

Rolf-Peter Strauß, Timo Kaiser

Anwendungsorientierte Untersuchung eines in einer Wohnungslüftungsanlage integrierten Messsystems zur Diagnose der Luftdichtheit von Gebäuden

F 2782

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2011

ISBN 978-3-8167-8547-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

**Anwendungsorientierte Untersuchung eines
in einer Wohnungslüftungsanlage integrierten
Messsystems zur Diagnose
der Luftdichtheit von Gebäuden**

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Rolf-Peter Strauß
Projektmitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Timo Kaiser
Projektlaufzeit: 15.04.2009 bis 30.09.2010

Hochschule Bremen
ZETA – Zentrum für energieeffiziente Technik und Architektur
Neustadtswall 30
D-28199 Bremen
Tel. : +49 (0)421 5905-2231
Fax : +49 (0)421 5905-2250

„Der Forschungsbericht wurde aus Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
(Akterzeichen: SF – 10.08.18.7-09.1 / II 3 – F20-09-1-101)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor“.

Inhaltsverzeichnis

1.	Projektziel:	2
2.	Durchführung des Projektes:	4
3.	Konzeption Prüfprozedur	6
3.1.	AUFBEREITUNG DIN EN 13829:2000	6
3.2.	KONZEPTION PRÜFVERFAHREN	7
3.3.	KONZEPTION BESTIMMUNGSVERFAHREN.....	14
4.	Sensoren.....	15
4.1.	PRODUKTRECHERCHE DRUCKSENSOREN.....	15
4.2.	PRODUKTRECHERCHE VOLUMENSTROMSENSOREN	16
4.3.	EIGNUNGSTEST	17
4.4.	TESTERGEBNISSE	23
4.5.	PRODUKTRECHERCHE ABSPERRKLAPPEN	23
4.6.	EIGNUNGSTEST	24
4.7.	TESTERGEBNISSE	26
5.	Modul zur Luftdichtheitsmessung	26
5.1.	KONZEPTION	26
6.	Software / Programmentwicklung	28
7.	Praktische Erprobung	29
7.1.	ABGLEICH DER MESSKREUZE	30
7.2.	DICHTHEITSPRÜFUNG ÜBER DIE LÜFTUNGSANLAGE	32
7.3.	BLOWERDOOR-TEST	35
8.	Zusammenfassung	36
9.	Abschließend	37
10.	Anhang:.....	38

1. Projektziel:

Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, eine Technik für Wohnungslüftungsgeräte zu entwickeln, mit deren Hilfe eine qualitative Bewertung der Luftdichtheit eines Gebäudes bestimmt werden kann.

Im Zuge dieser Forschungsarbeit soll gezeigt werden, dass es mit Hilfe einer modifizierten Wohnungslüftungsanlage möglich ist, einen aussagekräftigen Kennwert über die Luftdichtheit eines Gebäudes zu erhalten. Ziel ist es dabei, dass der Anwender einer Wohnungslüftungsanlage mit wenig Aufwand die Dichtheit seines Gebäudes selbst ermitteln kann. So kann möglichenfalls bereits während der Bauphase bzw. bei Sanierungsarbeiten die luftdichte Ausführung der Arbeiten frühzeitig kontrolliert werden. Auch können Wohnungen und Gebäude, für die eine Messung mit der BlowerDoor nicht vorgesehen ist, auf ihre Dichtigkeit hin untersucht werden.

Der Anwender hat damit zudem die Möglichkeit, die Gebäudedichtheit wiederkehrend, zum Beispiel jährlich, einfach und ohne Kosten zu kontrollieren. Auf diese Weise können eventuell auftretende Bauschäden frühzeitig erkannt und damit rechtzeitig beseitigt werden. Neben der technischen Realisierbarkeit der Messung der Gebäudedichtheit mit Hilfe eines Wohnungslüftungsgerätes soll besondere Aufmerksamkeit auf die benutzerfreundliche Bedienung eines solchen Messprogramms und auf aussagekräftige Ergebnisse der Dichtheitsprüfung gelegt werden. Dafür sollen verschiedene Abläufe der Dichtheitsmessung getestet werden. Diese zusätzliche Kontrollmöglichkeit ist für alle am Bau Mitwirkenden von großem Nutzen.

Das Ziel von Planer, Handwerkern und Bauherren sollte die energetisch optimale Umsetzung einer nachhaltig luftdichten Gebäudehülle sein. Langfristig kann dadurch die Akzeptanz der luftdichten Bauweise mit Wohnungslüftungsanlagen erhöht und die Bauqualität verbessert werden.

Qualitätssicherung im Bauwesen wird im Bezug auf höhere technische und bauliche Anforderungen ein immer wichtigeres Thema. Ein wesentliches Kriterium zur Vermeidung von Bauschäden und zur Energieeinsparung ist die bereits seit 1996 in der DIN 4108-7 geforderte luftdichte Bauweise. Auch die Energiesparverordnung [EnEV] gibt vor, dass zu errichtende Gebäude so auszuführen sind, dass die Wärme übertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig, entsprechend dem Stand der Technik, abgedichtet ist.

Daneben werden in der EnEV Anforderungen für den maximal zulässigen Primärenergieaufwand von Neubauten gestellt. Lüftungswärmeverluste stellen hierbei einen erheblichen Anteil dar. Neben den erhöhten Wärmeverlusten der Gebäude bei mangelnder luftdichter Ausführung kann es zu beträchtlichen Gebäude- sowie Gesundheitsschäden kommen. Die durch Leckagen in die Gebäudehülle eindringende Feuchtigkeit kondensiert aufgrund des Temperaturgefälles in der Wand und durchfeuchtet die Dämmung dauerhaft. Dieses führt zu verschlechterten Dämmeigenschaften und zu Schimmelbildung.

Bei Neubauten gibt es einen deutlichen Trend zur Verwendung von Wohnungslüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung (die z. B. bei Passivhäusern Pflicht sind). Dieser Trend wird sich im Rahmen der Bestrebungen zur Energieeinsparung in Zukunft sicherlich verstärken. Durch eine routinemäßige Kontrolle der Dichtheit eines Gebäudes kann eine meist schleichende Verschlechterung der Gebäudehülle frühzeitig erkannt werden. Durch eine umgehende Beseitigung der Undichtigkeiten können die Kosten für eine teure Sanierung der Bausubstanz vermieden werden.

Ebenso werden die Energiekosten durch ein dauerhaft luftdichtes Gebäude gesenkt, da die Wärmerückgewinnung am effektivsten ist, wenn die natürliche In-/Exfiltration am geringsten ist.

Nachrüstungen im vorhandenen Lüftungssystem sind in vielen Fällen nur mit relativ hohem Aufwand möglich. Da bereits eingebaute Lüftungsgeräte erst nach längerer Zeit ausgetauscht werden, ist eine möglichst schnelle Marktverfügbarkeit dieser Technik von großer Bedeutung. Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung dieser Technik ist, dass zukünftig auch die Dichtheit von solchen Gebäuden bestimmt wird, die heute aus Kostengründen nicht auf Dichtheit getestet werden. Weiterhin kann nach dem Einbau des Lüftungsgerätes die Qualität des Bauvorgangs ständig überprüft werden (z. B. während der Abdichtung des Dachanschlusses). So kann auch die Qualität der Arbeiten vom Nutzer überwacht werden.

Wohnungslüftungsgeräte werden derzeit bereits zunehmend mit Drucksensoren ausgestattet. Die Hersteller nutzen diese Sensoren für die Messung verschiedener Druckdifferenzen im Gerät (Vereisungen am Wärmeübertrager, Verschmutzung der Filter etc.), sowie für die präzise Messung der Volumenströme zum balancierten Einregeln der Ventilatoren. Mit Hilfe dieser im Lüftungsgerät überwiegend bereits verbauten Komponenten, erweitert nur um eine Absperrklappe im Fortluft- und Außenluftkanal, kann nun eine Technik zur Messung der Gebäudedichtheit entwickelt werden. Hierfür sollen verschiedene Messprinzipien der präzisen Druck-

und Leckagevolumenstrommessung getestet werden, die sich für die Integration in einem Wohnungslüftungsgerät eignen.

Weiter soll im Zuge des Forschungs-vorhabens eine kostengünstige Absperrklappe entwickelt werden, welche für eine Dichtheitsmessung im Kanalsystem bzw. im Wohnungslüftungsgerät integriert werden muss. Neben der Messgenauigkeit der verschiedenen Verfahren stehen aber auch die damit verbundenen Kosten im Vordergrund, um ein System zu entwickeln, welches sich mit geringem Mehraufwand von den Herstellern in die Wohnungslüftungsgeräte integrieren lässt. Ein wesentlicher Schwerpunkt ist neben der technischen Realisierbarkeit die nutzerfreundliche Anwendung des Systems. Hierzu sollen verschiedene Prüfabläufe entwickelt und getestet werden, mit denen auch Anwender ohne besondere Vorkenntnisse in der Lage sind, weitestgehend automatisch Dichtheitsmessungen am Gebäude vorzunehmen und die Daten manipulationssicher auszugeben. Die Prüfabläufe sollen dafür menügesteuert über das Wohnungslüftungsgerät vorgegeben werden.

2. Durchführung des Projektes:

Am Anfang des Forschungsvorhabens steht die Untersuchung verschiedener Möglichkeiten der Druck- und Volumenstromaufnahme. Hierbei geht es um eine optimale, sowohl technisch als auch ökonomisch, Umsetzung zur Aufnahme der für die Beurteilung der Dichtheit eines Hauses benötigten Messwerte.

Daneben wird in einem theoretischen Teil die Prozedur, nach der die Bestimmung der Gebäudedichtheit erfolgen soll, festgelegt. Diese Prozedur orientiert sich an der DIN EN 13829.

Auf dieser Basis wird ein Bestimmungsverfahren erarbeitet, dass es ermöglicht, fehler- und manipulationssicher einen Kennwert für die Luftdichtigkeit des Gebäudes auch von einem nicht fachkundigen Betreiber bestimmen zu lassen. Der ermittelte Kennwert ist dabei abhängig von dem eingesetzten Wohnungslüftungsgerät. Die in dem Wohnungslüftungsgerät verbauten Ventilatoren können im Gegensatz zu den in einem BlowerDoor Systemen eingesetzten Ventilatoren nur begrenzte Luftmengen fördern. Bei einer Druckdifferenz zwischen dem Gebäudeinneren und der Umgebung von 50 Pascal, wie sie bei BlowerDoor Messungen Anwendung finden, könnten über das Lüftungsgerät Luftwechselraten von ca. 0,5 bis 1,0 gemessen werden. Nach

Passivhausinstitut sind Luftwechselraten bis 0,6 zulässig, so dass dieser Gebäudestandard von dem entwickelten Messsystem kontrolliert werden kann. Für Gebäude, welche lediglich die Anforderungen nach EnEV erfüllen, sind Luftwechselraten bis zu einem Wert von 1,5 zulässig. Um jedoch auch hier einen direkten Vergleich mit den Ergebnissen der BlowerDoor erhalten zu können, sollen für diese Gebäude, bei denen die erforderlichen 50 Pascal vom Wohnungslüftungsgerät nicht aufgebracht werden können, der bei einem niedrigeren Druck ermittelte Wert mittels eines rechnerischen Verfahrens entsprechend ausgegeben werden. Diese Näherung führt für Diagnosezwecke zu hinreichend genauen Ergebnissen. Im zweiten Schritt werden die theoretischen Erkenntnisse in die Praxis umgesetzt. Dazu wird eine Regelungseinheit erstellt, die im Wesentlichen die Steuerung der Messvorrichtung und die Abfolge des Prüfablaufs ermöglicht. Das Erstellen dieser Regelungseinheit soll dabei extern vergeben werden. Die Regelungseinheit wird anschließend auf dem Prüfstand der Hochschule Bremen getestet und erweitert. Die Durchführung des Forschungsprojektes erfolgt in Kooperation mit der Firma Westaflex. Die Firma Westaflex wird dabei in mindestens zwei Häusern modifizierte Wohnungslüftungsgeräte installieren. In diesen modifizierten Anlagen kommt dann die entwickelte Technik zum Einsatz. So kann hierbei die Praxistauglichkeit der einzelnen Komponenten der Messeinrichtung wie Stellklappen, Drucksensoren etc. untersucht werden. Das erstellte Prüfprogramm soll dann auf dessen Eignung und Anwendbarkeit von verschiedenen, auch sachkundigen Probanden hin überprüft werden. Um hierbei verschiedene Anwendungsfälle aufnehmen zu können, sollen kontrollierte Leckagen der Gebäudehülle simuliert werden. Anschließend sollen die ermittelten Werte mit BlowerDoor Messungen verglichen werden.

In einem Abstand von ungefähr sechs Monaten werden die Gebäude mit den modifizierten Wohnungslüftungsanlagen hinsichtlich der Dichtheit nachgemessen. Dies lässt Rückschlüsse auf die Reproduzierbarkeit zu und verbessert die Aussagekraft der Praxistauglichkeit.

3. Konzeption Prüfprozedur

3.1. Aufbereitung DIN EN 13829:2000

Basis des zu entwickelnden Messsystems ist die DIN EN 13829:2000. Sie beschreibt die Verfahren und Richtlinien, die zur Bestimmung der Dichtheit von Gebäuden beachtet werden müssen.

Generell gibt es zwei gängige Verfahren die Dichtheit eines Gebäudes zu erfassen. Das Überdruck- und das Unterdruckverfahren. Hierbei wird mit Hilfe eines externen, in eine Eingangstür des zu prüfenden Gebäudes eingepassten Gebläses (BlowerDoor, siehe **Abb.1**) das zu prüfende Objekt mit Druck beaufschlagt.



Abb.1 Aufbau BlowerDoor Test

Abb. 2 zeigt den Aufbau des Unterdruckmessprinzips. Hierbei muss im zu prüfenden Gebäude über das in die Eingangstür eingepasste Gebläse ein Unterdruck von 50Pa erzeugt werden. Gleichzeitig wird der hierfür benötigte Volumenstrom, der durch das Gebläse aus dem Haus beförderten Luft gemessen. Dieser wird anschließend ins Verhältnis mit dem Luftvolumen des zu prüfenden Objektes gestellt.

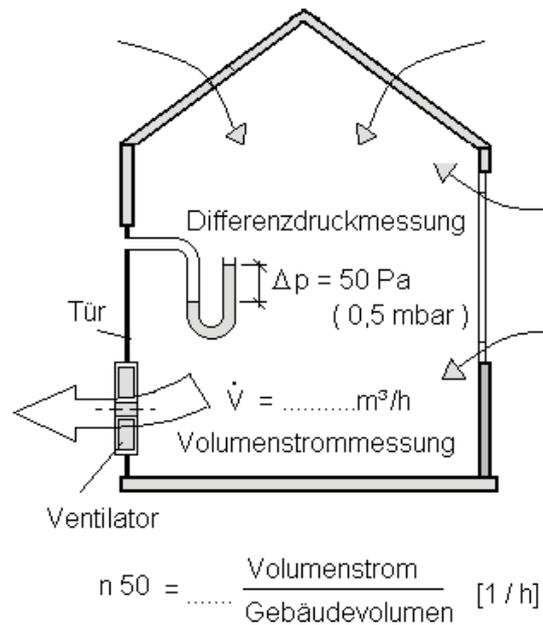


Abb. 2: Ermittlung der Luftwechselrate n50 [2]

Der so bestimmte Wert wird Luftwechselrate [n₅₀-Wert] genannt und ermöglicht eine Aussage über die Luftdichtheit des Gebäudes.

3.2. Konzeption Prüfverfahren

Um aussagefähige und vergleichbare Messwerte zu bekommen, muss das Vorgehen der DIN EN 13829:2000 zur Vorbereitung der Messung beachtet werden. Da hier nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich der Anwender mit der oben genannten Norm auskennt, wurden Algorithmen entwickelt, die den Anwender in die Lage versetzen sollen, die Luftdichtheitsprüfung nach den Vorgaben aus der oben genannten Norm durchzuführen.

