



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 30. Juni 2011

Erhöhung der Energieeffizienz von Kleinlüftungsanlagen

Perspektiven für Gebäude der 2000W- Gesellschaft

Auftraggeber:

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

Kofinanzierung:

Stadt Zürich, Amt für Hochbauten
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik
Lindenhofstrasse 21
CH-8021 Zürich

Auftragnehmer:

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

Autoren:

Beat Frei, René Stockhaus, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, 6048 Horw
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik, beat.frei@hslu.ch

Heinrich Huber, Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik, Institut Energie am Bau, Muttenz, heinrich.huber@fhnw.ch

Danksagung:

Die Autoren bedanken sich bei den Bauherrschaften und Planern für den Zugang zu den untersuchten Anlagen und deren Beiträge zur Dokumentation der Anlagen in diesem Schlussbericht.

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 154250 / 103227

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1. Ausgangslage	6
2. Aufgabenstellung und Zielsetzung	8
3. Vorgehensmethodik	9
3.1 Arbeitsschritte im BFE Projekt zur Effizienzsteigerung von Kleinlüftungs-anlagen	9
3.2 Anpassungen der Arbeitsschritte während dem Projektverlauf	9
4. Resultate	10
4.1 Konformität des Prüfstandes für Kompaktlüftungsgeräte nach SN EN 13147-7:2010	10
4.2 Quantifizierung von Leckagen, Förderdruck, elektrischer Leistung und Volumenströmen auf Anlagen.....	13
4.3 Geruchsübertragung.....	111
4.4 Elektrizitätsbedarf des Lüftungssystems, externer Wirkungsgrad und Druckverluste	118
5. Schlussfolgerungen	124
6. Handlungsempfehlungen	125
Symbolverzeichnis	126
Abkürzungen	126
Literatur/Referenzen.....	127
Anhang	128

Zusammenfassung

Kleinlüftungsanlagen – auch Komfortlüftungen genannt – verfehlten nach bisherigen Erkenntnissen mehrheitlich die im SIA Merkblatt 2023:2008 festgelegten Ziel- und Grenzwerte für den spezifischen elektrischen Elektrizitätsbedarf p_{SPI}^1 . Hohe Druckverluste im Luftverteilsystem sowie interne und externe Leckagen im Lüftungssystem führten dazu, dass die SPI-Werte auf Anlagen noch bedeutend schlechter ausfielen als bei der Geräteprüfung (Deklaration) an der Hochschule Luzern (HSLU). Das BFE Projekt *Erhöhung der Energieeffizienz von Kleinlüftungen* hat untersucht, wo man den Hebel ansetzen muss, um effizientere Komfortlüftungen realisieren zu können.

Der Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte an der HSLU wurde entsprechend der neuen Norm SN EN 13147-7:2010 angepasst, damit Kompaktlüftungsgeräte jetzt im eingebauten Zustand als Teil des Lüftungssystems mittels Tracergasmethode betreffend Leckagen bewertet werden können.

Die externen Leckagen in 16 realisierten Anlagen fallen niedriger aus, als bei Projektbeginn vermutet. Sie lassen sich qualitativ auch mit Rauchröhrchen gut orten und dokumentieren. Häufig sind es Verbindungsstellen zwischen Lüftungsgeräten und dem Luftverteilsystem. Die Ausführungsqualität hat hier wiederum direkten Einfluss auf die Energieeffizienz des Lüftungssystems.

Bedeutend wichtiger für eine hohe Energieeffizienz ist die Minimierung der internen und externen Druckverluste. Bedingt durch den kleinen Schweizer Markt und dadurch mehrheitlich im Ausland entwickelten und gefertigten Kompaktlüftungsgeräte ist das Verbesserungspotenzial zwar vorhanden, kann aber nur schwer realisiert werden. Durch Einsatz eines überdimensionierten Geräts konnte fallweise gezeigt werden, dass trotzdem noch etwas Handlungsspielraum besteht.

Den grössten Einfluss auf den spezifischen Elektrizitätsbedarf p_{SPI} haben aber die externen Druckverluste. Hier haben es Planer und Ausführende in der Hand energieeffiziente Komfortlüftungsanlagen zu realisieren. Die in Literatur und Normen aufgeführten Dimensionierungsempfehlungen sollten überprüft werden. Wie die Messungen aufzeigen, werden gute SPI-Werte nur erreicht, wenn die gesamten externen Druckverluste unter 150 Pa liegen. Bei Geräten mit Rotoren sollten die gesamten externen Druckverluste bei maximal 100 Pa liegen.

Etwas überraschend waren nicht fachgerecht geplante und/oder ausgeführte Aussenluft-/Fortluftfassungen zu verzeichnen. Externe Kurzschlüsse zwischen Aussenluft und Fortluft führten dann fallweise zu Geruchsübertragung. Es bestehen Diskrepanzen zwischen Planung und Ausführung. Der Komponenteneinfluss auf den Druckverlust wurde unterschätzt. Eine in der Planung (noch) nicht vorgesehene Filterbox führte zu einem merklichen Anstieg des systemseitigen Druckverlusts.

Die Anlagen laufen häufig nicht im optimalen Betriebspunkt. Durch grössere Kompaktlüftungsgeräte und /oder kleinere Ventilatoren könnten optimale Betriebspunkte realisiert werden. Obwohl Anlagen mit gutem SPI-Wert betrieben werden, laufen deren Ventilatoren mit schlechtem Wirkungsgrad. Das heisst auch, dass mit geringfügigen Gerätemodifikationen wie kleineren Ventilatoren SPI-Werte im Bereich von 0.17 W/(m³/h) realistisch sind und damit auch der Zielwert gemäss SIA 382/1:2007 erreichbar ist.

¹ SPI: Specific Power Input in W/(m³/h)

Abstract

According to existing information, the majority of residential ventilation systems - also known as comfort ventilation systems - have so far failed to attain the target and limit values for the specific electricity requirement, p_{SPI}^2 , as specified in SIA Merkblatt 2023:2008. High pressure losses in the air distribution system as well as internal and external leaks in the ventilation system led to significantly worse SPI values for whole systems than those in the device test (declaration) at Lucerne University of Applied Sciences and Arts (HSLU). The BFE project 'Increasing the Energy Efficiency of residential ventilation systems' investigated where the discrepancies lie and how to tackle the situation to build and operate more efficient residential ventilation systems.

The test bed for compact ventilation systems at HSLU was accordingly upgraded to the new standard SN EN 13147-7:2010 so that compact ventilators can be leak tested using tracer gas methods and evaluated in their assembled state as part of a ventilation system.

The external leaks in 16 assembled systems were less severe than initially expected at the beginning of the project. Qualitatively, they were also easy to locate and record using smoke tubes. Frequently there were connection points between ventilators and the air distribution system. The quality of execution in turn directly influenced the energy efficiency of the ventilation system.

Significantly more important for achieving high energy efficiency is to minimize the internal and external pressure losses. Given the small Swiss market, and thus the bulk of residential ventilation units being developed and manufactured outside Switzerland, a potential for improvement does exist, but can only be brought about with difficulty. By implementing an over-dimensioned device, however, it was shown in some cases that a certain amount of leeway still exists.

As it is, the external pressure losses have the greatest influence on the specific electricity requirement p_{SPI} . That means planners and constructors have the capacity to realize energy-efficient residential ventilation systems, and it is up to them to do so. The recommended dimensions given in literature and standards ought to be revised. As the measurements show, good SPI values are only attained if the entire external pressure losses are kept below 150 Pa. For devices with rotors, the total external pressure losses should not exceed 100 Pa.

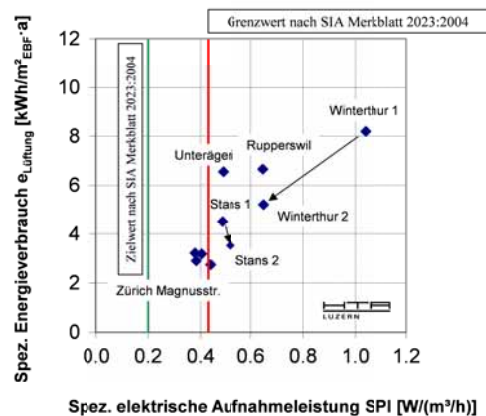
Somewhat surprisingly, improperly planned and/or installed outdoor/exhaust air sockets were discovered. External short circuits between the outdoor air and exhaust air then led to transmission of smells in certain cases. Discrepancies existed between planning and construction. The influence of components on pressure loss was underestimated. One filter box not (yet) included in the plan led to an appreciable increase in system-side pressure loss.

Many systems were not running at the optimum operating point. Optimum operating points can be achieved by larger residential ventilation units and/or smaller fans. Although there were some systems running at good SPI values, their fans were running at low efficiency. The significance of this is that SPI values in the range of $0.17 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ are in fact realistic and thus the target value according to SIA 382/1:2007 is also attainable with minor device modifications such as smaller fans.

² SPI: Specific Power Input in $\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$

1. Ausgangslage

In 2000-Watt-Gesellschaft-kompatiblen Gebäuden sind energieeffiziente Lüftungsanlagen von zentraler Bedeutung. Untersuchungen im Rahmen des 2004 abgeschlossenen BFE Projekts *Vergleichende Auswertung schweizerischer Passivhäuser* [1] zeigten, dass die damaligen Ziel- und Grenzwerte des SIA Merkblatts 2023:2004 [2] nicht erreicht werden konnten (Figur 1). Komponenten für die Luftheizung und der höhere raumspezifische Zuluftvolumenstrom sorgten dafür, dass der spezifische Elektrizitätsbedarf für die Lüftung über demjenigen vergleichbarer Minergie-Bauten lag. Die vorgenommenen Betriebsoptimierungen sorgten dafür, dass die spezifische elektrische Aufnahmeleistung (*specific power input SPI*) um bis zu 38% gesenkt werden konnte. Diese Erkenntnisse wiesen darauf hin, dass der Betriebsoptimierung von 2000-Watt-Gesellschaft-kompatiblen Gebäuden genügend Beachtung geschenkt werden muss.



Figur 1: Spezifischer Energieverbrauch der Lüftung in untersuchten schweizerischen Passivhäusern [1].

Aktuellere Untersuchungen im Rahmen des 2009 abgeschlossenen BFE Projekts *Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs von Kleinlüftungsanlagen* [3] deuteten auf ein grosses Effizienzsteigerungspotenzial hin. Hier wurden auf Anlagen bereits (hohe) Druckverluste und spezifische elektrische Aufnahmeleistungen ermittelt. Allerdings wurden in diesem Projekt die Betriebsstufen der Kompaktlüftungsgeräte nicht variiert. Hohe Druckverluste im Luftverteilsystem sowie interne und externe Leckagen im Lüftungssystem führten dazu, dass die Ziel- und Grenzwerte auf Anlagen noch bedeutend schlechter ausgefallen sind als bei der Geräteprüfung (Deklaration) an der Hochschule Luzern (HSLU). Laboruntersuchungen zeigten zudem, dass nur mit Kompaktlüftungsgeräten in druckverlustoptimierten Gehäusen und/oder besseren Ventilatoren überhaupt massgebliche Fortschritte zu erzielen sind.

Das wenig erbauliche Fazit lautete somit: Kleinlüftungsanlagen – auch Komfortlüftungen genannt – verfehlen bis heute mehrheitlich die im SIA Merkblatt 2023:2008 [4] festgelegten Ziel- und Grenzwerte für die spezifische elektrische Aufnahmeleistung SPI.

Es stellte sich zudem die Frage, ob auf dem Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte an der HSLU tatsächlich Seriengeräte geprüft und danach deklariert werden.

In früheren Untersuchungen an grösseren Wärmerückgewinnungsanlagen wurde bereits erkannt, dass interne und externe Leckagen respektive Rezirkulation die Energieeffizienz massgeblich negativ beeinflusst [5]. Interne Leckagen in Kompaktlüftungsgeräten und externe Leckagen in Luftverteilsystemen führen zur merklichen Minderung der Energieeffizienz und zu empfindlichen Komforteinbussen bei Geruchsübertragung. Das Verfehlen der Ziel- und Grenzwerte nach SIA Merkblatt 2023:2008 [4] wird somit auch durch interne und externe Leckagen mit verursacht.

Interne Leckagen entstehen in Kompaktlüftungsgeräten wie folgt:

- Abluftübertragung in die Zuluft (hygienisch unerwünscht)
- Aussenluftübertragung in die Fortluft (ineffizient)
- Übertragung von Umgebungsluft des Aufstellungsortes über die Gehäusewand (hygienisch unerwünscht und ineffizient)
- Geruchsübertragung durch feuchtedurchlässige Membrane oder rotierende Matrix

Externe Leckagen des Lüftungssystems entstehen durch undichte Komponenten und Luftverteilungen:

- Zuluftleckage (geforderte Luft erreicht den Bestimmungsort nicht)
- Aussenluftleckage („Aussenluft“ unbekannter Herkunft)
- Abluftleckage (Luft wird nicht dort abgesogen wie vorgesehen)
- Fortluftleckage (verlässt das Gebäude nicht wie vorgesehen)

Unbekannt ist, wie gross diese Leckagen in realen Kleinlüftungslüftungsanlagen sind. Damit bestehen auch Unklarheiten über die effektive Wärmeenergieeinsparung. Falls reale Leckraten im Bereich der Geräteprüfungen (oder höher) sind, bestünde ein Handlungsbedarf, damit Seriengeräte künftig eine bessere Dichtheit aufweisen. Falls reale Leckagen tiefer sind, wäre das übliche Prüfverfahren (Differenzdruckmessung) in Frage zu stellen. Der Einfluss der Leckagen im Luftverteilsystem ist bei Kleinanlagen unklar. Ausländische Daten haben nur eine bedingte Gültigkeit, da in der Schweiz kleine Luftverteilungen anders gebaut werden als im übrigen Europa (hoher Anteil an Kunststoffleitungen, relativ lange Einzelleitungen).

2. Aufgabenstellung und Zielsetzung

Aufgrund der Ausgangslage und wegen der Bedeutung von energieeffizienten Kleinlüftungsanlagen für die Gebäude der 2000 W-Gesellschaft wurde ein Forschungsvorhaben initiiert. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie und des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich untersuchte die Hochschule Luzern, wie durch die Reduktion von internen und externen Leckagen effizientere Kleinlüftungsanlagen realisiert werden können.

Folgende Projektziele wurden definiert:

Reduktion der internen Leckage von Kompaktlüftungsgeräten

- Verbesserung der Energieeffizienz
- Minderung oder Vermeidung der Geruchsübertragung

Reduktion der externen Leckage im Luftverteilnetz

- Verbesserung der Energieeffizienz
- Erhöhung der effektiv im Raum wirksamen Luftvolumenströme
- besserer Abgleich der Anlage
- Verbesserung der Akustik

Beitrag zur Normierung von Kompaktlüftungsgeräten und Kleinlüftungsanlagen

- Umsetzung der Ergebnisse in die anstehende Revision des SIA Merkblatts 2023:2008 [4]

Aus- und Weiterbildung zwecks Sensibilisierung von Planern, Anlagenbauern und Systemlieferanten für die Energieeffizienz von Kleinlüftungsanlagen

- Laufender Wissenstransfer bei Minergie- und energy-cluster-Weiterbildungsveranstaltungen.
- Beitrag am Statusseminar Forschen und Bauen im Kontext von Energie und Umwelt 2010 [7]

3. Vorgehensmethodik

3.1 Arbeitsschritte im BFE Projekt zur Effizienzsteigerung von Kleinlüftungs-anlagen

Arbeitsschritt 1: Laufende Analyse des Verbesserungspotenzials bezüglich Leckagen von Kompaktlüftungsgeräten bei der Kompaktgeräteprüfung an der Hochschule. Literaturstudie (auch Normen), Vergleich Prüfmethoden und Resultate. Kontakte mit ausländischen Prüfinstituten.

Arbeitsschritt 2: Quantifizierung interner und externer Leckagen von 20 bis 30 Anlagen mit 3 bis 4 Gerätetypen (Anwendung der Tracergasmethode der konstanten Emission). Zusätzlich werden auf jeder Anlage die Volumenströme und die Differenzdrücke gemessen. Wo möglich wird die elektrische Leistungsaufnahme der Kompaktlüftungsgeräte erfasst.

Arbeitsschritt 3: Quantifizierung der Geruchsübertragung infolge interner Leckage bei Kompaktlüftungsgeräten im Labor und in-situ (Anwendung der Fouriertransformations-IR-Spektroskopie (FTIR)).

Arbeitsschritt 4: In Zusammenarbeit mit den Industriepartnern werden die erkannten Potenziale in 5 Musteranlagen umgesetzt. Die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen wird quantifiziert und bewertet (Anwendung der Tracergasmethode der konstanten Emission).

Arbeitsschritt 5: Schlussbericht mit Empfehlungen an Hersteller, Systemanbieter und Anlagebetreiber (best-practice-guide), Input „Vertiefte Weiterbildung Komfortlüftung“ energy-cluster/HSLU, Input Lehre/Weiterbildung HSLU, Laufende Beiträge zur Normierung, Beitrag Statusseminar 2010.

3.2 Anpassungen der Arbeitsschritte während dem Projektverlauf

Anlässlich einer internen Projektreview wurden 2010 folgende substanziellen Modifikationen der Arbeitsschritte vorgenommen:

Arbeitsschritt 1: Der Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte wird für die vollumfängliche Bestimmung von Leckagen nach SN EN 13147-7:2010 [6] ertüchtigt. Leckagen sollen unmittelbar im eingebauten Zustand während der thermodynamischen Prüfungen mit Tracergasmethode geortet und quantifiziert werden können.

Arbeitsschritt 2: Wie bereits im BFE Jahresbericht 2010 [9] erwähnt, wurde erkannt, dass die Leckageuntersuchungen von 20 bis 30 Anlagen aufwendig werden.

Arbeitsschritt 3: Die Quantifizierung der Geruchsübertragung erfolgt infolge vorhandener Nachweisgrenzen über Tenax-Röhrchen sowie Gaschromatografie/Massenspektrometer anstelle FTIR-Spektroskopie.

Arbeitsschritt 4: Eine bereits im BFE Projekt *Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs von Kleinlüftungsanlagen* [3] untersuchte Anlage mit Musterpotenzial wird im laufenden BFE Projekt auf interne und externe Leckagen untersucht und im Erfolgsfall als Musteranlage deklariert. Die Umsetzung von Erkenntnissen in mehreren Musteranlagen wäre im festgelegten Projektzeitrahmen nicht möglich gewesen.

Arbeitsschritt 5: Aktuelle Erkenntnisse werden laufend in die „Vertiefte Weiterbildung Komfortlüftung“ energy-cluster/HSLU eingebracht, nicht erst nach Abschluss des BFE Projekts.

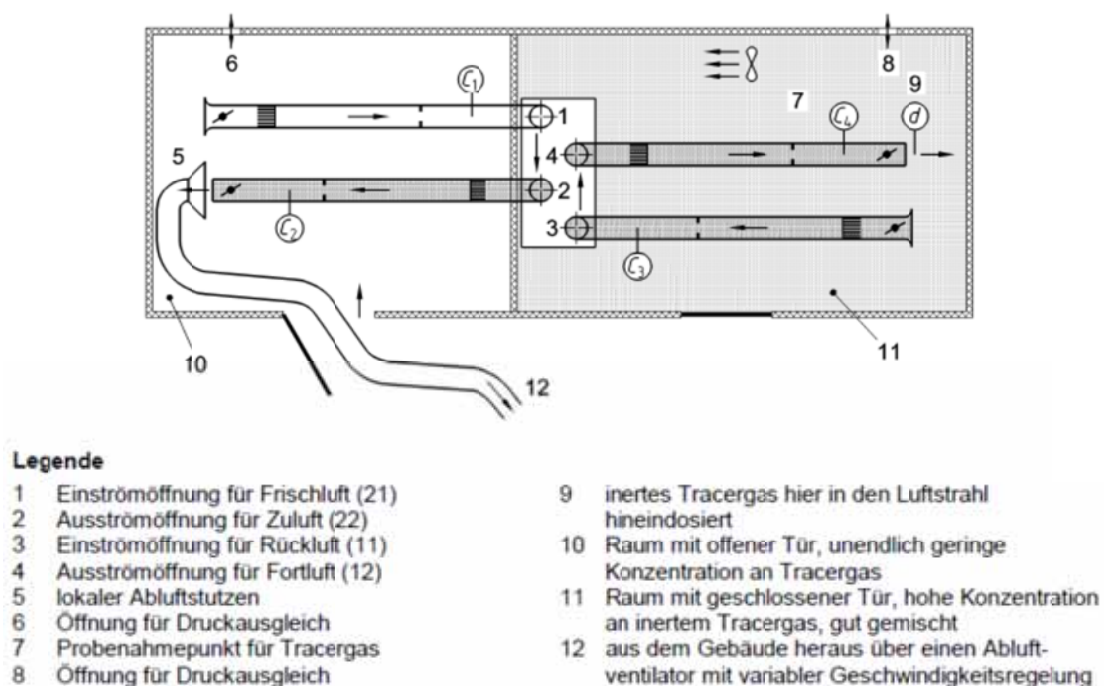
4. Resultate

4.1 Konformität des Prüfstandes für Kompaktlüftungsgeräte nach SN EN 13147-7:2010

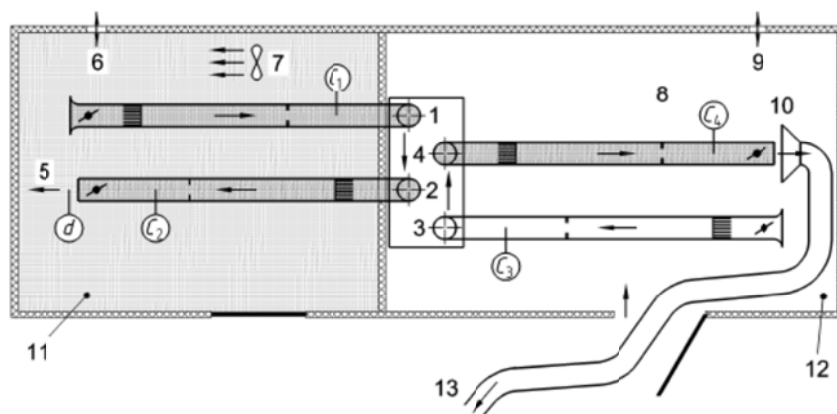
Kompaktlüftungsgeräte werden in der Schweiz üblicherweise auf dem Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte geprüft und aufgrund der Resultate an der Hochschule Luzern deklariert. Diese Gerätedeklaration wird seit November 2008 betrieben und ermöglicht einen Produktvergleich in Sachen Energieeffizienz, Akustik und Hygiene.

An der Hochschule Luzern stellt sich bei der Geräteprüfung auf dem Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte immer wieder folgende Frage: Entsprechen die untersuchten und damit auch deklarierten Kompaktlüftungsgeräte denjenigen aus der Serie? Schon seit längerer Zeit besteht die Vermutung, dass für die Deklaration nicht nur Seriengeräte bereitgestellt werden.

Die vollumfängliche Leckagebestimmung erfolgt am besten während der thermodynamischen Geräteprüfung. Bei den nach Prüfreglement einzustellenden Betriebspunkten können die Leckagen nach Anhang C der SN EN 13147-7:2010 [6] quantifiziert werden. Figur 2 zeigt die Prüfanordnung für die Leckagebestimmung mit einem üblichen Tracergas wie Schwefelhexafluorid (SF_6) oder Lachgas (N_2O). Die Konzentrationsmessung erfolgt mit IR-Photoakustik-Gasmonitor und Mehrpunktsamplern.



Figur 2: Prüfanordnung für die verbindlich vorgeschriebene Tracergasprüfung Nr.1 für Lüftungsgeräte mit Luftleitungen nach SN EN 13147-7:2010 [6].



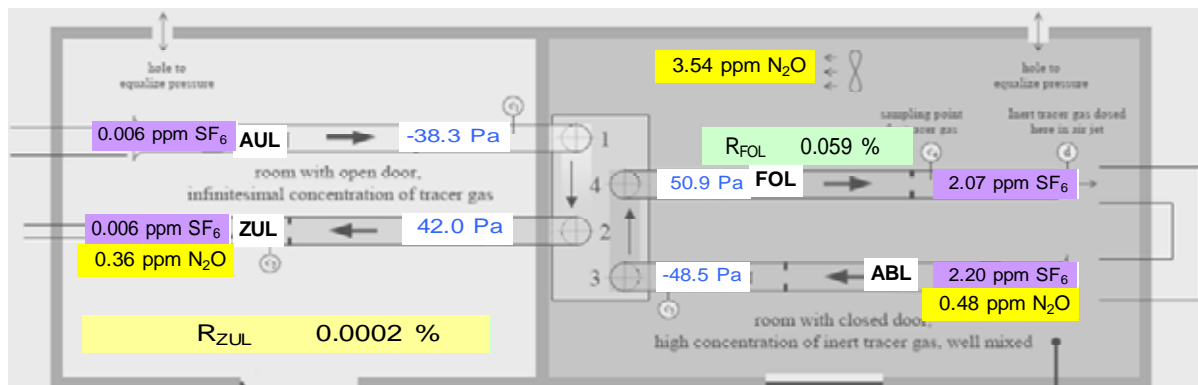
Legende

- | | | | |
|---|--|----|---|
| 1 | Einströmmöffnung für Frischluft (21) | 9 | Öffnung für Druckausgleich |
| 2 | Ausströmmöffnung für Zuluft (22) | 10 | lokaler Abluftstutzen |
| 3 | Einströmmöffnung für Rückluft (11) | 11 | Raum mit geschlossener Tür, hohe Konzentration an inertem Tracergas, gut gemischt |
| 4 | Ausströmmöffnung für Fortluft (12) | 12 | Raum mit offener Tür, unendlich geringe Konzentration an Tracergas |
| 5 | inertes Tracergas hier in den Luftstrahl hineindosiert | 13 | aus dem Gebäude heraus über einen Abluftventilator mit variabler Geschwindigkeitsregelung |
| 6 | Öffnung für Druckausgleich | | |
| 7 | Umwälzventilator | | |
| 8 | Probenahmepunkt für Tracergas | | |

Figur 3: Prüfanordnung für die optionale Tracergasprüfung Nr.2 für Lüftungsgeräte mit Luftleitungen nach SN EN 13147-7:2010 [6].

Die vorgängigen Prüfanordnungen in den Figur 2 und Figur 3 wurden für den Prüfstand der HSLU modifiziert und erweitert (Figur 4). Die Anforderungen der HSLU bedingen den parallelen Einsatz der beiden Tracergase Schwefelhexafluorid (SF_6) und Lachgas (N_2O), da gleichzeitig auch die Leckage über die Gerätegehäusewand quantifiziert werden soll. Hierzu wird Lachgas (N_2O) in den Geräteaufstellungsraum (Kammer rechts in Figur 4) eindosiert und die Konzentration mit der entsprechenden Tracergasmethode konstant gehalten. Gleichzeitig wird Schwefelhexafluorid (SF_6) in den geschlossenen ABL-FOL-Kreis eindosiert und die Konzentration ebenfalls konstant gehalten. Durch Messung der N_2O -Konzentration in der Zuluft (22) kann die Leckage über die Gehäusewand unter Berücksichtigung undichter ABL-Leitungen im Geräte-Aufstellungsraum quantifiziert werden. Durch Messung der SF_6 -Konzentration in der Zuluft (22) kann die Übertragung von Abluft auf die Zuluft ebenfalls quantifiziert werden.

Zur Bestimmung der Übertragung von Aussenluft auf die Fortluft wird Schwefelhexafluorid (SF_6) mit konstanter Rate in die Aussenluft (21) emittiert. Die resultierenden Konzentrationen in der Aussenluft (21) und in der Fortluft (12) ergeben die aus Effizienzgründen unerwünschte direkte Übertragung von Aussenluft in die Fortluft.



Figur 4: Prüfanordnung für die Leckagebestimmung im Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte der Hochschule Luzern (mit fiktiven Zahlenwerten).

Das Upgrade des Prüfstandes erfordert den Einsatz zahlreicher IR-Photoakustik-Gasmonitore und Mehrpunktsamplern (Figur 5). Die Anwendung von zwei Tracergasen (Schwefelhexafluorid und Lachgas) und von zwei Tracergasmethoden (konstante Emission und konstante Konzentration) stellt hohe Anforderungen. Die Prüfanordnung hat sich aber bei den ersten Geräteprüfungen bewährt und wird nun weiter verbessert.



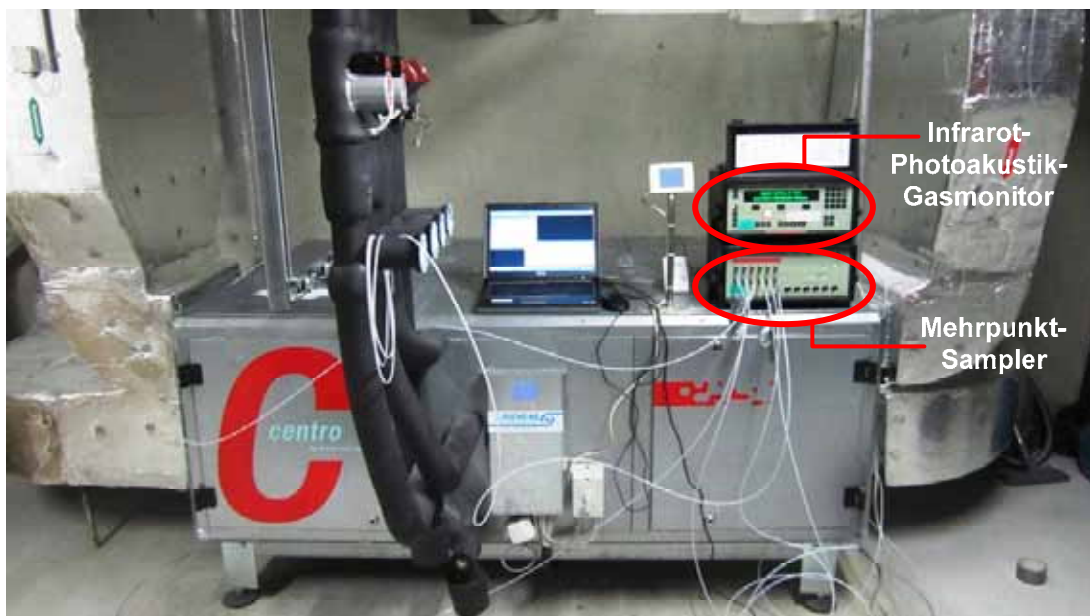
Figur 5: IR-Photoakustik-Gasmonitor Messgeräte mit Mehrpunktsamplern für die Bestimmung von Leckagen bei Kompaktlüftungsgeräten.

4.2 Quantifizierung von Leckagen, Förderdruck, elektrischer Leistung und Volumenströmen auf Anlagen

Interne und externe Leckagen

Bei der Quantifizierung von Leckagen wird zur Detektierung des eindosierten Tracergases ein Infrarot-Photoakustik-Gasmonitor (IR-PAS) mit einem Mehrpunktsamplers eingesetzt. Der Mehrpunktsampler wird benötigt, um Konzentrationen des Tracergases im Aussenluft-, Zuluft-, Abluft- und Fortluftkanal kontinuierlich zu bestimmen. Eingesetzt werden üblicherweise mit niedriger Nachweisgrenze detektierbare Infrarot-absorbierende Gase wie Schwefelhexafluorid SF_6 und Lachgas N_2O .

Die Dosierung des Tracergases erfolgt entweder in der Abluft oder in der Aussenluft (Figur 7). Dabei ist darauf zu achten, dass der Abstand zwischen der Dosierung und den Entnahmestellen ausreichend gross ist, um eine gute Durchmischung des Tracergases und dem Trägermedium zu gewährleisten.



Figur 6: Messaufbau für Quantifizierung von Leckagen am zu untersuchenden Lüftungsgerät.

In der Figur 6 ist der Aufbau der Messeinrichtung ersichtlich. Dabei ist der Mehrpunktsampler über die Kunststoffschläuche an das Lüftungssystem angeschlossen und erfasst alle 4 Luftströme am Lüftungsgerät. Für die Datenerfassung ist am Infrarot-Photoakustik-Gasmonitor (IR-PAS) ein Laptop angeschlossen, der die Ergebnisse über eine Auswertesoftware sowohl nummerisch als auch graphisch darstellen kann.



Figur 7: Aufbau für die Dosierung mit Tracergasflasche und Massedurchflussregler.

Der apparative Aufwand für die Tracergas-Dosierung ist kleiner als jener für das Mehrpunkt-Sampling. Hier werden nur eine Tracergasflasche und ein Dosierventil benötigt. Die präzise Dosierung erfolgt mittels softwaregesteuertem Massedurchflussregler. Aufgrund der sehr geringen Dosiermengen ist ein manuelles Ventil nicht einsetzbar.

