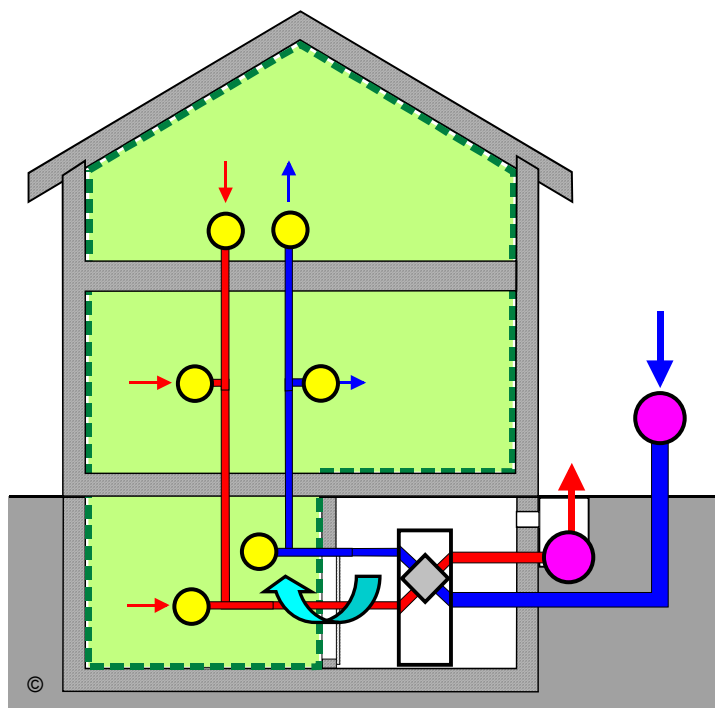
Grafik 5

Beispiel EFH:
In den Räumen ausserhalb der Messzone sind die Fenster zu öffnen.

Anmerkung: Temperierte Räume gelten als nicht beheizt und können ausserhalb des WD-Perimeters liegen.

 Grenze des Wärmedämm- und Luftdichtigkeitsperimeters. Messgrenze ist immer der Luftdichtigkeitsperimeter.

Der genaue Verlauf des Luftdichtigkeitsperimeters (z.B. im Keller!) muss im Zweifelsfall vom Planer angegeben werden!



Leckagen in Lüftungsanlagen

Messungen in Gebäuden mit Lüftungsanlagen sind besonders heikel. Diese Anlagen müssen abgedichtet werden, was meistens mit mehreren Varianten möglich ist. So können die Abdichtungen innen, aussen, im Lüftungsaggregat selbst oder an mehreren Orten gemacht werden (vgl. Grafik 6).

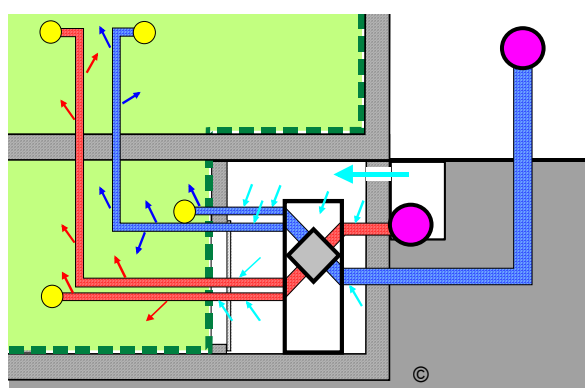
Je nach Dichtigkeit des Rohrsystems entstehen dabei aber Luft-Umgehungen und die BlowerDoor-Messung erfasst trotz Abdichtungen einen mehr oder weniger relevanten Leckstrom durch die Lüftungsanlage ins Gebäude. Dieser Leckstrom hat nichts mit der Gebäudehülle zu tun und sollte möglichst verhindert werden.

Werden vorgegebene Grenzwerte nicht erfüllt, so ist zu prüfen, wie gross der Leckstrom der Lüftungsanlage ist, bzw. ob die Abdichtung für eine weitere Messung verbessert oder verändert werden kann. (siehe auch Checkliste für Abdichtungen, Anhang D).

Weitere Informationen zum Thema und zu den quantitativen Auswirkungen siehe [7].

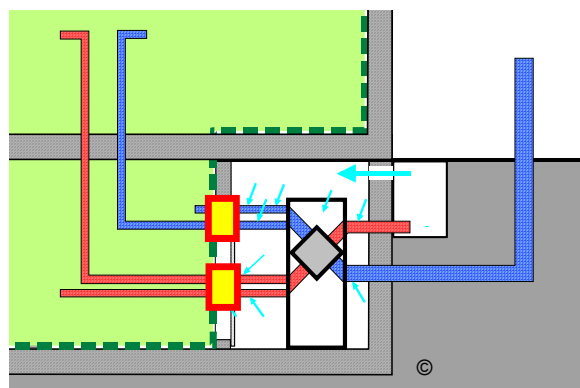
Grafik 6

- Luftdichte Zone im Haus
- Abdichtungen aussen
- Abdichtungen innen
- Umgehung via undichte Stellen im Rohrsystem



Grafik 6a

Luftumgehungen entstehen durch alle nicht hermetisch abgedichteten Rohrverbindungen.