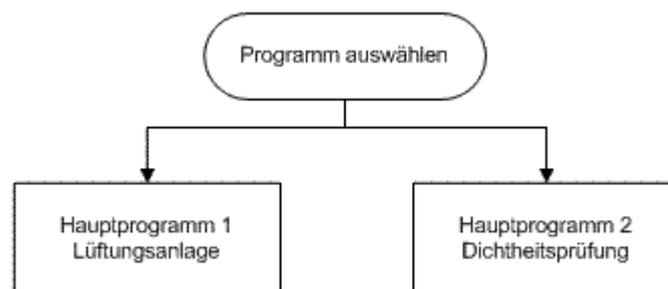


Abb. 3: Ablaufplan

In dem in **Abb.3** dargestellten Ablaufplan kann der Anwender zwischen zwei Hauptprogrammen wählen:

- Lüftungsanlage (wird ab hier nicht weiter verfolgt)
- Dichtheitsprüfung

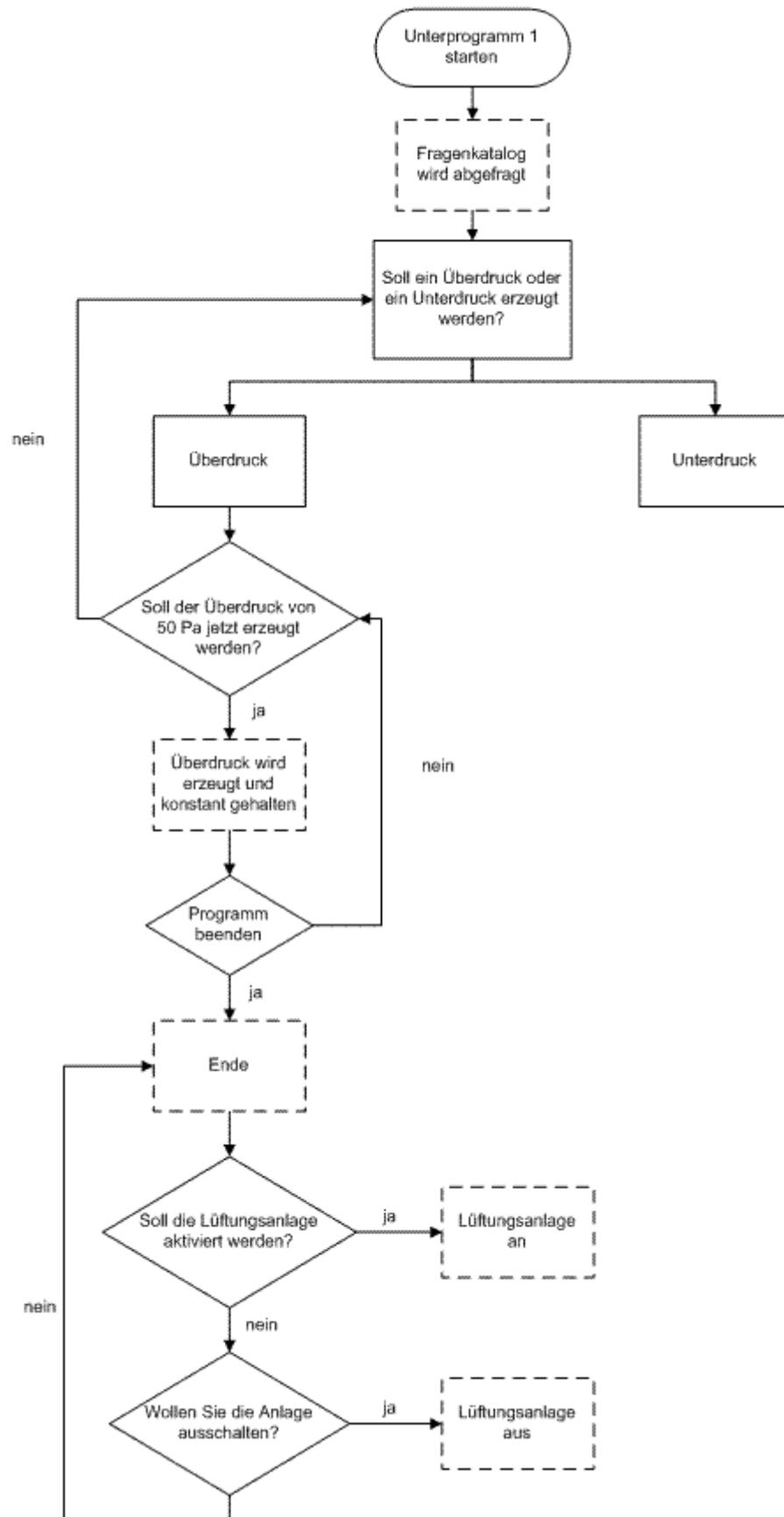
Bei der Anwahl der Dichtheitsprüfung, wird dem Anwender eine Checkliste (siehe **Tabelle 1**) vorgelegt, dessen genaue Abarbeitung entscheidend für die anschließende Aussagefähigkeit der Dichtheitsprüfung ist.

Tabelle 1: Check-Liste

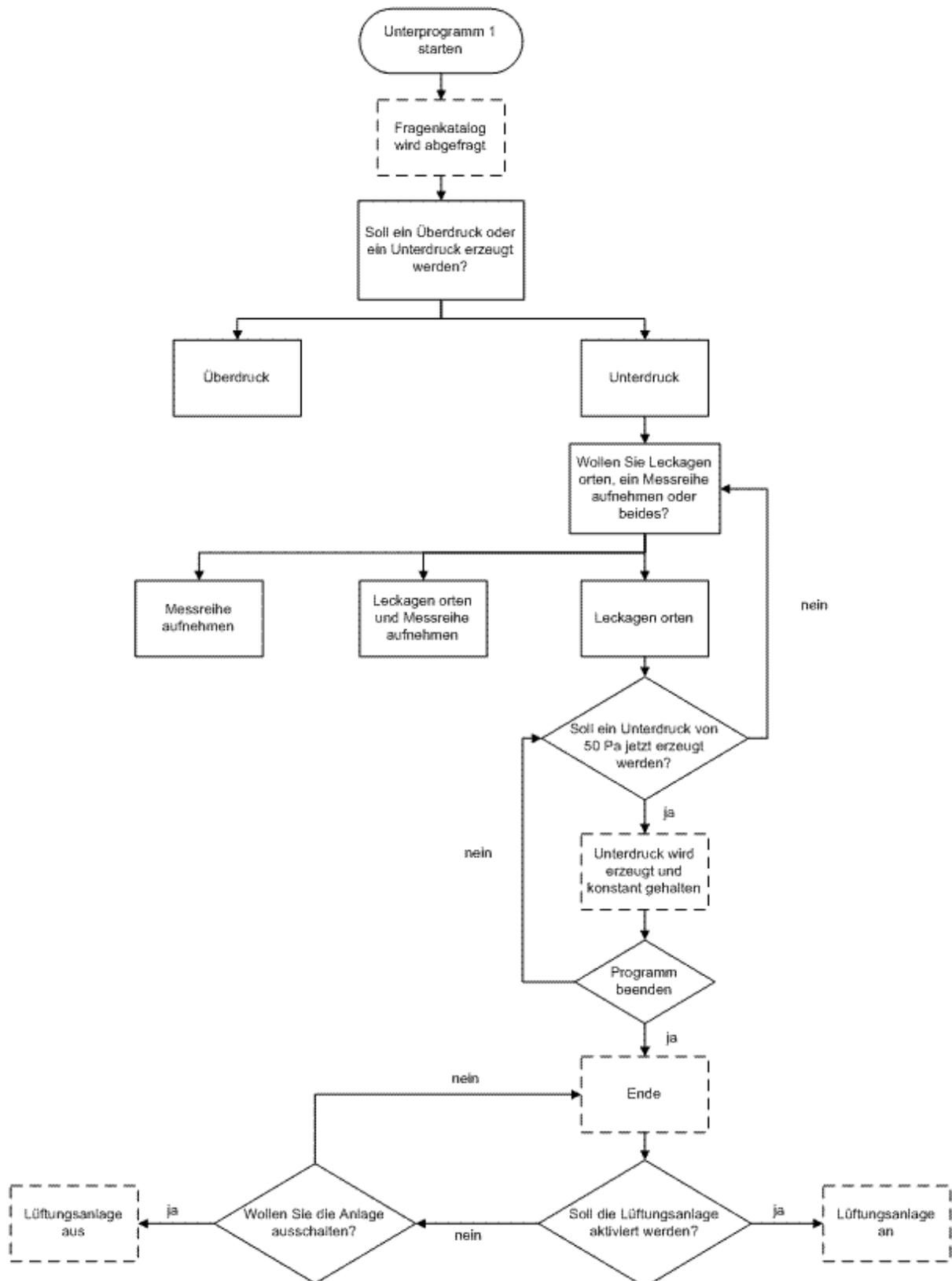
		<u>Check-Liste</u>	
<u>Prüfungsaufgabe:</u> Untersuchung auf Leckagen			
Nr.:	Voraussetzungen	Voraussetzung erfüllt?	
		Ja/ nicht vorhanden	Nein
1	Sind alle Fenster im Gebäude geschlossen bzw. ausreichend abgedichtet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Sind alle nach draußen führenden Türen des Gebäudes geschlossen bzw. ausreichend abgedichtet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Sind alle Türen innerhalb des Gebäudes geöffnet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Sind vorhandene Kamine bzw. Kaminzüge und Luftschächte geschlossen bzw. ausreichend abgedichtet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Ist ein Keller vorhanden? Wenn ja, sind alle Kellerfenster und Lichtschächte ausreichend abgedichtet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Sind Kellertüren, Dachluken und Abseitenklappen geschlossen bzw. ausreichend abgedichtet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Sind alle Zuleitungen von Kalt- und Warmwasser, sowie alle Abwasserleitungen ausreichend abgedichtet? (Hierzu gehören u.a.: Waschbecken, Dusche, Badewanne, Toilette, Waschmaschine, Geschirrspüler)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Ist der Luftkanal für die Dunstabzugshaube abgedichtet? (Nur bei Dunstabzugshauben mit vorhandenem Abluftanschluss)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Werden die Voraussetzungen in der Checklisten alle mit *ja* oder mit *nicht vorhanden* beantwortet, kann mit dem Programmablauf fort geführt werden.

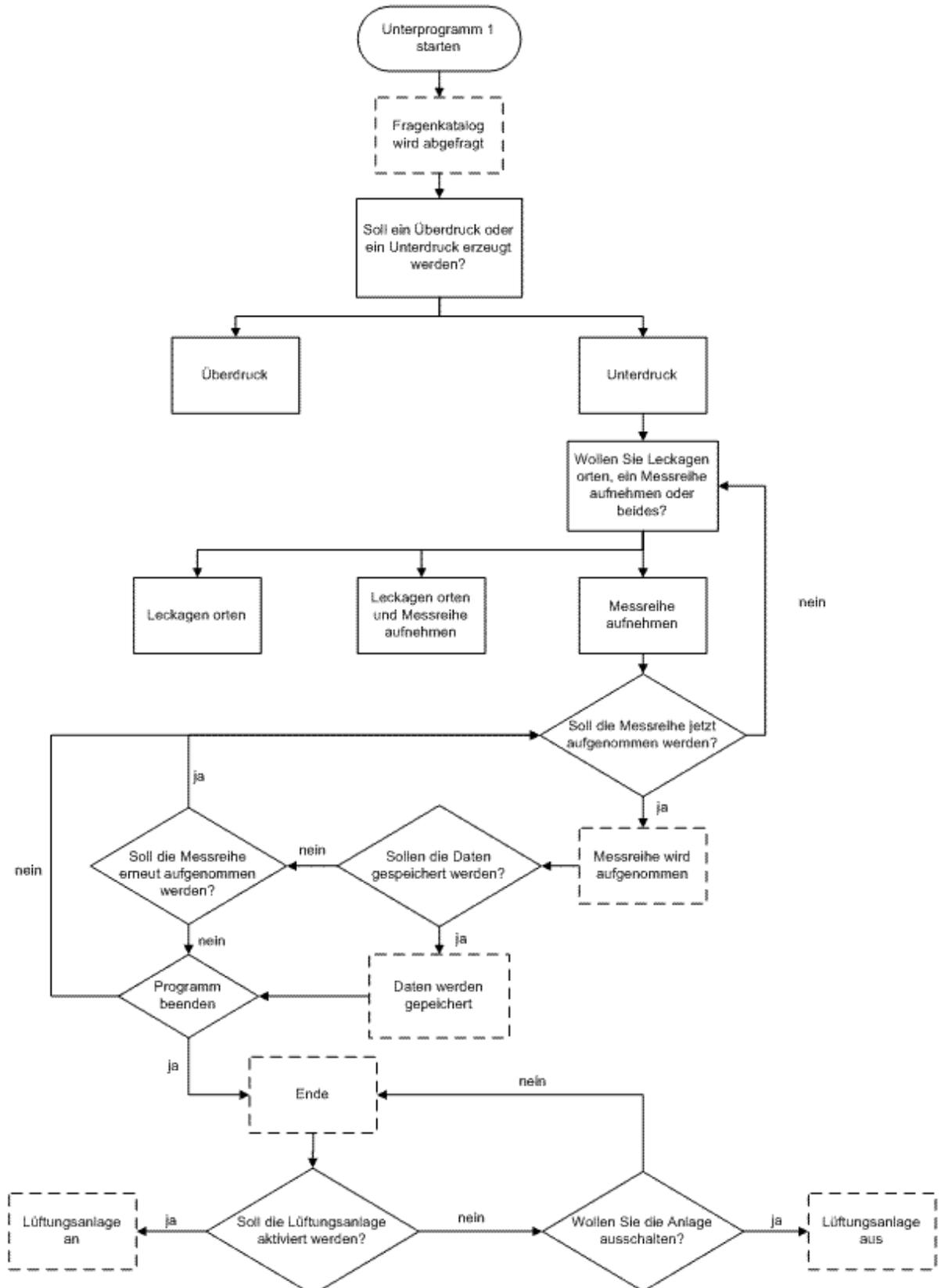
Ablaufplan zur Überdruck-Messung



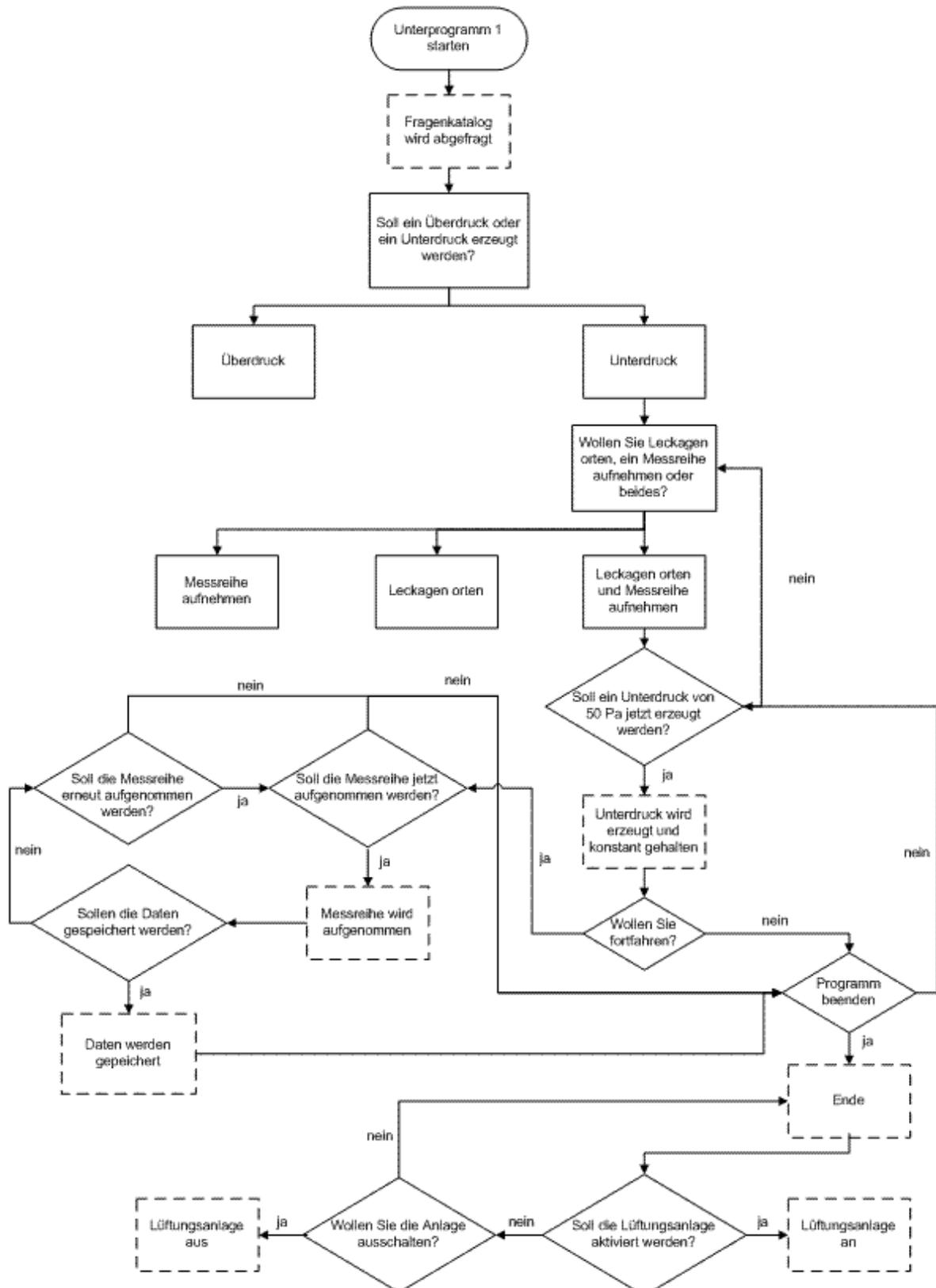
Ablaufplan zur Unterdruck-Messung



Ablaufplan zur Unterdruck-Messung (Messreihen-Aufnahme)



Ablaufplan zur Unterdruck-Messung (Messreihen-Aufnahme)



3.3. Konzeption Bestimmungsverfahren

Ziel ist es, das zu entwickelnde Messsystem zur Diagnose der Gebäudedichtheit, in eine bestehende Lüftungsanlage zu integrieren. Um eine DIN-gerechte Aussage über den Zustand der Außenhülle des zu prüfenden Gebäudes machen zu können, müssen sowohl verschiedene Drücke als auch Volumenströme der Lüftungsanlage aufgenommen werden. Hierfür gilt es die entsprechenden Sensoren zu bemustern und zu beurteilen. Im Vordergrund steht hier die Zuverlässigkeit und Alltags-tauglichkeit der Messverfahren, sowie die Lebensdauer zum Kostenaufwand. Weiter gilt es entsprechende Absperrvorrichtungen für den späteren Einbau in die Zu- und Fortluftkanäle zu prüfen und zu beurteilen.