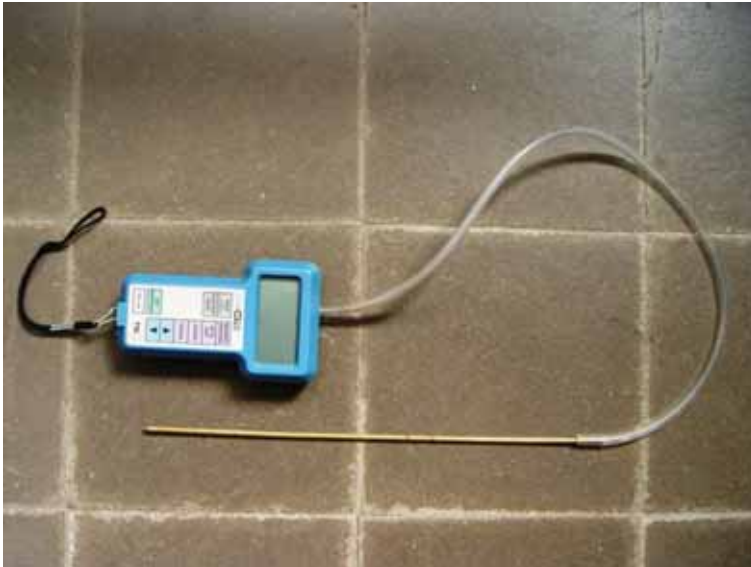
Qualitativ lassen sich Leckagen auch sehr gut mit sogenannten Rauchröhrchen detektieren.



Figur 8: Einsatz eines Rauchröhrchens zur Leckageortung.

Für die Bewertung der Energieeffizienz von Anlagen reicht es nicht aus, interne und externe Leckagen zu ermitteln. Weitere wichtige Größen sind der Förderdruck, externe Druckverluste, elektrische Energie und Leistung, sowie Volumenströme.

Gesamter externer Druckverlust



Figur 9: Druckmessgerät mit Digitalanzeige.

Die gesamten externen Druckverluste setzen sich aus den Druckverlusten der Aussenluft, Zuluft, Abluft und Fortluft zusammen. Um Kenntnis über die Druckverhältnisse im Lüftungssystem zu gewinnen, wurde ein Differenzdrucksensor mit Drucksonde eingesetzt (Figur 9). Für die Differenzdruckmessung wurde die Drucksonde (Kupferröhrchen) in den Kanal eingeführt und die Druckdifferenz der Aussenluft, Zuluft, Abluft und Fortluft zur Umgebung gemessen.

Elektrische Energie und Leistung

Für die Messung der elektrischen Leistungsaufnahme wurde ein handelsübliches Energie- und Leistungsmessgerät (Figur 10) verwendet. Wichtig ist, dass mit dem eingesetzten Messgerät auch die Stand-by Verluste korrekt gemessen werden können.



Figur 10: Energie- und Leistungsmessgerät EMU 1.24k.

Volumenstrom

Langjährige Erfahrungen zeigen, dass Volumenströme von Durchlässen am sichersten direkt gemessen werden. Bei der Bestimmung der Volumenströme wurde ein sogenannter *Flow-Finder* eingesetzt. Zur Ermittlung des Volumenstroms wird das Messgerät dicht auf die Zu- bzw. Abluftöffnung aufgedrückt und ein interner Ventilator mittels Justiervorrichtung derart eingestellt, dass das Volumenstrommessgerät keinen Druckverlust über den Durchlass erzeugt. Der resultierende Volumenstrom kann danach auf einer integrierten Skala abgelesen werden. Validierungen auf einem Referenzprüfstand haben ergeben, dass dieses Messgerät gerade im Bereich der gängigen Durchlässe ($\sim 30\text{m}^3/\text{h}$) verlässliche Werte sowohl im Saug-, als auch im Druckbetrieb ergibt. Im Laborunterricht der vertieften Weiterbildung Komfortlüftung des energy-cluster werden die Kursteilnehmer im Gebrauch von Volumenstrommessgeräten wie dem Flow-Finder geschult.



Figur 11: Volumenstrom-Messgerät Flow-Finder.

Die eingesetzten Messgeräte sind im Anhang spezifiziert.

Anlagenübersicht

Seite	Anlage		Nutzung	Typ	Baujahr	Lüftungsgerät	
17	8934 Knonau	Alpenblickstrasse 1	Einfamilienhaus	Neubau	2006	Zehnder G 90	Kompakt
23	3013 Bern	Jurastrasse 27	Mehrfamilienhaus	Umbau	2010	Cosmatech Silence 450/4EC	Zentral
29	6048 Horw	Ringstrasse 1	Stockwerkeigentum	Neubau	2011	Zehnder Comfoair 350 CH L Luxe ERV	Kompakt
33	6374 Buochs	Güterstrasse 18	Stockwerkeigentum	Neubau	2007	Hoval HomeVent RS 250	Kompakt
39	6252 Dagmersellen	Altshoferstrasss 5 EG	Gewerbe	Neubau	2010	Zehnder Comfoair 550 CH Luxe	Kompakt
45	6252 Dagmersellen	Altshoferstrasse 5 1.OG	Gewerbe	Neubau	2010	Zehnder Comfoair 550 CH Luxe	Kompakt
50	8733 Eschenbach	Chappelstrasse 1a	Doppel-EFH	Neubau	2003	Brink Renovent HR	Kompakt
55	8722 Kaltbrunn	Mülschperg 34	Einfamilienhaus	Neubau	2010	Zehnder G 91-350 BR	Kompakt
61	5024 Küttingen	Oesterweg 16	Einfamilienhaus	Umbau	2007	Zehnder G 90-300 BE R	Kompakt
68	4665 Oftringen	Ahornweg 2	Einfamilienhaus	Umbau	2003	Elcotherm	Kompakt
74	8422 Pfungen	Haldenstrasse 42	Einfamilienhaus	Neubau	2010	Zehnder Comfoair 350 CH L Luxe ERV	Kompakt
82	4852 Rothrist	Stampfiweg 8 EG	Mehrfamilienhaus	Neubau	2008	Drexel Weiss Aerosilent topo R	Kompakt
88	4852 Rothrist	Stampfiweg 8 1.OG	Mehrfamilienhaus	Neubau	2008	Drexel Weiss Aerosilent topo R	Kompakt
94	5630 Muri	Mürlefeld 4	Einfamilienhaus	Umbau	2010	Elco BGL Digital 300	Kompakt
97	6370 Stans	Langmattring 12	Gewerbe mit Whg.	Neubau	2010	Hoval HomeVent RS 250	Kompakt
103	6130 Willisau	Gulpstrasse 1	Mehrfamilienhaus	Neubau	2011	Aerosilent Centro mit Aerosilent Micro	Zentral

Objekt Alpenblickstrasse 1, 8934 Knonau

Art des Objektes:	Einfamilienhaus
Lüftungsgerät :	Zehnder Comfosystems
Typ:	Comfoair G91
Baujahr Haus/ Anlage:	2006 / 2006
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø160mm Feinverteilung: Zehnder comfotube Ø90mm
Standort des Gerätes :	Kellergeschoss
Anlagenspezifikation :	Erdwärmetauscher mit Sole



Figur 12: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 13: Lüftungsgerät mit Filter (rechts) und Kondensatablauf vorher.



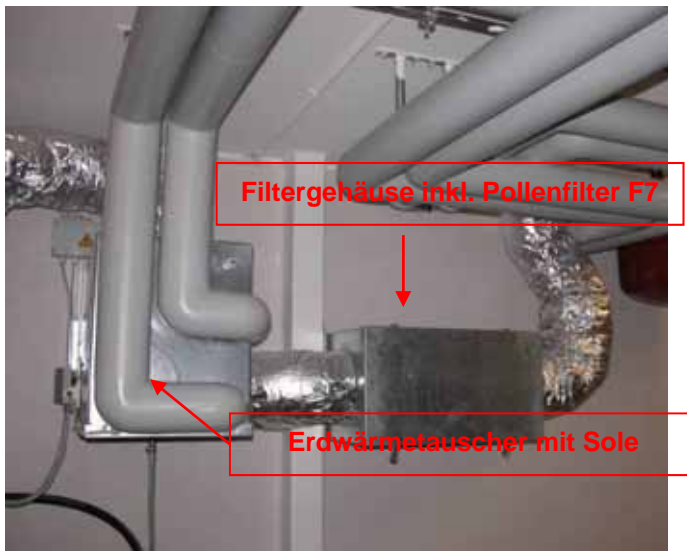
Figur 14: Lüftungsgerät mit Kondensatablauf nachher.



Figur 15: Messaufbau mit Dosierflasche.



Figur 16: Lüftungsgerät im Keller.



Figur 17: Lüftungskomponenten.

Kommentar zu den Figuren:

Figur 12: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 13: Lüftungsgerät mit falsch syphoniertem Kondensatablauf

Figur 14: Lüftungsgerät mit korrekt syphoniertem Kondensatablauf

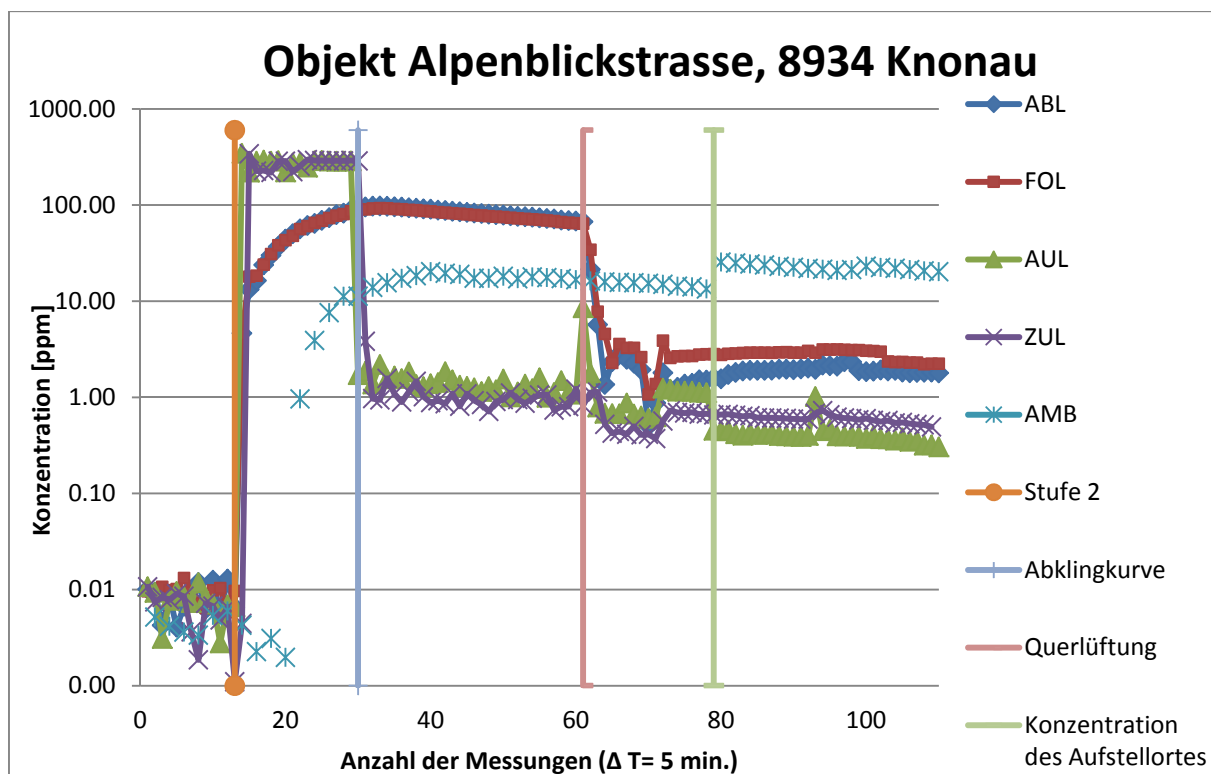
Figur 15: Messaufbau mit Tracergas-Dosierflasche

Figur 16: Lüftungsgerät mit Luftverteilungen

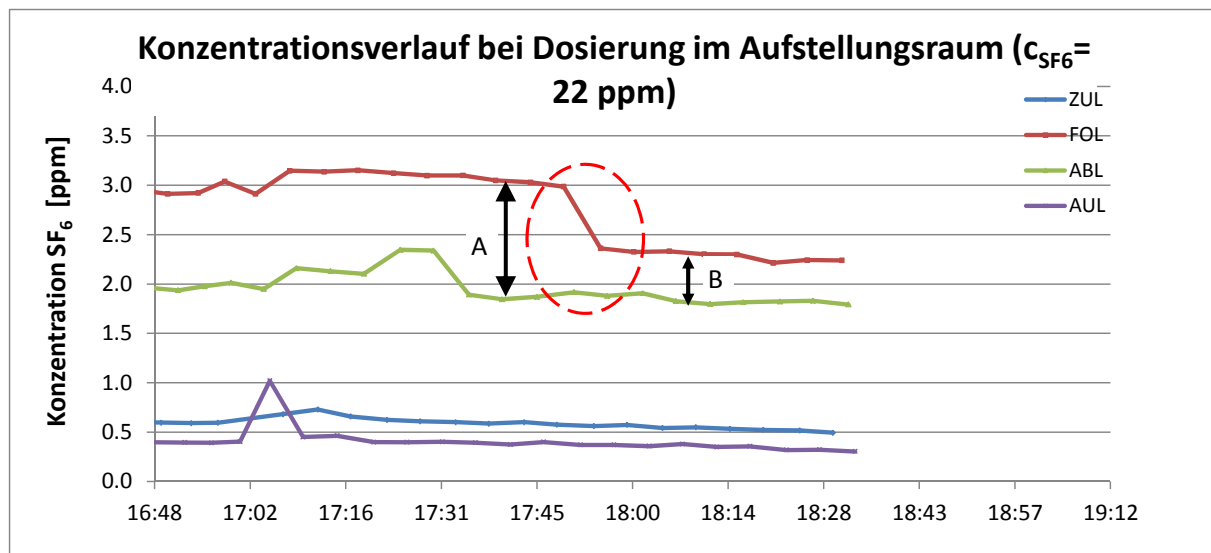
Figur 17: Lüftungskomponenten

Hinweis: Es ist darauf zu hinzuweisen, dass auch der Kondensatablauf des Sole-Erdwärmetauschers richtig syphoniert wird. Dies wurde bei den Untersuchungen erst nachträglich festgesellt.

Resultate



Figur 18: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.



Figur 19: Konzentrationsabnahme in der Fortluft (FOL).

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leakage)

Bei der Leakage von der Abluft zur Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft (eventuelle Konzentration infolge externen Kurzschlusses) von der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leakage von ca. 1%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 0.8%.

Die Leakage von der Aussenluft zur Fortluft kann aufgrund der Differenz zwischen Aussenluft- und Zuluftkonzentration auf ca. 2% abgeschätzt werden.

Die Leakage auf der Unterdruckseite der Aussenluft beträgt etwa 2%. Die Leakage des Lüftungsgeräts lässt sich aus der Differenz ZUL zu ABL_Gerät mit etwa 1% beziffern.

Die externe Leakage auf der Unterdruckseite der Abluft plus Lüftungsgerät beträgt etwa 5%.

Beobachtungen

Anstieg der Konzentration im Aufstellungsraum aufgrund Leakage auf Überdruckseite der Zuluft. Die Türen zur Aussenseite und zum Wohnraum sind nicht ganz dicht.

Bewertung

Obwohl das Lüftungsgerät nicht zur neuesten Generation gehört, wurde ein sehr guter SPI-Wert von 0.30 W/(m³/h) erreicht. Speziell zu erwähnen ist, dass aussenluftseitig ein zusätzliche Filterbox (F7) und ein Vorwärmer für einen Sole-Erdreichwärmeübertrager eingebaut sind. Dies dokumentiert, dass auch mit diesen Optionen ein mustergültig tiefer Stromverbrauch möglich ist.

Die vielen Übergänge von Komponenten (Schalldämpfer, Filterbox, Vorwärmer) und Formstücken sind potentielle Leckagestellen. Bei der Ausführung wurde dies offenbar erkannt und es wurde sorgfältig abgedichtet. Dementsprechend sind die Leckagen als gering zu bewerten.

Objekt Jurastr. 27, 3013 Bern

Art des Objektes:	Mehrfamilienhaus mit einem RLT-Gerät
Lüftungsgerät :	Cosmatech
Typ:	Silence 450/4EG
Baujahr Haus/ Anlage:	- / 2010
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø200mm Feinverteilung: sternförmig, im Schacht, Wickelfalzrohr Ø80mm
Standort des Gerätes :	Kellergeschoss
Anlagenspezifikation :	Schalldämpfer in der FOL



Figur 22: Gebäudeansicht.



Figur 23: Fortluftgitter (zur Messung am Rand abgedichtet, im späteren Verlauf wird es noch eingeputzt).



Figur 24: Lüftungsgerät mit Tracergas-Equipment.



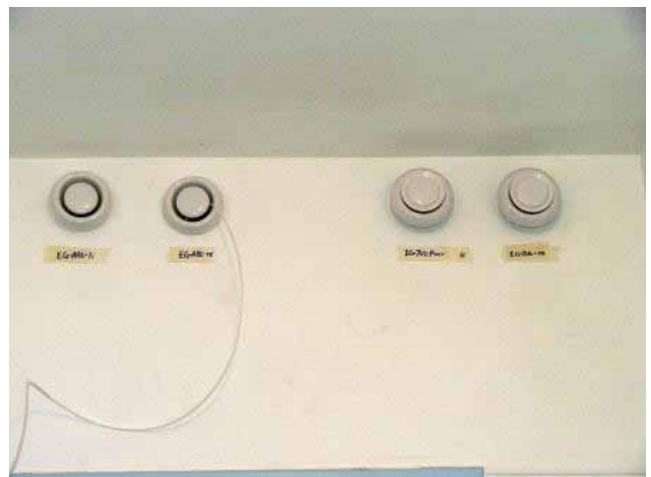
Figur 25: Aussenluftfassung.



Figur 26: Aussenluftgitter (gleiche Bedingung wie FOL).



Figur 27: Fluransicht mit ZUL- und ABL-Öffnungen (vor Sanierung)



Figur 28: ZUL- und ABL-Öffnungen (mit Tracergasdo-sierschlauch).

Kommentar zu den Figuren:

Figur 22: zeigt die Strassenansicht

Figur 23: Fortluftgitter auf Strassenseite, noch nicht dicht eingesetzt

Figur 24: Lüftungsgerät im Kellergang mit Messgeräten

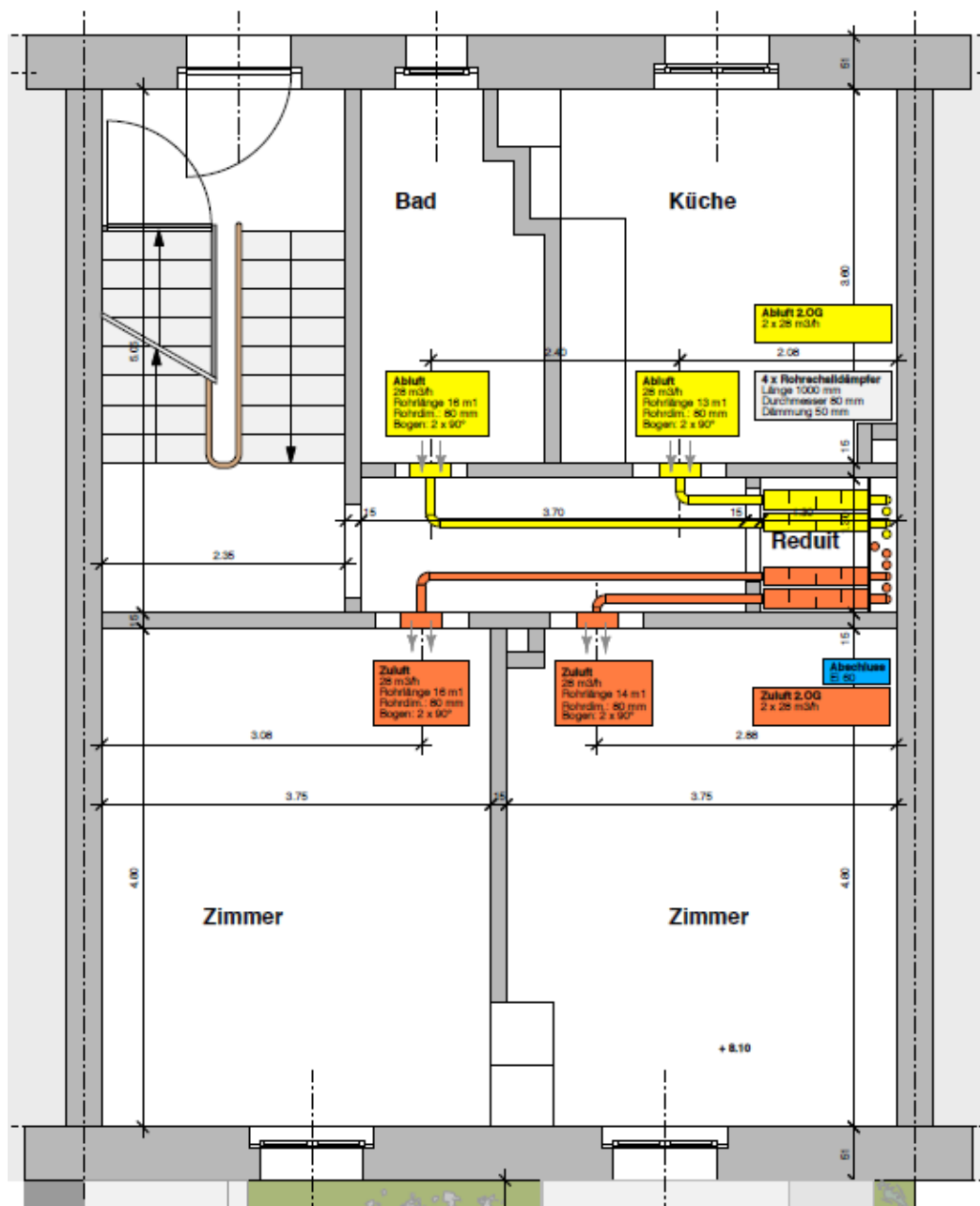
Figur 25: Aussenluftgitter im Hof auf ca. 1.2m Höhe

Figur 26: Aussenluftgitter, noch nicht dicht eingesetzt

Figur 27: Zu- und Abluftöffnung im Flurbereich (teilweise auch schon sanierte Wohnung vorhanden)

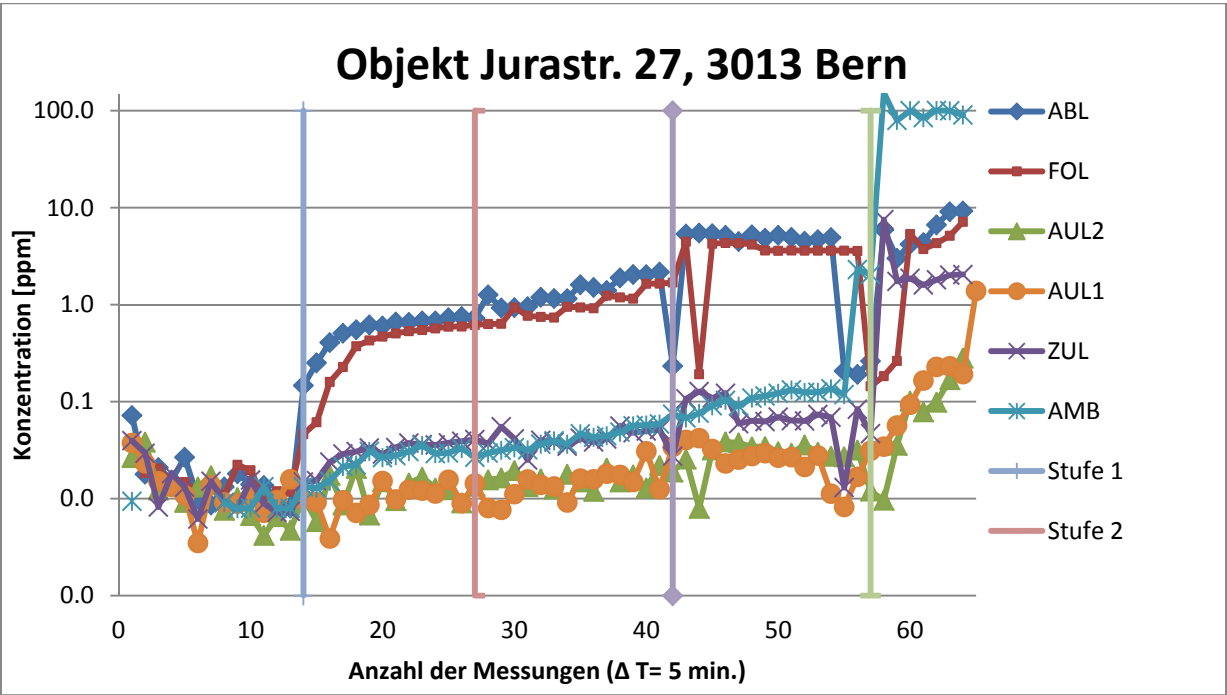
Figur 28: vorgefundener Zustand der Lüftungsöffnungen

Figur 29: Grundriss mit geplanter Luftführung nach Sanierung



Figur 29: Grundriss des Objekts Jurastrasse 27 in Bern.

Resultate



Figur 30: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
216/185	48	0.26	3.46	20/39	30/11
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
276/308	96	0.35	1.72	36/62	60/23
Stufe 3					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
439/439	310	0.71		90/158	120/45

Figur 31: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 2.6%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 2.2%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 0.04%.

Bei der Messung fiel auf, dass die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 8.2% sank. Das bedeutet, dass in der Fortluft im Vergleich zur Abluft ein 8.2% grösserer Volumenstrom transportiert wird. Um die Ursache dafür zu ermitteln, ist bei der Aufkonzentrierung des Raumes die Konzentration der Fortluft und Abluft mitermittelt worden.

Zusätzlich ist aufgrund der langen Aussenluftleitung eine Vergleichsmessung in der Aussenluft gemacht worden, um eventuelle Undichtigkeiten zu ermitteln. Die Messung ergab keine nennenswerte Leckage.

Beobachtungen

Lüftungsgerät frei zugänglich im Kellergang, Aussenluftfassung ca. 1.2m über Boden im Hof in der Nähe des Grillplatzes, Aussenluft- und Fortluftfassung im Wandbereich bei Messkampagne nicht abgedichtet, Abluft- und Zuluftöffnungen dicht beieinander platziert. Der Umbau vom IST-Zustand zum SOLL- Zustand nach Plänen geschieht abschnittsweise und ist im 2.Obergeschoss und Dachgeschoss bereits abgeschlossen.

Bewertung

Für eine Mehrwohnungsanlage wird ein sehr guter SPI –Wert erreicht. Die Lüftungsinstallati-onen sind sehr geschickt und gut zugänglich im bestehenden Gebäude eingebaut. Im Schnitt könnte der Eindruck entstehen, dass die Leitungen relativ lang sind. Da die horizontale Lei-tungsführung an der Decke sehr ökonomisch ist, ist die Länge des ungünstigsten Strangs kaum grösser als in Einfamilienhäusern mit eingelegten Leitungen.

Bei der Messung war die Anlage noch nicht voll ausgebaut, da dies etappenweise zusam-men mit der Sanierung der einzelnen Wohnungen erfolgt. Da der ungünstigste Strang aber definitiv ausgebaut ist, ist nicht anzunehmen, dass sich die Kennwerte verschlechtern.

Die gemessenen Druckverluste können durch eine Berechnung gut nachvollzogen werden, was auf eine gute Ausführungsqualität schliessen lässt.

Das Optimierungspotential ist relativ gering. So könnte überlegt werden, die maximalen Luft-volumenströme pro Raum von 40 auf 35 m³/h zu reduzieren. Weiter könnten vermutlich das Aussen- und Fortluftgitter grosszügiger dimensioniert werden. Bestenfalls liessen sich so die Druckverluste um ca. 20 bis 30% reduzieren, womit ein SPI-Wert von rund 0,30 W/(m³/h) erreicht werden könnte.

Objekt Ringstrasse 1, 6048 Horw

Art des Objektes:	Mehrfamilienhaus
Lüftungsgerät :	Zehnder Comfosystems
Typ:	Comfoair 350 CH Luxe
Baujahr Haus/ Anlage:	2011/ 2011
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Kanal 200x80mm Feinverteilung: sternförmig, einbetonierte Kunststoffleitung Ø90mm
Standort des Gerätes :	Abstellraum im Erdgeschoss
Anlagenspezifikation :	separate Schalldämpfer in Zuluft und Abluft



Figur 32: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 33: Lüftungsgerät im Vorratsraum.



Figur 34: Strassenansicht mit Aussenluft- und Fortluft-Gitter.



**Figur 35: Kondensatleitung vom Lüftungs-
gerät.**



Figur 36: Anschlüsse vom Gerät an die Verteilung.



Kommentar zu den Figuren

Figur 32 Aussenansicht des Gebäudes

Figur 33 Lüftungsgerät in der Vorratskammer

Figur 34 Strassenansicht mit Aussen- und Fortluftgitter

Figur 35 Siphon für Kondensatleitung am Lüftungsgerät

Figur 36 Anschlüsse Lüftungsgerät an Verteilsystem

Resultate

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
84/83	17	0.20		9/15	18/9
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
122/123	30	0.24		24/33	37/16
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
225/222	120	0.54		86/110	112/37

Figur 38: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse

Aufgrund der gemessenen Werte vom Aussenluftgitter und der Summe der Zuluftgitter ist ersichtlich, dass die Leckage in diesem Teil der Lüftungsanlage nicht signifikant ist und im Bereich der üblichen Leckage liegt. Bei der Verhältnisbildung zwischen den Abluftgittern und dem Fortluftgitter sind jedoch Differenzen aufgetreten. Diese Differenzen äussern sich darin, dass die gemessene Fortluft bis zu 20% grösser ist, als die in der Wohnung gemessenen Abluftvolumenströme.

Ein so grosser Unterschied lässt darauf schliessen, dass es in der Abluft Leckagen gibt und somit nicht der gesamte Fortluftvolumenstrom an den einzelnen Abluftgittern abgesaugt wird.

Bewertung

Der hervorragende SPI-Wert von 0.24 W/(m³/h) wurde durch eine grosszügige Dimensionierung der Luftverteilung wie auch durch den Einsatz eines relativ grossen Gerätes erreicht.

Objekt Güterstrasse 18, 6374 Buochs

Art des Objektes:	Mehrfamilien-Terrassenhaus mit ein RLT-Gerät pro Wohnung
Lüftungsgerät :	Hoval
Typ:	HomeVent RS 250 mit variablem Volumenstrom und Feuchterückgewinnung
Baujahr Haus/Anlage :	2007 / 2007
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø150mm Feinverteilung: sternförmig, einbetonierte Kunststoffrohre Ø75mm
Standort des Gerätes :	Abstellraum
Anlagenspezifikation:	separate Schalldämpfer in Zuluft und Abluft, Vorfilterbox vor RLT-Gerät



Figur 39: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 40: Etage der zu messenden Wohnung.



Figur 41: Lüftungsgerät.



Figur 42: Aussen- und Fortluftgitter.



Figur 43: Aussenluftgitter.



Figur 44: Rückansicht des Gebäudes.



Figur 45: Blick auf die Terrasse mit Aussenluft und Fortluft.

