

**HAWK - HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFT UND KUNST**

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Baukonstruktion und Bauphysik in der Fakultät Bauen und Erhalten in Hildesheim

Vorlesungsskripte zur Bauphysik

Masterstudium

Messen in der Bauphysik

Messungen nach dem BlowerDoor-Verfahren

Inhaltsverzeichnis:

1	Gründe für Luftdichtheitsmessungen	2
1.1	Kyoto Protokoll und EnEV	2
1.2	Vermeiden von Bauschäden	2
1.3	Funktionssicherheit der Lüftungsanlage	3
2	Anforderungen und Normen	4
2.1	DIN-EN 13829 Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden mit dem Differenzdruckverfahren 4	4
2.2	Anforderungen an die Luftdichtheit	5
2.2.1	DIN 4108-7	5
2.2.2	Anforderungen nach EnEV und Passivhausinstitut	6
3	Das BlowerDoor Messverfahren (DIN EN 13829)	7
3.1	Das Messprinzip	7
3.2	Vorbereitung der Messung	8
3.3	Wahl des Messzeitpunktes	9
3.4	Messziel und die Wahl des Messverfahren	10
3.5	Verfahren der eigentlichen Messung	11
3.5.1	Gebäudevorbereitung für das Verfahren A	11
3.5.2	Leckagesuche	12
3.5.3	Aufnahmen der Wetterbedingungen	13
3.5.4	Aufnahmen einer Messreihe	13
4	Betrachtung der BlowerDoor Messung auf Genauigkeit	14
	Quellen- und Abbildungsverzeichnis	19
4.1	Quellenverzeichnis	19
4.2	Abbildungsverzeichnis	19
4.3	Tabellenverzeichnis	19

1 Gründe für Luftdichtheitsmessungen

1.1 Kyoto Protokoll und EnEV

In dem Protokoll von Kyoto hat sich die internationale Staatengemeinschaft erstmals auf verbindliche Handlungsziele und Umsetzungsinstrumente für den globalen Klimaschutz geeinigt. Um die weitere Erwärmung der Erdatmosphäre aufzuhalten wurde beschlossen, dass alle Vertragspartner des Kyoto-Protokolls bis 2012, ihre Treibhausgaskonzentrationen um 5% des Niveaus von 1990 senken [1].

Um dieses Ziel umsetzen zu können hat der Gesetzgeber in Deutschland am 16.11.2001 die Energieeinsparverordnung (EnEV) beschlossen, um den Kohlendioxidausstoß (CO₂) zu vermindern.

Bei der Bestimmung der Wärmeverluste eines Gebäudes nach der EnEV werden auch die Lüftungswärmeverluste berücksichtigt.

Um diese Lüftungswärmeverluste genau bestimmen zu können oder um die Modifikationsbeiwerte bei dem vereinfachten Verfahren herabsetzen zu können ist eine Luftdichtheitsmessung nach EnEV Anhang 4 notwendig [2].

1.2 Vermeiden von Bauschäden

Durch unsachgemäßes Einbringen der luftdichten Ebene, Überschneidung der Baugewerke oder Benutzen falscher Komponenten kommt es immer wieder zu größeren Beschädigungen der luftdichten Ebene.

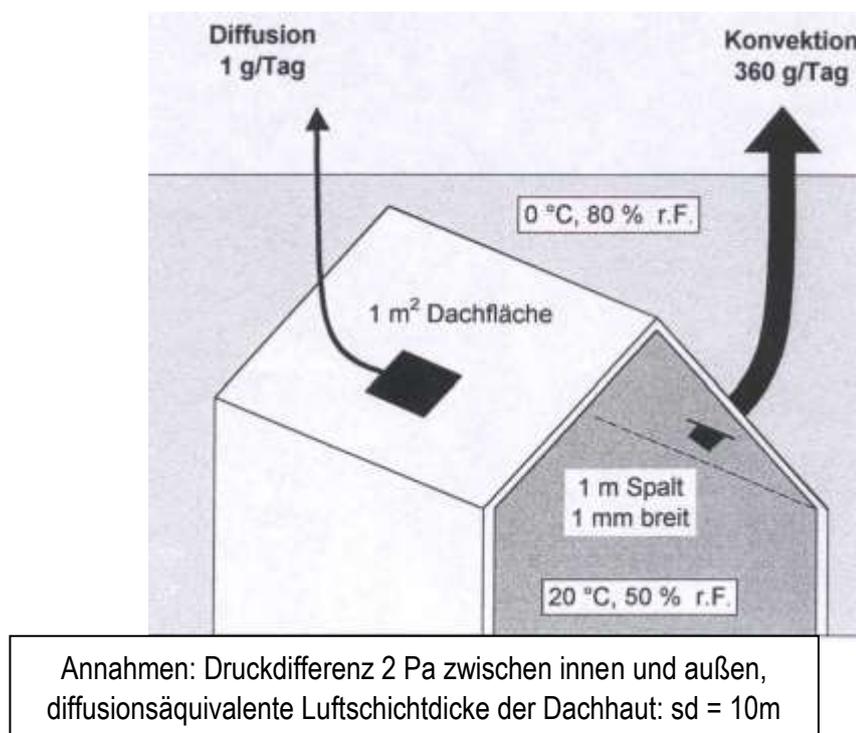


Abbildung 1-1 Feuchteschäden durch Konvektion

Da diese Schäden einen erheblichen Einfluss auf die Konvektion eines Gebäudes haben, sollten diese Leckagen möglichst frühzeitig aufgedeckt werden. Durch einen BlowerDoor Test können diese mit verschiedenen Verfahren relativ schnell geortet werden.

1.3 Funktionssicherheit der Lüftungsanlage

Gebäude die in mit einer Lüftungsanlage ausgestattet sind haben besondere Anforderungen an die Luftdichtheit.

Leckagen in der Gebäudehülle können Fehlströme verursachen, die die Gebrauchstauglichkeit einer Lüftungsanlage unwirksam machen. Hat ein Gebäude zu viele Leckagen kann die Luft nicht über den vorgesehenen Weg strömen. Hier ist es sinnvoll einen Luftdichtheitstest durchzuführen um die Leckagen zu orten und danach die Fehlstellen nachzuarbeiten.