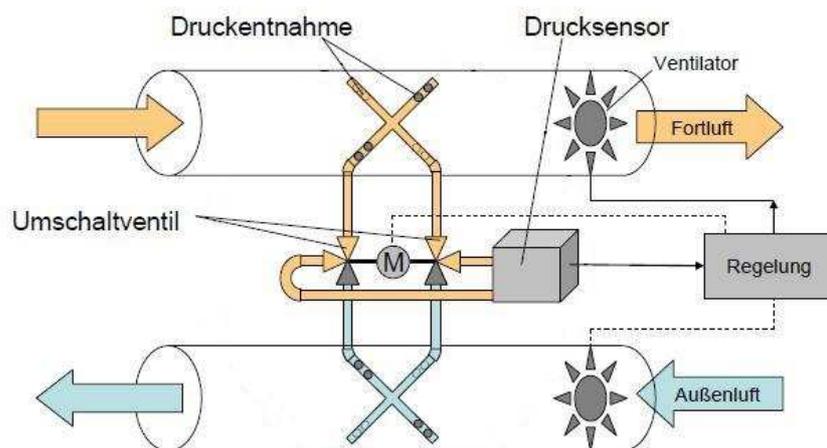


Abb. 4: Funktionsschema der Volumenstrommessung mit Drucksensoren

Für die Volumenstromerfassung bieten sich verschiedene Messmethoden an. Bei den direkten Messmethoden wird ein Sensor verwendet, der vom Hersteller bereits auf einen gewissen Volumenstrombereich eingemessen wurde und dessen Ausgangsspannung einen direkten Wert für den aktuellen Volumenstrom bzw. der vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeit darstellt.

Bei der indirekten Messung wird ein Wert mit einem Sensor aufgenommen, der Rückschlüsse über den derzeitigen Volumenstrom an der Druckentnahmestelle zulässt (siehe hierzu **Abb. 4**).

4. Sensoren

4.1. Produktrecherche Drucksensoren

Für die Produktrecherche der Drucksensoren wurde zunächst eine Anforderungsliste erstellt. Hierfür wurden die Anforderungen an den Drucksensor wie zum Beispiel Druckbereich, Genauigkeit, Lageempfindlichkeit, Langzeitdrift und Anschaffungskosten festgelegt. Die folgenden drei Drucksensoren (siehe **Abb. 5**) erfüllten die gewählten Kriterien. Alle drei Sensoren liegen in der gleichen Preisspanne und haben einen ähnlichen Messbereich (siehe **Tabelle 4**). Die Datenblätter der einzelnen Sensoren befinden sich im Anhang.



Abb. 5: Drucksensoren [5]

Bei den Sensoren handelt es sich allesamt um Miniaturniedrigdrucksensoren, die eine integrierte Schaltung Signalverarbeitung nutzen und eine gleichzeitige Bereitstellung analoger Spannungs- und digitaler Ausgangssignale ermöglicht. Die Sensoren weisen eine relativ hohe Offset-Stabilität und Lageunempfindlichkeit auf.

Name	Art	Speisung [V _{DC}]	Ausgang [V _{DC}]	Messbereich [Pa]	Temp. [°C]	Einbauart
SensorTechnics HCLA02X5DU	statisch	4,5 - 5,5	0,25 - 4,25	0 bis 250	-25 bis 85	egal
SenSpecial SCPB-MB0/2D0V5R	statisch	2,7 - 5,5	0 - 5	0 bis 200	-40 bis 125	vertical or offset
SenSpecial SCPB-MB2/2D0V5R	statisch	2,7 - 5,5	-2,5 - 2,5	-200 bis 200	-40 bis 125	vertical or offset

Tabelle 2: Übersicht technische Daten

4.2. Produktrecherche Volumenstromsensoren

Analog zur Recherche der Drucksensoren wurde eine Anforderungsliste für Volumenstromsensoren erstellt.

Die Recherche ergab, dass aus wirtschaftlichen Gründen keiner der ermittelten Sensoren zur direkten Strömungsmessung verwendet werden könnte.

Der im Folgenden beschriebene Sensor diene lediglich zur Prüfung der allgemeinen Tauglichkeit entsprechender Sensoren beziehungsweise als Referenzmessstelle der Eignungstests der Drucksensoren.

-Beschreibung des verwendeten Volumenstromsensors:

Ein beheizbares Thermowiderstandselement wird relativ zur Mediumtemperatur auf eine konstante Übertemperatur geregelt (CTD-Betrieb [Constant-Temperature-Difference]). Die Wärmeabgabe an das Medium steigt mit zunehmender Strömung. Die Heizspannung ist ein direktes Maß für die Strömungsgeschwindigkeit. Das Datenblatt befindet sich im Anhang.



Abb. 6: Strömungsgeschwindigkeitssensoren [6]

Wird die Strömungsgeschwindigkeit mit Querschnittsfläche A des Rohres multipliziert, erhält man den Volumenstrom: $\dot{V} = \dot{w} \cdot A$. Die Strömungsmessung erfolgt kalorimetrisch nach dem Wärmeübertragungsprinzip.

Name	Art	Speisung [V _{DC}]	Ausgang [V _{DC}]	Messbereich [m/s]	Temp. [°C]	Einbauart
Schmidt Technology SS. 20.250	kalorimetrisch	24	0 bis 10	0 bis 5	-40 bis 85	senkrecht zur Strömung

Tabelle 5: Übersicht technische Daten

4.3. Eignungstest

Mit dem Eignungstest wurden die recherchierten Sensoren auf die folgenden Punkte hin geprüft:

- Reproduzierbarkeit der Messergebnisse
- Lageabhängigkeit der Druckaufnahme
- Einschwingverhalten der Sensoren

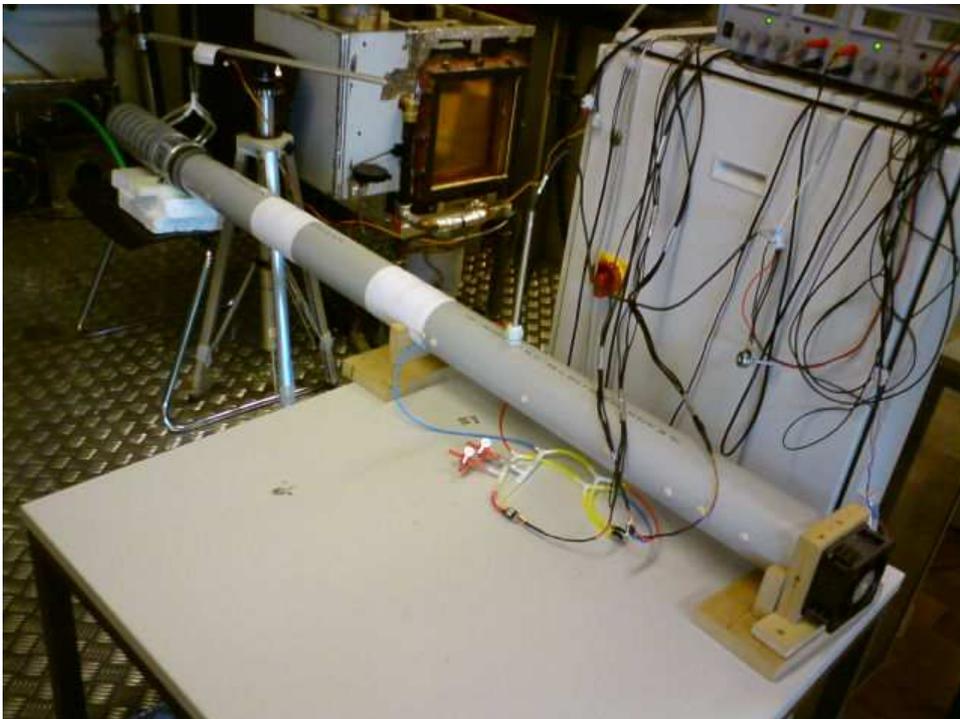


Abb. 7: Messstrecke

Zur Sicherstellung eines direkten Vergleichs der drei zu prüfenden Drucksensoren zueinander, wurden diese zu den Druckentnahmestellen in Reihe geschaltet. Das heißt, alle drei Sensoren wurden zur gleichen Zeit mit den gleichen Drücken beaufschlagt. Dieses gewährleistet eine unverfälschte Aussage der Eigenschaften der zu prüfenden Sensoren zueinander.

Als Referenzwert der einzelnen Messungen wurde der in der Prüfstrecke herrschende dynamische Druck am Ende des Rohres mit einem Messkreuz in Verbindung mit einer HUBA-Druckmeßdose aufgenommen (siehe **Abb.8**). Hierbei ging es nicht um die Genauigkeit des Druckes, als vielmehr um die Erfassung eines

konstanten Vergleichswertes zur Beurteilung des Einflusses des Abstandes der Druckentnahmestelle zum Gebläse.



Abb. 8: Referenzmessstelle



Abb. 9: Messkreuz

Das verwendete Messkreuz als Druckentnahmestelle besteht aus vier sich kreuzenden Messröhrchen, die über kleine Bohrungen, die in bestimmten Abständen in die Röhrchen eingebracht wurden, die entsprechenden Drücke über den gesamten Rohrquerschnitt aufnehmen (siehe **Abb.9**).

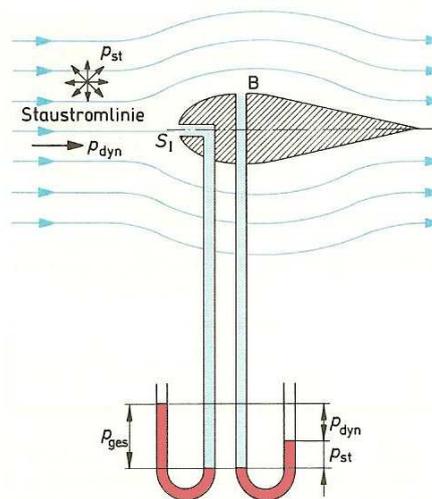


Abb. 10: Messprinzip

Das verwendete Messkreuz wirkt nach dem Prinzip eines Pitot-Piezo-Rohres (siehe **Abb.10**). Dieses besteht aus zwei Röhrchen, dem Pitot-Rohr, das direkt in der

Strömung steht und den Gesamtdruck [p_{ges}] misst, und dem Piezo-Rohr, das quer zur Strömung steht und den statische Druck [p_{stat}] aufnimmt. Mit Hilfe dieser beiden Drücke kann jetzt der dynamische Druck [p_{dyn}] bestimmt werden (siehe 2.1). Dieser ist ein direktes Mass für die vorherrschende Strömungsgeschwindigkeit (siehe 2.2).

$$p_{dyn} = p_{ges} - p_{stat}$$

2.1: dynamischer Druck

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{dyn}}{\rho}}$$

2.2: Strömungsgeschwindigkeit

Über die Strömungsgeschwindigkeit kann der momentan herrschende Volumenstrom bestimmt werden (siehe 2.3).

$$\dot{V} = w \cdot A$$

2.3: Volumenstrom

Die Referenzdruckaufnahme wurde mit einer präzisen HUBA-Druckmessdose aufgenommen. Diese besteht aus einer Membrane, die ihrerseits mit den beiden aufgenommenen Drücken des Messkreuzes beaufschlagt wird und im Endeffekt, wie die zu prüfenden Drucksensoren, in Form einer Spannung den Differenzdruck anzeigt (siehe **Abb.11**).



Abb.11: HUBA-Druckmessdose

Im Zuge dieser Prüfungen wurden verschiedene Messkreuze zur Druckentnahme gefertigt und getestet. Diese wiesen entscheidend kleinere Rohrdurchmesser auf (siehe **Abb.12**). Es soll damit untersucht werden, wie weit der kleinere Rohrdurchmesser Einfluss auf die Messergebnisse hat.

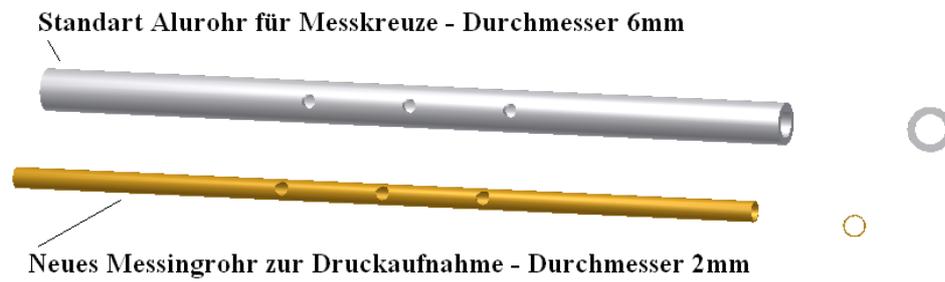


Abb.12: Vergleich Messröhrchen

Die beiden Röhrchen wurden fest mit einander verbunden (siehe **Abb.13**). Hierdurch wurde die Lage der Rohre im Luftstrom fixiert, welches entscheidend für die Reproduzierbarkeit ist.

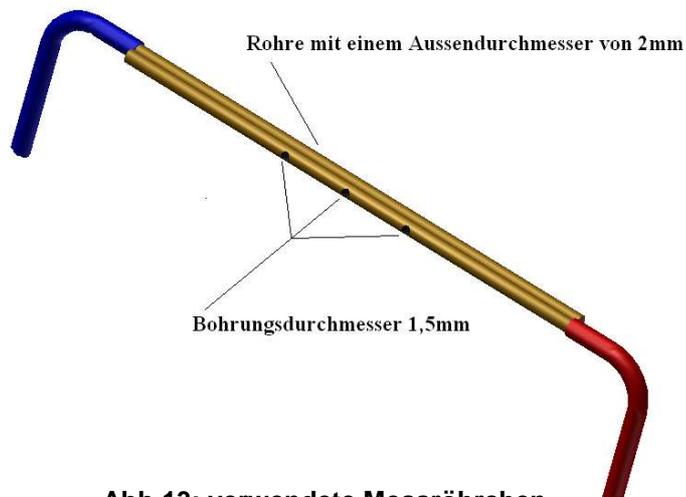


Abb.13: verwendete Messröhrchen

Die Lageempfindlichkeit der Messröhrchen im Kanal wurde ebenfalls untersucht. Hierfür wurden die Messröhrchen in Winkelstufungen von 2,5° von 0° beginnend bis zu einem Wert von 5° waagerecht zum Luftstrom bei gleich bleibendem Volumenstrom in der Prüfstrecke verdreht (siehe **Abb.14**).