Kommentar zu den Figuren

Figur 39: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 40: die zu Messende Wohnung im OG. des Hauses

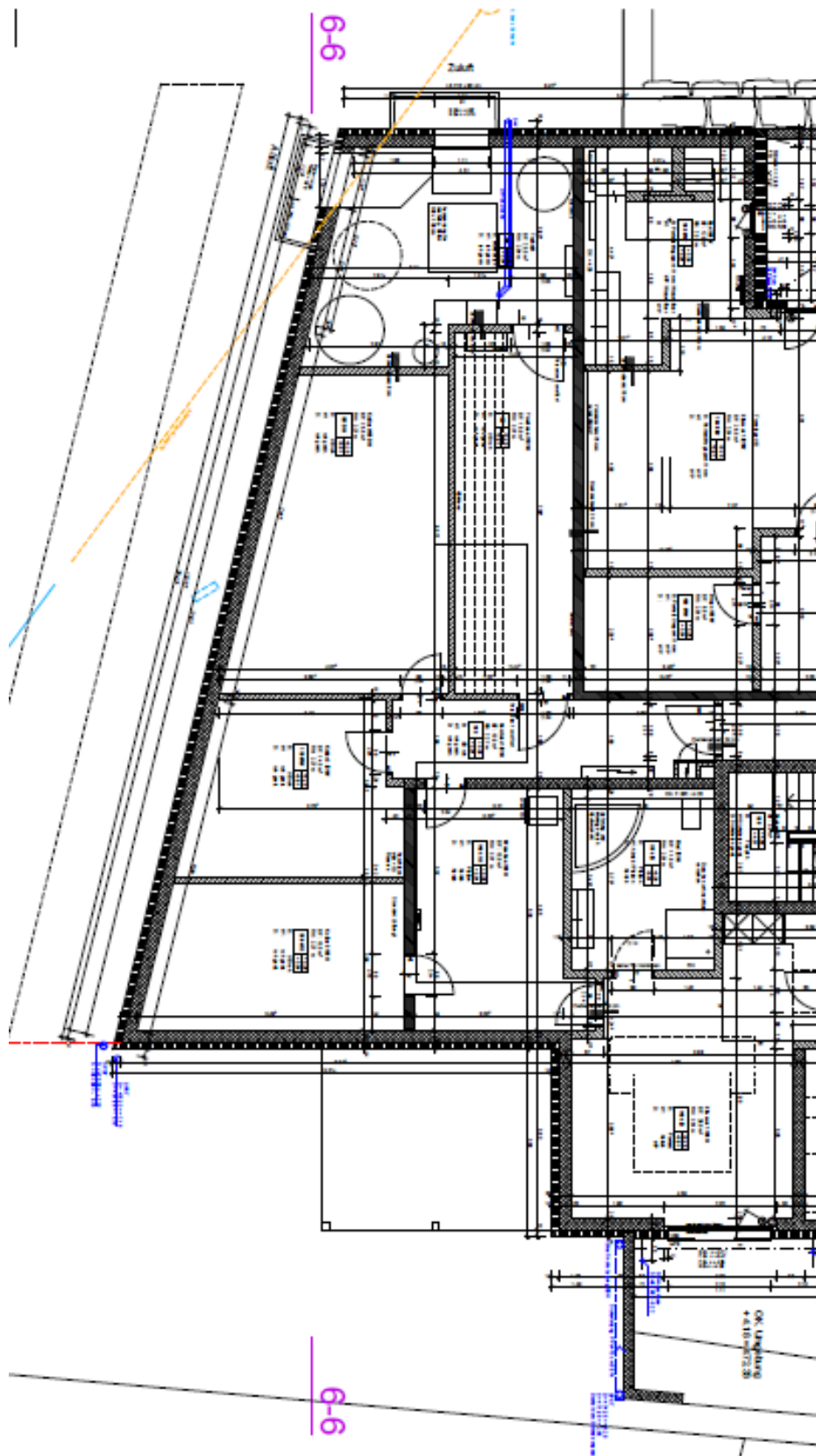
Figur 41: Lüftungsgerät im Hobbyraum der Wohnung

Figur 42: Aussenluft- und Fortluft-Gitter auf der Terrasse bei der Mietpartei im 1.Obergeschoss

Figur 43: zugestelltes Aussenluft-Gitter

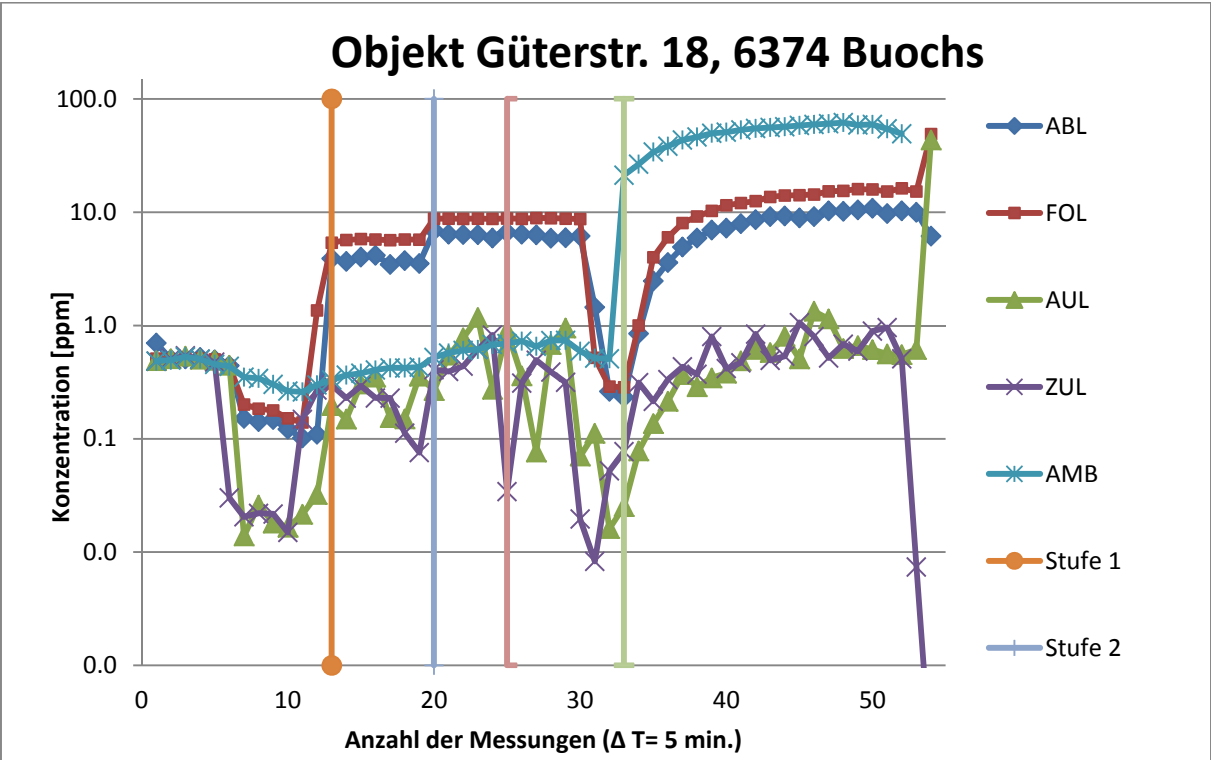
Figur 44: hintere Ansicht des Gebäudes

Figur 45: Ansicht der Terrasse mit Aussenluft- und Fortluft-Gitter



Figur 46: Grundriss des Objektes Güterstrasse 28 in Buochs.

Resultate



Figur 47: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe bei 30%					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
122/116	89	0.75	-0.75%	83/56	50/85
Stufe 60%					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
123/134	97	0.76	-2.72%	83/56	67/118
Stufe 100%					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
122/133	97	0.76	-3.39%	83/55	65/115

Figur 48: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Aufgrund der ungünstigen Lage der Aussnluft- und Zuluft-Fassungen und der eingebauten Lage war keine korrekte Messung realisierbar. Je nach Luftströmung sind teilweise grosse Schwankungen in der Konzentration der Aussenluft und somit in der Zuluft entstanden.

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. -2.3%.

Der Wert ist aufgrund der Tatsache negativ, dass es einen externen „Kurzschluss“ gibt und daraus resultierend die Aussenluft teilweise eine höhere Konzentration aufweist als die Zuluft.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 5.5%. Dieser hohe Wert ist auf die bauliche Anordnung der Aussen- und Fortluftöffnung zurück zu führen. Diese Öffnungen befinden sich einerseits auf der Terrasse der darüber liegenden Wohnung und zusätzlich im windgeschützten Bereich auf ca. 70 cm über Fertigboden.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 0.04%.

Die Aufkonzentrierung im Raum ergab für die Leckageübertragung vom Aufstellraum zur Fortluft einen Wert von ca. 7.5%.

Beobachtungen

Aussenluft-Gitter im Aussenbereich zugestellt, Aussenluft- und Fortluft-Gitter in Senke im erdnahen Bereich platziert bei anderer Mietpartei, bei Umstellung von 60% auf 100% der Leistung keine Veränderung bei der Stromaufnahme und den Volumenströmen feststellbar. Bei der gemessenen Anlage fiel auf, dass bei Erhöhung der Leistung am Fernversteller der Lüftungsanlage die Leistung ab ca. 45% nicht weiter steigt. Weder konnte eine Steigerung der aufgenommenen Leistung festgestellt werden, noch eine Steigerung der geförderten Luftmenge. Dies kann die Ursache darin haben, dass entweder die Ventilatoren bei einer eingestellten Leistung von ca. 45% schon an ihrer Leistungsgrenze sind oder die Regelung defekt ist. In diesem Fall ist wahrscheinlicher das die Regelung defekt ist, auf der Grundlage, das die max. Stromaufnahme vom Hersteller mit 130 W angegeben wird, aber nicht erreicht wird und das Gerät nach Angaben der Nutzer noch im Originalzustand ist.

Bewertung

Der gemessene SPI-Wert ist rund doppelt so hoch wie der SIA-Grenzwert und muss daher als ungünstig beurteilt werden.

Die Ursache liegt in den hohen Druckverlusten. Auffällig hoch sind der Druckverluste der Aussenluft (Aussenluft-Durchlass bis Gerät) und Fortluft (Gerät bis zum Fortluftgitter). In der Aussenluft ist vermutlich die Filterbox die Hauptursache (zusätzlicher Filter zum im Gerät eingebauten F7-Filter). Die fortluftseitigen Druckverluste können nicht nachvollzogen werden.

Um mit dem vorhandenen Lüftungsgerät einen SPI-Wert von unter $0,34 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ zu erreichen, müssten die Druckverluste auf etwa einen Drittel der gemessenen Werte reduziert werden. Dazu wäre die genannte Filterbox zu beurteilen und die Fortluftseite müsste analysiert werden.

Objekt EG Altishoferstrasse 5, 6252 Dagmersellen

Art des Objektes:	Bürogebäude mit einer RLT-Anlage pro Etage
Lüftungsgerät :	Zehnder Comfosystems
Typ:	Comfoair 550 CH Luxe
Baujahr Haus/ Anlage:	2010 / 2010
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø180mm Feinverteilung: variierend in abgehangener Decke mit Kunststoffrohr, Einzelanschlussleitung Ø100mm
Standort des Gerätes :	im WC
Anlagenspezifikation:	keine



Figur 49: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 50: Dachansicht mit Aussenluft- und Fortluft-Fassungen.



Figur 51: Vorne Fortluft- und hinten Aussenluft-Fassung.



Figur 52: Aussenluft-Fassung mit den einzelnen Steigleitungen.



Figur 53: Stark verschmutztes Gitter der Aussenluft-Fassung.



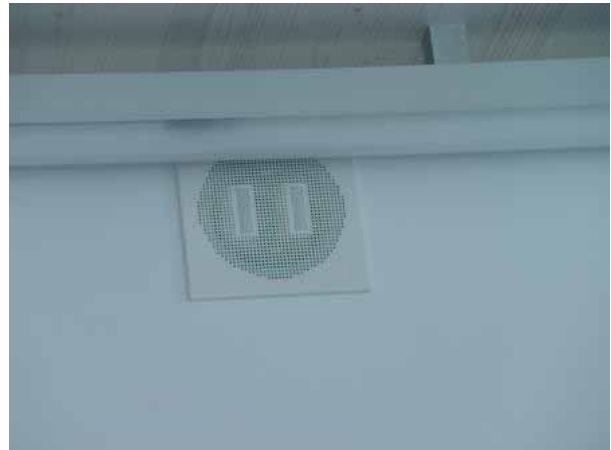
Figur 54: Sportraum 1.



Figur 55: ZUL-Gitter im Sportraum 1.



Figur 56: Sportraum 2.



Figur 57: ZUL-Gitter im Sportraum 2.



Figur 58: Besprechungszimmer.



Figur 59: ZUL-Gitter im Besprechungszimmer.

Kommentar zu den Figuren:

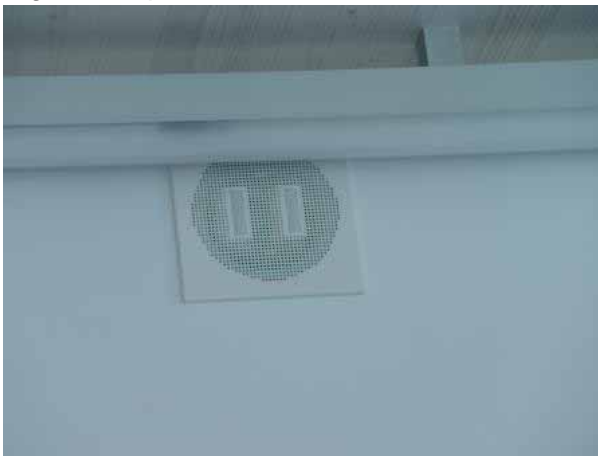
- Figur 49: Aussenansicht des Gebäudes
- Figur 50: Dachansicht mit den Aussenluft- und Fortluft-Öffnungen
- Figur 51: Dachansicht mit Fortluft-Öffnung im Vordergrund
- Figur 52: Aussenluft-Öffnung mit den einzelnen Steigleitungen
- Figur 53: Stark verschmutztes Aussenluft-Gitter
- Figur 54: Sportraum 1 mit dem Lichtband vor den Zuluft-Gittern



Figur 55: ZUL-Gitter im Sportraum 2 (nur

Ultraschallmessung möglich)

Figur 56: Sportraum 2



Figur 57: ZUL-Gitter im Sportraum 2 (nur Ult-

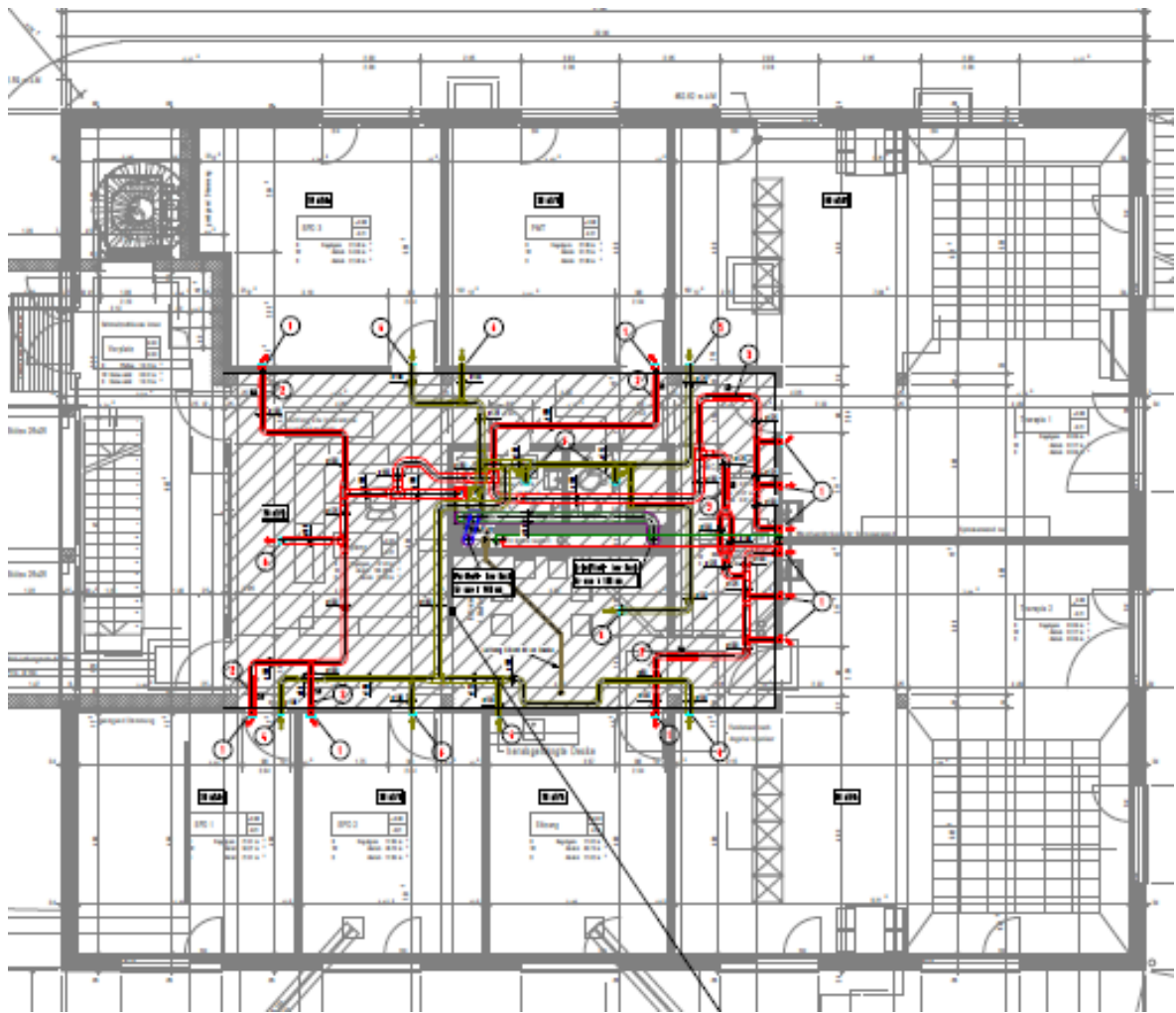
raschallmessung möglich)



Figur 58: Besprechungszimmer

Figur 59: ZUL-Gitter im Besprechungszimmer (nur Ultraschall-Anemometer
Messung möglich)

Figur 60: Grundriss der Etage mit Lüftungsleitungen



Figur 60: Grundriss des Objekts Altshoferstrasse 5 in Dagmersellen

Resultate

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
247/47	53	0.46	-	-	-
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
316/66	112	0.69	-	-	-
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
406/88	155	0.77	-	-	-

Figur 61: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse

Aufgrund der teilweise ungünstigen Lage der Zuluftgitter ist die vollkommene Durchmischung nicht gewährleistet. Zusätzlich ist durch die starke Verschmutzung der Aussenluftgitter der Zuluftvolumenstrom reduziert. Der daraus resultierende geringere Aussenluftvolumenstrom ist bei der Nachfrage bei den Betreibern bestätigt worden, mit der Angabe, dass die Luft „verbraucht“ schmeckt.

Die grosse Differenz zwischen Zuluft und Abluft ist auch teilweise auf die messtechnisch ungünstige Lage der Zuluftgitter zurück zu führen und somit im Bereich der Zuluftwerte teilweise unsichere Ergebnisse.

Beobachtungen

Messungen in Teilen der Besprechungsräume und in den Sporträumen nur mit Ultraschallanemometer aufgrund bauseitiger Gegebenheiten möglich, stark verschmutzte Aussenluftgitter.

Objekt 1.OG Altishoferstrasse 5, 6252 Dagmersellen

Art des Objektes:	Bürogebäude mit einer RLT-Anlage pro Mietpartei
Lüftungsgerät:	Zehnder Comfosystems
Typ:	Comfoair 550 CH Luxe
Baujahr Haus/ Anlage:	2010 / 2010
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø180mm Feinverteilung: variierend in abgehangener Decke mit Kunststoffrohr, Einzelanschlussleitung Ø100mm
Standort des Gerätes:	im Damen-WC
Anlagenspezifikation:	keine



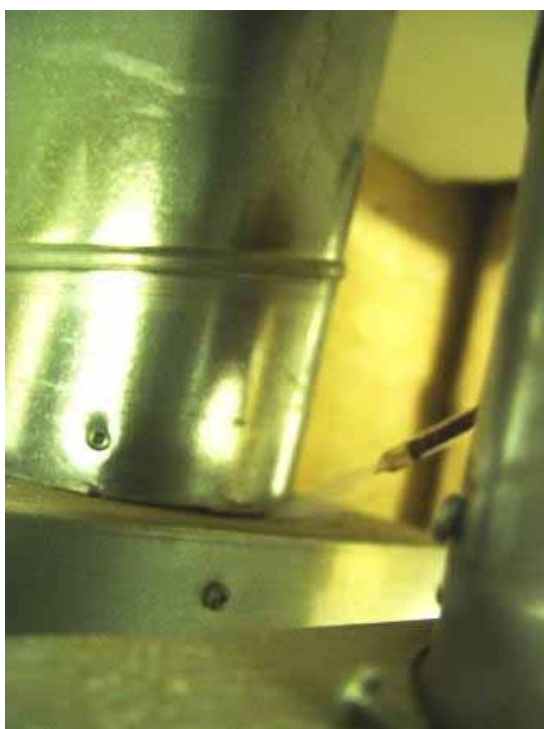
Figur 62: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 63: Damen-WC mit Messgeräte, Lüftungsgerät im Schrank.



Figur 64: Undichtigkeit an ZUL-Anschluss.



Figur 65: Undichtigkeiten an ABL-Anschluss.



Figur 66: Undichtigkeit an ABL-Anschluss.



Figur 67: Unterdruck in den Steckdosen.



Figur 68: Absaugung der Raumluft über Steckdose.

Kommentar zu den Figuren:

Figur 62: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 63: Aufstellort des Lüftungsgerät im Damen-WC im Schrank mit Messgeräten

Figur 64: Undichtigkeit an den Geräteanschluss (Druckseite)

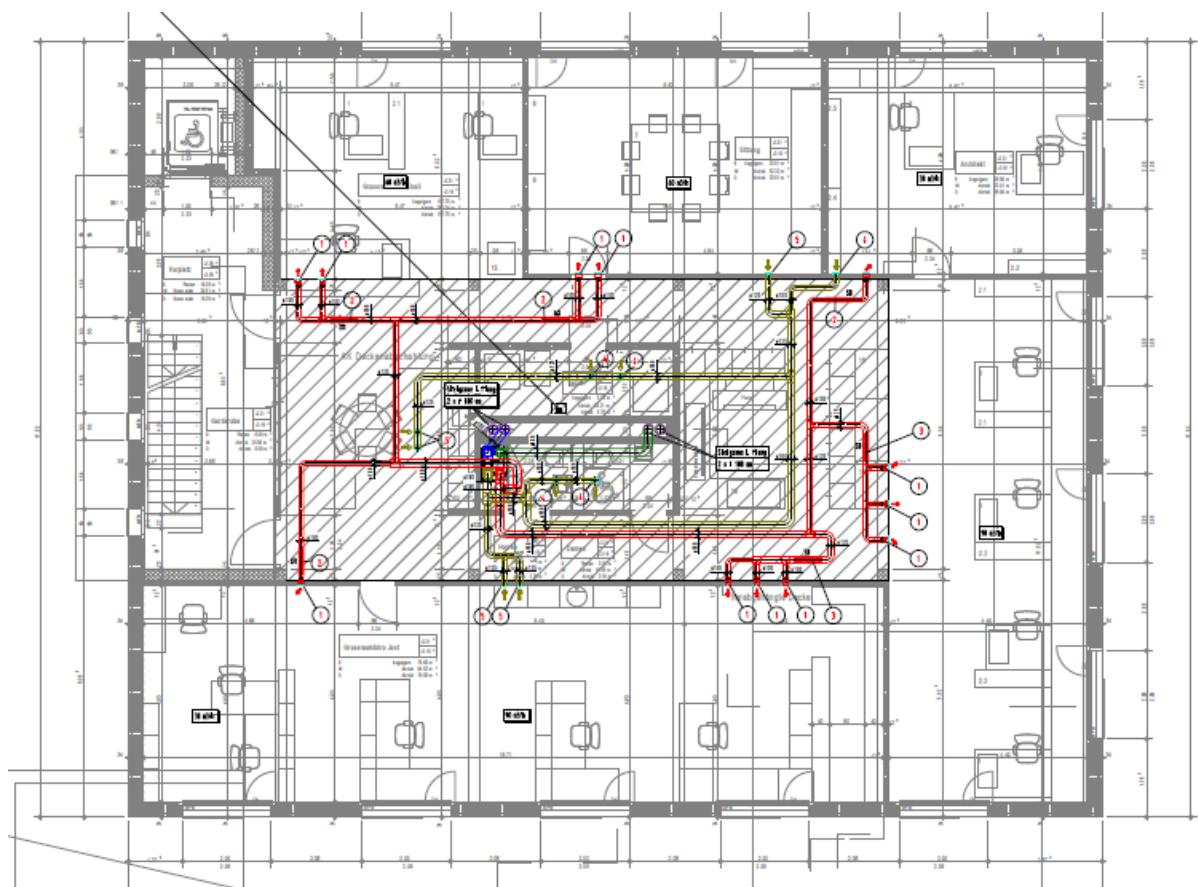
Figur 65: Undichtigkeit an den Geräteanschluss (Unterdruckseite)

Figur 66: Undichtigkeit am Gerät

Figur 67: Unterdruck in den elektr. Leitungen aufgrund doppelten Fussboden und offenen Abdeckplatten im Serverraum (Absaugung)

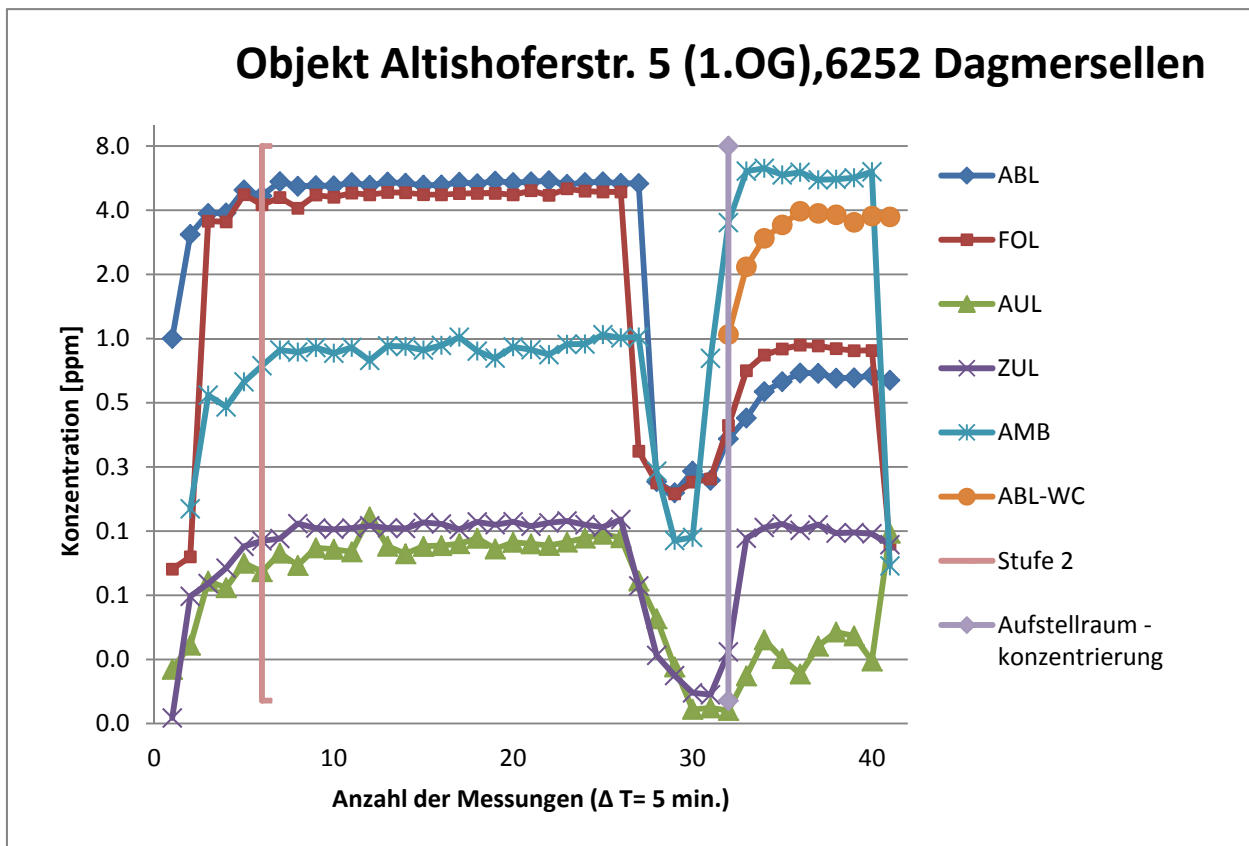
Figur 68: Unterdruck in den elektr. Leitungen aufgrund doppelten Fussboden und offenen Abdeckplatten im Serverraum (Absaugung)

Figur 69: Grundriss der Etage



Figur 69: Grundriss im 1.OG des Objekts Altshoferstrasse 5 in Dagmersellen.

Resultate



Figur 70: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
230/181	79	0.38	0.5%	53/8	30/31
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
324/277	170	0.56	0.4%	92/15	60/41

Figur 71: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 0.45%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 2.2%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 1.6%.

Bei der Messung wurde festgestellt, dass die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 10 % sank. Das bedeutet, dass in der Fortluft ein 10% grösserer Volumenstrom transportiert wird, im Vergleich zur Abluft. Um die Ursache dafür zu ermitteln, ist bei der Aufkonzentrierung des Raumes die Fortluft und Abluft mit ermittelt worden. Bei der Auswertung wurde von der Fortluftkonzentration die Konzentration der Abluft abgezogen und ins Verhältnis zur Raumkonzentration gebracht. Dies ergab eine Leckage vom Aufstellraum zur Fortluft von ca. 4.2%. Dies bedeutet, dass 4.2% der Fortluft nur vom Aufstellraum stammen. Die restlichen 6.3% des fehlenden Volumenstroms können somit auf die interne Leckage von der Aussenluft auf die Fortluft zurückgeführt werden.

Aufgrund des doppelten Fussbodens, der Absaugung im Serverraum und dem offenen Fussboden im Serverraum kommt es zu unkontrollierten Strömungen im Bereich der elektrischen Anlagen, sowohl an den Tastern und Steckdosen auf ca. 1.10 m Höhe als auch den Anschlussöffnungen im Fussbodenbereich.

Beobachtungen

Starke Leckagen an den Anschlüssen am RLT-Gerät aufgrund der Absaugung im Serverraum und dem doppeltem Fussboden. Unkontrollierte Strömungen im Fussboden-Bereich und den elektrischen Installationen, stark verschmutzte Aussenluftgitter.

Bewertung

Obwohl die gesamten externen Druckverluste mit rund 200 Pa moderat sind, beträgt der SPI-Wert mittelmässige 0.56 W/(m³/h). Offenbar ist das Gerät für den vorhandenen Luftvolumenstrom zu knapp ausgelegt worden. Mit einem grösseren Lüftungsgerät wäre ein SPI-Wert von ca. 0.35 W/(m³/h) zu erreichen. Es ist darauf hinzuweisen, dass in diesem Fall eine bessere Wartung angebracht wäre.

Objekt Chappelistrasse 1a, 8733 Eschenbach

Art des Objektes:	Doppeleinfamilienhaus
Lüftungsgerät :	Brink
Typ:	Renovent HR
Baujahr Haus/Anlage :	2003 /2003
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø150mm Feinverteilung: sternförmig, einbetoniert mit Kunststoffrohr Ø75mm
Standort des Gerätes :	Keller
Anlagenspezifikation:	Aussenluftansaugung über Erdregister 3x 100mm ca. 15m lang



Figur 72: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 73: rückwärtige Aussenansicht.



Figur 74: Aussenluftöffnung.



Figur 75: Gitter von der Aussenluftfassung.



Figur 76: Erdregisterrohr bei der Aussenluftfassung.



Figur 77: Lüftungsgerät im Hauswirtschaftsraum.



Figur 78: Ansaugung über Siphon am Lüftungsgerät.



Figur 79: Undichtigkeit am Gehäuse der Lüftung.



Figur 80: Undichtigkeiten an den Anschlüssen am Lüftungsgerät.