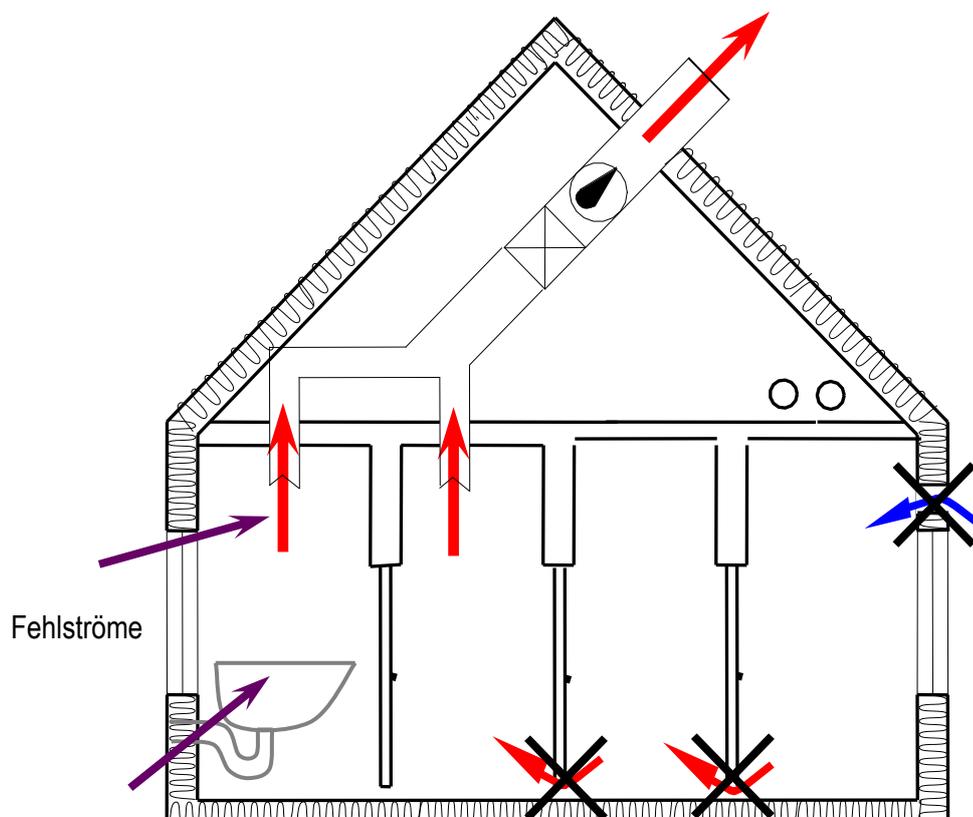


Abbildung 1-2 Funktionsstörung der Lüftungsanlage aufgrund von Fehlströmen

2 Anforderungen und Normen

2.1 DIN-EN 13829 Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden mit dem Differenzdruckverfahren

Den Inhalt der DIN-EN 13829 hat Stephan Weinhold in seiner Diplomvorbereitenden Hausübung zusammengefasst:

„Die Messungen der Luftdurchlässigkeit nach dem Differenzdruckverfahren erfolgt nach der DIN EN 13829 vom Februar 2001 „Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden“. Dieses Dokument modifiziert EN ISO 9972 :1996 "Wärmeschutz - Bestimmung der Luftdichtheit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren" und ist Teil einer Normenreihe, die Prüfverfahren zum wärmetechnischen Verhalten von Gebäuden und Gebäudeteilen zum Gegenstand hat.

Diese DIN kann benutzt werden,...

- *um die Luftdurchlässigkeit eines Gebäudes oder Gebäudeteils zu messen, um eine Luftdichtheitsanforderung zu erfüllen,*
- *Um die relative Luftdurchlässigkeit verschiedener ähnlicher Gebäude oder Gebäudeteile zu vergleichen.*
- *um die Undichtigkeiten zu finden und*
- *um die Verringerung der Luftdurchlässigkeit zu bestimmen, die durch einzelne, nacheinander ausgeführte Verbesserungsmaßnahmen an einem bestehenden Gebäude oder Gebäudeteil erreicht wurde.*

Gemessen werden kann der Luftstrom durch die Gebäude von außen nach innen oder umgekehrt. Also mit Unter- oder Überdruck in Gebäuden oder Gebäudeteilen.

*Ideelle Messbedingungen/Wetterverhältnisse sind geringe Temperaturunterschiede und niedrige Windgeschwindigkeiten. (Einleitung und 5.1.4)**

*Diese Norm dient der Bestimmung der Luftundichtigkeit von Ein-Zonen-Gebäuden, allerdings können auch Mehr-Zonen-Gebäude durch die Öffnung von Türen etc. in den Zustand von Ein-Zonen-Gebäude überführt werden. (Anwendungsbereich)**

Wichtige Begriffe dieser Norm sind der Leckagestrom V_{50} , also der Volumenstrom durch das Gebäude bei einem Druck von üblicherweise 50Pa (nach 3.1) (10Pa=1mm Wassersäule=1kg Last auf 1m²), der volumenbezogene Leckagestrom bei der Bezugsdruckdifferenz „ n_{50} “ (nach 3.4)* und der nettogrundflächenbezogener Leckagestrom „ w_{50} “ (nach 3.6)* bzw. „NBV“. (...) Zudem geht die DIN EN 13829 im Abschnitt 4.2 noch auf die zu verwendeten Geräte und deren Messgenauigkeit ein. Folgend Geräte werden von der Norm aufgezählt: Luftfördereinrichtung (hier können auch die Lüftungs-, Klima- oder Luftheizungsanlage verwendet werden), Druckmessgerät, Volumenstrom-Messeinrichtung und Thermometer.*

*Den Umfang der Messung gibt die DIN EN 13829 mit den Räumen der Gebäude/Gebäudeteile an, die absichtlich beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet werden, vor. Nach Absprache mit dem Auftraggeber kann der Umfang aber auch variieren. (nach 5.1.2)**

*Der Messzeitpunkt sollte so gelegt werden, dass die Arbeiten an der Gebäudehülle beendet sind, zu reparierende Stellen aber noch gut zugänglich sind. (nach 5.1.3)**

Die Norm beschreibt zwei unterschiedliche Arten von Messungen. Die Verfahren A und B prüfen einmal den Nutzungszustand und einmal die Gebäudehülle. Verfahren A sollte daher dem Zustand entsprechen, indem die Heizungs- oder Klimaanlage benutzt wird und Verfahren B behandelt die Messung, nachdem alle gewollten

Öffnungen verschlossen sind. (nach 5.2.1)*

Allgemeine Aussagen, z. B. vorbereitende Maßnahmen oder zu erwartende Gefahren, zu Bauteilen, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlageanlagen, Luftfördereinrichtungen und Druckmessgeräte finden sich in den Abschnitten 5.2.2 bis 5.2.5.

Einzelne Verfahrensschritte von der vorausgehenden Prüfung über die Temperatur- und Windbedingungen bis zur eigentlichen Messreihe sind im Abschnitt 5.3 genannt, u. a. die Prüfung der gesamten Gebäudehülle auf Leckagen bei der höchsten während der Messung vorgesehenen Druckdifferenz und die Überprüfung der natürlichen Druckdifferenzen vor und nach der Messung, die bestimmt werden und einen bestimmten Betrag nicht überschreiten dürfen. Bei der eigentlichen Messung muss die größte Druckdifferenz mindestens 50 Pa betragen (bei kleinen Gebäuden bis ca. 4000m³ Volumen), aber es wird empfohlen, dass einzelne Messpunkte bis hinauf zu ± 100 Pa genommen werden, da die Genauigkeit der berechneten Ergebnisse mit zunehmender Druckdifferenz steigt.

(...)

Messgenauigkeiten können bei einzelnen Bezugsgrößen eine Unsicherheit bis zu 10% vorliegen. Bei Gesamtunsicherheiten und windigem Wetter können sie bis zu 40% betragen. (nach 8.2 u. 8.3)*

*) Angaben in Klammern beziehen sich auf die Abschnitte in der Norm“ [3].

genauere Ergänzungen und Anmerkungen dieses Auszugs sind im Kapitel 3. zu finden.