Abb.14: winkelabhängig Volumenstrommessung

Es zeigte sich, dass der Anstellwinkel einen merklichen Einfluss auf das Messergebnis hat (siehe **Abb.15**). Zwischen dem waagerechtem Einbau der Röhrchen zur Strömung und einem Anstellwinkel von 5° liegt ein Druckunterschied von gut 5Pa, bei gleichem Luftvolumenstrom. Bezogen auf den dynamischen Druck der bei einem Anstellwinkel von 0° gemessen wurde, entspricht das einer Abweichung von 25%.

Messungenauigkeit in Abhängigkeit vom Anstellwinkel der Messröchen zur Strömung

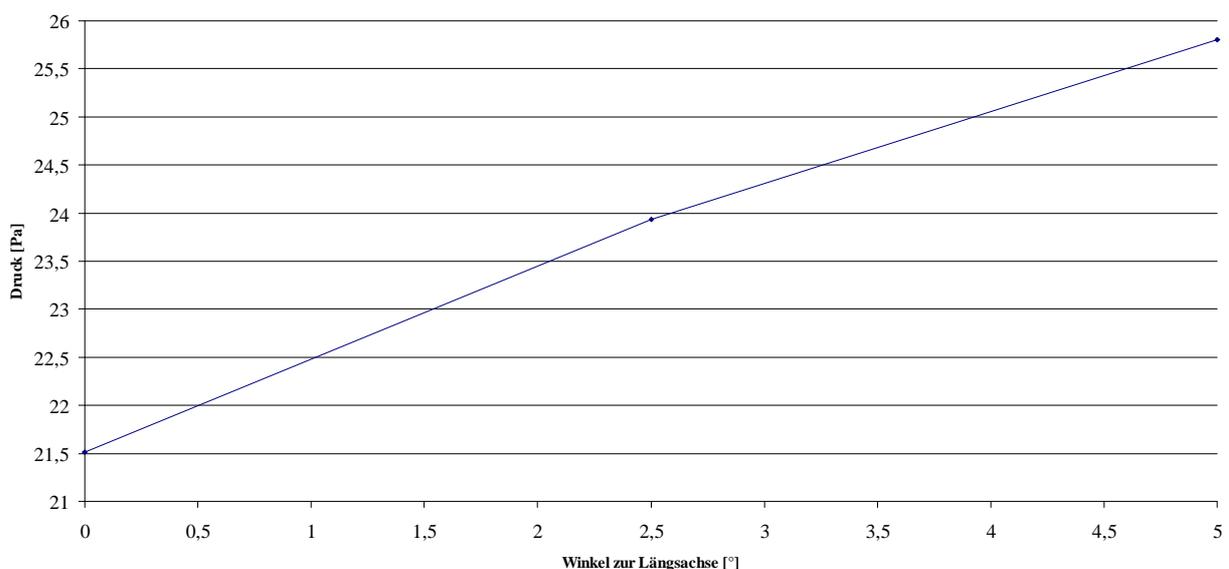


Abb.15: Messabweichungen zum Anstellwinkel

Weiter wurde, wie oben bereits erwähnt, der Einfluss des Abstandes der Messröhrchen zum Gebläse (siehe **Abb.16**) untersucht. Die Erfahrungen dieser Messversuche geben Rückschlüsse über die Wahl der Lage der Druckentnahmepunkte in den Lüftungsgeräten für einen festen Einbau.



Abb.16: variabler Abstand zum Gebläse

Die aufgenommenen Drücke scheinen tendenziell mit zunehmendem Abstand zum Gebläse abzunehmen(siehe **Abb.17**). Dieses resultiert aus der ausgeprägten Ringströmung des verwendeten Axialventilators. Erst mit zunehmenden Abstand zum Ventilator vergleichmäßigt sich die Strömung. Es ist angedacht, diese ausgeprägte Ringströmung zur Verstärkung des Drucksignals in einem Wohnungslüftungsgerät zu nutzen.

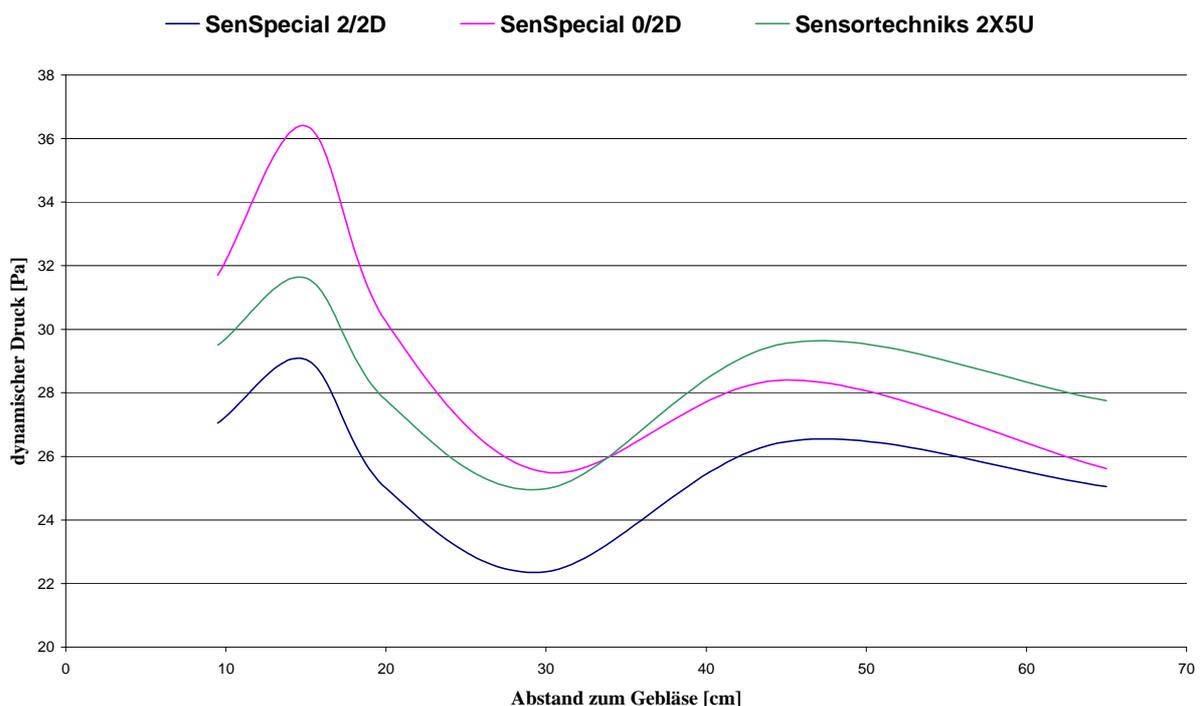


Abb.17: Einfluss des Abstandes der Messstelle auf den dynamischen Druck

4.4. Testergebnisse

Es zeigte sich, dass alle drei Sensoren sehr gute Ergebnisse in allen Messversuchen zeigten. Einzig der SenSpecial SCPB-MB2/2D0V5R, der als einziger sowohl Über- als auch Unterdrücke aufnehmen kann, zeichnete sich durch eine sehr gute Offsetnachregelung aus.

Bezüglich der Wahl der Lage der Druckentnahmestelle empfiehlt sich eine Druckentnahme im Ringsspalt des Ventilators, um so einen verstärktem Druck zu enthalten. Durch die relativ große Lageempfindlichkeit der Messröhrchen im Gerät sollte wird aber eine Einmessung der Druckmessstellen unabdingbar sein. Hierfür müssten die eingebauten Messröhrchen mit einem entsprechenden Messgerät in Reihe geschaltet und kalibriert werden.

4.5. Produktrecherche Absperrklappen

Zur Erstellung einer Dichtheitsprüfung eines Gebäudes, sowohl im Überdruck- als auch im Unterdruckbereich, muss jeweils die Fortluft bzw. die Zuluft abgesperrt werden. Hierfür wurden zwei handelsübliche Absperrklappen miteinander verglichen. Bei den Absperrklappen handelt es sich um runde Drosselklappen, die mit einer Dichtlippe versehen sind (siehe **Abb.18**). Es wurden einmal Klappen der Firma KARPOL gewählt, die dem Niedrigpreissektor zuzurechnen sind, als auch Absperrklappen der Firma TROX, die aus dem hochpreisigen Sektor kommen (Datenblätter siehe Anhang).



Abb.18: Absperrklappe

4.6. Eignungstest

Als entscheidendes Kriterium der Absperrklappen zueinander kann ihre Dichtigkeit gesehen werden. Mittels eines Prüfstandes wurde untersucht, wie groß die Unterschiede der Klappen der beiden Hersteller zueinander sind. Der Prüfstand bestand aus einem Gebläse, das vor der Absperrklappe befestigt wurde. Es wurden zwei HUBA-Druckmessdosen verbaut, mit denen der Druck vor und nach der Absperrklappe aufgenommen wurde, um anhand der Druckverhältnisse Aussagen über die Dichtigkeit der zu prüfenden Klappe machen zu können. Zur direkten Erfassung des Leckagestroms wurde ein Volumenstromsensor hinter der Absperrklappe installiert (siehe **Abb.19**). Der Testzyklus jeder zu prüfenden Klappe bestand aus mehreren Drücken, die nacheinander angefahren wurden. Angefangen

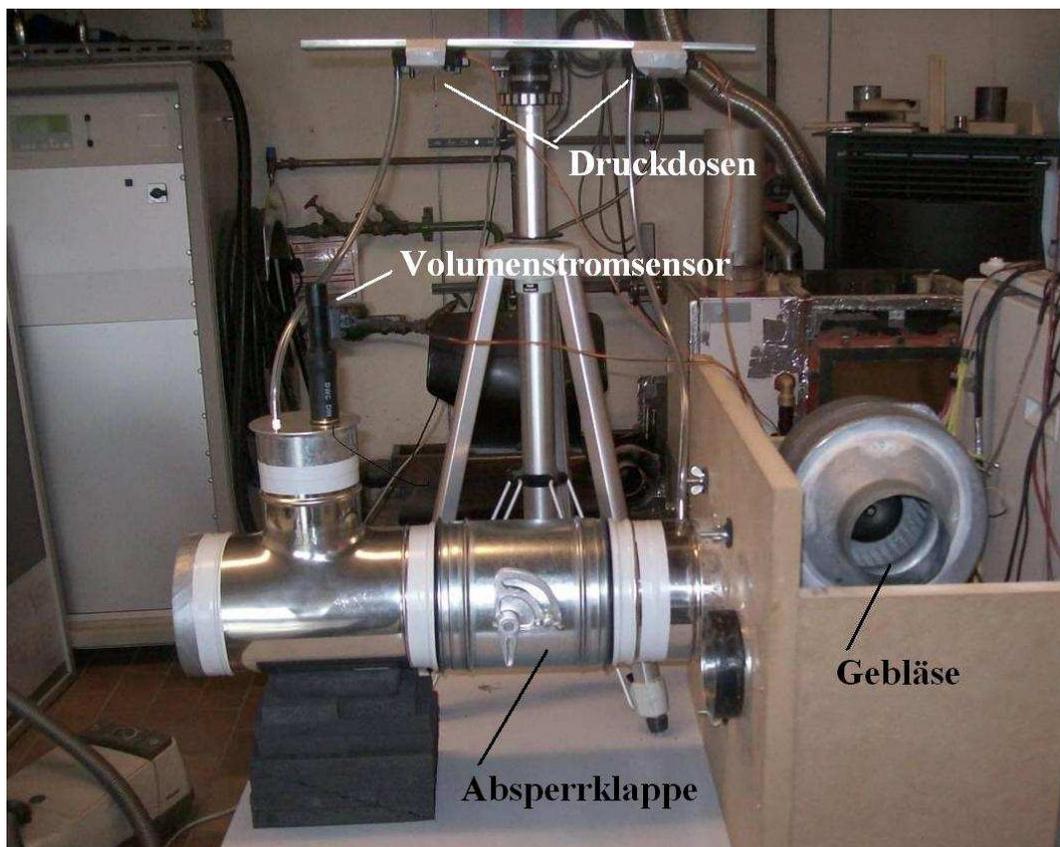


Abb.19: Prüfstand Absperrklappen

mit 50Pa wurde der Druck Schrittweise um 50Pa erhöht. Hierbei wurde zu jedem angefahrenen Druckpunkt der Leckagevolumenstrom über den Volumenstromsensor aufgenommen und in einem Diagramm hinterlegt. Der zu prüfende Druck wurde über die HUBA-Druckmessdose, die den Gesamtdruck vor der Absperrklappe misst, eingestellt (siehe **Abb.20** und **21**).

Leckagestrom der hochwertigen Absperrklappe

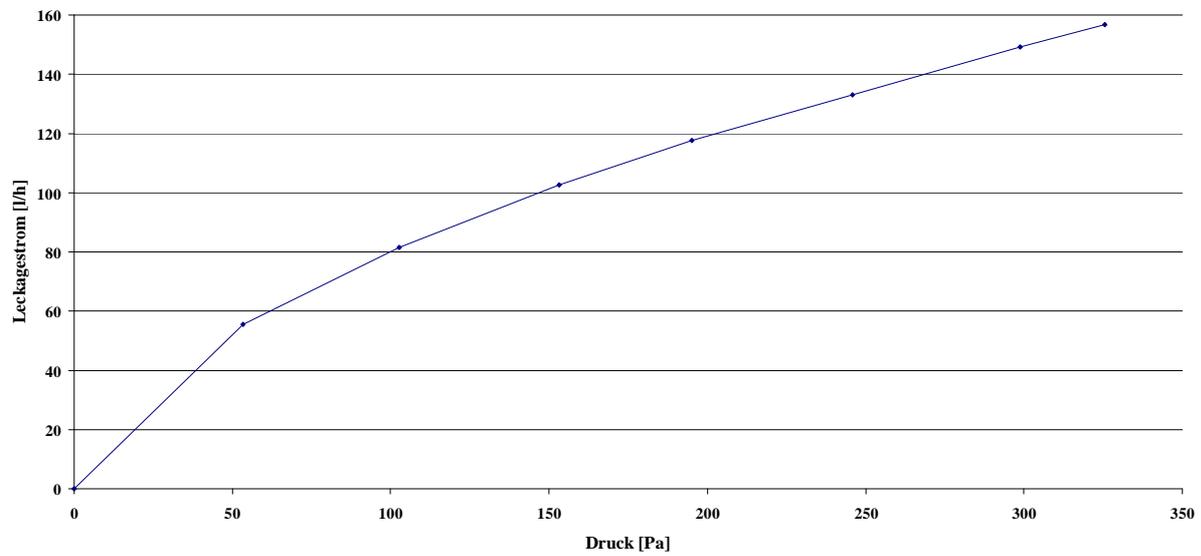


Abb.20: Leckagekurve der hochwertigen Absperrklappe

Leckagestrom der günstigen Absperrklappe

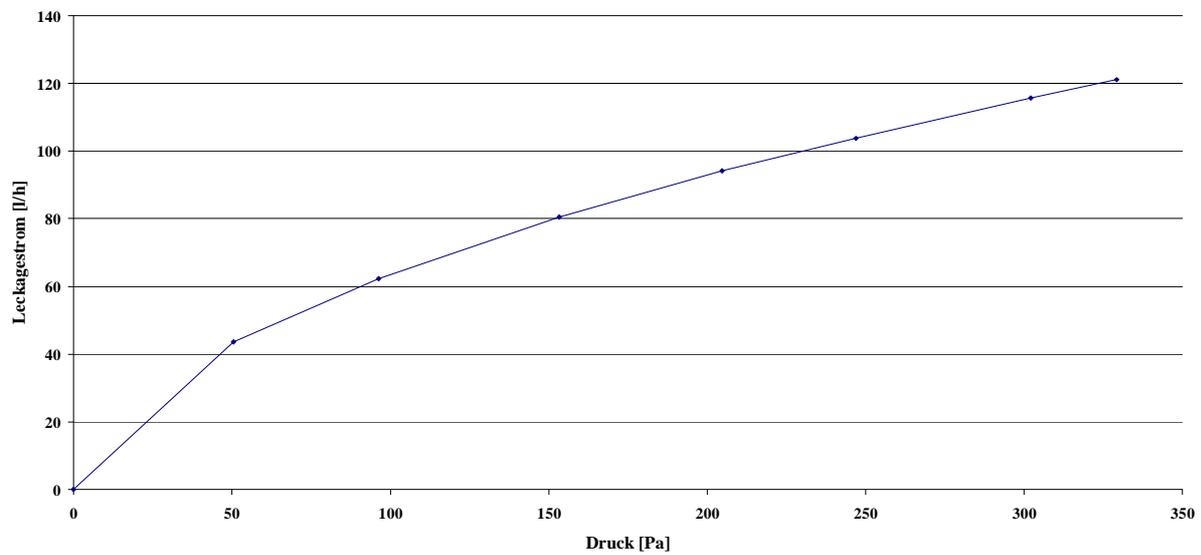


Abb.21: Leckagekurve der günstigen Absperrklappen

4.7. Testergebnisse

Die Tests zeigten, dass kein relevanter Unterschied zwischen den Absperrklappen der beiden Hersteller zu finden war. Es kann also in späteren Praxistests bedenkenlos auf die einfache Absperrklappe zurückgegriffen werden, da diese in Sachen Dichtheit keinerlei Nachteil zu der teureren, zertifizierten Absperrklappe aufweist.