Grafik 6b

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

5. Bei der Messung

Die Messung des Luftleck-Volumenstromes und die Aufzeichnung der notwendigen Randbedingungen sind detailliert in der EN 13829 [4] beschrieben.

Vorausgehende Prüfung (in Anlehnung an Art. 5.3.1 der EN 13829)

Bei ca. 50 Pascal Unterdruck ist *vor der Messung* die gesamte Hüllfläche der Messzone auf grössere Leckstellen zu überprüfen. Insbesondere ist zu untersuchen, ob die provisorischen Abdichtungen dicht sind und ob allenfalls weitere Leckstellen abzudichten sind, die nach Messverfahren B nicht der Gebäudehülle zugeordnet werden.

Unterdruck und Überdruck

Die EN 13829, wie auch die SIA 180 *empfehlen* eine Unter- und eine Überdruckmesskurve aufzunehmen, tolerieren aber, dass *für die Auswertung* nur eine Messkurve verwendet wird. Verschiedene Gründe wie Fensterdichtungen, Fugen von Platten, überlappende Bauteile etc. können zu Differenzen zwischen Unter- und Überdruckmessung führen. Der für die Erfüllung von MINERGIE-P® und MINERGIE® Grenzwerten massgebende Wert ist der *Mittelwert aus einer Unter- und Überdruckmessung*.

Referenzdruck

Als Referenzdruck für die Auswertung gelten 50 Pa. Werden Variationsmessungen gemacht, um z.B. Luftmengen von Katzentüren oder verschiedene Abdichtungsarten der Lüftungsanlage zu vergleichen, so genügen dafür meist Punktmessungen bei 50 Pa Unterdruck.

6. Datenauswertung

Die Datenauswertung ist in der EN 13829 beschrieben.

Zu den BlowerDoor-Anlagen wird meist auch die notwendige Auswerte-Software mitgeliefert.

7. Berichterstattung

Basis ist Art. 7 der EN 13829. In Abweichung zur EN 13829 gilt für MINERGIE-P®- und MINERGIE®-Messungen: Statt dem Wert n_{50} sind die Werte q_{50} und $n_{50,st}$ zu deklarieren (Info siehe Kap. 2).

Zum Messobjekt

- Angaben für die Identifizierung des Messobjektes (Adresse, Gebäudetyp, Baujahr, Höhe über Meer)
- Angaben zum Energie-Standard und zum Gebäudestandort (Lagefaktor A, B, C)
- Beschreibung der Messzone (Wohnungsnummer, Lage, Raumhöhe der Messzone)
- Dokumentation der Berechnungen, so dass die Ergebnisse nachvollzogen werden können.
- Art der Heizungsanlage
- Hinweise zu Lüftungs- und/oder Klimaanlage

Randbedingungen bei der Messung

- Beschreibung der Massnahmen für Messverfahren B (siehe Liste Anhang D). Falls nur Messverfahren A oder C angewandt wird, ist dies vorgängig mit der entsprechenden Zertifizierungsstelle zu besprechen.
- Beschreibung Messzeitpunkt
 - vorgezogene Messung
 - Abnahmemessung
 - bestehende Baute / Altbau
- bei vorgezogener Messung: Beschreibung des Bauzustandes
- Auflistung der abgedichteten Durchdringungen/Bauteile (weil Messverfahren B)
Eine genaue Beschreibung / Liste, was, wie, wo abgedichtet wurde kann mittels Anhang D erstellt werden.
- Zustand der Nachbarzonen (vgl. Kap. 4, geöffnete Fenster). Ist der Zustand unbekannt (weil vielleicht nicht zugänglich), so ist das im Bericht zu erläutern.
- Beschreibung, wo die BlowerDoor eingebaut wurde.

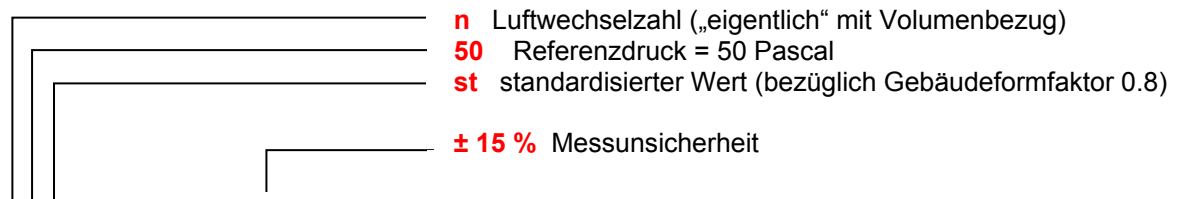
Weiteres:

- Verweis auf die angewendeten Normen/Richtlinien, inkl. allfällige Abweichungen davon
- Ausrüstung (verwendete Messgeräte und Software)
- Prüfdatum, Prüfzeit
- Name der Prüfperson

