



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 31. März 2010

Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs von Klein-Lüftungsanlagen

Auftraggeber:

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

Kofinanzierung:

Hovalwerk AG, FL-9490 Vaduz
Nilan AG, CH-8902 Urdorf
Cosmatech AG, CH-8630 Rüti
Axpo Naturstrom Fonds, CH-8036 Zürich

Auftragnehmer:

Hochschule Luzern Technik & Architektur
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch

energie-cluster.ch
Seilerstrasse 22
CH-3011 Bern
www.energie-cluster.ch

Autoren:

Rudolf Furter, Hochschule Luzern Technik & Architektur, rudolf.furter@hslu.ch
Ernesto Casartelli, Hochschule Luzern Technik & Architektur, ernesto.casartelli@hslu.ch
Markus Lang, Hochschule Luzern Technik & Architektur

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 152440 / 101977

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	5
2. Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	7
2.1 Abgrenzung	7
2.2 Umfeld und Randbedingungen.....	8
3. Methode.....	11
4. Resultate.....	13
4.1 Analyse heutiger Kleinlüftungsanlagen	13
4.2 Katalog von möglichen Mängeln und Verbesserungsmassnahmen.....	37
4.3 Massnahmen an Kompaktlüftungsgeräten.....	40
4.4 Verbesserung von Komponenten und Systemen	54
5. Diskussion	60
6. Schlussfolgerungen	61
7. Umsetzung.....	63
Symbolverzeichnis.....	64
Abkürzungen.....	64
Referenzen	65
Anhang	66

Zusammenfassung

Kleinlüftungsanlagen - auch Komfortlüftungen genannt - müssen den Anforderungen an Energieeffizienz, Komfort und Hygiene genügen. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass kaum Anlagen den SIA-Zielwert für den spezifischen elektrischen Leistungsbedarf erreichen, aber auch den Grenzwert häufig überschreiten. Obwohl die meisten Komfortlüftungsgeräte heute mit effizienten Gleichstrom- resp. EC-Motoren ausgerüstet sind, werden die Minimalanforderungen selten erfüllt.

Um die gegenwärtige Situation bei den Lüftungsgeräten und bei Lüftungsanlagen in Wohnungen und Einfamilienhäusern besser beurteilen zu können, wurden exemplarische Messungen der elektrischen Leistungsaufnahme durchgeführt. Bei neun verschiedenen Lüftungsgeräten wurden beim Nennluftstrom Luftnetze mit unterschiedlichen Druckverlusten simuliert. So können die Lüftungsgeräte untereinander verglichen werden. Mit den in der Fachliteratur empfohlenen externen Druckverlusten von max. 100 Pa erreicht keines der Lüftungsgeräte den SIA-Zielwert. Einige Geräte liegen sogar über dem alten SIA-Grenzwert, welcher in 2008 abgelöst wurde. Um Werte im Bereich zwischen Grenz- und Zielwert der Neuauflage des SIA-Merkblattes 2023 anzustreben, muss ein externer Druckverlust von etwa 50 Pa eingehalten werden. Der Einsatz unterschiedlicher Filterklassen oder Ventilatorsteuerungen zeigen keine eindeutigen Tendenzen auf die spezifische elektrische Aufnahmeleistung. Die untersuchten Einfamilienhäuser schneiden deutlich besser ab als die Maisonette- und Geschosswohnungen.

Wichtige Erkenntnisse aus dieser Arbeit sind, dass die internen Druckverluste der Lüftungsgeräte weiter reduziert werden müssen, und die Planungsempfehlung von 100 Pa für das Luftnetz ist zu überdenken. Ebenfalls müssen hygienische Forderungen stärker beachtet werden. Dazu gehören Filterklassen, Materialien, Leckagen und die Zugänglichkeit für die Reinigung.

Abstract

Residential ventilation systems – also known as comfort ventilation systems – have to fulfill the demand on energy efficiency, comfort and hygiene. It is known from different investigations that hardly any ventilation system reaches the SIA target value but often exceed the limit value. The minimum demand is rarely achieved although most of the comfort ventilation systems are equipped with efficient DC or EC motors.

Exemplary measurements of the electrical power consumption have been realized in order to estimate the current situation of the ventilation systems and of air handling units in apartments and single family houses. Air networks were simulated at nominal air flow with different pressure losses for nine different ventilation units. This allows the ventilation units to be compared among each other. With in technical literature recommended external pressure losses of max. 100 Pa no ventilation unit reaches the SIA target value. Some units have even higher values than the former SIA limit value which was replaced by the present one in 2008. To reach results in the range between limit and target value of the new edition of the SIA technical booklet 2023 an external pressure loss of around 50 Pa has to be maintained. Different filter qualities or ventilation controls show no clear trend. The investigated single family houses come off better than the apartments.

The most important conclusion of this work is that the internal pressure losses of the ventilation units have to be reduced and the design recommendation of 100 Pa for the air network has to be reconsidered. Also hygienic requirements must be respected more rigorously. These include filter classes, materials, leakages and service accessibility.

1. Ausgangslage

Klein-Lüftungsanlagen, heute auch Komfortlüftungsanlagen genannt, sollen den Ansprüchen für die elektrische Energie gemäss SIA Merkblatt 2023:2004 [1] genügen. Gemeint ist die spezifische Ventilatorleistung p_{SFP} , die folgendermassen definiert ist:

$$P_{SFP} = P_{el}/V \quad (1)$$

wobei:

P_{el} die totale elektrische Aufnahmeleistung von Ventilatoren, Steuerung und Hilfsantrieben (wie für WRG-Rotoren) in [W]

V Mittelwert von Zu- und Abluftvolumenstrom in [m^3/h]; bei mehreren möglichen Betriebsstufen gilt der Nennluftvolumenstrom (gemessen beim Ventilator)

Die Kontrollmessung wird mit neuen Filtern durchgeführt.

Im Hinblick auf die Minimierung des Energiebedarfs ist für jede Anlage das Konzept für die Betriebsführung individuell festzuhalten und entsprechend in den Übergabedokumenten festzuhalten.

In der Ausgabe 2004 des SIA Merkblattes [1] ist der Grenzwert für den p_{SFP} bei ≤ 0.42 $W/(m^3/h)$ und der Zielwert um 0.2 $W/(m^3/h)$ anzustreben. Es gibt keine explizite Unterscheidung für verschiedene Anlagentypen.

Das Merkblatt des BFE [4] stimmt mit dem Grenzwert des SIA Merkblattes etwa überein. Verschiedene Untersuchungen zeigen aber, dass auch dieser Grenzwert kaum eingehalten werden kann.

In der neuen Ausgabe des SIA Merkblattes 2023 [2] werden für sogenannte einfache Lüftungsanlagen mit den Funktionen Luftzuführung, Filtern, zumeist Wärmerückgewinnung (WRG), Abluftabführung neue Werte definiert. Grenz- und Zielwert bewegen sich zwischen 0.28 $W/(m^3/h)$ resp. 0.17 $W/(m^3/h)$.

In der SIA 382/1:2007 [3] werden die spezifischen Ventilatorleistungen separat für Zuluft- und Abluftventilator ausgewiesen. Für eine einfache Lüftungsanlage ergeben sich entsprechend addierte Werte für den Grenzwert von 0.28 $W/(m^3/h)$ und für den Zielwert von 0.17 $W/(m^3/h)$. Damit herrscht eine Übereinstimmung mit dem neuen SIA Merkblatt, in dem aber die totale elektrische Aufnahmeleistung von Ventilatoren, Steuerung und Hilfsantriebe (z.B. Rotor-Antriebe) eingesetzt wird. Nach SIA 382/1 [3] kann, wenn mit der WRG die Zulufttemperatur auf über $17^\circ C$ gehalten wird, der Farbcode für die Zuluft wie für Lüftungsanlagen mit Lufterwärmung verwendet werden. Ob das nur für den Farbcode gilt oder auch für die spezifische Ventilatorleistung p_{SFP} ist unklar. Ausgehend von einer Vereisungsgrenze bei $-3^\circ C$ erreichen heute gute Geräte, mit einem Temperaturverhältnis von ca. 85% auf Zuluft bezogen, diesen Wert.

Es stellt sich die Frage, ob Komfortlüftungen mit Wärmerückgewinnung nicht auch in die Kategorie Lüftungsanlage mit Lufterwärmer mit Grenz- und Zielwert zwischen 0.34 $W/(m^3/h)$ resp. 0.22 $W/(m^3/h)$ gehören sollten. Diese Werte entsprechen eher den realen Zahlen aus verschiedenen Messungen.

Verschiedene Untersuchungen wie z.B. im BFE-Projekt *Vergleichende Auswertung schweizerischer Passivhäuser* [5] zeigen, dass für zentrale Lüftungsgeräte der Grenzwert auch nach dem alten SIA Merkblatt wie auch nach dem BFE Merkblatt kaum eingehalten werden.

Die Untersuchungen in den früheren Projekten betreffend der spezifischen elektrischen Aufnahmeleistung bei Normalbetrieb basieren praktisch immer nur auf Messungen der elektrischen Energie und dem zugeordneten Nennluftstrom. Druckverlustmessungen für das Luftverteilssystem wurden kaum jemals durchgeführt. Somit kann keine eindeutige Aussage gemacht werden, ob die Ursache für die Überschreitung des Grenzwertes beim Lüftungsgerät oder bei der Luftverteilung zu suchen ist.

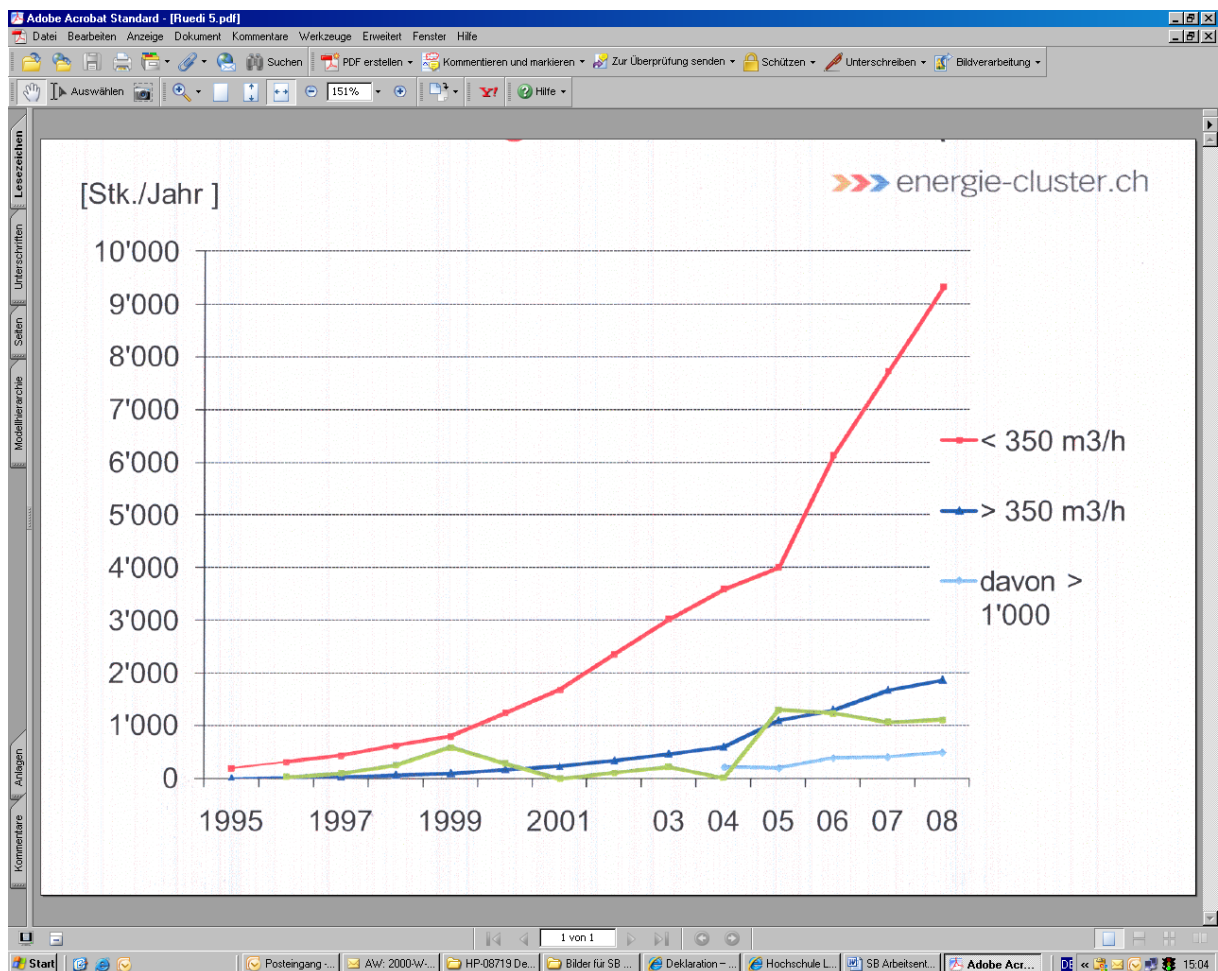
Im KTI-Projekt *Prüfung von Kompaktlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung oder Abluftwärmepumpe* [6] zeigte sich, dass bei den befragten Gruppen von Architekten, Planer und

Unternehmer gut 60 % die Frage, ob sie schon Probleme mit den Lüftungsgeräten gehabt hatten, mit ja beantworteten. Am meisten wurden Probleme mit Lärm genannt. Etwas weniger ausgeprägt wurden der Energieverbrauch, die Bedienung, aber auch nicht eingehaltene Leistungsdaten beanstandet. Die gleiche Frage wurde von der Gruppe der Bauherren mit knapp 60% ebenfalls mit ja beantwortet. Hier stand der Energieverbrauch klar an erster Stelle.

Die Folgerung aus diesem Projekt war, dass an der HTA Luzern ein entsprechender Prüfstand aufgebaut werden sollte. Auf Anregung des BFE wurde als Vorbereitung für den Prüfstandaufbau in einem Vorprojekt ein *Prüfreglement für Kompakt-Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und/oder Wärmepumpe* [7] ausgearbeitet. Im Anschluss wurde der Prüfstand aufgebaut. Die Inbetriebsetzung erfolgte mit einem Kompaktlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung, Abluftwärmepumpe und Brauchwarmwasserspeicher. Einige Ergebnisse sind im BFE Zwischenbericht [8] enthalten. Bis 2006 konnten mit finanzieller Beteiligung des BFE noch weitere Komfortlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung gemessen werden. Im BFE Schlussbericht [9] wurden einige der Ergebnisse publiziert.

Potenzial

Im Vorfeld dieses Projektes wurde von ca. 3000 Wohneinheiten jährlich mit steigender Tendenz ausgegangen. Die neueste Erhebung von energie-cluster.ch (siehe Fig. 1) zeigt die Verkaufszahlen.



Figur 1: Markterhebung energie-cluster.ch

Die Verkaufszahlen ab 2005 bis 2008 zeigen einen deutlichen Anstieg insbesondere bei den Lüftungsgeräten mit einem Einsatzbereich unter 350 m³/h, d.h. im Bereich von Einfamilienhäusern und Wohnungen. Der Anstieg im Segment der Geräte mit Luftvolumenströmen höher als 350 m³/h (Mehrfamilienhäuser) ist deutlich flacher. Die seinerzeit prognostizierte Zunahme der neuen Lüftungsanlagen von ca. 5000 Einheiten jährlich, mit einer gewissen Unsi-

cherheit bei der Anzahl Wohnungen bei Mehrfamilienhäusern und kleinere Dienstleistungs- und Schulgebäude, dürfte somit zutreffen. Ob allerdings auch die erwartete Einsparung an elektrischer Energie von etwa 3 GWh jährlich in den nächsten 5 Jahren als Folge dieses Projektes eintreffen wird, ist aufgrund der bisherigen Erkenntnisse in Frage zu stellen.

2. Aufgabenstellung und Zielsetzung

Einige der Projektziele waren unter aktivem Einbezug der Projektpartner geplant. Im Zuge des Projektverlaufs konnten aber nur wenige solche Arbeiten, z.B. Strömungssimulationen, durchgeführt werden. Um trotzdem relevante Aussagen machen zu können, musste auf verschiedene Quellen zurückgegriffen werden. Dabei handelt es sich teilweise um anonymisierte Messwerte, Herstellerangaben und Literaturwerte.

Die Gründe, dass häufig sogar die Grenzwerte gemäss dem alten SIA Merkblatt 2023 [1] für die spezifische elektrische Aufnahmeleistung nicht erreicht werden, sollen analysiert werden. Dazu müssen folgende Fragen gestellt werden:

- Liegen die Ursachen beim Planer, bei der Ausführung oder sind sie bei den Lüftungsgeräten oder den Komponenten der Luftverteilung zu suchen?
- Liegen die Ursachen möglicherweise auch in verschiedenen Bereichen?
- Sind die technischen Daten für das Lüftungsgerät vollständig und verständlich?
- Sind die technischen Angaben für die Dimensionierung der Komponenten für die Luftverteilung genügend?

Planer und Unternehmer:

- Wurde eine Druckverlustberechnung durchgeführt?
- Sind die Ausführungspläne für die Verlegung der Luftverteilung vorhanden und vollständig?
- Ist die Verlegung der Luftverteilung dokumentiert worden (Fotos)?
- Ist ein korrektes Abnahmeprotokoll erstellt worden?

Folgende wichtige Punkte sind zu überprüfen:

- Ist der Ansatz gem. Fachliteratur für die Dimensionierung des Luftverteilsystems mit max. 100 Pa externem Druckverlust bei Nenn- /Betriebluftvolumenstrom je für Zu- luft/Aussenluft sowie Abluft/Fortluft zur Erreichung der Ziel- resp. der Grenzwerte richtig?
- Beurteilung verschiedener Frostschutzstrategien auf den spezifischen elektrischen Leistungsbedarf.
- Akustik und Hygiene (Filterwechsel, Zugänglichkeit für die Reinigung).
- Einbezug der Planer, Unternehmer und Hersteller von Geräten und Komponenten.

2.1 Abgrenzung

Es werden keine Berechnungen nach SIA 380/1 resp. *MINERGIE*[®] durchgeführt.

Es werden keine neuen Produkte entwickelt.

Für die Planung von Komfortlüftungsanlagen gibt es viele gute Planungsunterlagen wie z.B. *Leistungsgarantie Komfortlüftung mit Dimensionierungshilfe Komfortlüftung* und *Abnahmeprotokoll Komfortlüftung* [10], *Planer-Kit* [11] mit Ergänzung von *Energie Schweiz / MINERGIE*, sowie verschiedene Literaturquellen [12], [13], [14]. Diese Unterlagen wurden bei Bedarf herangezogen. Dieses Projekt hat somit nicht zum Ziel, neue Planungsmethoden zu definieren. Es soll aber erkannte kritische Punkte aufzeigen und hinterfragen.

Zur vollständigen Beurteilung ist nebst dem Elektrizitätsverbrauch auch die thermische Effizienz wichtig, wie sie bei der *Deklaration Komfortlüftungsgeräte* [15] zur Anwendung kommt. Dies wird in dieser Arbeit aus der Sicht Druckverlust und Frostschutz behandelt. Diese Einflüsse haben aber auch direkte Konsequenzen auf die thermische Effizienz.

Hygienische Aspekte haben ebenfalls einen grossen Einfluss auf die Effizienz einer Anlage. Entsprechende Hinweise werden gemacht. Dies betrifft hauptsächlich die Luftfilter.

Häufige Probleme mit Schall haben sehr direkt auch mit dem Anlagekonzept zu tun. Ohne auf schalltechnische Berechnungen einzugehen, werden entsprechende Empfehlungen gemacht.

Brandschutzfragen bezüglich Materialien und Anlagekonzept werden hier nicht behandelt.

2.2 Umfeld und Randbedingungen

Ein grundsätzliches Problem für eine einheitliche Beurteilung ist, dass es keine Einheits-Lüftungssysteme gibt. Jedes Haus, jede Überbauung ist ein Unikat mit unterschiedlichen Situationen und Ansprüchen, die nicht direkt auf andere Objekte übertragen werden können. Selbstverständlich gibt es - wie bereits erwähnt - viele allgemeine Regeln, die bekannt sind und eingehalten werden müssten. Trotzdem werden sehr häufig die Zielvorgaben nicht erreicht. Eine IG Modul Komfortlüftung hat sich zum Ziel gesetzt, ein MINERGIE®-Modul zu definieren, das die geplanten Vorgaben erfüllen soll. Diese Interessengemeinschaft ist aber noch am Anfang ihrer Tätigkeiten.

Ein anderes Problem aus heutiger Sicht ist die Vergleichbarkeit der Geräteprüfungen. Eine wichtige Grösse ist der sogenannte Nennluftstrom im Normalbetrieb, der damit verbundene Druckverlust der Lüftungsanlage und somit die spezifische elektrische Leistungsaufnahme p_{SFP} . Mit dem Nennluftstrom ist der Luftvolumenstrom gemeint, der die häufigsten Betriebsstunden aufweist und die Erneuerung des hygienisch notwendigen Frischluftbedarfs gewährleistet. Kleine Unterschiede in den Ansätzen von SIA und MINERGIE® sind in dieser Betrachtung kaum relevant.

Die Steuerung der Lüftungsgeräte ermöglicht heute praktisch ausnahmslos die Einstellung von 3 Lüfterstufen. Dabei ist in der Regel die Stufe 2 für den Normalbetrieb vorgesehen. Die Stufe 1 ist für einen reduzierten Luftstrom, z.B. nachts oder bei Abwesenheit vorgesehen und die Stufe 3 wird oft als sogenannte Partylüftung bezeichnet. Wichtig ist, dass der Betrieb auf Stufe 3 nach einer gewissen Zeit automatisch wieder auf Stufe 2 zurückschaltet, damit kein unnötiger Energieverbrauch verursacht wird.

Einige Steuerungen bieten noch weitere Optionen an, wie z.B. eine CO₂- oder Feuchteregulierung. Diese zusätzlichen Regelungsmöglichkeiten haben natürlich einen Einfluss auf die spezifische elektrische Aufnahmeleistung, sind aber sehr objektspezifisch und nutzerabhängig und werden hier nicht weiter betrachtet.

Für den Energieverbrauch ist auch die Frostschutzstrategie des Lüftungsgerätes sehr wichtig. Auf die verschiedenen Strategien wird noch eingegangen. Auf Feldmessungen wurde verzichtet, da einerseits nur eine oder zwei Strategien ausgewählt werden konnten und andererseits die Ergebnisse infolge der Einstellung am Gerät eher zufällig gewesen wären. Ebenfalls nicht beeinflussbar sind die Aussenlufttemperatur resp. Fortlufttemperatur, die den Vereisungsschutz auslösen. Aussagen wären somit nur für das zufällig gewählte Objekt zutreffend gewesen. Deshalb werden Beurteilungen bezüglich Frostschutz auf allgemeiner vereinfachter theoretischer Basis gemacht.

2.2.1 Vergleichbarkeit der verschiedenen Geräteprüfungen

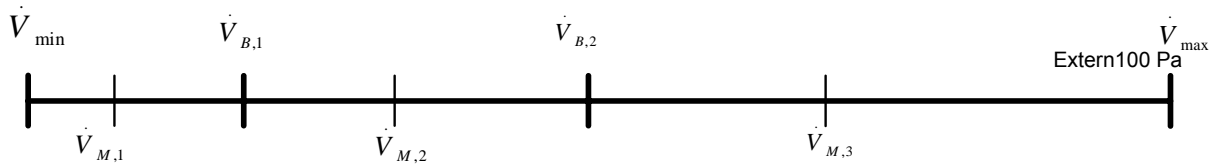
Bei diesem Vergleich werden die unterschiedlichen Ansätze für die Bestimmung der Messvolumenströme und die zugehörigen externen Drücke betrachtet.

Geräteprüfung nach DIBt (*Deutsches Institut für Bautechnik*)

Der maximale Volumenstrom wird bei einem statischen Differenzdruck von 100 Pa für das externe Kanalnetz festgelegt. Je nach Verhältnis zwischen maximalem und minimalem Luftvolumenstrom werden 2 bis 3 Messvolumenströme (siehe Fig. 2) festgelegt, die auf der Systemkennlinie liegen. Da für den maximalen Volumenstrom keine thermodynamische Prüfung durchgeführt wird, weisen somit alle gemessenen Volumenströme externe statische Drücke

von weniger als 100 Pa entsprechend der Lage auf der Anlagekennlinie auf. Prüfergebnisse werden im Bulletin des TZWL [16] publiziert.

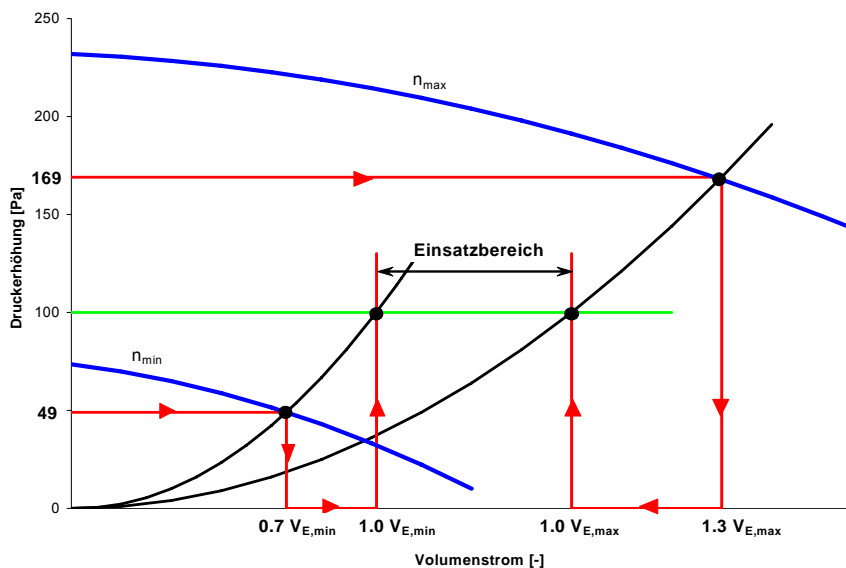
Festlegung der Volumenströme für die thermodynamischen Messungen nach DIBt:



Figur 2: Einteilung der Luftvolumenströme nach DIBt

Geräteprüfung nach Passivhaus Institut Darmstadt

Der maximale Volumenstrom wird bestimmt, bei dem das Gerät auf der maximaler Stufe oder Drehzahl noch einen externen statischen Druckverlust von $100 \text{ Pa} \times 1.3^2 = 169 \text{ Pa}$ erzeugen kann (siehe Fig. 3). Auf der Anlagekennlinie ergibt sich bei 100 Pa der obere Volumenstrom des Einsatzbereiches. Der minimale Volumenstrom wird bestimmt, in dem das Gerät auf minimaler Stufe oder Drehzahl noch einen externen statischen Druck von 49 Pa erzeugen kann. Die Anlagekennlinie durch diesen Punkt ergibt bei 100 Pa den unteren Volumenstrom des Einsatzbereiches (siehe Fig.3).



Figur 3: Bestimmung des Einsatzbereiches nach PHI

Bei Geräten mit geringem Betriebsbereich ist oft nur ein Messpunkt erforderlich. Ist das Verhältnis zwischen dem hohen und dem niedrigen Wert grösser als $1.6 : 1$, so ist mehr als ein Messpunkt erforderlich ähnlich dem Ansatz des DIBt. Hierfür wird der Volumenstrombereich in gleich grosse Teilbereiche aufgeteilt, die wiederum im Verhältnis $\leq 1.6 : 1$ bleiben müssen. Innerhalb dieser Teilbereiche wird jeweils beim mittleren Volumenstromwert gemessen. Die externe Pressung beträgt generell 100 Pa . Der aufgeprägte Druckabfall wird gleichmässig auf Saug- und Druckseite verteilt [17].

Geräteprüfung nach Prüfreglement der HSLU (HTA) Luzern

Das Prüfreglement der HTA Luzern [18] orientiert sich an den Anforderungen der EN 13141-7 [19]. Allerdings ist diese Norm für Geräteprüfungen nur beschränkt anwendbar. Die zu messenden Luftvolumenströme können nach den Anforderungen des DIBt's oder des Passivhaus Instituts gewählt werden. Grundsätzlich, d.h. in Abweichung zum Prüfreglement des DIBt's werden die thermodynamischen und auch die akustischen Messungen generell mit einer externen Pressung von 100 Pa durchgeführt und sind somit vergleichbar mit dem Ansatz vom Passivhaus Institut. Gegenwärtig ist die EN 13141-7 [19] in Überarbeitung. Nach Inkrafttreten der prEN 13141-7 [20] als verbindliche Prüfnorm, werden nationale Reglemente angepasst oder ganz aufgehoben.