5. Modul zur Luftdichtheitsmessung

Angedacht ist die Entwicklung eines Moduls, das mit dem Fort- und Zuluftstrom der Lüftungsanlage verbunden wird. Das Modul ist in der Lage, die beiden Lüftströme nach Bedarf zu schließen, als auch die Volumenströme der geforderten Luftströme aufzunehmen. Es können außerdem die benötigten Druckmessungen mit diesem Modul durchgeführt werden.

Das entwickelte Modul lässt sich sowohl als Aufsatz auf einem vorhandenen Lüftungsgerät einsetzen (ähnlich eines externen Sommerbypasses) als auch im Zuge einer Neuentwicklung direkt in ein Wohnungslüftungsgerät integrieren.

5.1. Konzeption

Um das Modul so kompakt wie möglich zu halten, wurde eine Schiebetür zum Absperrn der beiden Luftströme gewählt (siehe **Abb.22 und 23**). Die Abmessungen des gesamten Moduls liegen bei einer Tiefe von 40mm, einer Höhe von 175mm und einer Breite von 450mm. Die Öffnungen haben eine Größe von 92mm x 92mm.



Abb.22: geschlossenes Absperrmodul



Abb.23: offenes Absperrmodul

Mit dieser Auslegung können auch beide Ströme mit nur einem Motor voneinander unabhängig geschlossen werden. Die Kraft des Motors wird hierbei über ein Winkelgetriebe um 90° umgelenkt und dann auf zwei Spindeln verteilt, die die Schiebetür entsprechend der Vorgabe des Bedieners in die entsprechende Position

bringen. Die Rückmeldung über das Erreichen der entsprechenden Position der Schiebetür geschieht über drei Lichtschranken.

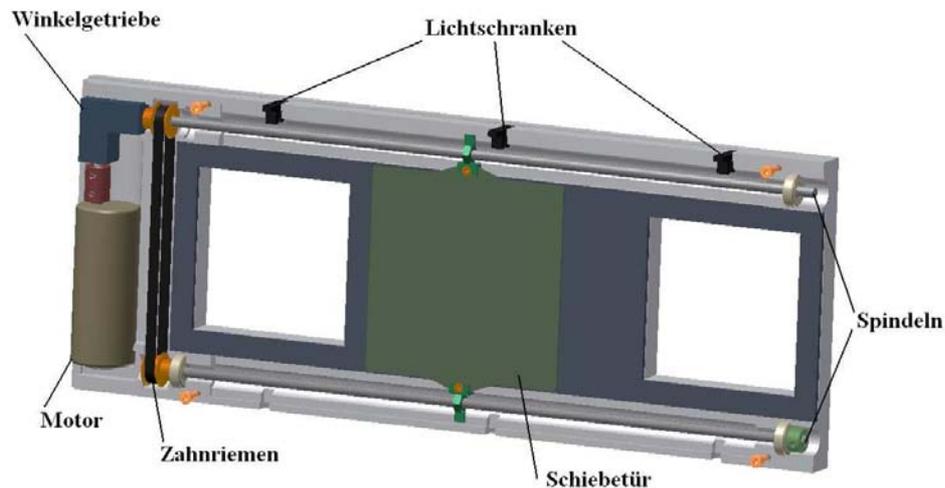


Abb.24: Schema des Absperrmoduls

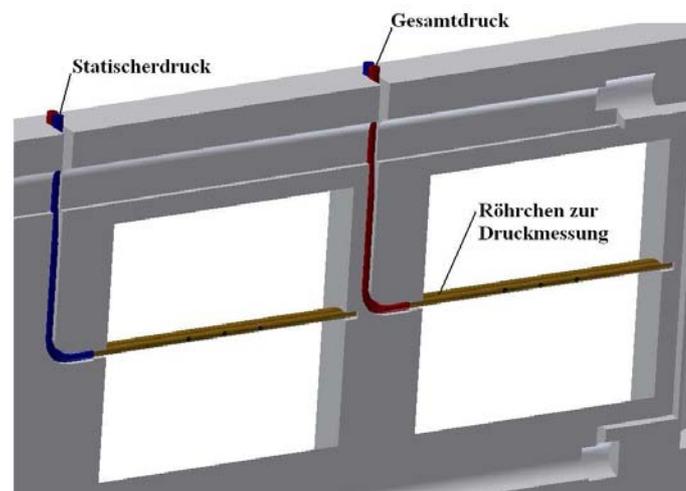


Abb.25: Druckmessung

Durch das Einbringen der im obigen **Kapitel 4.3 Eignungstest** geprüften Messröhrchen in die Öffnungen des Absperrmoduls, können dann der Volumenstrom, über die Ermittlung des Differenzdruckes, als auch die verschiedenen Drücke die für die Luftdichtheitsprüfung eines Gebäudes nötig sind aufgenommen werden.

6. Software / Programmentwicklung

Ziel war es, über die Firma ProVentecs GmbH, ein Programm entwickeln zu lassen, dass mit dem im Gebäude integrierten Lüftungsgerät eine Luftdichtheitsprüfung nach DIN EN 13829 durchführen kann. Hierfür muss die Software in der Lage sein, die volle Regelbarkeit der Lüfter zu übernehmen. Die gesamte Steuereinheit ist als ein Pluginmodul konzipiert, das heißt, dass die Steckverbindungen des Moduls denen des jeweiligen Herstellers des verwendeten Lüftungsgerätes angepasst werden und der Endverbraucher nur die Stecker der beiden Lüfter mit denen des Moduls verbinden muss.

Das gesamte Programm wurde mit der Software **LabView**, der Firma „National Instruments“ entwickelt, das eine Schnittstelle zwischen der Hardware, also den Drucksensoren, den Temperatursensoren und den Lüftern des Lüftungsgerätes, mit einer Messkarte der Firma „National Instruments“ darstellt, die das eigentliche Pluginmodul bildet.

Luftdichtheitsprüfung

Mit dem Programm Luftdichtheitsprüfung wird dem Benutzer die Möglichkeit gegeben, sein Haus auf Undichtigkeiten zu Prüfen. Hierbei werden dem Benutzer vor Beginn der Dichtheitsprüfung die im Programm integrierten Checklisten vorgelegt, dessen korrekte Abarbeitung entscheidend für die Aussagekraft der anschließend durchzuführenden Dichtheitsprüfung ist. Die Benutzeroberfläche (siehe **Abb.22**) ist sehr einfach gehalten, um den Benutzer nicht mit zu vielen Anzeigen zu verwirren. Falls der geforderte Unter- bzw. Überdruck von 50 Pa durch die Lüftungsanlage nicht erreicht werden kann, wird dieses dem Benutzer gemeldet und die Prüfung mit dem maximal ermittelten Druck durchgeführt. Dieser erreichte Druck wird in fünf gleich große Stufen geteilt, die anschließend nacheinander von dem Programm angefahren werden und zu jedem angefahrenen Druckpunkt wird der entsprechende Volumenstrom aufgenommen. Mit Hilfe der so aufgenommenen Leckagekurve wird anschließend der Leckagestrom auf einen Druck von 50Pa extrapoliert. Der gesamte Programmablauf ist automatisiert worden. Dies soll Benutzerfehler minimieren. Optionen werden dem Anwender bei Bedarf, über Pop-upfenster mitgeteilt.

Nach Beendigung der Prüfung werden die Messdaten gespeichert und nach DIN EN 13829 ausgewertet. Dies geschieht mit Hilfe des Officeprogramms **Excel**, der Firma Microsoft. Der Anwender bekommt damit abschließend einen Prüfbericht, der alle relevanten aufgenommenen Daten des Prüflaufs enthält. Hier muss der Benutzer

noch entsprechende Angaben zu Hausgröße und zu den, am Testtag herrschenden, Wetterbedingungen eingeben, um letztendlich unter anderem einen Wert für die Luftwechselrate, den n_{50} -Wert, zu erhalten.

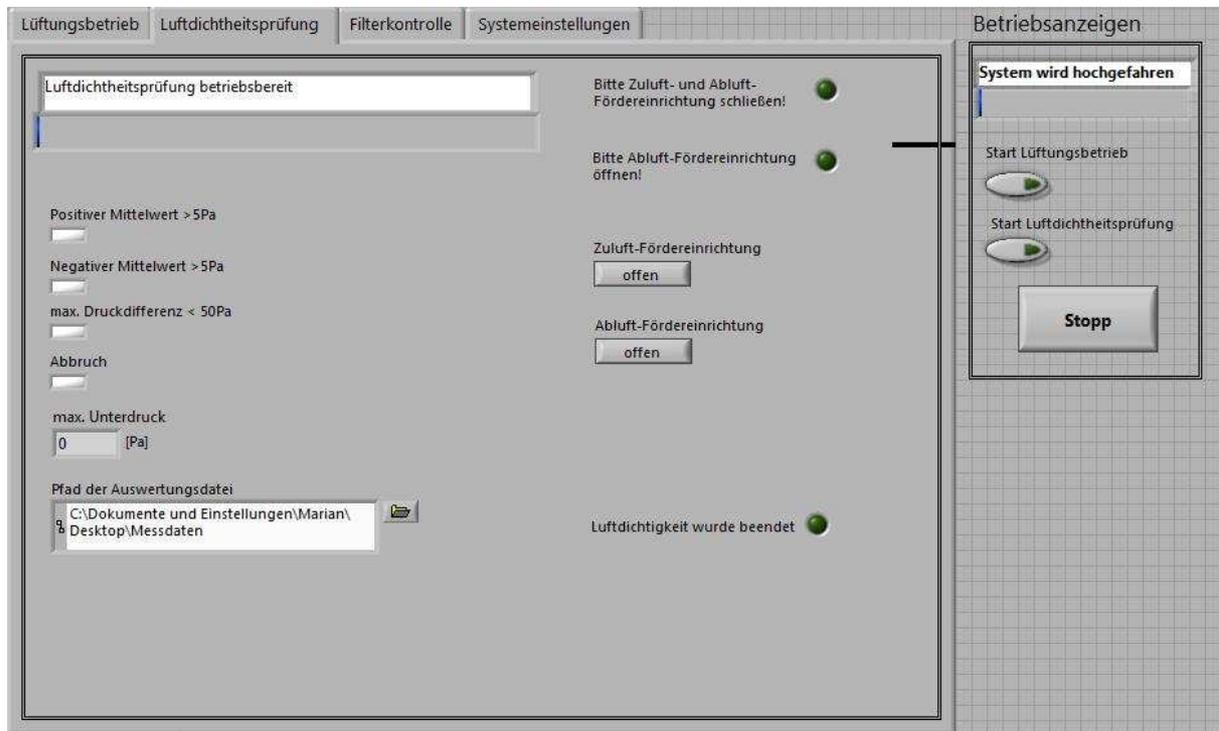


Abb.26: Lüftdichtheitsprüfung

Dieser Wert gibt eine direkte Aussage über die Lüftdichtheit des geprüften Objektes, da er das Verhältnis vom Raumvolumen, zum Leckagestrom, der in einer Stunde mit der Außenluft stattfindet, ist. Er also angibt, wie oft sich das Raumvolumen des Hauses in der Stunde wechseln würde, bei einem Druckunterschied von 50Pa, zwischen dem Inneren des Gebäudes und der äußeren Umgebung.

7. Praktische Erprobung

Es galt, an Hand von zwei modifizierten Lüftungsanlagen der Firma Westaflex, sowohl die Tauglichkeit des entwickelten Verfahrens, eine Raumdichtheitsprüfung mit einer handelsüblichen Lüftungsanlage durchzuführen, als auch reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Hierfür wurden die Lüftungsanlagen der zwei Häuser mit den entsprechenden Absperrklappen und Messkreuzen in der Fort-, bzw. Zuluftführung versehen, und die Lüfter der Lüftungsanlagen mit den externen Steuereinheiten der entwickelten Messsystems verbunden (siehe **Abb.31** und **Abb.32**).

Vor Beginn der eigentlichen Messungen mussten zuerst die Messkreuze, die jeweils in den Zu- und Fortluftstrom integriert wurden, eingemessen werden. Anschließend wurde dann eine offizielle BlowerDoor Prüfung durchgeführt, sowie direkt im Anschluss eine Dichtheitsprüfung mit der im Haus verbauten, modifizierten Lüftungsanlage durchgeführt, um möglichst gleiche äußere Bedingungen zu haben.

7.1. Abgleich der Messkreuze

Fertigungsbedingt weist jedes Messkreuz (siehe **Abb.9**) entsprechende Unterschiede bei der Messung des dynamischen Druckes, für ein und denselben Volumenstrom, auf. Um diese Toleranzen möglichst klein zu halten, werden die entsprechenden Druck – Volumenstrom – Kurven in einem Kurzschlussstrom (siehe **Abb.27**) der Lüftungsanlage aufgenommen. Das heißt, dass beide Messkreuze von dem gleichen Volumenstrom durchflossen werden. Hierfür wird bei der Lüftungsanlage der Fortluftaustritt mit dem Zuluft Eintritt verbunden, die Luft wird also mit der Lüftungsanlage in einem geschlossenen Kreis gefördert. Zur gleichzeitigen Aufnahme des momentan herrschenden Volumenstromes, den beide Lüfter fördern, wurde ein hochpräzises Flügelradanemometer (siehe **Abb.28**) in den geschlossenen Luftkreislauf integriert.



Abb.27: Kurzschlußleitung



Abb.28: Flügelradanemometer

Aus den so aufgenommenen Diagrammen (siehe **Abb.29** und **Abb.30**), konnte dann über die Bildung einer Regressionskurve und der entsprechenden Kurvengleichung, ein formaler Zusammenhang zwischen dem momentan herrschenden, dynamischen Druck und dem damit verbundenen Volumenstrom, für jedes Messkreuz, bestimmt werden.