Kommentar zu den Figuren:

Figur 72: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 73: rückwärtige Aussenansicht des Gebäudes

Figur 74: Aussenluftansaugung über Böschung fast zugewachsen

Figur 75: Aussenluftgitter fast komplett zugewachsen

Figur 76: Kunststoffrohre für Aussenluftansaugung sind stark verschmutzt

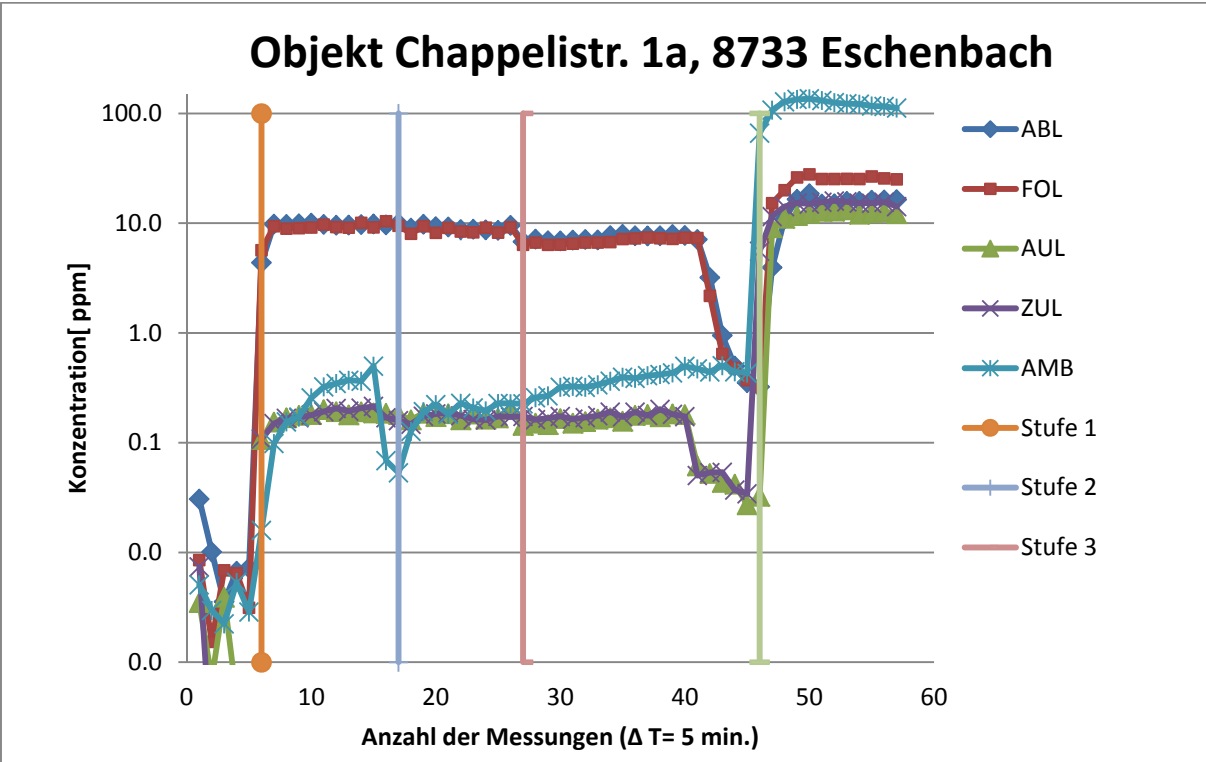
Figur 77: Aufstellraum des Lüftungsgerätes

Figur 78: Ansaugung von Raumluft über den Siphon

Figur 79: Undichtigkeiten des Lüftungsgerätegehäuses

Figur 80: Undichtigkeiten der Anschlüsse am Lüftungsgerät, dadurch Schmutzansammlung

Resultate



Figur 81: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
104/118	36	0.32	0.01%	42/31	52/15
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
159/167	83	0.51	0.02%	82/66	109/34
Stufe 3					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
199/209	160	0.78	0.13%	133/110	165/40

Figur 82: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 0.05%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 2.1%. Aufgrund der Leckagen kann aber nicht genau gesagt werden, ob der Prozentsatz ausschliesslich über den externen „Kurzschluss“ angesaugt wird, oder erst im Gebäude.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 2.3%.

Bei der Messung stellte sich heraus, dass die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 6.5% sank. Das bedeutet, dass in der Fortluft ein 6.5% grösserer Volumenstrom transportiert wird, im Vergleich zur Abluft. Um die Ursache dafür zu ermitteln, ist bei der Aufkonzentrierung des Raumes die Fortluft und Abluft mit ermittelt worden. Bei der Auswertung wurde von der Fortluftkonzentration jene der Abluft abgezogen und ins Verhältnis zur Raumkonzentration gebracht. Die ergab eine Leckage vom Aufstellraum zur Fortluft von ca. 8%. Dies bedeutet, dass 8% der Fortluft nur vom Aufstellraum stammen. Ursachen hierfür sind die Ansaugung über die Kondensationsleitung und die undichten Geräteanschlüsse.

Beobachtungen

Wickelfalzrohr im Keller teilweise nicht bis zum Muffenende eingeführt, Zuluftgitter in Bodennähe teilweise zugestellt, Aussenluftfassung in Böschung zugewachsen, Ansaugung von Raumluft über die Kondensationsleitung, undichte Gehäusewand, undichte Anschlüsse am Lüftungsgerät

Bewertung

Bei einem gesamten externen Druckverlust von rund 300 Pa entspricht der SPI-Wert von 0.51 W/(m³/h) den Erwartungen. Mit dem vorhandenen Gerät müssten die gesamten externen Druckverluste auf rund 150 Pa gesenkt werden, um einen SPI-Wert von 0.35 W/(m³/h) zu erreichen. Für eine weitere - nachträglich realisierbare - Reduktion müsste ein grösseres Gerät gewählt werden. Grundsätzlich hätte die Feinverteilung von Beginn weg besser mit Ø90mm erfolgen sollen.

Objekt Mülischperg 34, 8722 Kaltbrunn

Art des Objektes:	Einfamilienhaus mit Einliegerwohnung
Lüftungsgerät:	Zehnder Comfosystems
Typ:	G91-350 BR
Baujahr Haus/Anlage :	2010 / 2010
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø200mm Feinverteilung: sternförmig, einbetoniert mit Kunststoffrohr Ø100mm
Standort des Gerätes :	Keller
Anlagenspezifikation :	Aussenluftansaugung über Erdregister 2 x Ø150mm ca. 10m Separate Schalldämpfer in Zu- und Abluft.



Figur 83: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 84: Aussenansicht mit Erdregister in der Mauer.



Figur 85: Aussenluftansaugung über Erdregister.



Figur 86: Fortluftaustritt neben Eingangstür.



Figur 87: Fortluftöffnung ohne Gitterschutz.



Figur 88: Lüftungsgerät im Hausanschlussraum.



Figur 89: Zuluftgitter in Bodennähe.

Kommentar zu den Figuren:

Figur 83: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 84: Aussenansicht des Gebäudes mit Aussenluftfassung in der Mauer

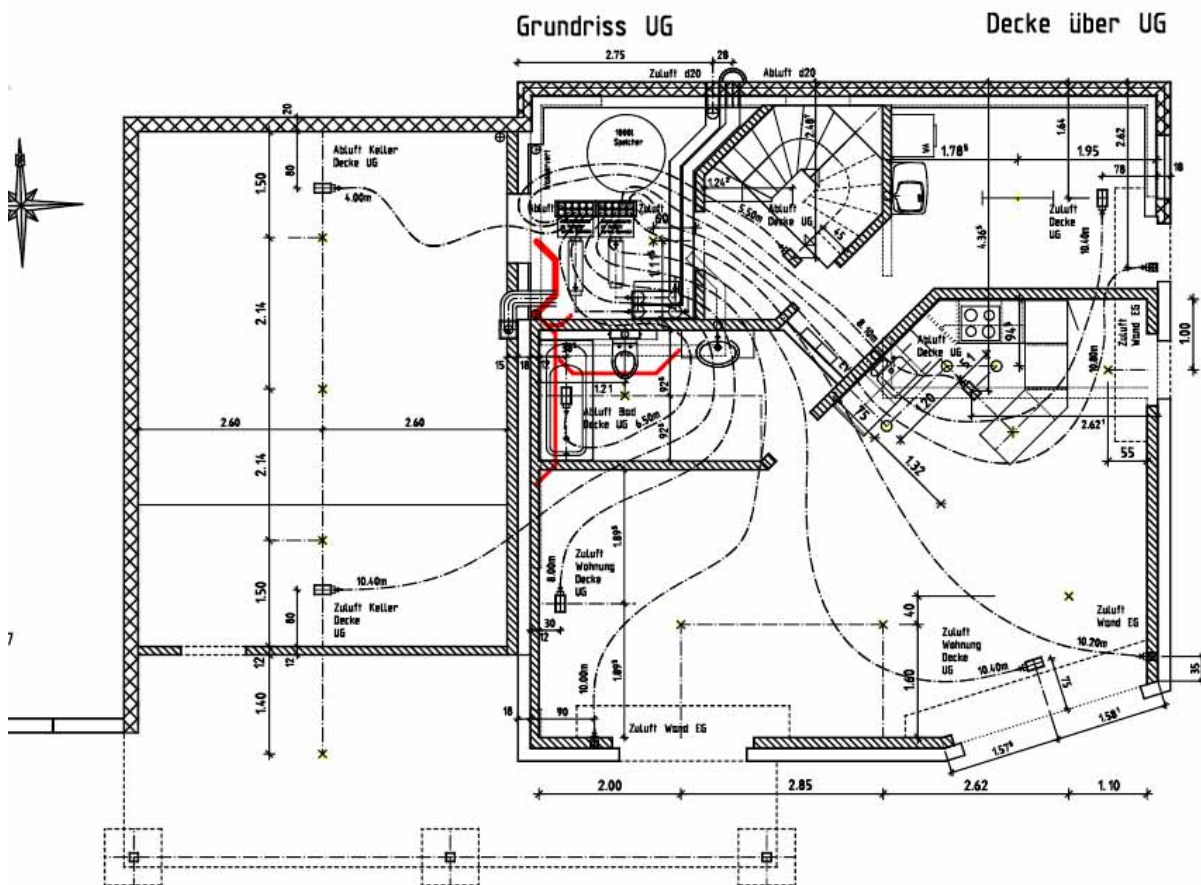
Figur 85: Aussenluftfassung mit Erdregister

Figur 86: Fortluftöffnung im Eingangsbereich

Figur 87: Fortluftöffnung ohne Gitter am Hausaustritt (Reinigungsmöglichkeit bei vorhandenem Gitter ?)

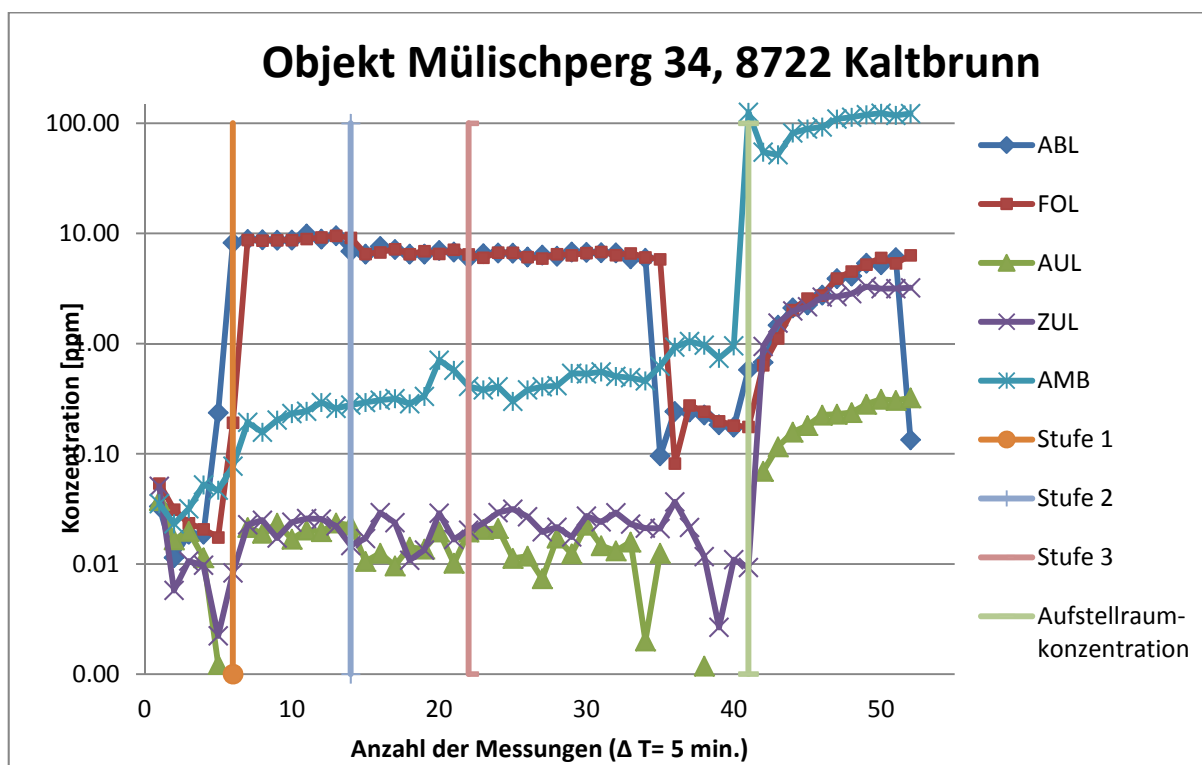
Figur 88: Lüftungsgerät mit Schalldämpfer in ZUL und ABL in Hausanschlussraum

Figur 89: Lage der Zuluftöffnung im Fussbodenbereich teilweise zugestellt gewesen



Figur 90: Grundriss UG. des Objekts Mülschperg 34 in Kaltbrunn.

Resultate



Figur 92: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
97/94	44	0.46	0.05%	55/3	43/3
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
155/143	80	0.54	0.07%	112/5	72/5
Stufe 3					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
235/203	184	0.84	0.16%	230/8	125/8

Figur 93: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leakage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 0.1%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 0.2%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 2.3%.

Der Konzentrationsverlauf von der Abluft zur Fortluft blieb fast konstant, dies bedeutet, dass die Fortluft aus der Abluft besteht und kaum Falschluff angesaugt wird. Dies bestätigte auch die Messung, bei der der Raum aufkonzentriert wird und der Anstieg in der Zuluft und Fortluft betrachtet wird.

Bei den durchgeführten Messungen fiel auf, dass im Wäschetrockenraum eine Zuluftöffnung vorhanden ist, aber keine Abluftöffnung um die feuchte Raumluft abzutransportieren.

Beobachtungen

Aussenluftöffnungen auf Terrainhöhe, Zuluftöffnungen im Fussboden-Bereich teilweise zugestellt, Wäschetrockenraum mit Zuluft aber ohne Abluft, Fortluftöffnung offen ohne Gitter.

Bewertung

Obwohl die gesamten externen Druckverluste mit rund 200 Pa moderat sind, beträgt der SPI-Wert 0.54 W/(m³/h). Mit einem grösseren Lüftungsgerät wäre ein SPI-Wert von ca. 0.35 W/(m³/h) zu erreichen.

Objekt Oesterweg 16, 5024 Küttigen

Art des Objektes:	Einfamilienhaus
Lüftungsgerät:	Zehnder Comfosystems
Typ:	G90-300 BE R
Baujahr Haus/Anlage :	1974 / Sanierung 2007
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø 150mm Feinverteilung: variierend in abgehangener Decke, Einzelan- schlussleitung D100
Standort des Gerätes :	Keller



Figur 94: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 95: Seitenansicht des Gebäudes.



Figur 96: Eingang Technikraum mit FOL-Öffnung.



Figur 97: Aussenluftansaugung.



Figur 98: ZUL-Gitter im Büroraum.



Figur 99: Kombigerät mit Wärmepumpe.



Figur 100: Lüftungsgerät in der Kombi-Box.



Figur 101: Anschlüsse am Lüftungsgerät.



Figur 102: Undichtigkeit an den Anschlüssen.

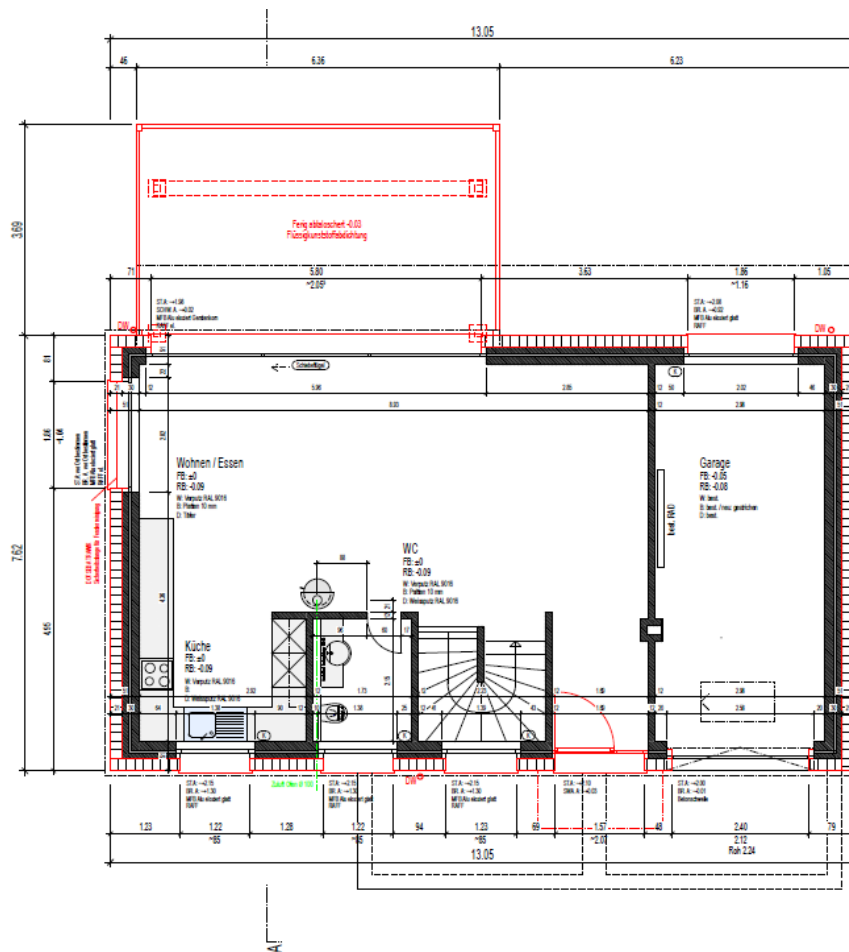
Kommentar zu den Figuren:

- Figur 94: Aussenansicht des Gebäudes
- Figur 95: Seitenansicht des Gebäudes
- Figur 96: Fortluftöffnung über Tür für Zentrale
- Figur 97: Aussenluftgitter
- Figur 98: Zuluftgitter hinter Bücherregal
- Figur 99: Aufstellraum des Lüftungsgerätes mit integrierter Wärmepumpe
- Figur 100: Lüftungsgerät
- Figur 101: Anschlüsse des Lüftungsgerätes

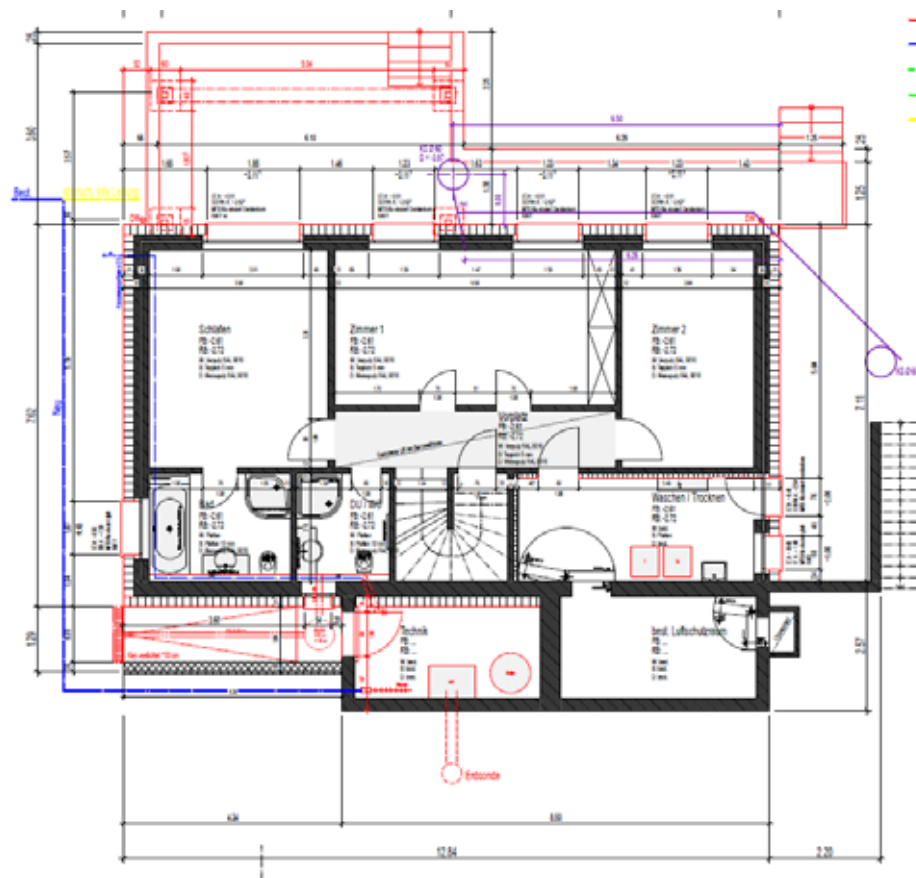


Figur 102: Undichtigkeiten der Anschlüsse am Lüftungsgerät

Lüftungsgerät

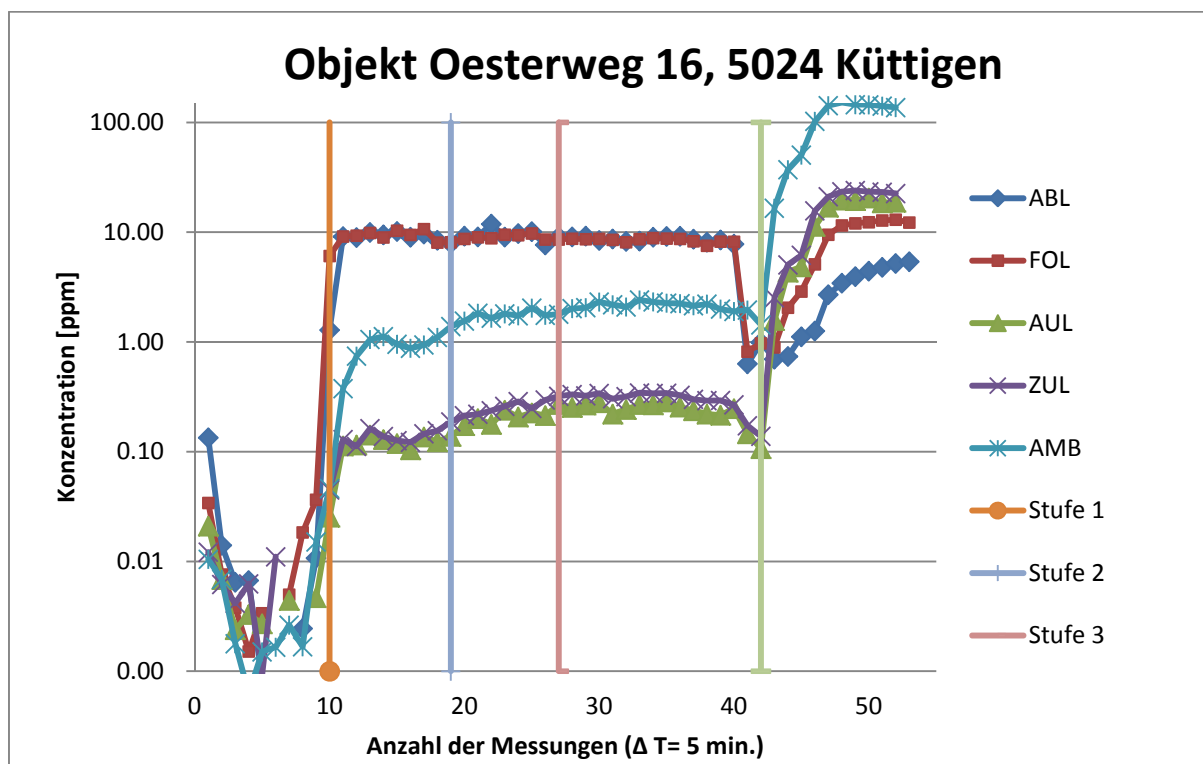


Figur 103: Grundriss Obergeschoss des Objekts Oesterweg 16 in Küttigen.



Figur 104: Grundriss Erdgeschoss des Objekts Oesterweg 16 in Küttigen.

Resultate



Figur 105: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leakage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
86/81	53*	0.64	0.30%	14/15	20/13
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leakage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
114/128	69*	0.57	0.51%	38/26	51/25
Stufe 3					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leakage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
182/197	97*	0.51	0.75%	77/45	96/35

Figur 106: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

*Wert ist um 15 Watt nach unten korrigiert worden, da ein Kompaktgerät eingebaut ist, dass bei Lüftungsstufe=0 noch eine Leistungsaufnahme von 15 W hat.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leakage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 0.5%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 2.2%. Aufgrund der Leckagen kann aber nicht genau gesagt werden, ob Luft ausschliesslich über den externen „Kurzschluss“ oder erst im Gebäude angesaugt wird.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 3.1%.

Bei der Messung fiel auf, dass die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 1.5% sank. Das bedeutet, dass in der Fortluft im Vergleich zur Abluft ein 1.5% grösserer Volumenstrom transportiert wird. Bei der Aufkonzentration des Aufstellungsortes ist ein prozentualer Raumluftanteil von 4.8% in die Fortluft eingesogen worden. Dieser Anteil fehlt bei der lokalen Abluftabsaugung in den Räumen.

Beobachtungen

Undichtigkeiten an den Geräteanschlüssen.

Bewertung

Die gesamten externen Druckverluste von rund 150 Pa sprechen für eine sorgfältige Planung und Ausführung. Bei der elektrischen Leistung und damit auch beim SPI-Wert bestehen Unsicherheiten. Eventuell wurden weitere – nicht zur Lüftung gehörende – Verbraucher mitgemessen.

Objekt Ahornweg 2, 4665 Oftringen

Art des Objektes:	Einfamilienhaus
Lüftungsgerät :	Elco
Typ:	ElcoTherm
Baujahr Haus/Anlage :	1935 / 2003
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø150mm Feinverteilung: variierend im Schacht, Einzelanschlusskanal 130x50
Standort des Gerätes :	Keller
Anlagenspezifikation :	Aussenluftansaugung über Erdregister ca. 18m, separater Schalldämpfer Zuluft und Fortluft



Figur 107: Aussenansicht des Gebäudes vom Garten.



**Figur 108: Aussenansicht des Gebäudes Strassen-
seite.**



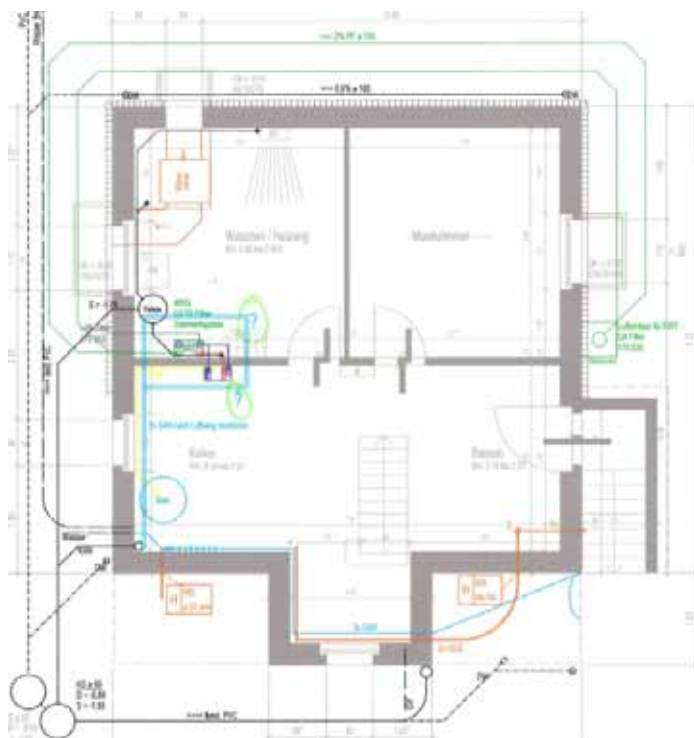
Figur 109: Aussenluftfassung.



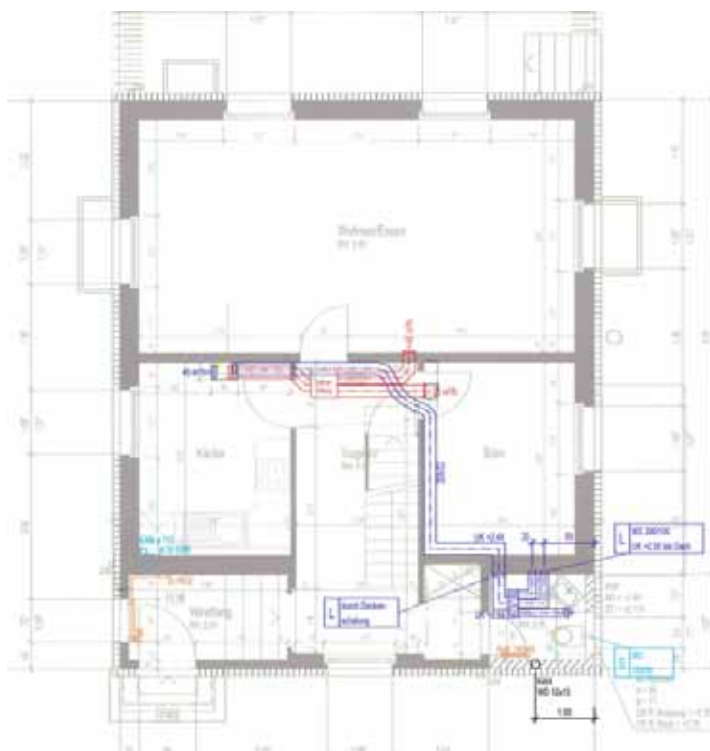
Figur 110: Lüftungsgerät mit Anschlüssen.



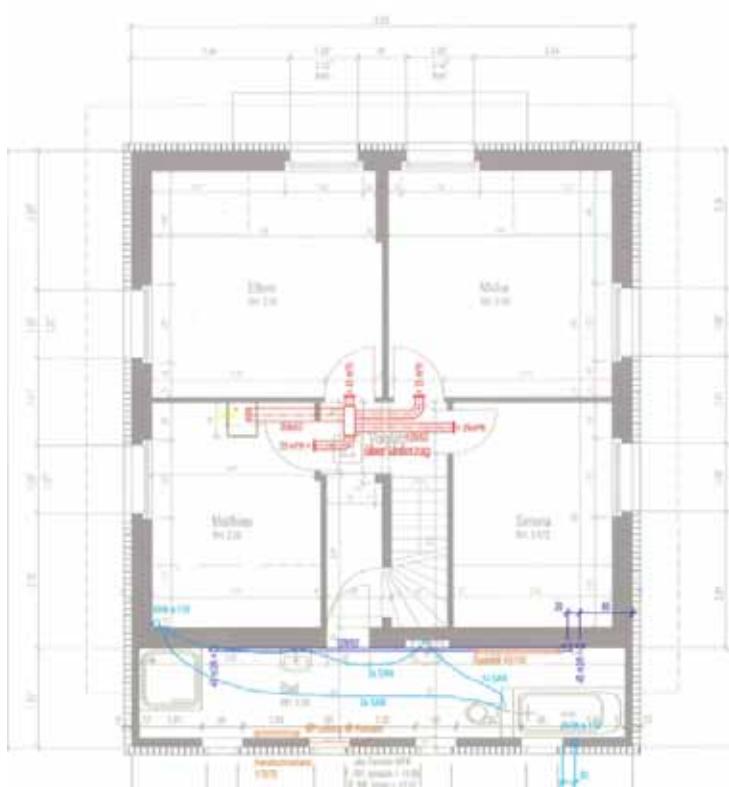
**Figur 111: Lüftungsgerät mit Tracergas-
Mehrpunktsampling.**



Figur 112: Grundriss Kellergeschoss des Objekts Ahornweg 3 in Oftringen.



Figur 113: Grundriss Erdgeschoss des Objekts Ahornweg 3 in Oftringen.

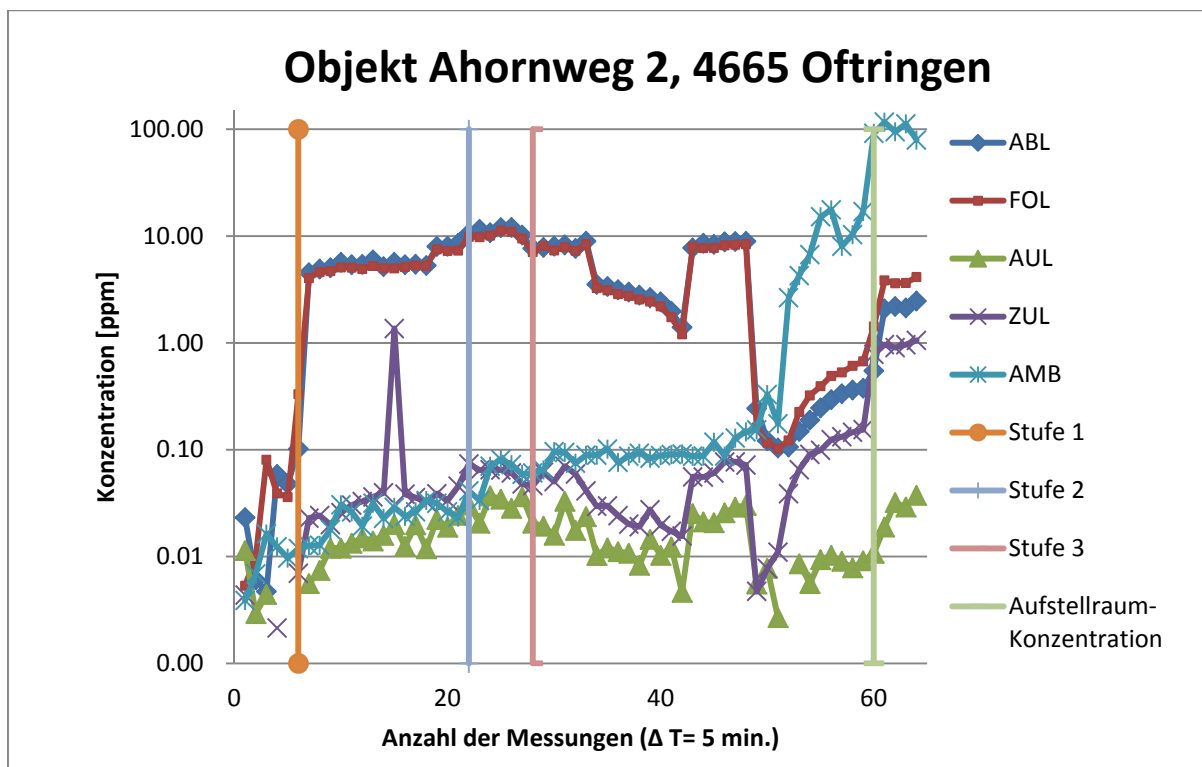


Figur 114: Grundriss Obergeschoss des Objekts Ahornweg 3 in Oftringen.

