



Individuelle
Luftmengenregulierung
bei Mehrwohnungsanlagen
Schlussbericht

IMPRESSUM

Auftraggeberin:

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

Bearbeitung:

Prof. Heinrich Huber (FHNW, MuttENZ)
heinrich.huber@fhnw.ch
Dominique Helfenfinger (FHNW, MuttENZ)
dominique.helfenfinger@fhnw.ch

Projektleitung:

Franz Sprecher
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amt für Hochbauten

Projektteam:

Harry Gmür (Todt Gmür + Partner AG, Zürich)
Dominique Helfenfinger (FHNW, MuttENZ)
Markus Hilpert (Amt für Hochbauten, Zürich)
Prof. Heinrich Huber (FHNW, MuttENZ)
Benno Zurfluh (ZURFLUH LOTTENBACH GMBH, Luzern)

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/egt
> Projekte realisiert

Zürich, November 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Projektübersicht	5
2.1	Aufgabenstellung	5
2.2	Projektteam	5
3	Recherche	6
4	Messkonzept	8
4.1	Prüflinge	8
4.2	Festlegung des Prüfbereichs und der Messbedingungen	8
4.3	Prüfprogramm	8
5	Messresultate	10
5.1	Prüfinstitut und Prüfberichte	10
5.2	Externe Leckage	10
5.3	Betriebsverhalten	12
5.4	Akustische Untersuchungen	17
5.5	Verschmutzungsanfälligkeit	26
6	Energiebedarf	28
6.1	Vorgehen und Methode	28
6.2	Annahmen und Varianten	28
6.3	Auswertung	34
7	Schall	37
7.1	Schalldruckpegel im Raum durch Zuluft	37
7.2	Abstrahlung Gehäuse	38
8	Planungsempfehlungen	39
9	Schlussbemerkungen	41
10	Anhang	42
10.1	Abkürzungen und Begriffe	42
10.2	Literaturverzeichnis	42
10.3	Zusammenstellung Betriebsverhalten bei Sollwertsprüngen	43
10.4	Störgrössensprung (Vordruckänderung) beim maximalem Volumenstrom	47
10.5	Tabellen- und Bilderverzeichnis	49

1 Zusammenfassung

Einfachere Wartung ist der wichtigste Vorteil von zentralen Lüftungsanlagen in Mehrfamilienhäusern. Der Hauptnachteil ist, dass bei klassisch gebauten Mehrwohnungsanlagen der Luftvolumenstrom nicht wohnungsweise geregelt werden kann. Die auf dem Markt vorhandenen konventionellen Variabel-Volumenstrom-Regler sind aus akustischen und energetischen Gründen für Wohnungsbauten nicht geeignet. Seit kurzem sind jedoch auf dem Markt erste Produkte erschienen, welche speziell für Wohnungsbauten entwickelt wurden.

Die Stadt Zürich erstellt als grosse Bauherrin regelmässig neue Wohnungen oder realisiert Instandsetzungen von bestehenden Wohnungen. Aufgrund der anfangs erwähnten Vorteile sind dabei Mehrwohnungsanlagen mit Bedarfssteuerung eine sinnvolle Option. Da weder in der Fachliteratur, in Normen noch in Richtlinien produktneutrale Planungsunterlagen (Systemlayout, Anforderungen, Hinweise) vorhanden sind, hat die Stadt Zürich diese Studie in Auftrag gegeben.

Damit der Elektrizitätsverbrauch der Ventilatoren die Anforderungen der SIA-Norm 382/1 erreicht, ist neben einer strömungstechnisch sorgfältigen Auslegung auch ein tiefer Vordruck der Variabel-Volumenstromregler (VAV) erforderlich. Aus den experimentellen Untersuchungen heraus ist positiv zu konstatieren, dass heute marktgängige Produkte auf einen Vordruck von lediglich 15 Pa ausgelegt werden können, wenn die Anlage entsprechend konzipiert ist.

Neben der Ventilatorenergie muss der Stromverbrauch der VAV beachtet werden. Die Aufnahmeleistung der VAV-Boxen war höher als erwartet. Hier wird ein Einsparpotential vermutet.

Die Schallwerte der untersuchten Produkte zeigen, dass bei fachgerechter Realisierung der gesamten Anlage die hohen Anforderungen des SIA-Merkblattes 2023 eingehalten werden können.

