

**UNIVERSITÄT GESAMTHOCHSCHULE KASSEL**  
**FACHGEBIET BAUPHYSIK**  
**UNIV.-PROF. DR.-ING. GERD HAUSER**

**Quantifizierung einzelner Leckagen und Leckagewege  
bei Gebäuden in Holzbauart**

von

Dipl.-Ing. M. Hall  
Dr.-Ing. A. Geißler  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Hauser

Abschlußbericht – Teil 2

April 2000

**Handbuch zur Durchführung von  
Blower Door-Messungen**

Erweiterte Meßmethoden

AIF–Forschungsvorhaben Nr. 11402N



**Quantifizierung einzelner Leckagen und Leckagewegen  
bei Gebäuden in Holzbauart**

**Teil II**

von

Dipl.-Ing. M. Hall  
Dr.-Ing. A. Geißler  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Hauser

AIF–Forschungsvorhaben Nr. 11402N

Der Bericht umfaßt

36 Seiten Text  
24 Abbildungen  
6 Tabellen

Kassel, den 28. April 2000

(Dipl.-Ing. M. Hall)

(Dr.-Ing. A. Geißler)

(Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Hauser)





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Problemstellung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Das Einzonenmodell . . . . .	3
2.2	Das Mehrzonenmodell . . . . .	3
2.3	Serielle Leckage . . . . .	3
2.3.1	Mathematische Grundlagen . . . . .	3
2.3.2	Welches Bauteil ist luftdichter? . . . . .	4
2.4	Definitionen . . . . .	5
2.4.1	Messung . . . . .	5
2.4.2	Nomenklatur . . . . .	6
2.4.3	Volumenströme . . . . .	6
2.5	Test auf Verbindungen zwischen einzelnen Gebäudebereichen . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Opening A Door</b>	<b>11</b>
3.1	Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	11
3.2	Benötigte Meßausrüstung . . . . .	11
3.3	Test auf Verbindungen . . . . .	11
3.4	Beschreibung . . . . .	12
3.4.1	Beschreibung OAD A . . . . .	12
3.4.2	Beschreibung OAD B und C . . . . .	12
3.5	Vorgehensweise bei einer Unterdruckmessung . . . . .	13
3.5.1	Vorgehensweise OAD A . . . . .	13
3.5.2	Vorgehensweise OAD B und C . . . . .	13
3.6	Auswertung . . . . .	16
3.6.1	Allgemein . . . . .	16
3.6.2	Rechnerische Auswertung OAD A . . . . .	16
3.6.3	Graphische Auswertung OAD A . . . . .	17
3.6.4	Auswertung OAD B . . . . .	18
3.6.5	Auswertung OAD C . . . . .	18
3.7	Interpretation . . . . .	20
3.8	Vor- und Nachteile . . . . .	21
3.9	Wichtige Hinweise . . . . .	21

<b>4 Adding A Hole</b>	<b>23</b>
4.1 Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	23
4.2 Benötigte Meßausrüstung . . . . .	23
4.3 Test auf Verbindungen . . . . .	23
4.4 Beschreibung . . . . .	24
4.5 Vorgehensweise bei einer Unterdruckmessung . . . . .	24
4.6 Auswertung . . . . .	26
4.7 Interpretation . . . . .	27
4.8 Vor- und Nachteile . . . . .	28
4.9 Wichtige Hinweise . . . . .	28
<b>5 Guard Zone</b>	<b>29</b>
5.1 Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	29
5.2 Benötigte Meßausrüstung . . . . .	29
5.3 Test auf Verbindungen . . . . .	29
5.4 Beschreibung . . . . .	30
5.5 Vorgehensweise bei einer Unterdruckmessung . . . . .	30
5.6 Auswertung . . . . .	30
5.7 Interpretation . . . . .	31
5.8 Vor- und Nachteile . . . . .	32
5.9 Wichtige Hinweise . . . . .	32
<b>6 Deduktion</b>	<b>33</b>
6.1 Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	33
6.2 Benötigte Meßausrüstung . . . . .	33
6.3 Test auf Verbindungen . . . . .	33
6.4 Beschreibung . . . . .	34
6.5 Vorgehensweise bei einer Unterdruckmessung . . . . .	34
6.6 Auswertung [1] . . . . .	35
6.7 Interpretation . . . . .	36
6.8 Vor- und Nachteile . . . . .	36
6.9 Wichtige Hinweise . . . . .	36
<b>7 Literatur</b>	<b>37</b>

---

<b>A Beispiele</b>	<b>38</b>
A.1 Beispiel Opening A Door A und Adding A Hole . . . . .	38
A.2 Beispiel Opening A Door B . . . . .	42
A.3 Beispiel Opening A Door C . . . . .	44
A.4 Beispiel Guard Zone . . . . .	48
A.5 Beispiel Deduktion . . . . .	49
<b>B Bild- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>51</b>

# 1 Problemstellung

Für die Standard Blower Door-Messung wird das zu untersuchende Gebäude als ein zusammenhängender Bereich betrachtet, d.h. innerhalb des gesamten Gebäudes wird Druckgleichheit vorausgesetzt (Einzonenmodell). Diese Methode gibt jedoch nur Aufschluß über die Luftdichtheit der gesamten Hülle des untersuchten Bereiches. Oft reicht diese "globale" Aussage jedoch nicht aus, und detailliertere Angaben, zum Beispiel

- Um wieviel kann ein gegebener Volumenstrom reduziert werden, wenn bestimmte Maßnahmen ergriffen werden?
- Wo befinden sich die wesentlichen Leckagen?
- Besteht eine Verbindung zum Nachbarhaus / Nachbarwohnung / Spitzboden / Keller / etc.?
- Wie groß ist die Leckage zum Nachbarhaus / Nachbarwohnung / Spitzboden / Keller / Garage / etc.?
- Wie groß ist der Anteil an dem Gesamtvolumenstrom, der durch Keller oder Spitzboden strömt?
- Wie groß ist der Volumenstrom durch Teilbereiche der Außenwand?
- Wie groß ist der Volumenstrom durch Teilbereiche der Innenwand?
- Wie durchlässig ist das Dach?
- Wie durchlässig sind die Abseiten?

sind wünschenswert.

Diese und weitere Fragestellungen treten immer wieder auf, können jedoch mit einer Standard Blower Door-Messung nicht beantwortet werden. Insbesondere für den Gebäudebestand ist eine detailliertere Information über die Leckageverteilung von Bedeutung. Erst wenn bekannt ist, wo sich die größten Leckagen befinden, können diese gezielt abgedichtet werden.

In vorliegendem Handbuch werden verschiedene Meßmethoden vorgestellt, die mit unterschiedlicher Meßtechnik oben gestellte Fragen beantworten helfen. Die beschriebenen Methoden erlauben im Rahmen von Blower Door-Messungen zusätzliche Informationen über die Leckageverteilung und -wege zu erhalten. Es wird erläutert, bei welchen baulichen Gegebenheiten sie angewendet werden können, wie sie durchgeführt werden und wie die Auswertung erfolgt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Anwendungsbereiche der einzelnen Meßmethoden.

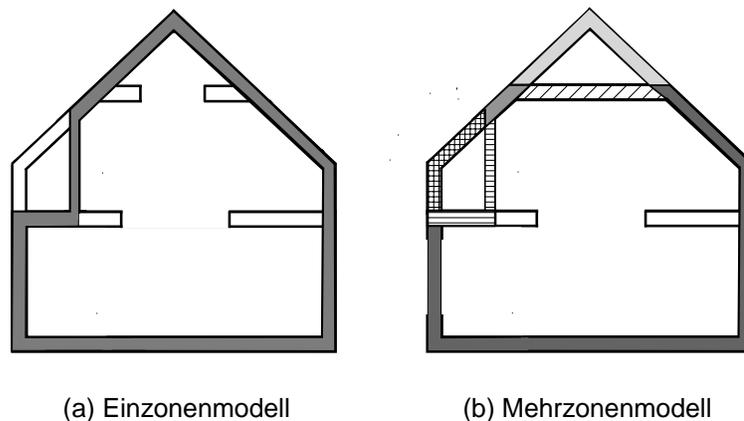
**Tabelle 1:** Anwendungsbereiche der einzelnen Meßmethoden

Interessierender Bereich	Meßmethoden
Gesamtes, freistehendes Gebäude	Standard Blower Door-Messung
Einzelne Räume eines Gebäudes, Innen- und/oder Außenwände	Opening A Door Adding A Hole Guard Zone Deduktion
Reihen-, Mehrfamilienhäuser	Standard Blower Door-Messung Opening A Door Guard Zone Deduktion

## 2 Grundlagen

### 2.1 Das Einzonenmodell

Das zu untersuchende Gebäude wird als ein zusammenhängender Bereich betrachtet, in dem einzelne Räume des Gebäudes durch geöffnete Türen, Klappen oder Luken so in Verbindung stehen, daß innerhalb des gesamten Gebäudes weitgehende Druckgleichheit vorliegt und somit das Gebäude eine Zone bildet (Bild 1a). Dadurch wird eine Luftdurchlässigkeit über die gesamte Gebäudehülle ermittelt. Das Einzonenmodell wird für eine Standard Blower Door-Messung angewendet.



**Bild 1:** Beispiele eines Ein- bzw. Mehrzonenmodelles.

### 2.2 Das Mehrzonenmodell

Das Mehrzonenmodell beschreibt ein Gebäude, das in zwei oder mehrere Bereiche unterteilt ist (Bild 1b). Dies kann durch Schließen bzw. Öffnen von einzelnen Türen, Klappen oder Luken erfolgen. Jeder Bereich bildet eine Zone. Zonen können sowohl einzelne Räume als auch Gebäudebereiche, die mehrere Räume umfassen, sein. Auf diese Weise ist es möglich, die Hüllen einzelner Räume oder Gebäudebereiche auf ihre Durchlässigkeit hin zu untersuchen. Die Meßmethoden Opening A Door, Adding A Hole, Guard Zone und Deduktion kommen bei diesem Modell zum Einsatz.

### 2.3 Serielle Leckage

#### 2.3.1 Mathematische Grundlagen

Unter einer seriellen Leckage ist eine Leckage zu verstehen, bei der die Luft durch mindestens zwei voneinander unabhängige Schichten strömt. Eine serielle Leckage ist z.B. die Verbindung Gebäude/Spitzboden/Umgebung. Dabei sind die Schichten im einfachsten Falle die Kehlbalckendecke und das Dach.

Um die Bezeichnung allgemein zu halten, wird der Spitzboden als Zone bezeichnet, da solch eine Leckagekette Gebäude/Zone/Umgebung an mehreren Stellen im Gebäude auftreten kann, das Prinzip jedoch immer das gleiche ist. Prinzipiell kann auch eine zweischalige Wand als serielle Leckage betrachtet werden.

Ausgehend von der üblichen Näherungsgleichung für die Volumenstrombestimmung durch eine Leckage oder ein Bauteil

$$\dot{V} = C \Delta p^n$$

beruhen die weiterführenden Meßmethoden Opening A Door und Adding A Hole auf der Annahme, daß für eine serielle Leckage, z.B. die Verbindung Gebäude/ Zone/Umgebung der Zusammenhang

$$C \Delta p^n = konst.$$

gilt (Massenerhaltung). Oder, anders ausgedrückt,

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \left( \frac{\Delta p_{23}}{\Delta p_{12}} \right)^n \quad \text{z.B.} \quad \frac{C_{ZU}}{C_{HZ}} = \left( \frac{\Delta p_{HZ}}{\Delta p_{ZU}} \right)^n$$

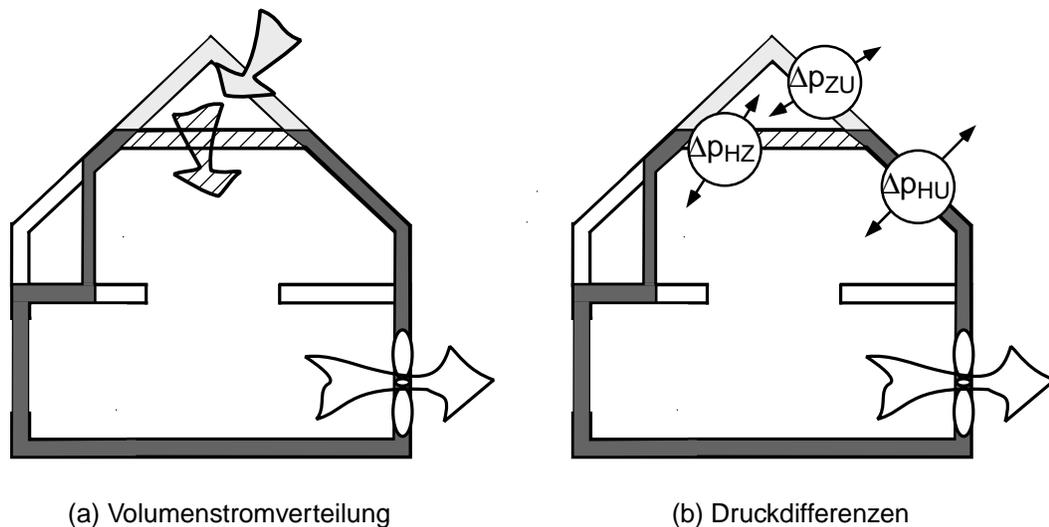
d.h. das Verhältnis der Druckdifferenz zwischen Zone und Umgebung ( $\Delta p_{ZU}$ ) zu der Druckdifferenz Gebäude/Zone ( $\Delta p_{HZ}$ ) ist abhängig von dem Verhältnis der Leckagen zwischen Gebäude/Zone und Zone/Umgebung. Der mit einer Blower Door ermittelte Volumenstrom ist immer der Gesamtvolumenstrom durch eine serielle Leckage. Für die Meßmethoden wird angenommen, daß sich die Charakteristik der Leckagen nicht durch die aufgezwungenen Druckverhältnisse ändert [2].

### 2.3.2 Welches Bauteil ist luftdichter?

An Hand einer seriellen Leckage (Bild 2) soll an dieser Stelle erläutert werden, wie mit Hilfe von Druckdifferenzen Information gewonnen werden kann, wie dicht zwei Bauteile relativ zueinander sind.

Das Gebäude wird bei geschlossener Spitzbodenlücke auf eine Druckdifferenz Gebäude/Umgebung von 50 Pa ( $\Delta p_{HU} = 50$  Pa) gebracht und gehalten. Innerhalb des Gebäudes herrscht weitgehend Druckgleichheit. Besteht eine Verbindungen zwischen Gebäude und Spitzboden, wird sich eine Druckdifferenz Gebäude/Spitzboden kleiner als 50 Pa ( $\Delta p_{HZ} < 50$  Pa) in Abhängigkeit von der Leckageverteilung Dach/Kehlbalkenlage einstellen. Die Bestimmung der Druckdifferenzen zwischen Spitzboden und Umgebung bzw. Gebäude und Spitzboden lassen darauf schließen, wie dicht Dach und Kehlbalkenlage relativ zueinander sind. Die Summe der Druckdifferenzen Gebäude/Spitzboden und Spitzboden/Umgebung ergibt immer die Druckdifferenz Gebäude/Umgebung ( $\Delta p_{HU} = \Delta p_{HZ} + \Delta p_{ZU}$ ) [2].

Folgende Extremfälle verdeutlichen dies unter der Annahme, daß zwischen Gebäude und Umgebung eine Druckdifferenz von 50 Pa ( $\Delta p_{HU} = 50$  Pa) herrscht. Ist die Kehlbalkenlage luftdicht, beträgt die Druckdifferenz Gebäude/Spitzboden ebenfalls 50



**Bild 2:** Beispiel einer seriellen Leckage.

Pa ( $\Delta p_{HZ} = 50$  Pa). Die Druckdifferenz Spitzboden/Umgebung ergibt sich dann zu 0 Pa ( $\Delta p_{ZU} = \Delta p_{HU} - \Delta p_{HZ} = 0$  Pa). D.h., der Spitzboden befindet sich außerhalb der Luftdichtheitsebene. Beträgt dagegen die Druckdifferenz Gebäude/Spitzboden 0 Pa ( $\Delta p_{HZ} = 0$  Pa) ergibt sich die Druckdifferenz Umgebung/Spitzboden zu 50 Pa ( $\Delta p_{ZU} = \Delta p_{HU} - \Delta p_{HZ} = 50$  Pa). In diesem Fall liegt der Spitzboden komplett innerhalb der Luftdichtheitsebene.

Je dichter ein Bauteil ist, um so größer ist die Druckdifferenz über das Bauteil [2].

## 2.4 Definitionen

### 2.4.1 Messung

Unter einer Messung wird im weiteren grundsätzlich die Datenaufnahme einer Druckdifferenz-Volumenstrom-Kennlinie verstanden, z.B. bei einer Unterdruckmessung wird das Gebäude in Anlehnung an die EN 00089005 [3] mit verschiedenen Druckstufen beaufschlagt und dabei die Druckdifferenz Gebäude/Umgebung  $\Delta p_{HU}$  und der entsprechend geförderte Volumenstrom  $\dot{V}$  protokolliert. Anschließend wird mit Hilfe einer Fitfunktion  $\dot{V}(\Delta p_{HU})$  die Druckdifferenz-Volumenstrom-Kennlinie ermittelt und der Volumenstrom für die gewünschte Druckdifferenz Gebäude/Umgebung bestimmt.