Kommentar zu den Figuren

- Figur 107: Aussenansicht des Gebäudes vom Garten
- Figur 108: Aussenansicht des Gebäudes von der Strasse
- Figur 109: Aussenluftansaugung
- Figur 110: Lüftungsgerät mit Anschlussschläuchen
- Figur 111: Lüftungsgerät mit Messaufbau
- Figur 112: Grundriss Kellergeschoss mit Leitungsführung
- Figur 113: Grundriss Erdgeschoss mit Leitungsführung
- Figur 114: Grundriss Obergeschoss mit Leitungsführung

Resultate



Figur 115: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventila- tor (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
106/105	29	0.27	0.34	-/23	65/2
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventila- tor (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
126/149	51	0.40	0.28	-/35	113/3
Stufe 3					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventila- tor (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
210/212	145	0.69	0.46	-/98	198/9

Figur 116: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 0.4%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 0.3%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 1%.

Bei der Messung zeigte sich, dass die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 7.9% sank. Das bedeutet, dass in der Fortluft im Vergleich zur Abluft ein 7.9% grösserer Volumenstrom transportiert wird. Um die Ursache dafür zu ermitteln, ist bei der Aufkonzentrierung des Raumes die Konzentration der Fortluft und Abluft ebenfalls gemessen worden. Bei der Auswertung wurde von der Fortluftkonzentration die Konzentration der Abluft abgezogen und ins Verhältnis zur Raumkonzentration gebracht. Dies ergab eine Leckage vom Aufstellraum zur Fortluft von ca. 1.8%. Dies bedeutet, dass 1.8% der Fortluft nur vom Aufstellraum stammen. Die restlichen 6.2% des fehlenden Volumenstroms können somit auf die interne Leckage von der Aussenluft auf die Fortluft zurückgeführt werden.

Beobachtung

-

Bewertung

Da ein Teildruckverlust nicht gemessen werden konnte, kann die Anlage nicht vollständig beurteilt werden. Der SPI-Wert liegt mit 0.37 W/(m³/h) im ansprechenden Bereich.

Objekt Haldenstrasse 42, 8422 Pfungen

Art des Objektes:	Einfamilienhaus
Lüftungsgerät :	Zehnder Comfosystems
Typ:	350 CH L Luxe ERV (mit Feuchterückgewinnung)
Baujahr Haus / Anlage:	2010 / 2010
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø150mm Feinverteilung: sternförmig, einbetoniert mit Kunststoffrohr Ø90mm
Standort des Gerätes :	Keller
Anlagenspezifikation:	Aussenluft über ca. 12m Erdregister (3x ca. 120mm), variable Zuluftführung (Tag-/Nachtbetrieb) bei gleichbleibendem Volumenstrom



Figur 117: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 118: Aussenansicht.



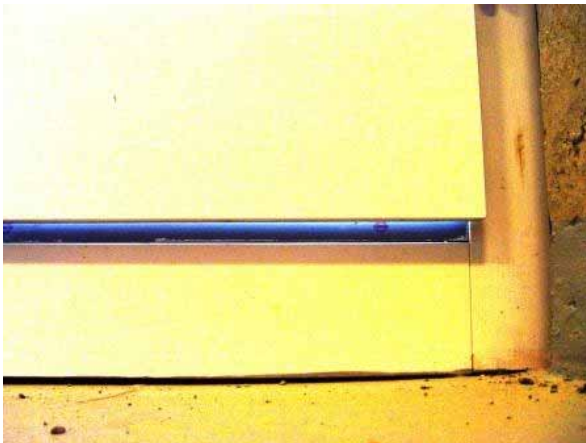
Figur 119: Aussenluftansaugung über Erdregister.



Figur 120: Fortluftöffnung.



Figur 121: Lüftungsgerät im Hauswirtschaftsraum.



Figur 122: undichte Kellertür zum Aufstellraum.



Figur 123: Aussenseite der Kellertür.



Figur 124: geplante Aussenluftansaugung über Erdregister.



Figur 125: Trennwand zwischen Aufstellraum und Aussenluftansaugung.

Kommentar zu den Figuren

Figur 118: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 119: Aussenluftansaugung über ein Erdregister

Figur 120: Fortluftöffnungen mit Eingangsbereich Kellertür

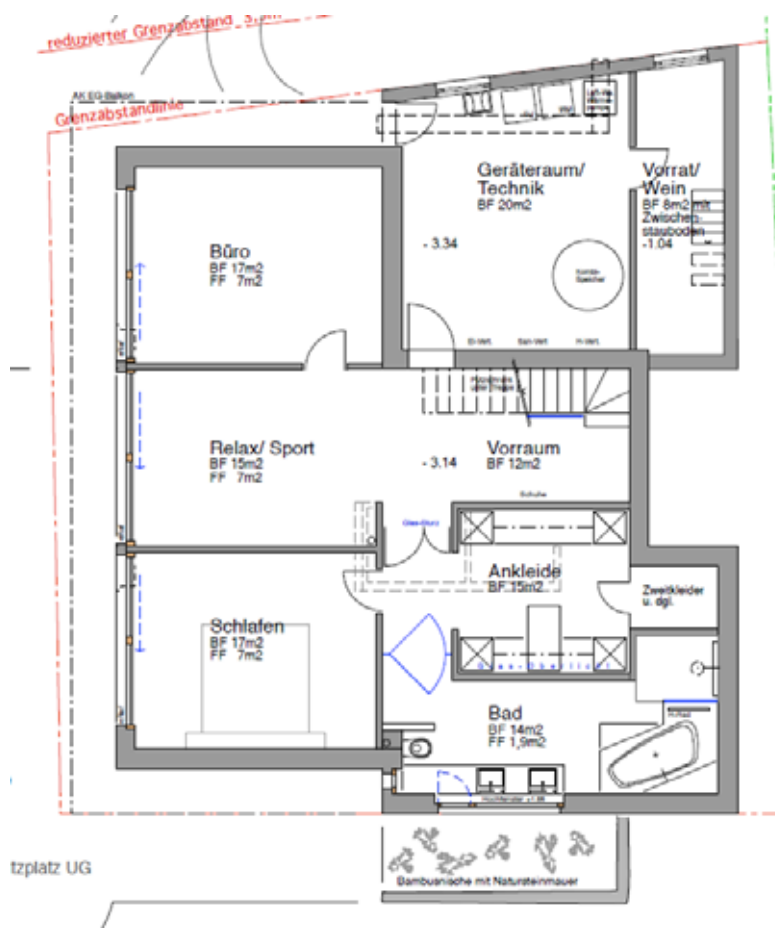
Figur 121: Lüftungsgerät im Keller

Figur 122: Undichte Kellertür im Aufstellraum (Lichtschein durch Türschlitz)

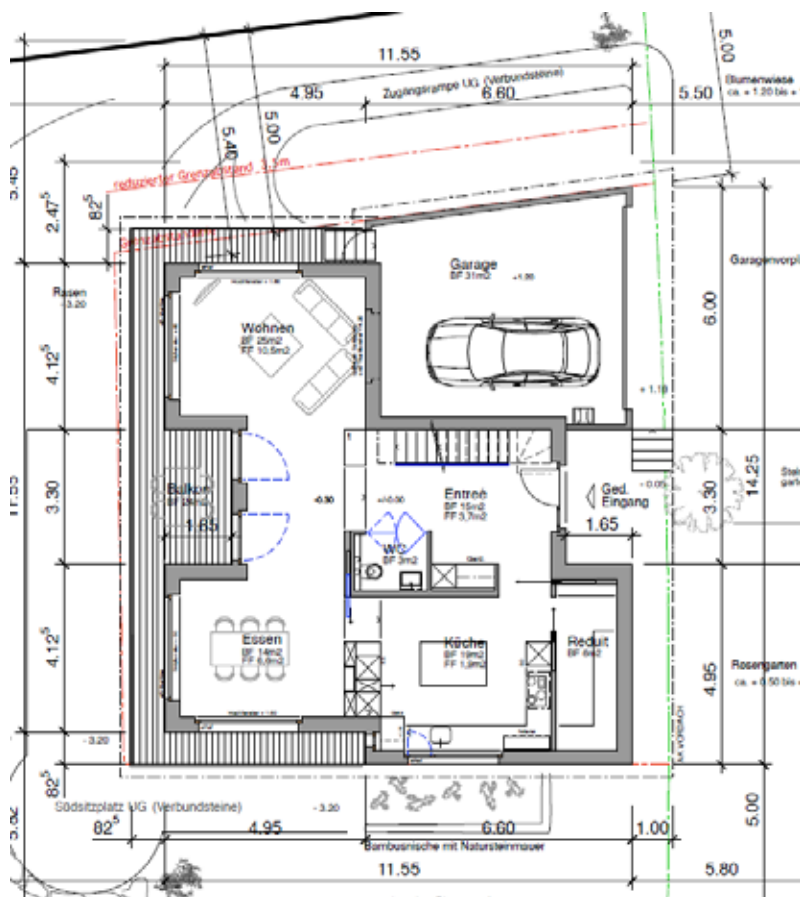
Figur 123: Aussenseite der Kellertür mit gravierendem Lufteintritt

Figur 124: Kellernebenraum zur Aussenluftansaugung über Erdregister

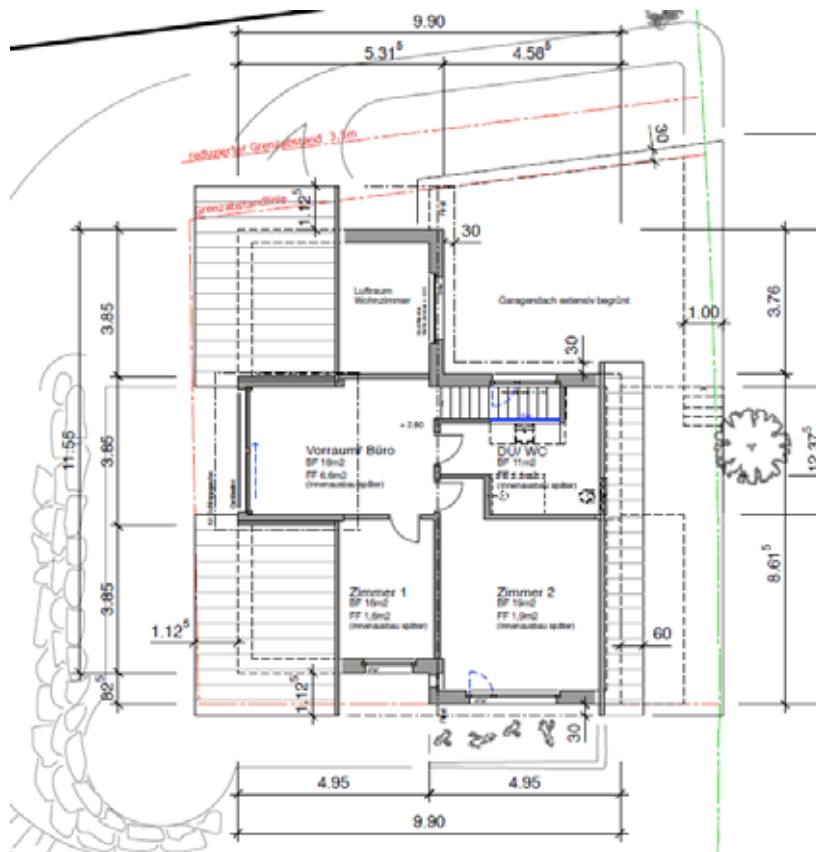
Figur 125: Offene Durchbrüche zwischen Aufstellraum und Aussenluftansaugraum



Figur 126: Grundriss Kellergeschoss des Objekts Haldenstrasse in Pfungen.

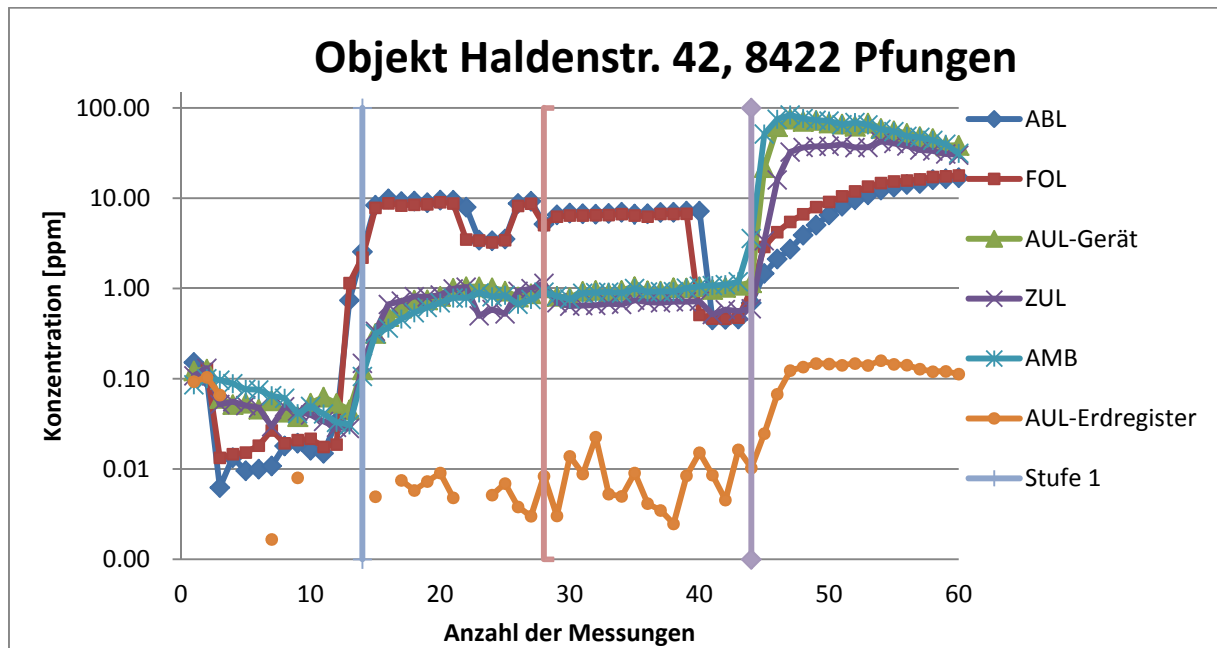


Figur 127: Grundriss Erdgeschoss des Objekts Haldenstrasse in Pfungen.



Figur 128: Grundriss Obergeschoss des Objekts Haldenstrasse in Pfungen.

Resultate



Figur 129: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventila- tor (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
147/118	25	0.19	0.83%	5/18	11/15
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventila- tor (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
261/247	102	0.39	-3.3%	19/63	39/51

Figur 130: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Aufgrund der grossen Undichtigkeiten an der Kellertür und somit Eintrag von belasteter Fortluft in den Aufstellungsraum ist eine Berechnung der Übertragung von Abluft in die Zuluft nur schwer möglich.

Der Anstieg in der Zuluft geschieht grösstenteils durch das Ansaugen SF₆-belasteter Raumluft durch die teilweise nicht verschlossene Zwischenwand vom Aufstellraum zur Erdregisteransaugung. Dieser Wert beläuft sich auf ca. 15%.

Aufgrund der einzelnen Volumenstrommessungen und der Gesamtvolumenströme an den Aussen- und Fortluftgittern konnte eine Differenz zwischen Aussenluftfassung und aufsummierter Zuluft von ca. 50% ermittelt werden.

Zusätzlich wurde eine Probeentnahmestelle im Erdregister angebracht, welche bestätigt, dass von dort SF₆-arme Luft angesaugt werden würde.

Der negative Leckagewert kommt zustande, weil die angesaugte und belastete Aussenluft eine höhere Konzentration hat im Bezug zur Zuluft.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 0.05%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 51.4%. Dieser hohe Wert ist aber auf die nicht funktionierende Aussenluftfassung zurückzuführen.

Bei der Messung fiel die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 5.5% Das bedeutet, dass in der Fortluft im Vergleich zur Abluft ein 5.5% grösserer Volumenstrom transportiert wird. Dieser Wert kann aber aufgrund der grossen Undichtigkeiten nicht weiter den internen oder externen Leckagen zugeordnet werden.

Beobachtungen

Aussenluft wird über Erdregister im Nebenraum angesaugt, wobei Wand zwischen Aufstellraum und Nebenraum nicht geschlossen ist. Kellertür sehr undicht, dadurch Einströmung von Fortluft in den Aufstellungsraum. Lüftungsgerät mit Feuchterückgewinnung, unterschiedliche Luftführung zwischen Tag-/Nachtbetrieb

Bewertung

Bei dieser Anlage ist unklar, welcher Luftvolumenstrom dem Nennbetrieb entspricht. 150 m³/h könnten je nach Belegung des Hauses eventuell ausreichend sein. Aber aufgrund der vielen Räume scheint der Wert als Dimensionierungsgrösse eher tief. Umgekehrt sind 260 m³/h eher hoch. Aus Sicht der Autoren würde ein Zwischenwert (180 bis 200 m³/h) als Normalbetrieb empfohlen.

Selbst mit der höheren Stufe betragen die gesamten externen Druckverluste lediglich 170 Pa. Das heisst, die Luftverteilung ist grosszügig bemessen. Auch der SPI-Wert von 0.40 W/(m³/h) ist noch akzeptabel.

Bei der tieferen Stufe erreicht die Anlage den besten SPI-Wert aller gemessenen Anlagen. Dieser hervorragende Wert muss aber wegen der speziellen Aussenluftführung etwas relativiert werden. Von einer Luftansaugung über den Keller muss aus hygienischen Gründen abgeraten werden (u.a. wegen Radonrisiko). Bei einem direkten Anschluss der Erdreich-Wärmeübertrager an die Lüftungsanlage würde der Druckverlust vermutlich um ca. 10 bis 20 Pa ansteigen. Aber auch mit dem höheren Druckverlust ist immer noch ein sehr guter SPI-Wert zu erwarten.

Objekt Stampfiweg 8 (EG), 4852 Rothrist

Art des Objektes:	Mehrfamilienhaus mit einem RLT-Gerät pro Etage
Lüftungsgerät :	Drexel und Weiss
Typ:	aerosilent topo R
Baujahr Haus / Anlage:	2008 / 2008
Standart:	Minergie P
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø125mm Feinverteilung: sternförmig, einbetoniert mit Kunststoffrohr Ø75mm
Standort des Gerätes :	Keller im Untergeschoss
Anlagenspezifikation:	Aussenluftansaugung über Erdregister ca. 6m Vorerhitzer in der Aussenluft, separate Schalldämpfer in ZUL und ABL



Figur 131: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 132: Aussenansicht.



Figur 133: Lüftungsgeräte im Keller.



Figur 134: Kellereingang mit Fortluft-Kasten.



Figur 135: Lüftungsleitung mit Schalldämpfer.



Figur 136: Aussenluft-Ansaugung mit Vorerhitzer.



Figur 137: Aufstellort mit Kellertür und Fortluft-Kasten (oben rechts in der Zarge).

Kommentar zu den Figuren

Figur 131: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 132: Aussenansicht

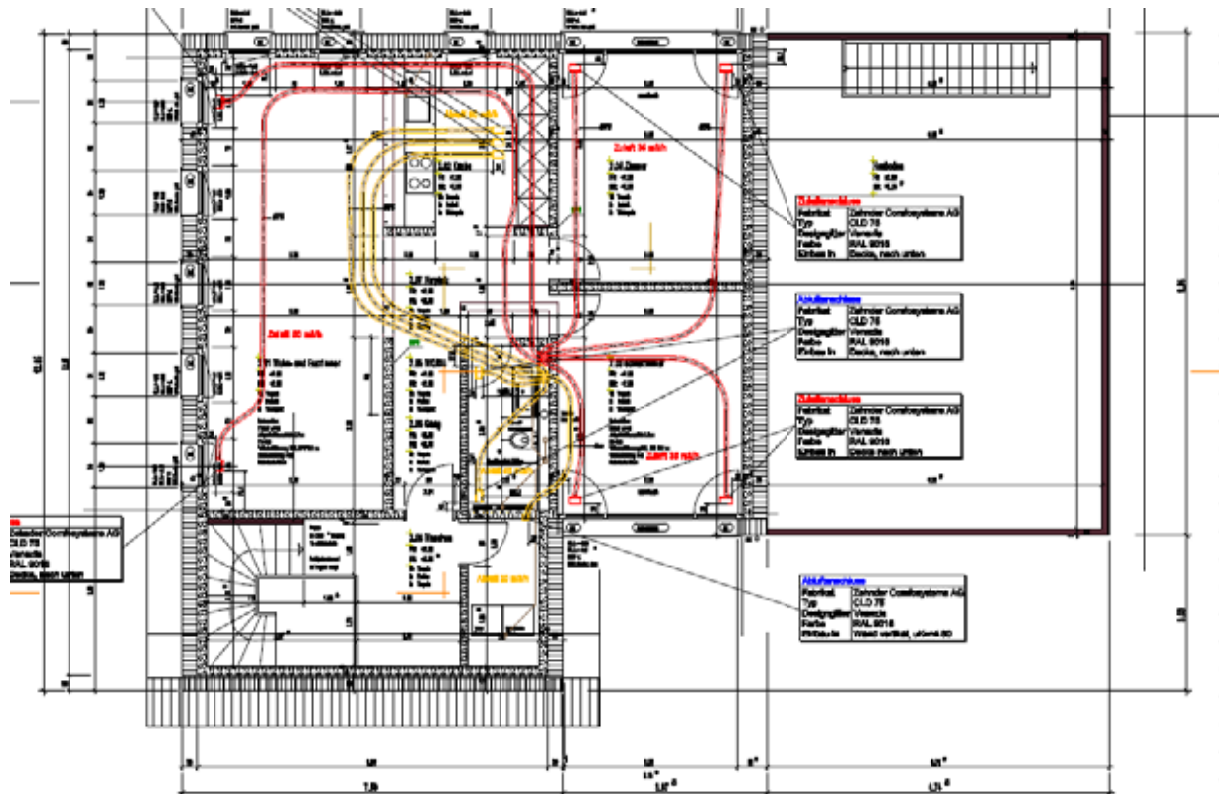
Figur 133: Beide Lüftungsgeräte im Keller

Figur 134: Aussenluftansaugen (im Hintergrund) und Fortluft im Treppenbereich

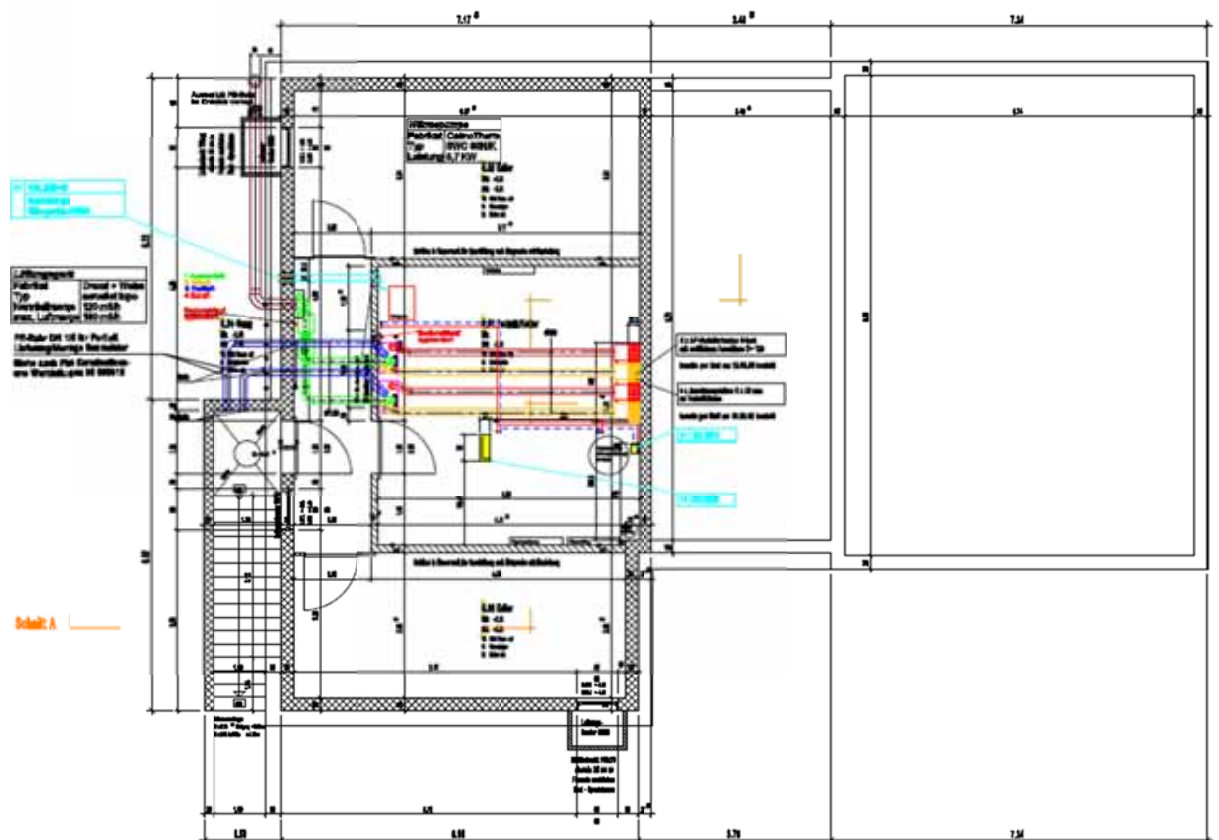
Figur 135: Lüftungsgeräte mit separaten Schalldämpfern

Figur 136: Gemeinsame Aussenluft- und Fortluftnutzung mit Vorerhitzen

Figur 137: Lage der Lüftungsgeräte und der Fortluftauslasses im Eingangsbereich der Treppe

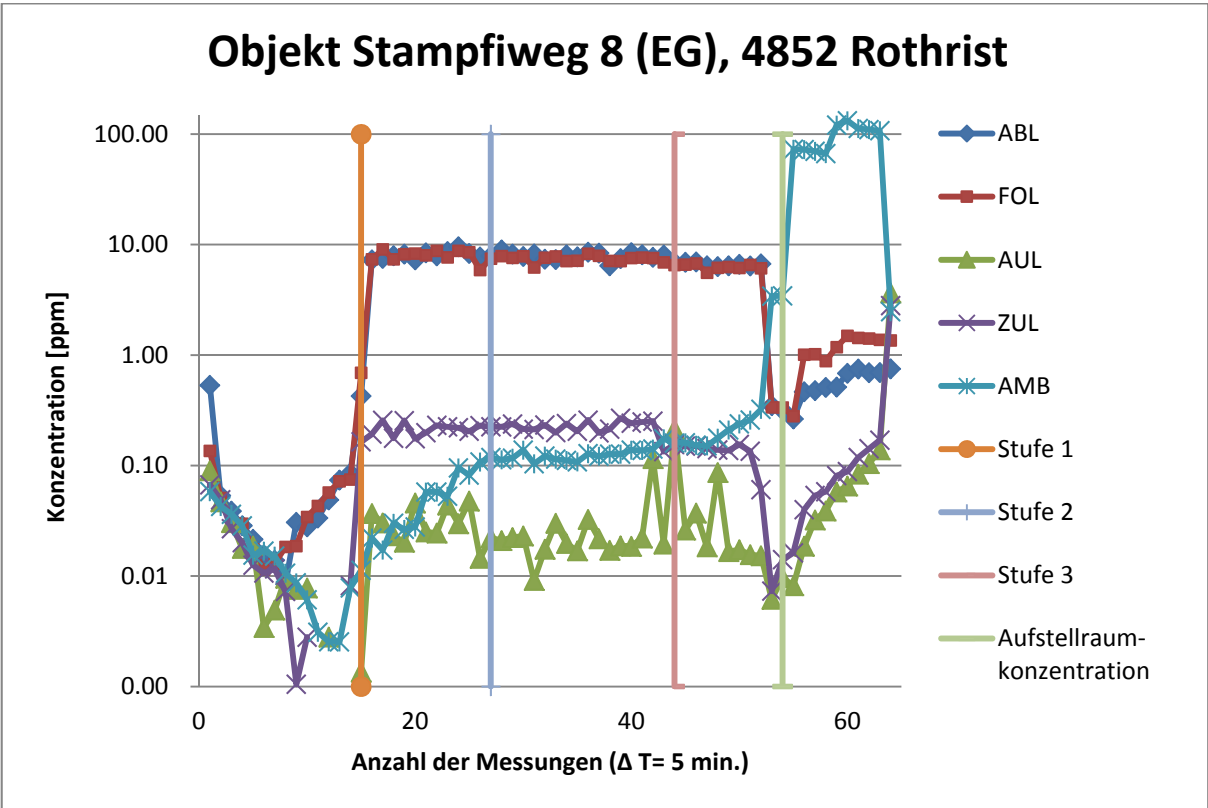


Figur 138: Grundriss Erdgeschoss des Objekts Stampfiweg 8 (EG) in Rothrist.



Figur 139: Grundriss Kellergeschoss des Objekts Stampfiweg 8 (EG) in Rothrist.

Resultate



Figur 140: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventila- tor (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
78/117	40	0.41	2.28%	51/62	160/25
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventila- tor (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
115/135	72	0.58	2.50%	85/115	220/32
Stufe 3					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventila- tor (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
150/143	97	0.66	1.71%	105/170	220/30

Figur 141: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 2.2%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 0.4%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 0.03%.

Bei der Messung fiel auf, dass die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 3.8% sank. Das bedeutet, dass in der Fortluft ein 3.8% grösserer Volumenstrom transportiert wird, im Vergleich zur Abluft. Um die Ursache dafür zu ermitteln, ist bei der Aufkonzentrierung des Raumes die Fortluft und Abluft mit ermittelt worden. Bei der Auswertung wurde von der Fortluftkonzentration die Konzentration der Abluft abgezogen und im Verhältnis zur Raumkonzentration gebracht. Dies ergab eine Leckage vom Aufstellraum zur Fortluft von ca. 0.6%. Dies bedeutet, dass 0.6% der Fortluft vom Aufstellraum stammen. Die restlichen 3.2% vom fehlenden Volumenstrom können somit auf die interne Leckage von der Aussenluft auf die Fortluft zurückgeführt werden.

Beobachtungen

Fortluft im Treppenbereich der Kellertür (Fortluft-Ansammlung im Bereich der Treppe), Keller komplett offen (ohne Türen), gemeinsame Aussenluft- und Fortluft-Nutzung bei zwei Anlagen.

Bewertung

Diese Anlagen weisen einen extrem hohen gesamten externen Druckverlust von 450 Pa im Erdgeschoss und 500 Pa im Obergeschoss auf. Dass bei diesen Rahmenbedingungen trotzdem ein SPI-Wert von 0.57 W/(m³/h) erreicht werden konnte, spricht für die gute Dimensionierung und Qualität der Lüftungsgeräte.

Objekt Stampfiweg 8 (1.OG), 4852 Rothrist

Art des Objektes:	Mehrfamilienhaus mit ein RLT-Gerät pro Etage
Lüftungsgerät :	Drexel und Weiss
Typ:	aerosilent topo R
Baujahr Haus / Anlage:	2008 / 2008
Standard:	Minergie P
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø125mm Feinverteilung: sternförmig, einbetoniert mit Kunststoffrohr Ø75mm
Standort des Gerätes :	Keller
Anlagenspezifikation:	Aussenluftansaugung über Erdregister ca. 6m Vorerhitzer in der Aussenluft, separate Schalldämpfer in ZUL und ABL



Figur 142: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 143: Aussenansicht



Figur 144: Lüftungsgeräte im Keller



Figur 145: Kellereingang mit Fortluft-Box.



Figur 146: Lüftungsgeräte mit separaten Schalldämpfern.



Figur 147: Aussenluftansaugung mit Vorerhitzern.



Figur 148: Aufstellort mit Kellertür und Fortluft Kästen (oben rechts in der Zarge).