Insgesamt wurde der Eindruck gewonnen, dass heutige VAV-Boxen für den Wohnbereich eine gute Reife aufweisen.

2 Projektübersicht

2.1 Aufgabenstellung

Ausgangslage und Fragestellung

Zentrale Lüftungsanlagen in Mehrfamilienhäusern (sogenannte Mehrwohnungsanlagen) weisen gegenüber Einzelwohnungsanlagen diverse Vorteile auf wie beispielsweise einfachere Wartung, geringerer Platzbedarf in der Wohnung und Schallquelle ausserhalb der Wohnung. Der Hauptnachteil ist, dass bei klassisch gebauten Mehrwohnungsanlagen der Luftvolumenstrom von Nutzerinnen und Nutzern nicht individuell, das heisst nicht wohnungsweise geregelt werden kann. Konventionelle Variabel-Volumenstrom-Regler (VAV) sind aus akustischen und energetischen Gründen meist nicht für Wohnungen geeignet. Auf dem Markt sind nun erste Produkte erschienen, die für Wohngebäude entwickelt wurden. Heute fehlen aber die Grundlagen für die Beurteilung dieser Lösungen. Ebenso sind in der Fachliteratur und in Normen keine produkteneutralen Planungsunterlagen (Systemlayout, Anforderungen, Hinweise etc.) vorhanden.

Zielsetzung

Systemlösungen und Produkte für zentrale Lüftungsanlagen in Mehrfamilienhäusern mit individueller Luftvolumenstromregulierung werden untersucht und beurteilt. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind:

- Qualitativer und quantitativer Vergleich von heutigen Produkten (Stand 2012)
- Planungsempfehlungen für Architekten und Gebäudetechnikplaner
- Abschätzung der Langzeiteigenschaften und der Möglichkeit zur Reinigung
- Empfehlung für die Umsetzung und allfällige weitere F+E-Aktivitäten

2.2 Projektteam

Harry Gmür, Todt Gmür + Partner AG, Zürich

Dominique Helfenfinger, FHNW, IEBau, Muttenz

Markus Hilpert, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Zürich (Stv. Leitung)

Heinrich Huber, FHNW, IEBau, Muttenz





Patrick Keller, Messungen HSLU, ZIG Horw

Franz Sprecher, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Zürich (Leitung)

Benno Zurfluh, ZURFLUH LOTTENBACH GMBH, Luzern

3 Recherche

In der nachfolgenden Tabelle sind vier VAV-Produkte zusammengestellt, welche untersucht wurden. Die Anordnung der Produkte ist alphabetisch. In den Kapiteln 5 bis 7 sind die Produkten anonymisiert dargestellt.

Fabrikat	[-]	Allvotech	AVENCO
Typ	[-]	WO-BOX	AFF D+S
VAV			
Bedienelement			
Grösse/Durchmesser	[mm]	125	125
min. Volumenstrom	[m3/h]	80	30
max. Volumenstrom	[m3/h]	250	130
min. Lufttemperatur	[°C]	k.A.	keine Angaben
max. Lufttemperatur	[°C]	k.A.	keine Angaben
Beschrieb	[-]	Komplettsystem: variabler Volumenstromregler mit Schalldämpfer und Stellantrieb als eine Einheit.	Komplettsystem: variabler Volumenstromregler mit Stellantrieb und Schalldämpfer.
Messprinzip			
Angaben zum Messprinzip		Dynamische Druckdifferenz	Geschwindigkeitsmessung mit Hitzdrahtanemometer
Auslegung			
min. Vordruck	[Pa]	k.A.	k.A.
Messgenauigkeit bei min. Volumenstrom	[%]	k.A.	± 10
Drehmoment	[Nm]	k.A.	2
Elektrische Daten			
Signal	[V]	k.A.	0-10 / 2-10
Spannungsversorgung	[V]	k.A.	230
Leistungsverbrauch	[W]	k.A.	2 VA
Allgemeine Informationen			
Eignung für Wohnbau	[-]	Der Volumenstromregler ist speziell für Wohnungslüftung konzipiert worden.	Der Volumenstromregler ist speziell für Wohnungslüftung konzipiert worden. Die Komponenten können Komplettsystem oder einzeln bezogen werden.
Montagevorgaben	[-]	Keine Einbauvorschriften	Für die Anströmung des Messelementes gilt L=2 x Rohrdurchmesser