Geräteprüfung nach prEN 13141-7

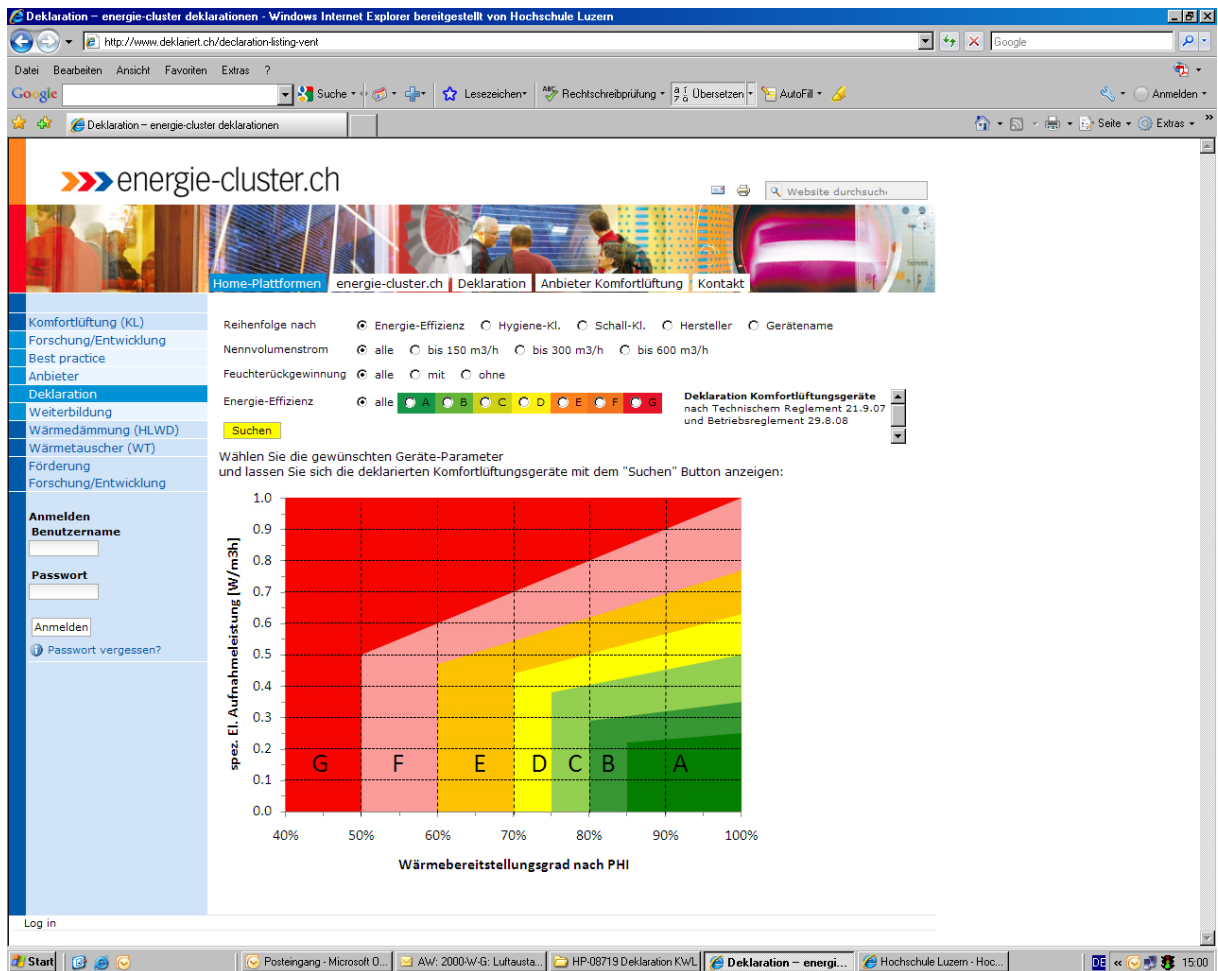
Dieser Entwurf [20] ist gegenwärtig in der Vernehmlassung. Einsprachesitzungen erfolgten anfangs Juni und Dezember 2009. Somit kann aus heutiger Sicht noch nichts Endgültiges gesagt werden. Im Entwurf ist vorgesehen, dass die Messungen beim maximalen Volumenstrom bei einem externen statischen Druckverlust von 100 Pa durchgeführt werden. Je nach Verhältnis von maximalem zu minimalem Volumenstrom werden die Messungen bei 2 resp. 3 Volumenströmen durchgeführt. Die Definition des sogenannten Nennluftvolumenstromes, d.h. der Luftvolumenstrom mit den meisten Betriebsstunden ist nicht klar formuliert. Die vorgesehenen Aussenluftkonditionen orientieren sich eher an der Norm für Wärmepumpen und sind mit Prüfungen nach heutigen Reglementen nicht mehr gut vergleichbar. Diskussionen sind somit vorauszusehen.

2.2.2 Deklaration Komfortlüftungsgeräte

Die Deklaration Komfortlüftungsgeräte, die im November 2008 anlässlich der Hausbau und Energiemesse mit einer Homepage eröffnet wurde, bezweckt grundsätzlich eine Klassierung der Lüftungsgeräte nach einheitlichen Kriterien. Es werden Energieeffizienz (siehe Fig. 4), Hygiene und Schall klassiert. Eine Homologisierung von Prüfungen z.B. nach DIBt ist grundsätzlich möglich. Die Daten müssen aber gemäss technischem Reglement [21] umgerechnet werden. Die Umrechnung auf 100 Pa extern bei Nennluftstrom hat in einigen Fällen zu unerwarteten Überraschungen geführt. Die Deklaration ist bis Ende 2009 noch in der Pilotphase. Das technische Reglement ist in Überarbeitung und stützt sich grundsätzlich auf die prEN 13141-7 [20] ab.

Die kombinierte energetische Beurteilung wird bei Nennvolumenstrom und 100 Pa externem Druckverlust durchgeführt. Um die Klasse A zu erreichen, wird ein Wärmebereitstellungsgrad nach Passivhaus Institut Darmstadt (PHI) von mindestens 85% und eine spezifische elektrische Aufnahmeleistung p_{SFP} von $0.21 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ verlangt. Dies sind die Werte für den oberen linken Eckpunkt für Klasse A (siehe Fig. 4). Der Wärmebereitstellungsgrad nach PHI ist auf die Abluft- / Fortluftseite bezogen. Die Leckage von der Abluft in die Zuluft ist also bereits berücksichtigt. Bis jetzt hat noch kein deklariertes Gerät die Energieklasse A erreichen können.

Gegenwärtig herrscht noch ein grosses Begriffsdurcheinander bei der Beurteilung der thermischen Effizienz der Komfortlüftungsgeräte. Ohne auf Einzelheiten einzugehen, muss doch erwähnt werden, dass der Wärmebereitstellungsgrad nach PHI nicht mit dem Wärmebereitstellungsgrad nach DIBt vergleichbar ist. Ebenso sind Begriffe wie Temperaturänderungsgrad oder Temperaturverhältnis nicht mit den vorher erwähnten Wärmebereitstellungsgraden gleichzusetzen.



Figur 4: Kombinierte energetische Beurteilung Deklaration

3. Methode

In einer ersten Phase wurden mehrere Komfortlüftungsgeräte bei verschiedenen externen statischen Druckverlusten aufgrund von Labormessungen auf den p_{SFP} überprüft. Damit ist der Einfluss des Lüftungsgerätes bei vergleichbaren externen Druckverlusten auf den SFP-Wert zu überprüfen. Auch die Auslegung des Luftnetzes nach dem heute verbreiteten Ansatz von max. 100 Pa externem Druckverlust muss kritisch hinterfragt werden.



Figur 5: Bestimmung der spez. elektrischen Leistungsaufnahme SFP im Labor

Die Messung des SFP-Wertes im Labor erfolgt mit einem Versuchsaufbau gemäss Figur 5. Der Luftvolumenstrom für Zuluft und Abluft wird möglichst ausbalanciert eingestellt und der externe statische Druckverlust wird für beide Luftströme gleichmassig mit Drosseln eingestellt. Mit einem Präzisionsmessgerät wird die Wirkleistungsaufnahme des Lüftungsgerätes gemessen.

Mit einer CFD-Simulation (Computational Fluid Dynamics) wurde bei einem Lüftungsgerät Verbesserungsmöglichkeiten bei der An- und Abströmung beim Ventilator untersucht.

Bei einer Diplomarbeit [22] an der Elektroabteilung der Hochschule Luzern Technik & Architektur im Jahre 2008 wurde ein Motorenprüfstand aufgebaut. Es wurden unter anderem auch Wirkungsgradmessungen mit dem gleichen Typ EC-Motor wie im vorher erwähnten Lüftungsgerät durchgeführt.

Wie bereits gesagt wurde auf eine experimentelle Untersuchung des Vereisungsschutzes verzichtet. Eine Feldmessung würde sehr viele Unsicherheiten beinhalten und die Randeinflüsse hätten einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse. Deshalb wird die Problematik des Vereisungsschutzes theoretisch behandelt.

Für eine Beurteilung einer Komfortlüftungsanlage, die ein handelsübliches Lüftungsgerät und ein gut geplantes Luftverteilsystem umfassen, sollen die sensiblen Faktoren bezüglich Druckverlust und damit auch die Auswirkungen auf die spezifische elektrische Leistungsaufnahme aufgezeigt werden. Auf Schall und hygienische Fragen wird hingewiesen.

An einigen neueren Objekten wurden Messungen durchgeführt. Diese Messungen sollen die tatsächlichen Luftvolumenströme, die externen Druckverluste, die elektrische Leistungsaufnahme des Lüftungsgerätes und teilweise auch Schalldruckpegel aufzeigen und werden, soweit möglich, mit den Planungsvorgaben verglichen. Mit diesen Beispielen soll der heutige Stand der Technik im Bereich Komfortlüftungsanlagen aufgezeigt werden. Die Zusammenarbeit mit den Industriepartnern in diesem Projektteil konnte leider nicht wie vorgesehen durchgeführt werden, da sie nur Lieferanten waren und somit selten Planungsarbeiten durchführten. Verbesserungen, die aus der Planung und der Ausführung hätten erkannt werden sollen, konnten deshalb nicht rechtzeitig gemacht werden. Die Anlagen waren in der Regel bereits fertig erstellt oder in einem so weit fortgeschrittenen Ausführungsstadium, das keine Änderungen mehr ermöglichte. Eigentliche Planer konnten trotz intensiven Bemühungen nicht als Projektpartner gewonnen werden.

Aus diesem Grund ist auch die geplante Dokumentation von Musteranlagen, die zusammen mit den Systemanbietern realisiert werden sollte, nicht möglich geworden. Die aufgearbeiteten Anlagebeispiele, auch mit Komponenten von anderen Lieferanten, sind Musteranlagen im positiven wie auch im negativen Sinn.

Für die Umsetzung dieser Erkenntnisse durch energie-cluster.ch können sicher beide Situationen einen wichtigen Input liefern.

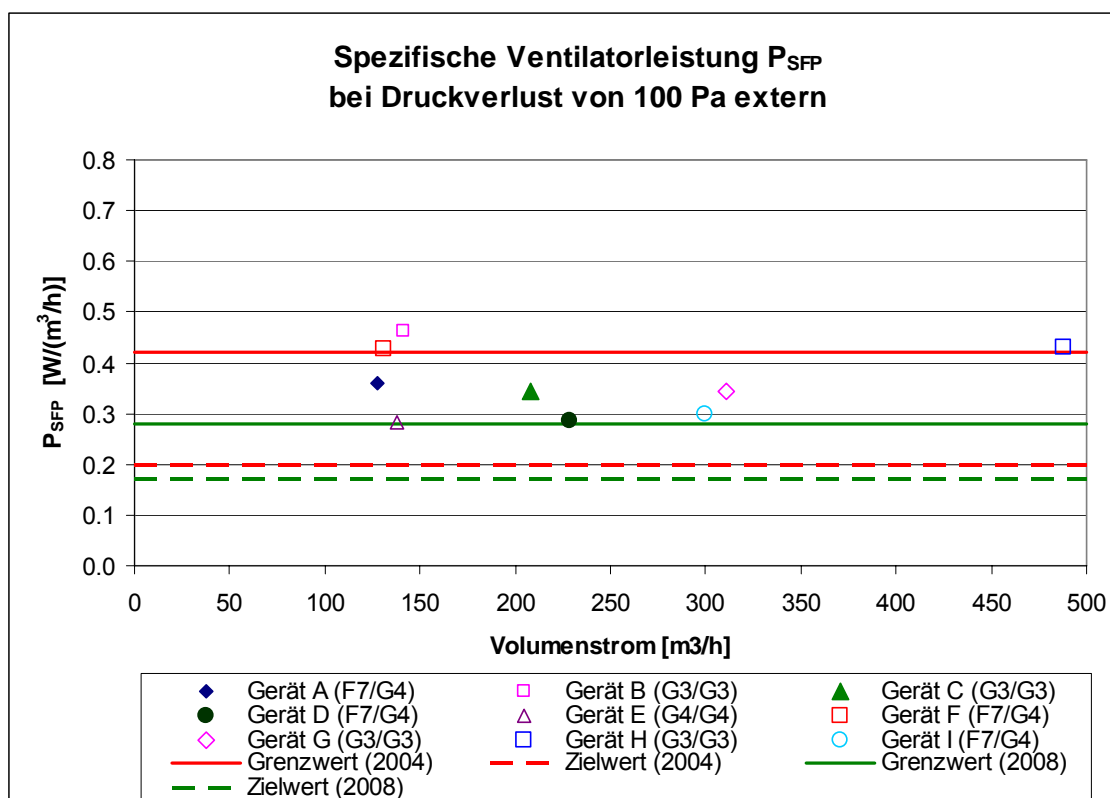
4. Resultate

4.1 Analyse heutiger Kleinlüftungsanlagen

An einigen Komfortlüftungsgeräten wurden Labormessungen bezüglich der spezifischen elektrischen Leistungsaufnahme durchgeführt.

4.1.1 Spezifische elektrische Leistungsaufnahme von Komfortlüftungsgeräten bei Nennluftstrom

Messungen im Labor gemäss Fig. 5. In den nachstehenden Diagrammen sind die volumenstromgeregelten Lüftungsgeräte mit ausgefüllten Symbolen, die unregulierten Geräte mit leeren Symbolen dargestellt.

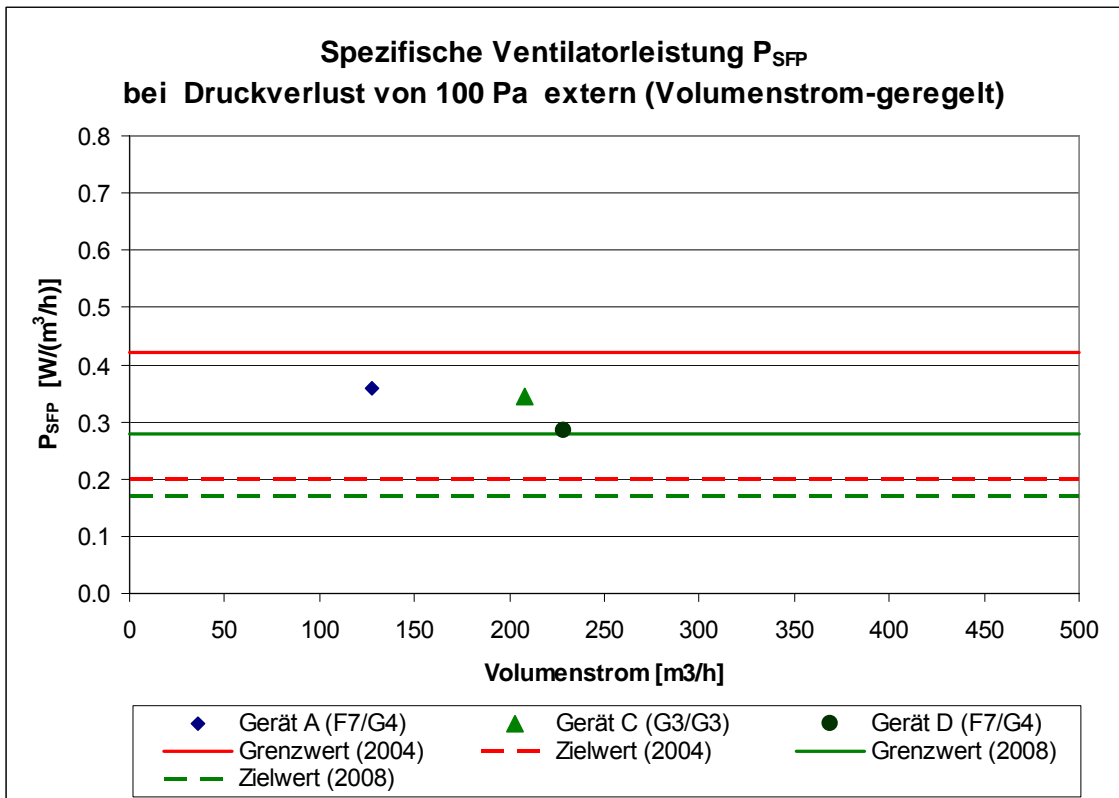


Figur 6: Spezifische Ventilatorleistung P_{SFP} aller geprüften Geräte bei 100 Pa externem Druckverlust

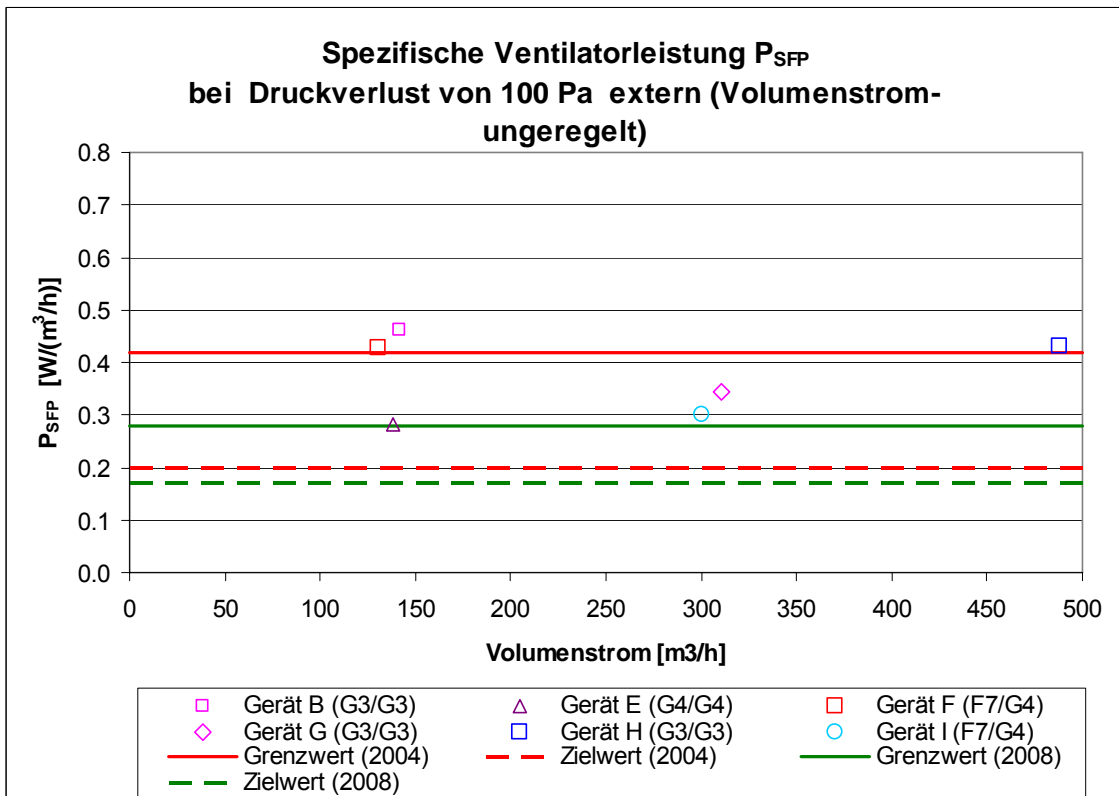
Aus Figur 6 geht hervor, dass drei Lüftungsgeräte mit nicht volumenstromgeregelten Ventilatoren (leere Symbole) den alten SIA-Grenzwert von $0.42 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ noch knapp erreichen. Der neue Grenzwert (grüne ausgezogene Linie) wird nur noch von drei Geräten etwa erreicht. Darunter ist auch das Lüftungsgerät, das bis jetzt als einziges bei der kombinierten energetischen Beurteilung der Deklaration Komfortlüftungsgeräte die Energie-Effizienzklasse B erreicht hat. Der alte und der neue Zielwert wird von keinem Lüftungsgerät auch nur annähernd erreicht.

In Figur 7 sind drei volumenstromgeregelte (ausgefüllte Symbole) Geräte dargestellt. Die SFP-Werte liegen zwischen dem alten und neuen SIA-Grenzwert. Ein ähnliches Bild mit Ausnahme der bereits erwähnten drei Geräte zeigt auch Figur 8.

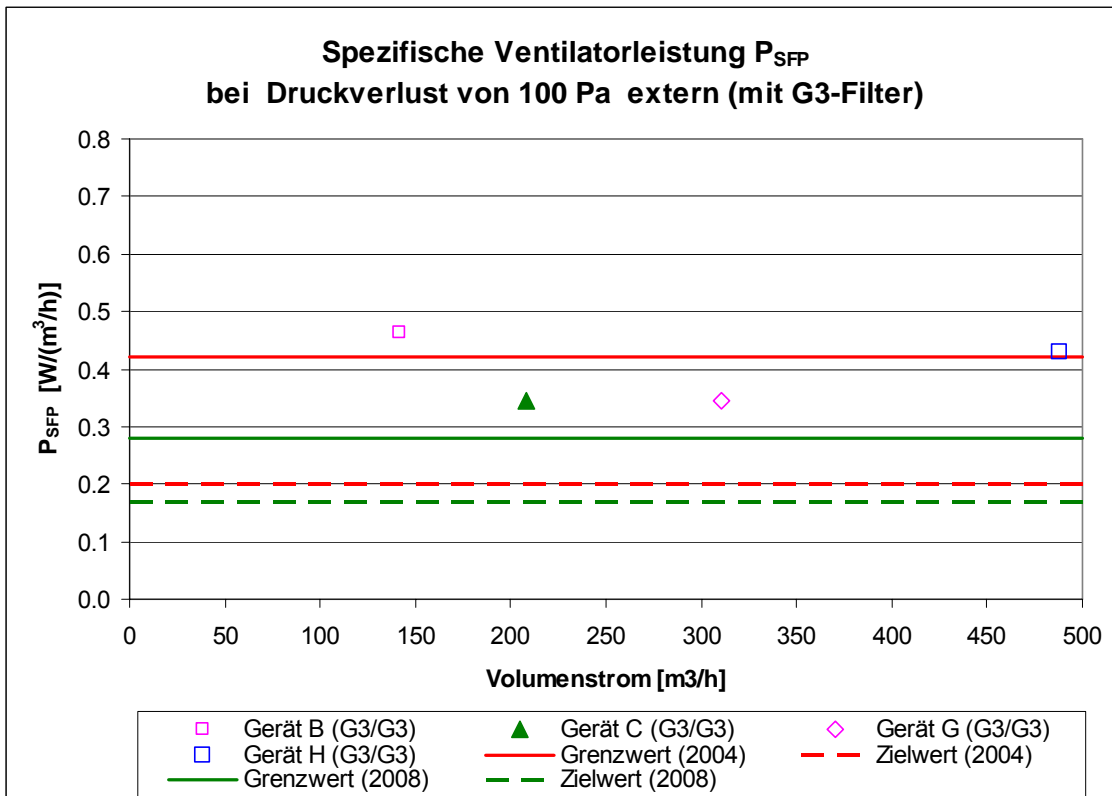
Figur 9 und Figur 10 zeigen die Ergebnisse mit unterschiedlichen Filterqualitäten in der Zuluft. Die Geräte mit Feinstaubfiltern F7 in der Aussenluft und Grobstaubfilter G3 in der Abluft schneiden erstaunlicherweise nicht schlechter ab, als die Geräte mit Grobstaubfiltern G3 in Aussen- und Abluft.



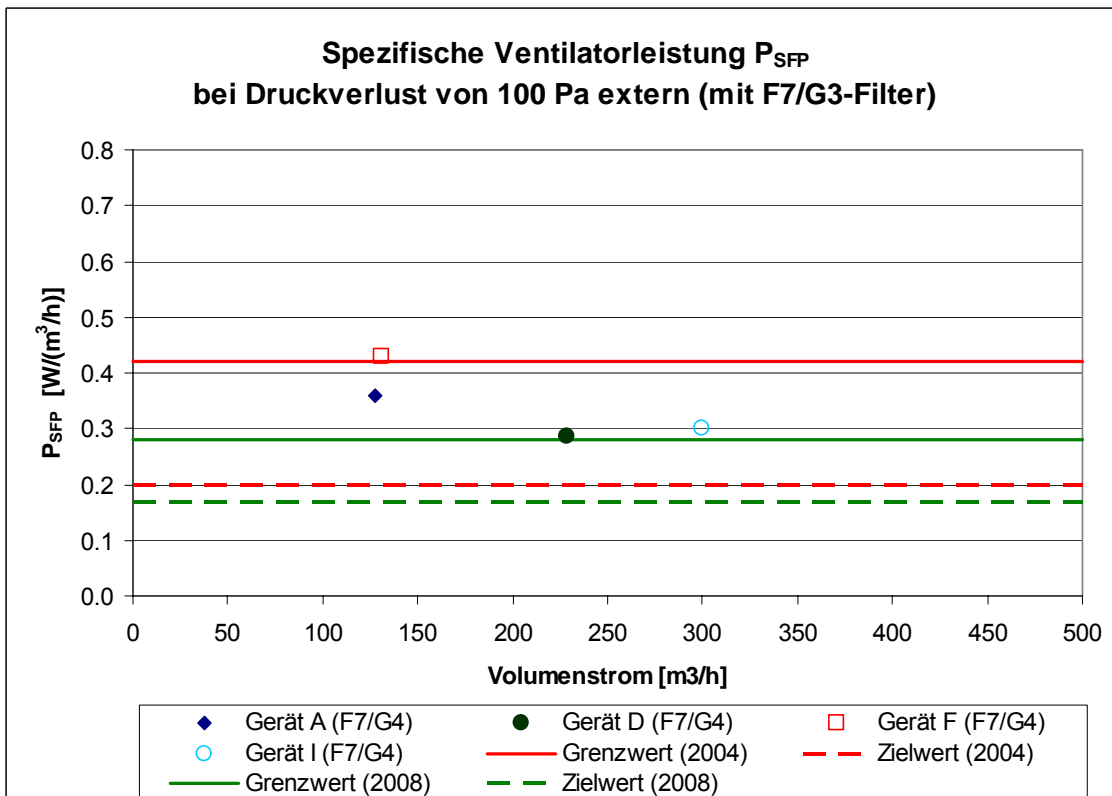
Figur 7: Spezifische Ventilatorleistung P_{SFP} volumenstromgeregelter Geräte bei 100 Pa externem Druckverlust



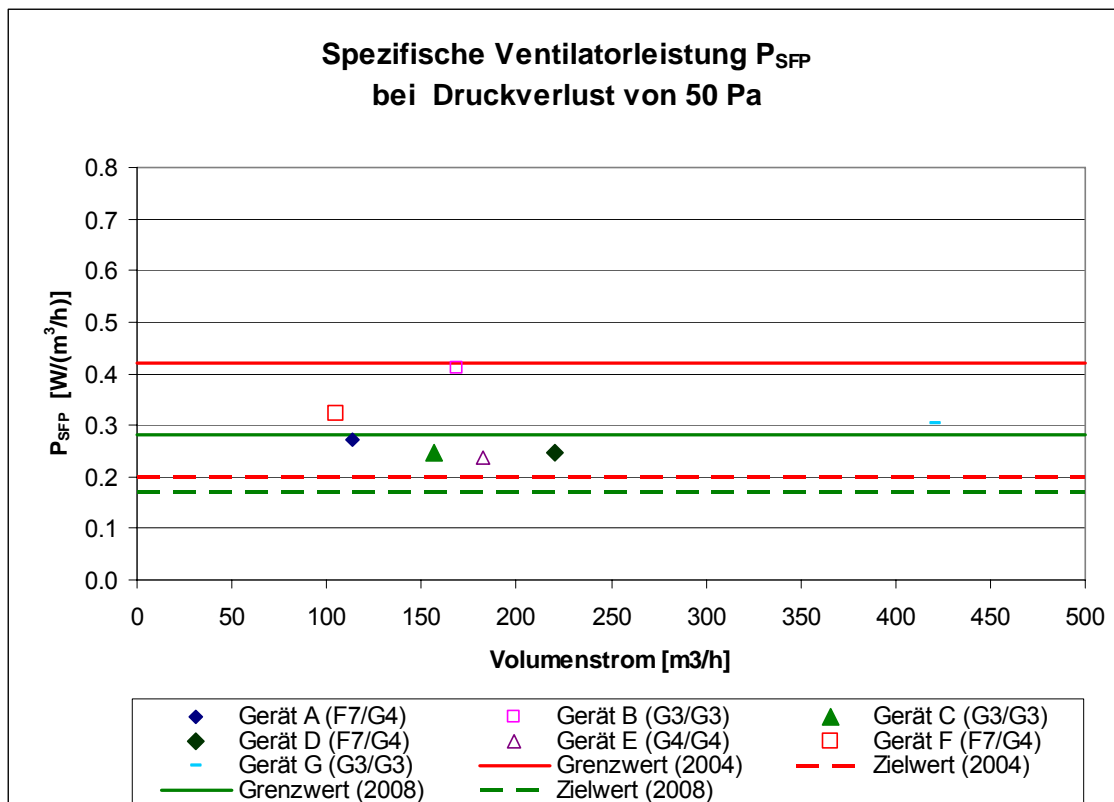
Figur 8: Spezifische Ventilatorleistung P_{SFP} nicht volumenstromgeregelter Geräte bei 100 Pa externem Druckverlust



Figur 9: Spezifische Ventilatorleistung P_{SFP} mit Grobstaubfiltern G3 in der Aussenluft und Abluft



Figur 10: Spezifische Ventilatorleistung P_{SFP} mit Feinstaubfilter F7 in der Zuluft und G3 in der Abluft



Figur 11: Spezifische Ventilatorleistung P_{SFP} mit externem Druckverlust von 50 Pa

In *Figur 11* ist ersichtlich, dass selbst bei einem externen Druckverlust von nur 50 Pa die SIA-Zielwerte nicht erreicht werden. Wenn diese Werte eingehalten werden sollen, ist bei den Lüftungsgeräten noch viel bezüglich Druckverlust zu verbessern. Ebenfalls müssen die Werte in den SIA-Normen hinterfragt werden. Bei den Anlagemessungen hat sich gezeigt, dass für die spezifische elektrische Leistungsaufnahme SFP-Werte von etwa 0.3 W/(m³/h) erreichbar sind. Dies entspricht auch den Resultaten aus den Labormessungen (siehe *Fig. 11*), die mit einer doch deutlich besseren Messunsicherheit als bei den Anlagemessungen durchgeführt wurden.