Druck zum Fortluftvolumenstrom

$y = 77,117x^{0,4774}$

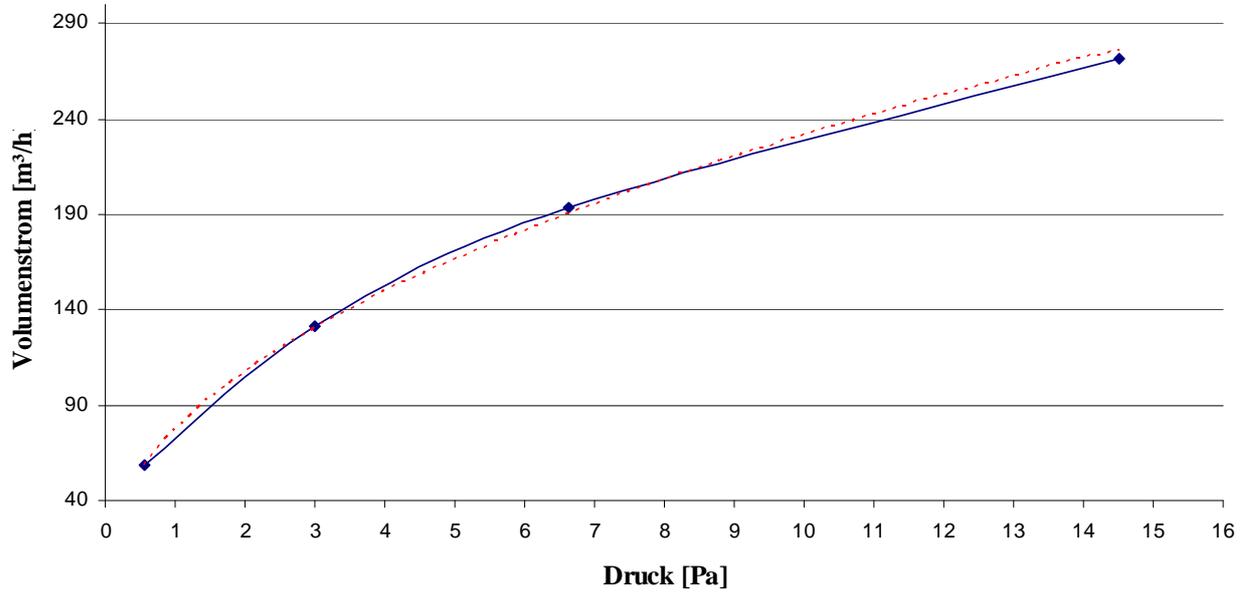


Abb.29: Fortluftvolumenstrom

Druck zum Aussenluftvolumenstrom

$y = 63,169x^{0,4701}$

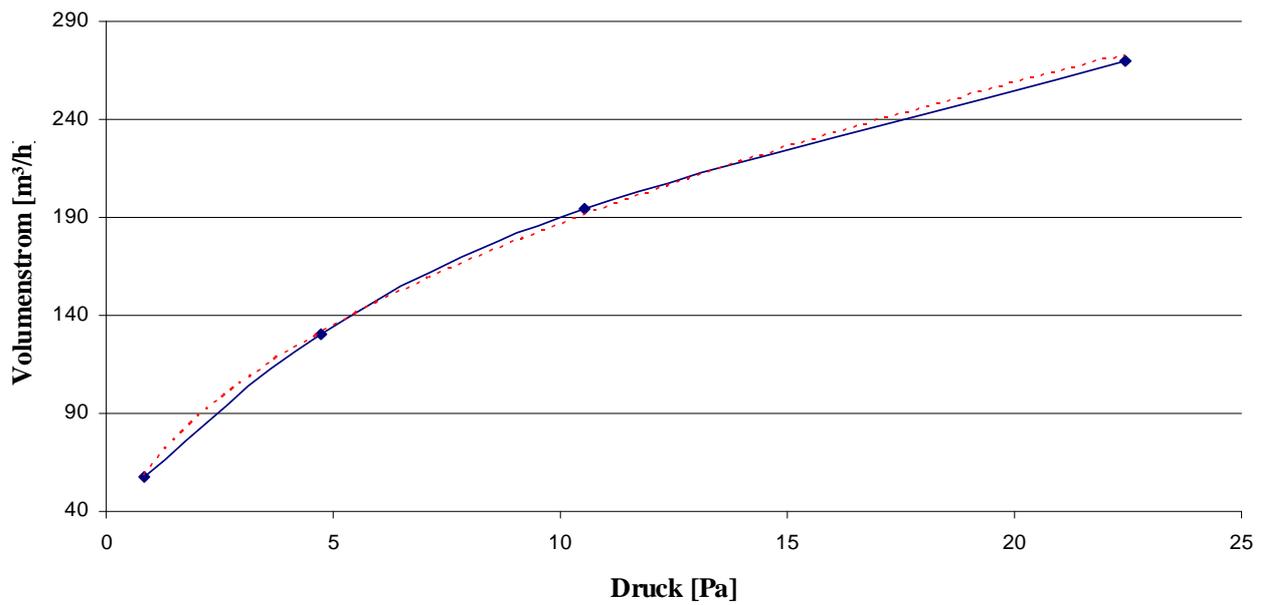


Abb.30: Aussenluftvolumenstrom

7.2. Dichtheitsprüfung über die Lüftungsanlage

Vor Beginn der Dichtheitsprüfung durch die hauseigene Lüftungsanlage, müssen erst entsprechende Frageböden (siehe **Seite 8**) abgearbeitet werden, um sicherzustellen, dass keine Leckagen oder sonstige Einflüsse vorhanden sind, die das Messergebnis verfälschen können.



Abb.31: Messkreuze der Lüftungsanlage

Anschließend wird das Programm „Dichtheitsprüfung“ entsprechend den Vorgaben durchgeführt. Das Programm gibt nach erfolgreichem Abschluss der Prüfung einen Prüfbericht nach DIN 13829 aus (siehe **Abb.33** und **Abb.34**), der, nach dem Ergänzen der gebäudespezifischen Angaben, alle wichtigen Werte über



Abb.32: Absperrklappen der Lüftungsanlage

den Zustand des geprüften Objektes beinhaltet. Entscheidend für den Vergleich mit dem im Anschluss stattfindenden Blowerdoor-Test ist der n_{50} -Wert.

Prüfbericht - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden <small>nach DIN EN 13829</small>					
Objekt: <u>Reihenhaus</u>		Auftraggeber: <u>Hochschule Bremen</u>			
PLZ/Ort: <u>28215 Bremen</u>		Straße: <u>Andreestr. 13</u>			
Datum/Zeit: <u>01.10.2010 - 9:30 Uhr</u>					
Messgeräte: <u>AirSwitcher, Messkreuz (Eigenbau), Druckmesser (HubaControl Typ - 3mbar)</u>					
Angaben zum Objekt					
Messort/Raum: <u>Dachboden</u>			Gebäudehöhe: <u>8 m</u>		
Einbauort: <u>Dachboden</u>			Heizungsart: <u>Brennwertkessel (Gas)</u>		
Netto-Grundfläche: <u>150 m²</u>			Lüftungsanlage: <u>ja</u>		
Raumvolumen: <u>430 m³</u>			Messverfahren: <u>Unterdruck, B</u>		
Hüllfläche A _E : <u>110 m²</u>					
Messwerte Unterdruck					
Druckdifferenz [Pa]	<u>9,7</u>	<u>14,5</u>	<u>19,7</u>	<u>25,0</u>	<u>30,2</u>
Volumenstrom [m ³]	<u>228,4</u>	<u>276,3</u>	<u>319,8</u>	<u>358,3</u>	<u>392,4</u>
Strömungskoeffizient C _{enw}	=	<u>77,115</u> m ³ /(h Pa ⁿ)	VB _{enw}	<u>77,110</u>	bis <u>77,119</u>
Strömungsexponent n	=	<u>0,477</u>	VB _n	<u>0,477</u>	bis <u>0,477</u>
Leckagekoeffizient C _L	=	<u>77,256</u> m ³ /(h Pa ⁿ)	VB _L	<u>77,252</u>	bis <u>77,260</u>
Leckagestrom V ₅₀	=	<u>500,078</u> m ³ /h			
Luftdurchlässigkeit q ₅₀	=	<u>4,546</u> m ³ /(h m ²)			
Leckagestrom w ₅₀ *	=	<u>3,334</u> m ³ /(h m ²)	*nettogrundflächenbezogen		
Luftwechselrate n₅₀	=	<u>1,163</u> h ⁻¹			
Messbedingungen					
Windstärke	<u>3</u> Beaufort	natürliche Druckdifferenz:			
Außentemperatur	<u>20</u> °C	Δp _{0,1}	<u>0,00</u> Pa	Δp _{0,2}	<u>0,00</u> Pa
Innentemperatur	<u>22</u> °C	Δp _{0,1+}	<u>0,08</u> Pa	Δp _{0,2+}	<u>0,08</u> Pa
Luftdruck	<u>1013,15</u> mbar	Δp _{0,1-}	<u>0,00</u> Pa	Δp _{0,2-}	<u>0,08</u> Pa

Abb.33: Prüfbericht – Andreestraße 13



Prüfbericht - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden

nach DIN EN 13829

Objekt: freistehendes EFH Auftraggeber: HS Bremen

PLZ/Ort: 21781 Cadenberge Straße: Oberreihe 10

Datum/Zeit: 11.11.2010, 11:30h

Messgeräte: AirSwitcher, Messkreuz (Eigenbau), Druckmesser (HubaControl Typ - 3mbar)

Angaben zum Objekt

Messort/Raum: Dachboden Gebäudehöhe: 7 m

Einbauort: Dachboden Heizungsart: Brennwertkessel (Gas)

Netto-Grundfläche: 239,7 m² Lüftungsanlage: ja

Raumvolumen: 455 m³ Messverfahren: Unterdruck, B

Hüllfläche A_E: 484,5 m²

Messwerte Unterdruck

Druckdifferenz [Pa]	12,2	15,3	18,9	20,3	21,8
Volumenstrom [m ³]	294,5	277,0	308,7	313,6	325,2

Strömungskoeffizient C_{ew} = 172,577 m³/(h Paⁿ) VB_{ew} ▲ 70,041 bis 425,215

Strömungsexponent n = 0,198 VB_n -0,118 bis 0,513

Leckagekoeffizient C_L = 178,772 m³/(h Paⁿ) VB_L 72,556 bis 440,479

Leckagestrom V₅₀ = 387,516 m³/h

Luftdurchlässigkeit q₅₀ = 0,800 m³/(h m²)

Leckagestrom w₅₀^{*} = 1,617 m³/(h m²) *nettogrundflächenbezogen

Luftwechselrate n₅₀ = 0,852 h⁻¹

Messbedingungen

Windstärke 3 Beaufort natürliche Druckdifferenz:

Außentemperatur 5 °C Δp_{0,1} -2,93 Pa Δp_{0,2} -2,93 Pa

Innentemperatur 19 °C Δp_{0,1*} 0,08 Pa Δp_{0,2*} 0,08 Pa

Luftdruck 1001 mbar Δp_{0,1} 3,01 Pa Δp_{0,2} 0,50 Pa

Abb.34: Prüfbericht – Oberreihe 10

7.3. Blowerdoor-Test

Im Anschluss an die mit der Lüftungsanlage durchgeführte Dichtheitsprüfung wurde ein offizieller Blowerdoor-Test in jedem der beiden zu prüfenden Objekte durchgeführt, um die Aussagekraft der vorherigen Dichtheitsprüfung einschätzen zu können. Auch hierbei wurden die beiden Gebäude im Unterdruckverfahren geprüft. Die Blowerdoor-Tests ergaben die folgenden Ergebnisse:

- **Andreestraße 13** - n_{50} -Wert: $0,97h^{-1}$
- **Oberreihe 10** - n_{50} -Wert: $0,71h^{-1}$

Im direkten Vergleich zeigt das:

geprüftes Objekt:	Dichtheitsprüfung n ₅₀ -Wert [1/h] (extrapoliert)	Blowerdoor-Test n ₅₀ -Wert [1/h]	Abweichung [%]
Andreestr. 13	1,163	0,97	16,59
Oberreihe 10	0,852	0,71	16,67

Der doch sehr markant gleiche Unterschied von 16% bei beiden getesteten Häusern könnte auf eine systembedingte Abweichung deuten. Generell zeigen die Ergebnisse aber, dass die mit der Lüftungsanlage durchgeführten Dichtheitsprüfungen mit denen eines Blowerdoor-Tests standhalten können. Es ist also möglich, die Luftdichtheit eines Gebäudes mit einer lokal installierten Lüftungsanlage durchzuführen. Die ausführlichen Blowerdoor-Berichte befinden sich im Anhang.

8. Zusammenfassung

Die Forschungsarbeit *Anwendungsorientierte Untersuchung eines in einer Wohnungslüftungsanlage integrierten Messsystems zur Diagnose der Luftdichtheit von Gebäuden* beschäftigt sich mit der Thematik, eine Raumdichtheitsprüfung analog zu der DIN EN 13829 mit Hilfe einer im Haus installierten Lüftungsanlage durchführen zu können.

Im Zuge dieser Forschungsarbeit wurden zuerst verschiedene Verfahren und Abläufe erarbeitet, die aufzeigen, mit welchem Umfang eine Lüftungsanlage modifiziert werden muss, um eine Dichtheitsanalyse eines mit ihr ausgerüsteten Gebäudes durchführen zu können. Hierbei gliederte sich die Arbeit in die Bereiche der Analytik, der Sensorik, der entsprechenden Softwareentwicklung sowie einer praktischen Untersuchung im direkten Vergleich zu einem Blowerdoor-Test anhand modifizierter Lüftungsanlagen in zwei Häuser.

Im analytischen Teil der Arbeit wurden Strukturen erarbeitet, die eine einfache und sichere Handhabung der Abläufe zur Luftdichtheitsanalyse, auch von nicht sachkundigen Personen gewährleisten.

Die Sensorik beschäftigte sich mit der Entwicklung von Verfahren, die eine objektive Beurteilung der im Vorfeld bemusterten Sensoren auf ihre Tauglichkeit den Anforderungen des Messsystems entsprechend machen zu können. Als zu bestimmende Parameter zur Auswertung einer Luftdichtheitsanalyse müssen verschiedene Volumenströme und Drücke aufgenommen werden. Hierbei zeigte sich schnell, dass direkte Verfahren zur Volumenstrommessung in Rohrleitungen sehr kostenintensiv sind und nicht die geforderte absolute Genauigkeit des momentan herrschenden Volumenstroms erfüllen. Als praktikable, kostengünstige Variante wurde eine Kombination aus einem Messkreuz, in Verbindung mit einem Differenzdrucksensor als Volumenstromaufnahme gewählt.

Es wurde außerdem eine Software, die eine sichere und unkomplizierte Durchführung der Luftdichtheitsanalyse durch den Endverbraucher gewährleistet, entwickelt. Anschließend, nach der Durchführung der Gebäudeanalyse, erhält der Benutzer hiermit einen Prüfbericht analog der DIN EN 13829. Entscheidend hierbei ist der n_{50} -Wert, der eine direkte Aussage über die Luftwechselrate des Hauses, bei einem Druckunterschied von 50Pa, gibt.

Die praktische Erprobung zeigte die Tauglichkeit des entwickelten Verfahrens vergleichbare Ergebnisse eines Blowerdoor-Tests zu erzielen. Hierfür wurden die Lüftungsanlagen zweier Häuser, entsprechend den entwickelten Erweiterungen,

modifiziert und anschließend alle Sensoren auf die herrschenden Bedingungen abgeglichen. Die Ergebnisse der mit den Lüftungsanlagen durchgeführten Luftdichtheitsanalysen, wurden durch offizielle Blowerdoor-Tests bestätigt. Es zeigte sich, dass mit Hilfe des entwickelten Messverfahrens entsprechende Aussagen über den Zustand eines Gebäudes gefällt werden können.