Fabrikat	[-]	Drexel und Weiss	Trox Hesco Schweiz AG
Typ	[-]	vbox	Wohnungslüftungsbox

VAV



Bedienelement



Grösse/Durchmesser	[mm]	400 x 165	125 (160)
min. Volumenstrom	[m3/h]	28	30 (45)
max. Volumenstrom	[m3/h]	156	270 (430)
min. Lufttemperatur	[°C]	keine Angaben	0
max. Lufttemperatur	[°C]	keine Angaben	50
Beschrieb	[-]	Die vbox ist ein Gerät zur Regelung von Zuluft- und Abluft-Volumenstrom je Wohnung.	Variabler Niedergeschwindigkeits-Volumenstromregler je für ZUL+ABL, integriert in eine kompakte Box inkl. Kulissenschalldämpfer

Messprinzip

Angaben zum Messprinzip	Für die Erfassung des Ist-Volumenstroms wird der Differenzdruck über die Blende gemessen. Der tatsächliche Volumenstrom wird in Abhängigkeit der Blendenstellung und des gemessenen Differenzdrucks berechnet.	Neuartiges Messprinzip im Klappenbereich speziell zur Messung kleiner Volumenströme. Die Kombination von Gesamtdruck, statischer Druck und Klappenstellung ergibt ein gut erfassbares Mass für den Volumenstrom.
-------------------------	--	--

Auslegung

min. Vordruck	[Pa]	-	15 Pa (abhängig vom Volumenstrom)
Messgenauigkeit bei min. Volumenstrom	[%]	k.A.	± 10%
Drehmoment	[Nm]	-	5 Nm

Elektrische Daten

Signal	[V]	k.A.	Schaltimpulse (Umsetzung intern)
Spannungsversorgung	[V]	230	230 V AC (steckerfertige Ausführung)
Leistungsverbrauch	[W]	k.A.	ca. 8 W für gesamte WLB

Allgemeine Informationen

Eignung für Wohnbau	[-]	Die vbox ist speziell für Wohnungslüftung konzipiert worden.	Die Wohnungslüftungsbox ist speziell zur Belüftung von Wohnungen entwickelt worden.
---------------------	-----	--	---

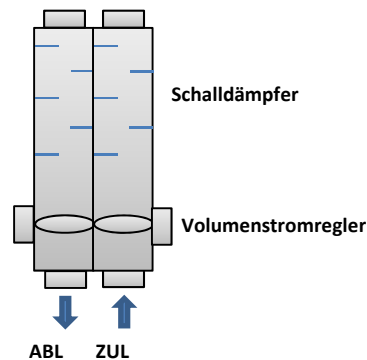
Montagevorgaben	[-]	Es werden keine minimale Ein-/Auslaufstrecken gefordert. Die vbox kann unmittelbar nach einem Bogen eingebaut werden. Zugänglichkeit für Wartungs- und Unterhaltsarbeiten werden gewünscht.	Es sind keine minimalen Ein-/Auslaufstrecken erforderlich. Passend für Schrankeinbau
-----------------	-----	---	--

4 Messkonzept

4.1 Prüflinge

Die Prüflinge sind als Funktionseinheit definiert, die Volumenstromregler für Zu- und Abluft, Antriebe, Steuerung/Regelung und Schalldämpfer umfasst. Die Rohrdimension beträgt 125 mm.

Bei drei Prüflingen waren alle Komponenten in einem Gehäuse zusammengebaut. Bei einem Prüfling wurden die Volumenstromregler und Schalldämpfer getrennt geliefert.



4.2 Festlegung des Prüfbereichs und der Messbedingungen

Die Untersuchungen wurden im Folgenden für 2 bis 5 ½-Zimmerwohnungen typischen Bereich durchgeführt:

- minimaler Luftvolumenstrom 40 m³/h
- maximaler Luftvolumenstrom 120 m³/h
- minimaler Vordruck: wird bei jedem Produkt individuell festgelegt, s. Prüfprogramm
- maximaler Vordruck: 35 Pa höher als der minimale Vordruck

Bei allen Untersuchungen erfolgt die Anströmung über gerade Rohre. Die Zuluft-, Abluft- und Umgebungs-Temperatur liegt im Bereich von ca. 18 bis 22°C.

4.3 Prüfprogramm

Bestimmung des minimalen Vordrucks

Der vom Hersteller deklarierte minimale Vordruck wird eingestellt. Verschiedene Sollwerte zwischen dem minimalen und maximalen Volumenstrom werden angefahren und die Differenzen zwischen Soll- und Istwert aufgenommen.