Messdaten / Messresultate

- Innen- und Aussenlufttemperaturen
- Windgeschwindigkeit (vgl. Anhang B, Beaufortskala)
- Tabelle mit
 - gemessenen Druckdifferenzen (inkl. natürliche)
 - Volumenströmen
- Kennwerte (für Unter- und Überdruck)
 - Leckagekoeffizient C_L [m³/(h Paⁿ)]
 - Korrelationskoeffizient r [-]
 - Exponent n [-]
- Leckagenkurve (Diagramm)
- **Luftdurchlässigkeit q_{50} [m³/(h·m²)]**
- **Luftwechselrate $n_{50,st}$ [h⁻¹] (standardisierter Wert)**
- Gesamt-Messunsicherheit (diese wird normalerweise direkt von der Auswertesoftware ermittelt)

Die Ergebnisse sind im Bericht mit 2 Wertziffern anzugeben (z.B. 1.4 oder 0.42).



Beispiel: $n_{50,st} = 0.64 [h^{-1}] (\pm 15 \%)$

8. Grenzwerte / Beurteilung

Grenzwerte für MINERGIE-P® und MINERGIE®

Energie-Standard		q_{50} [m ³ /h·m ²]	$n_{50, \text{st}}$ [h ⁻¹]
MINERGIE-P® (und Passivhaus)	Messung obligatorisch	≤ 0.75	≤ 0.6
MINERGIE®	Messung fakultativ	≤ 1.25	≤ 1.0
- als Durchschnittswert von Unterdruck <i>und</i> Überdruck - mit Messverfahren B - als Abnahmemessung des fertig erstellten Bauwerks - <i>oder</i> als vorgezogene Messung - mit Messunsicherheiten max. ± 20 %			
Verbleibende Leckstellen dürfen in speziellen Bereichen (z.B. Dach, Fensterfronten etc.) nicht konzentriert auftreten. Einzelleckagen dürfen, auch bei erfülltem Grenzwert, weder zu Schäden am Gebäude noch zur Verminderung der Behaglichkeit führen (z.B. Zugluft, Geruch, Schall).			

Die Luftwechselraten sind im Bericht mit 2 Wertziffern anzugeben (z.B. 1.4 oder 0.42).

Die $n_{50, \text{st}}$ -Grenzwerte sind bewusst nur auf 1 Dezimale angegeben.

Für die Beurteilung, ob ein $n_{50, \text{st}}$ -Grenzwert erfüllt ist, **gelten die auf 1 Dezimale gerundeten Messwerte.**

Beispiel: Ein Messwert $n_{50, \text{st}} = 0.64$ [h⁻¹] ergibt gerundet $n_{50, \text{st}} = 0.6$ [h⁻¹], womit der Grenzwert erfüllt ist.

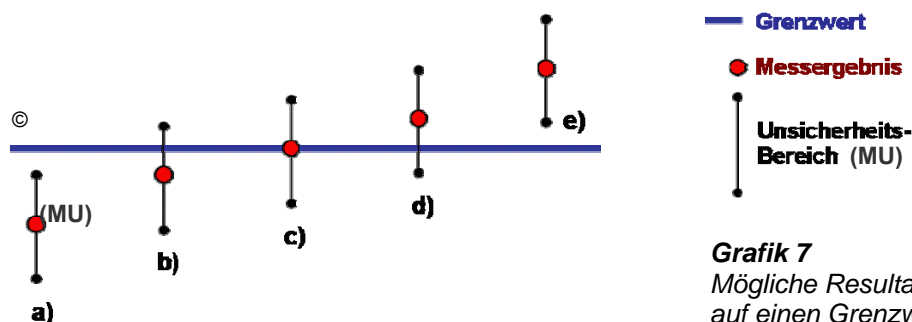
Wird eine Beurteilung von Messwerten nach MINERGIE-P® und MINERGIE® Grenzwerten gemacht, so darf die **Messunsicherheit 20 % nicht überschreiten** (gilt für die Fälle b) c) und d) vgl. Grafik 7).

Beurteilung der Messresultate und Umgang mit der Messunsicherheit

Ist ein Messresultat nach Grafik 7 im Bereich a) b) oder c), so wird normalerweise der Messwert als „erfüllt“ beurteilt. Ebenso klar ist Fall e), der als „nicht erfüllt“ gilt.

Für Resultate im Bereich d) gilt nicht a priori „nicht erfüllt“. Hier müsste eigentlich der Experte unter Berücksichtigung aller relevanten Faktoren entscheiden, ob das Messresultat akzeptiert werden kann oder nicht.

Für MINERGIE-P® und MINERGIE® Beurteilungen soll jedoch gelten: **Fall d) hat nicht erfüllt.** Da die Messwerte für den Grenzwertvergleich auf 1 Dezimale gerundet werden (siehe oben) wird der Fall d) faktisch doch ein wenig berücksichtigt.