4.1.2 Messungen an Anlagen

In einer Minergie®-Überbauung wurden Messungen in zwei Maisonette-Wohnungen und einer Geschosswohnung durchgeführt. In dieser Überbauung sind Lüftungsgeräte und Komponenten eines der Projektpartner installiert. Bei drei Einfamilienhäusern, in der Regel Minergie®-Standard und einem Zweifamilienhaus in Minergie®-P-Standard wurden ebenfalls Messungen durchgeführt. In zwei Objekten ist ein Lüftungsgerät eines weiteren Projektpartners eingebaut und in den zwei anderen noch ein Gerät eines anderen Herstellers. Die Projektpartner waren in allen Fällen nur Lieferanten von Lüftungsgeräten und teilweise Lüftungskomponenten. Deshalb war die Beschaffung von Planungsunterlagen und einer baubegleitenden Dokumentation (Fotos) nur in einzelnen Fällen möglich. In wenigen Fällen konnten die Planungswerte mit den tatsächlich gemessenen Werten verglichen werden. Somit konnten die bei der seinerzeitigen Projekteingabe formulierten Ziele nur teilweise realisiert werden.

Auf Wunsch einiger Eigentümer, resp. Bewohner werden die Objekte etwas anonymisiert behandelt, d.h. es werden keine Namen von Eigentümern, Planern und Unternehmern angegeben.

Bei den Messungen wurde folgendermassen vorgegangen

- Messung der Luftvolumenströme bei mittlerer Stufe bei den Luftdurchlässen mit Flow-Finder (siehe Fig. 12)

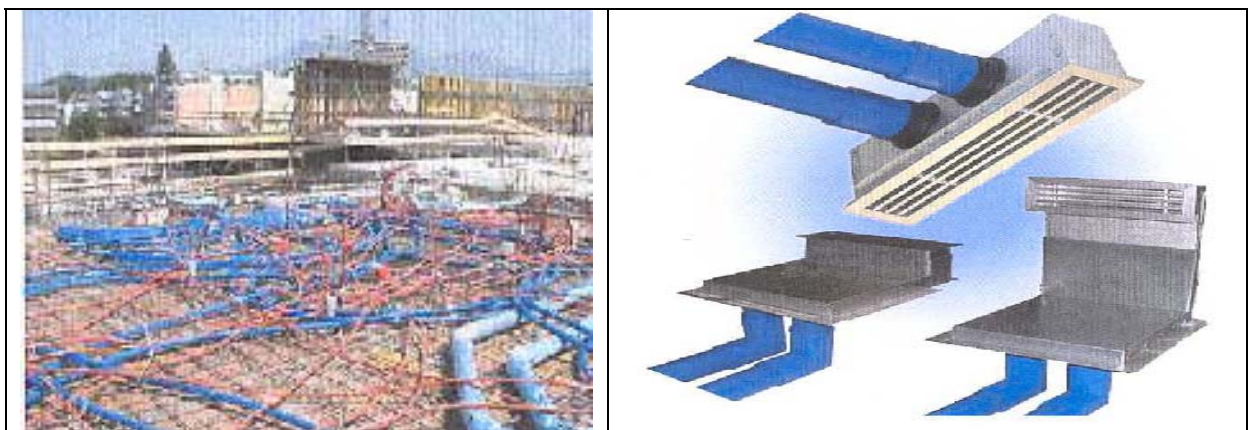


Figur 12: Messung des Luftvolumenstromes mit Flow-Finder

- Messung des statischen Druckes bei den Geräteanschlüssen
- Messung der elektrischen Leistungsaufnahme des Lüftungsgerätes
- Schalldruckpegelmessungen in ca. 1 m Abstand bei der angetroffenen Raumsituation

Erkenntnisse

Bei der Minergie®-Überbauung zeigt sich, unter Berücksichtigung der Messunsicherheit am Bau, dass der mittlere Druckverlust für das Luftnetz in der Grössenordnung der empfohlenen 100 Pa liegt. Aufgrund der Stärke der Betondecke wurde hier das Luftverteilsystem Nilan Revitair 47 (siehe Fig. 12) eingesetzt. Bei diesem System werden Kunststoffrohre mit einem Durchmesser von 47 mm eingesetzt. Dies bedeutet, dass bei Luftvolumenströmen von 20 m³/h und grösser beim Luftdurchlass mehrere parallele Rohre verlegt werden, um den Druckverlust tief zu halten. Somit sind z.B. beim Küchenabluftdurchlass bis zu 4 Rohre angeschlossen.



Figur 13: Beispiel System Revitair 47

Es gibt auch andere Luftverteilsysteme, z.B. Flachovalrohre, die in solchen Situationen eingesetzt werden. Das Lüftungsgerät ist in einem Schrank in Dusche/WC eingebaut, das sich im Eckbereich der Wohnung befindet. Dadurch ergeben sich insbesondere bei der Maisonette-Attikawohnung lange Zuluftleitungen. Bei geschlossener Raumtüre wird die Geräuschemission durch das Lüftungsgerät nicht beanstandet. Anhand der verfügbaren Grundrisspläne wurde die totale Länge der verlegten Rohre und die Länge des für den Druckverlust massgebenden Anschlusses abgeschätzt. Der SFP-Wert beim mittleren Luftvolumenstrom von ca. $1.0 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ist aber sehr hoch.

Obwohl bei den drei Einfamilienhäusern unterschiedliche Konzepte anzutreffen waren, schneiden doch zwei Anlagen beim SFP-Wert im realistischen Bereich von $0.3 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ deutlich besser ab als die Mehrfamilienhäuser. Sicherlich ist der Grund auch beim tieferen mittleren Druckverlust zwischen 50 bis ca. 75 Pa zu finden.

Das Zweifamilienhaus ist insofern verschieden, da die zwei Wohnungen von einem gemeinsamen Lüftungsgerät versorgt werden und der Druckverlust auch im Bereich von knapp 100 Pa liegt. Insofern muss mit einem höheren SFP-Wert gerechnet werden.

Hygiene

Bei den Minergie® - Wohnungen zeigt sich bezüglich der Filter ein unterschiedliches Bild, das vermutlich auf die mangelhafte Instruktion der Wohnungseigentümer zurückzuführen ist. Im Objekt 1 sind noch die Original-Grobstaubfilter eingesetzt, während z.B. im Objekt 2 bereits ein Feinstaubfilter in der Zuluft vorhanden war. Die Abluftdurchlässe waren teilweise mit Filtern ausgerüstet. Da sämtliche Objekte neu sind, gibt es noch keine Erfahrungen bezüglich der Reinigung der Anlagen.

Schall

In den untersuchten Objekten haben sich die Bewohner nicht über Schallprobleme beklagt.

Objekt 1: Überbauung Cécile-Lauber-Gasse, CH-6005 Luzern

Gebäudeart: 4.5 Zi-Maisonette-Whg. in Mehrfamilienhaus (Label Minergie®)
Baujahr: 2005
Höhenlage: 436 m.ü.M.
Vogelperspektive:



Lüftungsgerät: Nilan 300 T (G3/G3 Filter)
Einstellungen: Stufe 2, Ventilatoreinstellung unbekannt
Lüftungsverteilung: Nilan Revitair 47: 5 Auslässe und 4 Einlässe, Zuluft ca. 116 m Rohrlänge mit einem Durchmesser von 47 mm (entscheidende Länge für Druckverlust = 14 m), Abluft ca. 117 m Rohrlänge mit einem Durchmesser von 47 mm (entscheidende Länge für Druckverlust = 15 m)

Zuluftvolumenstrom: 111 m³/h
Abluftvolumenstrom: 104 m³/h
Gesamtdruckverlust AUL-ZUL: 96 Pa
Gesamtdruckverlust ABL-FOL: 132 Pa
Spez. el. Leistungsaufnahme: 100 W / P_{SFP} = 0.93 W/(m³/h)
Schalldruckpegel: 50 dB(A) bei geöffnetem Schrank, 36 dB(A) bei geschl. Schrank

Foto Überbauung:



Foto Lüftungsgerät:



Objekt 2: Überbauung Cécile-Lauber-Gasse, CH-6005 Luzern

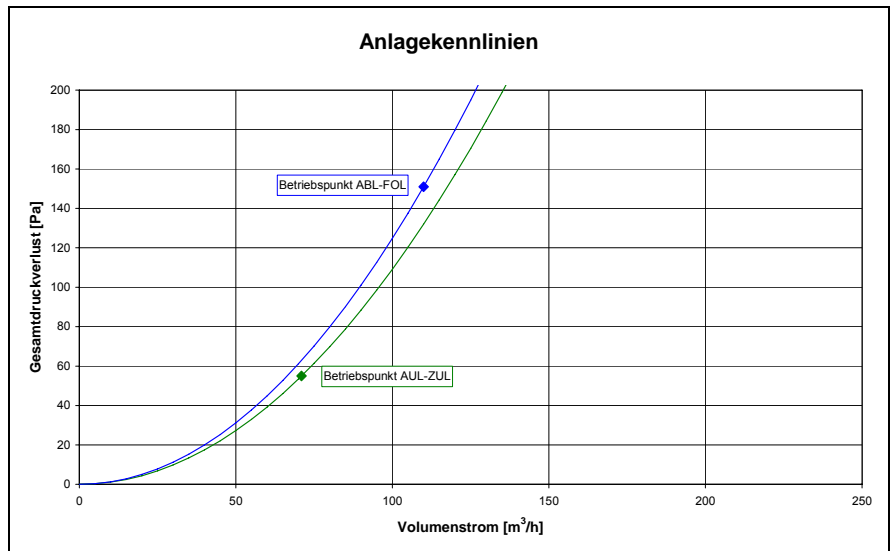
Gebäudeart: 4.5 Zi-Whg. in Mehrfamilienhaus (Label Minergie®)
Baujahr: 2005
Höhenlage: 436 m.ü.M.
Vogelperspektive:



Lüftungsgerät: Nilan 300 T (F7/G3 Filter)
Einstellungen: Stufe 2, Ventilatoreinstellung unbekannt
Lüftungsverteilung: Nilan Revitair 47: 5 Auslässe und 3 Einlässe, Zuluft ca. 80 m Rohrlänge mit einem Durchmesser von 47 mm (entscheidende Länge für Druckverlust = 10 m), Abluft ca. 64 m Rohrlänge mit einem Durchmesser von 47 mm (entscheidende Länge für Druckverlust = 8 m)

Zuluftvolumenstrom: 71 m³/h
Abluftvolumenstrom: 110 m³/h
Gesamtdruckverlust AUL-ZUL: 55 Pa
Gesamtdruckverlust ABL-FOL: 151 Pa
Spez. el. Leistungsaufnahme: 93 W / P_{SFP} = 1.03 W/(m³/h)
Schalldruckpegel: 50 dB(A) bei geöffnetem Schrank, 39 dB(A) bei geschl. Schrank
Bemerkung: Bei diesem Lüftungsgerät wurde offensichtlich nachträglich der Zuluftfilter gegen einen Feinstaubfilter ausgetauscht und die Ventilatoreinstellung möglicherweise nicht angepasst. Deshalb eine grosse Disbalance der Volumenströme.

Anlagekennlinie:



Grundriss:

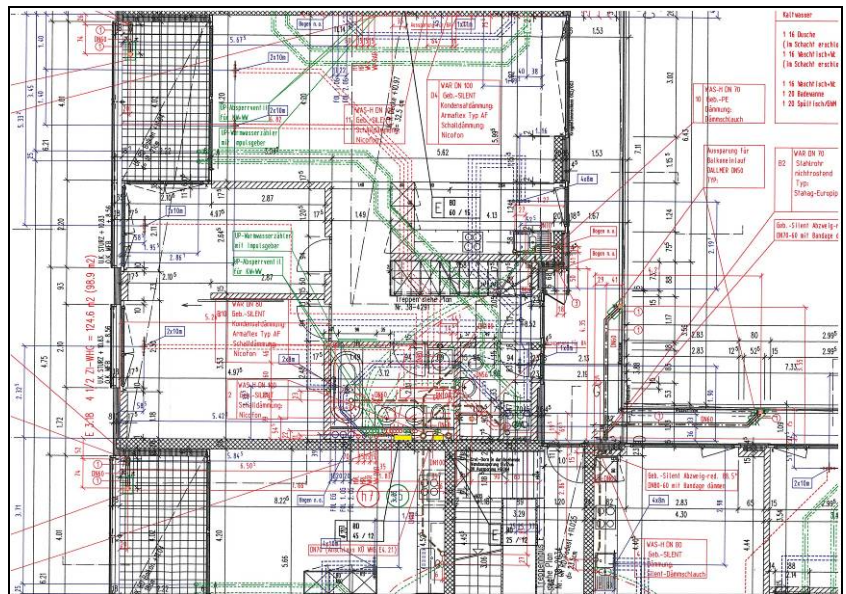


Foto Überbauung:



Foto Filter im Lüftungsgerät:



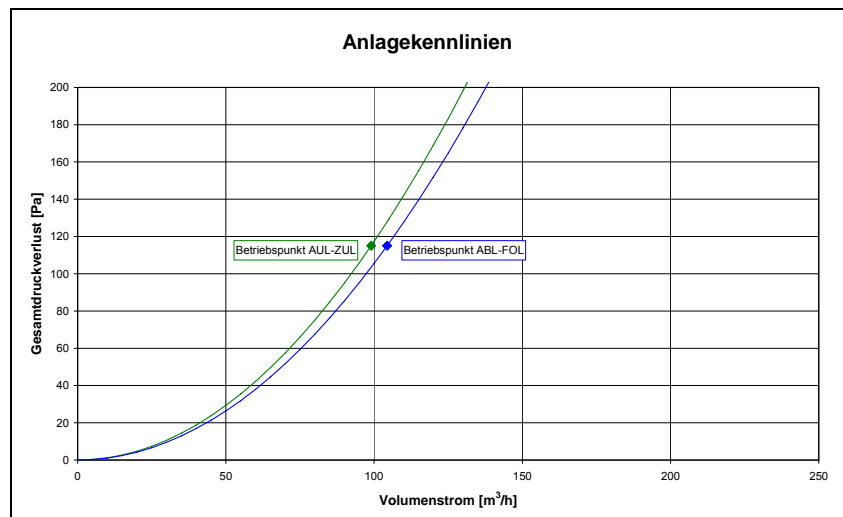
Objekt 3: Überbauung Landenbergstrasse, CH-6005 Luzern

Gebäudeart: 4.5 Zi-Whg. in Mehrfamilienhaus (Label Minergie®)
Baujahr: 2005
Höhenlage: 435 m.ü.M.
Vogelperspektive:

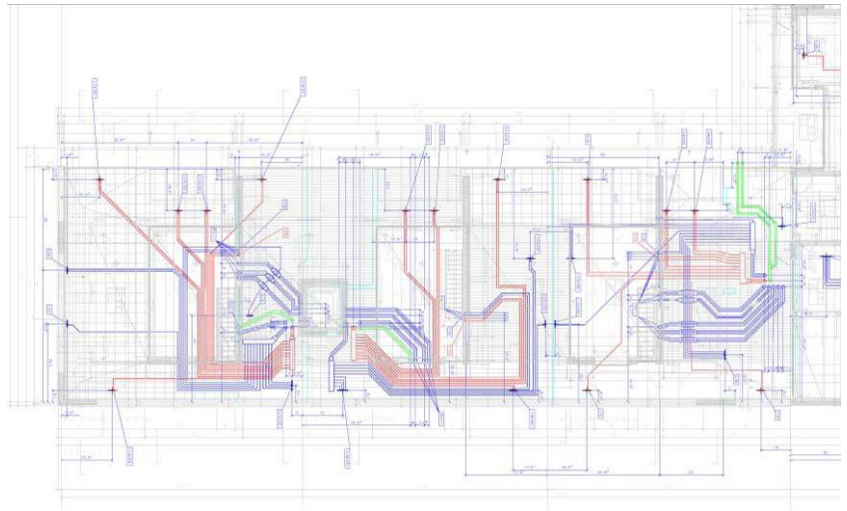


Lüftungsgerät: Nilan 300 T
Einstellungen: -
Lüftungsverteilung: Nilan Revitair 47, 5 Auslässe, 5 Einlässe
Zuluftvolumenstrom: 99 m³/h
Abluftvolumenstrom: 104 m³/h
Gesamtdruckverlust AUL-ZUL: 115 Pa
Gesamtdruckverlust ABL-FOL: 115 Pa
Spez. el. Leistungsaufnahme: Keine Messung, Vergleichbar mit Objekt 1
Schalldruckpegel: Keine Messung durchgeführt

Anlagekennlinie:



Grundriss im 4.OG:

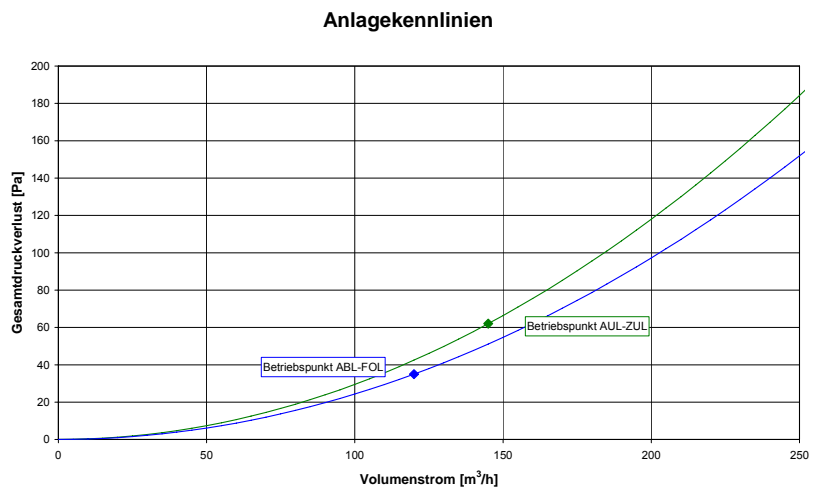


Objekt 4: Überbauung Neuweg, CH-6370 Stans

Gebäudeart: 5½ - Zimmer Einfamilienhaus
Baujahr: 2008
Höhenlage: 454 m.ü.M.
Vogelperspektive:



Lüftungsgerät: Hoval HomeVent RS 250
Einstellungen: Ventilatoreinstellung 60%
Lüftungsverteilung: Zehnder: comfotube, CLD, 6 Auslässe, 5 Einlässe, Zuluftleitungen
Durchmesser = 90 mm, Abluftdurchmesser = 75 und 110 mm
Zuluftvolumenstrom: 145 m³/h
Abluftvolumenstrom: 120 m³/h
Gesamtdruckverlust AUL-ZUL: 62 Pa
Gesamtdruckverlust ABL-FOL: 35 Pa
Spez. el. Leistungsaufnahme: 52 W / P_{SFP} = 0.4 W/(m³/h)
Schalldruckpegel: 38 dB(A)
Abnahmeprotokoll: vorhanden
Anlagekennlinie:



Schema:

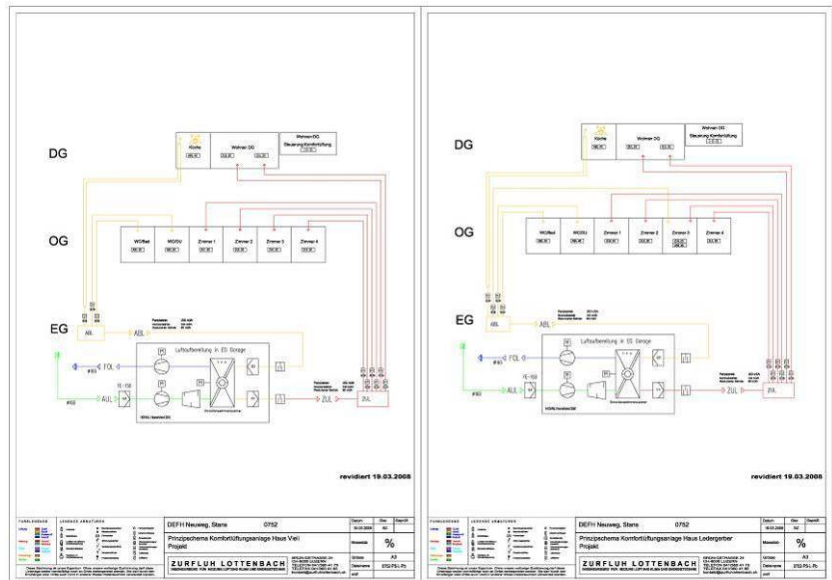


Foto Überbauung:



Foto Lüftungsverteilung:



Foto Lüftungsgerät:



Im Anhang ist für dieses Objekt eine Druckverlustberechnung beigefügt.

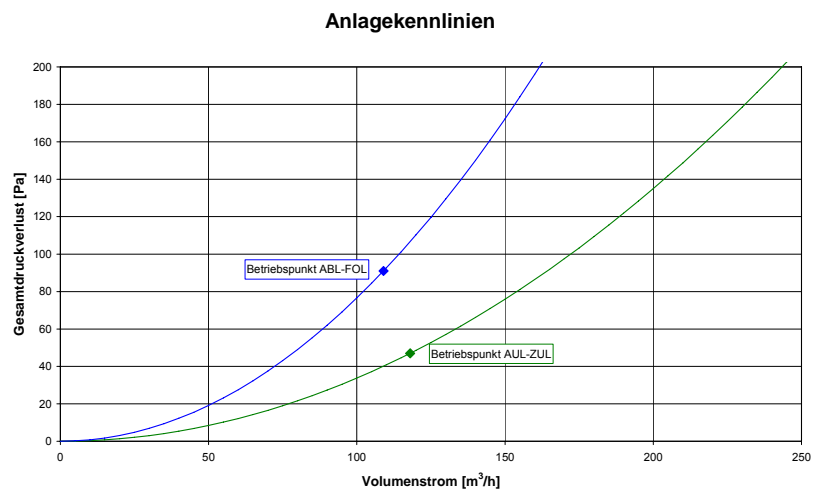
Objekt 5: Überbauung Baumgartenweg, CH-8934 Knonau

Gebäudeart: 5½ - Zimmer Einfamilienhaus (Label Minergie®)
Baujahr: 2008
Höhenlage: 453 m.ü.M.
Vogelperspektive:

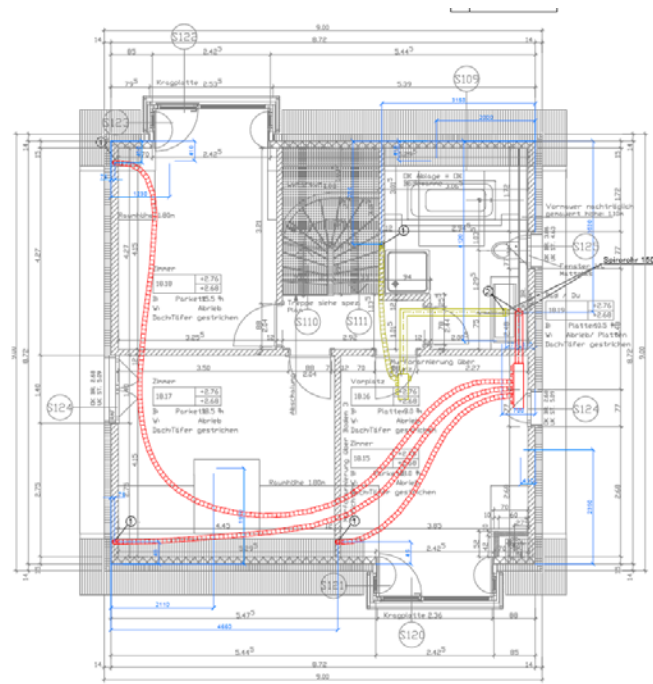


Lüftungsgerät: Zehnder Comfosystems ComfoAir 350
Einstellungen: Stufe 2
Lüftungsverteilung: 10 Auslässe, 5 Einlässe
Zuluftvolumenstrom: 118 m³/h
Abluftvolumenstrom: 109 m³/h
Gesamtdruckverlust AUL-ZUL: 47 Pa
Gesamtdruckverlust ABL-FOL: 91 Pa
Spez. el. Leistungsaufnahme: 34 W / P_{SFP} = 0.30 W/(m³/h)
Schalldruckpegel: 39 dB(A)

Anlagekennlinie:



Schema:



S110, S111, S120, S121

Foto Überbauung:



Fotos Lüftungsgerät:



Objekt 6: Überbauung Alpenblickstrasse, CH-8934 Knonau

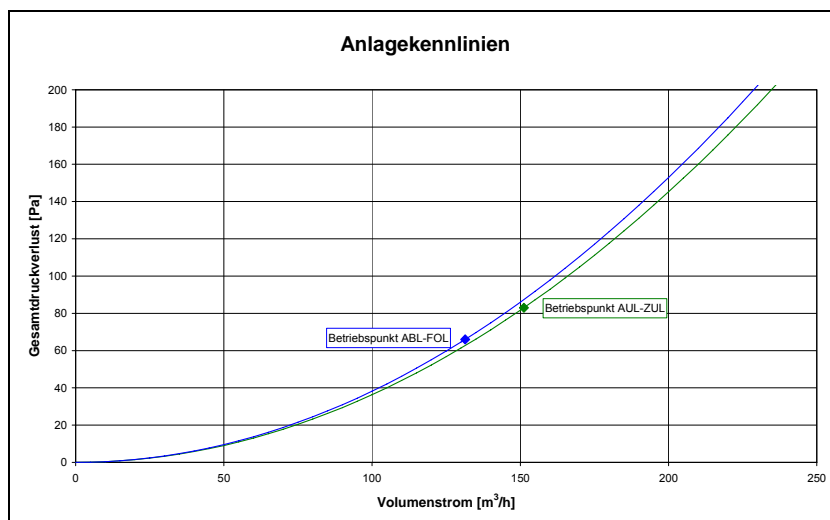
Gebäudeart: 5½ - Zimmer Einfamilienhaus (Label Minergie®)
 Baujahr: 2008
 Höhenlage: 444 m.ü.M.
 Vogelperspektive:



Lüftungsgerät: Zehnder Comfoair G91
 Einstellungen: Stufe 2
 Lüftungsverteilung: Zehnder: comfotube, UPV, CLD, 4 Auslässe, 3 Einlässe, Aussendurchmesser Abluft und Zuluft = 90 mm, entscheidende Länge für Druckverlust = 10.5 m

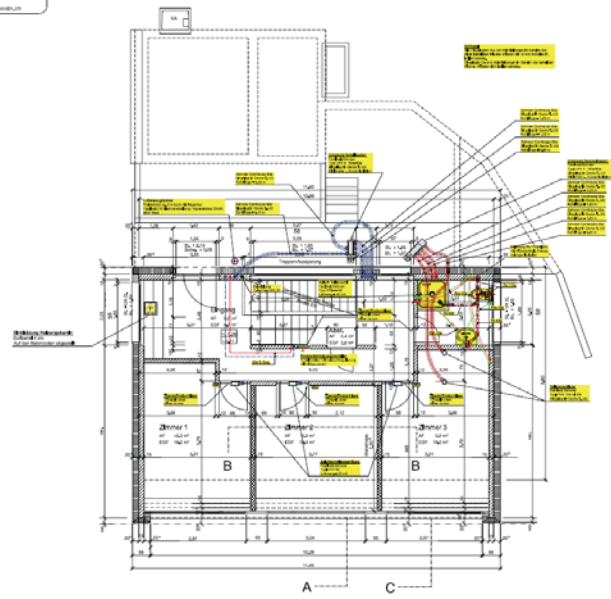
Zuluftvolumenstrom: 151 m³/h
 Abluftvolumenstrom: 131 m³/h
 Gesamtdruckverlust AUL-ZUL: 83 Pa
 Gesamtdruckverlust ABL-FOL: 66 Pa
 Spez. el. Leistungsaufnahme: 43 W / P_{SFP} = 0.31 W/(m³/h)
 Schalldruckpegel: 38 dB(A)

Anlagekennlinie:



Grundriss EG:

Robert Steiner
Isoliertechnik und Heizungsplanungen
Tel. +43 674 401 22 66 Fax 067 401 22 66 Email robert.steiner@steiner.at



Im Anhang ist für dieses Objekt eine Druckverlustberechnung beigefügt.