Messgrößen: Volumenstrom, elektrische Leistung, Vordruck, Stellsignal, VAV-Stellung

Betriebsverhalten

Sollwert-Sprung: Beim minimalen und maximalen Vordruck wird die Sprungantwort bei Veränderungen des Sollwertes des Luftvolumenstroms aufgenommen.

Störgrößen-Sprung: Beim minimalen und maximalen Luftvolumenstrom wird der Vordruck sprungartig zwischen dem Minimal- und Maximalwert verändert. Dabei wird das Verhalten des Ist-Werts des Volumenstroms untersucht.

Messgrößen: Volumenstrom, elektrische Leistung, Vordruck, Stellsignal, VAV-Stellung

Akustik

Die Schallemissionen werden beim minimalen und maximalen Volumenstrom gemessen. Neben dem Schalleistungspegel der Zu- und Abluft wird der Schalleistungspegel der Gehäuseabstrahlung bestimmt.

Messgrößen: Volumenstrom, elektrische Leistung, Vordruck, Stellsignal, VAV-Stellung, Schalleistungspegel

Externe Leckage

Die externen Leckagen vom Prüfling an die Umgebung werden in Anlehnung an die Leckagen-Prüfung von Komfortlüftungsgeräten durchgeführt.

Messgrößen: Leckluftstrom, Druckdifferenz

Verschmutzungsanfälligkeit

Ein geschlossener Luftkreislauf wird mit Prüfstaub kontaminiert. Während vier Tagen Dauerbetrieb mit maximalem Volumenstrom und maximalem Vordruck sind die Prüflinge der Staubbelastung ausgesetzt. Danach wird die Verschmutzung visuell beurteilt.

Weiter findet eine Funktionskontrolle statt, indem nach dem Verschmutzungsversuch die Regeltgenauigkeit der Volumenströme mit den Werten vor dem Verschmutzungsversuch beurteilt wird.

Messgrößen: Volumenstrom, elektr. Leistung, Vordruck, Stellsignal, VAV-Stellung, Masse Staub

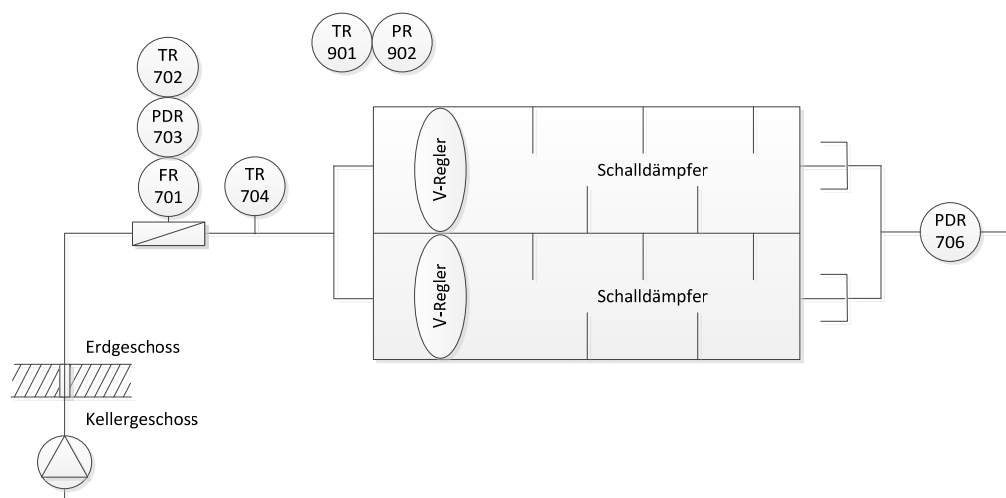
5 Messresultate

5.1 Prüfinstitut und Prüfberichte

Die experimentellen Untersuchungen wurden an der Prüfstelle HLK der Hochschule Luzern in Horw durchgeführt. Die Messungen sind in Prüfberichten detailliert dokumentiert. Hier werden Resultate auszugsweise wiedergegeben.

5.2 Externe Leckage

Die Leckage des Prüflings gegen die Umgebung wird bestimmt, indem mit einem Stützventilator eine stationäre Druckdifferenz zwischen Geräteinnerem und der Umgebung eingestellt wird. Die Leckage entspricht dem zugeführten Volumenstrom, der zur Stabilisierung des Differenzdruckes nötig ist.