Zur Messunsicherheit

Betrachtet man die reine Volumenstrommessung, so liegt die *Messunsicherheit* im Bereich von ± 10 %. Bei Druckschwankungen infolge Wind kann sie jedoch markant zunehmen. Durch die Festsetzung von Standardwerten bei den Verfahrensfragen und den Gebäudevorbereitungen (mit der hier vorliegenden Richtlinie) werden weitere grosse Unsicherheiten praktisch ausgeschaltet.

Anmerkung der EN 13829 in Art. 8.3: *Bei windstillem Wetter wird die Gesamtunsicherheit in den meisten Fällen kleiner als ± 15 % sein. Bei windigem Wetter kann die Gesamtunsicherheit aber ± 40 % erreichen.*

Wird ein Grenzwert nicht erreicht, gibt es verschiedene Stufen für ein weiteres Vorgehen (dieser Fall sollte mit dem Auftraggeber vorher abgesprochen werden). Da für den Nachweis von Grenzwerten das Messverfahren B gilt, ist beim Nicht-Erreichen eines Grenzwertes immer zu prüfen, ob weitere / bessere / andere Abdichtungsmethoden bei der Lüftungsanlage und bei den abgedichteten Öffnungen zu einem besseren Resultat führen (es wird nur die Hüllfläche bewertet!).

Dabei beachten: Der zu beurteilende Wert ist der Mittelwert einer Unter- und Überdruckmessung.

9. Literatur und Regelwerke

[1]	Norm SIA 180 , Wärmeschutz im Hochbau	1988	Winkler U.E. et al
[2]	Norm SIA 180 , Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau	1999	Roulet Claude-Alain et al
[3]	<i>Passivhaus-Standard</i> http://www.passivhaus-info.de/images/Zertifizierungen/PH-Kriterien%202003%20Wohnen.pdf	2000 01	Feist Wolfgang
[4]	EN 13829 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert)	2000 11	CEN
[5]	Beiblatt zur DIN EN 13829 , Ausgabe 2 http://www.fliib.de/publikationen.html	2006 06	FliB e.V.
[6]	MINERGIE-P® Standard http://www.minergie.ch/index.php?standards-6	2003	Verein MINERGIE®
[7]	Luftdichtigkeits-Messungen: Bitte besser...! „Messung und Beurteilung der Luftdichtigkeit von Niedrigenergiehäusern“ http://www.empa-ren.ch/Internet-Files/Programm/Aktuelles/aktualitaeten/Status-Seminar/pdf-files2004/Tanner.pdf	2004	Tanner Christoph
[8]	Anfang 2007 wird die Neuausgabe der ISO/FDIS 9972 erwartet. Sie wird vermutlich später einmal die EN 13829 ablösen bzw. ersetzen. Neu darin ist vor allem die Beschreibung eines Messverfahrens C (neben den bisherigen Verfahren A und B). Verfahren C unterscheidet sich von Verfahren A nur darin, dass selbständig regelnde Aussenluftdurchlässe abgedichtet werden (z.B. Küchenventil mit Rückstauklappe). Die restlichen Unterschiede sind gering und wenig relevant für die Messpraktiker (Details zu weiteren Unterschieden EN - ISO siehe z.B. Tagungsband 1. Europäisches BlowerDoor-Symposium).		

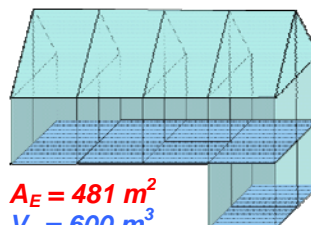
Erläuterungen zu $n_{50,st}$

Anhang A

Basisgebäude:

Auf dieser Gebäudegrösse / Gebäudegeometrie basieren („unbewusst“) die bisherigen n_{50} -Grenzwerte:

Durchschnittliches EFH in der Schweiz



Formfaktor $F = A_E / V_T$

A_E = innere Oberfläche der Messzone (EN 13829)

V_T = inneres Volumen (Total, inkl. Innenwände und Zwischendecken)

$A_E = 481 \text{ m}^2$
 $V_T = 600 \text{ m}^3$
Formfaktor:
 $A_E / V_T = \underline{0.80} \text{ [m}^{-1}\text{]}$

Von diesem Basisgebäude kann der q_{50} -Wert und der n_{50} -Wert ermittelt werden (siehe Beispiel 1). Ziel ist es nun, bei jedem anderen Gebäude, das den gleichen q_{50} -Wert hat (Bsp. 2 und 3), auch den gleichen n_{50} -Wert zu erhalten (wenn die Hüllflächenqualität gleich gut ist, so soll das auch im n_{50} -Wert analog zum Ausdruck kommen).

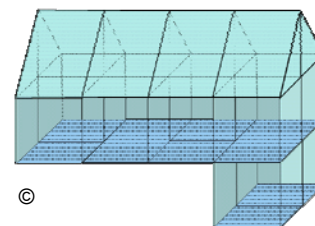
Der neue, standardisierte $n_{50,st}$ -Wert wird berechnet, indem für jedes Gebäude der q_{50} -Wert ermittelt wird, der dann mit dem Formfaktor 0.8 des Basisgebäudes multipliziert wird.