Für einige Meßmethoden besteht die Notwendigkeit, auch die Druckdifferenzen Gebäude/Zone  $\Delta p_{HZ}$  und Zone/Zone 2  $\Delta p_{ZZ2}$  in Abhängigkeit von der Druckdifferenz Gebäude/Umgebung zu protokollieren. Für die Auswertung werden Gebäudedruck-Zonendruck-Kennlinien mit Hilfe der Fitfunktionen  $\Delta p_{HZ}(\Delta p_{HU})$  und  $\Delta p_{ZZ2}(\Delta p_{HU})$  erstellt.

Alle Druckdifferenzen müssen offsetkorrigiert werden. Die Aufnahme der Druckdifferenz Gebäude/Umgebung sollte in dem neutralen Druckniveau des Gebäudes, die Druckdifferenzen Gebäude/Zone und Gebäude/Zone 2 sollten direkt an den jeweiligen Trennbauteilen erfaßt werden.

### 2.4.2 Nomenklatur

Die Druckdifferenzen werden immer positiv angegeben.

Bezeichner	Bedeutung
$\Delta p_{HU}$	= $ p_{Haus} - p_{Umgebung}  = 50 \text{ Pa}$
$\Delta p_{HZ}$	= $ p_{Haus} - p_{Zone} $
$\Delta p_{HZ2}$	= $ p_{Haus} - p_{Zone2} $
$\Delta p_{ZZ2}$	= $ \Delta p_{HZ} - \Delta p_{HZ2} $
$\Delta p_{ZU}$	= $ \Delta p_{HU} - \Delta p_{HZ} $
$\Delta p_{Z2U}$	= $ \Delta p_{ZU} - \Delta p_{ZZ2} $
$n$	= 0,65; Druckexponent der Leckagen
$C_L$	= $\sqrt{\frac{2}{\rho}}$ ; Leckagekoeffizient der Löcher
$\rho$	= Dichte der Luft in $\text{kg/m}^3$
$A_L$	= Fläche des Lochs in $\text{cm}^2$
$\dot{V}$	= Volumenstrom in $\text{m}^3/\text{h}$

### 2.4.3 Volumenströme

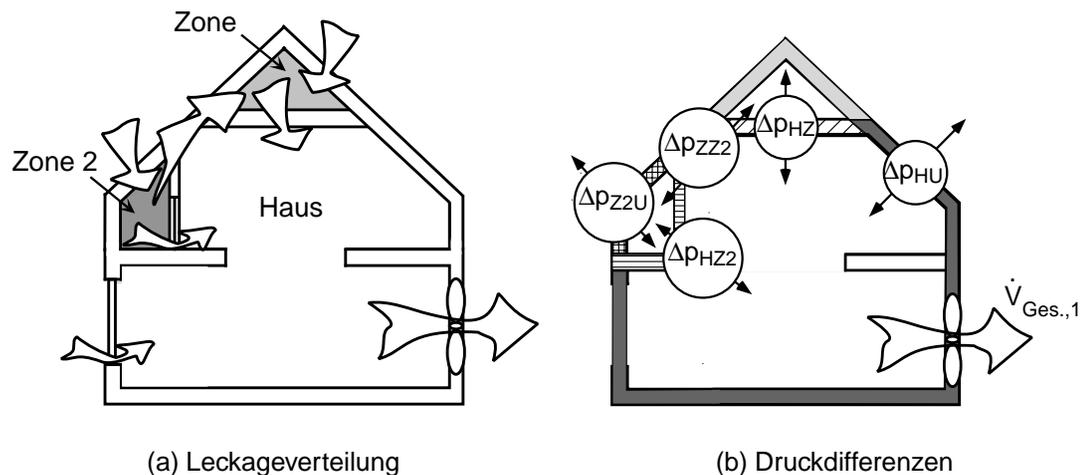
Die ermittelten Volumenströme sind i.d.R. keine Volumenströme von Einzelleckagen, sondern die Summe aus mehreren Leckagevolumenströmen, die sich in dem untersuchten Gebäudebereich befinden.

## 2.5 Test auf Verbindungen zwischen einzelnen Gebäudebereichen

Für die Wahl der geeigneten Meßmethode und für die Interpretation der Ergebnisse ist ein umfassendes Bild über das untersuchte Gebäude wichtig. Hierfür muß festgestellt werden, welche Gebäudebereiche über signifikante Leckagen miteinander verbunden sind. Das Gebäude wird auf 50 Pa Druckdifferenz gehalten und die Druckdifferenzen zwischen dem Gebäude und ggf. vorhandenen Zonen protokolliert. Durch Öffnen und Schließen von Türen oder Luken zu den Zonen ergeben sich je nach Leckageverteilung verschiedene Druckdifferenzen. In dem folgenden Beispiel soll der Test auf Verbindungen zwischen einzelnen Gebäudebereichen erläutert werden.

## Beispiel

Es soll ermittelt werden, ob Verbindungen zwischen den verschiedenen Gebäudebereichen "Gebäude", "Spitzboden" (im weiteren "Zone") und "Abseite" (im weiteren "Zone 2") bestehen. Die gegebene Situation ist in Bild 3 dargestellt.



**Bild 3:** Verschiedene Gebäudebereiche sind über Leckagen miteinander verbunden.

Die Vorgehensweise ist folgende:

- Schritt 1: Das Gebäude bei geschlossener Zonentür und Zonenluke auf 50 Pa Druckdifferenz zwischen Innen und Außen bringen ( $\Delta p_{HU} = 50 \text{ Pa}$ ).
- Schritt 2: Druckdifferenz Gebäude/Zone  $\Delta p_{HZ}$  und Gebäude/Zone 2  $\Delta p_{HZ2}$  protokollieren (Bild 3b).
- Schritt 3: Für den Test auf eine Verbindung zwischen Zone und Zone 2 wird bei  $\Delta p_{HU} = 50 \text{ Pa}$  die Zonenluke geöffnet und die Druckdifferenz  $\Delta p_{HZ2}$  protokolliert. Ändert sich die Druckdifferenz  $\Delta p_{HZ2}$  gegenüber Schritt 2, besteht eine Verbindung zwischen Zone und Zone 2 (ZZ2). Die Änderung der Druckdifferenz  $\Delta(\Delta p_{HZ2}) = \Delta p_{HZ2,2} - \Delta p_{HZ2,1}$  sollte mehr als 2 Pa [4] betragen. Ändert sich die Druckdifferenz beim Öffnen der Luke nicht ( $\Delta p_{HZ2,2} = \Delta p_{HZ2,1}$ ), besteht keine Verbindung zwischen Zone und Zone 2.
- Schritt 4: Leckagesuche im Bereich Zone und Zone 2 durchführen. Es wird idealerweise angenommen, daß die gefundenen Leckagen direkte Verbindungen zu dem angrenzenden Gebäudeteil sind.
- Schritt 5: Druckdifferenzen und Verbindungen mit Tabelle 2 vergleichen und die geeignetste Meßmethode wählen.
- Schritt 6: Besteht eine Verbindung zwischen Zone und Zone 2 (Schritt 3) muß die Opening A Door-Methode angewendet werden und für den vorliegenden Fall die entsprechende mathematische Herleitung für die Auswertung erfolgen.

Dabei muß die Strömungsrichtung von  $\dot{V}_{ZZ2}$  berücksichtigt werden. Besteht keine Verbindung zwischen Zone und Zone 2 können alle Meßmethoden standardmäßig angewendet werden.

**Tabelle 2:** Mögliche Verbindungen und Leckagen, die bei einem Gebäude mit 2 Zonen auftreten können. Alle Klappen und Türen sind geschlossen (Bild 3b,  $\Delta p_{HU} = 50$  Pa).

Fall	Druckdifferenzen	Verbindung					
		HZ	ZU	ZZ2	HZ2	Z2U	
1	a	$\Delta p_{HZ} < \Delta p_{HU}$	x	x	–	–	–
	b	$\Delta p_{HZ2} \approx \Delta p_{HU}$	x	x	–	–	x
2	a	$\Delta p_{HZ} \approx \Delta p_{HU}$	–	–	–	x	x
	b	$\Delta p_{HZ2} < \Delta p_{HU}$	–	x	–	x	x
3	a	$\Delta p_{HZ} < \Delta p_{HU}$ $\Delta p_{HZ2} < \Delta p_{HU}$	x	x	x	–	–
	b		x	–	x	–	x
	c		–	–	x	x	x
	d		x	x	x	–	x
	e		–	x	x	x	–
	f		–	x	x	x	x
	g		x	x	x	x	–
	h		x	–	x	x	x
	i		x	x	x	x	x
	j		x	x	–	x	x
4	a	$\Delta p_{HZ} \approx \Delta p_{HU}$ $\Delta p_{HZ2} \approx \Delta p_{HU}$	–	x	–	–	–
	b		–	x	x	–	x
	c		–	x	–	–	x
	d		–	–	x	–	x
	e		–	–	–	–	x
5	a	$\Delta p_{HZ2} \approx \Delta p_{HZ}$	Sonderfall				

- Fall 1: In diesem Fall weist nur die Zone eine Verbindung zum Gebäude auf. Zone und Zone 2 haben keine Verbindung. Die Zone kann je nach Fragestellung und baulichen Gegebenheiten mit den Methoden Opening A Door, Adding A Hole, Guard Zone oder Deduktion untersucht werden.
- Fall 2: Die Zone 2 weist eine Verbindung zum Gebäude auf, sie hat jedoch keine Verbindung zur Zone. Zone 2 kann je nach Fragestellung und baulichen Gegebenheiten mit den Methoden Opening A Door, Adding A Hole, Guard Zone oder Deduktion untersucht werden.
- Fall 3: Sind die Druckdifferenzen  $\Delta p_{HZ}$  und  $\Delta p_{HZ2}$  kleiner als  $\Delta p_{HU}$ , sind viele Leckagekombinationen möglich. Welcher spezielle Fall vorliegt muß mit Hilfe der Leckageortung (Schritt 4) bestimmt werden. Besteht eine Verbindung zwischen Zone und Zone 2 (Schritt 3), kann nur die Opening A Door-Methode angewendet werden, wenn einzelne Volumenströme gefragt sind. Sind die Zonen untereinander nicht verbunden, dann können Zone und Zone 2 getrennt mit der Opening A Door-, Adding A Hole-, Guard Zone- oder Deduktions-Methode je nach Fragestellung untersucht werden.
- ✎  $\Delta p_{HZ} < \Delta p_{HZ2}$ ? — Volumenstrom  $\dot{V}_{ZZ2}$  strömt von Zone 2 → Zone.
  - ✎  $\Delta p_{HZ} > \Delta p_{HZ2}$ ? — Volumenstrom  $\dot{V}_{ZZ2}$  strömt von Zone → Zone 2.
- Fall 4: Gilt  $\Delta p_{HZ} \approx \Delta p_{HZ2} \approx \Delta p_{HU}$ , dann gibt es entweder keine nennenswerten Verbindungen zwischen Gebäude und Zone oder Gebäude und Zone 2 oder die Leckagen in der Zone bzw. in Zone 2 zur Umgebung sind im Verhältnis zu den Leckagen zwischen Gebäude und Zone bzw. Gebäude und Zone 2 sehr groß. Welcher spezielle Fall vorliegt, muß mit Hilfe der Leckageortung (Schritt 4) bestimmt werden. Besteht keine Verbindung zwischen Zone und Zone 2 (Schritt 3), sollte die Adding A Hole-Methode angewendet werden. Existiert eine Verbindung zwischen Zone und Zone 2 so ist die Opening A Door-Methode anzuwenden.
- Fall 5: Dieser Sonderfall kann auftreten, wenn die Verbindung zwischen Zone und Zone 2 (ZZ2) so groß ist, daß zwischen beiden Zonen Druckgleichheit ( $\Delta p_{ZZ2} \approx 0$  Pa) herrscht, d.h. sie können als eine gemeinsame Zone mit allen genannten Methoden je nach Fragestellung untersucht werden. Ist die Verbindung ZZ2 klein, muß dieser Fall wie Fall 3 behandelt werden. Es ist auch möglich, daß keine Verbindung zwischen Zone und Zone 2 besteht (Schritt 3) und nur zufällig die Druckdifferenzen identisch sind. Dann können die Zonen einzeln mit den Methoden Opening A Door, Adding Hole, Guard Zone oder Deduktion je nach Fragestellung und Möglichkeiten untersucht werden.

**Welcher Fall liegt vor?**

Schritt 1: Gebäude bei geschlossener Tür und Klappe auf  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  bringen.

Schritt 2: Die Druckdifferenzen werden zu  $\Delta p_{\text{HZ},1} = 41 \text{ Pa}$ ,  $\Delta p_{\text{HZ2},1} = 47 \text{ Pa}$  bestimmt.

Schritt 3: Test auf Verbindung: Geschlossene Türe und geöffnete Klappe bei  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$ .  $\Delta p_{\text{HZ},2} = 0 \text{ Pa}$ ,  $\Delta p_{\text{HZ2},2} = 39 \text{ Pa}$ . Die Änderung der Druckdifferenz beträgt  $\Delta(\Delta p_{\text{HZ2}}) = \Delta p_{\text{HZ2},2} - \Delta p_{\text{HZ2},1} = 47 - 39 = 8 \text{ Pa}$ . Aufgrund der Druckdifferenzänderung liegt eine Verbindung zwischen Zone und Zone 2 vor. Es gilt:  $\Delta p_{\text{HZ},1} < \Delta p_{\text{HZ2},1}$ , der Volumenstrom  $\dot{V}_{\text{ZZ2}}$  strömt von Zone 2  $\rightarrow$  Zone.

Schritt 4: Es wird während einer Leckagesuche im Bereich Zone und Zone 2 festgestellt, daß sich in den Bereichen Gebäude/Zone, Zone/Umgebung, Gebäude/Zone 2 und Zone 2/Umgebung Leckagen befinden.

Schritt 5: Mit den aus oben genannten Schritten ermittelten Informationen erhält man aus Tabelle 2, daß es sich in dem vorliegenden Fall um Fall 3i handelt. Für die Untersuchungen muß die Opening A Door-Methode angewendet werden (Abschnitt 3.5.2, Seite 13).

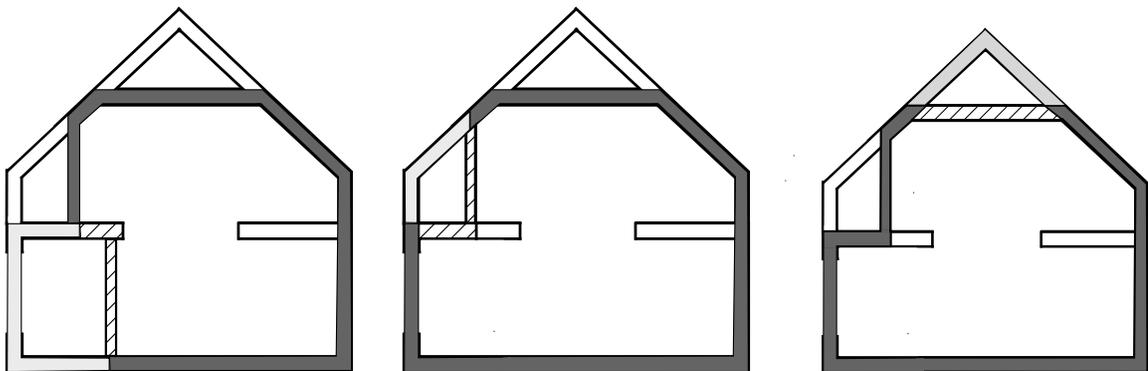
Schritt 6: Die Auswertung erfolgt analog OAD C (Abschnitt 3.6.5, Seite 18) unter der Berücksichtigung der Strömungsrichtung von  $\dot{V}_{\text{ZZ2}}$ .

- Probleme können auftreten, wenn  $\Delta p_{\text{HZ}} \approx 50 \text{ Pa}$  bei  $\Delta p_{\text{HU}} \approx 50 \text{ Pa}$  beträgt und durch Windeinfluß Druckschwankungen auftreten, die dazu führen können, daß  $\Delta p_{\text{HZ}} \geq \Delta p_{\text{HU}}$  wird. Die Meßwerte sollten in diesem Falle verworfen werden.
- Ideale Meßbedingungen sind Windstille und die Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{HZ}}$  sollte in dem Bereich von 10 - 48 Pa bei  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  liegen.

## 3 Opening A Door

### 3.1 Anwendungsmöglichkeiten

Mit der Opening A Door-Meßmethode werden, mit nur geringem Mehraufwand gegenüber einer Standard Blower Door-Messung, die Volumenströme durch **Innen- bzw. Außenwände inkl. Deckenbereiche** einer bestimmten Zone (z.B. Keller, Abseite, Spitzboden, Garage, ...) ermittelt. Es kann zusätzlich die Frage beantwortet werden, wie groß der Volumenstrom ist, der insgesamt durch einen bestimmten Raum/Bereich strömt. Voraussetzung dieser Methode ist, daß der zu untersuchende Bereich mit einer Tür, Klappe, Luke o.ä. mit dem restlichen Gebäude verbunden ist. In Bild 4 sind mögliche Anwendungsfälle dargestellt.



**Bild 4:** Mögliche Anwendungsfälle der Opening A Door-Methode. Die Leckagevolumenströme durch die hell- und dunkelgrau gezeichneten Bereiche der Gebäudehülle sowie gestreift gezeichneten Bereiche der Innenteile können einzeln bestimmt werden.