2.2 Anforderungen an die Luftdichtheit

2.2.1 DIN 4108-7

In der DIN 4108-7 sind die Anforderungen beschrieben, die ein Gebäude zum bestehen eines Luftdichtheits-tests, erfüllen muss:

Bei einer Gebäudedruckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pascal dürfen folgende Werte nicht überschritten werden:

Gebäude ohne raumluftechnische Anlagen:

- Luftvolumenstrom / Raumlufvolumen: $n_{50} \leq 3 \quad \text{h}^{-1}$
- Luftvolumenstrom / Nettogrundfläche: $w_{50} \leq 7,8 \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$

Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen:

- Luftvolumenstrom / Raumlufvolumen: $n_{50} \leq 1,5 \quad \text{h}^{-1}$
- Luftvolumenstrom / Nettogrundfläche: $w_{50} \leq 3,9 \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$

Hüllflächenbezogener Leckagestrom zur Beurteilung der Gebäudehülle:

- Luftvolumenstrom / Gebäudehülle: $q_{50} \leq 3 \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$

Vgl [4]

Wichtig zu nennen, wähen hier auch noch die beiden Unterpunkte die in der Norm aufgeführt sind:

- "Die Einhaltung der Anforderungen an die Luftdichtheit schließt lokale Fehlstellen, die zu Feuchteschäden infolge von Konvektion führen können, nicht aus.
- Insbesondere bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist eine deutliche Unterschreitung des oben angegebenen Grenzwertes sinnvoll." [4]

Die Norm macht leider keine Angaben dazu wann man den n_{50} und den q_{50} verwenden soll.

Bei normalen Wohngebäuden empfiehlt es sich mit dem Raumlufbezogenen Wert n_{50} zu rechnen. Hat man allerdings eine große Halle mit rechteckiger Grundfläche und großer Höhe, so hat man ein sehr großes Innen-

volumen zu einer verhältnismäßig kleinen Hüllfläche. Dieser Effekt wirkt sich auf die Differenzdruckmessung mit dem Raumlufdbezogenen Wert q_{50} so günstig aus, dass diese Gebäude trotz erheblicher Leckagen, keine Probleme haben die Anforderungen nach DIN 4108-7 zu erfüllen.

Daher ist es ratsam hier mit dem Hüllflächenbezogenen Wert q_{50} zu arbeiten, da dieser ein realistischeres Bild über die Luftdichtigkeit von großen hallenartigen Gebäuden gibt.

2.2.2 Anforderungen nach EnEV und Passivhausinstitut

Nach EnEV gilt für Gebäude (vgl [5]) :

- **ohne** raumluftechnische Anlagen $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$
- **mit** raumluftechnischen Anlagen $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$

Nach den Kriterien des Passivhausinstituts Darmstadt, Dr. Wolfgang Feist gilt (vgl [6]) :

- für Passivhäuser $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

3 Das BlowerDoor Messverfahren (DIN EN 13829)



Abbildung 3-1 Aufbau einer BlowerDoor Messung

3.1 Das Messprinzip

Abbildung 3-2 zeigt den Schnitt eines Gebäudes mit dem Messprinzip. In der Außentür des Erdgeschosses ist die BlowerDoor eingebaut (hier rot gekennzeichnet bzw. der Pfeil, der von innen nach außen weist). Die blauen Pfeile (bzw. die Pfeile die von außen nach innen weisen) kennzeichnen die Leckagen, die bei Unterdruck im Gebäude geortet werden können.

Ermittlung der Luftwechselrate [n_{50}]:

Zur Ermittlung der Luftwechselrate des Gebäudes, wird der durch das Gebläse abgesaugte Volumenstrom bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pascal bestimmt. Der Quotient aus Volumenstrom (am Gebläse abgesaugte Luftmenge) dividiert durch das Luftvolumen des Gebäudes wird als Luftwechselrate [n_{50}] bezeichnet und kann mit der gewünschten Anforderung verglichen werden.

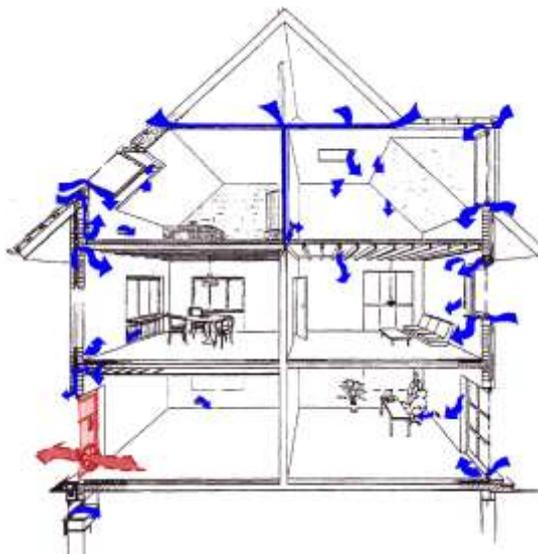


Abbildung 3-2 Darstellung des Messprinzips

3.2 Vorbereitung der Messung

Bevor die Messung auf der Baustelle erfolgt, muss die gewählte Bezugsgröße ermittelt werden. Dafür ist es erforderlich, vermasste Pläne des Gebäudes anzufordern.

Die Messung nach DIN EN 13829 erfasst alle absichtlich beheizten, gekühlten oder mechanisch belüfteten Räume. Um eine möglichst genaue Bezugsgröße ermitteln zu können, ist es wichtig genaue Informationen zu haben welche Gebäudeteile beheizt werden und welche nicht.

- Bezugsgröße: Innenvolumen

Innenvolumen V (DIN EN 13829, 6.1.1) = Luftvolumen des zu untersuchenden Gebäudes bzw. Gebäudeteils

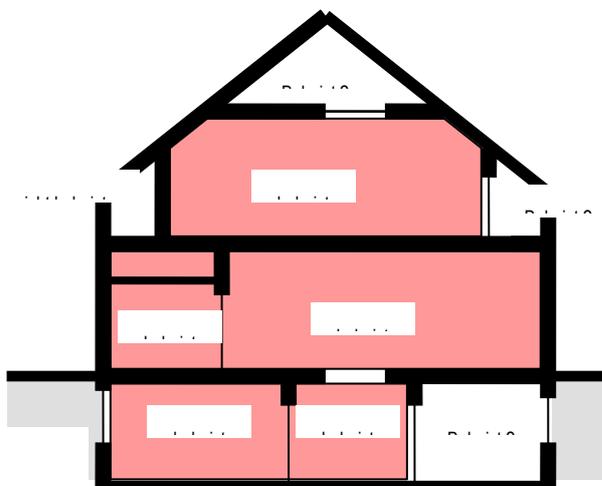


Abbildung 3-3 Zur Messung einbezogenes Innenvolumen (rot)

- Bezugsgröße Nettogrundfläche
Nettogrundfläche AF (DIN EN 13829, 6.1.3) = Gesamtfläche aller Böden, die zum untersuchten Volumen gehören.