$n_{50,st} = q_{50} \cdot (A_E / V_T)_{st} = q_{50} \cdot 0.8 \rightarrow$ **fixer Formfaktor**

Beispiel 1 \dot{V}_{50} sei = 962 m³/h

$n_{50} = 962 / 600 = 1.6 \text{ h}^{-1}$
 $q_{50} = 962 / 481 = 2.0 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$
 $n_{50,st} = q_{50} \cdot 0.80$ (Fix-Formfaktor) = 1.6 h^{-1}

$A_E = 481 \text{ m}^2$
 $V_T = 600 \text{ m}^3$
Formfaktor:
 $A_E / V_T = \underline{0.80}$

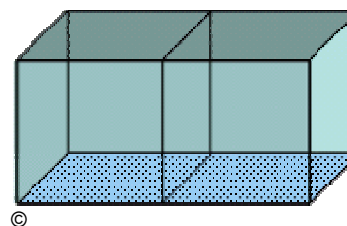


Hier stimmt n_{50} und $n_{50,st}$ überein.
Beachte das Verhältnis von n_{50} zu q_{50} (0.8 : 1.0)

Beispiel 2 \dot{V}_{50} sei = 3174 m³/h

$n_{50} = 3174 / 4000 = 0.79 \text{ h}^{-1}$
 $q_{50} = 3174 / 1587 = 2.0 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$
 $n_{50,st} = q_{50} \cdot 0.80$ (Fix-Formfaktor) = 1.6 h^{-1}

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

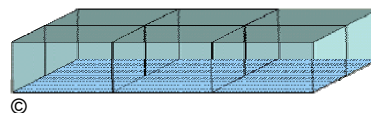


Hier ist n_{50} gegenüber q_{50} viel zu tief. Grund: Das grosse Volumen! Die Korrektur mit 0.8 beseitigt das.

Beispiel 3 \dot{V}_{50} sei = 732 m³/h

$n_{50} = 732 / 300 = 2.4 \text{ h}^{-1}$
 $q_{50} = 732 / 366 = 2.0 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$
 $n_{50,st} = q_{50} \cdot 0.80$ (Fix-Formfaktor) = 1.6 h^{-1}

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



Hier ist n_{50} gegenüber q_{50} viel zu hoch. Grund: Das kleine Volumen! Die Korrektur mit 0.8 beseitigt das.

Beachte:

q_{50} ist den 3 Beispielen oben immer gleich gross (Die Qualität der Fläche ist immer gleich). Das selbe soll auch für den standardisierten Wert $n_{50,st}$ gelten.

Leckagensuche

Anhang B

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** (vgl. Kap. 5) zwingend vorgeschrieben.

Wird vom Auftraggeber zusätzlich eine - nicht vorgeschriebene, aber empfohlene - Lecksuche mit Dokumentation der Leckstellen gefordert, so soll dafür gelten:

- 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. Werden die Leckstellen dokumentiert, so ist der dazugehörige Referenzdruck anzugeben.

Mittel zur Lecksuche und Visualisierung:

- von Hand (evtl. mit nassem Finger oder Handrücken)
- mit Strömungsprüfröhrchen
- mit Rauch (bei kleinen Leckstellen sind jedoch Rauchmaschinen meist ungeeignet)
- mit Anemometer (Messung der Luftgeschwindigkeit an der Oberfläche oder in definiertem Abstand)
- mit Wollfäden
- mit Infrarot-Thermografie (Achtung: Bei Wärmebrücken oft nur eindeutig mit IR-Subtraktionsbildern)