### 3.2 Benötigte Meßausrüstung

- 1 handelsübliches Blower Door-Meßsystem
- 1 bzw. 2 zusätzliche Differenzdrucksensoren für die Druckdifferenz Gebäude/Zone und ggf. Gebäude/Zone 2
- zusätzliche Schläuche

### 3.3 Test auf Verbindungen

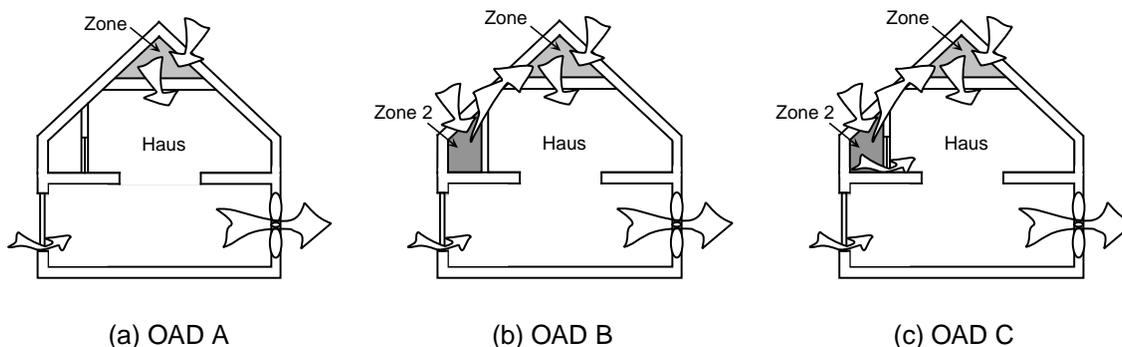
Bevor die Opening A Door-Methode angewendet wird, muß ein Test auf Verbindungen zwischen den interessierenden Gebäudebereichen (Zonen) vorgenommen werden. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 2.5 ab Seite 6 beschrieben. Aufgrund der vielen Möglichkeiten von Leckagekombinationen können nicht alle Varianten dargestellt

werden. Es werden im folgenden exemplarisch drei verschiedene Fälle ausführlich behandelt (Bild 5):

OAD A: Die zu untersuchende Zone weist Verbindungen zum Gebäude, jedoch keine nennenswerten Verbindungen zu einer anderen Zone auf (Fall 1 bzw. Fall 2).

OAD B: Die zu untersuchende Zone weist Verbindungen zum Gebäude und Verbindungen zu einer weiteren Zone auf. Die zweite Zone hat keine Verbindungen zum Gebäude (Fall 3d).

OAD C: Die zu untersuchende Zone weist Verbindungen zum Gebäude und Verbindungen zu einer weiteren Zone auf. Die zweite Zone weist ebenfalls Verbindungen zum Gebäude auf (Fall 3i).



**Bild 5:** Schematische Darstellung der Anwendungsmöglichkeiten der Opening A Door-Methode.

## 3.4 Beschreibung

### 3.4.1 Beschreibung OAD A

Für OAD A muß das gesamte Gebäude in zwei Bereiche ("Gebäude" und "Zone") unterteilt werden. Die Türe zur Zone ist geschlossen. Es wird eine Messung gemäß Abschnitt 2.4.1 (Seite 5) durchgeführt. Die Druckdifferenz Gebäude/ Zone wird zusätzlich protokolliert. Anschließend wird eine zweite Messung mit geöffneter Zonentür durchgeführt. Mit Hilfe der so ermittelten Volumenströme und der Druckdifferenz Gebäude/Zone können die gewünschten Leckagevolumenströme bestimmt werden.

### 3.4.2 Beschreibung OAD B und C

Das Gebäude wird in drei Bereiche ("Gebäude", "Zone" und "Zone 2") unterteilt. Es werden insgesamt drei Messungen durchgeführt. Die erste Messung erfolgt analog OAD A, die Türen / Luken / Klappen zu beiden Zonen sind geschlossen, es wird

zusätzlich die Druckdifferenz Zone/Zone 2 aufgenommen. Eine zweite Messung mit geöffneter Zonentür und geschlossener Tür zu Zone 2 wird durchgeführt und die Druckdifferenz Zone/Zone 2 entsprechend der Druckstufen protokolliert. Die dritte Messung wird mit geöffneten die Türen / Luken / Klappen beider Zonen durchgeführt. Mit Hilfe der so ermittelten Volumenströme und den Druckdifferenzen Gebäude/Zone und Zone/Zone 2 können die gewünschten Leckagevolumenströme bestimmt werden.

### 3.5 Vorgehensweise bei einer Unterdruckmessung

#### 3.5.1 Vorgehensweise OAD A

##### 1. Messung ("Klappe zu")

Klappe zur Zone schließen und eine Messung (Kapitel 2.4.1) durchführen und gleichzeitig die Druckdifferenz Gebäude/Zone protokollieren (Bild 6a).

Um bei der Messung ein gutes Ergebnis zu erzielen, sollte die Druckdifferenz Gebäude/Zone bei  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  zwischen  $10 \text{ Pa} \leq \Delta p_{\text{HZ}} \leq 48 \text{ Pa}$  betragen!

##### 2. Messung ("Klappe auf")

Klappe öffnen, so daß zwischen Zone und Gebäude kein Druckunterschied herrscht (Bild 6b). Messung nach Abschnitt 2.4.1 durchführen.

Es ist darauf zu achten, daß sich  $\Delta p_{\text{HZ}} \approx 0 \text{ Pa}$  einstellt!

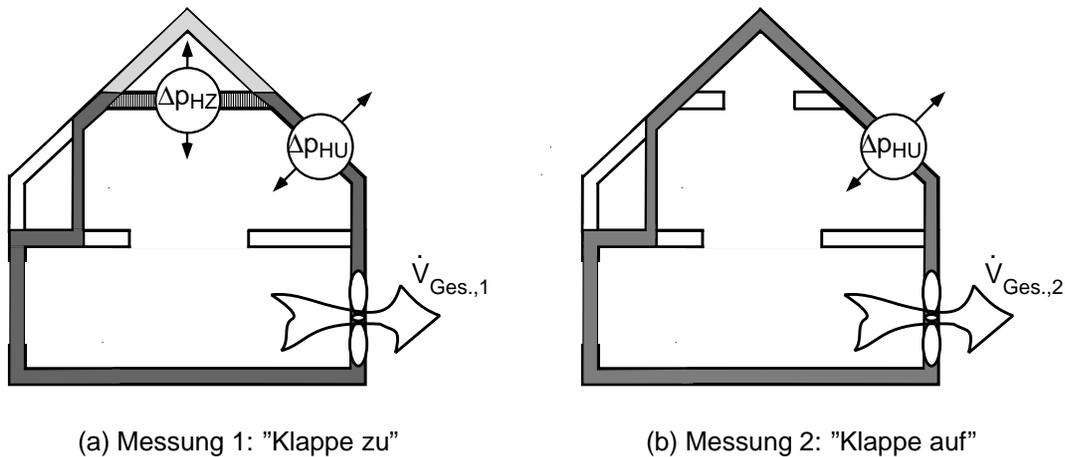
#### 3.5.2 Vorgehensweise OAD B und C

##### 1. Messung ("beide Klappen zu")

1. Klappen zu Zone und Zone 2 schließen und eine Messung durchführen.
2. Zu jeder Druckstufe sowohl die Druckdifferenzen Gebäude/Umgebung  $\Delta p_{\text{HU}}$  als auch die Druckdifferenz zwischen Gebäude/Zone  $\Delta p_{\text{HZ}}$  und Zone/Zone 2  $\Delta p_{\text{ZZ2}}$  (Bild 7b) protokollieren.

Um bei der Messung ein gutes Ergebnis zu erzielen, sollte die Druckdifferenz Gebäude/Zone bei  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  zwischen  $10 \text{ Pa} \leq \Delta p_{\text{HZ}} \leq 48 \text{ Pa}$  betragen!

Bezeichner	Bedeutung
$\Delta p_{HU}$	= $(p_{Haus} - p_{Umgebung}) = 50 \text{ Pa}$
$\Delta p_{HZ}$	= $(p_{Haus} - p_{Zone})$
$\Delta p_{ZU}$	= $(\Delta p_{HU} - \Delta p_{HZ})$
$n$	= 0,65; Druckexponent der Leckagen
$\Delta \dot{V}_{21}$	= $(\dot{V}_{Ges.,2} - \dot{V}_{Ges.,1})$



**Bild 6:** Bezeichnungen und Annahmen für OAD A.

## 2. Messung ("eine Klappen auf")

1. Klappe öffnen, so daß zwischen Zone und Gebäude kein Druckunterschied herrscht (Bild 7c).

Es ist darauf zu achten, daß sich  $\Delta p_{HZ} \approx 0 \text{ Pa}$  einstellt!

2. Messung durchführen und zu jeder Druckstufe sowohl die Druckdifferenz Gebäude/Umgebung  $\Delta p_{HU}$  als auch die Druckdifferenz  $\Delta p_{ZZ2}$  zwischen Zone und Zone 2 protokollieren.

## 3. Messung ("beide Klappen auf")

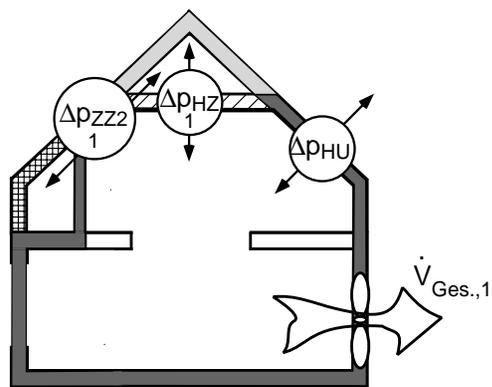
1. Beide Klappen öffnen, so daß zwischen Zone/Gebäude und Zone 2/Gebäude kein Druckunterschied herrscht (Bild 7d).

Es ist darauf zu achten, daß sich  $\Delta p_{HZ} \approx \Delta p_{ZZ2} \approx 0 \text{ Pa}$  einstellt!

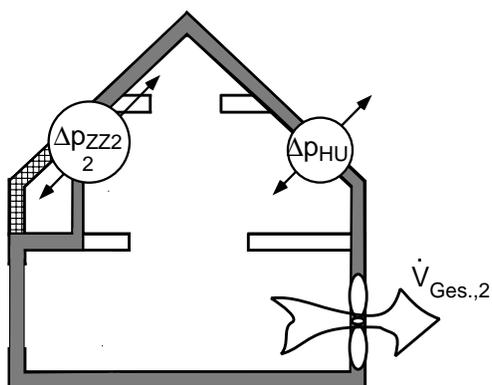
2. Messung durchführen.

Bezeichner	Bedeutung
$\Delta p_{HU}$	= ( $p_{Haus} - p_{Umgebung}$ )
$\Delta p_{HZ}$	= ( $p_{Haus} - p_{Zone}$ )
$\Delta p_{ZZ2}$	= ( $p_{Zone} - p_{Zone,2}$ )
$\Delta p_{ZU}$	= ( $\Delta p_{HU} - \Delta p_{HZ}$ )
$\Delta p_{Z2U}$	= ( $\Delta p_{ZU} - \Delta p_{ZZ2}$ )

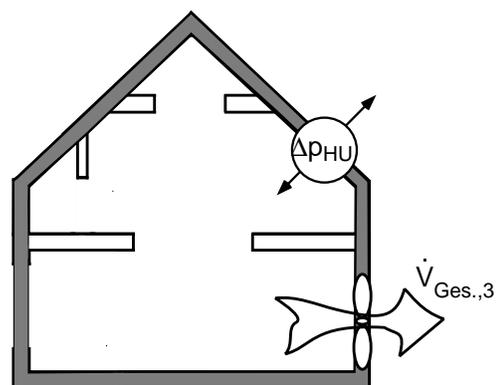
(a) Nomenklatur



(b) Messung 1 ("beide Klappen zu")



(c) Messung 2 ("eine Klappen auf")



(d) Messung 3 ("beide Klappen auf")

**Bild 7:** Bezeichnungen und Annahmen für die erweiterte Meßmethode Opening A Door anhand eines einfachen Beispiels eines Spitzbodens (OAD B und C).

## 3.6 Auswertung

### 3.6.1 Allgemein

Für die Auswertung müssen folgende Vorbereitungen durchgeführt werden:

1. Die Fitfunktionen für  $\dot{V}_{\text{Ges.,1}}(\Delta p_{\text{HU}})$ ,  $\dot{V}_{\text{Ges.,2}}(\Delta p_{\text{HU}})$  und ggf.  $\dot{V}_{\text{Ges.,3}}(\Delta p_{\text{HU}})$  berechnen.
2. Fitfunktionen  $\Delta p_{\text{HZ,1}}(\Delta p_{\text{HU}})$ , ggf.  $\Delta p_{\text{ZZ2,1}}(\Delta p_{\text{HU}})$  und  $\Delta p_{\text{ZZ2,2}}(\Delta p_{\text{HU}})$  bestimmen.
3. Die Volumenstromdifferenzen  $\Delta \dot{V}_{21} = \dot{V}_{\text{Ges.,2}} - \dot{V}_{\text{Ges.,1}}$  und ggf.  $\Delta \dot{V}_{32} = \dot{V}_{\text{Ges.,3}} - \dot{V}_{\text{Ges.,2}}$  für  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  mit Hilfe der Fitfunktionen aus Schritt 1 bilden.
4. Die Druckdifferenz Zone/Umgebung  $\Delta p_{\text{ZU,1}}$  an der Stelle  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  mit Hilfe des Fits  $\Delta p_{\text{HZ,1}}(\Delta p_{\text{HU}})$  aus Schritt 2 berechnen.

$$\Delta p_{\text{ZU,1}} = \Delta p_{\text{HU}} - \Delta p_{\text{HZ,1}}(\Delta p_{\text{HU}})$$

5. Ggf. die Druckdifferenzen Zone/Zone 2  $\Delta p_{\text{ZZ2,1}}$  und  $\Delta p_{\text{ZZ2,2}}$  an der Stelle  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  mit Hilfe der entsprechenden Fitfunktion (Schritt 2) bestimmen.
6. Ggf. Bestimmung der Druckdifferenzen  $\Delta p_{\text{Z2U,1}} = \Delta p_{\text{ZU,1}} - \Delta p_{\text{ZZ2,1}}$  und  $\Delta p_{\text{Z2U,2}} = \Delta p_{\text{ZU,2}} - \Delta p_{\text{ZZ2,2}}$ .

Es gilt für die gesamte Auswertung:  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$ ,  $n = 0,65$ .

### 3.6.2 Rechnerische Auswertung OAD A

Mit der Volumenstromdifferenz  $\Delta \dot{V}_{21}$  aus Schritt 3 und den Druckdifferenzen  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$ ,  $\Delta p_{\text{HZ,1}}$  und  $\Delta p_{\text{ZU,1}}$  können die Volumenströme Haus/Zone  $\dot{V}_{\text{HZ,50}}$ , Zone/Umgebung  $\dot{V}_{\text{ZU,50}}$  und der Volumenstrom durch die gesamte Zone  $\dot{V}_{\text{tfp}}$  mit den Gleichungen 1-3 bestimmt werden. Es gilt  $n = 0,65$ . Der Index 50 bedeutet, daß der entsprechende Volumenstrom für eine Druckdifferenz über das Bauteil von 50 Pa berechnet wird.

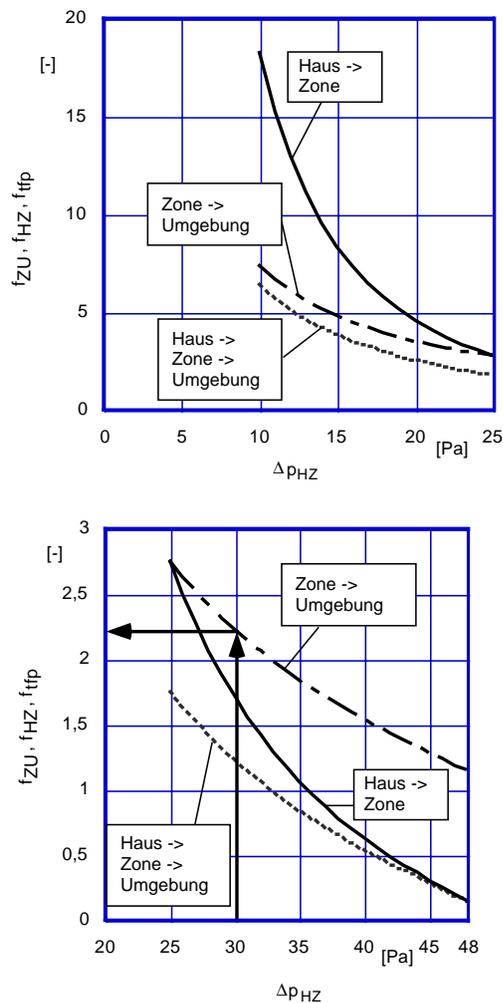
$$\dot{V}_{\text{HZ,50}} = \frac{\Delta \dot{V}_{21}}{\Delta p_{\text{HZ,1}}^n \left( \frac{1}{\Delta p_{\text{ZU,1}}^n} - \frac{1}{\Delta p_{\text{HU}}^n} \right)} \quad (1)$$

$$\dot{V}_{\text{ZU,50}} = \dot{V}_{\text{HZ,50}} \left( \frac{\Delta p_{\text{HZ,1}}}{\Delta p_{\text{ZU,1}}} \right)^n \quad (2)$$

$$\dot{V}_{\text{tfp}} = \dot{V}_{\text{HZ,50}} \left( \frac{\Delta p_{\text{HZ,1}}}{\Delta p_{\text{HU}}} \right)^n \quad (3)$$

### 3.6.3 Graphische Auswertung OAD A

Mit den in Bild 8 wiedergegebenen Diagrammen kann die Auswertung auch graphisch erfolgen:  $\Delta p_{HZ}$  aus Abschnitt 3.6.1, Schritt 2 auf der Abzisse abtragen, bis zur gewünschten Kurve senkrecht nach oben gehen und auf der Ordinate den Umrechnungsfaktor  $f$  ablesen. Diesen Faktor multipliziert man mit der Volumenstromdifferenz  $\Delta \dot{V}_{21}$  aus Abschnitt 3.6.1, Schritt 3 und erhält damit den gewünschten Volumenstrom.