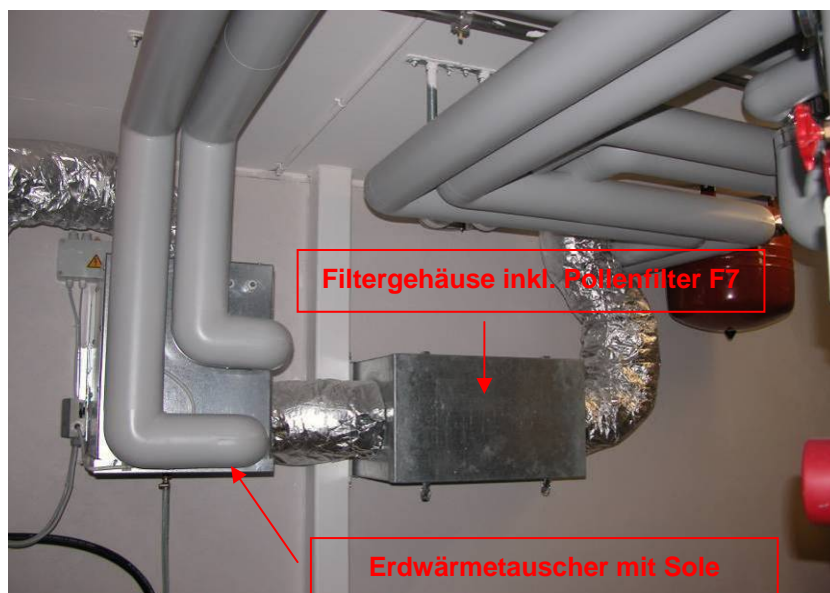
Foto Überbauung:



Foto Lüftungsgerät:



Foto Aussenluftbehandlung:



Objekt 7: Überbauung Schürmatt, CH-6362 Stansstad

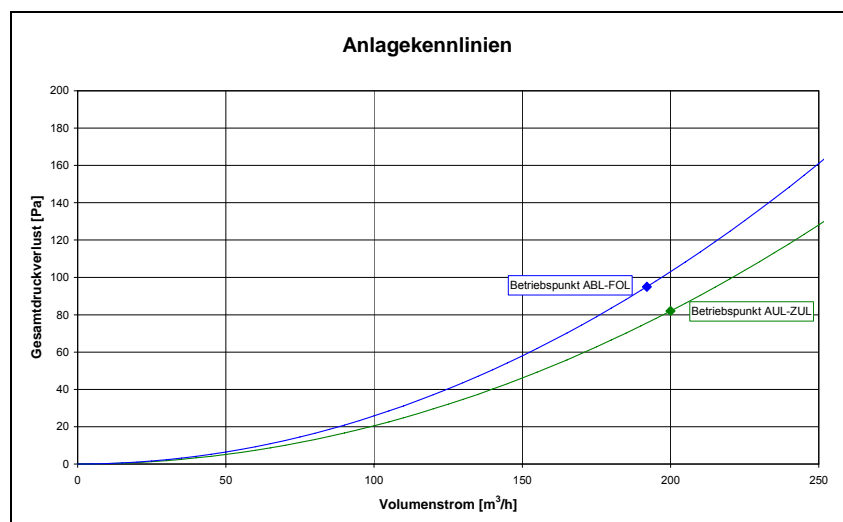
Gebäudeart: Zweifamilienhaus mit zwei 4½ - Zimmer-WHg (Label Minergie®-P)
 Baujahr: Sanierung 2008
 Höhenlage: 438 m.ü.M.
 Vogelperspektive:



Lüftungsgerät: Hoval HomeVent RS 250
 Einstellungen: Ventilatoreinstellung 60%, Feuchteinstellung Rotationswärmetauscher 50%

Lüftungsverteilung: Pro Wohnung 5 Auslässe und 3 Einlässe
 Zuluftvolumenstrom: 200 m³/h für 2 Wohnungen
 Abluftvolumenstrom: 192 m³/h für 2 Wohnungen
 Gesamtdruckverlust AUL-ZUL: 82 Pa
 Gesamtdruckverlust ABL-FOL: 95 Pa
 Spez. el. Leistungsaufnahme: 116 W / P_{SFP} = 0.59 W/(m³/h)
 Schalldruckpegel: 41 dB(A)

Anlagekennlinie:



Schema Schürmatt:

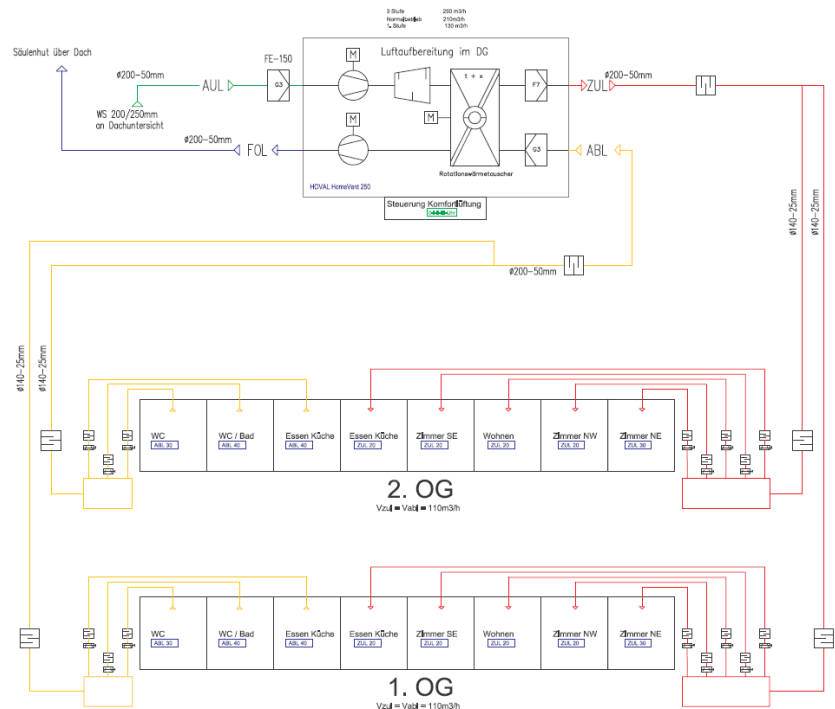


Foto Überbauung:



4.2 Katalog von möglichen Mängeln und Verbesserungsmassnahmen

Um Verbesserungsmassnahmen definieren zu können müssen zuerst die häufigsten Fehler erkannt werden. Die untersuchten Objekte liegen mit der spezifischen elektrischen Aufnahmeleistung p_{SFP} in einer Bandbreite von ca. $0.3 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ bis $1.0 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$. Der Zielwert nach SIA wird deutlich nicht erreicht. Der Grenzwert gemäss SIA Merkblatt 2023, Ausgabe 2004 [1] wird lediglich in den 3 Einfamilienhäusern erreicht, während er in den Wohnungen zum Teil deutlich überschritten wird. Gemäss dem Merkblatt Ausgabe 2008 [2] wird auch der Grenzwert für eine einfache Lüftungsanlage von $p_{SFP} = 0.28 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$, unter Berücksichtigung der Messtoleranzen auf dem Bau, noch knapp erreicht. Messungen im Labor, bei de-

nen verschiedene Lüftungsgeräte mit unterschiedlichen Anlagedruckverlusten untersucht wurden, zeigen ein ähnliches Bild. Lediglich drei Geräte erreichen mit 100 Pa externem Druckverlust noch knapp den neuen SIA-Grenzwert. Um in den Bereich zwischen Ziel- und Grenzwert zu kommen, muss der externe Druckverlust deutlich unter 100 Pa reduziert werden. In der Dimensionierungshilfe Komfortlüftung der Leistungsgarantie [10] wird ein SFP-Wert für die Luftförderung von maximal 0.35 W/(m³/h) bei Normalbetrieb und neuen Filtern gefordert.

Fehler im Gesamtkonzept

Kritikpunkt bei den Anlagen waren oft Lärmprobleme aufgrund ungenügender Dimensionierung der Rohre oder Kanäle (zu gering bemessene Fussbodenaufbauten), Filter oder Luftdurchlässe (hoher Druckverlust) oder fehlender resp. ungenügender Schalldämpfer. Um die Lärmprobleme zu reduzieren, wurden häufig die Luftvolumenströme reduziert. Die Anlagen konnten ihren eigentlichen Zweck nicht mehr voll erfüllen.

- Die Luftführung in der Wohnung und im Raum ist zu beachten. Zuluft wird in den Wohn-, Schlaf- und Arbeitszimmern zugeführt. Abluft wird aus Küche, Bad und WC abgesaugt. Korridore und Treppen liegen in der Regel im Durchströmbereich. Bei Wohnungen mit offenen Grundrissen kann auch der Wohnbereich im Durchströmbereich liegen. Selbstverständlich muss es einen akzeptablen Kompromiss zwischen Installationsaufwand und Raumdurchströmung geben.
- Die Überström-Durchlässe werden oft stiefmütterlich behandelt. Der Druckverlust sollte maximal 2 bis 3 Pa betragen. Höhere Druckverluste können die Luftverteilung beeinträchtigen.
- Die minimalen Luftvolumenströme beachten, aber auch keine Überdimensionierung.
- Einregulierung der Volumenströme. Zuluft und Abluft müssen genügend ausbalanciert sein.
- Die Zugänglichkeit für die Reinigung (Hygiene) muss gewährleistet sein. Lage von Inspektionszugängen, Reinigungsabschnitte.

Fehler bei den Anlagekomponenten

- Mangelhafte Luftansaugung mit zu hohem Druckverlust.
- Ungenügende Dämmung der kalten und warmen Kanäle/Rohre.
- Ungenügende Filterqualität und schlechte Wartung der Filter.
- Anzeige Filterwechsel für den Benutzer einfach ermöglichen.
- Fehlende oder ungenügende Schalldämpfer (Geräteschalldämpfer und Telefoneschalldämpfer).
- Zu kleine Rohrquerschnitte (zu hohe Luftgeschwindigkeiten, hoher Druckverlust und Lärmproblem).
- Ungeeignetes Rohrmaterial. Leckagen. Reinigung.
- Falsche bzw. zu kleine Ventile (z.B. reine Abluftventile für die Zuluft).

Zu hohe Druckverluste entstehen meist durch:

- Einfaches Ansauggitter (Gitterfläche entspricht nur dem Rohrquerschnitt).
- Verschmutztes Fliegengitter beim Ansaug.
- Verschmutzte Filter.
- Zu geringe Filterflächen (Taschenfilter oder Zellenfilter statt Filtermatten).
- Zu hoher Druckverlust im Erdreich-Luft-Wärmetauscher.
- Zu kleine Rohrquerschnitte, dadurch zu hohe Luftgeschwindigkeiten.
- Unnötig lange Lüftungsleitungen aufgrund schlechter Raum- und Verteilungskonzepte.
- Formteile mit hohen Druckverlusten (eckige bzw. „enge“ Formteile).

- Leitungsmaterial mit nicht glatter innerer Oberfläche (z.B. Aluflexschläuche).
- Zusätzlich gequetschte Flexschläuche.
- Zu wenige, zu kleine, ungeeignete bzw. falsch eingestellte Zuluftauslässe.
- Zu wenige, zu kleine, ungeeignete bzw. falsch eingestellte Ablufteinlässe.
- Zu kleine Überströmöffnungen.
- Einfaches Fortluftgitter (Gitterfläche entspricht nur Rohrquerschnitt).

Schallbelästigungen – die häufigsten Ursachen (im Zusammenhang mit Druckverlust)

- Zu hohe Druckverluste im Lüftungssystem.
- Scharfe Kanten bei Rohr-Verbindungen resp. Formteilen.
- Zuluftauslässe mit strömungsungünstigen Einbauten (insbesondere bei Bodenauslässen mit Schmutzfängern).
- Zu hohe Luftgeschwindigkeiten vor den Ventilen resp. Luftdurchlässen.
- Verwirbelungen kurz vor bzw. nach den Ventilen (Abzweiger oder Umlenkungen).
- Lautes Lüftungsgerät.

Hoher Strombedarf

Ein zu hoher Strombedarf hat zwei Hauptursachen:

- Ventilatoren mit Wechselstrommotoren.
- Hohe Druckverluste im Lüftungsgerät und in den Lüftungsleitungen, -komponenten.

4.3 Massnahmen an Kompaktlüftungsgeräten

4.3.1 Numerische Strömungsberechnung

Im Rahmen des Projektes wurde mittels numerischer Strömungsberechnung (auch CFD, Computational Fluid Dynamics) die Strömung im Zu- und Abluftkanal der Anlage Hoval HomeVent RS180 untersucht.

Eingesetzt wurde die Software ANSYS CFX. Für die Simulationen wurden strukturierte Netze mit ANSYS ICEM Hexa generiert.

Die Simulationen wurden im Maximal-Punkt (gemäss Angaben von Hoval) durchgeführt. Diese entsprechen eine Drehzahl von 3800 U/min und einer mittleren radialen Geschwindigkeit am Lüfteraustritt von knapp 3 m/s.

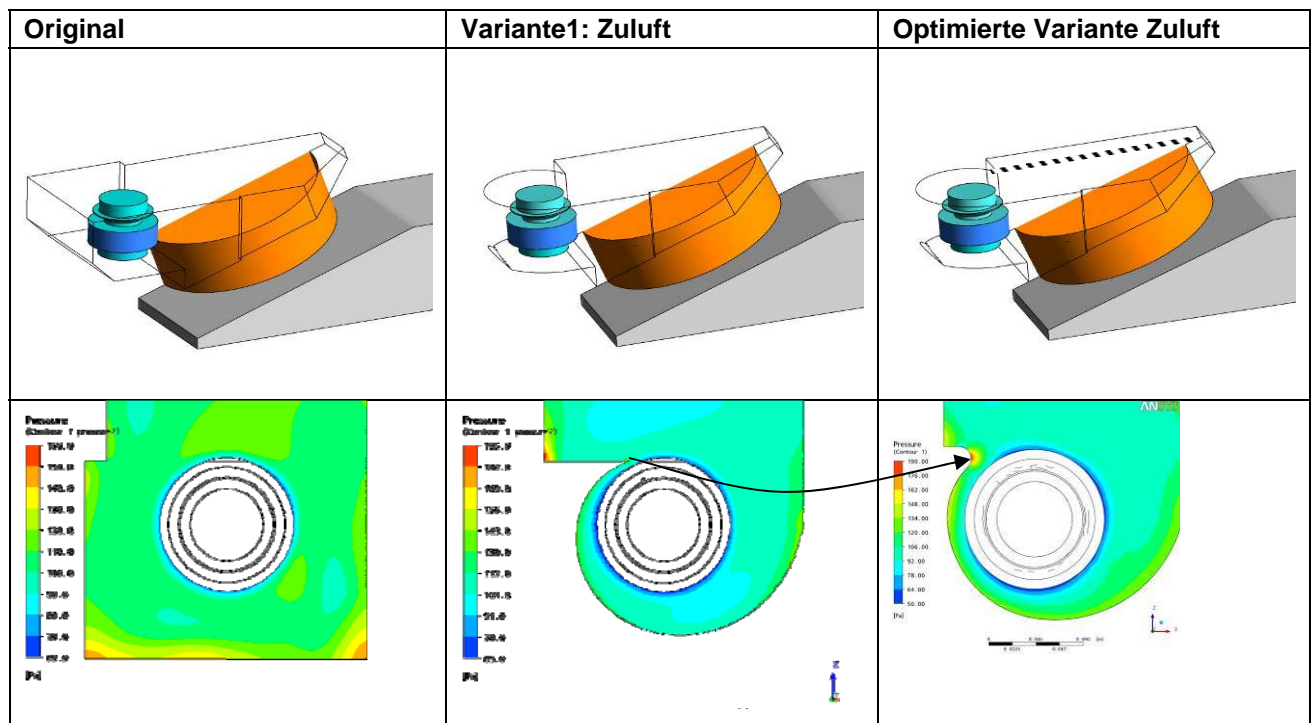
Zuluftseite

Der Ventilator an der Zuluftseite liefert die Luft in einem grossen, eckigen Sammelraum, der mit dem WRG verbunden ist (siehe Fig. 14).

Um die Verluste zu reduzieren und somit die Effizienz zu steigern, wurde eine Spirale am Austritt des Lüfters angebracht, und so der Sammelraum gezielt verkleinert bzw. gestaltet. Die Spirale hat die Aufgabe, die hohe kinetische Energie am Lüfteraustritt, die sonst zu Verlusten aufgrund Verwirbelungen führt, in Druck umzuwandeln.

In einem ersten Schritt wurde die Wirkung einer solchen Spirale grundsätzlich untersucht. Anschliessend wurde aufgrund der numerischen Resultate die Spirale optimiert. Dabei wurden sowohl die Form der Spirale (Winkelverteilung) wie auch die Spiralenzunge den spezifischen Verhältnissen angepasst.

Die CFD Resultate (siehe Fig. 14) zeigen, dass mit der optimierten Spirale, abgerundete Zunge und Verkleinerung des Raums links vom Ventilator, ein regelmässiger Druckaufbau erzielt werden konnte.



Figur 14: Situation „Zuluft“. Druckverteilung am Ventilatoraustritt aus der CFD.

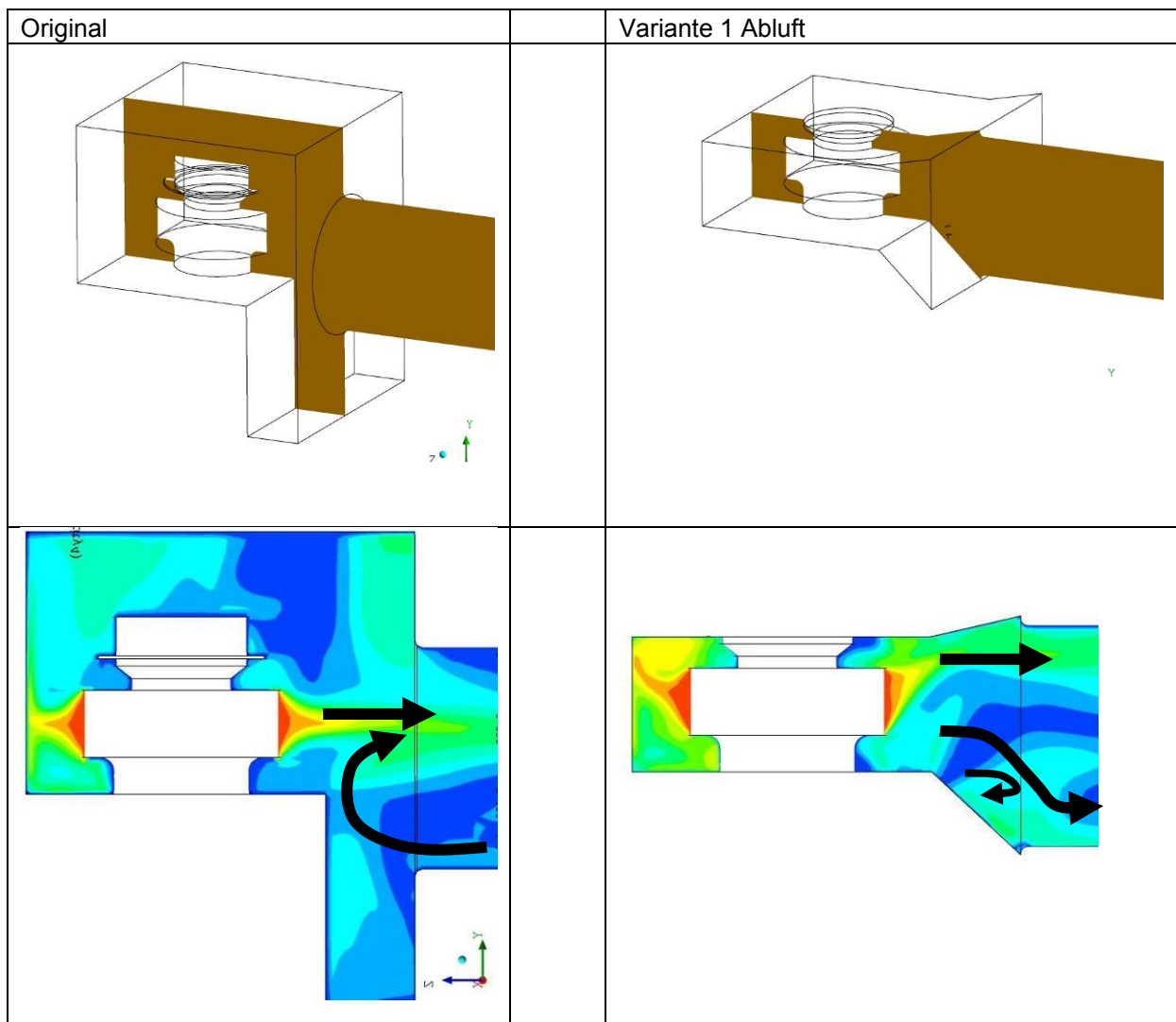
Im Vergleich zur Originalvariante konnten die spezifischen Energieverluste mit der optimierten Variante um 12 % reduziert werden.

Abluftseite

An der Abluftseite ist die Situation ähnlich, indem die Luft in einer sehr grossen Raum aus dem Ventilator austritt. Der Weg zur Austrittsleitung ist in der Originalvariante entsprechend nicht geführt. Aus Platzgründen ist es in diesem Fall aber nicht möglich eine Spirale anzubringen. Es wurde deswegen der Raum konsequent verkleinert, um die Totwasser-Gebiete möglichst viel zu reduzieren, speziell über den Ventilator und beim Anschluss zur Austrittsleitung⁵

Auch in diesem Fall konnten die spezifischen Energieverluste reduziert werden, insgesamt um 13%.

In *Figur 15* ist aus der CFD Simulation die Geschwindigkeitsverteilung ersichtlich und durch die Pfeile die grobe Strömungsrichtung. In der Originalvariante reicht die Rezirkulationszone sehr weit in die Austrittsleitung hinein, während in der modifizierten Variante nur ein kleines Ablösungsgebiet sichtbar ist.



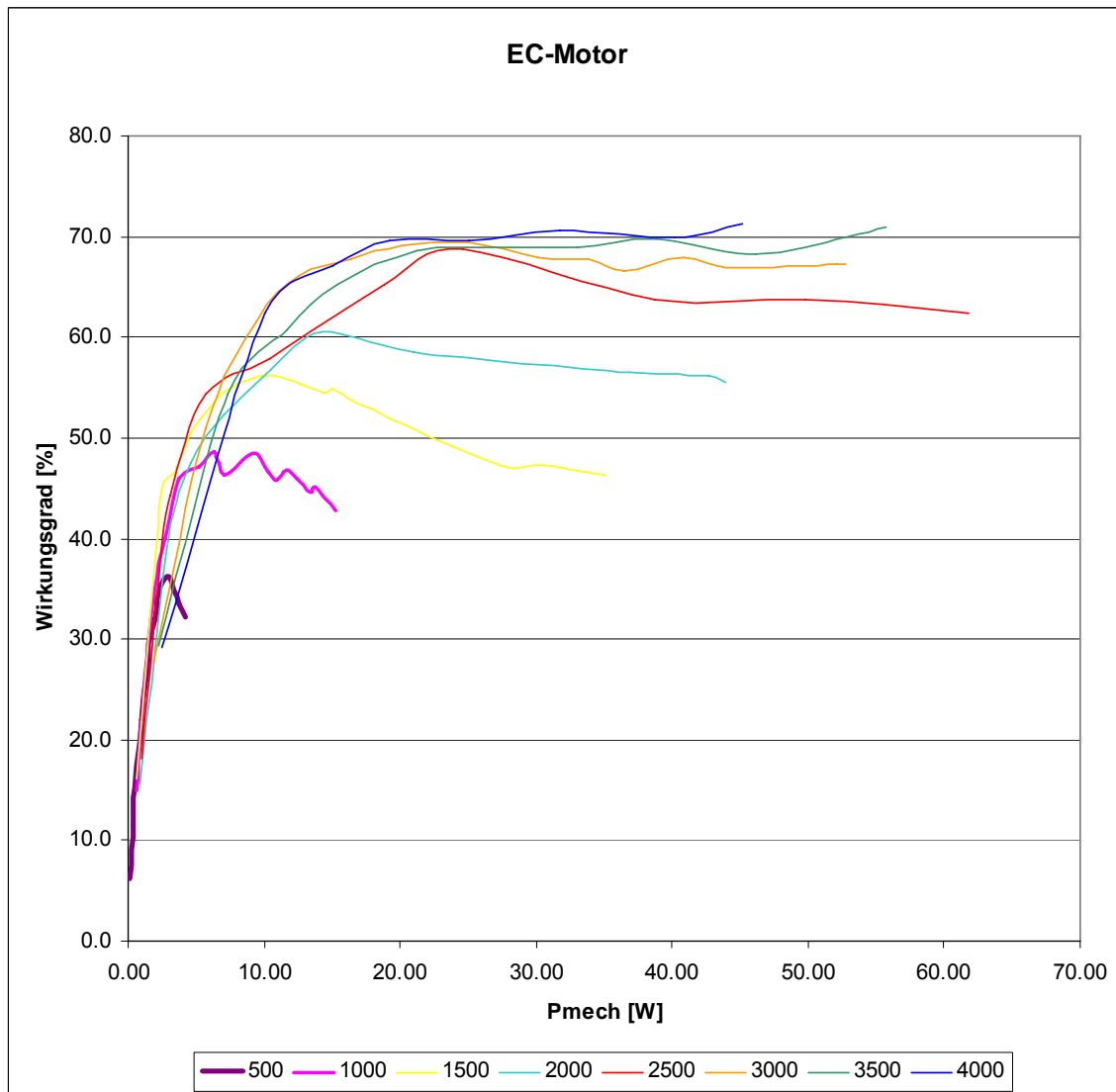
Figur 15: Situation „Abluft“. Geschwindigkeitsverteilung am Ventilatoraustritt aus der CFD.

Fazit

Die Strömung in den Zu- und Abluftkanälen einer Lüftungsgerätes wurden untersucht. In der Originalvariante tritt die Luft in grossen Volumina aus, wobei die hohe kinetische Energie am Lüfteraustritt mehrheitlich dissipiert wird. Mit der Verkleinerung dieser Volumina und wenn möglich dem Einsatz von einer Sammelspirale konnten die spezifischen Energieverluste in der Strömung reduziert werden, mit verhältnismässig wenig Aufwand.

Die Massnahmen wurden als Verbesserung/Modifikation der Originalvariante vorgeschlagen. Durch die Berücksichtigung bereits in der Konzeptionsphase von Massnahmen, die zu strömungsgünstigen Verhältnissen führen, sollte es möglich sein, mit minimalem Mehraufwand die Strömungsverluste deutlich zu reduzieren.

In einer Diplomarbeit [22] an der HSLU Technik + Architektur wurde ein EC-Motor von ebm-pabst ausgemessen wie er im Hoval HomeVent RS 180 eingesetzt wird. Es zeigt sich, dass bei einer Drehzahl zwischen 3500 und 4000 U/min im Maximal-Punkt ein Motorenwirkungsgrad von 70% (siehe Fig. 16) erreicht wird.