Figur 1: Prüfeinrichtung Untersuchung externe Leckagen

Gemessene Grössen

q_{v1}	m^3/h	Volumenstrom (FR701)
Δp_1	Pa	statischer Überdruck beim Volumenstrommessgerät (PDR703)
Δp	Pa	Druckdifferenz zwischen Geräteinnerem zur Umgebung (PDR706)
p_{Baro}	Pa	atmosphärischer Luftdruck (PR902)
t_1	$^{\circ}C$	Temperatur beim Volumenstrommessgerät (TR702)
t	$^{\circ}C$	Temperatur beim Prüfling (TR704)
t_U	$^{\circ}C$	Umgebungstemperatur (TR901)

Berechnete Grössen

q_{ve} m^3/h Leckvolumenstrom (Volumenstrom beim Prüfling)

$$q_{ve} = q_{v1} \cdot \frac{p_1}{p}$$

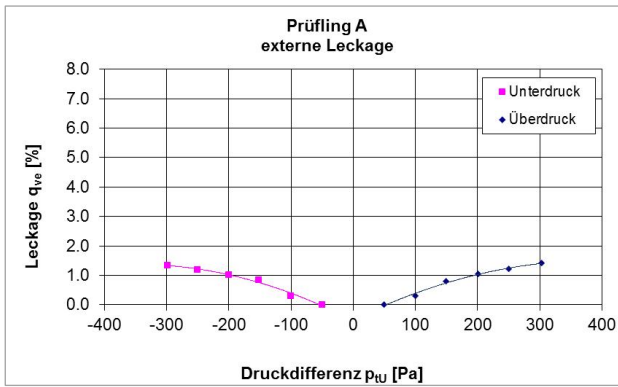
ρ_1 kg/m^3 Dichte der Luft beim Volumenstrommessgerät
 $\rho_1 = f(t_1, (\Delta p_1 + p_{Baro}))$