Kommentar zu den Figuren

Figur 142: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 143: Aussenansicht

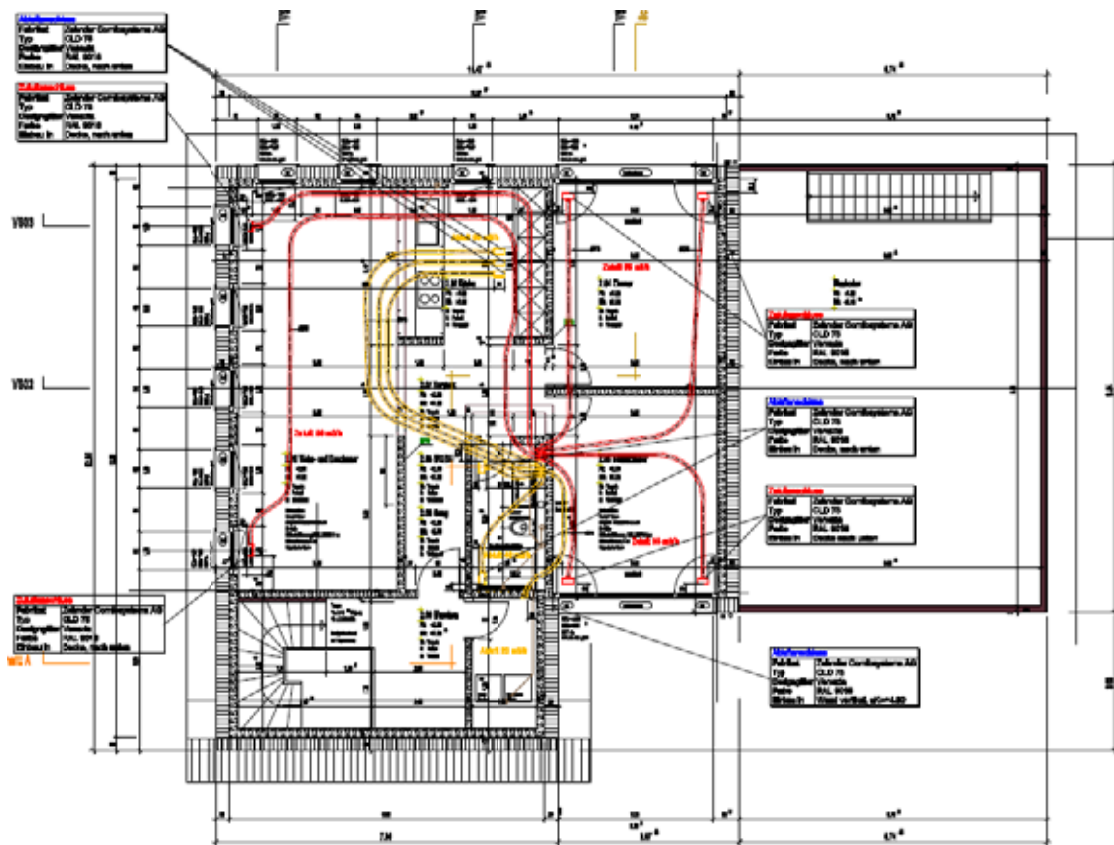
Figur 144: Beide Lüftungsgeräte im Keller

Figur 145: Aussenluftansaugen (im Hintergrund) und Fortluft im Treppenbereich

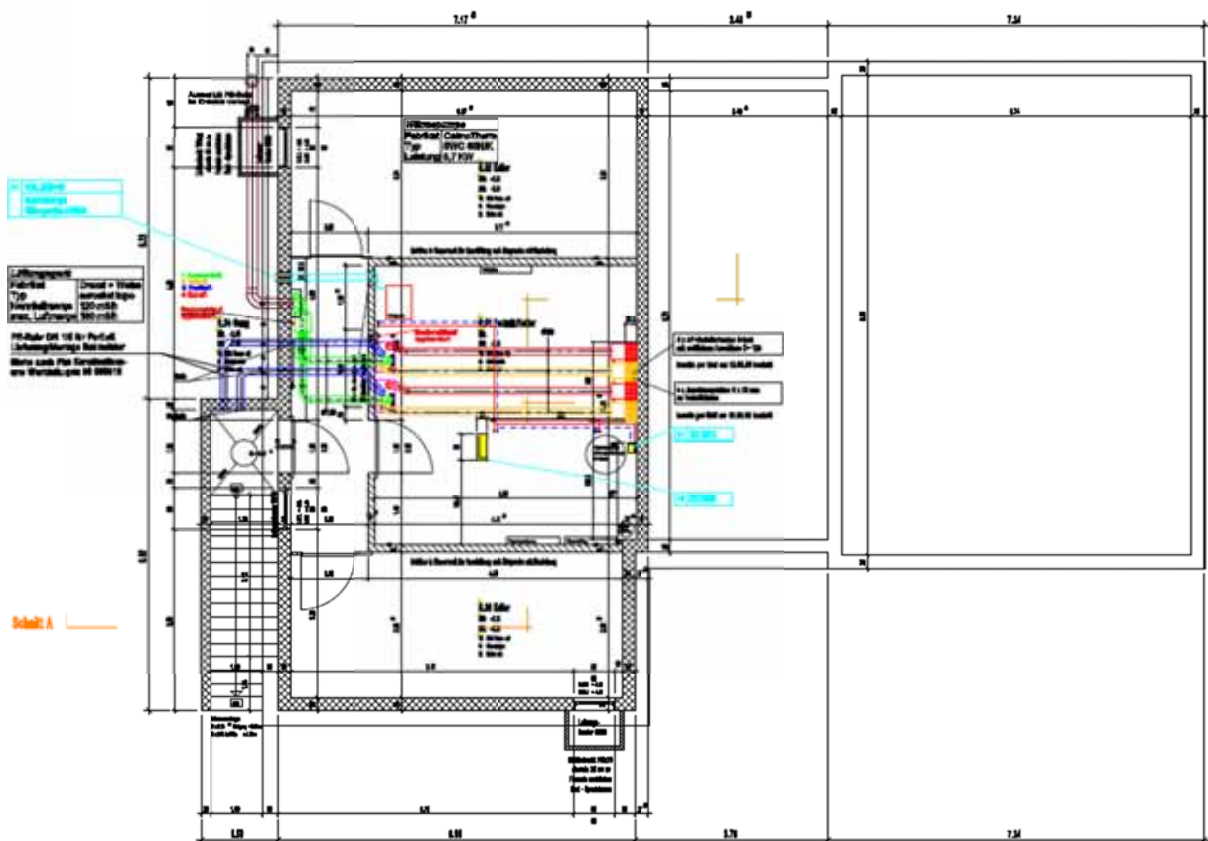
Figur 146: Lüftungsgeräte mit separaten Schalldämpfern

Figur 147: Gemeinsame Aussenluft- und Fortluftnutzung mit Vorerhitzen

Figur 148: Lage der Lüftungsgeräte und der Fortluftauslasses im Eingangsbereich der Treppe

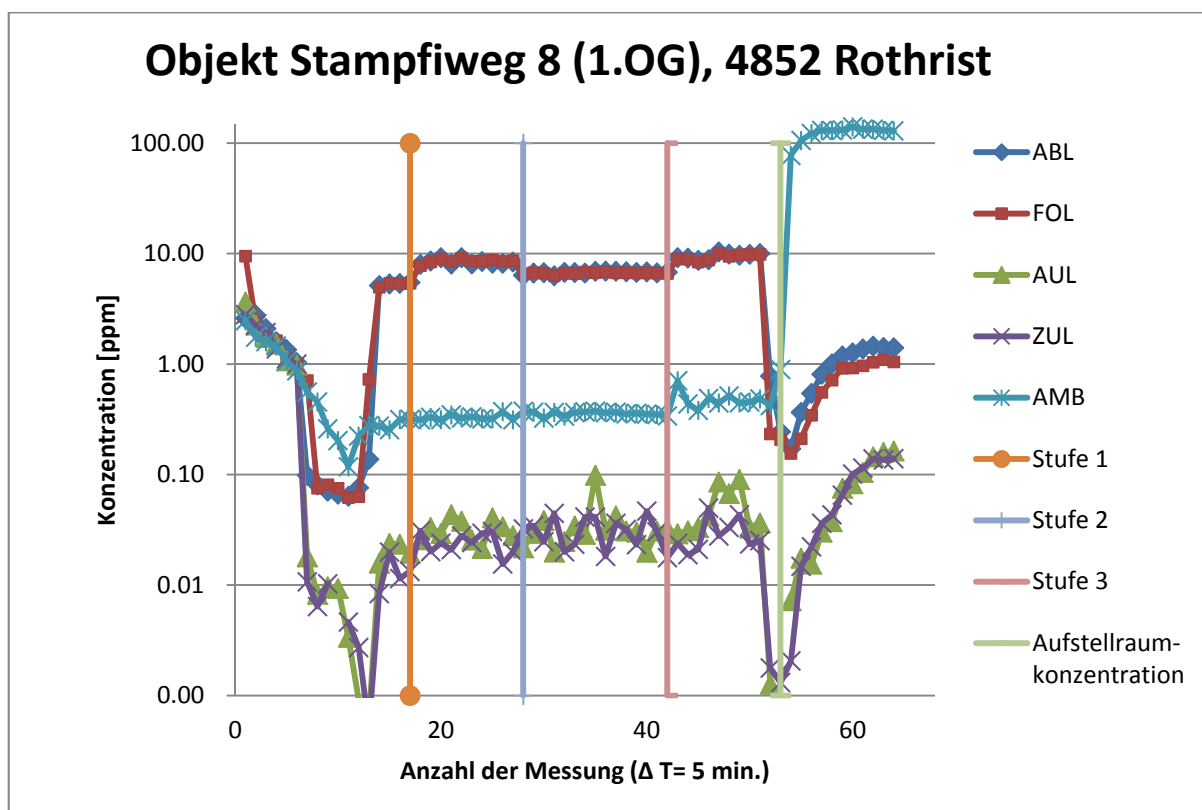


Figur 149: Grundriss Obergeschoss des Objekts Stampfiweg 8 (EG) in Rothrist.



Figur 150: Grundriss Kellergeschoss des Objekts Stampfiweg 8 (EG) in Rothrist.

Resultate



Figur 151: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
94/97	37	0.39	0.10	62/125	100/20
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
140/141	80	0.57	0.05	88/195	188/30
Stufe 3					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
146/157	92	0.61	0.20	92/200	220/38

Figur 152: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 0.1%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 0.5%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 0.01%.

Bei der Messung fiel die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 1.5%. Das bedeutet, dass in der Fortluft im Vergleich zur Abluft ein 1.5% grösserer Volumenstrom gefördert wird. Bei der Messung der Übertragung vom Aufstellraum zur Fortluft ist keine Leckage festgestellt worden. Demzufolge muss die Leckage von 1.5% von der Übertragung von Aussenluft auf Fortluft stammen.

Beobachtungen

Fortluft im Treppenbereich der Kellertür (Fortluft-Ansammlung im Bereich der Treppe), Keller komplett offen (ohne Türen), gemeinsame Aussenluft- und Fortluft-Nutzung bei zwei Anlagen, bei Aufkonzentration des Aufstellungsortes erfolgt Tracergas-Anstieg in der Fortluft

Bewertung

Diese Anlagen weisen einen extrem hohen gesamten externen Druckverlust von 450 Pa im Erdgeschoss und 500 Pa im Obergeschoss auf. Dass bei diesen Rahmenbedingungen trotzdem ein SPI-Wert von 0.57 W/(m³/h) erreicht werden konnte, spricht für die gute Dimensionierung und Qualität der Lüftungsgeräte.

Objekt Mürlefeld 4, 5630 Muri

Art des Objektes:	Einfamilienhaus
Lüftungsgerät :	elco
Typ:	GBL Digital 300
Baujahr Haus/Anlage :	2010 / 2010
Standard:	-
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø150mm Feinverteilung: sternförmig, Flachkanal
Standort des Gerätes :	Dachboden
Anlagenspezifikation :	Vorerhitzer in der Aussenluft, Kanalführung teilweise in der Dämmschicht der Fassade, separater Schalldämpfer in ZUL



Figur 153: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 154: Leitungsführung in der Dämmschicht.



Figur 155: Lüftungsleitung an der Aussenwand in der Dämmung.



Figur 156: Verteiler im Dachboden.



Figur 157: Vorerhitzer für Aussenluft im Estrich.

Kommentar zu den Figuren

Figur 153: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 154: Leitungsführung an der Wandaussenseite

Figur 155: Kanalführung in Gebäudedämmschicht

Figur 156: Luftverteiler im Estrich

Figur 157: Vorerhitzer für Aussenluft

Resultate

Stufe 1					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
119/85	25	0.25	3.20%	-	-
Stufe 2					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
155	75	0.48	-*	-	-
Stufe 3					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
240	110	0.46	-*	-	-

Figur 158: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

*Leckagemessung erfolgte nur auf einer Betriebsstufe

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 3.2%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 0.3%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 6.4%.

Beobachtungen

-

Bewertung

Der SPI-Wert von 0.39 W/(m³/h) ist ansprechend. Druckverlustmessungen wurden keine durchgeführt. Das eingesetzte Verteilsystem ist aber mindestens bei Zuluftverteilung grosszügig dimensioniert, was auf einen moderaten Druckverlust hindeutet.

Objekt Langmattring 12, 6370 Stans

Art des Objektes:	Gewerbehaus mit Wohnung und einem Kompaktlüftungsgerät pro Partei
Lüftungsgerät :	Hoval
Typ:	HomeVent RS 250 (mit Feuchterückgewinnung)
Baujahr Haus / Anlage:	1963, Umbau 2010 mit 1.OG / 2011
Standard:	Minergie
Kanalnetz:	Hauptverteilung: Wickelfalzrohr Ø150mm
Feinverteilung:	in abgehängter Decke (Aufstockung ist im Holzsystembau) Kunststoffrohr Ø90mm
Standort des Gerätes :	Wirtschaftsraum im 1. Obergeschoss
Anlagenspezifikation :	Gerätekasten vor Kompaktlüftungsgerät (eventuell Vorfilter)



Figur 159: Aussenansicht des Gebäudes.



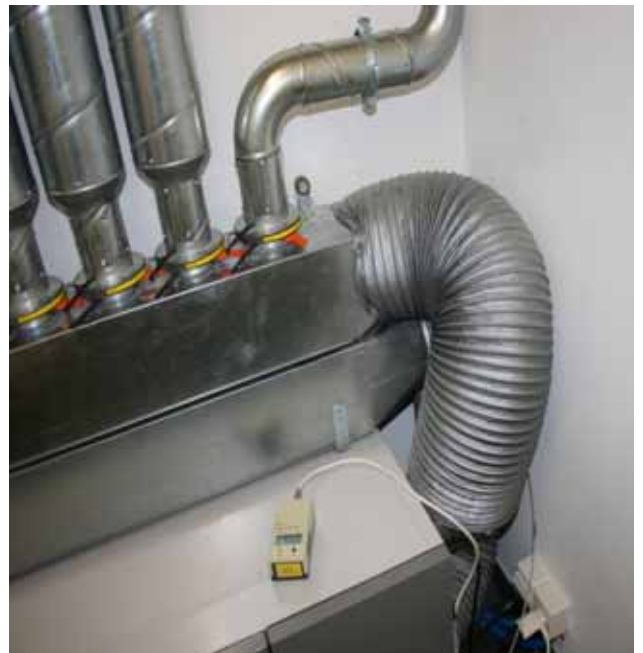
Figur 160: Aussenluft-Ansaugung



Figur 161: Aussenansicht mit Aussenluft-Ansaugung



Figur 162: Lüftungsgerät.



Figur 163: Anschluss Lüftungsgerät an Verteiler.



Figur 164: Hauptanschluss an den Verteiler.



Figur 165: Anschlüsse vom Verteiler in das Netz.



Figur 166: Leckage an den Verteileranschlüssen.



Figur 167: starke Nachströmung in den Aufstellraum.



Figur 168: Messpunkte für Konzentration und Druck.

Kommentar zu den Figuren

Figur 159: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 160: Aussenluftansaugung über Fassade

Figur 161: Aussenansicht mit Aussenluft-Ansaugung

Figur 162: Lüftungsgerät mit Verteiler

Figur 163: Anschluss des Lüftungsgerätes am Verteiler

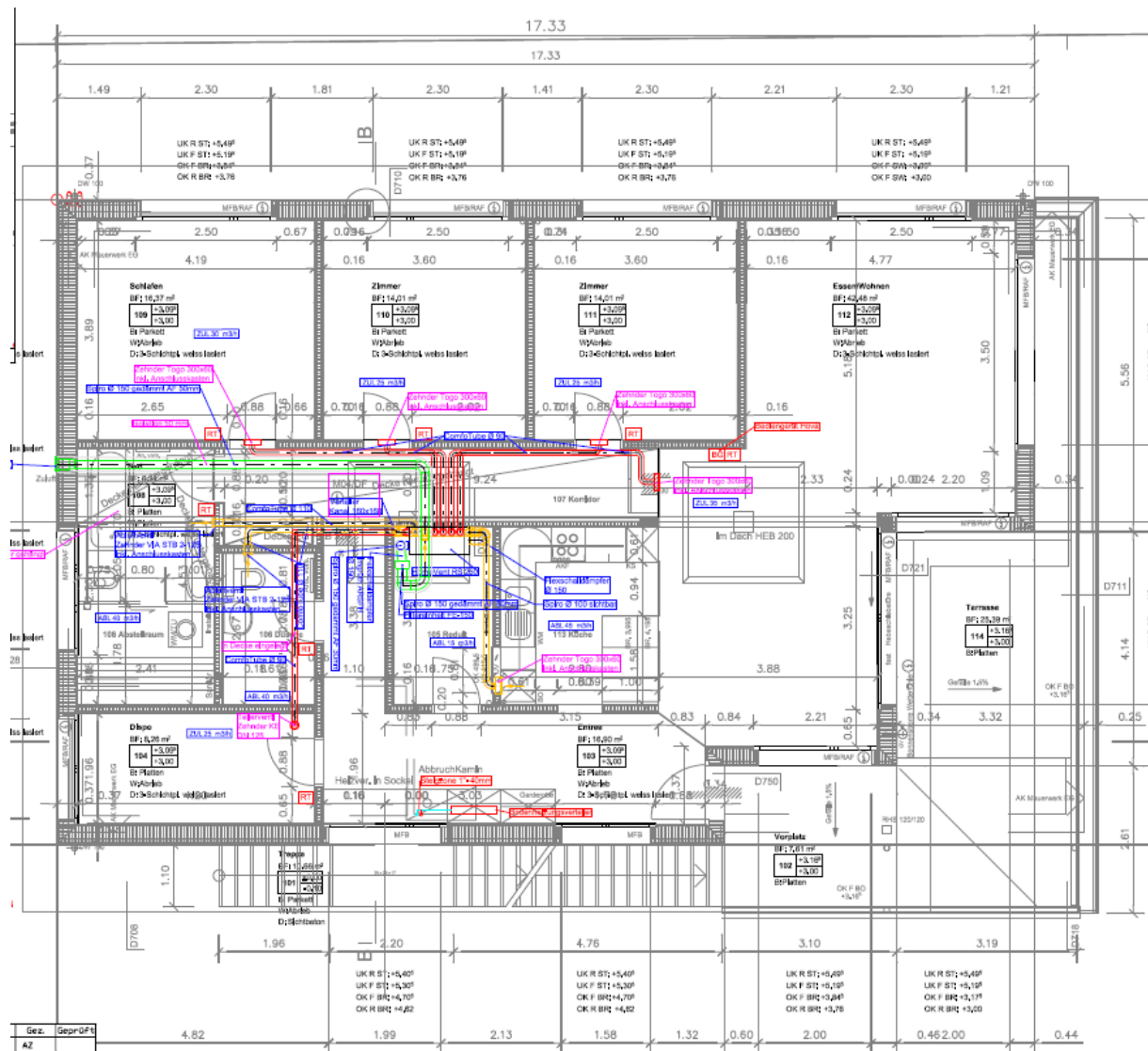
Figur 164: Schlauchanbindung am Verteiler

Figur 165: Verbindung Verteiler an das Kanalnetz (innenseitige nicht sichtbare Bride)

Figur 166: Undichtigkeiten am Verteiler

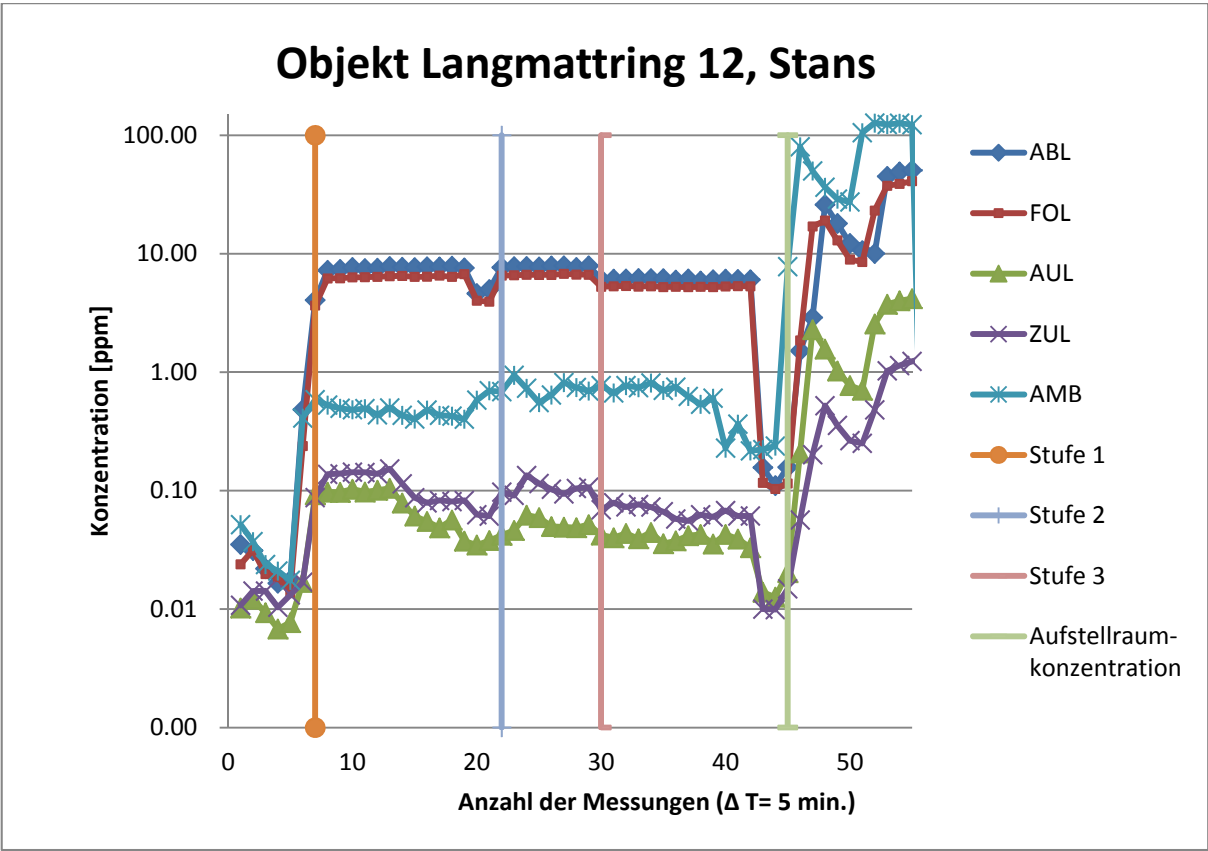
Figur 167: starke Nachströmung aufgrund der Undichtigkeiten

Figur 168: Messorte für die Druck- und Konzentrationsmessung



Figur 169: Neubau 1.Obergeschoss des Objekts Langmattring in Stans.

Resultate



Figur 170: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Stufe bei 30%					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
109/55	36	0.48	0.43	40/21	19/8
Stufe bei 60%					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
162/103	93	0.70	0.7	100/55	68/35
Stufe bei 100%					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m ³ /h)	(W)	(W/(m ³ /h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
163/134	120	0.79	0.44	105/55	110/53

Figur 171: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse aus den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leckage)

Bei der Leckage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leckage von ca. 0.5%.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 1%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leckage über die Gehäusewand von ca. 2%.

Bei der Messung zeigte sich, dass die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 4% sank. Das bedeutet, dass in der Fortluft im Vergleich zur Abluft ein ca. 4% grösserer Volumenstrom gefördert wird. Um die Ursache dafür zu ermitteln, sind bei der Aufkonzentrierung des Raumes die Konzentrationen der Fortluft und der Abluft ermittelt worden. Dabei ist festgestellt worden, dass sowohl Einzelrohranschlüsse am Verteiler als auch der Hauptanschluss vom Lüftungsgerät zum Verteiler undicht sind und somit keine genauere Zuordnung möglich ist.

Beobachtungen

Konzentrationsanstieg im Aufstellraum aufgrund undichter Spirorohre (nur ineinander geschoben), Abluftabsaugung aus Aufstellraum aufgrund undichter Anschlüsse am Verteiler, Undichtigkeiten an den Abgängen am Verteiler.

Bewertung

Der gemessene SPI-Wert ist rund doppelt so hoch wie der SIA-Grenzwert und muss daher als ungünstig beurteilt werden.

Die Ursache liegt in den hohen Druckverlusten. Auffällig hoch sind die Druckverluste der Aussenluft (Aussenluft-Durchlass bis Gerät) und Fortluft (Gerät bis zum Fortluftgitter). In der Aussenluft ist vermutlich die Filterbox die Hauptursache (zusätzlicher Filter zum im Gerät eingebauten F7-Filter). Die fortluftseitigen Druckverluste können nicht nachvollzogen werden.

Um mit dem vorhandenen Lüftungsgerät einen SPI von unter 0.34 W/(m³/h) zu erreichen, müssten die Druckverluste auf etwa einen Drittel der gemessenen Werte reduziert werden. Dazu wäre die genannte Filterbox zu beurteilen und die Fortluftseite müsste analysiert werden.

Objekt Gulpstr. 1, 6130 Willisau

Art des Objektes:	Mehrfamilienhaus mit Büros im Erdgeschoss
Lüftungsgerät :	Drexel und Weiss
Typ:	aerosilent centro mit einzeln steuerbaren aerosilent micro-Geräten pro Wohnung (semizentral)
Baujahr Haus / Anlage:	2011 / 2011
Standard:	Minergie-P Eco
Standort des Gerätes:	Keller
Anlagenspezifikation :	-



Figur 172: Aussenansicht des Gebäudes.



Figur 173: Aussenansicht mit Aussenluftfassung neben dem Eingang.



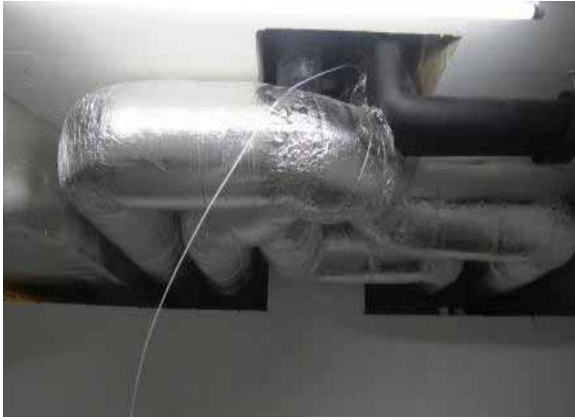
Figur 174: Aussenluftfassung und Einfahrt zur Tiefgarage.



Figur 175: Aussenluftfassung Höhe ca. 2.2m



**Figur 176: Lüftungsgeräte,
oben: Dezentrale Geräte pro Mietpartei
unten: Zentrales Gerät im Keller**



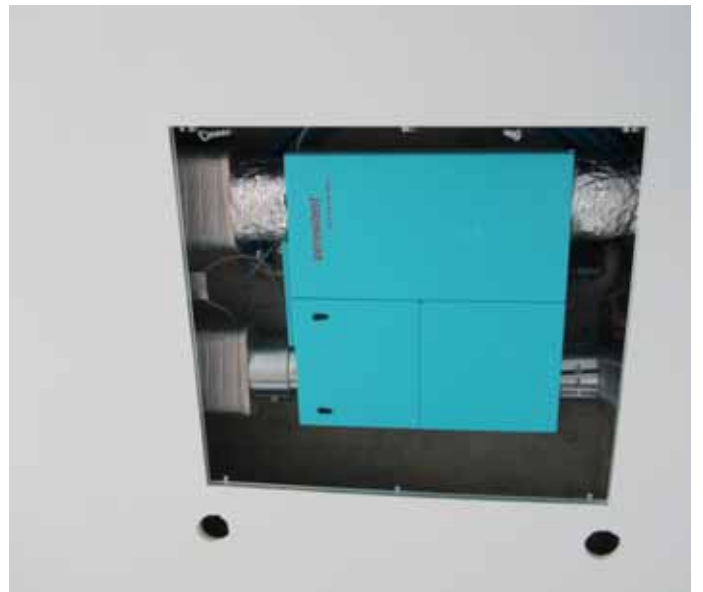
Figur 177: Dosierung des Tracergases SF6.



Figur 178: Kanalführung in der Station.



Figur 179: Wärmepumpe aerosmart.



Figur 180: Aerosilent in den Wohnungen.



Figur 181: Küchenansicht mit Zuluftauslässen und Aerosilent-Gerät.