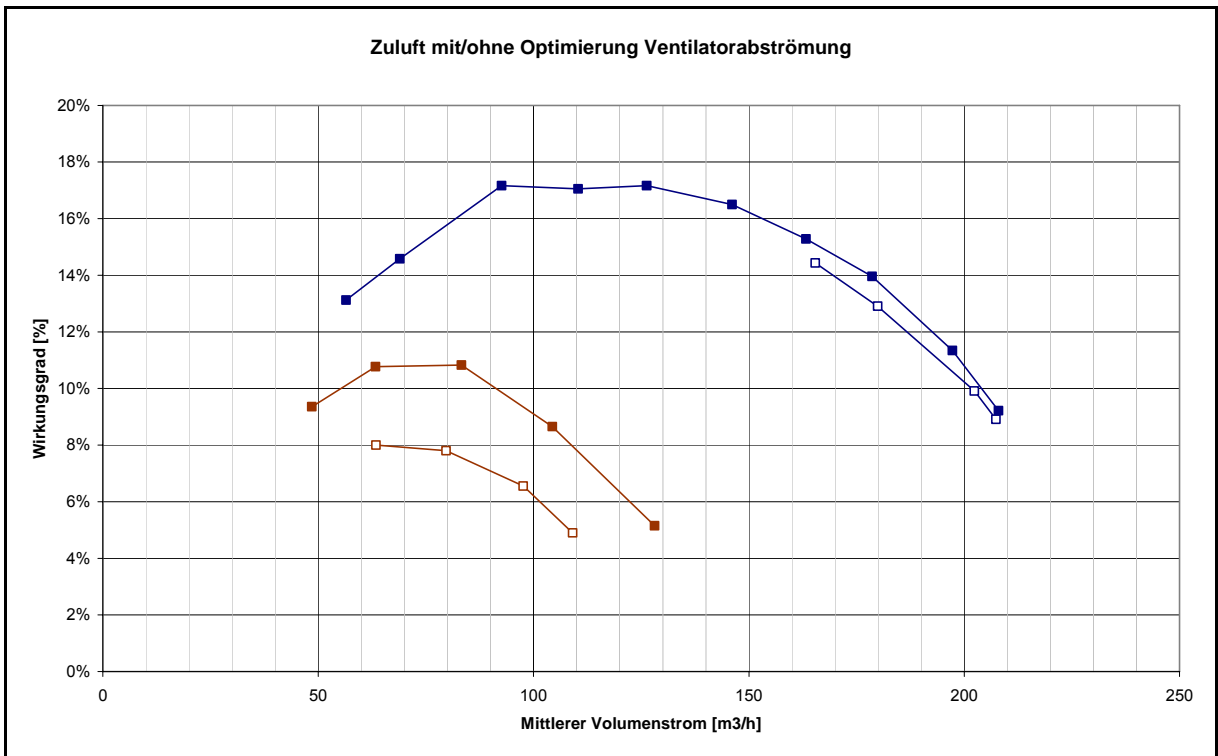


Figur 16: Motorenwirkungsgrad des EC-Motors bei verschiedenen Drehzahlen

Der Einsatzbereich dieses Motors liegt zwischen 1800 min^{-1} und 3700 min^{-1} .

Überprüfung der Optimierung durch strömungstechnische Messungen im Labor

Das Lüftungsgerät wurde ohne und mit der strömungstechnischen Optimierung beim Zuluftventilator ausgemessen. Im nachfolgenden Diagramm (siehe Fig. 17), zeigt sich eine leichte Verbesserung des Geräte-Gesamtwirkungsgrades durch die strömungstechnische Verbesserung. Nach SIA 382/1 [3] soll der Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoren inkl. Motor im Optimalpunkt bei Nennluftstrom von ca. $100 \text{ m}^3/\text{h}$ einen Grenzwert von 0.04 resp. einen Zielwert von 0.25 erreichen. In Anbetracht, dass der in Figur 17 dargestellte Systemwirkungsgrad auf das gesamte Lüftungsgerät mit WRG, Filter, und externe Druckverluste bezogen ist, sind die erwarteten relativen Verbesserungen beim spezifischen Energieverlust (Druckverlust) etwa eingetroffen.



Figur 17: Verbesserung des Systemwirkungsgrades

4.3.2 Hygiene

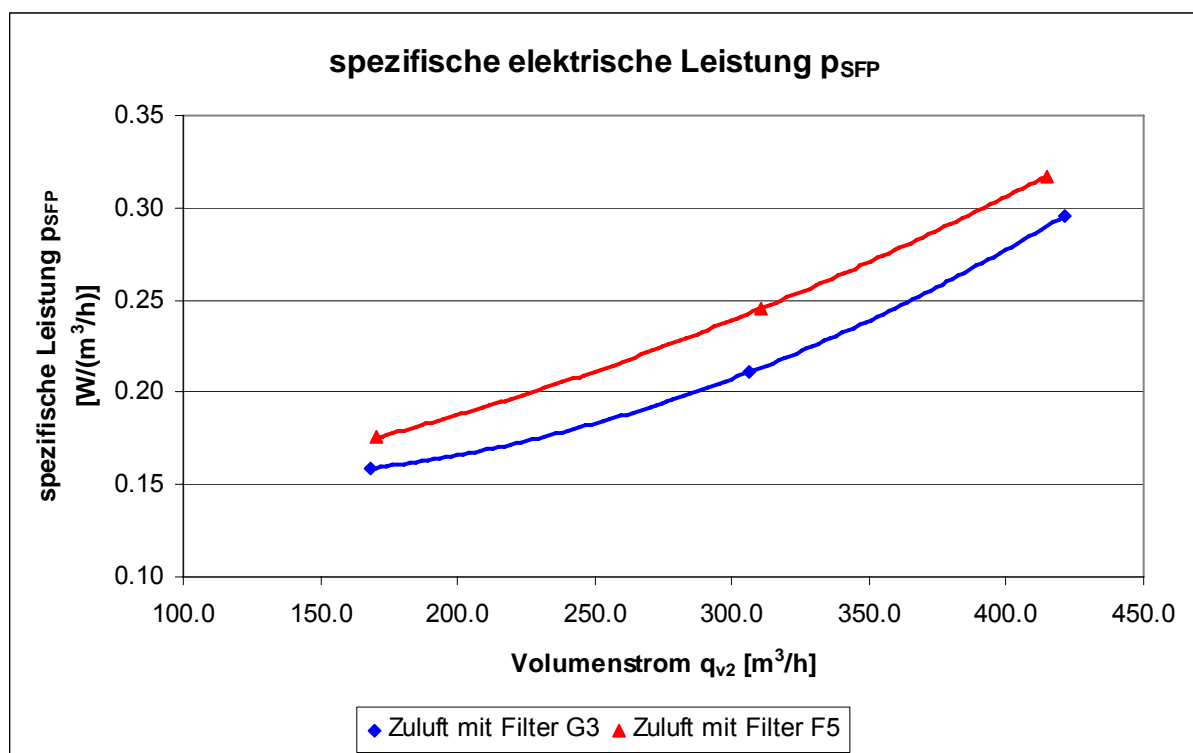
Luft ist gewissermassen ein Lebensmittel und darf durch die Lüftungsanlage nicht nachteilig beeinflusst werden. Dies ist nur sicherzustellen, wenn alle Teile der Anlage einem bestimmten Minimalstandard entsprechen. Bei Lüftungsanlagen gibt es eine Kette von kritischen Punkten, die sich auf die Hygiene auswirken können. Es beginnt bei der Aussenluftfassung, setzt sich allenfalls über ein Lüfterregister fort und führt weiter über die Luftfilter. Das Konzept des Lüftungsgerätes und der Luftverteilung wirken sich auf die Reinigung aus. Verschiedene Quellen, z.B. im Planungshandbuch Komfortlüftung [13] werden Anforderungen an die Reinigung und Hygiene von Luftleitungen aufgeführt. Einige dieser Empfehlungen ermöglichen es auch, die Druckverluste zu verringern. Glattwandige Leitungen können besser gereinigt werden als gewellte oder poröse Oberflächen. Dies reduziert auch die Druckverluste. Das Verteilsystem muss in definierte Reinigungsabschnitte eingeteilt werden. Wenn ein Reinigungsabschnitt nur von einer Seite her (z.B. vom Luftdurchlass) zugänglich ist soll er max. 12 m lang sein. Damit ist auch die Forderung nach kurzen Leitungen erfüllt. Es sollen weite 90°-Bögen eingesetzt werden. Bei kleinen Rohrdurchmessern sind grosse Radien oder 2 x 45°-Bögen zu wählen. Verteilerkästen, Schalldämpfer usw. sollen für die Reinigung zugänglich sein. Während der Installation sollen Öffnungen verschlossen werden, damit keine Verunreinigungen ins System geraten können.

In der Schweiz sind die allgemeinen Anforderungen bezüglich Hygiene von Lüftungsanlagen in der SWKI-Richtlinie VA 104-01 [23] festgelegt. Diese Richtlinie beruht auf der Richtlinie VDI 6022, Blatt 1. In Deutschland wird die Norm DIN 4719 [24] überarbeitet und soll dieses Jahr verfügbar sein. Darin werden spezielle Hygiene-Kriterien für „H“-Lüftungsgeräte (Hygiene-Ausführung) aufgelistet. Es werden Anforderungen an Werkstoffe, Ausführung, Filter, Ausrüstung, Bedienung und Luftsysteme gemacht.

4.3.2.1 Luftfilter

Gemäss neuen Hygienestandards sind für die Zuluft Feinstaubfilter der Klasse F7 oder besser einzubauen. In der Abluft genügt in der Regel bei Plattenwärmetauschern ein Grobstaubfilter der Klasse G3/G4. Bei Rotationswärmetauschern ist ein Filter der Klasse F5 zu empfehlen. Bei zweistufigen Filtern in der Zuluft, z.B. G4 + F7 müssen entsprechende Filterbauformen gewählt werden, die nur geringe Druckverluste verursachen. Taschen- oder Zellenfilter

sind zu bevorzugen, da sie einen geringeren Druckverlust haben als Filtermatten und zudem auch längere Standzeiten aufweisen. Die Bezeichnung Pollenfilter sagt noch nichts über die Filterqualität aus. Eine Filterüberwachung ist unbedingt nötig und der Filterwechsel muss angezeigt werden. Es gibt Hersteller, die liefern die Lüftungsgeräte z.B. mit G3-Filtern aus, um das Gerät bis zur definitiven Inbetriebsetzung zu schützen. Bei der Inbetriebsetzung besteht die Möglichkeit den Zuluftfilter durch ein Feinstaubfilter F5 oder F7 auszutauschen. Der Wechsel des Zuluftfilters von G3 durch F5 (siehe Fig. 18) verursacht infolge des grösseren Filterdruckverlustes, der mit der Veränderung der Einstellung des Zuluftventilators kompensiert werden muss, eine Erhöhung der spezifischen elektrischen Leistungsaufnahme p_{SFP} . In diesem Beispiel wurden Filtermatten verglichen. Die tiefen absoluten Werte für die spezifische elektrische Leistungsaufnahme p_{SFP} sind darauf zurückzuführen, dass nur minimale externe Drücke durch die Messeinrichtung für Volumenstrom und Druckdifferenz aufgeprägt wurden und somit nicht mit den anderen Messungen vergleichbar sind. Der Anstieg des p_{SFP} durch den Filtertausch bewegt sich in diesem Fall zwischen 10 bis 15%. Der Unterschied mit einer F7 Feinstaubfiltermatte würde noch deutlicher ausfallen. Bei der Deklaration Komfortlüftungsgeräte ist diesem Umstand Rechnung zu tragen. Das Filtermedium, das bei der Geräteprüfung eingesetzt wurde, ist deklariert. Zu beachten ist auch, dass die Angaben bei neuen Filtern gemacht werden. Durch die Beladung der Filter im Betrieb wird sich wegen dem Druckverlustanstieg bei nicht geregelten Ventilatoren eine Reduktion des Volumenstromes einstellen. Bei Volumenstrom-geregelten Ventilatoren wird dieser Druckverlustanstieg ausgeregelt mit entsprechend erhöhter elektrischer Leistungsaufnahme.



Figur 18: Erhöhung der spezifischen Leistung p_{SFP} infolge Filterwechsel bei geringem externen Druckverlust

4.3.3 Vereisungsschutz

4.3.3.1 Energieaufwand für den Vereisungsschutz der Wärmerückgewinnung

Bei der Bewertung der Energie-Effizienz von Wohnungs-Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung (WRG) werden einerseits der Wärmebereitstellungsgrad nach Passivhaus Institut (Nutzen) und andererseits die elektrische Leistungsaufnahme (Aufwand) verwendet [15]. Das Problem bei dieser Bewertung bereitet die Zuordnung des Energieaufwandes für den Vereisungsschutz (VS) des Wärmeübertragers für die WRG. Dieser Energieaufwand ist bei

einer ungünstigen Ausführung beträchtlich und kann z.B. in der Grössenordnung der Leistungsaufnahme für die Ventilatoren sein. Speziell im Alpenraum gibt es viele Betriebsstunden an welchen der Vereisungsschutz der Lüftungsanlage wirksam ist. Der Bauherr und Wohnungsnutzer erwarten, dass die Wohnungslüftung speziell bei Aussentemperaturen unter 0°C ohne Einschränkungen funktioniert und den Komfort sicherstellt.

Die Zuordnung des Energieaufwandes für den Vereisungsschutz entweder zur elektrischen Leistungsaufnahme (SFP-Wert) oder zum Wärmebereitstellungsgrad ist in den EN-/SN-Normen nicht eindeutig geregelt und vom System abhängig. Die Leistungsdaten aus der Lüftungsgeräteprüfung nach prEN 13141-7 [20] sind ohne den Energieaufwand für den Vereisungsschutz. In der DIN 18599-6 [25] wird z.B. dieser Energieaufwand durch eine Reduktion des Wärmebereitstellungsgrades berücksichtigt und somit dem Wärmebedarf zugeordnet. Zudem gibt es Probleme bei der Bewertung von Lüftungsgeräten, da die VS-Massnahmen und deren Auswirkungen oft ausserhalb der Systemgrenze „Lüftungsgerät“ liegen und nur die Gesamtanlage (System) energetisch beurteilt werden kann.

4.3.3.2 Vereisungsschutz für Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung

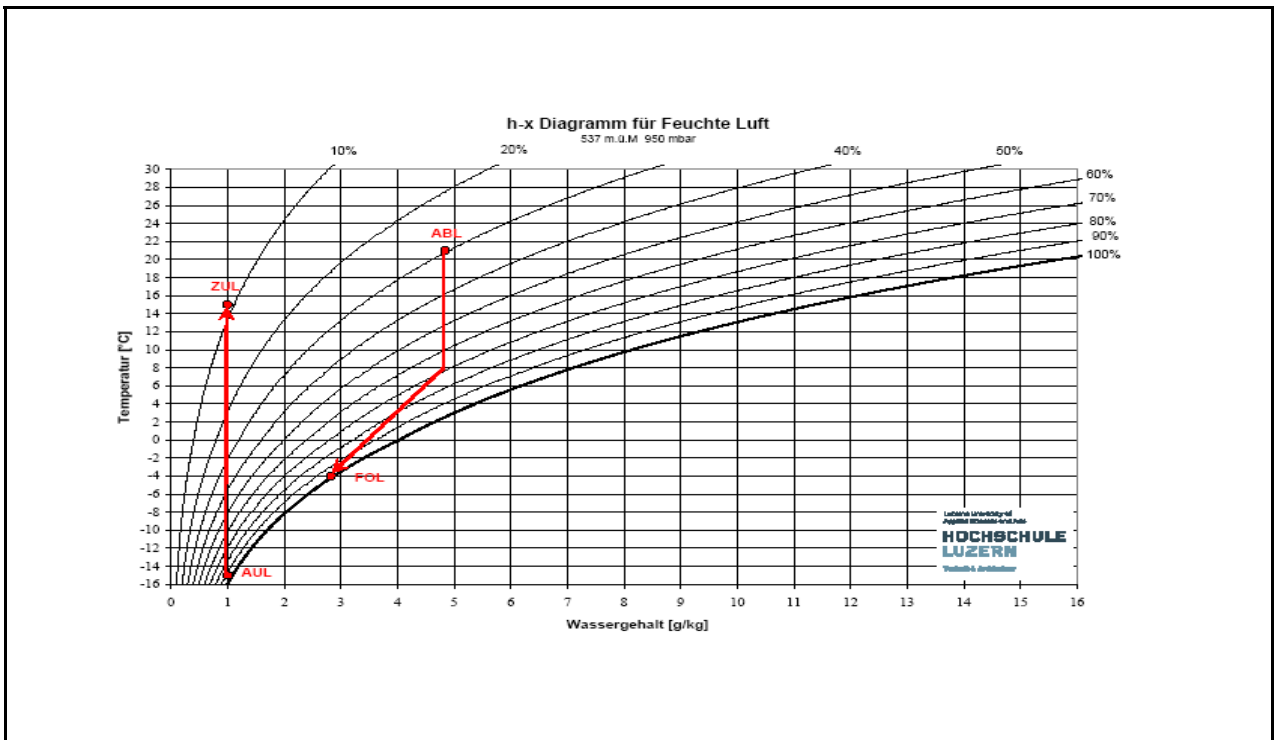
Die Hochleistungs-Wärmeübertrager zur WRG sind oft als Kreuz-Gegenstrom-Plattenwärmeaustauscher ausgeführt. Bei unterschreiten der Oberflächentemperatur der Platte von 0°C vereist das Kondensat auf der Abluftseite (siehe Fig. 19) und verstopft die engen Luftkanäle. Der hydraulische Durchmesser dieser Luftkanäle ist in der Regel nur 2...3 mm. Der notwendige Aussenluftwechsel ist bei diesen Bedingungen nicht mehr sichergestellt. Zudem besteht die Gefahr der Beschädigung/Störung für das Gerät. Die Ableitung des Kondensats bei Aussenluft-Temperaturen kleiner 0°C ist problematisch und muss ebenfalls vor Vereisung geschützt werden. In *Figur 19* ist die Situation ohne VS-Massnahme dargestellt. Ohne VS-Massnahme wird der Wärmeübertrager zwangsläufig zufrieren.

Die Vereisungsgrenztemperatur ist definiert als Aussenluft-Temperatur, ab welcher Massnahmen zur Vermeidung der Vereisung des Wärmeübertragers notwendig sind. Diese ist abhängig von:

- Wärmebereitstellungsgrad (je besser der Wärmetauscher ist desto höher ist die Grenztemperatur bzw. der Energieaufwand)
- Konstruktion/Luftführung des Wärmeübertragers
- Ablufttemperatur und Abluftfeuchte
- Massenstromverhältnis (Aussenluft/Fortluft)

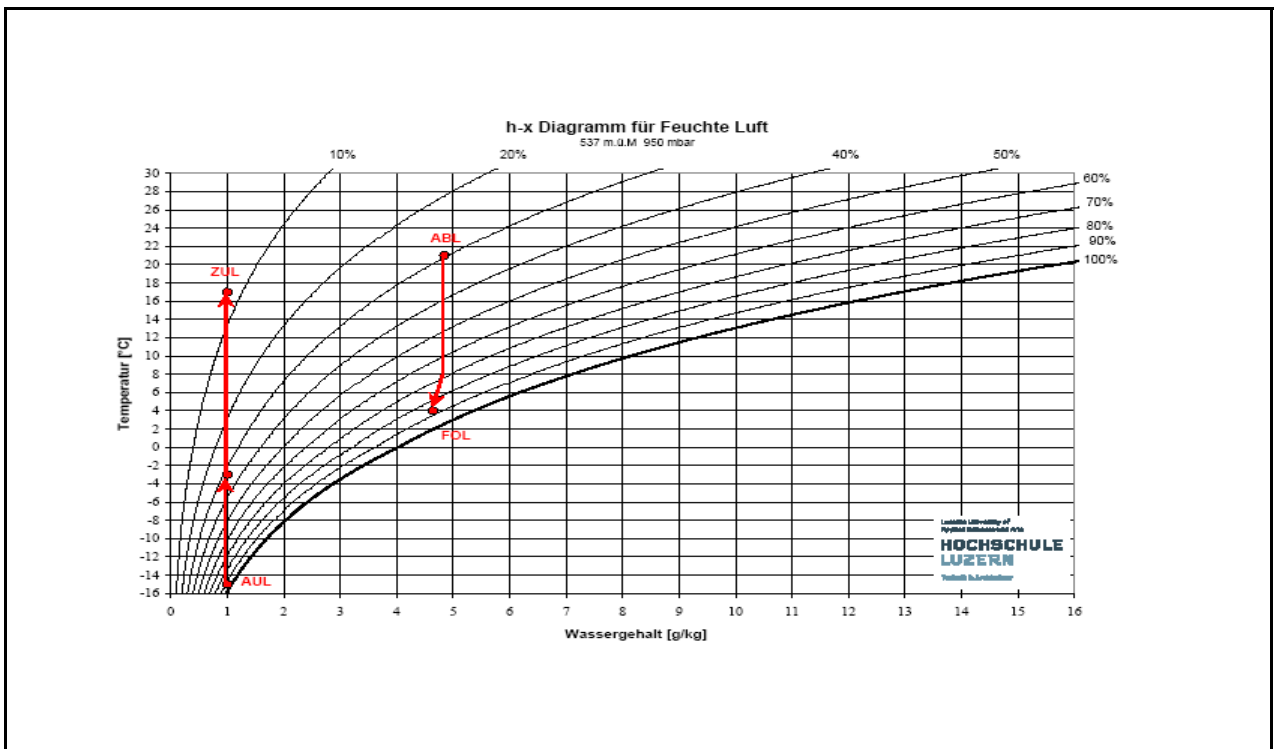
Die VS-Grenztemperatur ist bei diesen Wärmetauschern für die Wohnungslüftung in der Regel bei Aussenluft-Temperaturen von $\leq -3^{\circ}\text{C}$ (siehe *Figur 20*).

Die VS-Grenztemperatur ist in der Regel in einem gewissen Bereich verstellbar. Die Werkseinstellungen sind aus Sicherheitsgründen oft zu hoch. Es empfiehlt sich, den Vereisungsschutz im Betrieb zu überprüfen um nicht unnötig zu viel Energie zu verbrauchen.



Figur 19: Verlauf ohne Vereisungsschutz mit Frostbildung

Für den störungsfreien Betrieb und zur Aufrechterhaltung des notwendigen Aussenluftwechsels sind demnach Vereisungsschutzmassnahmen erforderlich. Es sind folgende Arten bekannt:



Figur 20: Verlauf mit Vereisungsschutz-Massnahme

a) Vorheizung der Aussenluft mit Erdreich-Luft-Wärmeübertrager

Diese energetisch vorteilhafte Variante ist in der Literatur ausreichend beschrieben [12]. Der zusätzliche Energiebedarf für den Druckverlust des Erdreich-Luft-Wärmeübertragers ist bei

guter Ausführung gering. Diese Variante ist leider nicht immer realisierbar und verursacht beträchtliche Investitionskosten. Wichtig ist die Beachtung der Hygieneanforderungen. Nasse Oberflächen im Luftkanal sind unbedingt zu vermeiden. Dies gilt auch im Sommerbetrieb (Taupunktunterschreitung).

Variante: Vorheizung der Aussenluft mit Erdreich-Sole-Wärmeübertrager

Diese Lösung ist noch relativ neu und auch erst unvollständig in der Literatur beschrieben. Sie bietet aber doch gegenüber dem Erdreich-Luft-Wärmeübertrager Vorteile. Der Platzbedarf für die Verlegung des Registers ist deutlich geringer als beim Luftregister und es gibt keine hygienischen Probleme. Der luftseitige Druckverlust des Wärmeübertragers dürfte in einer vergleichbaren Größenordnung wie beim Erdregister sein, und der elektrische Leistungsaufwand für die Pumpe dürfte nicht grösser sein als der Mehraufwand für die Luftförderung beim Luftregister. Für die Sicherheit vor Frost bei einem Ausfall der Umwälzpumpe müssen aber Vorkehrungen getroffen werden.

b) Vorheizung der Aussenluft mit elektrischem Heizregister

Diese Variante führt zu einem zusätzlichen elektrischen Energieaufwand. Bei Lüftungsgeräten mit integrierter elektrischer Vorheizung und Steuerung muss dieser zusätzliche Energieaufwand dem SFP-Wert des Lüftungsgerätes zugerechnet werden. Wenn diese Vorheizung jedoch als Komponente: Elektro-Heizregister im Aussenluftkanal installiert wird, kann diese Bewertung nur als Lüftungsanlage erfolgen. Dies macht eine Beurteilung von Lüftungsgeräten schwierig. Elektrische Luftherhitzer müssen wegen der Überhitzung/Brandgefahr mit einem Temperatur- und einem Strömungswächter ausgeführt werden. Hygiene: Vor der Heizperiode sollte das Heizregister gereinigt werden. Damit wird verhindert, dass die Schmutzablagerungen auf den Heizstäben verschwelen und zu einer unangenehmen Geruchsbelastung führen.

c) Vorheizung der Aussenluft mit Warmwasser- oder Sole-Luftherhitzer

Bei dieser Variante ist der zusätzliche Energieaufwand dem Wärmebedarf also dem Wärmebereitstellungsgrad anzurechnen. Der zusätzliche Druckverlust führt zu einer höheren Leistungsaufnahme und muss dem SFP-Wert zugerechnet werden. Bei einem WW-Luftherhitzer ist der Wasserkreis gegen Frost zu schützen. Vor dem Luftherhitzer ist ein Aussenluftfilter einzuplanen.

d) Reduktion/Abschalten des Zuluftventilators

Bei der Reduktion des Aussenluft-Volumenstromes wird die Abluft weniger abgekühlt und es kann damit die VS-Grenztemperatur reduziert werden. Diese Drehzahlreduktion des Aussenluftventilators kann stetig, in Stufen oder EIN/AUS erfolgen. Der EIN/AUS Betrieb wird auch als Abtaufunktion bezeichnet. Diese Variante führt zu einem zusätzlichen Energieaufwand, da die fehlende Aussenluft über die Gebäudehülle nachströmt und mit der Raumheizung auf die Zulufttemperatur aufgeheizt werden muss. Während dieser Zeit ist die WRG reduziert oder aus und Wärmeenergie wird mit der Fortluft ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Die Behaglichkeit und der Komfort sind bei dieser VS-Massnahme eingeschränkt. Diese Betriebsart ist wegen des Unterdrucks in der Wohnung in Kombination mit Feuerstätten nicht zugelassen. In Radon-Gebieten ist ein Unterdruck im Wohnbereich zudem problematisch.

e) Bypass in der Aussenluft und WW- oder Sole Nachheizregister

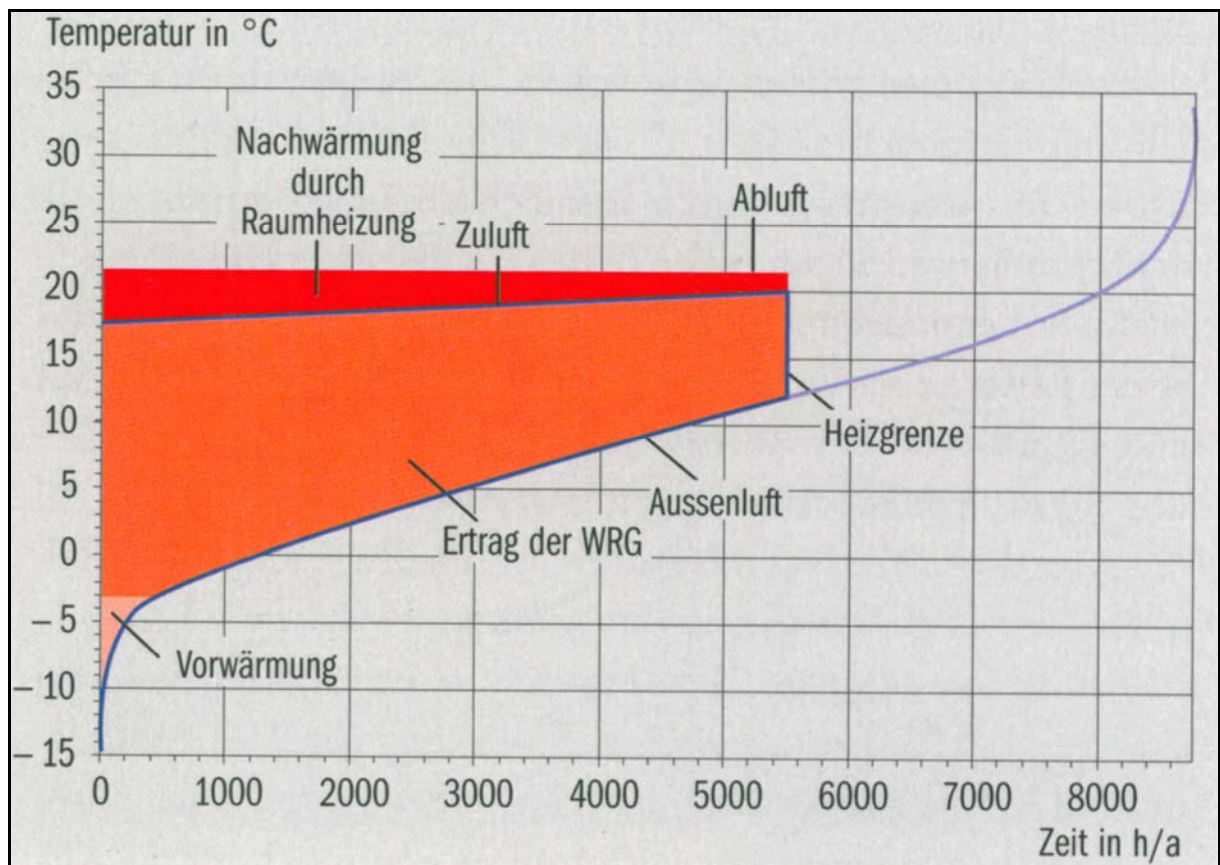
Das Lüftungsgerät ist mit einem Aussenluft-Bypass zur Umgehung des Wärmeübertragers ausgerüstet. Ab einer VS-Grenztemperatur wird der Bypass mit einem Klappenstellantrieb ein- oder mehrstufig geöffnet. Diese Variante führt zu einem zusätzlichen Energieaufwand, da während dieser Zeit die WRG reduziert oder ganz ausgeschaltet ist und Wärmeenergie mit der Fortluft ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Zur Sicherstellung der Behaglichkeit ist eine Nachheizung der Aussenluft erforderlich.