Windgeschwindigkeiten

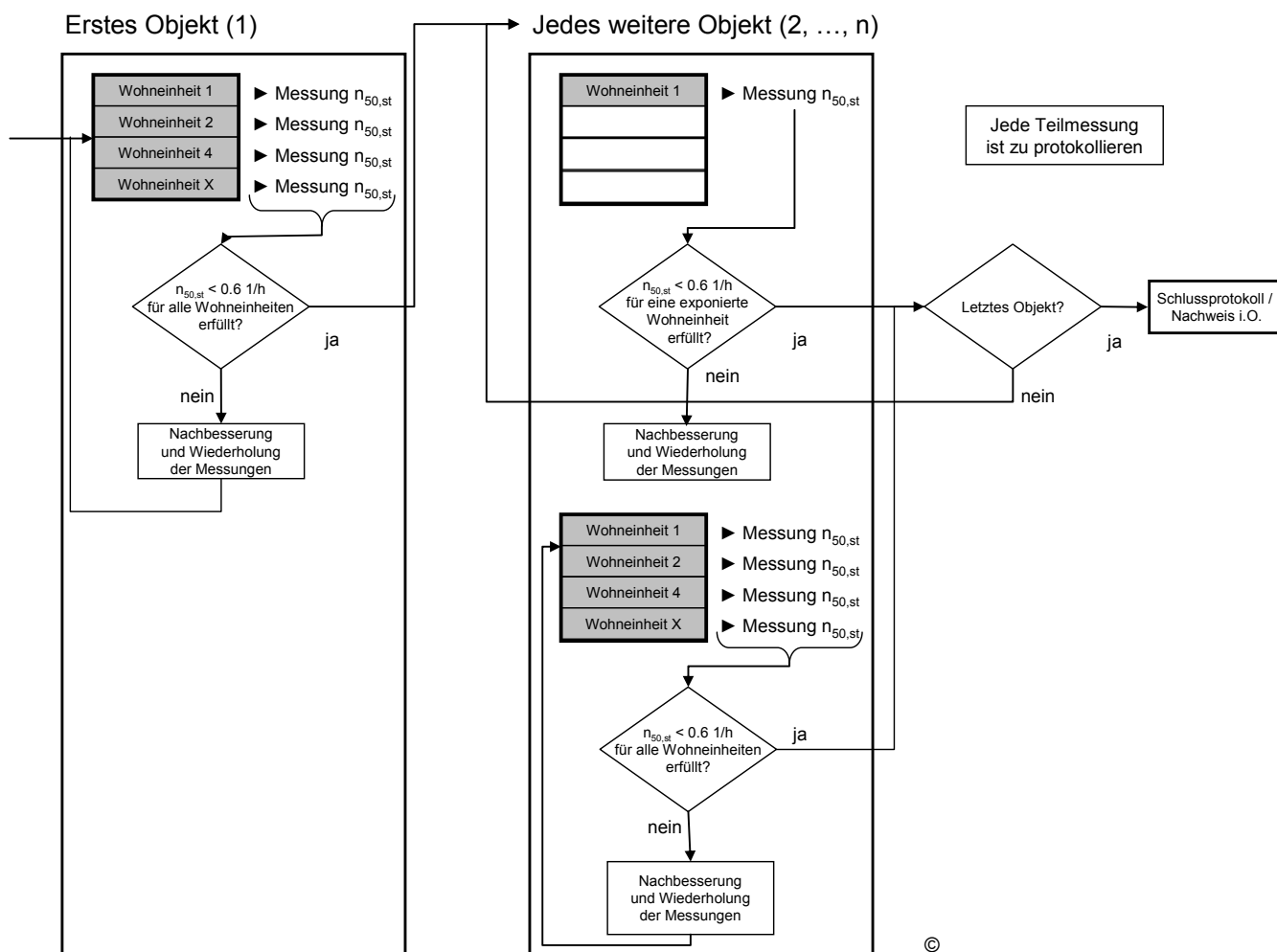
Windstärke (Beaufort-Skala)	Windgeschwindigkeit in m/s	Erkennbar an:
0	0,0 - 0,45	Windstille; Rauch steigt senkrecht empor.
1	0,45 - 1,5	Windrichtung nur durch Zug von Rauch, nicht durch Windfahne angezeigt.
2	1,6 - 3,3	Wind im Gesicht fühlbar; Blätter säuseln; Windfahne bewegt sich.
3	3,4 - 5,4	Blätter und dünne Zweige bewegen sich; Wind streckt einen Wimpel.
4	5,5, - 7,9	Hebt Staub und loses Papier; bewegt Zweige und dünne Äste.
5	8,0 - 10,7	Äste und kleine Bäume bewegen sich; auf Seen bilden sich Schaumköpfe.
6	10,8 - 13,8	Die Windkraft wird hörbar. Pfeifen an Drähten und Hausecken; starke Äste in Bewegung.
9	20,8 - 24,4	Als Sturm zu bezeichnen, lockere Dachziegel lösen sich und fallen.
12	32,8 - 36,9	Überwiegend im Küstenbereich, Mauern stürzen ein, große Verwüstung.

MFH Messungen (aus Anwendungshilfe MINERGIE-P®)

Anhang C

Bei einer **Mehrfachanwendung** für **MFH** in einer Siedlung wird die Anzahl der Luftdichtigkeitsprüfungen nach folgendem Prinzip erstellt (DEFH, REFH dito MFH):

Luftdichtigkeitsprüfungen bei Mehrfachanwendungen MFH:



Um hier den Aufwand für die Luftdurchlässigkeitsprüfungen auf ein vernünftiges Mass zu reduzieren, genügt es für den Nachweis, wenn in einem Objekt sämtliche Wohneinheiten und in allen weiteren identischen Objekten nur noch jeweils die betreffend Luftdichtigkeit anspruchsvollste Wohneinheit (typischerweise Ecksituation im Dachgeschoss) überprüft wird.

Mit der Messung von nur 1 exponierten Wohneinheit in jedem weiteren Objekt (2, ..., n) und der Einhaltung der Anforderung von $n_{50, st} \leq 0.6 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ übernimmt der Antragsteller resp. Auftraggeber der Luftdurchlässigkeitsmessung die Verantwortung, dass alle weiteren nicht gemessenen Wohneinheiten im gleichen Objekt in derselben Qualität bezüglich Luftdichtigkeit ausgeführt sind. Die Zertifizierungsstelle MINERGIE-P® kann in begründeten Fällen zusätzliche Luftdichtigkeitsmessungen verlangen.