**Bild 8:** Graphische Auswertung der Opening A Door-Methode (OAD A).

Die Volumenströme ergeben sich zu

$$\dot{V}_{ZU,50} = f_{ZU} \cdot \Delta \dot{V}_{21} \quad (4)$$

$$\dot{V}_{HZ,50} = f_{HZ} \cdot \Delta \dot{V}_{21} \quad (5)$$

$$\dot{V}_{tfp} = f_{tfp} \cdot \Delta \dot{V}_{21} \quad (6)$$

### 3.6.4 Auswertung OAD B

Für die Randbedingungen von Messung 1 werden die folgenden Volumenströme bestimmt:

1. Bestimmung des Leckagevolumenstroms über die Verbindung Zone/Umgebung  
 $\dot{V}_{ZU,1}$

$$\dot{V}_{ZU,1} = \left( \Delta \dot{V}_{21} - \Delta \dot{V}_{32} \frac{(\Delta p_{Z2U,1}^n - \Delta p_{Z2U,2}^n)}{(\Delta p_{HU}^n - \Delta p_{Z2U,2}^n)} \right) \frac{1}{\left( \frac{\Delta p_{HU}}{\Delta p_{ZU,1}} \right)^n - 1} \quad (7)$$

2. Bestimmung des Leckagevolumenstroms über die Verbindung Zone 2/Umgebung  
 $\dot{V}_{ZZ2,1}$

$$\dot{V}_{Z2U,1} = \frac{\Delta \dot{V}_{32}}{\Delta p_{HU}^n - \Delta p_{Z2U,2}^n} \Delta p_{Z2U,1}^n \quad (8)$$

3. Bestimmung des Volumenstroms über die Verbindung Zone/Zone 2  $\dot{V}_{ZZ2,1}$

$$\dot{V}_{ZZ2,1} = \dot{V}_{Z2U,1} \quad (9)$$

4. Bestimmung des Leckagevolumenstroms über die Verbindung Gebäude/Zone  
 $\dot{V}_{HZ,1}$

$$\dot{V}_{HZ,1} = \dot{V}_{ZU,1} + \dot{V}_{ZZ2,1} \quad (10)$$

### 3.6.5 Auswertung OAD C

Die einzelnen Leckagekoeffizienten werden folgendermaßen bestimmt:

$$C_{Z2U} = \frac{\dot{V}_3 - \dot{V}_2}{\Delta p_{HU}^n - \Delta p_{Z2U,2}^n} \quad (11)$$

$$C_{ZU} = \frac{\dot{V}_2 - \dot{V}_1 + C_{Z2U} (\Delta p_{Z2U,1}^n - \Delta p_{Z2U,2}^n)}{\Delta p_{HU}^n - \Delta p_{ZU,1}^n} \quad (12)$$

$$C_{HU} = \frac{\dot{V}_1 - C_{ZU} \Delta p_{ZU,1}^n - C_{Z2U} \Delta p_{Z2U,1}^n}{\Delta p_{HU}^n} \quad (13)$$

➔ Strömungsrichtung: Zone 2 → Zone

$$C_{ZZ2} = \frac{C_{ZU}\Delta p_{ZU,1}^n + C_{HU}\Delta p_{HU}^n - \dot{V}_1 + C_{Z2U}\Delta p_{Z2U,2}^n \left(\frac{\Delta p_{HZ2,1}}{\Delta p_{HZ2,2}}\right)^n}{\Delta p_{HZ2,1}^n - \Delta p_{ZZ2,1}^n} \quad (14)$$

$$C_{HZ} = \frac{C_{ZZ2}\Delta p_{HZ2,2}^n + \left(\frac{\Delta p_{HZ2,2}}{\Delta p_{HZ2,1}}\right)^n (\dot{V}_1 - C_{HU}\Delta p_{HU}^n) - C_{Z2U}\Delta p_{Z2U,2}^n \left(\frac{\Delta p_{HZ2,1}}{\Delta p_{HZ,1}}\right)^n}{\Delta p_{HZ2,2}^n} \quad (15)$$

$$C_{HZ2} = \frac{\dot{V}_1 - C_{HU}\Delta p_{HU}^n - C_{HZ}\Delta p_{HZ,1}^n}{\Delta p_{HZ2,1}^n} \quad (16)$$

➔ Strömungsrichtung: Zone → Zone 2

$$C_{ZZ2} = \frac{C_{ZU}\Delta p_{ZU,1}^n + C_{HU}\Delta p_{HU}^n - \dot{V}_1 + C_{Z2U}\Delta p_{Z2U,2}^n \left(\frac{\Delta p_{HZ2,1}}{\Delta p_{HZ2,2}}\right)^n}{\Delta p_{HZ2,1}^n + \Delta p_{ZZ2,1}^n} \quad (17)$$

$$C_{HZ} = \frac{C_{ZU}\Delta p_{ZU,1}^n - C_{ZZ2}\Delta p_{ZZ2,1}^n}{\Delta p_{HZ,1}^n} \quad (18)$$

$$C_{HZ2} = \frac{C_{Z2U}\Delta p_{Z2U,2}^n - C_{ZZ2}\Delta p_{HZ2,2}^n}{\Delta p_{HZ2,2}^n} \quad (19)$$

Für beide Strömungsrichtungen können mit Hilfe der o.g. Gleichungen die Volumenströme für die Randbedingungen aus Messung 1 zu

$$\dot{V}_{ZU,1} = C_{ZU}\Delta p_{ZU,1}^n \quad (20)$$

$$\dot{V}_{ZZ2,1} = C_{ZZ2}\Delta p_{ZZ2,1}^n \quad (21)$$

$$\dot{V}_{HZ,1} = C_{HZ}\Delta p_{HZ,1}^n \quad (22)$$

$$\dot{V}_{Z2U,1} = C_{Z2U}\Delta p_{Z2U,1}^n \quad (23)$$

$$\dot{V}_{HZ2,1} = C_{HZ2}\Delta p_{HZ2,1}^n \quad (24)$$

bestimmt werden.

### 3.7 Interpretation

Der Index 50 bedeutet, daß der entsprechende Volumenstrom für eine Druckdifferenz von 50 Pa über das Bauteil berechnet wird. Für die gesamte Auswertung gilt  $\Delta p_{HU} = 50 \text{ Pa}$  und  $n = 0,65$ .

1.  $\dot{V}_{HZ,50}$  ist der Volumenstrom über das Trennbauteil Gebäude/Zone, der sich einstellt, wenn die Druckdifferenz über das Trennbauteil 50 Pa beträgt. Dieser Fall tritt z.B. ein, wenn ein Fenster in der Zone offen steht.
2.  $\dot{V}_{ZU,50}$  ist der Volumenstrom über das Bauteil Zone/Umgebung, der sich bei einer Druckdifferenz von  $\Delta p_{ZU} = 50 \text{ Pa}$  einstellt.
3.  $\dot{V}_{tfp}$  bzw.  $\dot{V}_{HZ,1}$  ist der Gesamtleckage-Volumenstrom, der sich bei geschlossener Klappe (Messung 1) über die gesamte serielle Leckage einstellt.
4.  $\dot{V}_{ZZ2,1}$  ist der Volumenstrom über die Verbindung Zone/Zone 2 bei den Bedingungen von Messung 1 (OAD B und C).
5.  $\dot{V}_{Z2U,1}$  ist der Volumenstrom über die Leckage Zone 2/Umgebung bei den Bedingungen von Messung 1 (OAD B und C).
6. Wird der Gesamtleckage-Volumenstrom  $\dot{V}_{tfp}$  (Gebäude-Zone-Umgebung) auf den Ventilator-Volumenstrom aus Messung 1 ("beide Klappen zu") bezogen, dann stellt dieses Verhältnis den prozentualen Anteil der Verluste über die Zone, bezogen auf die Gebäudehülle dar.

$$a_{tfp} = \frac{\dot{V}_{tfp}}{\dot{V}_{Ges.,1}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (25)$$

7. Das Verhältnis des Volumenstroms durch das Trennbauteil Zone/Umgebung und des Ventilator-Volumenstroms aus Messung mit geöffneten Klappen/Türen/Luken ergibt den prozentualen Anteil des Trennbauteils Zone/Umgebung an der gesamten Gebäudehülle.

$$a_{ZU,50} = \frac{\dot{V}_{ZU,50}}{\dot{V}_{Ges.,2} \text{ (bzw. } \dot{V}_{Ges.,3})} \cdot 100 \quad [\%] \quad (26)$$

8. Das Verhältnis des Volumenstroms durch das Trennbauteil Zone/Zone 2 und des Volumenstroms über das Trennbauteil Zone/Umgebung ergibt sich zu:

$$a_{ZZ2,ZU} = \frac{\dot{V}_{ZZ2}}{\dot{V}_{ZU}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (27)$$

9. Andere Interpretationen sind je nach Fragestellung frei zubestimmen.

### 3.8 Vor- und Nachteile

#### Vorteile

- ✓ Nur 1 Blower Door-Meßsystem wird benötigt.
- ✓ Schnelle und einfache Durchführbarkeit.
- ✓ Mehrere Größen können aus bis zu drei Messungen mit unterschiedlicher Klappen-Kombination ermittelt werden.

#### Nachteile

- ✗ Um mit dieser Methode ein gutes Ergebnis zu erzielen, sollte die Druckdifferenz Gebäude/Zone  $\Delta p_{\text{HZ}}$  bei der 1. Messung ("Klappe zu") zwischen 10 und 48 Pa liegen (bei  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$ ).

$$10 \text{ Pa} \leq \Delta p_{\text{HZ}} \leq 48 \text{ Pa}$$

- ✗ Verfälschungen des Meßergebnisses können möglicherweise durch unbekannte Verbindungen zwischen der untersuchten Zone zu einem nicht betrachteten Gebäudebereich auftreten.
- ✗ Bei offener Klappe kann eventuell die Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  nicht erreicht werden, da die äußeren Leckagen in der Zone zu groß sind.
- ✗ Eine Klappe oder Türe muß zu dem interessierenden Bereich vorhanden sein.

### 3.9 Wichtige Hinweise

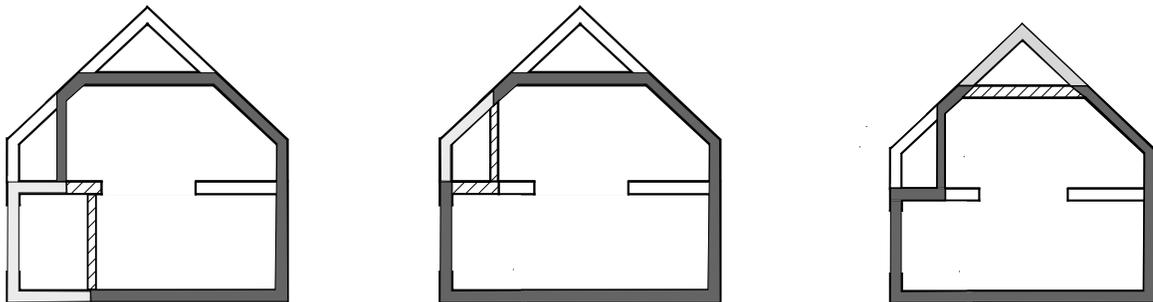
- Bei dieser Methode ist darauf zu achten, welcher Volumenstrom über welche Gebäudebereiche tatsächlich bestimmt wird.
- Unbedingt "Test auf Verbindungen" zwischen verschiedenen Bereichen des Gebäudes durchführen (Abschnitt 2.5).
- Bei OAD C muß die Stömungsrichtung von  $\dot{V}_{\text{ZZ2}}$  beachtet werden.
- Die Gleichungen gelten nur für die beschriebenen Fälle. Die Methode Opening A Door ist für abweichende bauliche Situationen anzupassen.
- Untersuchungen zu mehreren Zonen, die miteinander in Verbindung stehen, sollten nach Möglichkeit auf die Konfigurationen OAD B und C zurückgeführt werden. Sollte dies nicht gelingen, muß eine neue Herleitung der Berechnungsvorschriften erfolgen.



## 4 Adding A Hole

### 4.1 Anwendungsmöglichkeiten

Diese Meßmethode wird für die Bestimmung der Volumenströme durch **Innen- bzw. Außenwände inkl. Deckenbereiche** für Spitzboden, Abseiten oder auch für kleinere Hohlräume angewendet. Die Meßmethode setzt keine Tür oder Klappe zu dem interessierenden Bereich voraus. Es muß jedoch eine bauliche Veränderungen (Zufügen eines Lochs) vorgenommen werden [5]. In Bild 9 sind mögliche Anwendungsfälle dargestellt.



**Bild 9:** Mögliche Anwendungsfälle der Adding A Hole-Methode. Die Leckagevolumenströme über die hell und dunkelgrau gezeichneten Bereiche der Gebäudehülle sowie der gestreift gezeichneten Innenbauteile können mit dieser Methode einzeln bestimmt werden.

### 4.2 Benötigte Meßausrüstung

- 1 handelsübliches Blower Door Meßsystem
- 1 zusätzlicher Differenzdrucksensor für die Druckdifferenz Gebäude/Zone
- zusätzliche Schläuche
- Werkzeug, z.B. Kreisloch- oder Kernlochbohrer, Metermaß
- flexible Lochblenden (z.B. Irisblenden, Bild 10)
- Vorrichtung zum Einbau von verschiedenen Lochblenden

### 4.3 Test auf Verbindungen

Bevor die Adding A Hole-Methode angewendet wird, muß ein Test auf Verbindungen zwischen den interessierenden Gebäudebereichen (Zonen) vorgenommen werden. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 2.5 ab Seite 6 beschrieben. Die Methode kann nur angewendet werden, wenn die bauliche Situation von Fall 1 oder 2 vorliegt.



**Bild 10:** Die Lochfläche kann mit handelsüblichen Irisblenden stufenlos variiert werden.

#### 4.4 Beschreibung

Für eine Untersuchung mit der Adding A Hole-Methode muß das gesamte Gebäude in zwei Bereiche ("Gebäude" und "Zone") unterteilt werden. Es wird eine Messung nach Kapitel 2.4.1 (Seite 5) durchgeführt. Die Druckdifferenz Gebäude/Zone wird zusätzlich protokolliert. Anschließend wird ein Loch in das Trennbauteil zwischen Gebäude und Zone gebracht und eine zweite Messung durchgeführt. Für die genaue Bestimmung der Lochfläche bietet es sich an, mit "vorgefertigten Löchern" zu arbeiten. Hierzu ist eine Vorrichtung notwendig, die es erlaubt, ohne großen Aufwand die Lochfläche durch verschiedene Lochblenden zu variieren. Diese Lochblenden haben bekannte Größen, so daß für die Auswertung präzise Daten verwendet werden können. Hierfür haben sich kalibrierte Irisblenden als geeignet erwiesen (Bild 10).

#### 4.5 Vorgehensweise bei einer Unterdruckmessung

Die Adding A Hole-Methode besteht aus folgenden Schritten (vgl. Bild 11):

##### 1. Messung ("ohne/kleines Loch")

1. Test bei  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  (Bild 11a/b).

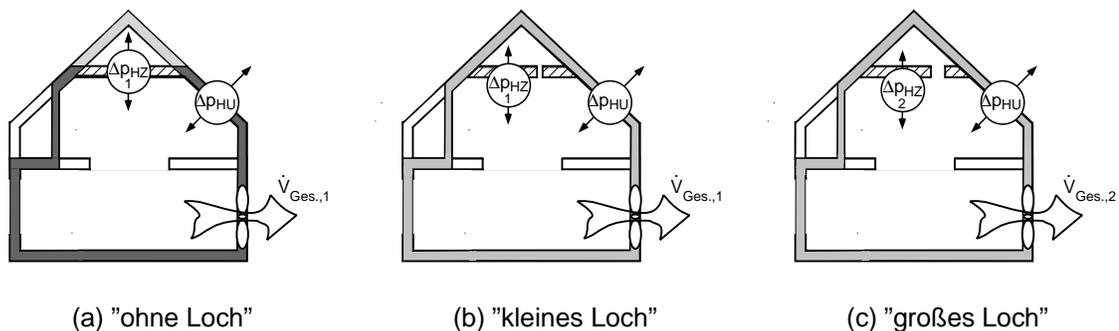
- (a) Die Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{HZ},1}$  bestimmen. Hierbei ist zu beachten, daß  $\Delta p_{\text{HZ},1}$  zwischen 10 Pa und 45 Pa liegen sollte und daß die Druckdifferenzen  $\Delta p_{\text{HZ},1}$  und  $\Delta p_{\text{ZU},1}$  in der Summe  $\Delta p_{\text{HU}}$  ergeben.

Die Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{HZ},1}$  sollte bei  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  zwischen  $10 \leq \Delta p_{\text{HZ},1} \leq 45 \text{ Pa}$  liegen!