Dieser Wärmebedarf muss beim Wärmebereitstellungsgrad berücksichtigt werden. Je nach Ausführung des Lüftungsgerätes und der Nachheizung ist der zusätzliche Druckverlust zu berechnen und dem SFP-Wert zuzurechnen.

f) Wärmeübertrager mit Feuchterückgewinnung

Bei einem Wärmeübertrager mit Feuchterückgewinnung (z.B. Sorptionsrotor) entsteht kein Kondensat und es ist auch kein Vereisungsschutz erforderlich. Die Einsatzgrenzen gem. Herstellerangaben sind jedoch zu beachten. Diese Variante ist vorteilhaft und verursacht, abgesehen vom Rotorantrieb, keinen zusätzlichen Energieaufwand und keine zusätzliche Investitionen.

4.3.3.3 Berechnung des Energieaufwandes für den Vereisungsschutz und anteiliger Nutzen



Figur 21: Darstellung im Summenhäufigkeitsdiagramm

In Figur 21 ist schematisch die Basis für nachfolgende Berechnungen dargestellt. Die Berechnungen werden aber für das ganze Jahr mit 8640 Stunden und einer Heizgrenztemperatur von 15°C durchgeführt. Um eine Vereisungsschutztemperatur von -3°C zu erreichen, muss die Aussenluft vorgewärmt (Vorwärmung) werden. Mit der WRG kann die Zuluft auf mindestens 17°C erwärmt werden. Zur Erreichung einer Raumtemperatur von ca. 21°C muss allenfalls noch nachgewärmt werden.

Bei folgenden Berechnungen werden die Klimadaten aus dem Datensatz Zürich-SMA-dry verwendet.

Anlagen- / Gerätedaten:

Volumenstrom konstant	150 m ³ /h
Luftdichte	1.15 kg/m ³
Durchgehender Betrieb	8640 h

Spezifische elektrische Leistungsaufnahme (SFP-Wert)	0.4 W/(m ³ /h)
Gesamtdruckverlust Lüftungsgerät und extern	220 Pa je Luftstrom
Heizgrenztemperatur	15°C
Temperaturverhältnis bezogen auf die Zuluft η_t	83%
Ablufttemperatur	21°C

Tabelle 1: Daten für die Berechnungen

In *Tabelle 1* sind die Anlagen- und Gerätedaten für die nachfolgenden Berechnungen aufgeführt.

Je nach VS-Grenztemperatur ergeben sich folgende Lüftungsgradstunden bzw. Energieaufwand für die VS-Massnahme pro Jahr.

VS-Grenztemperatur	°C	-5	-4	-3	-2
Lüftungsgradstunden	G _{t,h}	526	789	1110	1554
Energieaufwand VS-Massnahme	kWh	25	38	53	75

Tabelle 2: Lüftungsgradstunden und Energieaufwand für den Vereisungsschutz

Dieser Energieaufwand (siehe Tab. 2) gilt für eine stetige Regelung mit idealer, stufenloser Vorheizung der Aussenluft. Bei Anrechnung der VS-Massnahme als elektrischer Energieaufwand ergibt sich z.B. bei einer VS-Grenztemperatur von -3°C ein im Idealfall um 10% höherer SFP-Wert. Für dieses Beispiel ist der elektrische Energieaufwand (ohne VS-Massnahme) = 0.4 W/(m³/h) * 150 m³/h * 8640 h/a /1000 = 518.4 kWh pro Jahr (=100%).

Bei einer Heizgrenztemperatur von 15°C beträgt die nutzbare, mit der WRG max. zurückgewonnene Wärmeenergie 3916 kWh. Der Energieaufwand für obige VS-Massnahme bei z.B. -3°C angerechnet auf den Wärmebereitstellungsgrad beträgt demnach 1.4%. Wenn aber die WRG während den Betriebsstunden mit Aussenluft-Temperaturen kleiner VS-Grenztemperatur von -3°C gänzlich ausfällt, reduziert sich die zurück gewonnene Wärme um 388 kWh. Dies entspricht bei Umrechnung auf das Jahr einer Reduktion des Wärmebereitstellungsgrades um 10% oder z.B. 8%-Punkte von 83% auf 75%!

Zulufttemperatur ohne VS-Massnahme : Erwärmung von -15°C auf 15°C bei $\eta_t = 83%$ (s. Fig. 19)

Zulufttemperatur mit VS-Massnahme: Vorheizung auf -3°C, und Erwärmung mit WRG auf 17°C

Von der Vorheizung mit $\Delta t = 12K$ werden in diesem Beispiel nur 2K (17%) thermisch genutzt (s. Fig. 20).

Wenn die VS-Massnahme einen Druckverlust verursacht, ergibt sich folgender zusätzlicher Energieaufwand und muss dem SFP-Wert zugerechnet werden.

Zus. Druckverlust	Pa	5	10	15	20
Zusätzliche elektr. Leistungsaufnahme	kWh	6	12	18	24
Erhöhung des SFP-Wertes um	%	1.1	2.2	3.3	4.4

Tabelle 3: Erhöhung des SFP-Wertes infolge Druckverlust des Vereisungsschutzes

In *Tabelle 3* ist die prozentuale Erhöhung des SFP-Wertes bei verschiedenen zusätzlichen Druckverlusten der VS-Massnahme dargestellt.

Energieaufwand Variante: Vorheizung der Aussenluft mit Erdreich-Luft-Wärmeübertrager

Bei der Vorwärmung mit einem Erdreich-Luft-Wärmeübertrager ist der zusätzliche Energiebedarf nur für den höheren Druckverlust anzurechnen. Dieser Druckverlust ist bei einer guten Ausführung 10...20 Pa und muss für den ganzjährigen Betrieb angerechnet werden. Die Anrechnung ist demnach bei der elektrischen Leistungsaufnahme und beträgt: SFP-Wert + 2.2 bis 4.4 % (s. Tab. 3).

Der Erdreich-Luft-Wärmeübertrager hat zudem einen energetischen Nutzen. Durch die Vorheizung der Aussenluft wird zwar das Potential für die Wärmerückgewinnung reduziert, die Zulufttemperatur aber trotzdem geringfügig erhöht. Berechnungsbeispiele und Diagramme sind in [12] enthalten.

Energieaufwand Variante: Vorheizung der Aussenluft mit elektrischem Heizregister

Bei der Vorwärmung mit einem elektrischen Heizregister hat die Qualität dieses Heizregisters und der zugehörigen Steuerung einen grossen Einfluss auf den Energieaufwand. Die Berechnung bei ein- und zweistufigem Heizregister mit einer Schaltdifferenz von jeweils 1K ergibt folgende Werte:

VS-Grenztemperatur	°C	-5	-4	-3	-2
Energieaufwand Heizregister einstufig	kWh	74	110	166	265
Energieaufwand Heizregister zweistufig	kWh	25	40	85	167

Tabelle 4: Energieaufwand bei Vorwärmung mit elektrischen Heizregister

Wird die VS-Grenztemperatur mit einem elektrischen Heizregister gehalten, ergeben sich bei einstufigem oder zweistufigem Betrieb Energieaufwände gemäss *Tabelle 4*.

Die gute Abstimmung der elektrischen Leistung je Stufe auf den notwendigen Bedarf ist von besonderer Bedeutung. Obige Werte entsprechen einer optimalen Auslegung der Leistung je Stufe. In der Regel werden aber handelsübliche Elektro-Lufterhitzer meist mit einer zu grossen Leistung eingesetzt.

Der SFP-Wert steigt entsprechend obiger Berechnung bei -3°C und einstufigem Heizregister um 32% und beim zweistufigen Heizregister um 16% bezogen auf einen ganzjährigen Betrieb!

Der zusätzliche Druckverlust ist bei einem Elektro-Lufterhitzer praktisch vernachlässigbar.

Energieaufwand Variante: Vorheizung der Aussenluft mit WW- oder Sole-Lufterhitzer

Bei der Vorwärmung mit einem Warmwasser/Sole-Lufterhitzer sind einerseits der Wärmebedarf und andererseits der zusätzliche elektrische Leistungsbedarf für die Umwälzpumpe sowie der zusätzliche Druckverlust anzurechnen. Für den Wärmebedarf ist die Ausführung der Hydraulik und der Regelung von Bedeutung. Da es viele unterschiedliche Varianten für die Hydraulik und Regelung gibt wird in diesem Bericht zur Vergleichbarkeit der VS-Massnahmen folgender Wärme- und Energiebedarf angesetzt:

VS-Grenztemperatur	°C	-3
Wärmebedarf Lufterhitzer	kWh	166
Zusätzliche elektrische Leistungsaufnahme Druckverlust Lufterhitzer	kWh	24
Zusätzliche elektrische Leistungsaufnahme Umwälzpumpe (358 h)	kWh	18

Tabelle 5: Zusätzlicher elektrischer Leistungsbedarf für Umwälzpumpe

Daraus (siehe Tab. 5) folgt eine Reduktion des Wärmebereitstellungsgrades um 4% und eine Erhöhung des SFP-Wertes um 8%.

Energieaufwand Variante: Reduktion/Abschalten des Zuluftventilators

Bei dieser Variante ist der zusätzliche Heizwärmebedarf je nach VS-Grenztemperatur auf die Zuluft-Grenztemperatur von 15°C und Art der Steuerung des Ventilators zu berechnen:

VS-Grenztemperatur	°C	-5	-4	-3	-2
Energieaufwand Abschalten einstufig	kWh	250	300	364	498
Energieaufwand Abschalten zweistufig (50%,0%)	kWh	141	185	282	374

Tabelle 6: Zusätzlicher Heizwärmebedarf bei Reduktion/Abschalten des Zuluftventilators

Dieser Energieaufwand (siehe Tab. 6) ist dem Wärmebereitstellungsgrad anzurechnen und beträgt beim Beispiel mit VS-Grenztemperatur -3°C:

- Einstufige Abschaltung Reduktion um 9%
- Zweistufige Abschaltung Reduktion um 7%

Durch die Abschaltung des Zuluftventilators reduziert sich der elektrische Leistungsaufnahme um

- Einstufige Abschaltung 1.3 % des SFP-Wertes
- Zweistufige Abschaltung 2.6 % des SFP-Wertes.

Energieaufwand Variante: Bypass in der Aussenluft und WW- oder Sole Nachheizregler

Bei dieser Variante ist der zusätzliche Heizwärmebedarf je nach VS-Grenztemperatur auf die Zuluft-Grenztemperatur von 15°C und Art der Steuerung der Bypassklappe zu berechnen:

VS-Grenztemperatur	°C	-5	-4	-3	-2
Energieaufwand Bypass einstufig	kWh	250	300	364	498
Energieaufwand Bypass zweistufig (50%,0%)	kWh	141	185	282	374

Tabelle 7: Zusätzlicher Heizwärmebedarf mit Bypass in der Aussenluft

Dieser Energieaufwand (siehe Tab. 7) ist dem Wärmebereitstellungsgrad anzurechnen und beträgt beim Beispiel mit -3°C:

- Einstufige Abschaltung Reduktion um 9%
- Zweistufige Abschaltung Reduktion um 7%

Durch die kompakte Bauweise hat der Bypass in der Regel den gleichen Druckverlust wie der Wärmeübertrager. Der Druckverlust für den notwendigen Luffterhitzer muss jedoch berücksichtigt werden. Erhöhung des SFP-Wertes bei z.B. 20 Pa um 4.4%.

Zusammenfassung

Bei der Beurteilung von Wohnungslüftungsgeräten über die energetische Effizienz ist der zusätzliche Aufwand für die VS-Massnahme von Bedeutung. Dabei ist zwischen VS-Massnahmen im Lüftungsgerät und VS-Massnahmen in der Lüftungsanlage zu unterscheiden. Je nach Ausführung/Kombination ergibt sich ein zusätzlicher Energieaufwand welcher dem Wärmebedarf oder dem elektrischen Energieaufwand zuzuordnen ist. Die Varianten, welche eine Behaglichkeits- oder Komforteinbusse ergeben, sind nicht zu empfehlen bzw.

nicht vergleichbar. Es ist zu beachten, dass der Bauherr die Wohnungslüftung vor allem in der Heizperiode benötigt und es nicht zumutbar ist, dass der Betrieb bei tiefen Aussentemperaturen nur eingeschränkt möglich ist.

Obige Untersuchung führt aus energetischer Betrachtung zu folgendem Ranking der VS-Massnahmen:

a) Wenn ein Lüftungsgerät mit Feuchteübertragung (Sorptionsrotor) angewendet werden soll/kann

Es sind keine VS-Massnahmen erforderlich (Kein Kondensat bzw. freies Wasser an der Oberfläche des Wärmeübertragers). Die zusätzliche elektrische Leistung für den Rotorantrieb ist bereits berücksichtigt.

Wärmebereitstellungsgrad	keine Reduktion
SFP-Wert	keine Erhöhung

b) Wenn ein Erdreich-Luft-Wärmeübertrager installiert werden soll/kann

Die VS-Massnahmen Varianten 2.2 bis 2.5 sind nicht erforderlich:

Wärmebereitstellungsgrad	keine Reduktion
SFP-Wert	+ 3.3 %

c) Wenn a) oder b) nicht möglich sind

1. VS-Massnahme: Vorheizung mit elektrischem Heizregister, **Leistung elektronisch geregelt:**

Wärmebereitstellungsgrad	keine Reduktion
SFP-Wert	+10 %

2. VS-Massnahme: Vorheizung mit WW- oder Sole-Luftwärmepumpe:

Wärmebereitstellungsgrad	- 4% (Möglichkeit der Verwendung von erneuerbarer Energie mit niedriger Temperatur)
SFP-Wert	+8 %

3. VS-Massnahme: Bypass in der Aussenluft und WW- oder Sole-Nachheizregister

Wärmebereitstellungsgrad	- 9% bzw. -7%
SFP-Wert	+4.4 %

4. VS-Massnahme: Vorheizung mit elektrischem Heizregister, **Leistung zweistufig geregelt:**

Wärmebereitstellungsgrad	keine Anrechnung
SFP-Wert	+16 %

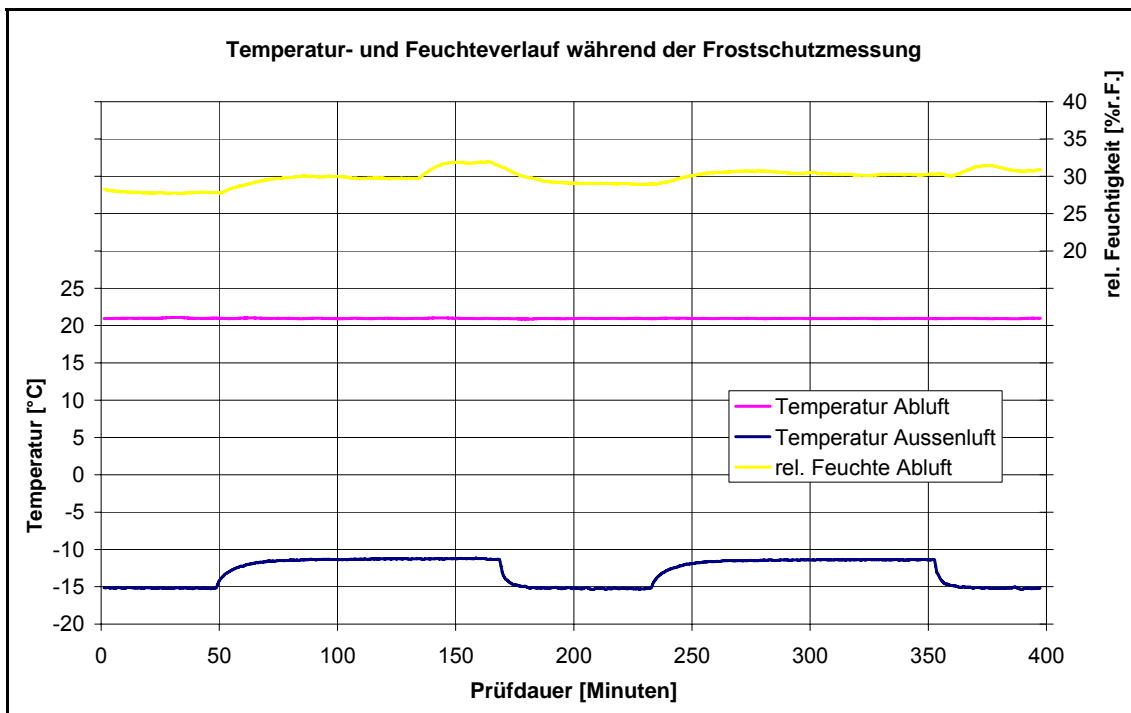
d) Wenn a) , b) oder c) nicht möglich sind

VS-Massnahme: Reduktion/Abschalten des Zuluftventilators:

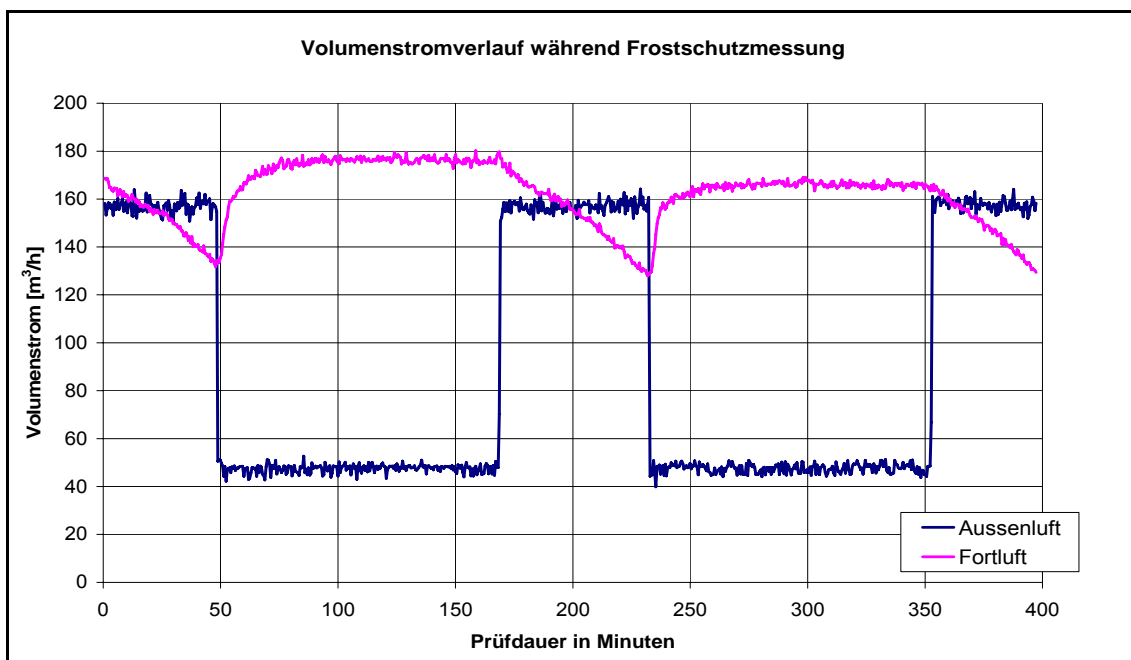
Diese Massnahme ist qualitativ schlechter als obige Massnahmen und somit kaum vergleichbar. Der Energieaufwand für die VS-Massnahme ist ähnlich der Version 3:

Wärmebereitstellungsgrad	- 9% bzw. -7%
SFP-Wert	+1.3...2.6 %

Ein Beispiel für d) zeigen die beiden nachstehenden Diagramme einer VS-Messung (siehe Fig. 22 und Fig. 23).



Figur 22: Temperaturverläufe während der VS-Prüfung



Figur 23: Verlauf der Volumenströme bei der VS-Prüfung

Der Anstieg der Aussenlufttemperatur von -15°C auf ca. -12°C während der Reduktion des Aussenluftstromes ist auf thermische Verluste auf dem Prüfstand zurückzuführen. Weitere Informationen über den Vereisungsschutz können dem Buch „Wohnungslüftung“ [12] und einer Diplomarbeit an der Hochschule Luzern [26] entnommen werden.

4.4 Verbesserung von Komponenten und Systemen

4.4.1 Verringerung des Druckverlustes am Beispiel einer Einzellüftungsanlage

Der Druckverlust auf der Zu- und Abluftseite einer Wohnungslüftung bei normalem Betrieb sollte so gering wie möglich gehalten werden. Bei einer Wohnungslüftungsanlage darf der Druckabfall 100 Pa nicht überschreiten, doch ist es durchaus möglich, den Druckverlust des Lüftungssystems deutlich zu reduzieren. Somit kann nicht nur der p_{SFP} -Faktor sondern auch der Schallpegel reduziert werden. Kurze Leitungen mit grossem Querschnitt und weiten Bögen sind auch aus hygienischer Sicht (Reinigung) nur von Vorteil.

Eine Analyse der technischen Daten der Lieferanten von Komponenten für die Komfortlüftung zeigt ein sehr unterschiedliches Bild. Das Spektrum reicht von detaillierten Angaben mit Druckverlustwerten bis lediglich Empfehlungen für den Luftvolumenstrom ohne Druckverlustangaben. Der Lüftungsplaner muss einen entsprechenden Lieferanten wählen, wenn er eine Druckverlustberechnung machen will. In den nachstehenden *Tabellen 8, 9* sind Druckverlustangaben zusammengestellt, die teilweise aus Labormessungen und auch von Herstellern stammen. Eine Haftung für diese Angaben und für Vollständigkeit können die Autoren nicht übernehmen. Sie sollen lediglich als Richtwerte dienen, um Planungs- und Messwerte zu überprüfen. Sie können aber auch dazu dienen, um die massgebenden Komponenten für den gesamten Druckverlust zu lokalisieren.

Druckverluste einiger Lüftungskomponenten für die Komfortlüftung

Art	Länge/Anz. m/Stk.	Ø innen mm	Volumenstrom		
			100 m ³ /h	150 m ³ /h	200 m ³ /h
Wetterschutzgitter AUL	1 Stk.	150 mm	5 Pa	10 Pa	15 Pa
Ansaughaube AUL	1 Stk.	150 mm	1 Pa	2 Pa	4 Pa
Blechrohr	4 m	150 mm	1 Pa	2 Pa	4 Pa
Blechrohr	6 m	150 mm	2 Pa	4 Pa	6 Pa
Blechrohr	10 m	150 mm	3 Pa	6 Pa	10 Pa
Blechrohr	14 m	150 mm	4 Pa	8 Pa	14 Pa
Rohrbogen 90° (R/D=1.0)	2 Stk.	150 mm	1 Pa	3 Pa	5 Pa
Rohrbogen 90° (R/D=1.0)	4 Stk.	150 mm	3 Pa	6 Pa	10 Pa
Rohrbogen 90° (R/D=1.0)	6 Stk.	150 mm	4 Pa	9 Pa	15 Pa
Rohrbogen 90° (R/D=1.0)	8 Stk.	150 mm	6 Pa	12 Pa	21 Pa
Rohrbogen 90° (R/D=1.0)	10 Stk.	150 mm	7 Pa	15 Pa	26 Pa
Rohr-/Kastenschalldämpfer	1 Stk.	150 mm	1 Pa	2 Pa	4 Pa
Filterbox (Insektenschutz)	1 Stk.	150 mm	2 Pa	6 Pa	10 Pa
Filterbox G3	1 Stk.	150 mm	6 Pa	13 Pa	23 Pa
Filterbox F7	1 Stk.	150 mm	16 Pa	29 Pa	44 Pa
Elektrisches Heizregister	1 Stk.	150 mm	2 Pa	5 Pa	8 Pa
WW-Heizregister	1 Stk.	150 mm	2 Pa	4 Pa	7 Pa
Luftverteilerbox	1 Stk.	150-63 mm	1 Pa	3 Pa	5 Pa
Ausblashaube FOL	1 Stk.	150 mm	2 Pa	5 Pa	9 Pa
Wetterschutzgitter FOL	1 Stk.	150 mm	4 Pa	8 Pa	15 Pa

Table 8: Druckverluste von Komponenten

Druckverluste von Komponenten für die Luftverteilung

Art	Länge/Anz.	Ø innen	Volumenstrom		
	m/Stk.	mm	10 m ³ /h	20 m ³ /h	30 m ³ /h
Luftsammlerbox	1 Stk.	63-150 mm	1 Pa	3 Pa	7 Pa
Rundrohr Kunststoff	4 m	63 mm	2 Pa	6 Pa	12 Pa
Rundrohr Kunststoff	6 m	63 mm	2 Pa	8 Pa	18 Pa
Rundrohr Kunststoff	10 m	63 mm	4 Pa	14 Pa	30 Pa
Rundrohr Kunststoff	14 m	63 mm	5 Pa	20 Pa	42 Pa
Rundrohr Kunststoff	4 m	74 mm	1 Pa	2 Pa	5 Pa
Rundrohr Kunststoff	6 m	74 mm	1 Pa	3 Pa	7 Pa
Rundrohr Kunststoff	10 m	74 mm	2 Pa	6 Pa	12 Pa
Rundrohr Kunststoff	14 m	74 mm	2 Pa	8 Pa	17 Pa
Krümmer 90° Rundrohr Kunststoff	2 Stk.	63 mm	0 Pa	1 Pa	2 Pa
Krümmer 90° Rundrohr Kunststoff	4 Stk.	63 mm	0 Pa	2 Pa	4 Pa
Krümmer 90° Rundrohr Kunststoff	6 Stk.	63 mm	1 Pa	3 Pa	6 Pa
Krümmer 90° Rundrohr Kunststoff	2 Stk.	74 mm	0 Pa	0 Pa	1 Pa
Krümmer 90° Rundrohr Kunststoff	4 Stk.	74 mm	0 Pa	1 Pa	1 Pa
Krümmer 90° Rundrohr Kunststoff	6 Stk.	74 mm	0 Pa	1 Pa	2 Pa
Flachovalrohr Kunststoff mit glatter Innenoberfläche	4 m	A=0.004m ²	1 Pa	2 Pa	5 Pa
Flachovalrohr Kunststoff mit glatter Innenoberfläche	6 m	A=0.004m ²	1 Pa	3 Pa	7 Pa
Flachovalrohr Kunststoff mit glatter Innenoberfläche	10 m	A=0.004m ²	2 Pa	5 Pa	11 Pa
Flachovalrohr Kunststoff mit glatter Innenoberfläche	14 m	A=0.004m ²	2 Pa	8 Pa	16 Pa
Bogen 90° Flachovalrohr Kunststoff	2 Stk.	A=0.004m ²	1 Pa	4 Pa	8 Pa
Bogen 90° Flachovalrohr Kunststoff	4 Stk.	A=0.004m ²	2 Pa	7 Pa	15 Pa
Bogen 90° Flachovalrohr Kunststoff	6 Stk.	A=0.004m ²	3 Pa	11 Pa	23 Pa
Runder Deckendurchlass (Ventil)	1 Stk.	D=190 mm	0 Pa	1 Pa	2 Pa
Anschlusskasten grobes Lochblech (ohne Filter)	1 Stk.	250x150 mm	0 Pa	1 Pa	3 Pa
Anschlusskasten grobes Lochblech (mit Filter)	1 Stk.	250x150 mm	1 Pa	2 Pa	5 Pa
Anschlusskasten feines Lochblech (ohne Filter)	1 Stk.	250x150 mm	1 Pa	4 Pa	10 Pa
Anschlusskasten feines Lochblech (mit Filter)	1 Stk.	250x150 mm	1 Pa	5 Pa	12 Pa
Anschlusskasten Schlitzauslass (ohne Filter)	1 Stk.	400x100 mm	0.1 Pa	0.2 Pa	0.4 Pa

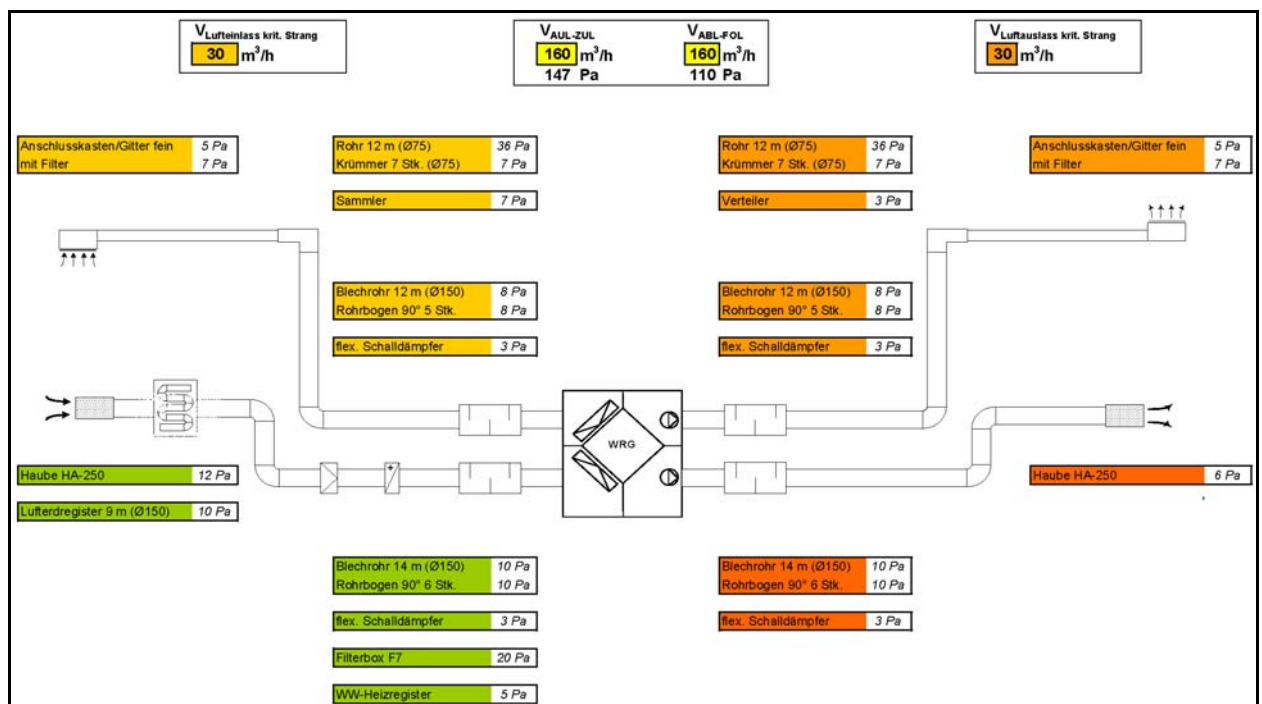
Tabelle 9: Druckverluste Luftverteilung

4.4.2 Verbesserungsmodelle zur Druckverlustoptimierung einer Einzelwohnungsanlage

In den folgenden fiktiven Beispielen für die Berechnungen von Einzelwohnungslüftungen wird ersichtlich, wie stark die Druckverluste variieren können, welche Komponenten den Gesamtdruckverlust am stärksten beeinflussen und welches das optimale Lüftungsnetz ist. Durch möglichst grosszügige Dimension, wenig Formstücke und Luftaus- bzw. Lufteinlässe mit sehr geringem Druckverlust sollte der Gesamtdruckverlust auf unter 50 Pa gesenkt werden können. Mit einer einfachen Berechnung können so die Komponenten lokalisiert werden, welche hohe Druckverluste verursachen. Die Annahmen für die Druckverlustberechnungen können teilweise etwas von den Werten in *Tabelle 8 und 9* abweichen, da in einigen Fällen Annahmen getroffen werden mussten.