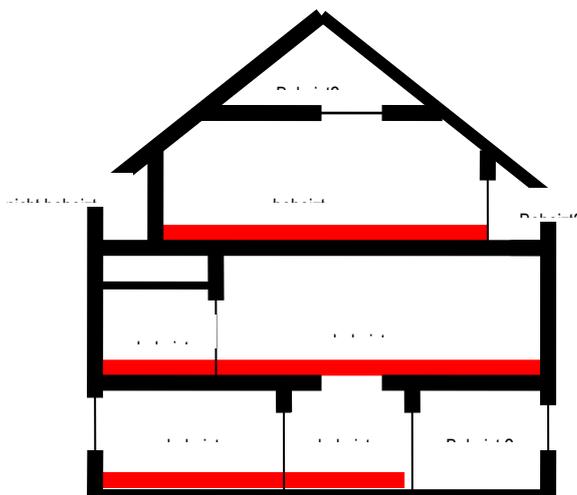


Abbildung 3-4 Zur Messung einbezogene Nettogrundflächen (rot)

- Bezugsgröße Gebäudehüllfläche
Hüllfläche AE (DIN EN 13829, 6.1.2) = Gesamtfläche aller Böden, Wände und Decken, die das untersuchte Volumen umschließen (Innenmaßbezug).

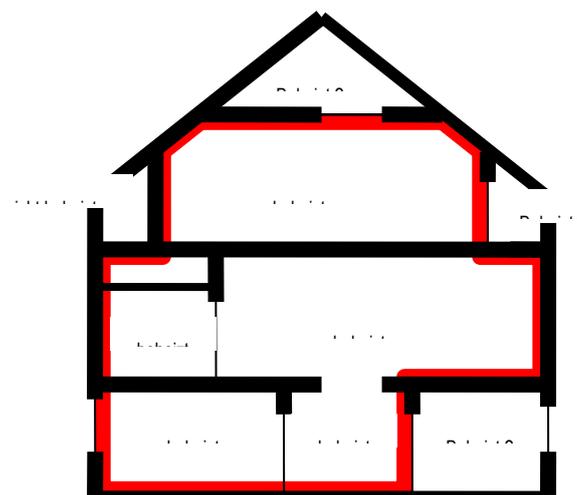


Abbildung 3-5 Zur Messung einbezogene Gebäudehüllfläche (rot)

3.3 Wahl des Messzeitpunktes

Die DIN EN 13829 schreibt wie in Kapitel 2.1 beschrieben vor, dass die Messung erst nach der Fertigstellung der Gebäudehülle stattfinden kann. Es ist empfehlenswert, dass zum Messtermin möglichst keine Handwerker in dem zu messenden Gebäude sind, da diese durch unerlaubtes Öffnen und Schließen der Türen und Fenster die Messung verfälschen oder in die Länge ziehen. Des Weiteren sollte jemand im Haus sein, der Schlüssel zu Räumen und Anlagen hat.

Dient die Zielsetzung der BlowerDoor Messung der Qualitätssicherung sollte man die BlowerDoor Messung

direkt nach der Ausbildung der luftdichten Ebene (s. Abb. 3-6) durchführen, da in diesem Zustand, Leckagen schnell geortet und ohne großen Aufwand nachgearbeitet werden können. Dieser Test darf jedoch nicht zum EnEV-Nachweis und zur Erfüllung der Anforderungen nach DIN 4108-7 hinzugezogen werden. Aus diesem Grund wird in der Praxis dieser sinnvolle Messung des Gebäudes im Bauzustand jedoch selten durchgeführt.



Abbildung 3-6 optimaler Messzustand zur Qualitätssicherung

3.4 Messziel und die Wahl des Messverfahren

Es gibt zwei Arten der Messung, die abhängig von deren Ziel unterschieden werden.

Es gibt das Verfahren A und das Verfahren B. Für beide Arten sind unterschiedliche Gebäudevorbereitungen notwendig. Für die Anforderungen nach der DIN 4108-7 und der EnEV ist nach dem FLIB- Dachverband und dem Beiblatt zur DIN EN 13829 nur das Verfahren A zulässig. Da hier alle Lüftungswärmeverluste mit einbezogen werden. Im Verfahren B wird nur die Gebäudehülle im Nutzungszustand gemessen, um z.B. die Arbeiten der Baufirmen zu kontrollieren. Dies bedeutet, dass Katzenklappen oder Briefkastenschlitze vorübergehend abgedichtet werden dürfen.

Verfahren A Prüfung des Gebäudes im Nutzungszustand	Verfahren B Prüfung der Gebäudehülle
<u>EN 13829:</u> Der Zustand der Gebäudehülle sollte dem Zustand entsprechen, in dem Heizungs- oder Klimaanlage benutzt werden. Verschließbare Öffnungen schließen – keine Abdichtung	<u>EN 13829:</u> Alle einstellbaren Öffnungen schließen . Alle absichtlich vorhandenen Öffnungen in der Gebäudehülle abdichten .
<u>Beiblatt zur DIN EN 13829 (5.2.1)</u> Nachweis der DIN 4108-7, der EnEV usw.	<u>Beiblatt zur DIN EN 13829 (5.2.1)</u> Nicht zur Erfüllung von Grenzwerten der DIN 4108-7, EnEV usw.

Tabelle 3-1 Vergleich von Verfahren A und Verfahren B

3.5 Verfahren der eigentlichen Messung

Sobald alle Vorinformationen eingeholt sind, notwendige Berechnungen gemacht worden sind und ein Messverfahren gewählt worden ist, kann mit der Messung auf der Baustelle begonnen werden.

3.5.1 Gebäudevorbereitung für das Verfahren A

abdichten	offen	Nutzungszustand auf „aus“ / „null“ / „zu“ stellen
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kanalentlüftungsventile (im beheiztem Bereich) ➤ Erdwärmetauscher (Zuluft Lüftungsanlage) ➤ Zu- / Abluftventile (Zu- / Abluft Lüftungsanlage) ➤ Fehlender Fenstergriff 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Schlüssellöcher ➤ Rollladengurtdurchführungen ➤ Leerrohre zu unbeheizten Bereichen ➤ Innenraumtüren 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dunstabzugshaube ➤ Bodenluke zum unbeheizten Spitzboden ➤ Zuluftelemente (mech. Abluftanlage) ➤ Briefkasteschlitz ➤ Katzenklappe
Weitere Hinweise siehe Beiblatt zur DIN EN 13829, 5.1.1 und Anhang 4		

Tabelle 3-2 Hinweise zur Gebäudevorbereitung

3.5.2 Leckagesuche

Zuerst wird eine Leckagesuche bei 50 Pascal Unterdruck gemacht, sie dient dazu größere Leckagen und fehlerhafte bzw. provisorische Abdichtungen zu finden.

Sinnvolle Methoden zur Ortung sind hier.

- Das Fühlen per Hand
- Rauchstifte
- Anemometer
- Nebelgeneratoren
- Thermografiekamera

Die gefundenen Leckagen müssen dokumentiert werden.