BlowerDoor-Messkonzepte für sämtliche Gebäudekategorien müssen mit der Zertifizierungsstelle MINERGIE-P® vorgängig abgesprochen werden. Messresultate von selbst definierten Zonen können zurückgewiesen werden

Abdichtungen für Messverfahren A und B

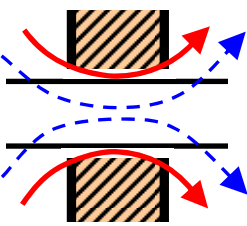
Anhang D1

Abdichtungen	Verfahren A (Nutzungszustand)	als Checkliste: vorhanden und befolgt	
		x	x
Aussentüren *)	schliessen		
Innentüren	offen		
Türen zu beheizten Nebenräumen *) (z.B. Keller)	offen		
Türen zu unbeheizten Gebäudebereichen (Abstellräumen, Keller, Garage) *)	schliessen		
Tür zu Lift / Schacht (= andere Zone)	schliessen		schliessen und abdichten
Schlüssellocher *)	nichts		nichts
Luken und Klappen zu Abseiten im DG wenn Luftdichtigkeitsperimeter aussen	öffnen		öffnen
Luken und Klappen zu Abseiten im DG wenn Luftdichtigkeitsperimeter bei Luke *)	schliessen		schliessen
Fenster / Fenstertüren / Dachfenster / *) Hebeschiebetüren / Festverglasungen etc.	schliessen		schliessen
Lüftungsschlitze in Fenstern (Rahmen)	schliessen		schliessen und abdichten
Lüftungsklappen der Dachfenster	schliessen		schliessen, evtl. abdichten
Rollladengurten / Storenkurbeln *)	nichts		nichts
Lüftungsaggregat oder Einzelraum-Lüftungsgerät	wo möglich: Im Gerät abdichten		wo möglich: Im Gerät abdichten
Zuluft der Wohnungslüftung in Räumen	evtl. zusätzlich abdichten		evtl. zusätzlich abdichten
Abluft der Wohnungslüftung in Räumen	evtl. zusätzlich abdichten		evtl. zusätzlich abdichten
Dampfabzug der Küche / Umluft system	nichts		nichts
Dampfabzug der Küche / Fortluft system	nichts		abdichten
Fortluftventilator (Bad / Du / WC)	nichts		abdichten
Wäschetrockner in beheizter Zone mit Abluft nach aussen	Trockner schliessen		Trockner schliessen und abdichten
Ofen / Cheminée etc.	schliessen		schliessen und abdichten
Zuluft zu Ofen	schliessen		schliessen und abdichten
Kamin vom Ofen	schliessen		schliessen und abdichten
Wäscheabwurf zu unbeheizter Zone	schliessen		schliessen und abdichten
Katzenklappen	schliessen		schliessen und abdichten
Schachtdeckel in beheizten Zonen	schliessen		abdichten
Abgehängte Decke	nichts		nichts

Abdichtungen für Messverfahren A und B

Anhang D2

als Checkliste: vorhanden und befolgt

Abdichtungen	Verfahren A (Nutzungszustand)	↓ x	Verfahren B (Gebäudehülle)	↓ x
Haustechnik: - El.kasten, Sicherungen *)	nichts		nichts	
- Steckdosen *)	nichts		nichts	
- Einbaulampen *)	nichts		nichts	
- Heizungs-Verteilkasten *)	nichts		nichts	
- Sanitär Spülkasten WC *)	nichts		nichts	
- weitere Sanitär Anschlüsse und Durchbrüche *)	nichts		nichts	
Kanalentlüft. ventile in beheizten Zonen	nichts		abdichten	
Zentrale Staubsaugeranlage	schliessen		schliessen und abdichten	
Leerrohre zu unbeheizten Zonen	abdichten		abdichten	
generell bei Rohrdurchbrüchen 	rot: nichts *) (= Gebäudehülle) blau: schliessen, bzw. abdichten (Haustechnik, vgl. Kap.4)		rot: nichts *) (= Gebäudehülle) blau: abdichten (= Haustechnik, vgl. Kap. 4)	
weiteres:				

*) Sind hier deutliche Luftleckagen spürbar, so kann deren Anteil durch abdichten mit einer Variationsmessung (vgl. Kap. 5) abgeschätzt werden. Für eine MINERGIE-P® und MINERGIE® Beurteilung mit dem Messverfahren B ist eine provisorische Abdichtung jedoch nicht zulässig.

Hinweis: Durch das Entfernen der zulässigen, **provisorischen Abdichtungen** z.B. bei Ofen, Wäscheabwurf etc., kann mittels einer Punktmessung (bei ΔP 50 Pa) sehr schnell die Differenz der beiden Messverfahren (A / B) abgeschätzt werden. Damit werden die Leckströme quantifiziert, die nicht der Gebäudehülle zugeordnet werden dürfen.