ρ kg/m^3 Dichte der Luft beim Prüfling
 $\rho = f(t, (\Delta p + p_{Baro}))$

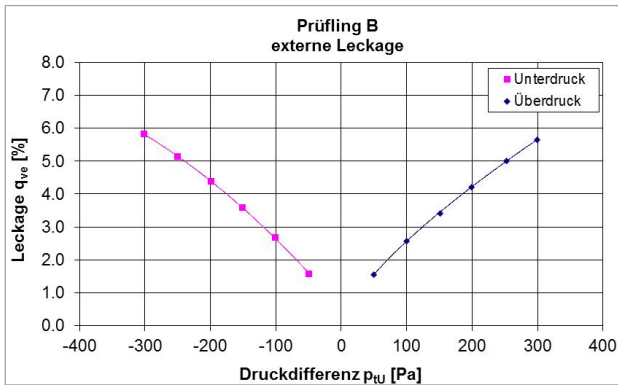
Leckage % rel. Leckage

$$\text{Leckage} = \frac{q_{ve}}{q_{v_max}} \cdot 100\%$$

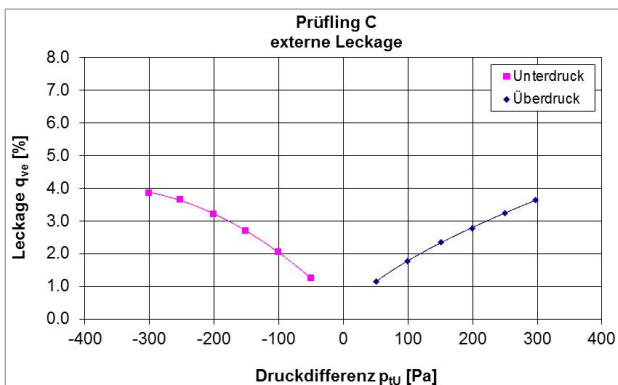
q_{v_max} m^3/h maximaler Volumenstrom



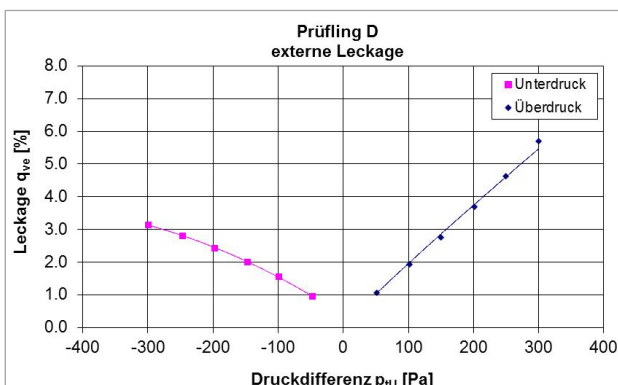
Figur 2: externe Leckage Prüfling A



Figur 3: externe Leckage Prüfling B



Figur 4: externe Leckage Prüfling C



Figur 5: externe Leckage Prüfling D

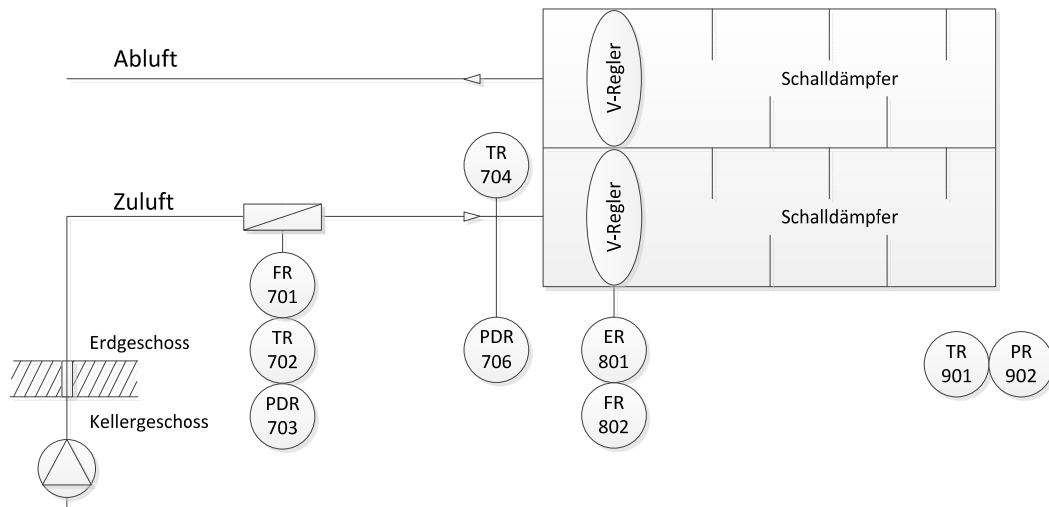
Bemerkungen:

Bei Anlagen, die den Planungsempfehlungen dieser Arbeit entsprechen, liegt der Betrag des Über- und Unterdrucks bei ca. 50 Pa. Bei allen Prüflingen liegt der Leckagevolumenstrom unter 2% (bezogen auf einen Nennvolumenstrom von 120 m³/h).

5.3 Betriebsverhalten

Die Prüfeinrichtung für die Untersuchungen des Betriebsverhaltens sieht wie folgt aus:

Der statische Überdruck vor dem Prüfling (Vordruck) wird mit einem externen Stützventilator eingestellt .



Figur 6: Prüfeinrichtung Untersuchung Betriebsverhalten

Gemessene Größen

P_{el}	W	elektr. Leistungsaufnahme (ER801)
q_{v1}	m^3/h	Volumenstrom (FR701)
$q_{v,Soll}$	m^3/h	Volumenstrom Prüfling (Sollwert) (FR802)
Δp	Pa	statischer Überdruck beim Prüfling (Vordruck) (PDR706)
Δp_1	Pa	statischer Überdruck beim Volumenstrommessgerät (PDR703)
p_{Baro}	Pa	atmosphärischer Luftdruck (PR902)
t_1	$^{\circ}C$	Temperatur beim Volumenstrommessgerät (TR702)
t	$^{\circ}C$	Temperatur beim Prüfling (TR704)
t_U	$^{\circ}C$	Umgebungstemperatur (TR901)

Berechnete Größen

q_v	m^3/h	Volumenstrom beim Prüfling $q_v = q_{v1} \cdot \frac{\rho_1}{\rho}$
ρ_1	kg/m^3	Dichte der Luft beim Volumenstrommessgerät $\rho_1 = f(t_1, (\Delta p_1 + p_{Baro}))$
ρ	kg/m^3	Dichte der Luft beim Prüfling $\rho = f(t, (\Delta p + p_{Baro}))$

5.3.1 Überprüfung des minimalen Vordruckes

Der vom Hersteller vorgegebene minimale Vordruck wird eingestellt. Bei 40 m³/h (minimaler Volumenstrom), 80 m³/h und bei 120 m³/h (maximaler Volumenstrom) wird die Differenz zwischen dem Soll- und Istwert aufgenommen.