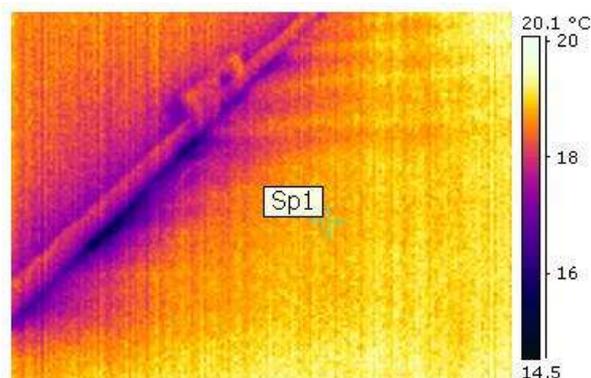


Abbildung 3-7 Leckagesuche mit der Thermografiekamera

2.2.4 Ergänzungsmessungen zur Blowerdoor-Methode/Lecksuche

Leckverdächtige Stellen, also Fugen, Anschlüsse und Durchdringungen werden beim höchsten zu erwartenden oder bei 50Pa Druck mit einem Luftgeschwindigkeitsmessgerät (Anemometer) abgesucht.

Eine einfachere Methode ist das Prüfen mit den Fingern und die Suche mittels Rauchbeimischung. Dies geschieht mit einem „Räucherstäbchen“ oder einer Nebelmaschine, die das ganze Haus einnebelt und Luftundichtigkeiten außen sichtbar werden lässt.



Bild 2.3 Räucherstäbchen, aus [3]

Bild 2.4 Thermografie, aus [4]

Bild 2.5 Anemometer, a
l]



Etwas aufwendiger und nur bei hohen Temperaturunterschieden, wie sie bei beheizten Gebäuden im Winter auftreten, ist die Dokumentation mittels Thermografiebildern, die Temperaturunterschiede in verschiedenen Farben darstellen.

Um bestimmte Zonen, z. B. Dachgeschosse, Spitzböden oder Kniestöcke, besser bewerten zu können, gibt es noch abgewandelte Blower Door-Messverfahren mit den Namen „Adding A Hole“ und „Opening A Door“ (aus [3]).

3.5.3 Aufnahmen der Wetterbedingungen

Die Innen- und Außentemperatur werden aufgenommen, da diese zur Dichtekorrektur der Luftdrücke erforderlich sind.

Auch die Windgeschwindigkeit bzw. die Windstärke muss aufgenommen werden. Eine BlowerDoor Messung darf nur bis Windstärke 3 durchgeführt werden. Die Windstärke wird später zur Ermittlung des Messfehlers herangezogen.

3.5.4 Aufnahmen einer Messreihe

▪ Natürliche Druckdifferenz

Die Druckdifferenz zwischen Innen und Außen wird direkt vor der Messreihe aufgenommen. Die Differenz von Δp_{innen} und $\Delta p_{\text{außen}}$ muss vom Betrage her kleiner als 5 Pascal sein. Dabei muss natürlich die Gebläseöffnung verschlossen sein.

▪ Aufnahmen der Messpunkte

Manuelles Verfahren:

Die Gebläsekappe wird entfernt. Nun kann der erste Messpunkt aufgenommen werden, man steuert mit der BlowerDoor einen Unter bzw. Überdruckwert von etwa 10 Pa an. hat sich dieser Druck einigermaßen stabilisiert liest man zum einen die genaue Druckdifferenz ab und zum anderen den Volumenstrom V der durch das Gebläse gefördert wird um diese Druckdifferenz zu erzeugen.

Auf diese Weise verfährt man mit mind. 4 weiteren Messpunkten bei etwa 20, 30, 40 und mind. 50 Pa liegen sollen. Ein weiterer sechster Messpunkt bei ca. 60 Pa ist empfehlenswert. Dies macht man einmal mit einer Überdruck und einmal mit einer Unterdruckmessreihe.

Diese Werte werden in eine Auswertungssoftware eingelesen, die eine Korrelationsgerade aus den Punkten erstellt. Von dieser Gerade kann der exakte V_{50} abgelesen werden.

$$n_{50} = V_{50} / V \quad V = \text{einberechnetes Innenvolumen}$$

$$w_{50} = V_{50} / AF \quad AF = \text{Nettogrundfläche}$$

$$q_{50} = V_{50} / AE \quad AE = \text{Gebäudehüllfläche}$$

Softwareunterstütztes Verfahren:

Bei diesem bequemen Verfahren wird die Messung direkt mit dem Laptop gesteuert. Die Messpunkte werden automatisch angefahren und eingelesen. Der große Unterschied zu dem manuellen Verfahren ist der, dass pro Druckdifferenz nicht nur ein Punkt aufgenommen wird sondern um die 30 aus denen dann ein Mittelwert gebildet wird.

- Natürliche Druckdifferenz

Die Druckdifferenz zwischen Innen und Außen wird auch nach der Messreihe wieder aufgenommen. Die Differenz von Δp_{innen} und $\Delta p_{\text{ausßen}}$ muss vom Betrage her kleiner als 5 Pascal sein. Dabei muss die Gebläseöffnung natürlich wieder verschlossen werden.

4 Betrachtung der BlowerDoor Messung auf Genauigkeit

Die BlowerDoor Messung hängt von vielen Unsicherheitsfaktoren ab z.B. der Volumenberechnung oder dem Wind der den Außendruck verfälscht. Früher wurden diese Ungenauigkeiten nicht betrachtet. Der Wert der abgelesen wurde galt. Auch die Norm hat hier keine genauen Angaben gemacht. Mit der Einführung der DIN EN 13839 wurde nur noch aufgenommen, dass eine Messfehler protokolliert werden muss. Es wird hier allerdings nicht weiter erläutert wie dieser errechnet wird und ob er zur Einhaltung der Grenzwerte nach EnEV und DIN 4108 zur Kenngröße hinzu addiert werden muss. Daher wurden im Beiblatt zur DIN EN 13829 einige Richtlinien zu dieser Problematik gemacht.

Diese sind hier aufgeführt:

„8.1 ALLGEMEIN

Ist der gemessene Wert und die daraus ermittelte Kenngröße ohne die Fehlerbetrachtungen kleiner / gleich als der von einer Norm / Verordnung (z. B. EnEV, DIN 4108-7) geforderte Mindestwert, dann gilt die Anforderung als erfüllt.

Beispiel:

Ermittelter n_{50} Wert: $2,9 \text{ h}^{-1} \pm 10\%$ Grenzwert z.B. lt. DIN 4108-7 vom August 2001 ist $\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$. Der ermittelte Wert ist ohne die Fehlerbetrachtung kleiner als der in der Norm geforderte Grenzwert. Die Anforderungen bezüglich der Kenngröße n_{50} sind damit erfüllt. Die Unsicherheiten der eingesetzten Messsysteme und weitere Einflußgrößen können 8.3 entnommen werden.

8.2 BEZUGSGRÖSSE

Erläuterung:

Für die Ermittlung von Innenvolumen, Hüllfläche und Nettogrundfläche wird eine in 8.3 empfohlene typische Unsicherheit angenommen. Diese wird bei der Berechnung der abgeleiteten Größen mittels Fehlerfortpflanzung berücksichtigt.