- (b) Ist  $\Delta p_{\text{HZ},1} > 45 \text{ Pa}$ , dann sollte auch bei der ersten Messung mit einem vorgefertigten "Loch" gearbeitet werden. Die Lochgröße bzw. Blendengröße ist hierbei so zu wählen, daß  $\Delta p_{\text{HZ},1}$  ca. 45 Pa beträgt.

2. Die Messung (Kapitel 2.4.1) durchführen und gleichzeitig die Druckdifferenz Gebäude/Zone protokollieren.

Bezeichner	Bedeutung
$\Delta p_{HU}$	= $(p_{Haus} - p_{Umgebung}) = 50 \text{ Pa}$
$\Delta p_{HZ}$	= $(p_{Haus} - p_{Zone})$
$\Delta p_{ZU}$	= $(\Delta p_{HU} - \Delta p_{HZ})$
$\Delta(\Delta p_{HZ})$	= Änderung der Druckdifferenz durch Anbringen des Lochs
$n$	= 0,65; Druckexponent der Leckagen
$n_L$	= 0,5; Druckexponent des Lochs
$C_L$	= $\sqrt{\frac{2}{\rho}}$ ; Leckagekoeffizient des Lochs
$\rho$	= Dichte der Luft in $\text{kg/m}^3$
$A_{L1}$	= Fläche des kleinen Lochs in $\text{cm}^2$
$A_{L2}$	= Fläche des großen Lochs in $\text{cm}^2$



**Bild 11:** Nomenklatur und für die Meßmethode 'Adding A Hole' getroffene Annahmen anhand des einfachen Beispiels eines Spitzbodens.

## 2. Messung ("großes Loch")

1. Test bei  $\Delta p_{HU} = 50 \text{ Pa}$  (Bild 11c).

- Zwischen dem Haus und der Zone wird eine Verbindung (Loch) geschaffen bzw. die vorhandene Lochfläche vergrößert. Anschließend muß sichergestellt werden, daß die Druckdifferenz zwischen Haus und Umgebung noch  $\Delta p_{HU} = 50 \text{ Pa}$  beträgt.
- Die Druckdifferenzen  $\Delta p_{HZ,2}$  und  $\Delta p_{ZU,2}$  sind zu bestimmen.
- Die Änderung der Druckdifferenz  $\Delta p_{HZ}$  wird bestimmt ( $\Delta(\Delta p_{HZ}) = \Delta p_{HZ,1} - \Delta p_{HZ,2}$ ). Die Änderung von  $\Delta(\Delta p_{HZ})$  sollte mindestens  $5 \text{ Pa}$  betragen (ggf. Loch vergrößern).

Es ist darauf zu achten, daß  $\Delta p_{HZ,1} - \Delta p_{HZ,2} \geq 5 \text{ Pa}$  ist!

- (d) Die verbliebene Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{HZ},2}$  sollte mindestens 5 Pa betragen (ggf. Loch verkleinern).

Es ist darauf zu achten, daß  $\Delta p_{\text{HZ},2} \geq 5 \text{ Pa}$  ist!

2. Die Messung (Kapitel 2.4.1) durchführen und gleichzeitig die Druckdifferenz Gebäude/Zone protokollieren.

## 4.6 Auswertung

Alle Werte werden für  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  bestimmt.

1. Die Fläche  $A_{L1}$  und  $A_{L2}$  in  $\text{cm}^2$  der eingesetzten Löcher oder Lochblenden ermitteln.
2. Fitfunktionen  $\Delta p_{\text{HZ},1}(\Delta p_{\text{HU}})$  und  $\Delta p_{\text{HZ},2}(\Delta p_{\text{HU}})$  bestimmen.
3. Die Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{ZU}} = \Delta p_{\text{HU}} - \Delta p_{\text{HZ}}(\Delta p_{\text{HU}})$  bestimmen.
4. Die Änderung der Druckdifferenz  $\Delta(\Delta p_{\text{HZ}})$  an der Stelle  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$  wird mit Hilfe der Fitfunktionen aus Schritt 2 bestimmt.

$$\Delta(\Delta p_{\text{HZ}}) = \Delta p_{\text{HZ},1} - \Delta p_{\text{HZ},2}$$

5. Anhand der Gleichungen 28-30 werden die Volumenströme Haus/Zone  $\dot{V}_{\text{HZ},50}$  und Zone/Umgebung  $\dot{V}_{\text{ZU},50}$  sowie der Gesamtvolumenstrom durch die serielle Leckage Haus/Zone/Umgebung  $\dot{V}_{\text{tfp}}$  bestimmt [5]. Für den Fall, daß die 1. Messung ohne zusätzliches Loch durchgeführt wird, gilt  $A_{L1} = 0$  und der zweite Term von Gleichung 28 fällt weg.

$$\dot{V}_{\text{HZ},50} = \frac{C_{L2} A_{L2} \Delta p_{\text{HU}}^n}{\left(\frac{\Delta p_{\text{HZ},1}^n}{\Delta p_{\text{HZ},2}^n}\right) \left(\frac{\Delta p_{\text{ZU},2}}{\Delta p_{\text{ZU},1}}\right)^n - \Delta p_{\text{HZ},2}^{(n-n_L)}} - \frac{C_{L1} A_{L1} \Delta p_{\text{HU}}^n \left(\frac{\Delta p_{\text{HZ},1}}{\Delta p_{\text{HZ},2}}\right)^{n_L} \left(\frac{\Delta p_{\text{ZU},2}}{\Delta p_{\text{ZU},1}}\right)^n}{\left(\frac{\Delta p_{\text{HZ},1}^n}{\Delta p_{\text{HZ},2}^n}\right) \left(\frac{\Delta p_{\text{ZU},2}}{\Delta p_{\text{ZU},1}}\right)^n - \Delta p_{\text{HZ},2}^{(n-n_L)}} \quad (28)$$

$$\dot{V}_{\text{ZU},50} = \dot{V}_{\text{HZ},50} \left(\frac{\Delta p_{\text{HZ},1}}{\Delta p_{\text{ZU},1}}\right)^n \quad (29)$$

$$\dot{V}_{\text{tfp}} = \dot{V}_{\text{HZ},50} \left(\frac{\Delta p_{\text{HZ},1}}{\Delta p_{\text{HU},1}}\right)^n \quad (30)$$

## 4.7 Interpretation

Der Index 50 bedeutet, daß der entsprechende Volumenstrom für eine Druckdifferenz über das Bauteil von 50 Pa berechnet wird. Die Auswertung erfolgt bei  $\Delta p_{HU} = 50$  Pa.

1.  $\dot{V}_{HZ,50}$  ist der Volumenstrom über das Trennbauteil Gebäude/Zone, der sich einstellt, wenn die Druckdifferenz über das Trennbauteil 50 Pa betr ag. Dieser Fall tritt z.B. ein, wenn in der Zone ein Fenster offen steht.
2.  $\dot{V}_{ZU,50}$  ist der Volumenstrom über das Bauteil Zone/Umgebung, der sich bei einer Druckdifferenz von  $\Delta p_{ZU} = 50$  Pa einstellt.
3.  $\dot{V}_{tfp}$  ist der Gesamtleckage-Volumenstrom, der sich bei geschlossener Klappe (Messung 1)  ber die gesamte serielle Leckage einstellt.
4. Wird der Gesamtleckage-Volumenstrom  $\dot{V}_{tfp}$  (Gebäude-Zone-Umgebung) auf den Ventilator-Volumenstrom aus Messung 1 ("ohne/kleines Loch") bezogen, dann stellt dieses Verhältnis den prozentualen Anteil der Verluste über die Zone, bezogen auf die Gebäudehülle dar.

$$a_{tfp} = \frac{\dot{V}_{tfp}}{\dot{V}_{Ges.,1}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (31)$$

## 4.8 Vor- und Nachteile

### Vorteile

- ✓ Es wird nur 1 Blower Door-Meßsystem benötigt.
- ✓ Mit Hilfe dieser Methode können auch dann noch Informationen erhalten werden, wenn keine Türen oder Klappen zu dem interessierenden Bereich vorhanden sind.
- ✓ Es können handelsübliche Irisblenden eingesetzt werden.

### Nachteile

- ✗ Ein vor Ort hergestelltes Loch kann für die Auswertung kaum präzise quantifiziert werden.
- ✗ Die Akzeptanz der Gebäudenutzer für die Anfertigung eines geeigneten Loches kann sehr gering sein.
- ✗ Um mit dieser Methode ein gutes Ergebnis zu erzielen, sollte die Druckdifferenz zwischen Gebäude und Zone in dem Bereich:

$$10Pa \leq \Delta p_{HZ,1} \leq 45Pa$$

bei einer Druckdifferenz Gebäude/Umgebung von 50 Pa ( $\Delta p_{HU} = 50 Pa$ ) liegen.

- ✗ Die Änderung dieser Druckdifferenz nach dem Vergrößern bzw. Zufügen des Loches sollte mindestens 5 Pa

$$\Delta(\Delta p_{HZ}) \geq 5Pa$$

betragen und  $\Delta p_{HZ,2}$  damit zwischen 5 und 40 Pa liegen.

$$5Pa \leq \Delta p_{HZ,2} \leq 40Pa$$

- ✗ Die Einbauvorrichtungen für die verschiedenen Loch- bzw. Irisblenden sind bislang nicht handelsüblich.

## 4.9 Wichtige Hinweise

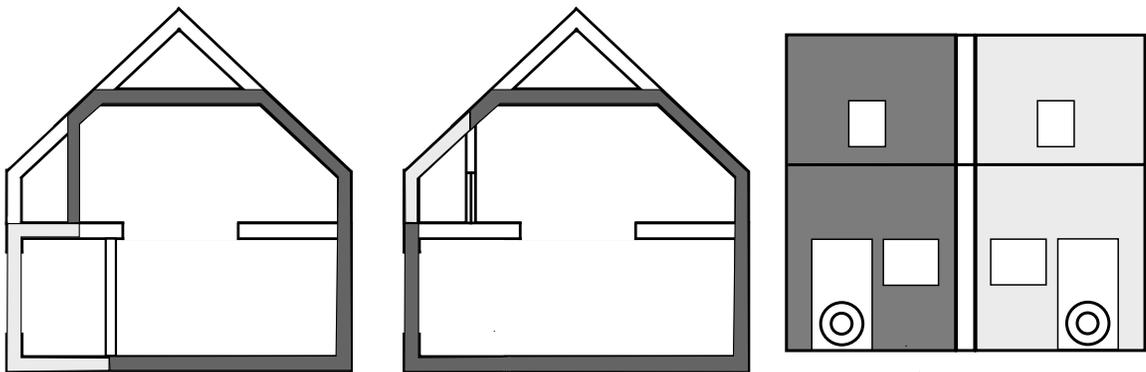
- Unbedingt "Test auf Verbindungen" zwischen verschiedenen Bereichen des Gebäudes durchführen (Abschnitt 2.5).
- Die Gleichungen gelten nur für die beschriebenen Fälle 1 und 2.

## 5 Guard Zone

### 5.1 Anwendungsmöglichkeiten

Mit dieser Methode werden Leckagevolumenströme über **Außenwände und Deckenbereiche** einzelner Räume bzw. Gebäudeteile untersucht. In Bild 12 sind drei mögliche Anwendungsfälle exemplarisch dargestellt. Für diese Methode muß es möglich sein, in den interessierenden Gebäudebereich eine Blower Door einzusetzen.

Diese Technik wird für die Untersuchungen bei Einfamilienhäusern im Wohn- oder Kellerbereich eingesetzt. Bei Doppelhäusern oder Reihenendhäusern kann mit dieser Methode der Einfluß des Nachbargebäudes ausgeschlossen werden. Im Mehrfamilienhaus wird mit der Guard Zone-Methode der Einfluß der Nachbarwohnungen unterbunden. Für die Guard Zone-Methode kommen i.d.R. zwei Blower Door-Systeme in Einsatz.



**Bild 12:** Mögliche Anwendungsfälle der Guard Zone-Methode. Die Leckagevolumenströme über die hell und dunkelgrau gezeichneten Bereiche der Gebäudehülle können mit der Guard Zone-Methode einzeln bestimmt werden.

### 5.2 Benötigte Meßausrüstung

- 2 handelsübliche Blower Door-Meßsysteme bzw. ein Blower Door System und ein regelbarer Ventilator nebst Einbauvorrichtung
- ausreichend Schläuche und Verbindungsstückchen

### 5.3 Test auf Verbindungen

Bevor die Guard Zone-Methode angewendet wird, muß ein Test auf Verbindungen zwischen den interessierenden Gebäudebereichen (Zonen) und angrenzenden Bereichen

vorgenommen werden. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 2.5 ab Seite 6 beschrieben. Die Gurad Zone-Methode kann nur angewendet werden, wenn der Test Fall 1 oder 2 als Ergebnis hat.  $\Delta p_{HZ}$  ist zu protokollieren.

## 5.4 Beschreibung

Für die Messung einzelner Außenbauteile muß das Gebäude in zwei Bereiche ("Gebäude" und "Zone") unterteilt werden. Die Blower Door "Gebäudeventilator", die im Gebäude installiert ist, wird auf verschiedene Druckstufen  $\Delta p_{HU}$  (Kapitel 2.4.1, Seite 5) ausgeregelt. Die Blower Door "Zonenventilator", die in der Zone installiert ist, wird so ausgeregelt, daß die Druckdifferenz zwischen Gebäude und Zone ca. 0 Pa beträgt ( $\Delta p_{HZ} \approx 0$  Pa). Dadurch wird der Luftaustausch zwischen Gebäude und Zone durch die Innenbauteile unterbunden und nur die Leckagen durch die jeweiligen Außenbauteile werden betrachtet. Für diese Meßmethode sollten idealerweise zwei komplette Blower Door-Meßsysteme zur Verfügung stehen. Die Messung kann aber auch mit einem Blower Door-System und einem regelbaren Ventilator samt Einbauvorrichtung durchgeführt werden.

## 5.5 Vorgehensweise bei einer Unterdruckmessung

1. Die Blower Door-Systeme werden in das Gebäude und in die zu untersuchende Zone eingebaut (Bild 13). Steht nur eine Blower Door mit Volumenstrombestimmung zur Verfügung, dann sollte diese Blower Door in den Bereich eingebaut werden, der interessiert. Interessieren beide Bereiche, dann müssen zwei Messungen durchgeführt werden, zwischen denen die Ventilatoren getauscht werden müssen.
2. Messung durchführen. Zu jeder Druckstufe werden beiden Ventilatoren so ausgeregelt, daß die Druckdifferenz zwischen Gebäude und Zone ca. 0 Pa beträgt.

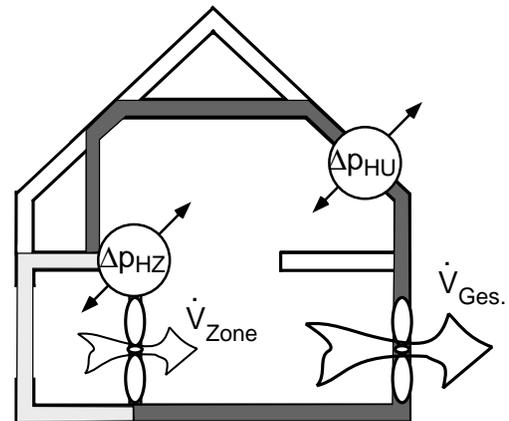
Die beiden Ventilatoren immer so ausregeln, daß  $\Delta p_{HZ} \approx 0$  Pa ist!

## 5.6 Auswertung

Der Index 50 bei den Werten steht dafür, daß die Werte für die Situation  $\Delta p_{HU} = \Delta p_{ZU} = 50$  Pa berechnet sind:

1. Die Volumenströme für den Gebäudeventilator  $\dot{V}_{Ges.}$  und den Zonenventilator  $\dot{V}_{Zone}$  sind gemäß den Berechnungsvorschriften zu berechnen.
2. Die Fitfunktionen für  $\dot{V}_{Ges.}(\Delta p_{HU})$  und  $\dot{V}_{Zone}(\Delta p_{HU})$  berechnen.
3. Volumenströme für  $\Delta p_{HU} = \Delta p_{ZU} = 50$  Pa bestimmen.