9. Abschließend

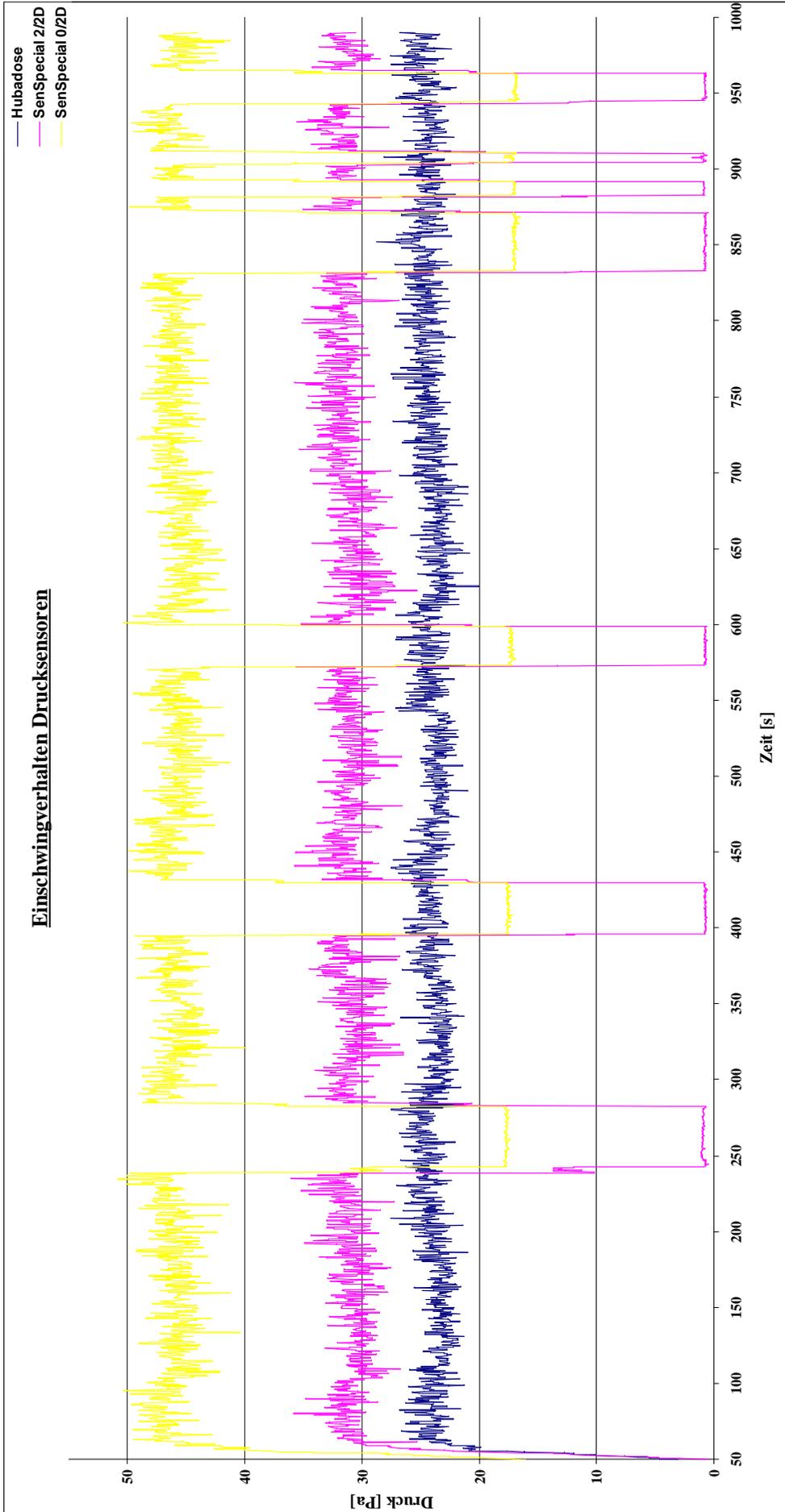
Die Untersuchung, ob ein Gebäude mit einer leicht modifizierten in das Gebäude integrierten Lüftungsanlage auf seine Dichtheit geprüft werden kann, hat gezeigt, dass dieses auch möglich ist, wenn die wie beim Blowerdoor-Test geforderte Druckdifferenz von 50Pa durch die Ventilatoren der Lüftungsanlage nicht erreicht werden kann.

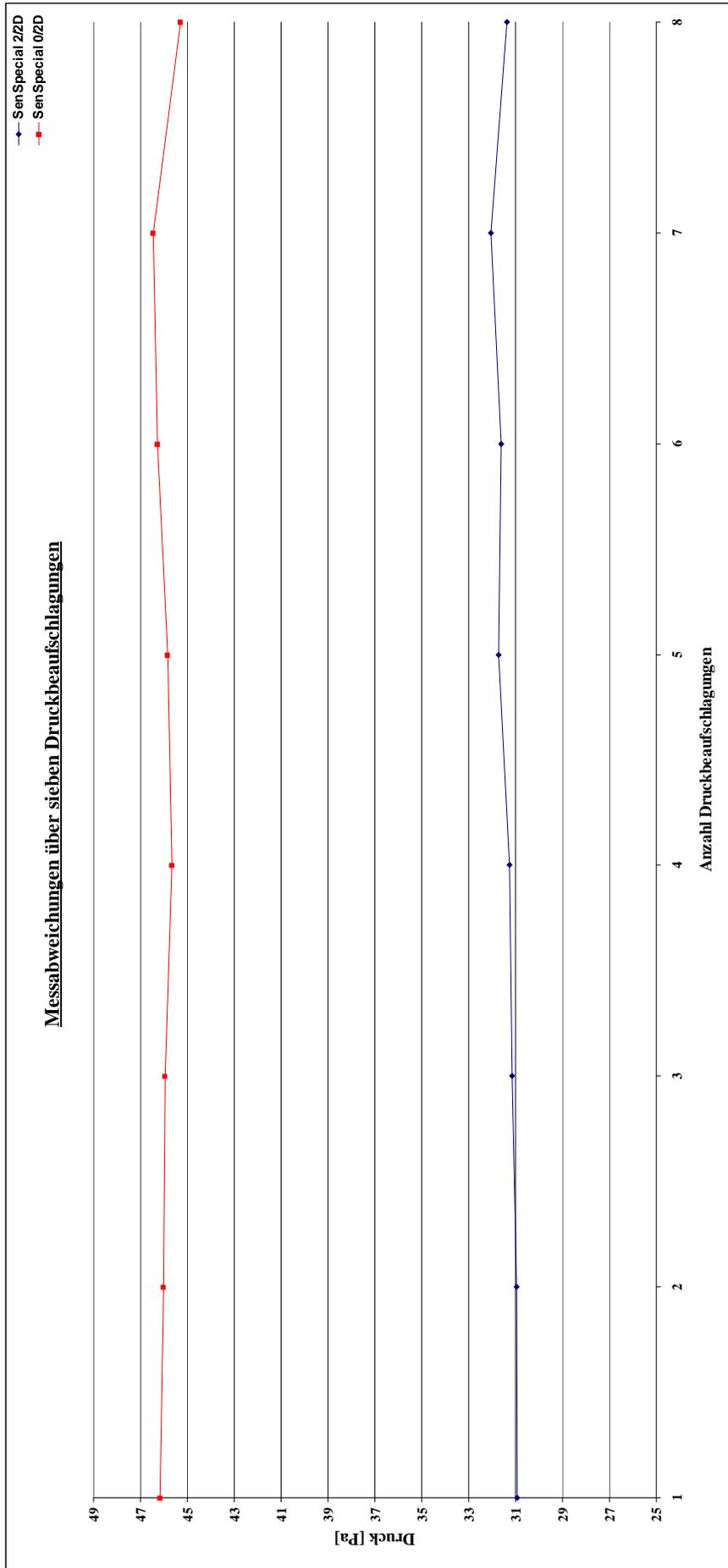
Dies gibt dem Hausbesitzer die Möglichkeit, unter Benutzung des hier entwickelten Verfahrens, sein Haus stetig auf einem optimalen energetischen Verbrauch zu halten, da Leckagen frühzeitig entdeckt werden und entsprechend behoben werden können.

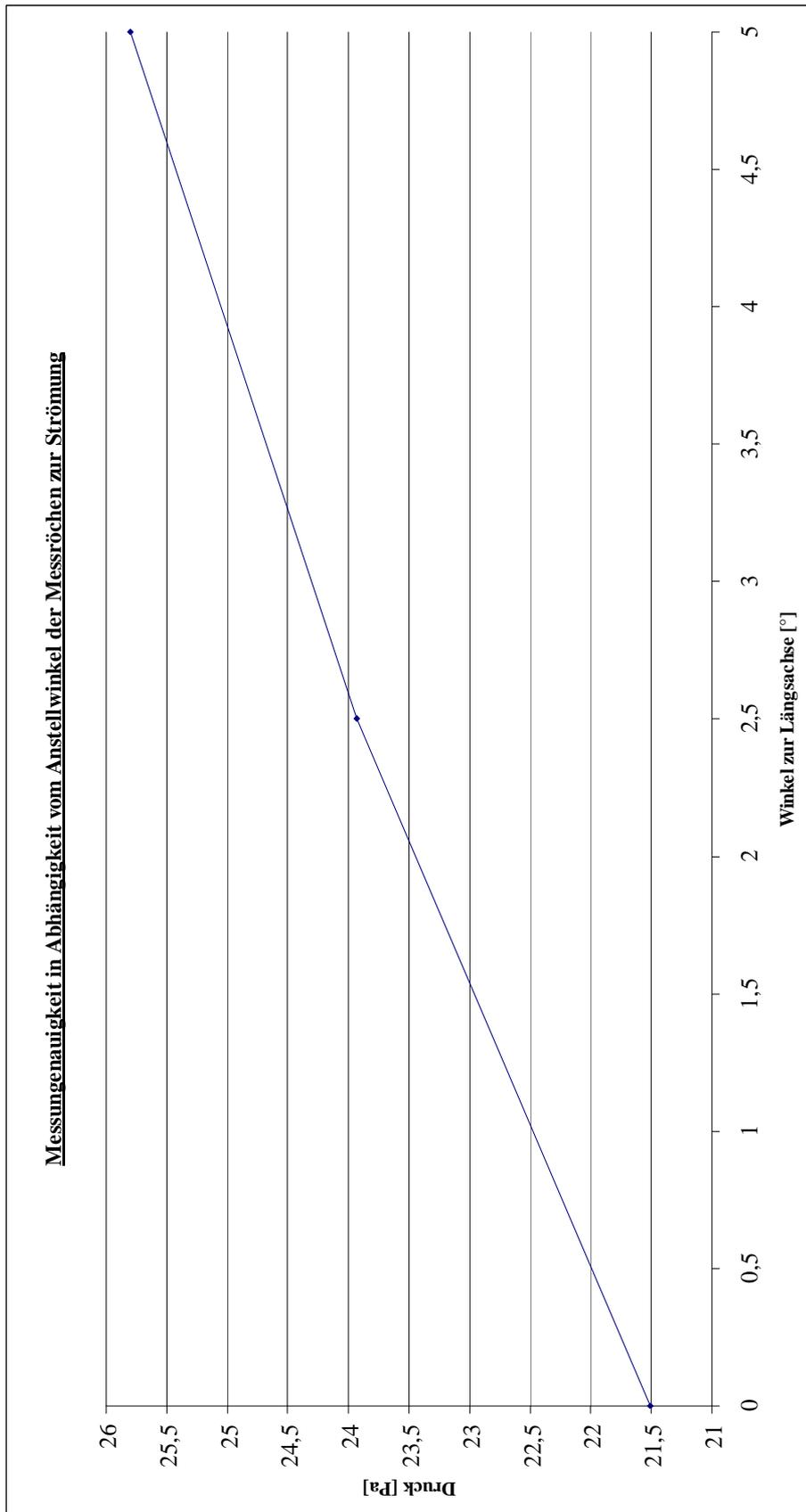
Hier liegen die Stärken des entwickelten Systems. Gerade in der heutigen Zeit der steigenden Energiekosten und der bewussten Endlichkeit der fossilen Brennstoffe, ist ein energetisch optimiertes Haus zukunftsweisend.

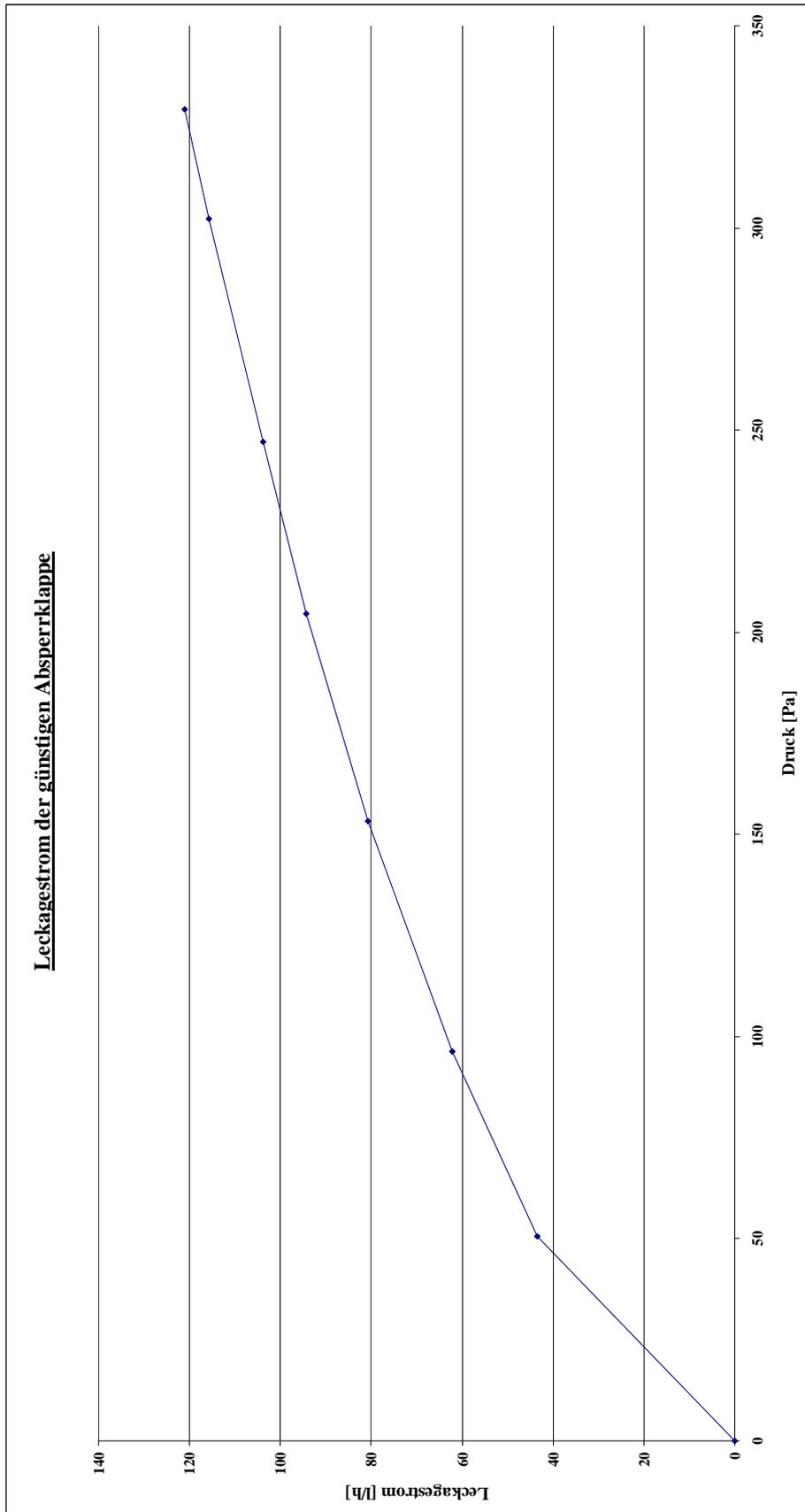
10. Anhang:

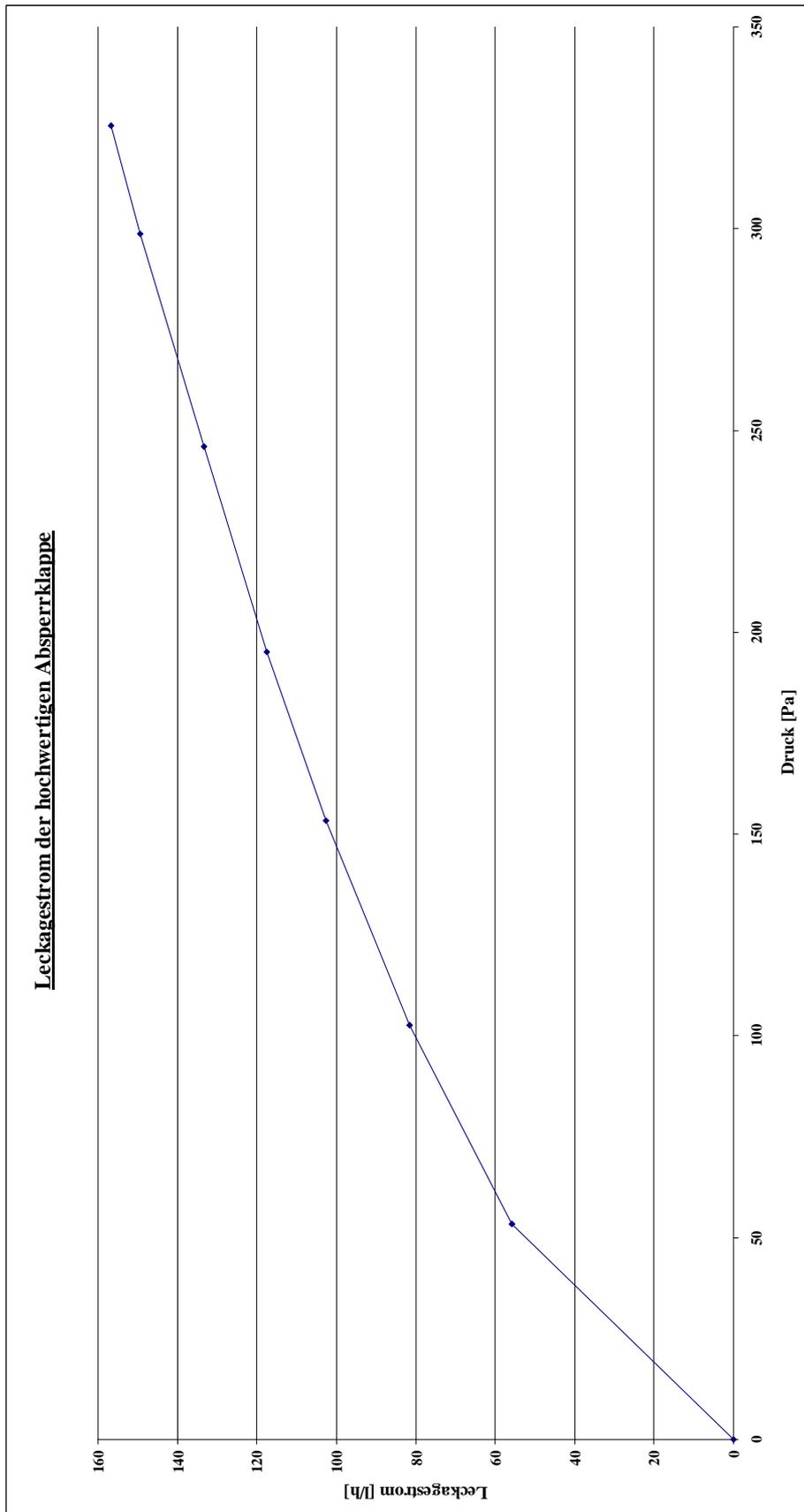
- Diagramme zur Drucksensorfindung
- Diagramme zur Dichtheitsprüfung der Absperrklappen
- Blowerdoor-Test Oberreihe 10
- Blowerdoor-Test Andreestr. 13
- DIN EN 13829
- Datenblatt: Absperrklappe-KARPOL
- Datenblatt: Absperrklappe-TROX
- Datenblatt: Messkreuz-Halton
- Datenblatt: Drucksensoren-SenSpecial
- Datenblatt: Drucksensoren-Sensortechnik
- Datenblatt: Volumenstromsensor SS 20.015











Dipl.-Ing.
von Elling & Partner



Energieberatung
Projektbegleitung
Unternehmensberatung

Zertifikat

über die Qualität der luftdichten Gebäudehülle

Das Gebäude/Objekt:

Neubau EFH
Bauherr: Seebörger, Thomas
Oberreihe 10
21781 Cadenberge

hat am: 11.11.2010

bei der Messung der Luftdichtheit nach DIN EN 13829, Verfahren A
folgenden Wert für die volumenbezogene Luftdurchlässigkeit erzielt:

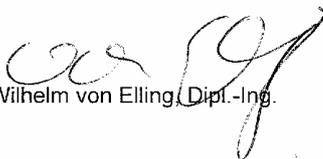
$$n_{50} = 0,76 \text{ 1/h}$$

Die Anforderungen an die Luftdichtheit nach EnEV betragen
bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen:

$$n_{50} \leq 1,5 \text{ 1/h}$$

Die Anforderungen der Vorschrift werden erfüllt.

Hemmoor 11.11.2010


Wilhelm von Elling, Dipl.-Ing.

Dipl.-Ing. von Elling & Partner, Energie- u. Bauberatung
Ostlandweg 18
21745 Hemmoor

BlowerDoor-Prüfprotokoll

Verfahren A

Gebäudedaten und MessSystem

Gebäude

Objekt:	Neubau EFH
Bauherr:	Seebörger, Thomas
Adresse:	Oberreihe 10 21781 Cadenberge
Baujahr:	2008
Messdatum:	11.11.2010

Auftraggeber

Name:	Bauherr / Eigentümer
Adresse:	dito
Telefon:	0151 / 19322017
Fax:	

Auftragnehmer

Name:	Dipl.-Ing. von Elling & Partner	Prüfer/in:	Wilhelm von Elling
	Energie- u. Bauberatung	Telefon:	04771/ 88 74 25
Adresse:	Ostlandweg 18	Fax:	04771/ 64 21 81
	21745 Hemmoor	Mobil:	0170/ 382 95 77

Prüfverfahren

Verfahren:	A	Prüfung des Gebäudes im Nutzungszustand
Norm:	EN 13829	
Bemerkung:	Siehe Anlage B: Bemerkungen zum Messablauf. Berechnung des beheizten Luftvolumen VL = Gebäudevolumen + rd. 25 m³ Vol. Galerie/Flur lt. Bauherr. Bei der Messung und Leckageortung anwesend: Bauherr	

Prüfobjekt

Messgegenstand:	Neubau eines Einfamilienwohnhauses (EFH) ohne Keller. Der Hauswirtschaftsraum mit der Zentralheizung befindet sich innerhalb der thermischen Hülle und wurde in die Messung mit einbezogen. Der unbeheizte Dachboden mit der Lüftungsanlage befindet sich außerhalb der thermischen Hülle und wurde somit nicht in die Messung mit einbezogen.		
Innenvolumen V:	455 m³	Fehler: +/- 10 %	Bezugsgrößenberechnung:
Nettogrundfläche A _F :			Gebäudevol. innen laut Berechnung
Hüllfläche A _E :			Lüftungsanlage, Firma westaflex
Lüftungsanlage:	Ja	Zu-/Abluftlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	
Heizungsanlage:	Gas-Brennwertkessel und kontrollierte Wohnungslüftung mit WRG		
Klimaanlage:	keine		
Ausführliche Angaben zum Gebäudezustand, den temporären Abdichtungen sowie dem Zustand aller Öffnungen befinden sich auf der Seite <i>Bemerkungen zum Messablauf</i> .			

Messgeräte

MessSystem:	Minneapolis BlowerDoor Modell 4, DG-3E		
Gerätenummern:	Gebälse: 10/15/02	Druckmessgerät: 6983 35	kalibriert: 09.02.2009
Sonstige Geräte:	Luftgeschwindigkeitsmessgerät PCE-432, PCE Group für die Messung von Temperaturen und Luftströmungen (Windgeschwindigkeit, Leckagesuche)		

BlowerDoor-Prüfprotokoll
Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A
Minneapolis BlowerDoor Modell 4, DG-3E

Objekt : Neubau EFH, Bauherr: Seebörger, Thomas Oberreihe 10, 21781 Cadenberge	Prüfer/in: Wilhelm von Elling Datum: 11.11.2010
---	--

Klimadaten

Innentemperatur: 19 °C	Luftgeschwin. Anemom.: 2,0 m/s	Referenzdruckmessstellen: 1
Außentemperatur: 4 °C	Windstärke: 3	Gebäudestandort: B
Luftdruck (barom.): 100100 Pa	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: 9 %	

Unterdruck

Überdruck

Natürliche Druckdiff.	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}	Natürliche Druckdiff.	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
-	-	-2,7 Pa	1,6 Pa	-2,5 Pa	1,6 Pa	-	-2,5 Pa	0,7 Pa	-

Messreihen

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom V_f	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom V_f	Abwei- chung
OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
Δp_{01}	-2,7	—	—	—	Δp_{01}	-1,3	—	—	—
C	-18	56	156	2,17	C	10	34	121	3,08
C	-25	86	194	-1,08	C	20	79	186	-1,98
C	-34	139	248	0,52	C	29	132	242	-1,79
C	-44	198	297	-0,27	C	39	198	297	-1,90
C	-50	231	321	-1,65	C	50	270	348	-3,51
C	-58	286	358	-1,44	B	61	27	423	2,01
C	-67	334	388	-3,79	B	70	34	474	3,84
B	-75	30	446	2,08	B	80	40	514	2,48
B	-85	35	481	0,84	B	91	45	545	-0,76
B	-94	42	527	2,82	B	100	51	580	-1,17
Δp_{02}	-1,3	—	—	—	Δp_{02}	0,7	—	—	—

Korrelationskoeff. r:	0,999	Vertrauensintervall		Korrelationskoeff. r:	0,999	Vertrauensintervall	
C_{env} [m³/(h Pa³)]	21	max. 24	min. 19	C_{env} [m³/(h Pa³)]	23	max. 26	min. 21
C_L [m³/(h Pa³)]	22	max. 24	min. 19	C_L [m³/(h Pa³)]	23	max. 26	min. 21
n [-]	0,69	max. 0,72	min. 0,66	n [-]	0,71	max. 0,73	min. 0,68

Ergebnis, Kenngrößen

V =	455 m³	A _F =		A _E =	
-----	--------	------------------	--	------------------	--

	V_{50} m³/h	Unsicher- heit %	n_{50} h⁻¹	Unsicher- heit %	w_{50} m³/m²h	Unsicher- heit %	q_{50} m³/m²h	Unsicher- heit %
Unterdruck	325	+/- 10 %	0,71	+/- 14 %				
Überdruck	369	+/- 10 %	0,81	+/- 14 %				
Mittelwert	347	+/- 10 %	0,76	+/- 14 %				

Anforderungen nach: EnEV	1,5	1/h	***	***
--------------------------	-----	-----	-----	-----

Die Anforderungen der Vorschrift werden erfüllt.

Bemerkung: Das Messergebnis schließt (verdeckte) Mängel in der Konstruktion nicht aus.

Auftragnehmer : Dipl.-Ing. Wilhelm von Elling
Dipl.-Ing. von Elling & Partner Energie- u. Bauberatung
Ostlandweg 18, D-21745 Hemmoor
11. November 2010

Datum, Unterschrift

Seebörger, Cadenberge - Hochschule Bremen EFH 2010-11-11

BD-0803

Seite 2

BlowerDoor-Prüfprotokoll Verfahren A Natürliche Druckdifferenzen und Fehlerbetrachtung

Objekt : Neubau EFH, Bauherr: Seebörger, Thomas Oberreihe 10, 21781 Cadenberge	Prüfer/in: Wilhelm von Elling Datum: 11.11.2010
---	--

Unterdruck			Überdruck		
Messwert	Natürliche Druckdifferenz		Messwert	Natürliche Druckdifferenz	
	Vor der Messung	Nach der Messung		Vor der Messung	Nach der Messung
1	-2,2	-1,6	1	-1,6	0,2
2	-1,2	-2,8	2	-2,8	0,3
3	-2,3	-0,4	3	-0,4	0,8
4	-2,9	-2,1	4	-2,1	1,3
5	-3,8	0,6	5	0,6	0,3
6	-2,8	-2,8	6	-2,8	0,4
7	-1,8	-3,5	7	-3,5	0,8
8	-1,5	-2,2	8	-2,2	0,5
9	-2,2	-3,9	9	-3,9	0,9
10	-2,4	0,8	10	0,8	0,5
11	-3,5	-5,2	11	-5,2	0,6
12	-3,2	-1,9	12	-1,9	0,4
13	-2,5	2,1	13	2,1	0,2
14	-3,0	2,8	14	2,8	0,2
15	-2,7	2,4	15	2,4	0,8
16	-2,3	0,6	16	0,6	1,0
17	-3,7	-2,8	17	-2,8	1,0
18	-3,6	-2,2	18	-2,2	0,6
19	-2,2	-0,9	19	-0,9	0,7
20	-3,2	-2,4	20	-2,4	1,9
21			21		
22			22		
23			23		
24			24		
25			25		
26			26		
27			27		
28			28		
29			29		
30			30		

Mittelwerte aus den negativen bzw. den positiven Messwerten einer Messreihe

	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}		Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
Mittelwert	-	-2,7	1,6	-2,5	Mittelwert	1,6	-2,5	0,7	-

Mittelwerte aus allen Messwerten einer Messreihe

Nat.	Δp_{01} [Pa]	Δp_{02} [Pa]	Nat.	Δp_{01} [Pa]	Δp_{02} [Pa]
Druckdiff.	-2,7	-1,3	Druckdiff.	-1,3	0,7

Bemerkungen

Beschreibung der Windstärke: leichte Brise (2 Bft), in Böen bis schwache Brise (3 Bft)

Fehlerbetrachtung

Bezeich.	Beschreibung	Unterdruck		Überdruck	
			50 Pa		50 Pa
a	Fehler der Volumenstrommesseinrichtung	+/- 4 %		+/- 4 %	
b	Fehler aus der Gebäudedruckmessung	+/- 3 %	50 Pa	+/- 3 %	50 Pa
c	Fehler aufgrund des Windeinflusses	+/- 9 %		+/- 9 %	
d	Fehler aus der Dichtekorrektur (Luftdruck)	+/- 2 %		+/- 2 %	
e	Fehler beim Auslassen der Unter- oder Überdruckmess.	+/- 0 %		+/- 0 %	
g	Fehler der Bezugsgrößen	+/- 10 %		+/- 10 %	
informativ	Statistischer Fehler des Leckagestromes	+/- 2 %		+/- 2 %	



Zertifikat

über die Qualität der luftdichten Gebäudehülle

Das Gebäude/Objekt:

Reihen-Mittelhaus Strauß
Adreestraße 13
28215 Bremen
Messzeitpunkt ca. 11.30 Uhr

hat bei der Drucktestmessung am 01.10.10 folgenden Wert
für die hüllflächenbezogene Luftdurchlässigkeit erzielt:

$$n_{50} = 0,97 \text{ [1/h]}$$

Der empfohlene Grenzwert der Luftdurchlässigkeit nach DIN 4108 - 7 (8/01)
beträgt:

$$n_{50} \leq 1,5 \text{ [1/h]} \quad \text{für Gebäude mit Lüftungsanlage}$$

Die Anforderungen der Vorschrift sind erfüllt.

Dieses Zertifikat besteht aus 3 Seiten.

Erstellt am 04.10.2010



Energie- und Baukontor
Hamburger Straße 35/37
28205 Bremen

Blower-Door Messprotokoll

Berechnungsgrundlage DIN EN 13829

Minneapolis Blower Door Modell 4

Objekt : Reihen-Mittelhaus Strauß	Auftraggeber : Prof. Rolf Peter Strauß
Adresse : Adreestraße 13	Andreestraße 13 Tel : 0421 / 350 94 94
28215 Bremen	Ansprechpartner : wie vor
Messzeitpunkt ca. 11.30 Uhr	28215 Bremen Tel : wie vor

Messdaten : Messung ausgeführt von : Reb. am 01.10.10

Belüftetes Volumen	430 m ³
Beheizte Fläche	m ²
Gebäudehüllfläche	m ²
Innentemperatur	18,2 °C
Außentemperatur	17,0 °C

Bemerkungen : Einbau der BlowerDoor-Anlage in Haustür.

Unterdruck

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom	Abwei- chung
0 ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m ³ /h]	[%]
Gebläse geschlossen	2,0	—	—	—
C	45,0	350,0	397	3,10
C	40,0	290,0	361	0,02
C	35,0	240,0	328	-2,13
C	30,0	200,0	299	-2,71
C	25,0	170,0	275	-0,62
C	20,0	140,0	249	2,48
Gebläse geschlossen	2,0	—	—	—

Überdruck

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom	Abwei- chung
0 ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m ³ /h]	[%]
Gebläse geschlossen	—	—	—	—
Gebläse geschlossen	—	—	—	—

Korrelationskoeff. (mind. 0,998): $r = 0,99064$
 Gebäudekoeffizient [m³/hPa], norm. $C_0 = 52,7$
 Gebäudeexponent $n = 0,528$

Korrelationskoeff. (mind. 0,998): $r =$
 Gebäudekoeffizient [m³/hPa], norm. $C_0 =$
 Gebäudeexponent $n = 0,667$

Ergebnis, Kenngrößen :

	n_{50} h ⁻¹	Regression		V_{50} m ³ /h	NBV ₅₀ m ³ /m ² /h	q_{50} m ³ /m ² /h	ELA _{4Pa} cm ²
		Abw. %	Abw. %				
Unterdruck	0,97	+/-	5,49	416			118
Überdruck		+/-					
Mittelwert aus Unter- & Überdruck							
Grenzwert	1,5						

Vorschrift : DIN 4108 - 7 (8/01)

Auftragnehmer :
 Energie- und BauKontor
 Hamburger Straße 35/37
 28205 Bremen

Bearbeiter/in : Rolf Rebenstorf
 Tel : 0421 / 43 04 59 87

Bremen, den 04.10.10

Ort, Datum, Unterschrift

Seite 2