8.3 GESAMTUNSICHERHEIT

Anforderung der DIN EN 13829: „Für jede abgeleitete Größe muss eine Schätzung ihres Vertrauensbereiches in die Auswertung einbezogen werden.“ Da die Gesamtunsicherheit keinen Einfluss auf die Erfüllung von Grenzwerten hat, kann sie durch ein stark vereinfachtes Rechenverfahren ermittelt werden. Die Gesamtunsicherheit (Fehler h) der abgeleiteten Größen, n_{50} , q_{50} , w_{50} setzt sich zusammen aus dem Fehler der Volumenstrommessung bei 50 Pascal V_{50} (Fehler f) und dem Fehler, der bei der Ermittlung der Bezugsgröße (Fehler g) entsteht. Zur Ermittlung der einzelnen Fehler kann folgende vereinfachte Formel herangezogen werden:

$$f = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2}$$

$$h = \sqrt{f^2 + g^2}$$

a [%] Fehler der Volumenstrommessung nach Herstellerangaben.

Fehlerbereich: $a = 4\%$ bis 7% .

b [%] Fehler bei der Bestimmung des Gebäudedruckes.

Fehlerbereich: $b = 1$ bis 5%

(z.B. $b = 1\%$ bei elektronischen Druckmessgeräten, $b = 3\%$ bei analogen Druckmessgeräten).

c [%] Fehler aufgrund von Windeinflüssen. Siehe Tabelle Anhang 4.

Fehlerbereich: $c = 0\%$ bei Windstille, $c = 3\%$ z.B. bei leichtem Wind (weitere Werte in Anhang 4).

d [%] Fehler aufgrund des barometrischen Druckes des Standortes.

Fehlerbereich: $d = 2\%$ wenn barometrischer, absoluter Druck eingegeben wird (der meteorologische wäre falsch), $d = 5\%$ wenn Standardbedingungen eingegeben werden.

e [%] Fehler aufgrund keiner Mittelwertbildung.

Fehlerbereich: $e = 0\%$ wenn der Mittelwert einer Unterdruck- und Überdruckmessung herangezogen wird, $e = 7\%$ wenn nur eine Messung herangezogen wird.

g [%] Fehler aus der Ermittlung der Bezugsgröße Fläche oder Volumen. Dieser Fehler setzt sich zusammen aus den Maßtoleranzen zwischen den Angaben in den Plänen und der Realität sowie den Zweifelsfällen, ob die Anrechenbarkeit bestimmter Flächen und Volumina richtig ist.

Fehlerbereich: $g = 3\%$ bei genauer Bestimmung der Bezugsgrößen, $g = 6\%$ bei stichprobenhafter Kontrolle der Bezugsgrößen, $g = 12\%$ bei Abschätzung des Innenvolumens über das Bruttovolumen. "[7]

Wie in diesem Auszug erwähnt, ist dieses Berechnungsverfahren stark vereinfacht und dient nur zur Angabe im Protokoll, hat aber keinen Einfluss auf die Einhaltung der Werte nach DIN

4108-7 oder der EnEV. Der Maximalfehler nach diesem groben Ermittlungsverfahren liegt etwa bei 21%.

In der Regel liegen die Messfehler nach dieser Fehlerbetrachtung bei ca. $\pm 9 - 13\%$ (Erfahrungswerte der Ingenieurgemeinschaft Bau+ Energie+ Umwelt).

Da die Nacharbeiten an der Gebäudehülle teilweise mit sehr hohen Kosten verbunden ist, sollte man dieser Fehlerbetrachtung ein großes Augenmerk schenken. Denn meistens wird nur darauf geachtet ob die Anforderungen der Norm eingehalten sind oder nicht. Wenn z.B.: ein n_{50} von $\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$ gefordert wird und im Gebäude dann ein Wert von $3,12 \text{ h}^{-1}$ mit einem Messfehler von $\pm 12\%$ gemessen wird, sollte man sich schon Gedanken über die Genauigkeit einer solchen Messung machen. Bevor man die für die luftdichte Ebene verantwortlichen Gewerke in die Verantwortung zieht. Die Fehlertoleranz dieser Messung liegt in diesem Fall nämlich zwischen $3,5 \text{ h}^{-1}$ und $2,75 \text{ h}^{-1}$.

Geht man von der Fehlerbetrachtung des EN13829 Beiblattes aus, bedeutet dies auch, dass der Fehler mit der Höhe Kenngröße steigt bzw. fällt, ob dies in der Realität auch so ist, wird meines Wissens nirgendwo dargestellt.

Abschließend ist allerdings zu sagen, dass das BlowerDoor- Verfahren ein überaus geeignetes Mittel ist, um schnell und anschaulich Luftleckagen aufzudecken und eine gute Einschätzung der Gebäudedichtheit gibt.

3.3.1.1 Spezielle Messmethoden

Bevor nun auf die Lösung der Probleme eingegangen wird, werden noch verschiedene Messmethoden vorgestellt, die entwickelt wurden sind, um Leckagen und Leckagenwege zu quantifizieren. Die folgenden Methoden sind alle dem Dokument [22] „Blower Door-Messung - erweiterte Meßmethoden“ entnommen und tlw. genauer beschrieben oder gekürzt wiedergegeben.

Zu Anfang werden die Messmethoden, die zwei Blower Door Geräte benötigen, vorgestellt.

Die **Schutz-zonen- bzw. Guard-Zone-Methode** eignet sich dafür, einzelne Bauteile aus der Messung auszugrenzen oder diese einzeln zu beurteilen. Mit einem Ventilator wird die Messung im üblichen Sinn durchgeführt und mit dem zweiten Ventilator wird die Druckdifferenz zu nicht untersuchten Gebäudeteilen auf den Wert Null

eingespielt. So entstehen über den nicht relevanten Teil keine Volumenströme.

Am Beispiel der Ermittlung der Volumenströme über eine Innenwand wird das Verfahren zur Beurteilung einzelner Bauteile erläutert. Um die Volumenströme über die Innenwände der Zone 1 (V_{Wand}) bestimmen zu können, reicht es nicht, mit nur einem Ventilator zu arbeiten.

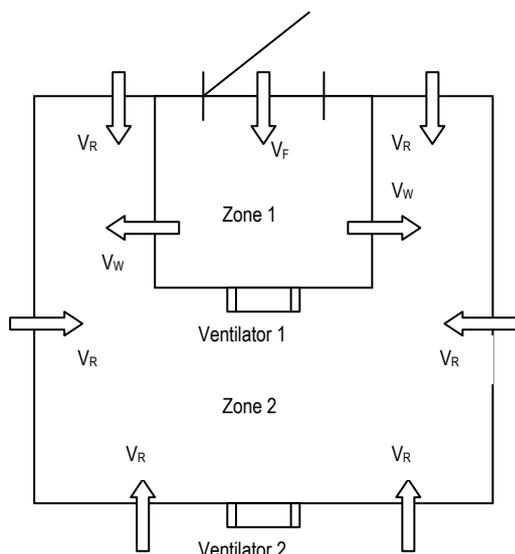


Bild 3.9 Zwei-Gerät-Messverfahren

Würde nur Ventilator 1 Druckdifferenzen erzeugen, würden die Volumenströme V_{Fenster} und V_{Wand} ermittelt werden. Würde nur Ventilator 2 Druckdifferenzen erzeugen, müsste zuerst unterschieden werden, wie Zone 1 eingestellt ist. Die Verbindung von Zone 1 und 2 muss immer geschlossen sein. Aber das Fenster könnte offen oder geschlossen sein. Im geschlossenen Zustand wäre V_W nur das, was über V_F nachströmen würde. Daraus folgt, dass das Fenster geöffnet sein muss. Diese Messung, die bereits Bestandteil der Ermittlung ist, beinhaltet V_W und V_R und bekommt den Namen $V_{1,1}$.