Bezeichner	Bedeutung
$\Delta p_{HU}$	= $(p_{H_{aus}} - p_{Umgebung})$
$\Delta p_{ZU}$	= $(p_{Zone} - p_{Umgebung})$



**Bild 13:** Bezeichnungen und Annahmen für die Meßmethode Guard Zone anhand des einfachen Beispiels eines Raumes.

4. Der bei der Druckdifferenz von  $\Delta p_{ZU} = 50$  Pa mit dem Zonenventilator geförderte Volumenstrom  $\dot{V}_{Zone}$  ist der Volumenstrom  $\dot{V}_{ZU,50}$ , der durch die Außenbauteile der Zone tritt (Bild 13 (hellgrauer Bereich), Gl. 32).

$$\dot{V}_{ZU,50} = \dot{V}_{Zone} \quad (32)$$

5. Der bei der Druckdifferenz von  $\Delta p_{HU} = 50$  Pa mit dem Gebäudeventilator geförderte Volumenstrom  $\dot{V}_{Ges.}$  entspricht dem über die gesamte Außenwand tretenden Volumenstroms des gesamten Gebäudes inkl. dem Leckagevolumenstrom über die Zone (Bild 13, hell- und dunkelgrauer Bereich, Gl. 33).

$$\dot{V}_{Ges.} = \dot{V}_{HU} + \dot{V}_{Zone} \quad (33)$$

6. Wird  $\dot{V}_{ZU,50}$  von dem geförderten Volumenstrom des Gebäudeventilators  $\dot{V}_{Ges.}$ , ebenfalls bei  $\Delta p_{HU} = 50$  Pa, subtrahiert, ergibt sich die Luftmenge  $\dot{V}_{HU}$ , die durch die Außenhülle des Gebäudes einströmt (Bild 13, dunkelgrauer Bereich, Gl. 34).

$$\dot{V}_{HU} = \dot{V}_{Ges.} - \dot{V}_{Zone} \quad (34)$$

## 5.7 Interpretation

Das Verhältnis der durch den Zonenventilator und den Gebäudeventilator geförderten Volumenströme (bei  $\Delta p_{HU} = \Delta p_{ZU} = 50$  Pa) ergibt den prozentualen Anteil der Durchlässigkeit der Hüllfläche der Zone an der Durchlässigkeit der gesamten Hüllfläche des Gebäudes.

$$a_{Zone} = \frac{\dot{V}_{Zone}}{\dot{V}_{Ges.}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (35)$$

Das Verhältnis der Volumenströme von  $\dot{V}_{\text{HU}}/\dot{V}_{\text{Ges.}}$  (bei  $\Delta p_{\text{HU}} = 50 \text{ Pa}$ ) ergibt den prozentualen Anteil der Durchlässigkeit der Hüllfläche des Teilgebäudes an der Durchlässigkeit der gesamten Hüllfläche des Gebäudes.

$$a_{\text{HU}} = \frac{\dot{V}_{\text{HU}}}{\dot{V}_{\text{Ges.}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (36)$$

## 5.8 Vor- und Nachteile

### Vorteile

- ✓ Die Ermittlung der Durchlässigkeit von Teilbereichen der Gebäudehülle kann mit einer Messung erfolgen.
- ✓ Gute Meßgenauigkeit.

### Nachteile

- ✗ Zwei Blower Door-Meßsysteme werden benötigt.
- ✗ In dem interessierenden Bereich muß es eine Öffnung geben, die es erlaubt, ein Blower Door-System einzusetzen.
- ✗ Die Regelung von  $\Delta p_{\text{HZ}}$  auf ca. 0 Pa sollte recht genau erfolgen.
- ✗ Der Volumenstrom zwischen Gebäude und Zone ( $\dot{V}_{\text{HZ}}$ ) kann mit oben genannter Vorgehensweise nicht bestimmt werden.
- ✗ Verfälschungen des Meßergebnisses können durch unbekanntes Verbindungen zwischen der Zone und einem nicht betrachteten Gebäudebereich auftreten.

## 5.9 Wichtige Hinweise

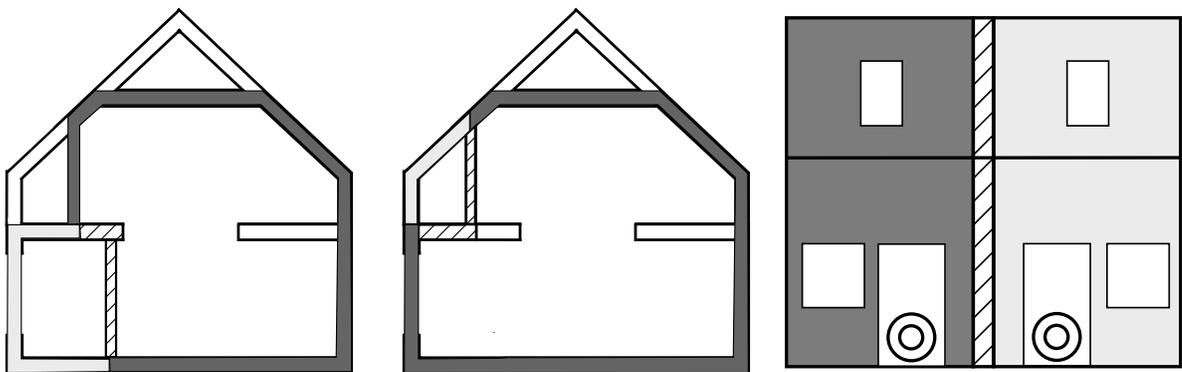
- Die Regelung von  $\Delta p_{\text{HZ}}$  auf 0 Pa sollte so genau wie möglich erfolgen, da sonst nicht verhindert werden kann, daß ein Volumenstrom zwischen Gebäude und Zone strömt.
- Unbedingt Test auf Verbindungen zwischen verschiedenen Bereichen des Gebäudes machen (Abschnitt 2.5) und dabei  $\Delta p_{\text{HZ}}$  protokollieren.
- Die Gleichungen gelten nur für die beschriebenen Fälle 1 und 2.

## 6 Deduktion

### 6.1 Anwendungsmöglichkeiten

Mit dieser Meßmethode wird die Luftdurchlässigkeit der **Innen- und Außenwände inkl. Deckenbereiche** einzelner Räume bzw. Gebäudeteile untersucht. In Bild 14 sind drei mögliche Anwendungsfälle exemplarisch dargestellt. Für diese Methode muß es möglich sein, in den interessierenden Gebäudebereich eine Blower Door einzusetzen.

Diese Technik wird z.B. für die Untersuchungen von einzelnen Räumen bzw. Bereiche bei Einfamilienhäusern im Wohn- oder Kellerbereich eingesetzt. Sie kann auch bei Doppelhäusern, Reihenendhäusern oder Mehrfamilienhäusern eingesetzt werden. Für die Deduktions-Methode kommen i.d.R. zwei Blower Door-Systeme in Einsatz.



**Bild 14:** Mögliche Anwendungsfälle der Deduktions-Methode. Die Leckagevolumenströme über die hell und dunkelgrau gezeichneten Bereiche der Gebäudehülle sowie das gestreift gezeichnete Innenbauteil können mit dieser Methode einzeln bestimmt werden.

### 6.2 Benötigte Meßausrüstung

- 2 handelsübliche Blower Door-Meßsysteme. Für diese Meßmethode sollten idealerweise zwei komplette Blower Door-Meßsysteme zur Verfügung stehen. Die Methode kann jedoch auch mit einem Blower Door-System und einem regelbaren Ventilator samt Einbauvorrichtung durchgeführt werden.
- ausreichend Schläuche und Verbindungsstückchen

### 6.3 Test auf Verbindungen

Bevor die Deduktions-Methode angewendet wird, muß ein Test auf Verbindungen zwischen den interessierenden Gebäudebereichen (Zonen) vorgenommen werden. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 2.5 ab Seite 6 beschrieben. Die Deduktion-Methode

kann nur angewendet werden, wenn der Test Fall 1 oder 2 als Ergebnis hat.  $\Delta p_{TZ}$  ist zu protokollieren.

## 6.4 Beschreibung

Das Gebäude wird für diese Methode in zwei Bereiche ("Gebäude" und "Zone") eingeteilt. In jeden Bereich wird eine Blower Door eingebaut. Der "Zonenventilator" wird so eingeregelt, daß die Druckdifferenz Zone/Umgebung ca. 50 Pa beträgt, während mit dem "Gebäudeventilator" für das Gebäude verschiedene Druckstufen eingestellt werden.

## 6.5 Vorgehensweise bei einer Unterdruckmessung

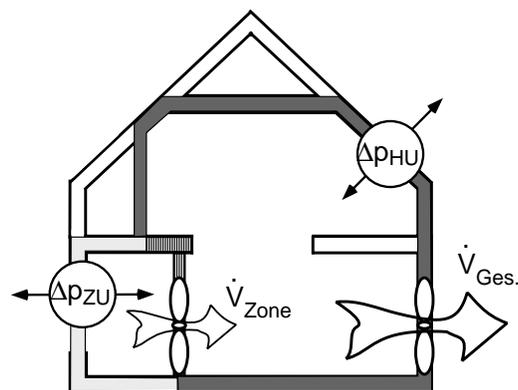
1. Die Blower Door-Systeme werden in das Gebäude und die zu untersuchende Zone eingebaut.
2. Die Zone wird konstant auf einer Druckdifferenz Zone/Umgebung von 50 Pa ( $\Delta p_{ZU} = 50 \text{ Pa}$ ) gehalten (Bild 15).

Zone immer auf  $\Delta p_{ZU} = 50 \text{ Pa}$  halten!

3. Mit dem Gebäudeventilator eine Messung nach Kapitel 2.4.1 durchführen.

Zonenventilator immer auf  $\Delta p_{ZU} = 50 \text{ Pa}$  nachregeln!

Bezeichner	Bedeutung
$\Delta p_{HU}$	= $(p_{Haus} - p_{Umgebung})$
$\Delta p_{ZU}$	= $(p_{Zone} - p_{Umgebung})$

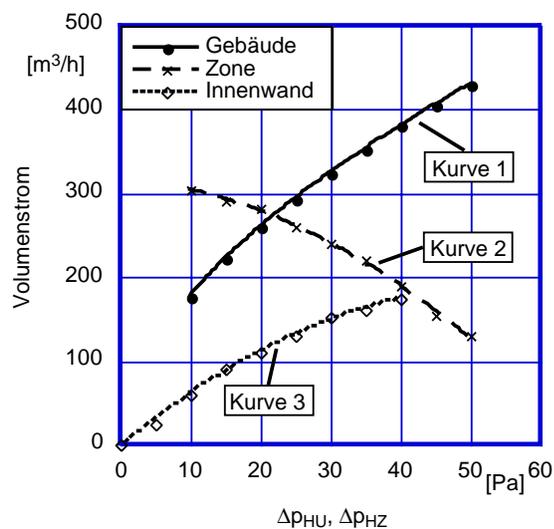


**Bild 15:** Bezeichnungen und Annahmen für die Meßmethode Deduktion anhand des einfachen Beispiels eines Raumes.

## 6.6 Auswertung [1]

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Auswertung kann mit Hilfe von Bild 16 wie folgt beschrieben werden. Es gilt:  $\Delta p_{HZ} = \Delta p_{ZU} - \Delta p_{HU}$ .

1. Die Volumenströme für den Gebäudeventilator  $\dot{V}_{Ges.}$  und den Zonenventilator  $\dot{V}_{Zone}$  sind gemäß den Berechnungsvorschriften des eingesetzten Ventilators zu berechnen.
2. Die Volumenströme  $\dot{V}_{Ges.}$  und  $\dot{V}_{Zone}$  der beiden Ventilatoren werden über die entsprechende Druckdifferenz  $\Delta p_{HU}$  geplottet.
3. Mit einer Potenzregression (Kurve 1) wird die Funktion  $\dot{V}_{Ges.}(\Delta p_{HU})$  für den Volumenstrom des Gebäudeventilators in Abhängigkeit von  $\Delta p_{HU}$ , mit einem Polynom 2. Grades (Kurve 2) die Funktion des Zonenventilators  $\dot{V}_{Zone}(\Delta p_{HU})$  ermittelt.
4. An der Stelle  $\Delta p_{ZU} - \Delta p_{HU} = 0$  Pa mit dem Polynom den Volumenstrom  $\dot{V}_{ZU,50}$  durch die Außenwand der Zone bestimmen.
5.  $\dot{V}_{ZU,50}$  von der Kurve  $\dot{V}_{Zone}$  an jedem Punkt subtrahieren.
6. Die Druckdifferenz  $\Delta p_{HZ} = \Delta p_{ZU} - \Delta p_{HU}$  bilden.
7. Den Volumenstrom aus Schritt 5 über der Druckdifferenz  $\Delta p_{HZ}$  aus Schritt 6 auftragen.
8. Eine Potenzregression (Kurve 3) bilden und den Volumenstrom bei  $\Delta p_{HZ} = 50$  Pa ermitteln. Dieser Volumenstrom ist der Volumenstrom  $\dot{V}_{HZ,50}$ , der durch die Trennbauteile zwischen Gebäude und Zone bei 50 Pa Druckdifferenz tritt.



**Bild 16:** Auswertung einer Messung nach der Deduktions-Methode.

## 6.7 Interpretation

Das Verhältnis der durch den Zonenventilator und den Gebäudeventilator geförderten Volumenströme (bei  $\Delta p_{\text{HU}} = \Delta p_{\text{ZU}} = 50 \text{ Pa}$ ) ergibt den prozentualen Anteil der Durchlässigkeit der Hüllfläche der Zone an der Durchlässigkeit der gesamten Hüllfläche des Gebäudes.

$$a_{\text{Zone}} = \frac{\dot{V}_{\text{ZU},50}}{\dot{V}_{\text{Ges.}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (37)$$

Das Verhältnis des Volumenstroms durch die Trennbauteile zwischen Zone und Gebäude und dem Volumenstrom durch die Außenbauteile des restlichen Gebäudes berechnet sich zu

$$a_{\text{HZ}} = \frac{\dot{V}_{\text{HZ},50}}{\dot{V}_{\text{Ges.}} - \dot{V}_{\text{ZU},50}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (38)$$

Je nach Bedarf können auch andere Volumenstromverhältnisse berechnet werden.

## 6.8 Vor- und Nachteile

### Vorteile

- ✓ Die Durchlässigkeit der Außenbauteile der Zone und des Gebäudes sowie die Durchlässigkeit der Innenbauteile zwischen Zone und Gebäude kann mit einer Messung ermittelt werden.

### Nachteile

- ✗ Es werden 2 Blower Door-Meßsysteme benötigt.
- ✗ In dem interessierenden Bereich muß es eine Öffnung geben, die es erlaubt, ein Blower Door-System einzusetzen.
- ✗ Die Regelung von  $\Delta p_{\text{ZU}}$  auf ca. 50 Pa sollte recht genau erfolgen.
- ✗ Verfälschungen des Meßergebnisses können durch unbekannte Leckagen zwischen der Zone und nicht betrachteten Gebäudebereichen auftreten.

## 6.9 Wichtige Hinweise

- Die Regelung von  $\Delta p_{\text{ZU}}$  auf 50 Pa sollte so genau wie möglich erfolgen.
- Test auf Verbindungen zwischen verschiedenen Bereichen des Gebäudes durchführen (Abschnitt 2.5) und dabei  $\Delta p_{\text{HZ}}$  protokollieren.
- Die Gleichungen gelten nur für die beschriebenen Fälle 1 und 2.

## 7 Literatur

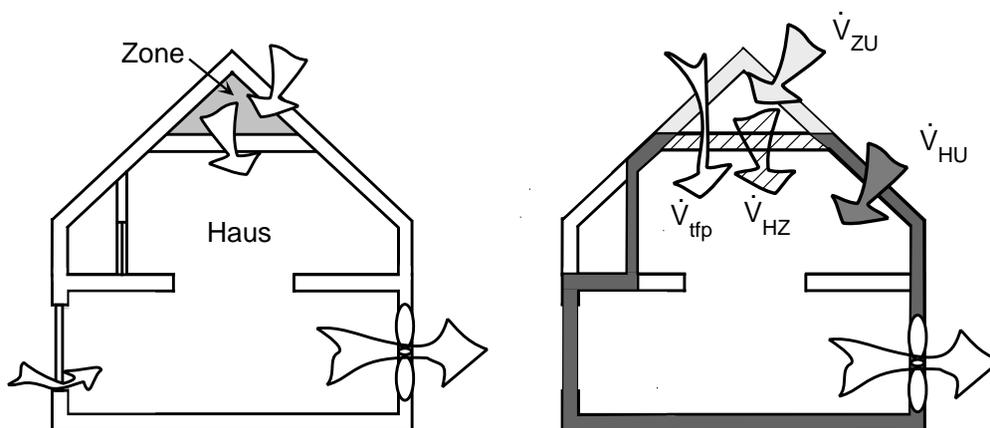
- [1] Geißler, A. und Hauser, G. *Reproduzierbarkeit von Messungen zur Luftdichtheit von Gebäuden*. Abschlußbericht AiF-Forschungsvorhaben 10650, Fachgebiet Bauphysik der Universität Kassel, April 1998.
- [2] Blasnik, M. und Fitzgerald, J. *In Search of the Missing Leak*. Home Energy (November/December 1992), 6.
- [3] CEN/TC 89/AHG "Airtightness of buildings". *prEN WI 00089005:1998-05 Thermal performance of buildings -Determination of building airtightness – Fan pressurization method*, 1998.
- [4] Hall, M., Geißler, A. und Hauser, G. *Quantifizierung einzelner Leckagen und Leckagewege bei Gebäuden in Holzbauweise*. Abschlußbericht AiF-Forschungsvorhaben 11402N Teil 1, Fachgebiet Bauphysik der Universität Kassel, April 2000.
- [5] Geißler, A., Bolender, T. und Hauser, G. *Blower Door-Messungen - erweiterte Meßmethoden*. Heizung Lüftung Haustechnik 48 (1997), H. 5, S. 24–31.

## A Beispiele

### A.1 Beispiel Opening A Door A und Adding A Hole

Das zu untersuchende Gebäude hat einen Spitzboden, der Leckagen in der Kehlbal-kendecke zum restlichen Gebäude, sowie Leckagen im Dach nach außen aufweist (Bild 17). Der Spitzboden würde in einer allgemeineren Schreibweise als "Zone" bezeichnet werden. Folgende Fragestellungen sind mit einer Opening A Door-Methode zu beantworten:

1. Wie groß ist der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  durch das Dach?
2. Wie groß ist der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{HZ}$  durch die Kehlbal-kendecke?
3. Wie groß ist der gesamte Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{tfp}$  durch Kehlbal-kendecke, Spitzboden und Dach?