Beispiel 1

Im folgenden Beispiel (siehe Fig. 24) ist eine Anlage mit kleinen Rohrdurchmesser, langer Rohrverteilung und diversen Lüftungskomponenten wie Erdregister, externe Filterbox und WW-Heizregister. Der Gesamtdruckverlust fällt hier sehr hoch aus.

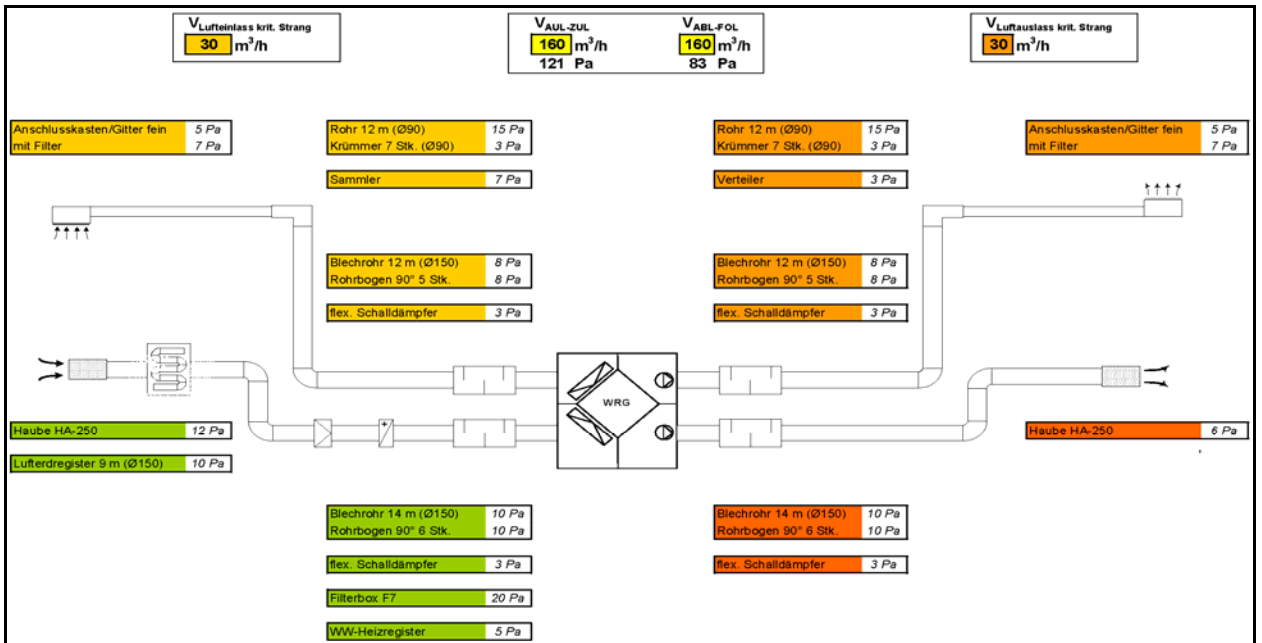


Figur 24: Beispiel mit hohem Druckverlust

Die grössten Anteile am Gesamtdruckverlust des Luftnetzes haben die Lüftungsrohre, die Lufthauben, die externe Filterbox und das Lufterdregister.

Beispiel 2

Wird in Beispiel 1 der Rohrdurchmesser der Feinverteilung nach der Verteilerbox bzw. der Sammlerbox aufdimensioniert, so kann dies bei gleichem Volumenstrom den Druckverlust schon etwas reduzieren (siehe Fig.25).

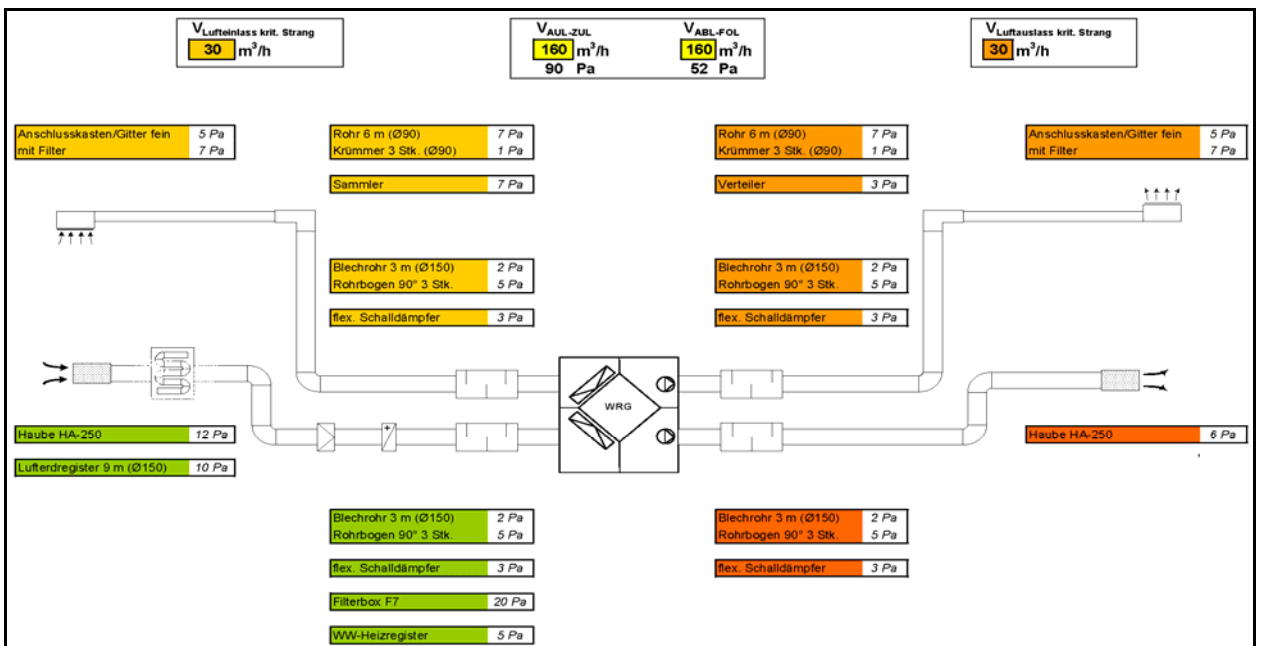


Figur 25: Beispiel mit etwas vermindertem Druckverlust

Einen massgeblichen Anteil haben immer noch die Luftröhre, die Lufthauben, die externe Filterbox.

Beispiel 3

Nun betrachten wir das Beispiel 3 (siehe Fig. 26), bei dem alle Rohrlängen inklusive Rohrbo- gen und Rohrkrümmern optimiert wurden, wobei alle anderen Lüftungskomponenten nicht geändert wurden. Somit ist ein Gesamtdruckverlust von < 100 Pa bereits realisierbar.

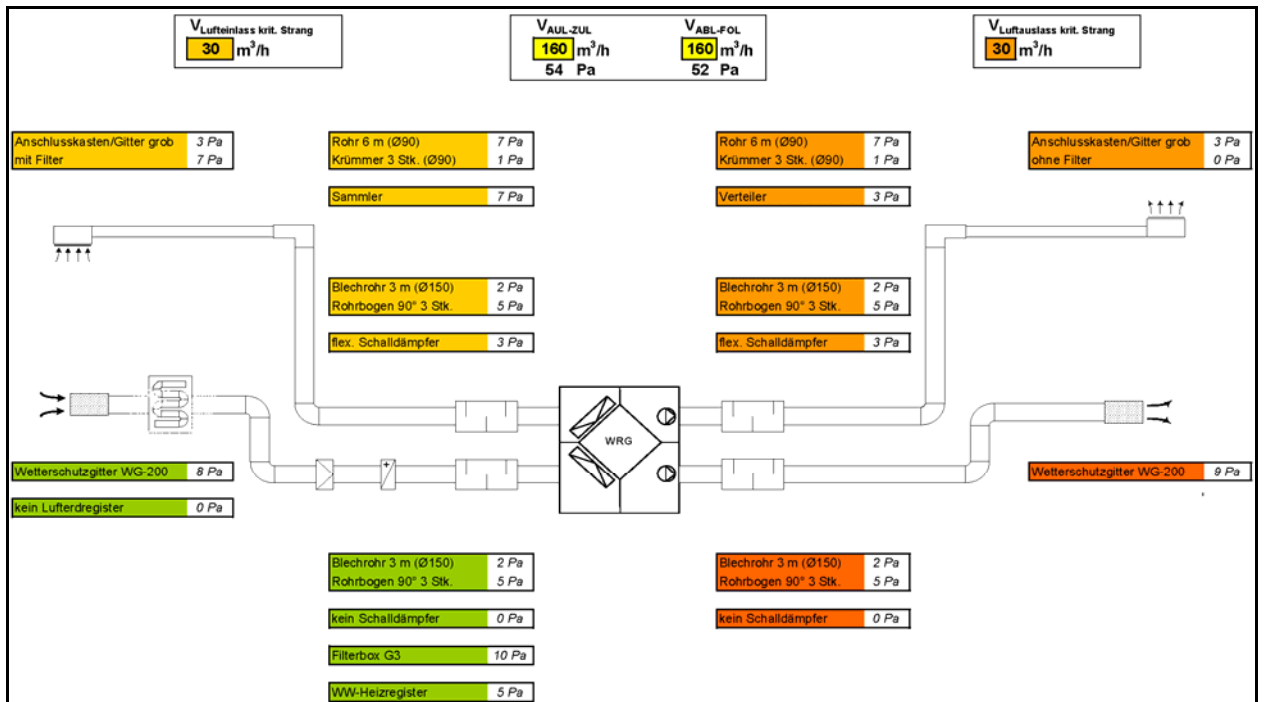


Figur 26: Beispiel mit kurzen Luftkanälen und wenig Rohrbögen

Einen massgeblichen Anteil am Druckverlust haben immer noch die externe Filterbox, die Lufthauben und das Lüfterregister.

Beispiel 4

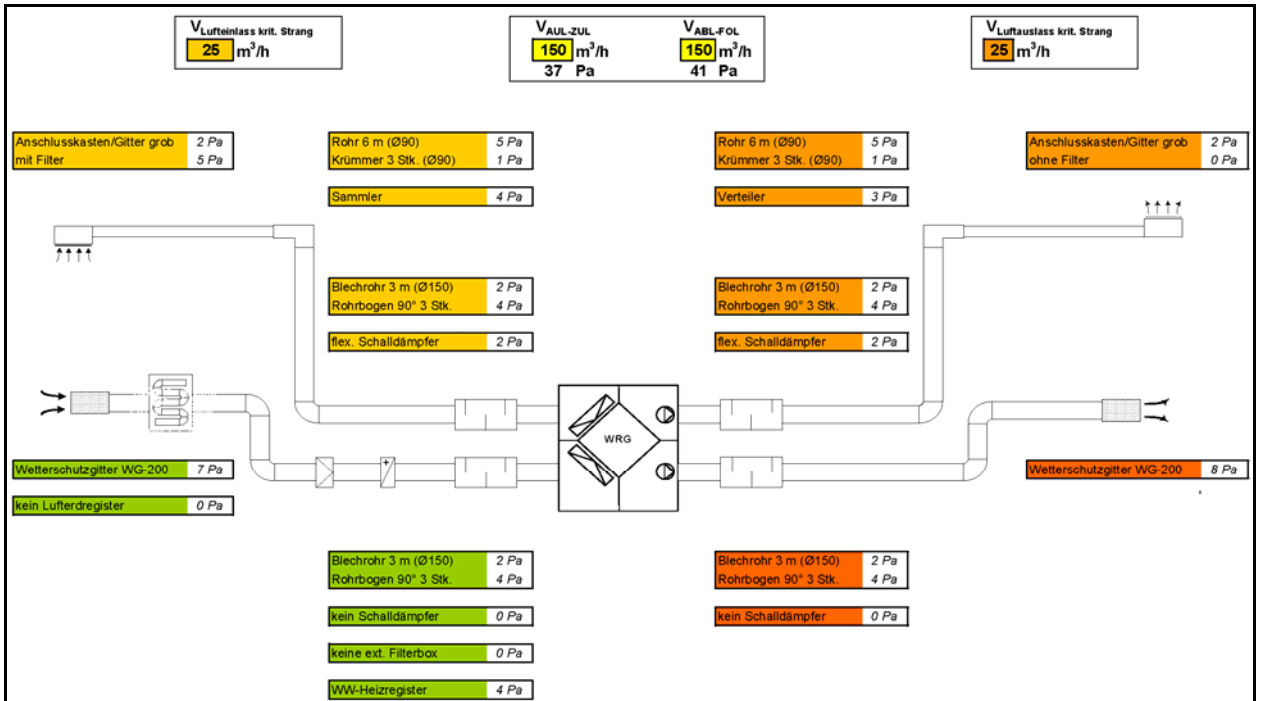
Werden nun zu Beispiel 3 die zusätzliche Filterbox F7 in der Aussenluft durch eine Filterbox G3 ersetzt, das Erdregister weggelassen, die Ansaug- und Ablashauben durch Wetter- schutzgitter ausgetauscht und die Schalldämpfer in der Aussenluft sowie in der Fortluft weg- gelassen, so kann ein Gesamtdruckverlust um die 50 bis 60 Pa realisiert werden (siehe Fig. 27). Wenn im Lüftungsgerät bereits ein Zuluftfilter F7 eingebaut ist, kann die Filterbox in der Aussenluftleitung entfallen.



Figur 27: Beispiel mit kurzen Luftkanälen und wenig Rohrbögen

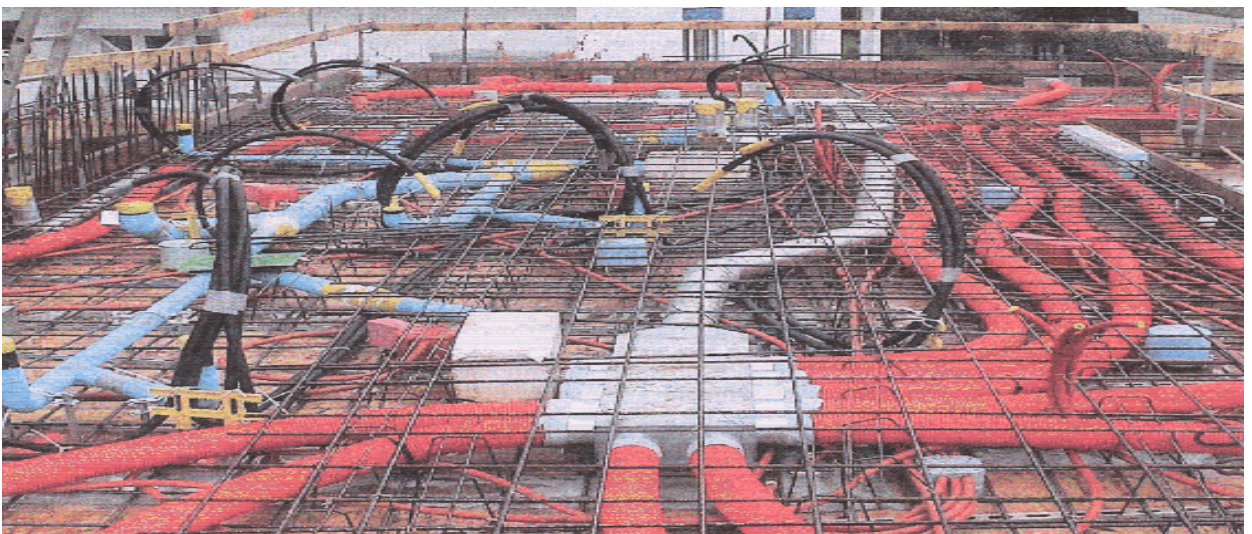
Beispiel 5

Zum Schluss wird das Beispiel 4 mit einem reduziertem Volumenstrom gewählt. Nun befindet sich der Gesamtdruckverlust der Anlage bei 40 Pa (siehe Fig. 28), was der angestrebten Reduktion des Druckverlustes entspricht. Somit kann der elektrische Energieverbrauch einer Einzelwohnungsanlage klar reduziert werden. Wenn im Lüftungsgerät bereits ein Zulufffilter F7 eingebaut ist, kann die Filterbox in der Aussenluftleitung entfallen.



Figur 28: Beispiel einer Minimalvariante

Bei dieser Minimalvariante wird ein sehr kurzes Rohrnetz mit wenigen Krümmern, kleine Luftgeschwindigkeiten in den Rohren, Verzicht auf Schalldämpfer in Aussenluft und Fortluft, kein Luft-Erdregister und keine externe Filterbox betrachtet. Damit werden beim Luftnetz grosse Kompromisse gemacht und Fragen nach Hygiene (Filterqualität), etc. ausgeklammert. Dies ist beim Einsatz eines entsprechenden, in allen Hinsichten wie Energieeffizienz, Hygiene und Schall guten Komfortlüftungsgerätes möglich. Grenzen sind vom Gebäudekonzept und Wohnungsgrundrissen gegeben und durch den Lüftungsplaner nicht mehr beeinflussbar. Eine Bildokumentation (siehe Fig. 29) ist zu empfehlen.



Figur 29: Fotografische Dokumentation der Verlegung

5. Diskussion

An die heutigen Komfortlüftungsanlagen werden hohe Anforderungen gestellt. Die Lüftungsgeräte müssen energieeffizient sein, einen hohen Wärmebereitstellungsgrad und eine niedrige spezifische elektrische Leistungsaufnahme aufweisen. Die geltenden und noch kommenden hygienischen Anforderungen an die Lüftungsgeräte und die Luftverteilung müssen eingehalten werden. Dies hat Auswirkungen auf die Filterqualität. Für die Zuluft wird ein F7-Feinstaubfilter gefordert. Die Filter-Bypassleckage muss gering sein. Diese Anforderungen müssen von den Herstellern der Lüftungsgeräte beachtet werden. Insbesondere müssen die geräteinternen Druckverluste tief gehalten werden. Dazu müssen die Strömungsgeschwindigkeiten tief sein, was ebenfalls positive Auswirkungen auf den Schalleistungspegel hat. Die Hersteller befinden sich in einem gewissen Dilemma. Da ist die Forderung nach möglichst kompakten Geräten. Dieser Wunsch steht im Widerspruch zu den vorher erwähnten Forderungen. Am Beispiel des Luftfilters kann das gezeigt werden. Der Einsatz von Feinstaubfiltern bedingt entsprechende Filterbauarten. Um die Standzeit heraufzusetzen müssen Zellen- oder Taschenfilter eingesetzt werden. Diese benötigen etwas mehr Platz im Vergleich zu Filtermatten.

Für die Luftverteilung gelten ähnliche Forderungen. Grundsätzlich gilt es den Druckverlust gering zu halten. Die Massnahmen mit denen dies zu bewerkstelligen ist, sind bekannt und in der Fachliteratur im Detail beschrieben. Wichtig sind kurze Leitungen mit glatten Oberflächen, weite Bögen und kleine Luftgeschwindigkeiten. Dies ist auch bezüglich Schallentwicklung und Reinigung von Vorteil. Bei der Verbesserung der Schalldämpfer ist einiges im Fluss. Bei der Optimierung von Kulissenschalldämpfern muss aber auch der möglicherweise höhere Druckverlust genau berücksichtigt werden. Auch für die eingesetzten Absorbermaterialien müssen hygienische Anforderungen geprüft werden.

Die Labormessungen an einigen Lüftungsgeräten zeigen, dass nur mit externen Druckverlusten von ca. 50 Pa der neue Grenzwert nach dem SIA-Merkblatt 2023 erreicht, bzw. unterschritten werden kann. Bei den Anlagemessungen erreichen nur zwei Einfamilienhäuser mit SFP-Werten um $0.3 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ die Grössenordnung des Grenzwertes. Bei den Wohnungen werden zu hohe SFP-Werte erreicht. Da bei der Wohnüberbauung mit Objekt 1 bis 3 nur wenige Unterlagen verfügbar waren, insbesondere konnten keine Planungsdaten beschafft werden, bleibt der Grund für die hohen Werte unklar. Die grosse Disbalance der Volumenströme bei einem dieser Objekte konnte nicht mit Sicherheit geklärt werden. Bei dieser Anlage wurde der Zuluftfilter durch einen Feinstaubfilter ersetzt. Durch den höheren Filterdruckverlust erfolgt eine Verschiebung des Betriebspunktes und der Zuluftvolumenstrom reduziert sich. Möglicherweise wurde die Ventilatorsteuerung nicht angepasst. Eine kleine Disbalance ist auch bei den anderen Objekten festzustellen, bewegt sich aber im üblichen Bereich von etwa 10%. Die Messunsicherheit dürfte in der gleichen Grössenordnung liegen.

Ein weiteres, in einem neuen Projekt zu untersuchendem Problem, sind die Luftleckagen. Für die Ortung und Erfassung dieser Leckagen muss ein anspruchsvolles Messkonzept ausgearbeitet werden. Grundsätzlich soll die Gesamtluftmenge mit der Ventilatorsteuerung eingestellt werden. Der Abgleich der Luftmengen pro Raum kann auf sehr unterschiedliche Art erfolgen und ist stark vom Anlagekonzept abhängig. Ansätze mit hohem Druckverlust im Luftnetz, die gewissermassen zu einem Selbstabgleich führen, verfehlen das Ziel. Verschiedene Hersteller sind an der Entwicklung von einfachen Massnahmen für die Einregulierung.

6. Schlussfolgerungen

Die Deklaration Komfortlüftungsgeräte www.deklariert.ch bestätigt die Ergebnisse dieser Untersuchung. Die meisten deklarierten Geräte sind heute in der Energieklasse C angesiedelt. Massgebend bei dieser kombinierten energetischen Beurteilung ist der SFP-Wert. Die Energieklasse A ist bei der heutigen Gerätetechnik noch weit in der Ferne. Die Zielwerte nach SIA Merkblatt 2023 werden weit verfehlt. Die alten Grenzwerte könnten eingehalten werden. Gemäss der Definition in der Neuauflage 2008 des Merkblattes sind aber auch die neuen Grenzwerte von $0.28 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ mit den heute üblichen Planungsempfehlungen kaum erreichbar. Da viele der Komfortlüftungsgeräte mit der Wärmerückgewinnung eine Zulufttemperatur von 17°C erreichen können, müsste die Definition Lüftungsanlage mit Lufterwärmer mit Grenzwert für SFP von $0.34 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ auch für die Anwendung auf diese Anlagekategorie überdacht werden. Dieser Wert kann mit einem guten Gerät und einer gut geplanten Anlage erreicht werden.

Bei einer Reduktion des SFP von $0.42 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ auf realistische $0.34 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ könnten über 5 Jahre aufsummiert, bei geschätzt 5000 neuen Anlagen pro Jahr und ganzjährigem Betrieb, etwa 6 GWh eingespart werden. Damit die früher angenommenen jährlichen Einsparungen von 3 GWh, also 15 GWh während 5 Jahren, bei einem Nennluftstrom von $120 \text{ m}^3/\text{h}$ und ganzjährigem Betrieb, erreicht werden könnten, müsste der SFP praktisch halbiert werden. Dies ist aus heutiger Sicht noch kaum realisierbar.

Grundsätzlich müssen die Druckverluste reduziert werden. Dies gilt einerseits für Lüftungsgeräte und für Lüftungskomponenten, d.h. für die geräteinternen und die externen Druckverluste. Mit der heutigen Empfehlung in der Fachliteratur, dass das Luftnetz bei Nennluftstrom einen Druckverlust von 100 Pa nicht überschreiten soll, erreichen nur etwa die Hälfte der untersuchten Lüftungsgeräte einen SFP-Wert zwischen 0.3 bis $0.35 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$. Dieser Wert kann, wie einige Beispiele zeigen, unterschritten werden. Für die gesamte Beurteilung ist schlussendlich die Kombination von Lüftungsgerät und Lüftungsanlage massgebend. Lüftungsplaner und Unternehmer haben die Möglichkeit, mit der Deklaration Komfortlüftungsgeräte Informationen zu erhalten, und können diese bei der Planung berücksichtigen. Zudem erhalten sie auch Informationen über die hygienische und schalltechnische Beurteilung der Lüftungsgeräte.

Die Hersteller von Lüftungsgeräten und Lüftungskomponenten sind aufgefordert, dem Planer technische Unterlagen mit Angaben zum Energieverbrauch, Druckverlust und Schall zur Verfügung zu stellen. Weiters sind sie aufgefordert, Produkte zu entwickeln, die auch den hygienischen Ansprüchen genügen. Dies betrifft den Einsatz entsprechender Materialien, Ausführungsqualität und Servicefreundlichkeit.

Ein weiterer Schwachpunkt sind oft die Leckagen der Lüftungsgeräte. Je nach Quelle gelten unterschiedliche Vorgaben bezüglich der Leckagerate. Bei verschiedenen Labormessungen hat sich hier das Problem gezeigt, dass insbesondere die internen Leckagen, d.h. die Übertragung von Abluft in die Zuluft, die hygienisch von Bedeutung ist, oft überschritten wird. Bei der Deklaration Lüftungsgeräte [21] wird eine Leckagerate von $\leq 2\%$ bezogen auf den maximalen Volumenstrom zugelassen. Bei grösseren Leckageraten erfolgt ein Abzug um eine Klasse bei der hygienischen Beurteilung. Dasselbe gilt für die Filterbypassleckage. Für ein F7-Feinstaubfilter wird ebenfalls eine Leckage von $\leq 2\%$ zugelassen, andernfalls erfolgt ebenfalls ein Abzug um eine Klasse bei der hygienischen Beurteilung. In einem soeben gestarteten BFE-Projekt werden auch die Leckagen des Luftverteilsystems untersucht. Erkenntnisse aus diesem Projekt können bei der IG Modul Komfortlüftung einfließen.

Bei der schalltechnischen Beurteilung zeigt sich, dass der Schalleistungspegel im Zuluftstutzen in der Regel die Schallklasse begründet. Dies zeigt sich insbesondere bei den Gerätekonstruktionen, die den Zuluftventilator unmittelbar am Zuluftstutzen haben. Auch hier würde sich eine Reduktion der externen Druckverluste günstig auf den Schall auswirken.