Eine zweite Messung muss nun die Volumenströme über die restlichen Wege V_R ermitteln, damit diese von $V_{1,2}$ abgezogen werden können. Diese zweite Messung beinhaltet den gleichzeitigen Einsatz von Ventilator 1 und 2. Beide Ventilatoren laufen so, dass keine Druckdifferenzen zwischen Zone 1 und 2 entstehen.

Ventilator 1 fördert dann den Volumenstrom V_F . Diese Messung heißt V_2 . Ventilator 2 fördert den Volumenstrom über die Restfläche V_R und gleichzeitig den Volumenstrom vom Ventilator 1. Diese Messung heißt $V_{1,2}$.

Nun liegt das Ergebnis auf der Hand. Die Subtraktion von $V_{1,2}$ und V_2 bringt V_R . Und die Subtraktion von $V_{1,1}$ und V_R bringt V_W . Das Ergebnis noch einmal übersichtlich als Formel dargestellt:

$$V_W = V_{1,1} - (V_{1,2} - V_2) \quad (\text{L.0})$$

Da aber bei jedem Volumenstrom Unsicherheitsbereiche vorhanden sind, besteht die Möglichkeit, dass diese sich im Endergebnis ergänzen und das Ergebnis unbrauchbar wird.

Etwas besser geeignet für solche Messungen ist die **Deduktionsmethode**. Bei diesem Verfahren kommen ebenfalls zwei Blower Door Geräte zum Einsatz. In der Zone deren Trennbauteile interessant sind, also in der Zone 1, wird eine Druckdifferenz von 50 Pa aufgebracht. Im restlichen Gebäude wird eine Kennlinie mit den Druckdifferenzen von ca. 5 bis 45 oder 50 Pa erstellt. Aus diesen Daten kann dann die Volumenstrom-Druckdifferenz-Kennlinie ermittelt werden. Für die genauere Vorgehensweise wird auf [22] verwiesen.

Mit nur einem Blower Door kann die „**Opening A Door**“-Methode durchgeführt werden. Diese Methode eignet sich für alle seriellen Leckagen¹ durch Abseiten, Garagen, Keller oder Dachböden. Also für alle mittels einer Tür oder Luke abschließbaren Volumen. Für die „Opening A Door“-Methode müssen zwei Messungen durchgeführt werden.

¹ Leckagen, bei denen die Luft durch min. zwei voneinander unabhängige Schichten strömt

Bei der ersten Messung, wo die Luke geschlossen ist, werden die Werte der Druckunterschiede Δp_{HZ} und sowie der Volumenstrom V_{Gesamt_1} bei einem Unterdruck von 50 Pa zwischen Haus und Umgebung erfasst. Bei der zweiten Messung mit offener Luke werden die Werte Δp_{HU} und V_{Gesamt_2} bei einem Unterdruck von 50 Pa zwischen Haus und Umgebung erfasst. Nun wird $\Delta V = V_{\text{Gesamt}_2} - V_{\text{Gesamt}_1}$ ermittelt. Der Volumenstrom $V_{\text{HZ},50}$ ergibt sich wie folgt:

$$V_{\text{HZ},50} = \frac{\Delta V}{\Delta p_{\text{HZ}}^n \left(\frac{1}{\Delta p_{\text{ZU}}^n} - \frac{1}{\Delta p_{\text{HU}}^n} \right)} \quad (\text{L.1})$$

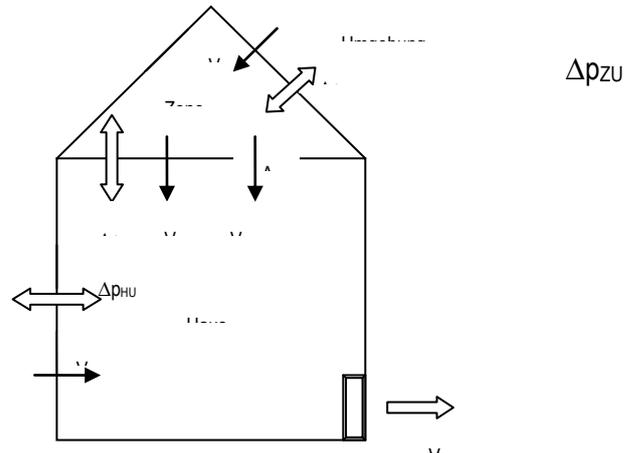


Bild 3.10 Fin-Gerät-Messverfahren [22]

Der Leckagestrom $V_{\text{ZU},50}$ und der Leckagestrom durch die gesamte Leckage können mit folgenden Formeln bestimmt werden.

$$V_{\text{ZU},50} = V_{\text{HZ},50} \left(\frac{\Delta p_{\text{HZ}}}{\Delta p_{\text{ZU}}} \right)^n \quad (\text{L.2})$$

$$V_{\text{FP},50} = V_{\text{HZ},50} \left(\frac{\Delta p_{\text{HZ}}}{\Delta p_{\text{HU}}} \right)^n \quad (\text{L.3})$$

Diesen Formeln liegen Randbedingungen und Annahmen zugrunde, die in [22] näher erläutert sind. Der Wert n (Druckexponent der Leckage) kann mit 6,5 angenommen werden. Grundlegend kann gesagt werden, dass bei allen Formeln die Volumenströme im umgekehrten Verhältnis zu den Druckdifferenzen stehen.

Bei diesem Verfahren gibt es zu beachten, dass die Druckdifferenz $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$ und $\Delta p_{\text{HZ}} = 0 \text{ Pa}$ bei der zweiten Messung betragen sollten.