Kommentar zu den Figuren

Figur 172: Aussenansicht des Gebäudes

Figur 173: Aussenansicht mit Aussenluftfassung neben dem Eingang

Figur 174: Aussenluftfassung und Einfahrt zur Tiefgarage

Figur 175: Aussenluftfassung Höhe ca. 2.2m

Figur 176: Lüftungsgeräte,

Figur 177: Dosierung des Tracergases SF₆ in die Abluft

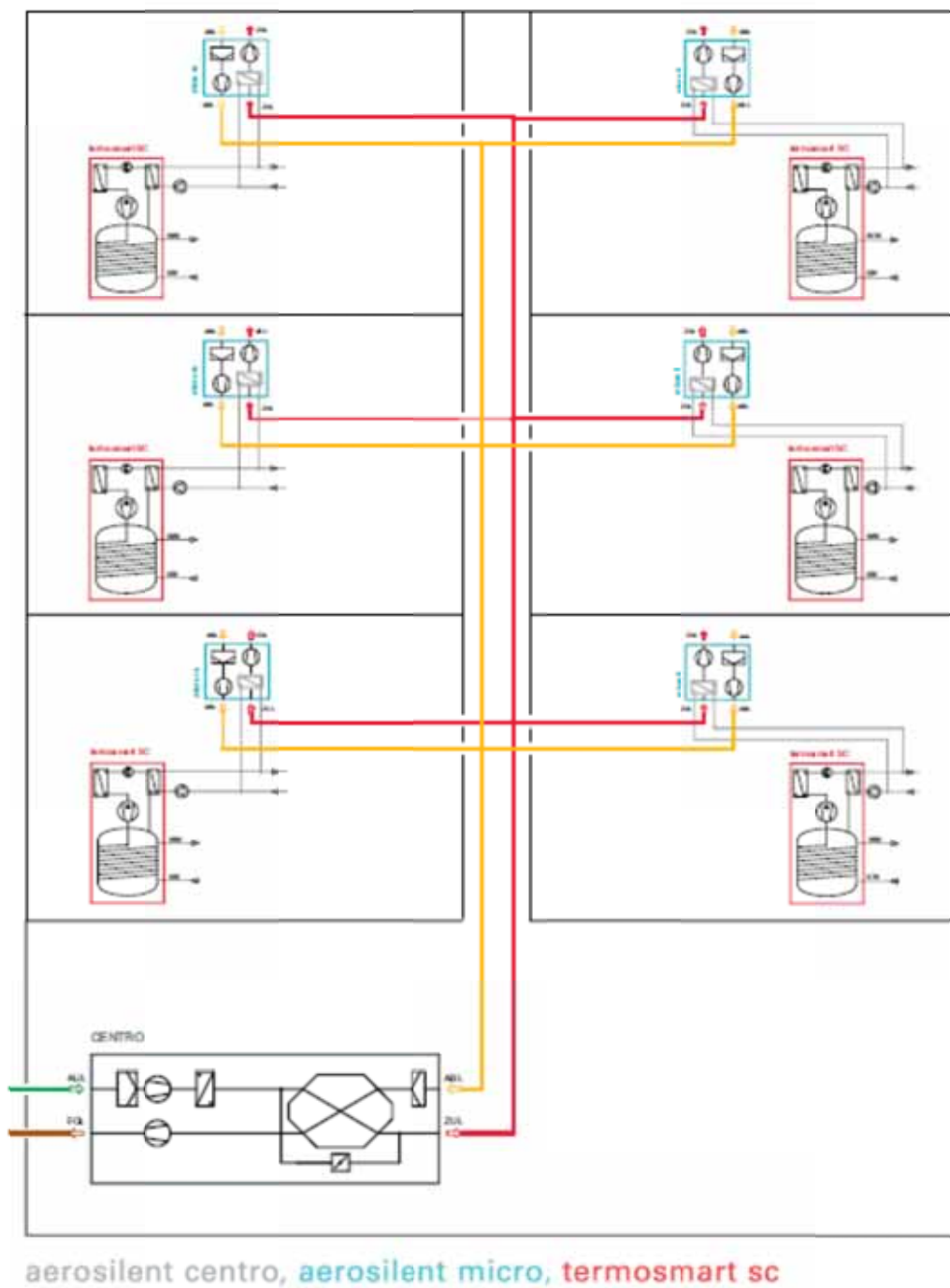
Figur 178: Kanalführung in der Station

Figur 179: Wärmepumpe aerosmart

Figur 180: Aerosilent in den Wohnungen

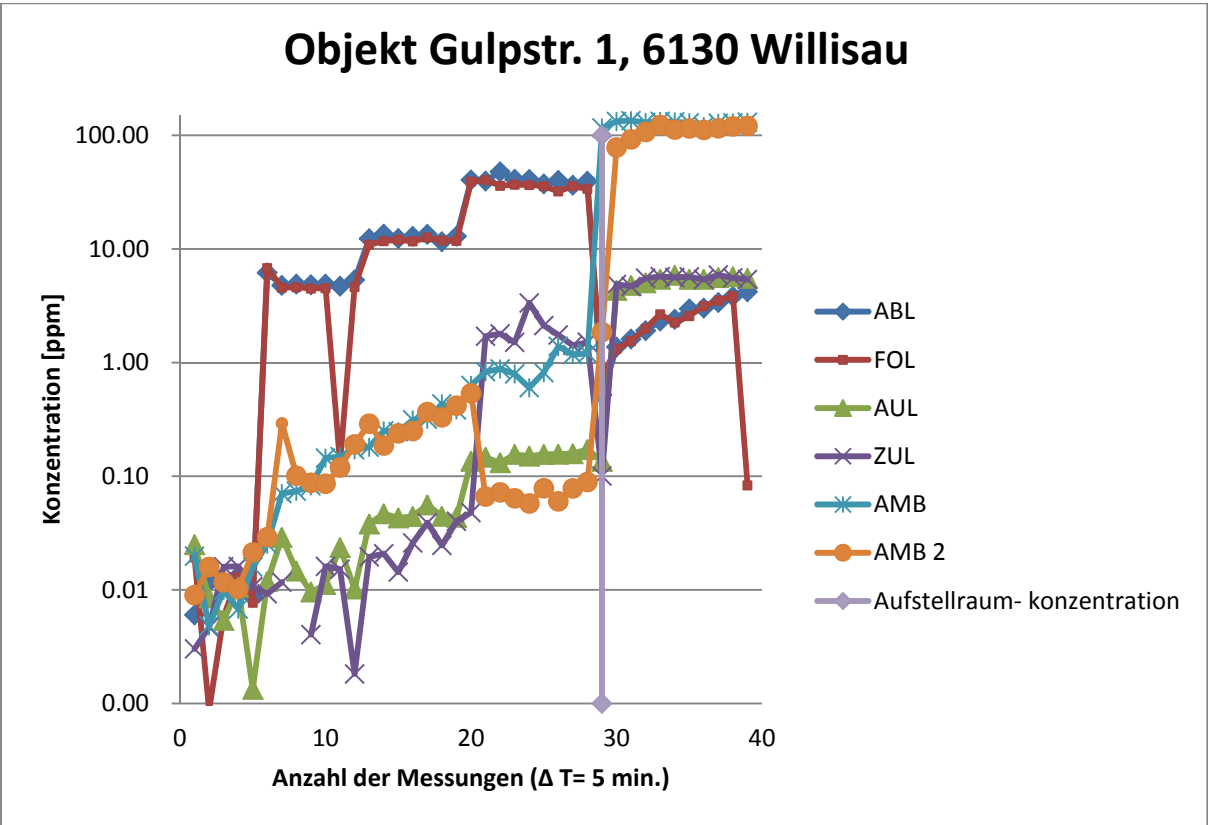
Figur 181: Küchenansicht mit Zuluftauslässen und Aerosilent

Figur 182: Prinzipschema (Quelle: Firmenbroschüre Drexel und Weiss 2011)



Figur 182: Prinzipschema (Quelle: Firmenbroschüre Drexel und Weiss 2011)

Resultate



Figur 183: Konzentrationsverlauf in Abhängigkeit der Zeit.

Modulierende Stufe					
V ZUL/ABL	Aufnahmeleistung	SPI	Leckage ABL-ZUL	Diff. Druck über Ventilator (Pa)	
(m³/h)	(W)	(W/(m³/h))	(%)	AUL/ZUL	ABL/FOL
1463	110	0.08	4.07%	40/21	19/8
Leistungsangabe ohne dezentrales Wohnungslüftungsgerät					

Figur 184: Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse.

Erkenntnisse zu den Leckagemessungen

Folgende Übertragungsarten sind im Lüftungssystem möglich:

- Abluft auf Zuluft (siehe Tabelle)
- Fortluft auf Aussenluft (externer „Kurzschluss“)
- Aufstellraum auf Zuluft (Undichtigkeiten Gerät / Verlegesystem)
- Aussenluft auf Fortluft (interne Leakage)

Bei der Leakage von Abluft in die Zuluft werden die Konzentrationen der Aussenluft, Zuluft und der Abluft gemessen. Anschliessend wird die Konzentration der Aussenluft von der Konzentration der Zuluft abgezogen und ins Verhältnis mit der Konzentration der Abluft gesetzt. Daraus resultiert eine Leakage von ca. 4 %. Dieser hohe Wert ergibt sich, weil die Anschlüsse an das Lüftungsgerät im Keller nicht richtig dicht sind und somit ein Leakagestrom entsteht.

Der externe Kurzschluss von Fortluft zur Aussenluft kann direkt ermittelt werden, da es in der Aussenluft keine natürliche SF₆-Konzentration gibt. Der Vergleich ergab eine Übertragungsrate von ca. 0.4%.

Um den Einfluss des Aufstellortes auf die Zuluft zu ermitteln, wird der Aufstellraum mit SF₆ aufkonzentriert und die Konzentration in der Zuluft ermittelt. Bei der Anlage ergab die Messung eine Leakage über die Gehäusewand des zentralen Lüftungsgeräts von ca. 0.1%. Zusätzlich ist eine Leakage in der Aussenluftansaugung aufgefallen, die im Aufstellungsraum vorhanden sein muss, da die Aussenluft am Aussenluft-Gitter ohne SF₆-Konzentration angesaugt wird, aber danach eine SF₆-Konzentration von etwa 4.2% aufweist. Bei einer Kontrollmessung am Aussenluft-Gitter konnte keine signifikante SF₆-Konzentration festgestellt werden

Bei der Messung fiel auf, dass die Konzentration von der Abluft auf die Fortluft um ca. 7.1% sank. Das bedeutet, dass in der Fortluft ein 7.1% grösserer Volumenstrom transportiert wird, im Vergleich zur Abluft. Um die Ursache dafür zu ermitteln, ist bei der Aufkonzentrierung des Raumes die Konzentration der Fortluft und Abluft ebenfalls ermittelt worden. Bei der Auswertung wurde von der Fortluftkonzentration die Abluftkonzentration subtrahiert und dieser Wert ins Verhältnis zur Umgebungskonzentration gesetzt. Dies ergab eine Leakage vom Aufstellraum zur Fortluft von etwa 0.02%. Somit stammen 0.02% der Fortluft vom Aufstellraum des Lüftungsgerätes.

Aufgrund der Bauweise als semizentrale Lüftungsanlage konnte kein konstanter Volumenstrom am Zentralgerät centro eingestellt werden. Die Drehzahlschwankungen der Ventilatoren waren hörbar, konnten in ihrer Grösse aber nicht ermittelt werden. Des Weiteren konnte der Nullpunkt der Anlage nicht festgelegt werden. Somit ist die gemessene elektrische Aufnahmeleistung lediglich ein Kennwert der Hauptanlage und nicht für die komplette Lüftungsanlage.

Beobachtungen:

Lüftungsgerät ist aufgrund der einzelnen Endlüftungsgeräte selbstregelnd, dadurch schwankende Volumenströme, die nicht stabilisiert werden konnten. Anlage teilweise noch nicht fertig ausgebaut (Büro im Erdgeschoss). Gemeinsame Aussenluft und Fortluft mit anderem Lüftungsgerät, Aussenluftfassung über Tiefgarageneinfahrt, während der Messzeitpunkte 21 bis 29 wurden die Anschlüsse AMB 2 und ZUL getauscht, um ein korrektes Messen sicher zu stellen. Starke Undichtigkeiten an den Anschlussstutzen des zentralen Lüftungsgeräts, daraus resultiert ein Anstieg der Umgebungskonzentration (AMB).

Bewertung

Aufgrund der Aufteilung in zentrale und dezentrale Lüftungsgräte und der Tatsache, dass noch nicht alle Räumlichkeiten fertig ausgebaut sind, wurde auf eine Bewertung dieser Anlage verzichtet.

4.3 Geruchsübertragung

Beschreibung der Methode

Bei der Geruchsübertragung aufgrund der Feuchterückgewinnung in einem Lüftungsgerät mit feuchtepermeabler Membran wird vermutet, dass mit den Wassermolekülen auch Geruchsmoleküle übertragen werden. Um den Einfluss und die Grössenordnung zu ermitteln, ist an der Prüfstelle Gebäudetechnik der Hochschule Luzern ein Kompaktlüftungsgerät mit feuchtepermeabler Membran im Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte untersucht worden.

Bei dieser Untersuchung ist das Lüftungsgerät an einem Lüftungsnetz angeschlossen worden und mit einem Volumenstrom von 60% des Maximalwerts betrieben worden. Des Weiteren wurde die Druckerhöhung über die einzelnen Ventilatoren auf einen SOLL-Wert von 100 Pa eingestellt.

Um die Feuchteübertragung zu erreichen, muss das Lüftungsgerät fähig sein die Feuchte ohne unnötige interne Leckage zu übertragen. Zusätzlich müssen die Randbedingungen so geschaffen werden, dass die angesaugte Aussenluft möglichst trocken ist und die Abluft möglichst feucht. Dies wird realisiert, indem die Aussenluft stark abgekühlt wird und somit gleichzeitig entfeuchtet wird. Bei der Abluft wird zusätzlich noch ein Dampfbefeuchter eingesetzt, um den nötigen Feuchtegrad zu erreichen.

Bei der eigentlichen Messung wird zuvor eine Nullmessung durchgeführt, um eventuell vorhandene belastende Geruchsstoffe zu identifizieren und bei der späteren Messung berücksichtigen zu können. Anschliessend wird in der Abluft ein duftstoffgenerierendes Material eingebracht und die Konzentrationen in der Aussenluft, Zuluft und der Fortluft gemessen. Die Abluft wurde nicht separat gemessen, da dort die gleiche Konzentration wie in der Fortluft zu erwarten ist. Die Analyse der Proben erfolgte extern bei der SUVA Luzern.



Figur 185: Lüftungsgerät im Prüfraum.



Figur 186: Eingebauter Prüfling.



Figur 187: Anschlüsse im Prüfraum.



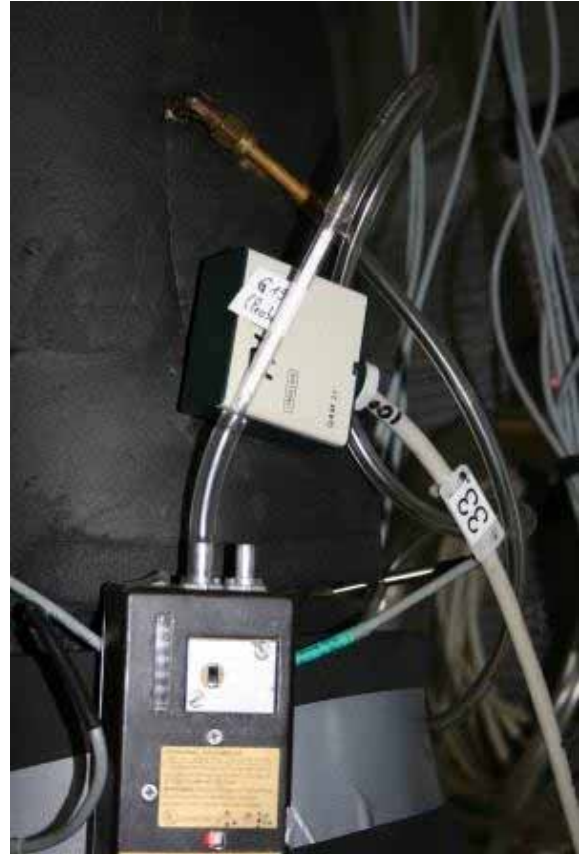
Figur 188: Feuchte- Temperaturfühler in den Anschlussleitungen.



Figur 189: Typenschild des Prüflings.



Figur 190: Prüfling mit VOC-Messung.



Figur 191: Pumpe für VOC-Entnahmeprobe.



Figur 192: Entnahmepunkte mit Pumpen.



Figur 193: Dosierer und Mehrpunktsampler.



Figur 194: Aufbau Messgeräte für Raumkonzentration.



Figur 195: N_2O -Flasche für Raumkonzentration.



Figur 196: Aufbau Messgeräte für Zuluftkonzentrationsmessung.



Figur 197: Aufbau Messgeräte für Abluftdosierung.

- Figur 185: Lüftungsgerät im Prüfraum
- Figur 186: Eingebauter Prüfling
- Figur 187: Anschlüsse im Prüfraum
- Figur 188: Feuchte- Temperaturfühler in den Anschlussleitungen
- Figur 189: Typenschild des Prüfling
- Figur 190: Prüfling mit VOC-Messung
- Figur 191: Pumpe für VOC-Entnahmeprobe
- Figur 192: Entnahmepunkte mit Pumpen
- Figur 193: Dosierer und Mehrpunktsamplers für die Raumkonzentration
- Figur 194: Aufbau Messgeräte für Raumkonzentration
- Figur 195: N₂O-Flasche für Raumkonzentration
- Figur 196: Aufbau Messgeräte für Zuluftkonzentrationsmessung
- Figur 197: Aufbau Messgeräte für Abluftdosierung

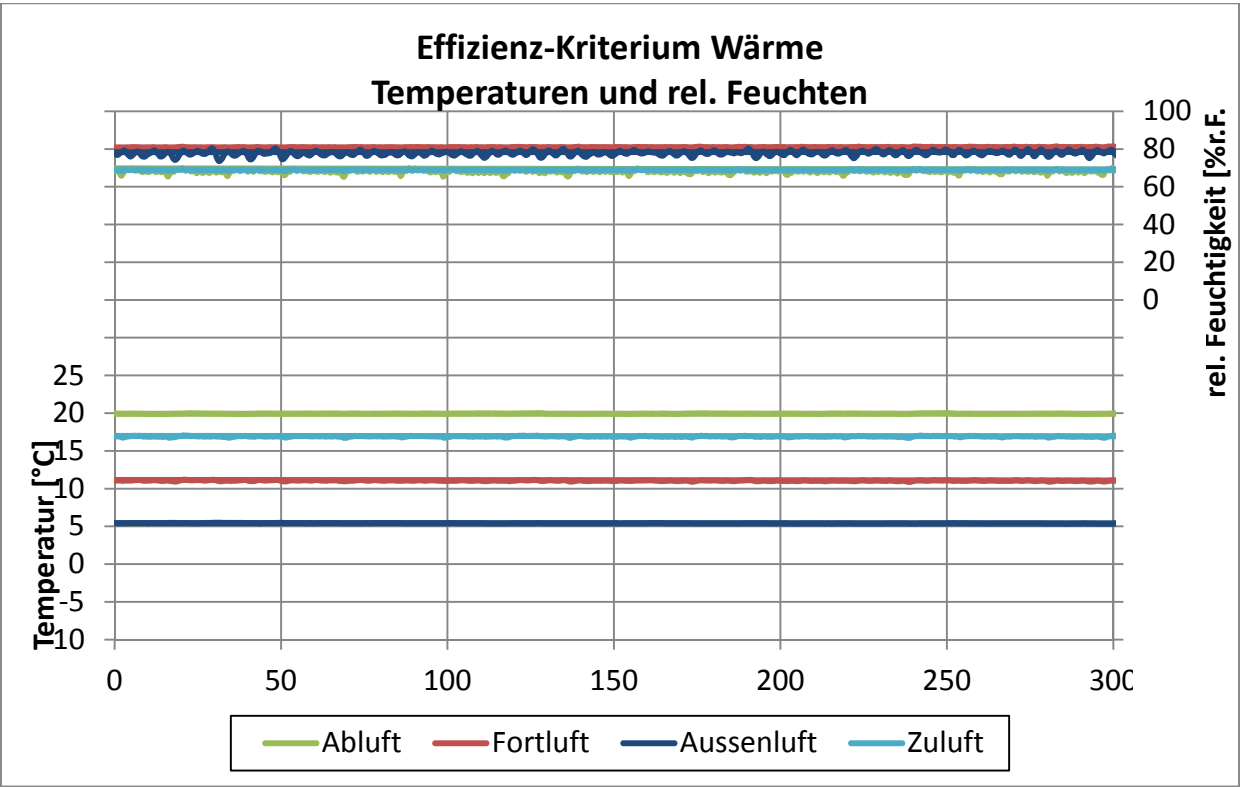


The diagram illustrates a test facility for measuring the concentration of SF6 gas. The central area is labeled 'Prüfraum mit N2O Konstante Konzentration' (Test room with constant N2O concentration). This room is surrounded by a region of 'SF6 Konstante Konzentration' (SF6 constant concentration). The test room is divided into four numbered zones (1, 2, 3, 4). Gas flow is indicated by arrows, showing air entering from the left (AUL) and exiting to the right (AUL, FOL, ZUL). A door is shown at the bottom of the test room.

Figur 199: Schema des Prüfstandes für Kompaktlüftungsgeräte.

Resultate

Geruchsübertragung (VOC-Messung)



Figur 200: Verlauf der Temperaturen und der Feuchte.

Zusammenfassung												
	q_v	q_m	t	φ	x	ρ	c	h	dp	dp_{tot}	P_{el}	
	m^3/h	kg/h	C	% r.F.	g/kg	kg/m^3	kJ/kg K	kJ/k	Pa	Pa	W	
Ablufteintritt 11	370	425	19.9	68	10.32	1.148	1.007	46.24	-52.0	1 4.3	119.81	
Abluft ustritt 12	57	424	11.0	81	.91	1.186	. 07	28.49	52.2			
Zul fteintitt 21	304	368	5 4	7	.56	1.212	1.006	16.84	-60.9	113.1		
Zuluftaustritt 22	327	380	16.9	69	8.64	1.161	1.007	38.89	52.2			

Figur 201: Randbedingungen während der Messung der Feuchteübertragung.

Analyseergebnisse der SUVA						
	Messpunkt	Messort	Probenahmezeit		Ethyl-2-methylbutyrat	
				(min.)	(µg/m³)	
Nullmessung						
	21	Aussenluft		29		<2
	12	Fortluft		29		<2
	22	Zuluft		29		<2
Messung						
	21	Aussenluft		65		<1
	12	Fortluft		65		184
	22	Zuluft		65		4

Figur 202: Ergebnis der Geruchsübertragung.

Erkenntnisse aus der Messung der Geruchsübertragung

Bei der Entnahme für die VOC-Messung ist die Anlage wie in Figur 200 ersichtlich in einen stationären Zustand gebracht worden.

Die Analyse der Proben für die Geruchsübertragung wurde extern bei der SUVA Luzern vorgenommen. Die Auswertung der Ergebnisse ergab eine Duftstoffübertragung von der Abluft zur Zuluft in der Höhe von ca. 2.2%.

Das Ergebnis der Geruchsübertragung ist nicht direkt vergleichbar mit der Leckagerate bei Schwefelhexafluorid SF₆ und oder Lachgas N₂O, da bei der Leckage von SF₆ bzw. N₂O nur die mechanische Leckage berücksichtigt wird. Bei der Messung der Geruchsübertragung wird die Übertragung über das Feuchteabsorptionselement berücksichtigt.

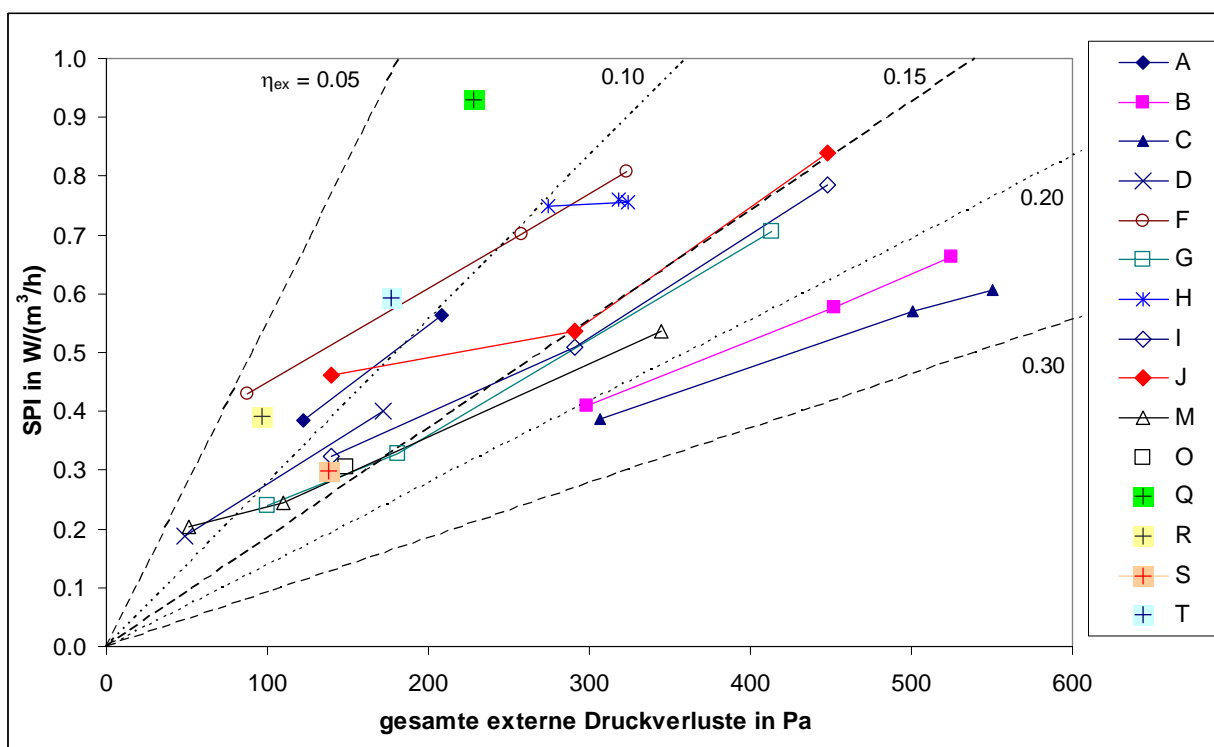
Erkenntnisse aus den Anlagemessungen

Bei den Anlagemessungen wurden Lüftungsgeräte-Typen von verschiedenen Herstellern und Grössen untersucht. Diese waren in Wohnungen, Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser eingebaut. Unter diesen Lüftungsgeräte-Typen funktionierten einige mit Feuchteübertragung. Bei allen Messungen und Nutzerbefragungen nach der empfundenen Raumluftqualität ist in den meisten Fällen keine negativen Erfahrungen festgestellt worden.

In wenigen Fällen ist eine Beeinträchtigung festgestellt worden, die sich darin äusserte, dass die Aussenluftfassung von der Fortluft kontaminiert wurde. Diese Beeinträchtigungen konnten aufgrund der realisierten Platzierung der jeweiligen Aussen- und Fortluftfassungen begründet werden. Bei den Anlagemessungen wurden 2 Anlagen untersucht, bei denen sich Nutzer über die Luftqualität beschwerten. Eine ungenügende Durchmischung der Räume mit Zuluft mit entsprechend niedrigem Luftwechsel begründete die negative Benutzbewertung. Insgesamt gesehen ist die Problematik der Geruchsübertragung auch bei Lüftungsgeräten mit Feuchtigkeitsübertragung unbedeutend. Hingegen ist der Platzierung der Aussen- und Fortluftfassungen, sowie der einwandfreien – und damit möglichst dichten - Montage aller Bestandteile der Lüftungsanlage gebührend Rechnung zu tragen.

4.4 Elektrizitätsbedarf des Lüftungssystems, externer Wirkungsgrad und Druckverluste

Für die Bewertung der Energieeffizienz von Lüftungssystemen sind deren Elektrizitätsbedarf, die zu überwindenden systemseitigen Druckverluste und der aus diesen beiden Grössen abgeleitete externe Wirkungsgrad von zentraler Bedeutung. Gemäss Vernehmlassungsentwurf der neuen EN13142 [10] wird für den bisher verwendeten Begriff *Specific Fan Power (SFP)* neu der Begriff *Specific Power Input (SPI)* eingeführt. Der SPI-Wert bezeichnet die spezifische elektrische Aufnahmeleistung des Lüftungsgeräts. Bei den im Projekt vorkommenden Gerätetypen bedeutet dies insbesondere, dass zusätzlich zu den Ventilatoren die Aufnahmeleistung der Steuerung/Regelung sowie allfällige Rotorantriebe im SPI enthalten sind.



Figur 203: Spezifische elektrische Aufnahmeleistungen in Funktion der gesamten externen Druckverluste.

Figur 203 stellt die spezifische Aufnahmeleistung SPI in Abhängigkeit der gesamten externen Druckverluste auf der Zu- und Abluftseite dar. Die Buchstaben in allen Diagrammlegenden beziehen sich auf die Anlagebezeichnungen im Anhang.

Die Buchstaben A bis M stehen für Anlagen, die im Rahmen dieses BFE Projektes gemessen wurden. Bei den Anlagen O bis T handelt es sich um Messwerte aus dem BFE Projekt *Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs von Kleinlüftungsanlagen* [3].

Bei den Anlagen F und H sind Lüftungsgeräte mit Rotoren im Einsatz.

Die zusätzlich zu den Messpunkten eingetragenen Geraden bezeichnen konstante Verhältnisse des gesamten externen Druckverlustes zum SPI-Wert. Wenn der SPI-Wert in $W/(m^3/s)$ eingesetzt wird, ist das Verhältnis η_{ex} dimensionslos. Diese Kennzahl wird hier als externer Wirkungsgrad bezeichnet.

$$\eta_{ex} = \frac{\Delta p_{ex}}{SPI}$$

Gl.1

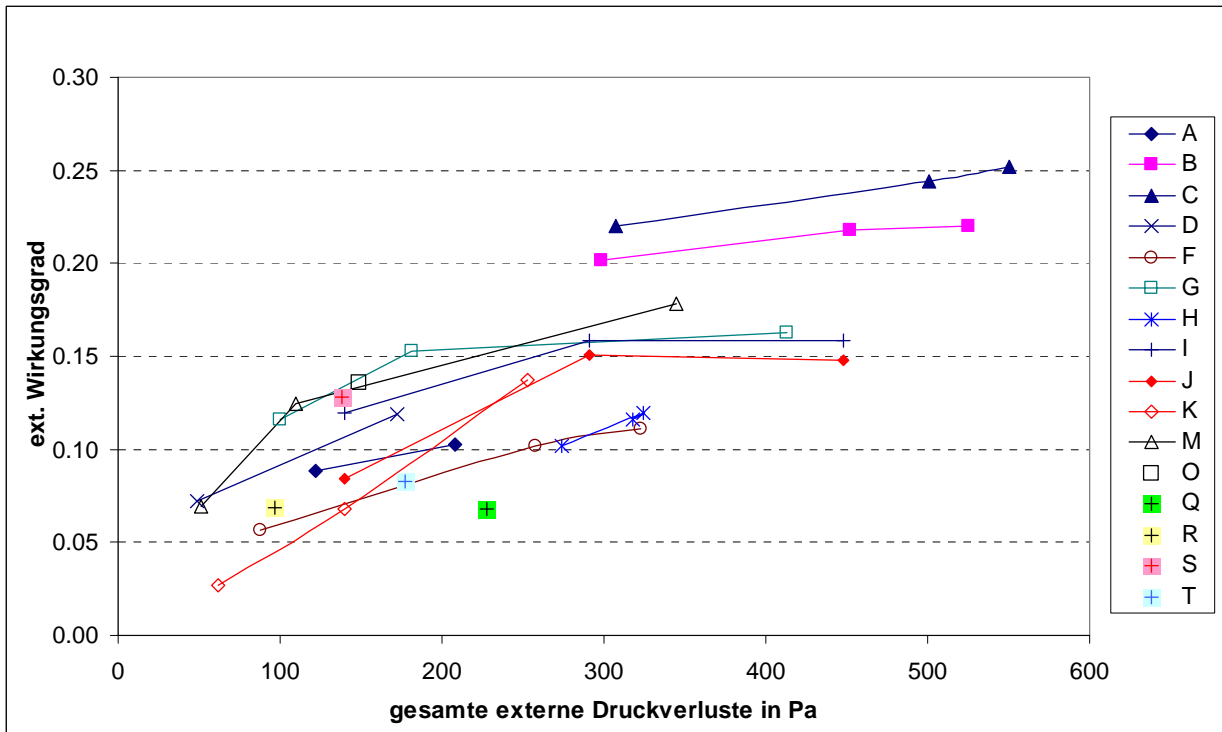
Dabei sind:

- η_{ex} externer Wirkungsgrad
- Δp_{ex} gesamte externe Druckverluste in Pa
- SPI spezifische elektrische Aufnahmeleistung in W/(m³/s)

Falls die geräteinternen Druckverluste bekannt wären, könnte der Ventilatorwirkungsgrad analog bestimmt werden. Da sowohl der interne, wie auch der externe Druckverlust quadratisch vom Luftvolumenstrom abhängen, ist das Verhältnis dieser beiden Druckverluste konstant. Damit ist auch das Verhältnis des externen Wirkungsgrades zum Ventilatorwirkungsgrad konstant. Das heisst, wenn eine Veränderung des externen Wirkungsgrades beobachtet wird, muss die Ursache bei einer Änderung des Ventilatorwirkungsgrades liegen.

Der Wirkungsgrad (externer Wirkungsgrad oder Ventilatorwirkungsgrad) bezieht sich hier immer auf die elektrische Aufnahmeleistung. Das heisst, dass strömungstechnische Verluste, mechanische Reibung (Lagerung) und elektrische Verluste (Motor und Elektronik) berücksichtigt werden. Gerade bei Kleinventilatoren, mit entsprechend kleinen Antriebsmotoren, können die Motorverluste bedeutend sein.

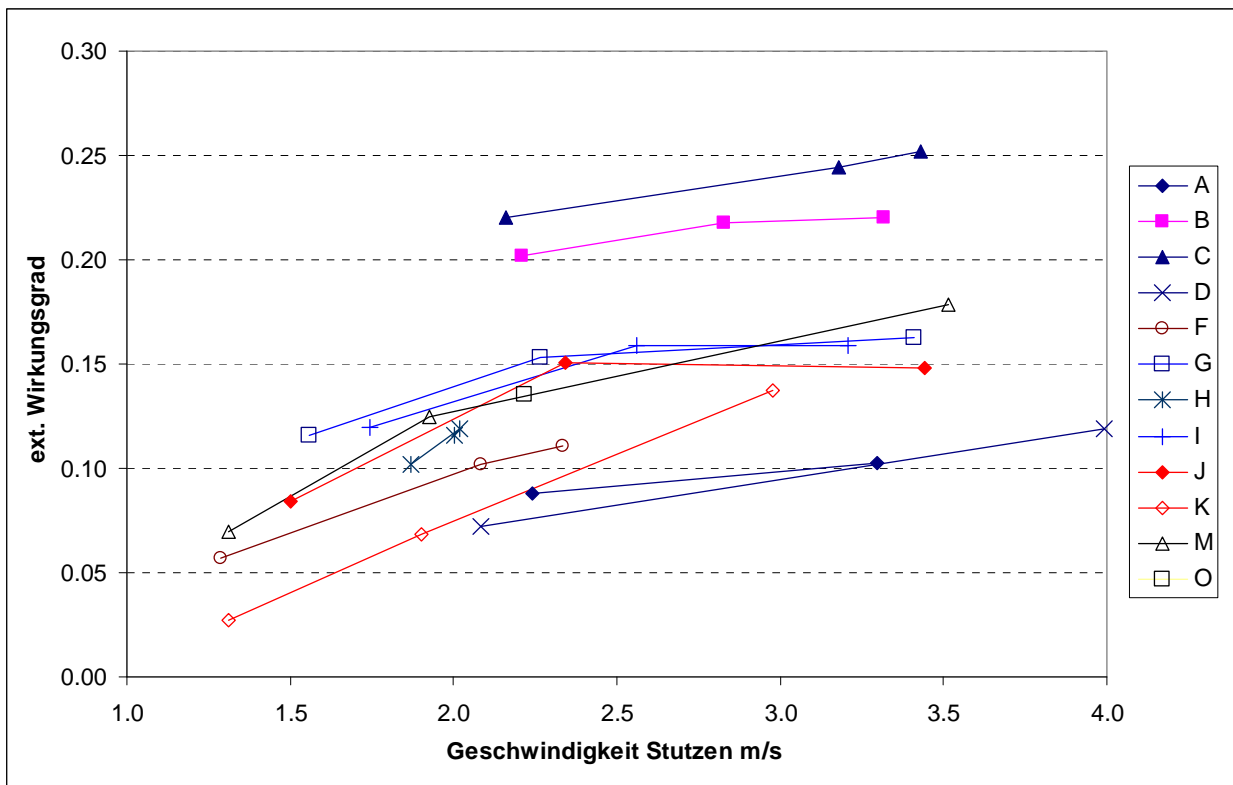
Figur 204 zeigt den externen Wirkungsgrad in Funktion des externen Förderdrucks. Grundsätzlich sind diese Informationen bereits in Figur 203 enthalten. In Figur 204 ist aber grafisch besser erkennbar, wie der Wirkungsgrad bei Teillast zusammenfällt.