**Bild 17:** Auf der linken Seite ist die Leckageverteilung des Beispielgebäudes dargestellt. Auf der rechten Seite sind für die bessere Übersicht die Wand-bereiche und Volumenstrompfeile in Graustufen so gekennzeichnet, daß zu erkennen ist, welcher Volumenstrom über welchen Bereich ermittelt wird.

Der Volumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  ist in Bild 17 als die Leckage über das Dach dargestellt (hell-grauer Bereich, Pfeil). Der dunkelgraue Wandbereich umfaßt alle Leckagen der restli-chen Gebäudehülle. Sie werden zu dem Volumenstrom  $\dot{V}_{HU}$  zusammengefaßt.  $\dot{V}_{HZ}$  ist die Summe der Volumenströme durch die Leckagen in der Kehlbal-kendecke (gestrei-fter Bereich/Pfeil).  $\dot{V}_{tfp}$  ist der Leckagevolumenstrom, der durch die serielle Leckage Dach/Kehlbal-kendecke tritt (weißer Pfeil).

#### Auswertung für OAD A

Bei den Messungen wird eine Druckdifferenz von  $\Delta p_{HZ} = 30 \text{ Pa}$  und eine Volumens-trommdifferenz  $\Delta \dot{V}_{21} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$  ermittelt. Soll mit einer graphischen Auswertung (Bild 18) der Volumenstrom durch das Dach bestimmt werden, dann zieht man eine Senk-rechte von dem Punkt  $\Delta p_{HZ} = 30 \text{ Pa}$  bis zum Schnittpunkt mit der Kurve *Zone* →

*Umgebung.* Von diesem Punkt geht man waagrecht zur Ordinate und liest  $f_{ZU} = 2,2$  ab. Um die Faktoren  $f_{HZ}$  und  $f_{tfp}$  zu erhalten sucht man den Punkt auf der entsprechenden Kurve und liest die Faktoren  $f_{HZ}=1,7$ ,  $f_{tfp}=1,25$  ab. Durch Multiplikation mit der Volumenstromdifferenz  $\Delta\dot{V}_{ez}$  erhält man den Volumenstrom Zone/Umgebung  $\dot{V}_{ZU,50}$ , den Volumenstrom Haus/Zone  $\dot{V}_{HZ,50}$  und den Gesamtleckage-Volumenstrom (Haus-Zone-Umgebung)  $\dot{V}_{tfp}$ , der durch die gesamte Zone tritt.

Die Volumenströme ergeben sich zu

$$\dot{V}_{ZU,50} = 2,2 \cdot 200 = 440 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (39)$$

$$\dot{V}_{HZ,50} = 1,7 \cdot 200 = 340 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (40)$$

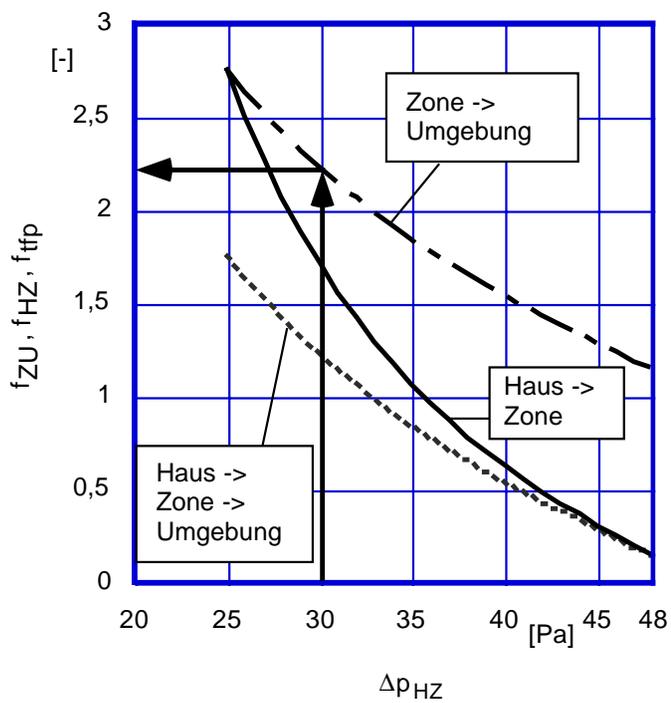
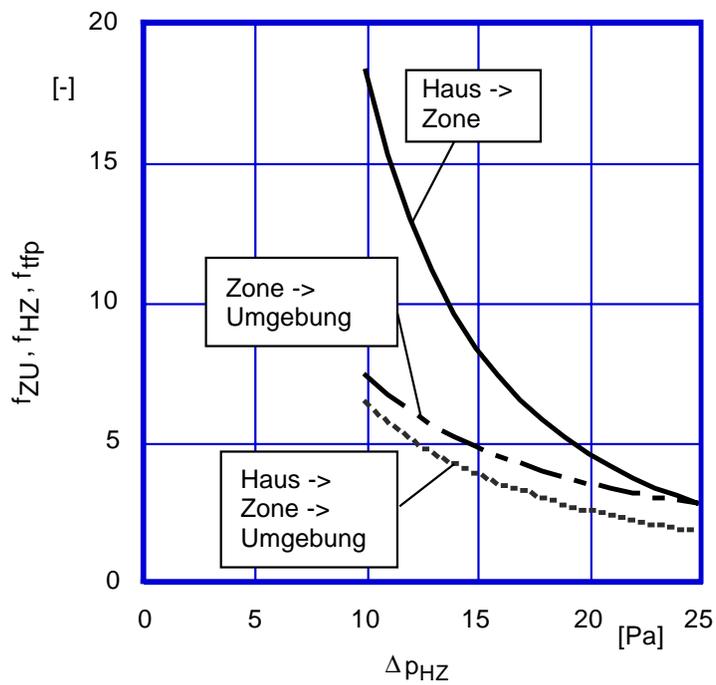
$$\dot{V}_{tfp} = 1,25 \cdot 200 = 250 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (41)$$

Die rechnerische Auswertung ergibt:

$$\dot{V}_{ZU,50} = 342 \left( \frac{30}{20} \right)^{0,65} = 446 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (42)$$

$$\dot{V}_{HZ,50} = \frac{200}{30^{0,65} \left( \frac{1}{20^{0,65}} - \frac{1}{50^{0,65}} \right)} = 342 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (43)$$

$$\dot{V}_{tfp} = 342 \left( \frac{30}{50} \right)^{0,65} = 246 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (44)$$



**Bild 18:** Beispiel einer graphischen Auswertung der Opening A Door-Methode (OAD A).

**Auswertung für Adding A Hole**

Messung 1 wird ohne zusätzliches Loch, Messung 2 mit zusätzlichem Loch durchgeführt. Es ergeben sich folgende Meßdaten:

$$\begin{aligned}
 \Delta p_{HU} &= (p_{Haus} - p_{Umgebung}) = 50 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{HZ,1} &= 30 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{ZU,1} &= 20 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{HZ,2} &= 20 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{ZU,2} &= 30 \text{ Pa} \\
 \Delta(\Delta p_{HZ}) &= 10 \text{ Pa} \\
 n &= 0,65; \text{ Druckexponent der Leckagen} \\
 n_L &= 0,5; \text{ Druckexponent des Lochs} \\
 C_L &= \sqrt{\frac{2}{\rho}}; \text{ Leckagekoeffizient des Lochs} \\
 \rho &= 1,223 \text{ kg/m}^3 \text{ (20 } ^\circ\text{C)} \\
 A_{L1} &= 0 \text{ cm}^2 \\
 A_{L2} &= 23 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\dot{V}_{HZ,50} = \frac{1,28 \cdot 23 \cdot 50^{0,65}}{\left(\frac{30^{0,65}}{20^{0,5}}\right) \left(\frac{30}{20}\right)^{0,65} - 20^{(0,65-0,5)}} - 0 = 344 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (45)$$

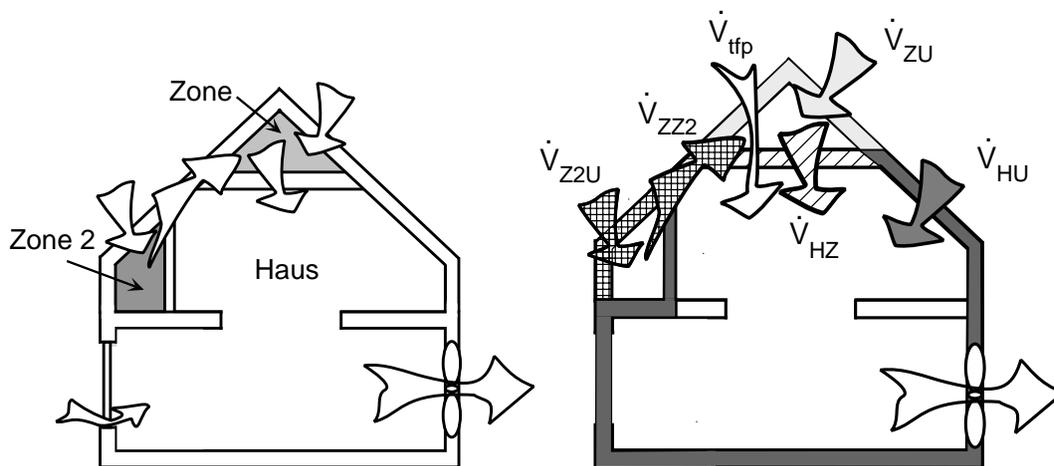
$$\dot{V}_{ZU,50} = \dot{V}_{HZ,50} \left(\frac{30}{20}\right)^{0,65} = 448 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (46)$$

$$\dot{V}_{\text{tfp}} = \dot{V}_{HZ,50} \left(\frac{30}{50}\right)^{0,65} = 247 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (47)$$

## A.2 Beispiel Opening A Door B

Das zu untersuchende Gebäude hat einen Spitzboden, der Verbindungen über Leckagen in der Kehlbalckendecke zum restlichen Gebäude, sowie über Leckagen im Dach nach außen aufweist und über Leckagen mit der Abseite in Verbindung steht (Bild 19). Die Abseite hat keine nennenswerte Verbindung zum Gebäude.

1. Wie groß ist der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  durch das Dach?
2. Wie groß ist der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{ZZ2}$  über die Verbindung zur Abseite?
3. Wie groß ist der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{HZ}$  durch die Kehlbalckendecke?
4. Wie groß ist der gesamte Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{tfp}$  durch Kehlbalckendecke, Spitzboden und Dach?



**Bild 19:** Auf der linken Seite ist die Leckageverteilung des Beispielgebäudes dargestellt. Auf der rechten Seite sind für die bessere Übersicht die Wandbereiche und Volumenstrompfeile in Graustufen so gekennzeichnet, daß zu erkennen ist, welcher Volumenstrom über welchen Bereich ermittelt wird.

Der Volumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  umfaßt die Leckagen, die sich in dem hellgrauen Dachbereich befinden, exemplarisch wird dies in Bild 19 die Leckagen über das Dach. Der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{ZZ2}$  über die Verbindung Abseite/Spitzboden ist durch ein kariertes Muster dargestellt. Ebenfalls in kariertem Muster ist der Leckagevolumenstrom Abseite/Umgebung wiedergegeben. Die beiden zuletzt genannten Volumenströme sind farblich gleich dargestellt, um zu verdeutlichen, daß sie in o.g. Beispiel gleich groß sind.

Der dunkelgraue Wandbereich umfaßt alle Leckagen der restlichen Gebäudehülle, exemplarisch in Bild 19 als Leckage über das Fenster dargestellt. Sie werden zu dem Volumenstrom  $\dot{V}_{HU}$  zusammengefaßt.  $\dot{V}_{HZ}$  ist die Summe der Leckagevolumenströme über die Kehlbalckendecke.  $\dot{V}_{tfp}$  ist der Leckagevolumenstrom, der durch den Leckageweg Umgebung/Spitzboden/Gebäude tritt.

**Auswertung für OAD B**

Die Auswertung (OAD B, Fall 3d) erfolgt für die Randbedingungen von Messung 1.

$$\begin{aligned}
 \dot{V}_1 &= 317 \text{ m}^3/\text{h} \\
 \dot{V}_2 &= 324 \text{ m}^3/\text{h} \\
 \dot{V}_3 &= 335 \text{ m}^3/\text{h} \\
 \Delta p_{\text{HU}} &= 50 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{HZ},1} &= 4,1 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{Z2U},1} &= 45,6 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{ZU},1} &= 45,9 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{ZZ2},1} &= 0,3 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{HZ2},1} &= 4,4 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{ZZ2},2} &= 3,5 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{Z2U},2} &= 46,5 \text{ Pa} \\
 n &= 0,65; \text{ Druckexponent der Leckagen}
 \end{aligned}$$

1. Bestimmung des Leckagevolumenstroms über die Verbindung Zone/Umgebung

$$\dot{V}_{\text{ZU},1}$$

$$\dot{V}_{\text{ZU},1} = \left( 7 - 11 \frac{(45,6^{0,65} - 46,5^{0,65})}{(50^{0,65} - 46,5^{0,65})} \right) \frac{1}{\left( \frac{50}{45,9} \right)^{0,65} - 1} = 68 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (48)$$

2. Bestimmung des Leckagevolumenstroms über die Verbindung Zone 2/Umgebung

$$\dot{V}_{\text{ZZ2},1}$$

$$\dot{V}_{\text{Z2U},1} = \frac{11}{50^{0,65} - 46,5^{0,65}} 45,6^{0,65} = 229 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (49)$$

3. Bestimmung des Volumenstroms über die Verbindung Zone/Zone 2  $\dot{V}_{\text{ZZ2},1}$

$$\dot{V}_{\text{ZZ2},1} = \dot{V}_{\text{Z2U},1} = 229 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (50)$$

4. Bestimmung des Leckagevolumenstroms über die Verbindung Gebäude/Zone

$$\dot{V}_{\text{HZ},1}$$

$$\dot{V}_{\text{HZ},1} = \dot{V}_{\text{ZU},1} + \dot{V}_{\text{ZZ2},1} = 297 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (51)$$

### A.3 Beispiel Opening A Door C

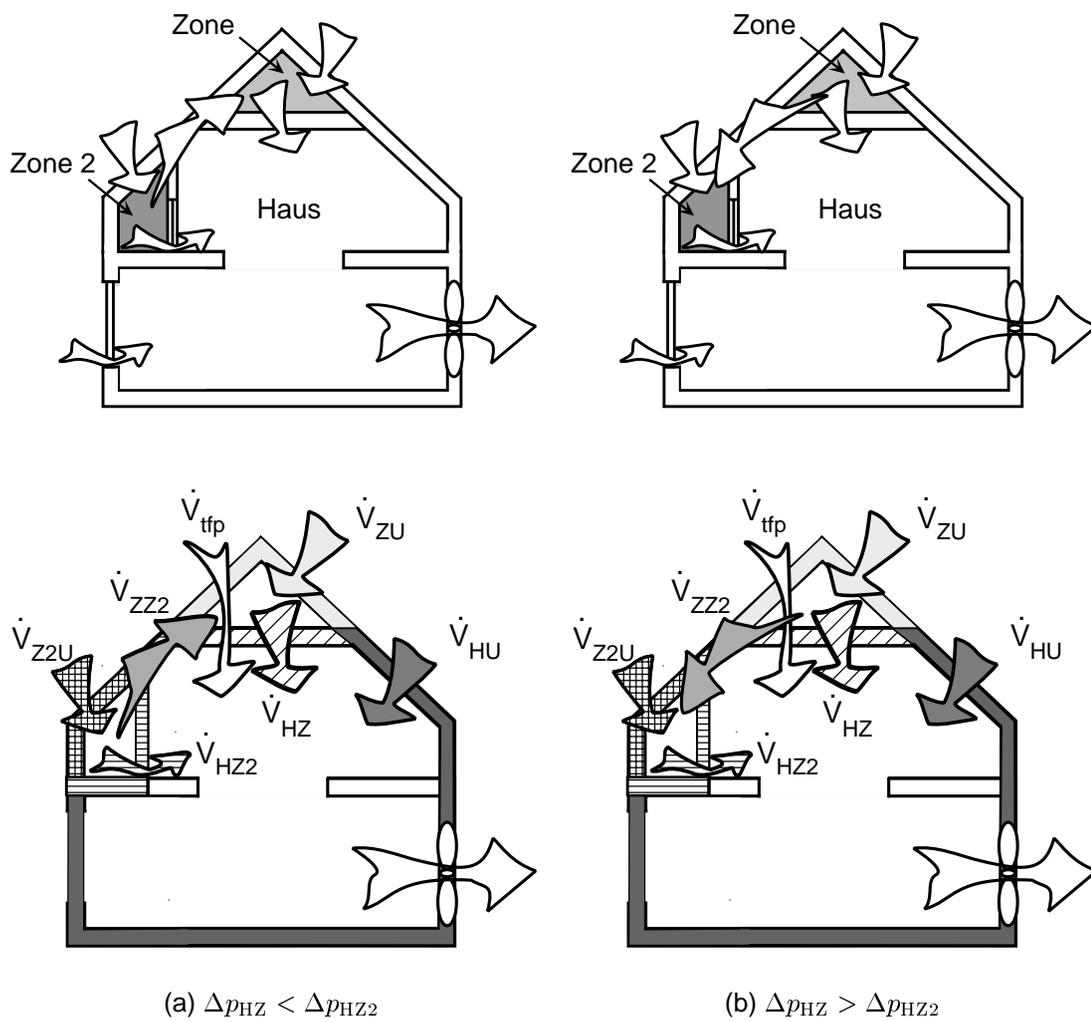
Das zu untersuchende Gebäude hat einen Spitzboden, der Verbindungen über Leckagen in der Kehlbalkendecke zum restlichen Gebäude, sowie über Leckagen im Dach nach außen aufweist und über Leckagen mit der Abseite in Verbindung steht (Bild 20). Die Abseite hat zusätzlich eine Verbindung zum Gebäude.