Das vorletzte Verfahren nennt sich „**Adding A Hole**“ und ist bei den gleichen Bauteilen wie „Opening A Door“ anzuwenden. Der Unterschied besteht darin, dass keine Öffnung zu dem Raum vorhanden sein muss. Die Verbindung zwischen den einzelnen Zonen wird durch ein Loch geschaffen. Die erste Messung dient der Erfassung der Werte $\Delta p_{\text{HU},1}$, $\Delta p_{\text{HZ},1}$ und $\Delta p_{\text{ZU},1}$, wobei $\Delta p_{\text{HU},1} = 50 \text{ Pa}$ und $\Delta p_{\text{HZ},1} \geq 15 \text{ Pa}$ und die Summe von $\Delta p_{\text{HZ},1}$ und $\Delta p_{\text{ZU},1}$ gleich $\Delta p_{\text{HU},1}$ sein sollte. Wenn $\Delta p_{\text{HZ},1}$ nicht den empfohlenen Wert erreicht, kann bereits vor der Messung ein Loch geschaffen werden, um den Wert anpassen zu können. Ansonsten wird nun ein Loch geschaffen, dessen Fläche bestimmt und geprüft, ob $\Delta p_{\text{HU},1}$ noch den Wert vom geschlossenen Zustand hat. Die jetzt ermittelten Werte von $\Delta p_{\text{HZ},2}$ und $\Delta p_{\text{ZU},2}$ sind darauf zu kontrollieren, ob die Änderung Δp_{HZ} mindestens 10 Pa und $\Delta p_{\text{HZ},2}$ noch mindestens 5 Pa beträgt. Wenn dies nicht der Fall ist, ist bei der ersten Kontrolle das Loch zu vergrößern und bei der zweiten Kontrolle das Loch zu verkleinern.

Folgende Gleichungen dienen der Bestimmung der gesuchten Größen:

$$V_{\text{HZ},50} = \frac{A_L C_L \Delta p_{\text{HU}}^n}{\left(\frac{\Delta p_{\text{HZ},1}^n}{\Delta p_{\text{HZ},2}^n} \right) \left(\frac{\Delta p_{\text{ZU},2}^n}{\Delta p_{\text{ZU},1}^n} \right) - \Delta p_{\text{HZ},2}^{(n-n_L)}} \quad (\text{L.4})$$

$$V_{\text{ZU},50} = V_{\text{HZ},50} \left(\frac{\Delta p_{\text{HZ},1}}{\Delta p_{\text{ZU},1}} \right)^n \quad (\text{L.2.1})$$

$$V_{\text{FP},50} = V_{\text{HZ},50} \left(\frac{\Delta p_{\text{HZ},1}}{\Delta p_{\text{HU},1}} \right)^n \quad (\text{L.3.1})$$

Das letzte Verfahren, das sich aus „Adding A Hole“ entwickelt hat, heißt **„Adding A Hole Plus“**. Diese Weiterentwicklung war notwendig, weil die beiden zuletzt genannten Methoden einige Einschränkungen mit sich führen. Zum einen sind die Druckdifferenzen nicht immer einhaltbar, die Fläche eines geschaffenen Loches ist meist nicht genau zu bestimmen und die Erlaubnis ein „wahrloses“ Loch schaffen zu dürfen, wird oft verwehrt.

Diese Probleme lassen sich tlw. vermeiden, wenn mit vorgefertigten Lochblenden gearbeitet wird. Diese Lochblenden sind ähnlich aufgebaut wie die Reduzierblenden beim Bloor Door Gebläse. Wie o. g. muss beim „Adding A Hole“-Verfahren tlw. ein Loch zur Anpassung von $\Delta p_{HZ,1}$ geschaffen werden. Dieses Loch zu Beginn jeder Messung mittels einer Lochblende immer als definierte Leckage einzusetzen, wird als „Adding A Hole Plus“ (AAH+) bezeichnet. Da auch das „Opening A Door“-Verfahren seine Schwierigkeiten mit sich bringt, können bei der AAH+-Methode auch Gestelle wie beim BlowerDoor Ventilator in Öffnungen eingesetzt werden, um so ein sicheres Ergebnis zu erhalten und nicht mit den Einflüssen einer vielleicht schlecht schließenden Luke leben zu müssen.

Gemessen werden die gleichen Werte wie beim AAH-Verfahren. Die Größe A_L wird durch die Größen $A_{L,1}$ und $A_{L,2}$ ersetzt. Folgende Formel dient der Ermittlung des Leckagestromes über die Wand zwischen der Zone und dem restlichen Gebäude:

$$V_{HZ,50} = \frac{A_{L2} C_{L2} \Delta p_{HU}^n}{\left(\frac{\Delta p_{HZ,1}^n}{\Delta p_{HZ,2}^{n_L}} \right) \left(\frac{\Delta p_{ZU,2}}{\Delta p_{ZU,1}} \right)^n - \Delta p_{HZ,2}^{(n-n_L)}} - \frac{C_{L1} A_{L1} \Delta p_{HU}^n \left(\frac{\Delta p_{HZ,1}}{\Delta p_{HZ,2}} \right)^{n_L} \left(\frac{\Delta p_{ZU,2}}{\Delta p_{ZU,1}} \right)^n}{\left(\frac{\Delta p_{HZ,1}^n}{\Delta p_{HZ,2}^{n_L}} \right) \left(\frac{\Delta p_{ZU,2}}{\Delta p_{ZU,1}} \right)^n - \Delta p_{HZ,2}^{(n-n_L)}} \quad (L.5)$$

(Wenn $A_{L,1} = 0$ ist, muss Gleichung L.4 angewendet werden.)

Quellen- und Abbildungsverzeichnis

4.1 Quellenverzeichnis

Literatur:

- [1] Denkschrift zum Kyoto- Protokoll Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- [2] EnEV – Energieeinsparverordnung, SS 2003, Prof. Dr.-Ing. H.-P. Leimer
- [3] Hausübung von Stephan Weinhold

Richtlinien/Normen:

- [4] DIN 4108 Teil 7
- [5] EnEV vom 16.11.2001
- [6] Kriterien des Passivhausinstituts Darmstadt, Dr. Wolfgang Feist
- [7] Beiblatt zur DIN EN 13829
- [22] Geisler, A., Bolender, T., Hauser, G.
„Blower Door-Messung - erweiterte Meßmethoden“, Nachdruck aus HLH Bd. 48, 1997
www.ibp.fhg.de

4.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1	Feuchteschäden durch Konvektion	<i>Quelle: e-bök Tübingen</i>
Abbildung 1-2	Funktionsstörung der Lüftungsanlage aufgrund von Fehlströmen	<i>Quelle: BlowerDoor Präsentationsunterlagen</i>
Abbildung 3-1	Aufbau einer BlowerDoor Messung	<i>Fotograph: Dipl.Ing. Paul Simons</i>
Abbildung 3-2	Darstellung des Messprinzips	<i>Quelle: BlowerDoor Präsentationsunterlagen</i>
Abbildung 3-3	Zur Messung einbezogenes Innenvolumen	<i>Quelle: BlowerDoor Präsentationsunterlagen</i>
Abbildung 3-4	Zur Messung einbezogene Nettogrundflächen	<i>Quelle: BlowerDoor Präsentationsunterlagen</i>
Abbildung 3-5	Zur Messung einbezogene Gebäudehüllfläche	<i>Quelle: BlowerDoor Präsentationsunterlagen</i>
Abbildung 3-6	optimaler Messzustand zur Qualitätssicherung	<i>Quelle: BlowerDoor Präsentationsunterlagen</i>
Abbildung 3-7	Leckagesuche mit der Thermografiekamera	<i>Thermograph: Roland Glauner</i>

4.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1	Vergleich von Verfahren A und Verfahren B	<i>Quelle: BlowerDoor Präsentationsunterlagen</i>
Tabelle 3-2	Hinweise zur Gebäudevorbereitung	<i>Quelle: BlowerDoor Präsentationsunterlagen</i>