Figur 204: Externer Wirkungsgrad in Funktion der gesamten externen Druckverluste.

Figur 205 zeigt den externen Wirkungsgrad in Funktion der Luftgeschwindigkeit an den Gerätestutzen. Die Dimension der Stutzen dürfte ein grober Indikator für die Dimensionierung

eines Gerätegehäuses sein (kleine Gerätegehäuse - kleine Stutzen; grosse Gerätegehäuse - grosse Stutzen).



Figur 205: Externer Wirkungsgrad in Funktion der Strömungsgeschwindigkeit am Stutzen.

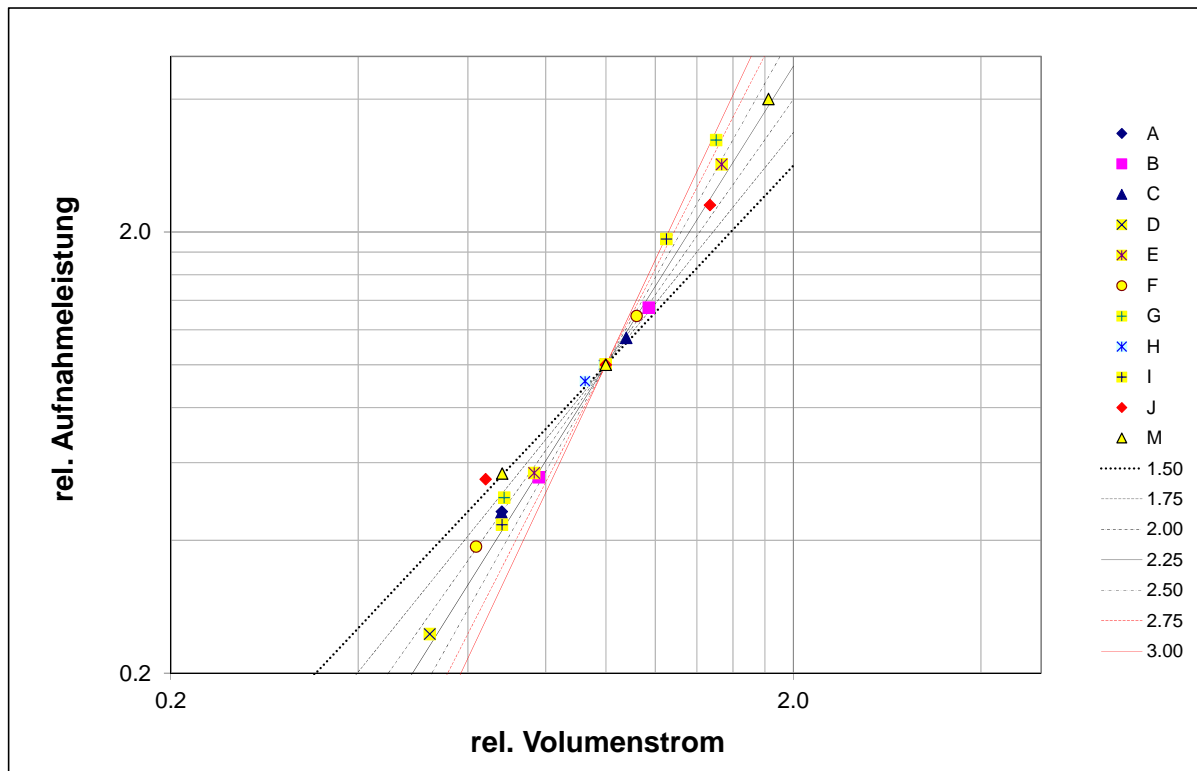
Ein tiefer externer Wirkungsgrad kann resultieren, wenn der Ventilatorwirkungsgrad schlecht ist oder wenn die geräteinternen Druckverluste hoch sind. Die internen Druckverluste hängen u.a. vom geförderten Luftvolumenstrom, d.h. vom Einsatzbereich des Gerätes ab.

Bei den Messungen mit dem besten SPI-Wert ist erkennbar, dass sich der Wirkungsgrad zwischen zwei Betriebspunkten markant verändert. Daraus kann geschlossen werden, dass die Ventilatoren hier überdimensioniert sind und in einem ungünstigen Betriebsbereich arbeiten. Für eine weitere Verbesserung des SPI-Wertes müssten in diesen Geräten kleinere Ventilatoren eingebaut werden. Teilweise könnten dies kleinere Laufräder sein, es sollten aber in erster Linie kleinere Motoren gewählt werden.

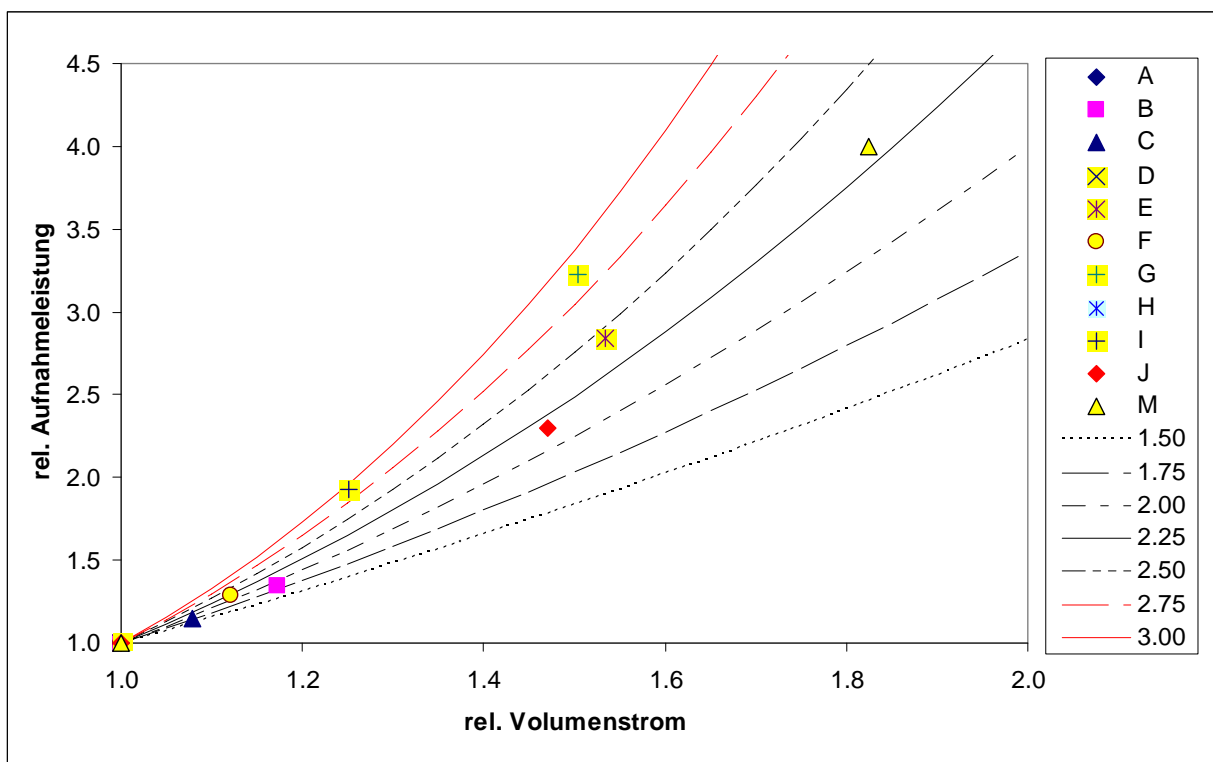
Beim Lüftungsgerät der Anlage A kann ein anderer Schluss gezogen werden: Die Wirkungsgradänderung ist vergleichsweise klein. Um den eher bescheidenen SPI-Wert zu verbessern, müssten zuerst die internen Druckverluste reduziert werden. Das Gerätegehäuse ist also für den Einsatz in dieser Anlage zu knapp bemessen.

Figur 205 gibt Hinweise wie heute die Lüftungsgeräte von den Herstellern ausgelegt werden: Die Ventilatoren (inkl. Motoren) scheinen so gewählt zu sein, dass sie bei Luftgeschwindigkeiten an den Stutzen von über 2.5 m/s in einem guten Bereich, das heisst mit gutem Wirkungsgrad arbeiten. Bei Geschwindigkeiten von unter 2.5 m/s ist eine Tendenz von leicht fallenden Wirkungsgraden zu beobachten. Unterhalb von 2.0 m/s scheinen die Wirkungsgrade deutlich zu sinken, was heisst, dass dort die Ventilatoren klar im ungünstigen Bereich arbeiten.

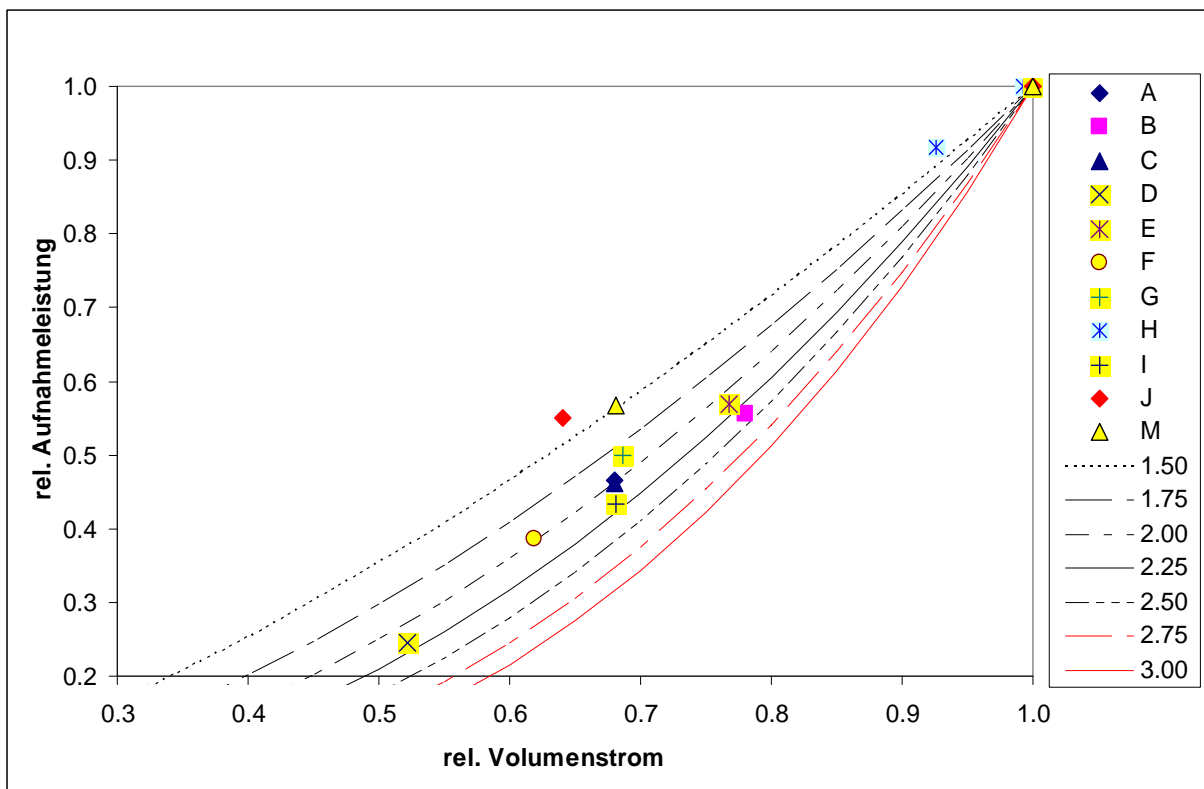
Bei Geräten mit Rotoren ist im SPI-Wert - und damit auch im externen Wirkungsgrad - der Rotorantrieb enthalten. Das heisst, dass für diese Geräte die obigen Aussagen nur bedingt gelten. Eine starke Änderung des externen Wirkungsgrades kann hier bedeuten, dass die Aufnahmeleistung des Rotorantriebes im Verhältnis zur Ventilatorleistung erhöht ist.



Figur 206: Relative Aufnahmeleistung in Funktion des relativen Volumenstroms.



Figur 207: Relative Aufnahmeleistung in Abhängigkeit des relativen Luftvolumenstroms (Werte über 1).



Figur 208: Relative Aufnahmeleistung in Abhängigkeit des relativen Luftvolumenstroms (Werte unter 1).

Die Figur 207 und Figur 208 stellen die relative elektrische Aufnahmeleistung in Funktion des relativen Luftvolumenstroms dar. Ein Wert von 1 bedeutet Normalbetrieb. Bei dreistufigen Anlagen entspricht diese der mittleren Stufe. Bei zweistufigen Anlagen sind die Werte auf die höhere Stufe normiert.

Die zusätzlich zu den Messpunkten eingetragenen Kurven zeigen folgende Funktion:

$$\frac{P}{P_N} = \left(\frac{q_v}{q_{v,N}} \right)^n$$

Gl.3

dabei sind:

$\frac{P}{P_N}$ relative elektrische Aufnahmeleistung

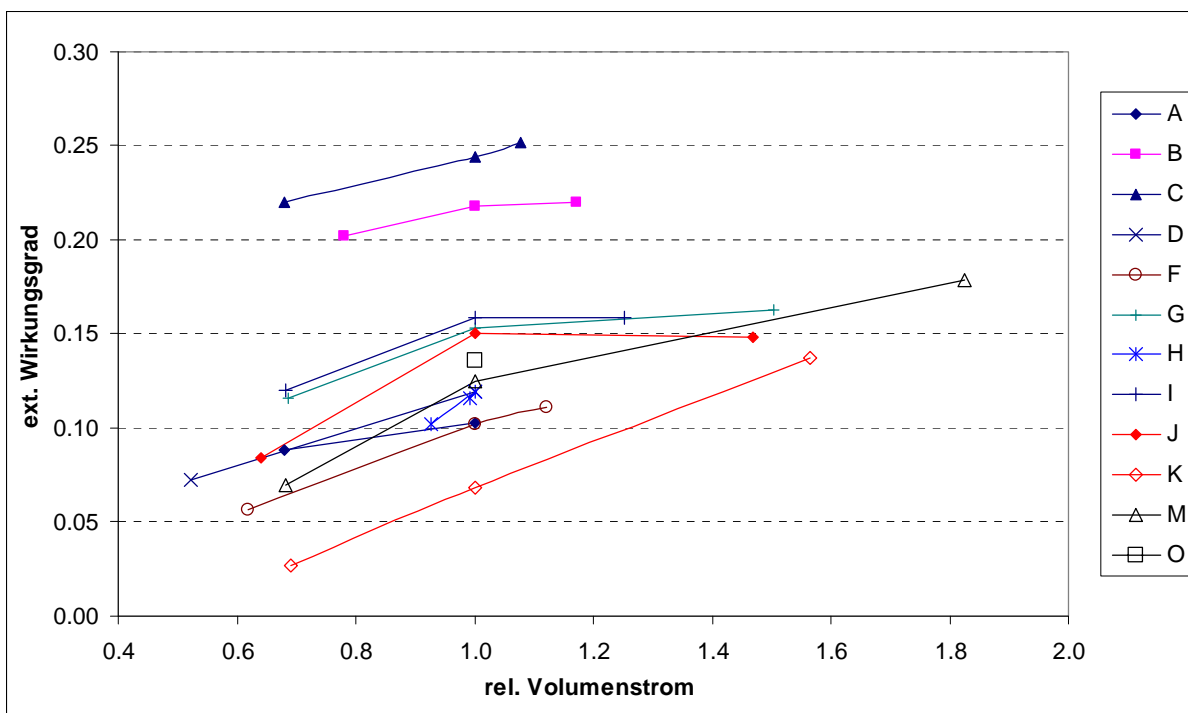
$\frac{q_v}{q_{v,N}}$ relativer Luftvolumenstrom

P elektrische Aufnahmeleistung im Betriebspunkt in W
 P_N elektrische Aufnahmeleistung bei Normalbetrieb in W
 q Luftvolumenstrom im Betriebspunkt in m³/h
 q_N Luftvolumenstrom bei Normalbetrieb in m³/h
 n Exponent

Die Zahl in der Legende der Figur 207 und Figur 208 bezeichnet den Exponenten n .

Bei konstantem Wirkungsgrad ist der Exponent 3. Kleinere Werte bedeuten, dass der Wirkungsgrad vom grösseren zum kleineren Luftvolumenstrom hin abnimmt. SIA 382/1:2007 schlägt einen Exponenten von 2.5 vor. Es ist anzunehmen, dass damit Luftvolumenströme gemeint sind, die typischerweise grösser sind als bei den hier untersuchten Anlagen. Die Figur 207 und Figur 208 zeigen, dass bei Luftvolumenströmen oberhalb des Normalbetriebs der Exponent in einem Bereich zwischen 2.25 und 2.75 liegt und damit der Wert der SIA 382/1:2007 recht gut bestätigt wird.

Bei Luftvolumenströmen unterhalb liegt der Exponenten in einem Bereich von 1.5 bis 2.25. Das heisst, dass der Wirkungsgradabfall höher ist als oberhalb des Normalbetriebs (vgl. Figur 209). Die gleiche Aussage lässt sich auch aus den Figur 203 und Figur 204 ableiten. Die Messunsicherheiten schlagen bei der rechnerischen Bestimmung der Exponenten recht stark durch. Daher soll die Streuung der Werte nicht überinterpretiert werden.



Figur 209: Externer Wirkungsgrad in Funktion des relativen Volumenstroms.

5. Schlussfolgerungen

Interne Leckagen können seit der Neufassung der SN EN 13147-7:2010 [6] mittels Tracer-gasmethode detektiert und geprüft werden. Der Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte an der Hochschule Luzern wurde entsprechend angepasst. Vorteilhaft können die Kompaktlüftungsgeräte nun im eingebauten Zustand als Teil eines Lüftungssystems bewertet werden. Zusätzlich kann nun auch die Leckage über die Gehäusewand ermittelt werden.

Die externe Leckage im Lüftungssystem ist niedriger als bei Projektbeginn vermutet. Diese Leckagen lassen sich qualitativ mit Rauchröhrchen oder einem Rauchgenerator gut orten und auch dokumentieren. Häufig sind es Verbindungsstellen zwischen Lüftungsgeräten und dem Luftverteilsystem. Die Ausführungsqualität hat hier wiederum direkten Einfluss auf die Energieeffizienz des Lüftungssystems.

Bedeutend wichtiger für eine hohe Energieeffizienz ist die Minimierung der internen und externen Druckverluste. Bedingt durch den kleinen Schweizer Markt und dadurch mehrheitlich im Ausland entwickelten und gefertigten Kompaktlüftungsgeräte ist das Verbesserungspotenzial zwar vorhanden, kann aber nur schwer realisiert werden. Durch Einsatz eines überdimensionierten Geräts konnte fallweise gezeigt werden, dass trotzdem noch etwas Handlungsspielraum besteht. Den grössten Einfluss auf den spezifischen Elektrizitätsbedarf für das Lüftungssystem haben aber die gesamten externen Druckverluste. Hier haben es Planer und Ausführende in der Hand eine energieeffiziente Kleinlüftungsanlage zu realisieren. Im Vergleich zum Einfluss der Leckagen sind Druckverluste die grössten Minderer der Energieeffizienz.

Die in Literatur und Normen aufgeführten Dimensionierungsempfehlungen sollten überprüft werden. Wie die Messungen aufzeigen, werden gute SPI nur erreicht, wenn die gesamten externen Druckverluste in der Aussenluft, Zuluft, Abluft und Fortluft unter 150 Pa liegen, das heisst z.B. Aussenluft/Zuluft 80 Pa und Abluft/Fortluft 70 Pa. Bei Geräten mit Rotoren sollten die gesamten externen Druckverluste bei max. 100 Pa liegen.

Die untersuchten Kompaktlüftungsgeräte sind betreffend Leckage über die Gehäusewand grösstenteils genügend dicht, um zu verhindern, dass Umgebungsluft aus dem Aufstellungsort in das Lüftungssystem gelangt. Es ist darauf zu achten, dass der Kondensat-Ablauf des Kompaktlüftungsgeräts korrekt syphoniert wird. Die Kontrolle der Wasserfüllung ist regelmässig durchzuführen. Fallweise ist es vorgekommen, dass in wenig benutzten Bädern die Syphons austrockneten und durch die Abluft des Lüftungssystems Luft aus dem Ablaufrohr angesogen wurde. Dies hat zu unangenehmem Geruchsempfinden geführt.

Etwas überraschend waren nicht fachgerecht geplante und/oder ausgeführte Aussenluft-/Fortluftfassungen zu verzeichnen. Externe Kurzschlüsse zwischen Aussenluft und Fortluft führten dann fallweise zu Geruchsübertragung. Die Geruchsübertragung infolge interner Leckage liegt in derselben Grössenordnung.

Es bestehen Diskrepanzen zwischen Planung und Ausführung. Der Komponenteneinfluss auf den Druckverlust wurde unterschätzt. Eine in der Planung (noch) nicht vorgesehene Filterbox führte zu einem merklichen Anstieg des systemseitigen Druckverlusts.

Die Betriebspunkte sind häufig nicht optimal. Durch grössere Kompaktlüftungsgeräte und /oder kleinere Ventilatoren könnten optimale Betriebspunkte realisiert werden. Obwohl Anlagen mit gutem SPI-Wert betrieben werden, laufen deren Ventilatoren mit schlechtem Wirkungsgrad. Das heisst auch, dass mit geringfügigen Gerätemodifikationen wie kleineren Ventilatoren SPI-Werte im Bereich von 0.17 W/(m³/h) realistisch sind und damit auch der Zielwert gemäss SIA 382/1:2007 erreichbar ist.

Im Minergie-Modul Komfortlüftung wird ein SPI-Wert von $0.34 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ gefordert. Dieser Wert wurde bei einem Drittel der untersuchten Anlagen erreicht. Die Minergie-Anforderung kann damit als moderat bezeichnet werden. In einigen Jahren wäre eine Verschärfung auf $0.28 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ zu empfehlen, was mit dem SFP1 gemäss SIA 382/1:2007 korrespondieren würde.

6. Handlungsempfehlungen

Ausdehnung der Untersuchungen auf Mehrwohnungsanlagen und auf den Nicht-Wohnungsbereich bei vergleichbaren Anlagegrössen.

Die gesamten externen Druckverluste sind auf 150Pa zu beschränken mit entsprechender Empfehlung in SIA Merkblatt 2023:2008 [4] (Revision ist vorgesehen).

Für weitergehende Effizienzsteigerungen sind neue Kompaktlüftungsgeräte mit deutlich geringeren internen Druckverlusten und besseren Ventilatorwirkungsgraden erforderlich. Nach Ansicht der Autoren könnten in bestehenden Gerätegehäusen kleinere Ventilatoren eingebaut werden.

Die Umsetzung der Schlussfolgerungen soll in Weiterbildungskurse für Lüftungsfachleute (z.B. Minergie, energy-cluster) einfließen.

Die Publikation der Ergebnisse soll unter anderem am 17. Statusseminar Forschen und Bauen im Kontext von Energie und Umwelt des brenet an der ETH Zürich 2012 erfolgen.

Der internationale Kontakt soll vor allem über das D-A-CH Expertentreffen Komfortlüftung fortgesetzt werden.

Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Bedeutung
P_{SFP}	$W/(m^3/h)$	Spezifische Ventilatorleistung
P_{SPI}	$W/(m^3/h)$	Spezifischer Elektrizitätsbedarf des Lüftungssystems
P_{EI}	W	Gesamte elektrische Aufnahmeleistung
V	m^3/h	Mittelwert von Zu- und Abluft-Volumenstrom

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
BFE	Bundesamt für Energie
EN	Europäische Norm
SN	Schweizerische Norm
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
HSLU	Hochschule Luzern
SFP	Specific fan power (P_{SFP})
SPI	Specific power Input (P_{SPI})

Literatur/Referenzen

- [1] B. Frei et al., Vergleichende Auswertung schweizerischer Passivhäuser, Schlussbericht BFE Projekt Nr. 100109, Bundesamt für Energie, Bern 2004.
- [2] Lüftung in Wohnbauten, SIA Merkblatt 2023, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich Ausgabe 2004.
- [3] R. Furter et al., Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs von Kleinlüftungsanlagen, Schlussbericht BFE Projekt Nr. 101977, Bundesamt für Energie, Bern 2009.
- [4] Lüftung in Wohnbauten, SIA Merkblatt 2023, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich Ausgabe 2008.
- [5] C.-A. Roulet et al., Real heat recovery in air handling units, Energy and Buildings, Vol. 33 (5), 2001.
- [6] Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 7, Schweizerische Norm SIA 382.247, SN EN 13147-7:2010
- [7] B. Frei et al., Effizienzsteigerung von Kleinlüftungsanlagen in Gebäuden der 2000W-Gesellschaft, 16. Statusseminar Forschen und Bauen im Kontext von Energie und Umwelt, brenet, ETH Zürich, 2010.
- [8] Erhöhung der Energieeffizienz von Kleinlüftungsanlagen, Jahresbericht BFE Projekt Nr. 103227, Bundesamt für Energie, Bern 2009.
- [9] Erhöhung der Energieeffizienz von Kleinlüftungsanlagen, Jahresbericht BFE Projekt Nr. 103227, Bundesamt für Energie, Bern 2010.
- [10] Ventilation for buildings – Components/products for residential ventilation – required and optimal performance characteristics, prEN 13142, 2010
- [11] Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, SIA 382/1, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich Ausgabe 2007

Anhang

Zusammenstellung der Messwerte und Kennzahlen aller untersuchten Anlagen

		ABL/ZUL															η _{text}		
Anlage	Stufe	V' ZUL m³/h	V ABL m³/h	V' mittel m³/h	Leistung (W)	SPI W/m³/h	Leckage (%)	Druckverlust Netz in Pa										Tot	
								AUL	ZUL	ABL	FOI	AUL/ZUL	ABL/FOL						
A	Dagmersellen OG.	1 230	181	206	79	0.38	0.50	53	8	30	31	61	101	122	208	0.09			
B	Rothrist EG.	2 324	280	302	170	0.56	0.40	92	15	60	41	107	101	208	208	0.10			
		1 78	117	98	40	0.41	2.30	51	62	160	25	113	185	298	298	0.20			
		2 115	135	125	72	0.58	2.50	85	115	220	32	200	252	452	452	0.22			
C	Rothrist 1.OG	3 150	143	147	97	0.66	1.70	105	170	220	30	275	250	525	525	0.22			
		1 94	97	96	37	0.39	0.10	62	125	100	20	187	120	307	307	0.22			
		2 140	141	141	80	0.57	0.05	88	195	188	30	283	218	501	501	0.24			
D	Pflungen	3 146	157	152	92	0.61	0.20	92	200	220	38	292	258	550	550	0.25			
		1 147	118	133	25	0.19	0.83	5	18	11	15	23	26	49	49	0.07			
		2 261	247	254	102	0.40	-0.3	19	63	39	51	82	90	172	172	0.12			
E	Oftringen	1 106	105	106	29	0.27	0.34	23	65	2		67							
		2 126	149	138	51	0.37	0.28	35	113	3		116							
		3 210	212	211	145	0.69	0.46	98	198	9		207							
F	Stans	1 109	55	82	36	0.43	0.43	40	21	19	8	61	27	88	88	0.06			
		2 162	103	133	93	0.70	0.7	100	55	68	35	155	103	258	258	0.10			
		3 163	134	149	120	0.81	0.44	105	55	110	53	160	163	323	323	0.11			
G	Bern	1 216	185	201	48	0.24	3.46	20	39	30	11	59	41	100	100	0.12			
		2 276	308	292	96	0.33	1.72	36	62	60	23	98	83	181	181	0.15			
		3 439	439	439	310	0.71		90	158	120	45	248	165	413	413	0.16			
H	Buochs	1 122	116	119	89	0.75	-0.75	83	56	50	85	139	135	274	274	0.10			
		2 123	134	129	97	0.75	-2.7	83	56	67	118	139	185	324	324	0.12			
		3 122	133	128	97	0.76	-3.4	83	55	65	115	138	180	318	318	0.12			
I	Eschenbach	1 104	118	111	36	0.32	0.01	42	31	52	15	73	67	140	140	0.12			
		2 159	167	163	83	0.51	0.02	82	66	109	34	148	143	291	291	0.16			
		3 199	209	204	160	0.78	0.13	133	110	165	40	243	205	448	448	0.16			
J	Kaltbrunn	1 97	94	96	44	0.46	0.05	42	31	52	15	73	67	140	140	0.08			
		2 155	143	149	80	0.54	0.07	82	66	109	34	148	143	291	291	0.15			
		3 235	203	219	184	0.84	0.16	133	110	165	40	243	205	448	448	0.15			
K	Kürtingen Leistung ist schon korrig	1 86	81	84	53	0.63	0.3	14	15	20	13	29	33	62	62	0.03			
		2 114	128	121	69	0.57	0.51	38	26	51	25	64	76	140	140	0.07			
		3 182	197	190	97	0.51	0.75	77	45	96	35	122	131	253	253	0.14			
L	Dagmersellen EG	1 247	47	247	53	0.21													
		2 316	66	316	112	0.35													
		3 406	88	406	155	0.38													
M	Horw	1 84	83	84	17	0.20		9	15	18	9	24	27	51	51	0.07			
		2 122	123	123	30	0.24		24	33	37	16	57	53	110	110	0.12			
		3 225	222	224	120	0.54		86	110	112	37	196	149	345	345	0.18			
N	Muri	1 119	85	102	25	0.25	3.20%					0	0	0	0	0.00			
O	Knonau	2 151	131	141	43	0.30		54	29	62	4	83	66	149	149	0.14			
P	Willisau (semizentrale, Wert nu	1573	1352	1463	110	0.08	4.07%	40	21	19	8	61	27	88	88	0.33			
Q	Luzern	2 111	104	108	100	0.93						96	132	228	228	0.07			
R	Stans Neuweg	2 145	120	133	52	0.39						62	35	97	97	0.07			
S	Knonau Baumgartenweg	2 118	109	114	34	0.30						47	91	138	138	0.13			
T	Stansstad	0.6	200	192	196	0.59						82	95	177	177	0.08			

Tabelle 1: Zusammenstellung der Messwerte und Kennzahlen aller untersuchten Anlagen.

Messgerätespezifikation

Volumenstrom

Fabrikat: Acin
Typ: Flowfinder 300
Log. Nr.: 1.08 HP 299
Messbereich: 0 ... 300 m³/h
Messunsicherheit: 3-5%, minimal 3m³/h

Konzentration

Fabrikat: Brüel & Kjær
Typ: 1302 Multigasmonitor
Log. Nr.: 1.11 HP 030
Messbereich: 5·10⁻³ ppm ... 5000 ppm
Messunsicherheit: 4%

Fabrikat: Brüel & Kjær
Typ: 1303 Mehrpunkt-Sampler
Log. Nr.: 1.11 HP 031
Kanäle: 6

Massendurchfluss zur Dosierung

Fabrikat: Bronkhorst
Typ: F-201 CV-5K0-AAD-44-E
Log. Nr.: 1.08 HP 361
Messbereich: 0.00005 ... 0.0025 g/s

Druck

Fabrikat: DP-CALC
Typ: 8702-M-D
Log. Nr.: 1.07 HP 183
Messbereich: -1245 ... +3755 Pa
Messunsicherheit: ± 1% v. Messwert ± 1 Pa

Elektrische Energie und Leistung

Fabrikat: EMU Elektronil AG
Typ: EMU1.24K
Log. Nr.: 1.13 HP 081
Messbereich: 0... 999W , 1.00....2.56kW
Genauigkeitsklasse: 2 (in % des Messbereichs)