Luftdurchlässigkeitsmessung

MINERGIE-P®

MINERGIE®

Objekt / Gebäude	MFH Muster Musterstrasse 5 0000 Musterhausen
Messzone	5 ½ Zimmer Wohnung (Whg Nr. 7) Dachgeschoss (3. OG) Eckwohnung Südost
Energie-Standard	<input checked="" type="checkbox"/> MINERGIE-P® <input type="checkbox"/> MINERGIE®
Auftraggeber	Muster-Immobilien AG Gebäudeweg 23 0000 Beispielhausen
Auftragnehmer	Team BlowerDoor GmbH Musterweg 25 0000 Musterbach
Prüfdatum	10.12.2006

Diese 2 Seiten zeigen eine Zusammenfassung der wesentlichen Daten und sind als Deckblätter für den Prüfbericht zu verwenden.

Anforderungen		auf 1 Dezimale gerundet:	Anforderung
<input checked="" type="checkbox"/> MINERGIE-P®	Grenzwert: ≤ 0.6 [h ⁻¹]	Messwert: 0.6 [h ⁻¹]	<input checked="" type="checkbox"/> erfüllt
<input type="checkbox"/> MINERGIE® ...	Grenzwert: ≤ 1.0 [h ⁻¹]	Messwert: ---- [h ⁻¹]	

Ort, Datum der Berichterstattung

Unterschrift

Prüfperson Anton Muster

Zusammenfassung für die Berichterstattung

Anhang E2

Gebäudedaten / Randbedingungen:

- Messzeitpunkt** vorgezogene Messung
 Abnahmemessung, (Um)Bauarbeiten abgeschlossen
 Messung in bestehendem Bauobjekt
- Baufortschritt
Gebäudezustand:**
 - Rohbau mit Luftdichtheitsebene erstellt
 - Haustechnikinstallationen durch Luftdichtheitsebene fertig erstellt
 - Fenster und Türen mit Dichtungen montiert und justiert.
x Hauseingangstür mit Seitenflügel fehlt noch (hier BlowerDoor eingesetzt).
 -
- Messverfahren** B (Gebäudehülle)

- Zustand der Nachbarzonen**
 - Treppenhaus: Fenster und Türen geöffnet
 - Wohnung 6: Fenster und Türen geöffnet
 - Wohnung 5: Zustand nicht bekannt, da nicht zugänglich
- Lüftungsanlage** Wohnungslüftung mit Zu- und Abluft

Messdaten / Ergebnisse

Hüllfläche A_E:	425 [m ²]	Lufttemperatur innen	21 [°C]
Volumen V_T:	- [m ³]	Lufttemperatur aussen	8 [°C]
max. Höhe Messzone	3 [m]	Windstärke	2 Beaufort

Prüfdatum: 10.12.2006	Unterdruck (-)	Überdruck (+)	Mittelwert
Leckagestrom V_{50}:	300 [m ³ /h]	345 [m ³ /h]	
Leckagekoeffizient C_L	23 [m ³ /(h Pa ⁿ)]	19 [m ³ /(h Pa ⁿ)]	
Korrelationskoeffizient r	0.991 [-]	0.998 [-]	
Exponent n	0.65 [-]	0.75 [-]	
Luftdurchlässigkeit q_{50}	0.71 [m ³ /(h·m ²)]	0.82 [m ³ /(h·m ²)]	0.77 [m³/(h·m²)]
Luftwechselrate $n_{50,st}$	0.57 [h ⁻¹]	0.66 [h ⁻¹]	0.61 [h⁻¹]
Messunsicherheit	± 14 %	± 14 %	± 14 %

Bemerkungen	<p>Grundlage für diese Messung: Richtlinie für Luftdurchlässigkeitsmessungen bei MINERGIE-P®- und MINERGIE®-Bauten, Ausgabe Januar 2007</p> <p>- Das Messergebnis schliesst (verdeckte) Mängel in der Konstruktion nicht aus. - Die Luftdurchlässigkeit kann sich im Verlauf der Zeit verändern.</p>
--------------------	---

Mitwirkende für diese Richtlinie:

Name	Funktion	Email Adresse
Patricia Bürgi	MINERGIE® Agentur Bau	patricia.buergi@minergie.ch
Urs-Peter Menti	Zertifizierungsstelle MINERGIE-P®	umenti@hta.fhz.ch
Christoph Tanner	Messpraktiker, Verfasser der Messanleitung	christoph.tanner@qc-expert.ch
Bruno Albert	Messpraktiker	bruno.albert@clicon.ch
Otmar Spescha	Messpraktiker	otmar.spescha@passivhaus.ch
Marco Schöni	Messpraktiker	marco.schoeni@xella.com
Thomas Frank	EMPA, Mitglied SIA Kommission 180	thomas.frank@empa.ch