1. Wie groß ist der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  durch das Dach?
2. Wie groß ist der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{ZZ2}$  über die Verbindung zur Abseite?
3. Wie groß ist der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{HZ}$  durch die Kehlbalkendecke?
4. Wie groß ist der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{HZ2}$  durch die Abseite?
5. Wie groß ist der gesamte Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{tfp}$  durch Kehlbalkendecke, Spitzboden und Dach?

Der Volumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  umfaßt die Leckagen, die sich in dem hellgrauen Dachbereich befinden, exemplarisch ist dies in Bild 20 die Leckagen über das Dach. Der Leckagevolumenstrom  $\dot{V}_{ZZ2}$  über die Verbindung Abseite/Spitzboden ist kariert dargestellt.

Der dunkelgraue Wandbereich umfaßt alle Leckagen der restlichen Gebäudehülle, exemplarisch in Bild 20 als die Leckagen über das Fenster dargestellt. Sie werden zu dem Volumenstrom  $\dot{V}_{HU}$  zusammengefaßt.  $\dot{V}_{HZ}$  ist die Summe der Leckagevolumenströme über die Kehlbalkendecke.  $\dot{V}_{tfp}$  ist der Leckagevolumenstrom, der durch den Leckageweg Umgebung/Spitzboden/Gebäude tritt. Die Leckagen der Außenhülle der Abseite  $\dot{V}_{Z2U}$  wird durch den karierten Bereich/Pfeil repräsentiert. Die innere Leckagen der Abseite  $\dot{V}_{HZ2}$  ist gestreift dargestellt.

Bei dieser Leckagenkombination ist zu beachten, daß die Strömungsrichtung des Volumenstroms  $\dot{V}_{ZZ2}$  von den Druckdifferenzen  $\Delta p_{HZ}$  und  $\Delta p_{HZ2}$  abhängig ist. Bei einer Druckdifferenz von  $\Delta p_{HU} = 50$  Pa Unterdruck strömt die Luft immer in den Bereich mit dem niedrigeren Druckniveau, d.h. wenn  $\Delta p_{HZ} < \Delta p_{HZ2}$ , dann strömt die Luft von der Abseite in den Spitzboden (Bild 20a) und umgekehrt (Bild 20b).



**Bild 20:** Auf der linken Seite ist die Leckageverteilung des Beispielgebäudes dargestellt. Rechts sind die einzelnen Leckagevolumenströme in Graustufen mit den dazugehörigen Gebäudebereichen abgestimmt, so daß zu erkennen ist, welcher Volumenstrom für welchen Gebäudebereich bestimmt wird.

**Auswertung für OAD C**

Die Auswertung (OAD C, Fall 3i) erfolgt für die Randbedingungen von Messung 1.

$$\begin{aligned}
 \dot{V}_1 &= 365 \text{ m}^3/\text{h} \\
 \dot{V}_2 &= 829 \text{ m}^3/\text{h} \\
 \dot{V}_3 &= 983 \text{ m}^3/\text{h} \\
 \Delta p_{\text{HU}} &= 50 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{HZ},1} &= 45,5 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{HZ2},1} &= 45 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{ZZU},1} &= 5 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{ZU},1} &= 4,5 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{ZZ2},1} &= 0,5 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{ZZ2},2} &= 20,6 \text{ Pa} \\
 \Delta p_{\text{ZZU},2} &= 29,4 \text{ Pa} \\
 n &= 0,65; \text{ Druckexponent der Leckagen}
 \end{aligned}$$

Die einzelnen Leckagekoeffizienten werden folgendermaßen bestimmt:

$$C_{\text{ZZU}} = \frac{983 - 829}{50^{0,65} - 29,4^{0,65}} = 41,5 \quad \text{m}^3/(\text{hPa}^n) \quad (52)$$

$$C_{\text{ZU}} = \frac{829 - 365 + 41,5 (50^{0,65} - 29,4^{0,65})}{50^{0,65} - 4,5^{0,65}} = 20,7 \quad \text{m}^3/(\text{hPa}^n) \quad (53)$$

$$C_{\text{HU}} = \frac{365 - 20,7 \cdot 4,5^{0,65} - 41,5 \cdot 50^{0,65}}{50^{0,65}} = 15,1 \quad \text{m}^3/(\text{hPa}^n) \quad (54)$$

➔ Strömungsrichtung: Zone → Zone 2

$$C_{\text{ZZ2}} = \frac{20,7 \cdot 4,5^{0,65} + 15,1 \cdot 50^{0,65} - 365 + 41,5 \cdot 29,4^{0,65} \left(\frac{45}{20,6}\right)^{0,65}}{45^{0,65} + 0,5^{0,65}} = 40,2 \quad (55)$$

$$C_{\text{HZ}} = \frac{20,7 \cdot 4,5^{0,65} - 40,2 \cdot 0,5^{0,65}}{45,5} = 2,5 \quad \text{m}^3/(\text{hPa}^n) \quad (56)$$

$$C_{\text{HZ2}} = \frac{41,5 \cdot 29,4^{0,65} - 40,2 \cdot 20,6^{0,65}}{20,6^{0,65}} \quad \text{m}^3/(\text{hPa}^n) \quad (57)$$

Die Volumenströme für die Randbedingungen aus Messung 1 lassen sich bestimmen zu:

$$\dot{V}_{\text{ZU},1} = C_{\text{ZU}} \Delta p_{\text{ZU},1}^n = 55 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (58)$$

$$\dot{V}_{ZZ2,1} = C_{ZZ2} \Delta p_{ZZ2,1}^n = 26 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (59)$$

$$\dot{V}_{HZ,1} = C_{HZ} \Delta p_{HZ,1}^n = 29 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (60)$$

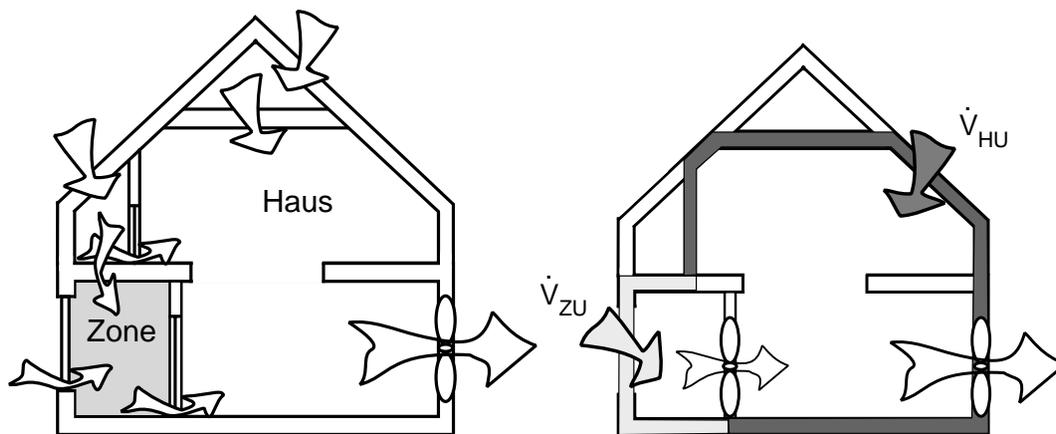
$$\dot{V}_{Z2U,1} = C_{Z2U} \Delta p_{Z2U,1}^n = 118 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (61)$$

$$\dot{V}_{HZ2,1} = C_{HZ2} \Delta p_{HZ2,1}^n = 144 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (62)$$

## A.4 Beispiel Guard Zone

Das zu untersuchende Gebäude hat einen Raum (Zone), der mit dem restlichen Gebäude in Verbindung steht, sowie Leckagen nach außen aufweist (Bild 21). Folgende Fragestellungen sind mit der Guard Zone-Methode zu beantworten:

1. Wie groß ist der Volumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  durch die Außenbauteile des untersuchten Raumes?
2. Wie groß ist der Volumenstrom  $\dot{V}_{HU}$  durch die Außenhülle des Gebäudes?



**Bild 21:** Auf der linken Seite ist die Leckageverteilung des Beispielgebäudes dargestellt. Auf der rechten Seite sind für die bessere Übersicht die Wandbereiche und Volumestrompfeile in verschiedenen Graustufen so gekennzeichnet, daß zu erkennen ist, welcher Volumenstrom über welchen Bereich ermittelt wird.

Der Volumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  ist gemäß Bild 21 die Summe aus den Leckagen über das Fenster und die Geschloßdecke zur Abseite.  $\dot{V}_{HU}$  umfaßt alle Leckagen der restlichen Gebäudehülle. Der Volumenstrom über die Kehlbalkendecke wird mit dieser Methode nicht bestimmt.

### Auswertung für Guard Zone

Mit  $\dot{V}_{Ges.} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$  und  $\dot{V}_{Zone} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$  ergibt sich:

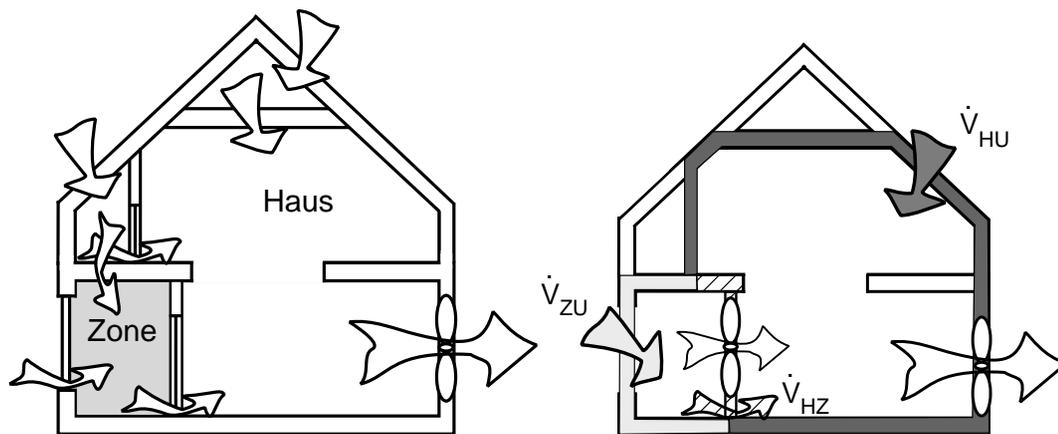
$$\dot{V}_{ZU,50} = 150 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (63)$$

$$\dot{V}_{HU} = 600 - 150 = 450 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (64)$$

## A.5 Beispiel Deduktion

Das zu untersuchende Gebäude hat einen Raum/Zone, der mit dem restlichen Gebäude in Verbindung steht, sowie Leckagen nach außen hat (Bild 22). Folgende Fragestellungen sind mit der Deduktions-Methode zu beantworten:

1. Wie groß ist der Volumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  durch die Außenhülle des untersuchten Raumes?
2. Wie groß ist der Volumenstrom  $\dot{V}_{HU}$  durch die Außenhülle des Gebäudes?
3. Wie groß ist der Volumenstrom  $\dot{V}_{HZ}$  durch die Trennwände zwischen Gebäude und Raum?



**Bild 22:** Auf der linken Seite ist die Leckageverteilung des Beispielgebäudes dargestellt. Auf der rechten Seite sind für die bessere Übersicht die Wandbereiche und Volumenstrompfeile in verschiedenen Graustufen so gekennzeichnet, daß zu erkennen ist, welcher Volumenstrom über welchen Bereich ermittelt wird.

Der Volumenstrom  $\dot{V}_{ZU}$  ist in Bild 22 als Summe der Leckagen über das Fenster und die Geschoßdecke dargestellt. Der dunkelgraue Bereich umfaßt alle Leckagen der restlichen Gebäudehülle ( $\dot{V}_{HU}$ ).  $\dot{V}_{HZ}$  ist die Summe der Volumenströme über die Trennwand Gebäude/Zone (gestreifter Pfeil).

### Auswertung für Deduktion

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Auswertung kann mit Hilfe Bild 23 wie folgt beschrieben werden. Es gilt:  $\Delta p_{HZ} = \Delta p_{ZU} - \Delta p_{HU}$

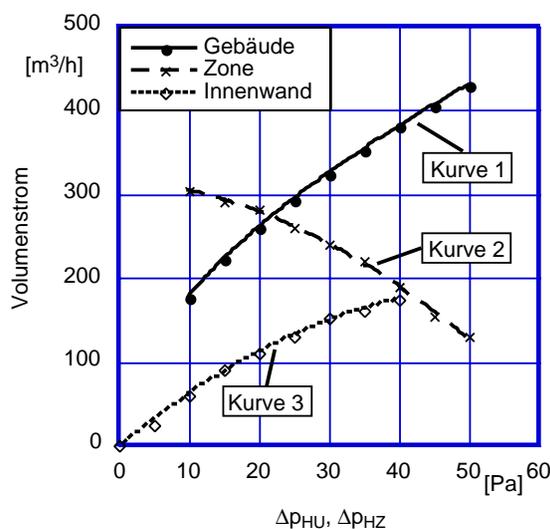
1. Die Volumenströme für den Gebäudeventilator  $\dot{V}_{Ges.}$  und den Zonenventilator  $\dot{V}_{Zone}$  sind gemäß den Berechnungsvorschriften des eingesetzten Ventilators zu berechnen.
2. Die Volumenströme  $\dot{V}_{Ges.}$  und  $\dot{V}_{Zone}$  der beiden Ventilatoren werden über die entsprechende Druckdifferenz  $\Delta p_{HU}$  geplottet.

3. Mit einer Potenzregression (Kurve 1) wird die Funktion  $\dot{V}_{\text{Ges.}}(\Delta p_{\text{HU}})$  für den Volumenstrom des Gebäudeventilators in Abhängigkeit von  $\Delta p_{\text{HU}}$ , mit einem Polynom 2. Grades (Kurve 2) die Funktion des Zonenventilators  $\dot{V}_{\text{Zone}}(\Delta p_{\text{HU}})$  ermittelt.
4. An der Stelle  $\Delta p_{\text{ZU}} - \Delta p_{\text{HU}} = 0$  Pa mit dem Polynom den Volumenstrom  $\dot{V}_{\text{ZU},50}$  durch die Außenwand der Zone bestimmen.
5.  $\dot{V}_{\text{ZU},50}$  von der Kurve  $\dot{V}_{\text{Zone}}$  an jedem Punkt subtrahieren.
6. Die Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{HZ}} = \Delta p_{\text{ZU}} - \Delta p_{\text{HU}}$  bilden.
7. Den Volumenstrom aus Schritt 5 über der Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{HZ}}$  aus Schritt 6 auftragen.
8. Eine Potenzregression (Kurve 3) bilden und den Volumenstrom bei  $\Delta p_{\text{HZ}} = 50$  Pa ermitteln. Dieser Volumenstrom ist der Volumenstrom  $\dot{V}_{\text{HZ},50}$ , der durch die Trennbauteile zwischen Gebäude und Zone bei 50 Pa Druckdifferenz tritt.

Mit  $\dot{V}_{\text{Ges.}} = 430$  m<sup>3</sup>/h (Kurve 1) und  $\dot{V}_{\text{ZU},50} = 130$  m<sup>3</sup>/h (Kurve 2) ergibt sich an der Stelle  $\Delta p_{\text{HZ}} = 50$  Pa aus der Potenzregression für Kurve 3  $\dot{V}_{\text{HZ}} = 190$  m<sup>3</sup>/h.

$$\dot{V}_{\text{HZ}} = 190 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (65)$$

$$\dot{V}_{\text{ZU},50} = 130 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (66)$$



**Bild 23:** Auswertung einer Messung nach der Deduktions-Methode.

## B Bild- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungsverzeichnis

1	Beispiele eines Ein- bzw. Mehrzonenmodelles. . . . .	3
2	Beispiel einer seriellen Leckage. . . . .	5
3	Test auf Verbindungen . . . . .	7
4	Prinzipskizze OAD . . . . .	11
5	Anwendungsmöglichkeiten für OAD . . . . .	12
6	Bezeichnungen und Annahmen für OAD A. . . . .	14
7	Bezeichnungen für die erweiterte Meßmethode Opening A Door . . . . .	15
8	Graphische Auswertung der Opening A Door-Methode (OAD A). . . . .	17
9	Prinzipskizze AAH . . . . .	23
10	Irisblenden . . . . .	24
11	Bezeichnungen und Annahmen für die Meßmethode 'Adding A Hole' . . . . .	25
12	Prinzipskizze GZ . . . . .	29
13	Bezeichnungen und Annahmen für die Meßmethode Guard Zone . . . . .	31
14	Prinzipskizze DD . . . . .	33
15	Bezeichnungen und Annahmen für die Meßmethode Deduktion . . . . .	34
16	Auswertung einer Messung nach der Deduktions-Methode. . . . .	35
17	Beispiel OAD A und Adding A Hole . . . . .	38
18	Graphischen Auswertung OAD A . . . . .	40
19	Beispiel OAD B . . . . .	42
20	Beispiel OAD C . . . . .	45
21	Beispiel GZ . . . . .	48
22	Beispiel DD . . . . .	49
23	Auswertung einer Messung nach der Deduktions-Methode. . . . .	50

## Tabellenverzeichnis

1	Anwendungsbereiche der einzelnen Meßmethoden . . . . .	2
2	Test auf Verbindungen . . . . .	8