Dem Vereisungsschutz ist ebenfalls grosse Aufmerksamkeit zu schenken, da der zusätzliche Energieaufwand beträchtlich sein kann. Beim durchgerechneten Beispiel kann bei einer Vereisungsschutz-Grenztemperatur von -3°C , je nach Variante, der zusätzliche Energieaufwand mehr als 50% des theoretischen elektrischen Aufwandes bei ganzjährigem Betrieb ausma-

chen. Bei der Deklaration Komfortlüftungsgeräte wurde dieser Umstand in der Beurteilung bisher noch nicht berücksichtigt. Es ist angedacht, künftig den zusätzlichen Energieaufwand für den Vereisungsschutz in der kombinierten energetischen Beurteilung auch zu berücksichtigen. Ebenfalls für die hygienische Beurteilung werden noch weitere Beurteilungskriterien dazukommen. Diese Kriterien müssen aber noch in der AG Komfortlüftung diskutiert werden.

Den Planern von Komfortlüftungsanlagen wird empfohlen, die Erkenntnisse aus diesem Projekt zu berücksichtigen. Ein weiterer Punkt, der insbesondere bei der Abnahme von Komfortlüftungsanlagen wichtig ist, ist die Platzierung der Luftdurchlässe. Eine Luftvolumenstrommessung in den Anschlussleitungen ist oftmals nur mit grossen Messunsicherheiten verbunden und sagt nichts aus, ob die geforderten Luftvolumenströme in den Räumen erreicht sind. Die Luftdurchlässe sind so zu platzieren, dass die Luftströme mit einem Messgerät wie z.B. mit FlowFinder bei jedem Auslass gemessen werden können.

Der Unternehmer, ev. in Absprache mit dem Planer, muss die Einlegephase mit Fotos dokumentieren. Nur so können Ursachen für spätere Probleme, wie zu hohe Druckverluste, zu lange Leitungen oder zu enge Bögen, die die Reinigung behindern, noch nachgewiesen werden. In den Plänen sind Konflikte während der Bauphase selten oder nie nachgeführt.

Bauherren, private Bauherren sind eher ausgeschlossen, und Investoren wären gut beraten, wenn nicht nur der kurzfristige Profit im Vordergrund steht, sondern auch ein nachhaltiger energieeffizienter Betrieb gewährleistet ist. Hohe unnötige Betriebskosten werden über die Lebenszeit der Lüftungsanlage gerechnet für den Betreiber mehr Kosten verursachen als allfällige Einsparungen bei der Erstellung. Wird aufgrund der Geschosshöhe noch eine genügende Stärke der Betondecken gewährleistet, die für die verschiedenen Einlagen wie Sanitärleitungen, Lüftungsleitungen und Elektro noch genügend Platz zwischen der Armierung bieten, heutigen schalltechnischen Anforderungen genügen und nicht zu Sollbruchstellen wegen ungenügender Betonüberdeckung führen? Auffallend ist, dass in heutigen Baubeschreibungen die Wohnungslüftungsanlage resp. Komfortlüftungsanlage oft in einem Zweizeiler abgehandelt wird, während die Positionen Elektro und Sanitär bis in alle Details beschrieben sind. Das ist aufgrund der Bedeutung der Komfortlüftung überhaupt nicht verständlich.

Um die 2000-Watt-Gesellschaft ernsthaft zu fördern, sind wir alle in der Pflicht.

7. Umsetzung

Die Umsetzung der Projektergebnisse liegt in der Verantwortung von energie-cluster.ch in Zusammenarbeit mit der Hochschule Luzern.

Bereits erfolgt sind in chronologischer Reihenfolge folgende Umsetzungsaktivitäten:

- 15. Schweizerisches Status-Seminar 2008; Energie- und Umweltforschung im Bauwesen, Rudolf Furter
Reduktion Elektrizitätsverbrauch von Kleinlüftungsanlagen
Präsentation der ersten Ergebnisse speziell der Einfluss des externen Druckverlustes auf den SFP-Wert,
 - energie-cluster.ch, *IG Komfortlüftung 2008*
Präsentation der ersten Projektergebnisse.
 - energie-cluster.ch, *IG Komfortlüftung 2009*
Präsentation der Projektergebnisse.
 - energie-cluster.ch, Interview mit Rudolf Furter zum NewsLetter vom 16. Sept. 2009
Haustechnik fordert heraus - mehr denn je
 - ZIG-Newsletter 2/09, HSLU T&A, Rudolf Furter
Effizienzsteigerung von Komfortlüftungsanlagen
 - Hausbau + Energie Messe, Bern, 15. Herbstseminar, 2009, Rudolf Furter
Komfortlüftungen – ein Muss bei energieeffizienten Neubauten und Sanierungen
- SIA TEC21 Nr. 8 2010, Jürg Wellstein
Mangelnde Effizienz von Lüftungen

In Vorbereitung:

- energie-cluster.ch, Workshop Effiziente Komfortlüftung, 26. Mai 2010
Programm im Anhang
- Haustechnik Nr. 6, Mai 2010, Jürg Wellstein
Fachartikel eingegeben

Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Bedeutung
P_{SFP}	$[W/(m^3/h)]$	Spezifische Ventilatorleistung
P_{EI}	$[W]$	Gesamte elektrische Aufnahmeleistung
V	$[m^3/h]$	Mittelwert von Zu- und Abluft-Nennvolumenstrom
η_t	$[-],[\%]$	Temperaturänderungsgrad, Temperaturverhältnis

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
BFE	Bundesamt für Energie
CFD	Computational Fluid Dynamics (numerische Strömungsberechnung)
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
DIN	Deutsche Industrie Norm
prEN	Europäische Vornorm
EN	Europäische Norm
HTA	Hochschule für Technik + Architektur, heute HSLU T&A
HSLU T&A	Hochschule Luzern Technik & Architektur
KTI	Förderagentur für Innovation
PHI	Passivhaus Institut Darmstadt
SFP	Specific fan power (P_{SFP})
SIA	Schweizerisches Ingenieur- und Architektenverein
SWKI	Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren
TZWL	Europäisches Testzentrum für Wohnungslüftungsgeräte E.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VS	Vereisungsschutz
WRG	Wärmerückgewinnung

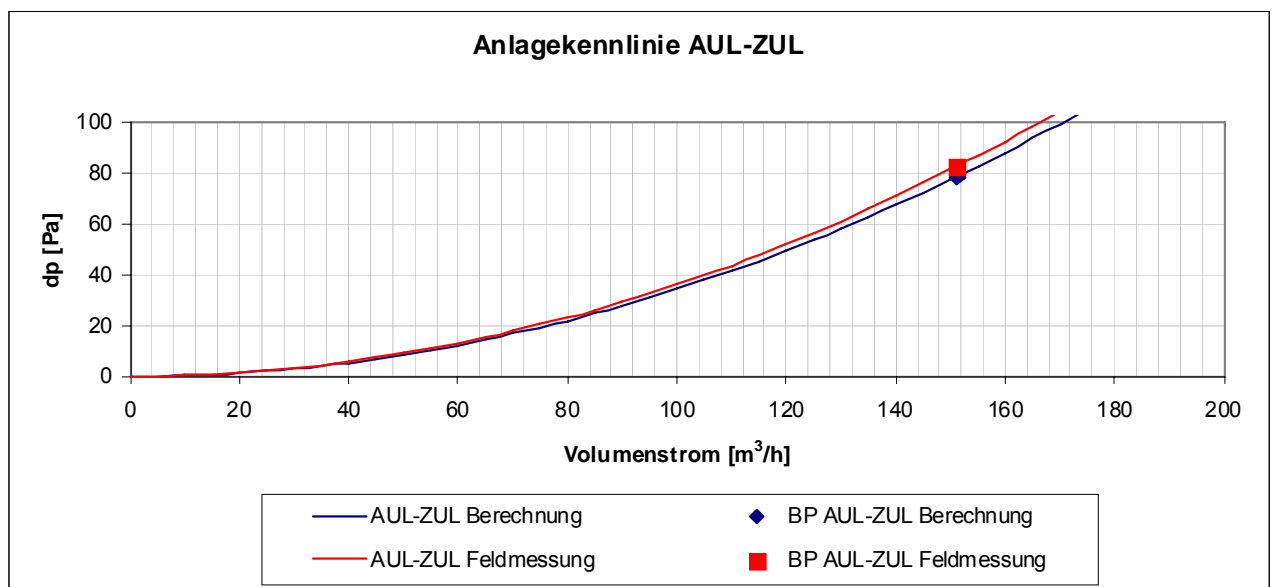
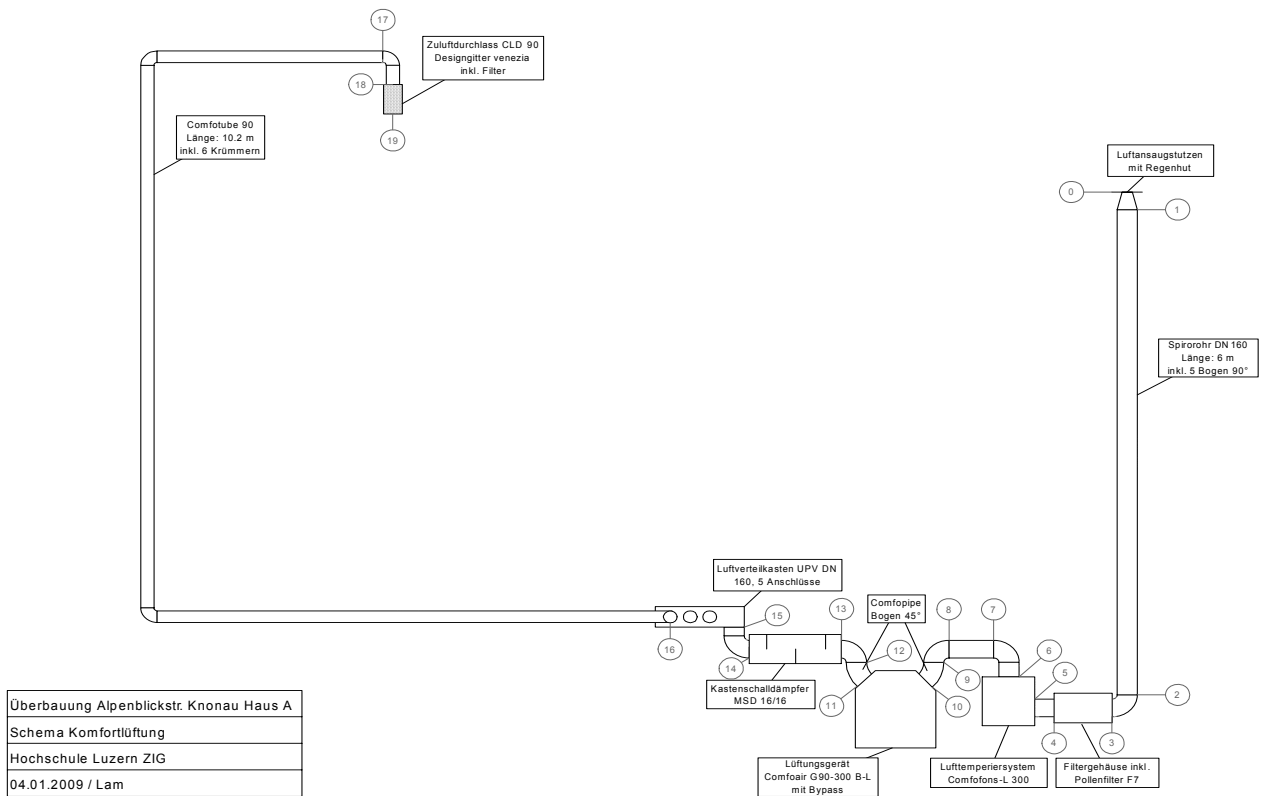
Referenzen

- [1] SIA Merkblatt 2023: **Lüftung in Wohnbauten**, SIA, Zürich, 2004.
- [2] SIA Merkblatt 2023: **Lüftung in Wohnbauten**, SIA, Zürich 2008.
- [3] SIA 382/1: **Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen**, SIA, Zürich, 2007.
- [4] BFE Merkblatt: **Luftförderung mit kleinem Energiebedarf**, BFE, Bern, 1997.
- [5] B. Frei, F. Reichmuth, H. Huber: **Vergleichende Auswertung schweizerischer Passivhäuser**, BFE, 2004.
- [6] R. Furter, H. Huber, D. Helfenfinger: **Prüfung von Kompaktlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung oder Abluftwärmepumpe**, KTI-Projekt 4149.1, 1999.
- [7] R. Furter, H. Huber, B. Frei: **Ausarbeitung eines Prüfreglementes für Kompakt-Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und/oder Wärmepumpe**, BFE, 2001.
- [8] R. Furter, D. Helfenfinger, H. Huber, L. Wenger: **Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte für Komfortlüftung**, BFE, Zwi schenbericht, 2005.
- [9] R. Furter, L. Wenger: **Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte für Komfortlüftung**, BFE, Schlussbericht, 2006.
- [10] MINERGIE®/energie schweiz: **Leistungsgarantie Komfortlüftung**.
- [11] MINERGIE®/energie schweiz: **Planer Kit**, www.minergie.ch.
- [12] H. Huber, R. Mosbacher: **Wohnungslüftung**, 1. Auflage, Faktor Verlag, Zürich, 2006.
- [13] H. Huber: **Komfortlüftung**, Faktor Verlag, Zürich, 2008.
- [14] P. Kopecky: **Kontrollierte Wohnraumlüftung**, 1. Auflage, Verlag Bohmann, Wien, 2006.
- [15] energie-cluster.ch: **Deklaration Komfortlüftungsgeräte**, www.deklariert.ch.
- [16] TZWL: **TZWL – Bulletin**, 10. Auflage, TZWL e.V., Dortmund, 2007, www.tzwl.de.
- [17] PHI: **Prüfverfahren für die Zertifizierung als „Passivhaus geeignete Komponente“**, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2007, www.passiv.de.
- [18] H. Huber, D. Helfenfinger: **Prüfreglement für die Prüfung von Kompaktlüftungsgeräten**, HTA Luzern, Horw, 2005.
- [19] EN 13141-7: **Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschliesslich Wärmerückgewinnung) für mechanische Lüftungsanlagen in Einfamilienhäusern**, SIA, Zürich, 2004.
- [20] Draft prEN 13141-7: **Performance testing of a mechanical supply and exhaust ventilation units (including heat recovery) for mechanical ventilation systems intended for single family dwellings**, CEN, 2008.
- [21] HTA: **Deklaration für Lüftungsgeräte, Reglement für die technische Prüfung**, Stand 2007, energie-cluster.ch.
- [22] Th. Gander, N.I.Bucher: **Effizienz Normmotoren**, Diplomarbeit HSLU, 2008.
- [23] SWKI VA 104-01: **Hygiene-Anforderung an Raumluftechnische Anlagen und Geräte**, SWKI, Bern, 2006.
- [24] DIN 4719: **Lüftung von Wohnungen – Anforderungen, Leistungsprüfungen und Kennzeichnungen von Lüftungsgeräten**, Juli 2009.
- [25] DIN V18599-6: **Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungen für den Wohnungsbau**, 2007.
- [26] M. Bernegger, A. Lehmann: **Weiterentwicklung von Kleinlüftungsanlagen**, Diplomarbeit HTA Luzern, 2005.

Anhang

Beispiel 1

Alpenblick, 8934 Knonau



Die Berechnung ergibt etwas tiefere Werte als die Messung. In Anbetracht der Messunsicherheit auf der Anlage ist die Übereinstimmung aber sehr gut.

Kanalnetzrechnung Überbauung EFH Alpenblick Knonau

Gesamtdruckverlustberechnung Aussenluft -

Zuluft

Dichte

1.2 kg/m³

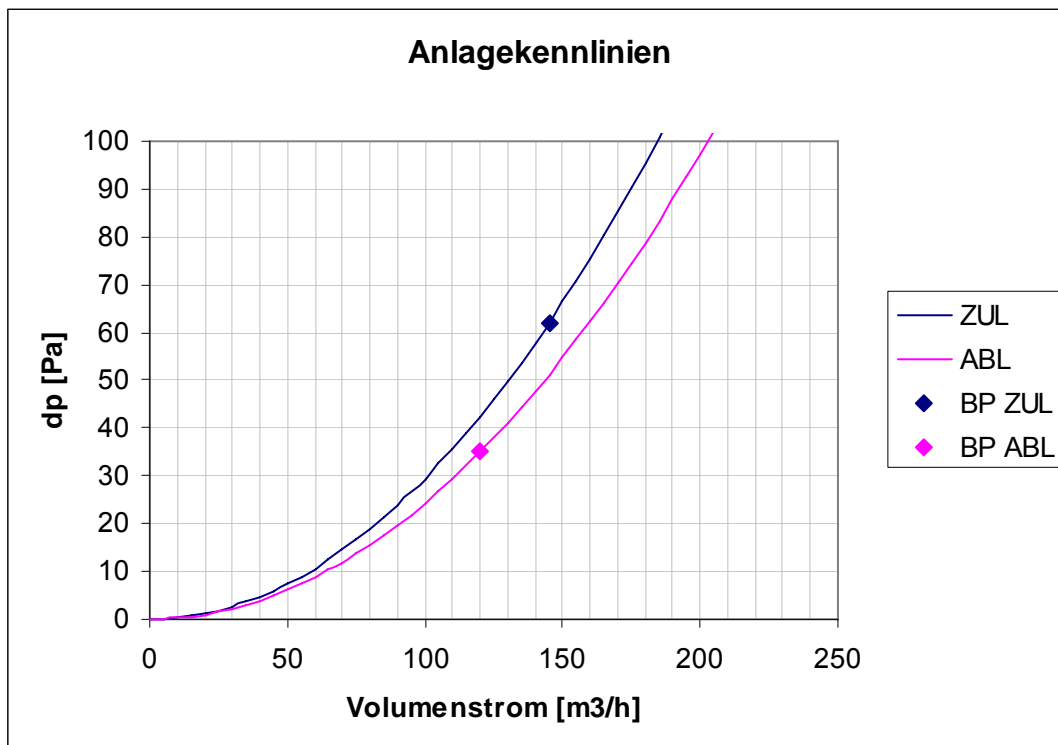
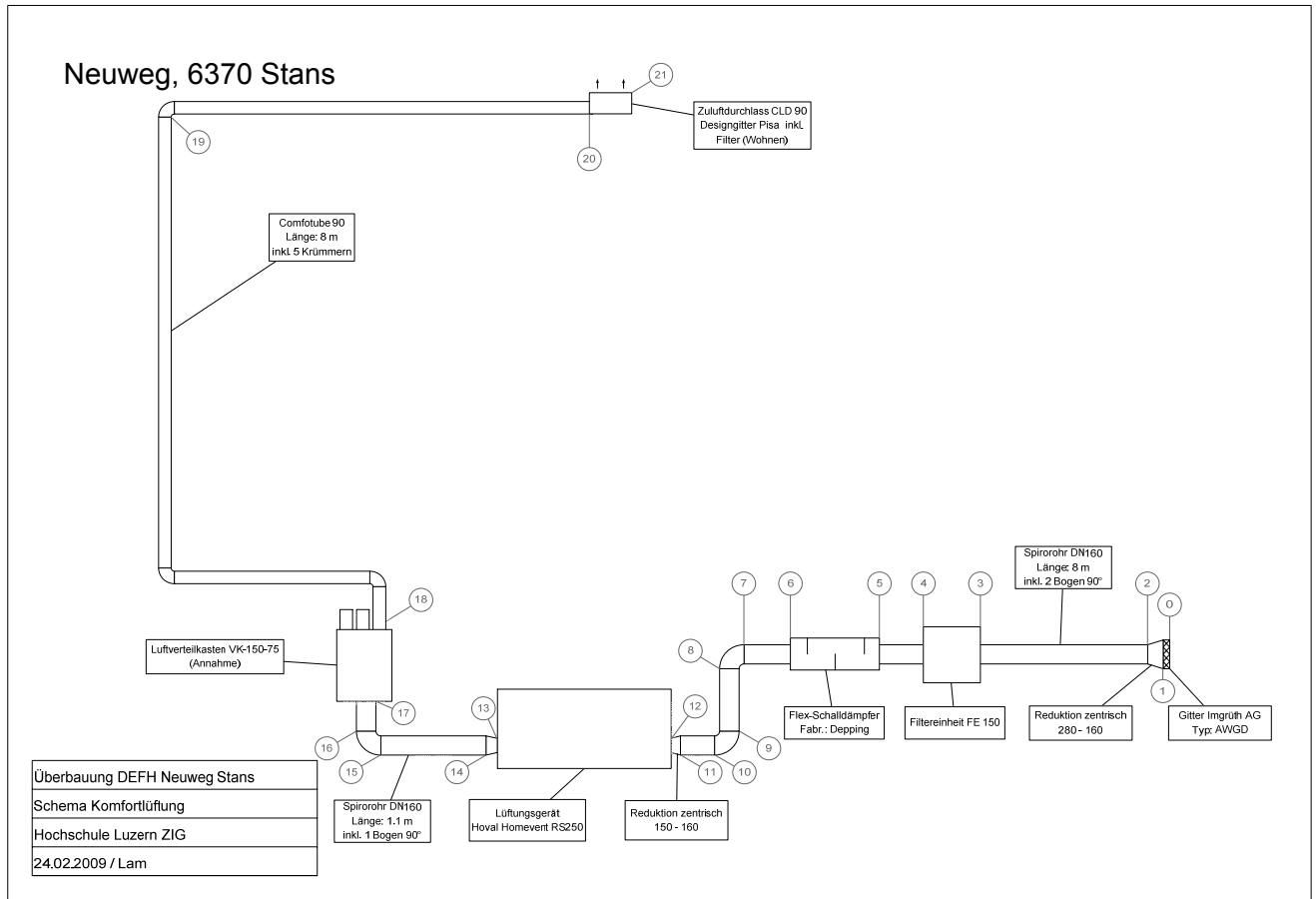
20090209 / Lam

Teilstück	V [m ³ /h]	d [m]	A [m ²]	w [m/s]	p _{dyn} [Pa]	R [Pa/m]	L [m]	Σξ [-]	Σξ*p _{dyn} [Pa]	L*R + Σξ*p _{dyn} [Pa]
0_1	151.2	0.16	0.020	2.1	3				8.0	8.0
1_2	151.2	0.16	0.020	2.1	3	0.48	6			2.9
2_3	151.2	0.16	0.020	2.1	3			0.25	0.7	0.7
3_4	151.2	0.16	0.020	2.1	3				16.0	16.0
4_5	151.2	0.16	0.020	2.1	3	0.48	0.5			0.2
5_6	151.2	0.16	0.020	2.1	3				15.0	15.0
6_7	151.2	0.16	0.020	2.1	3			0.25	0.7	0.7
7_8	151.2	0.16	0.020	2.1	3	0.48	1			0.5
8_9	151.2	0.16	0.020	2.1	3			0.25	0.7	0.7
9_10	151.2	0.16	0.020	2.1	3				0.5	0.5
10_11										
11_12	151.2	0.16	0.020	2.1	3				0.5	0.5
12_13	151.2	0.16	0.020	2.1	3			0.25	0.7	0.7
13_14	151.2	0.16	0.020	2.1	3				5.6	5.6
14_15	151.2	0.16	0.020	2.1	3			0.25	0.7	0.7
15_16	28.8	0.074	0.004	1.9	2			2	4.2	4.2
16_17	28.8	0.074	0.004	1.9	2	1.00	10.2			10.2
17_18	28.8	0.074	0.004	1.9	2	3.30			3.0	3.0
18_19	28.8	0.074	0.004	1.9	2				9.0	9.0

	Berechnung	Feldmessung
Druckverlust Aussenluft-Zuluft	79 Pa	83 Pa
Aussenluft	45 Pa	54 Pa
Zuluft	34 Pa	29 Pa

Beispiel 2

Neueg, 6370 Stans



Kanalnetzrechnung Überbauung DEFH Neuweg, Stans
 Gesamtdruckverlustberechnung Aussenluft - Zuluft

Dichte 1.2 kg/m³

20090223 / Lam

Teilstück	V [m ³ /h]	d [m]	A [m ²]	w [m/s]	ρ_{dyn} [Pa]	R [Pa/m]	L [m]	$\Sigma\xi$ [-]	$\Sigma\xi*\rho_{\text{dyn}}$ [Pa]	L*R + $\Sigma\xi*\rho_{\text{dyn}}$ [Pa]
0_1	135	0.16	0.020	1.9	2	0.48			7.0	7.0
1_2	135	0.15	0.018	2.1	3			0.095	0.3	0.3
2_3	135	0.16	0.020	1.9	2	0.48	4			1.9
3_4	135	0.16	0.020	1.9	2				5.0	5.0
4_5	135	0.16	0.020	1.9	2	0.48	1			0.5
5_6	135	0.16	0.020	1.9	2				5.1	5.1
6_7	135	0.16	0.020	1.9	2	0.48	1.5			0.7
7_8	135	0.16	0.020	1.9	2			0.25	0.5	0.5
8_9	135	0.16	0.020	1.9	2	0.48	1			0.5
9_10	135	0.16	0.020	1.9	2			0.25	0.5	0.5
9_10	135	0.16	0.020	1.9	2	0.48	0.5			0.2
11_12	135	0.15	0.018	2.1	3			0.03	0.1	0.1
12_13										
13_14	135	0.15	0.018	2.1	3			0.03	0.1	0.1
14_15	135	0.16	0.020	1.9	2	0.48	0.5			0.2
15_16	135	0.16	0.020	1.9	2			0.25	0.5	0.5
16_17	135	0.16	0.020	1.9	2	0.48	0.6			0.3
17_18	21.5	0.074	0.004	1.4	1			2	2.3	2.3
18_19	21.5	0.074	0.004	1.4	1	0.65	8			5.2
19_20	21.5	0.074	0.004	1.4	1	1.00			1.0	1.0
20_21	21.5	0.074	0.004	1.4	1				4.2	4.2

	Berechnung	Feldmessung
Druckverlust Aussenluft-Zuluft	36 Pa	62 Pa
Aussenluft	22 Pa	50 Pa
Zuluft	14 Pa	12 Pa

Bei diesem Beispiel ergeben sich theoretisch aufgrund der Druckverlustberechnung wesentlich tiefere Werte als bei der Anlagemessung.




energie-cluster.ch


Workshop Effiziente Komfortlüftung

- Weiterentwicklungen der Komfortlüftungen
- Präsentation, Diskussion von F+E-Resultaten
- Die Geräte-Deklaration des energie-cluster.ch
- Die Minimierung des Elektroverbrauches
- Effizienz im Betrieb
- Neue F+E-Projekte

Datum **Mittwoch, 26. Mai 2010**
Zeit **13.30–18.00**
Tagungsort **Hochschule Luzern (HSLU) Horw
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw**



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Bundesamt für Energie BFE



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Föderengenteur für Innovation KTI



aspo

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
**HOCHSCHULE
LUZERN**
Technik & Architektur
Geldstrasse 30

1

Programm Workshop Komfortlüftung

-
- 13.30 Eintreffen Teilnehmer/innen**
Begrüßungskaffee
-
- 13.45 Begrüßung, Überblick, Workshop Thema**
Beat Nussbaumer, Technologie-Vermittler energie-cluster.ch, Bern
-
- 14.00 Forschungsprogramm Energie in Gebäuden**
Charles Filleux, Leiter BFE-Energieforschungsprogramm, Zürich
-
- 14.10 Langjährige Zusammenarbeit HSLU als Kompetenzzentrum für Komfortlüftung mit dem Bundesamt für Energie**
 - Resultate Forschungsprojekt Komfortlüftung (KL)
 - elektroeffiziente KL-Geräte
 - Effizienz-Faktoren bei KL-Geräten unter Einfluss externer Komponenten
 - Potenziale bei KL-Anlagen
 - Feldmessungen bei Ein- und Mehrfamilienhäusern
 - Auswirkungen Vereisungsschutz auf den Energiebedarf**Prof. Rudolf Furter**, Forschungstätigkeit im Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG), HSLU, T&A Horw
-
- 15.15 Diskussion der Resultate**
-
- 15.25 Pause**
-
- 15.55 Möglichkeiten und Grenzen mit Computational Fluid Dynamics (CFD) – Berechnungen, Rechnungsbeispiele**
Prof. Dr. Ernesto Casartelli, Dozent für Maschinentechnik, HSLU, T&A Horw
-
- 16.10 Zukünftige Anforderungen an KL-Geräte**
Europäische Normierung, Stand der Arbeiten
Josef Ammann, Dipl.-Ing. FH, TechEffekt, Schaan
-
- 16.45 Plattform**
Behandlung von Fragen der Unternehmen
Moderation: Josef Ammann, Dipl.-Ing. FH, TechEffekt, Schaan
-
- 17.15 Ausblick**
Weitere notwendige F&E-Anstrengungen für Komfortlüftungen
Beat Nussbaumer, Technologie-Vermittler energie-cluster.ch, Bern
Prof. Rudolf Furter, Forschungstätigkeit im Zentrum für Integrale Gebäudetechnik, HSLU, T&A Horw
-
- 17.30 Apéro**
-
- 18.00 Schluss der Veranstaltung**
-