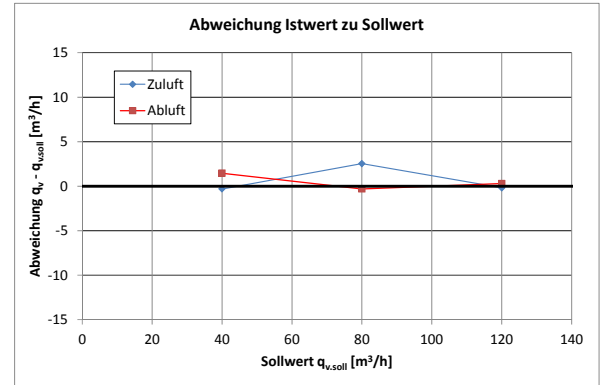
Prüfling A

Zuluft

Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701	ER801	PDR706	FR802	
	p _{Baro} Pa	t _U °C	t °C	ρ kg/m ³	q _v m ³ /h	P _{el} W	Δp Pa	q _{v,soll} m ³ /h	q _v -q _{v,soll} m ³ /h
Klappe voll offen	97265	19.6	20.0	1.151	119.8	5.2	15.5	120	-0.2
VAV im Regelmodus	97354	19.4	19.8	1.153	82.5	5.5	15.3	80	2.5
VAV im Regelmodus	97355	19.4	19.7	1.153	39.7	5.3	15.5	40	-0.3

Abluft

Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701	ER801	PDR706	FR802	
	p _{Baro} Pa	t _U °C	t °C	ρ kg/m ³	q _v m ³ /h	P _{el} W	Δp Pa	q _{v,soll} m ³ /h	q _v -q _{v,soll} m ³ /h
Klappe voll offen	95338	19.1	19.2	1.132	120.3	4.9	14.8	120	0.3
VAV im Regelmodus	95336	19.3	19.3	1.131	79.7	4.8	14.8	80	-0.3
VAV im Regelmodus	95349	19.2	19.3	1.131	41.5	4.0	14.8	40	1.5



Figur 7: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom Prüfling A

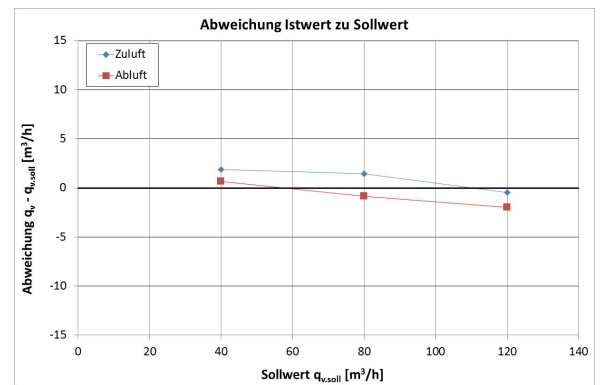
Prüfling B

Zuluft

Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701		PDR706	FR802	
	p _{Baro} Pa	t _U °C	t °C	ρ kg/m ³	q _v m ³ /h	P _{el} W	Δp Pa	q _{v,soll} m ³ /h	q _v -q _{v,soll} m ³ /h
Klappe voll offen	96925	20.8	19.9	1.147	119.6	5.2	14.3	120	-0.4
VAV im Regelmodus	96947	22.7	20.4	1.145	81.4	5.2	14.3	80	1.4
VAV im Regelmodus	96907	23.1	20.5	1.144	41.9	5.2	14.3	40	1.9

Abluft

Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701		PDR706	FR802	
	p _{Baro} Pa	t _U °C	t °C	ρ kg/m ³	q _v m ³ /h	P _{el} W	Δp Pa	q _{v,soll} m ³ /h	q _v -q _{v,soll} m ³ /h
Klappe voll offen	96945	29.1	21.8	1.140	118.0	5.2	13.6	120	-2.0
VAV im Regelmodus	96786	23.9	20.2	1.144	79.1	5.3	14.3	80	-0.9
VAV im Regelmodus	96776	25.5	20.5	1.143	40.7	5.1	14.5	40	0.7



Figur 8: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom Prüfling B

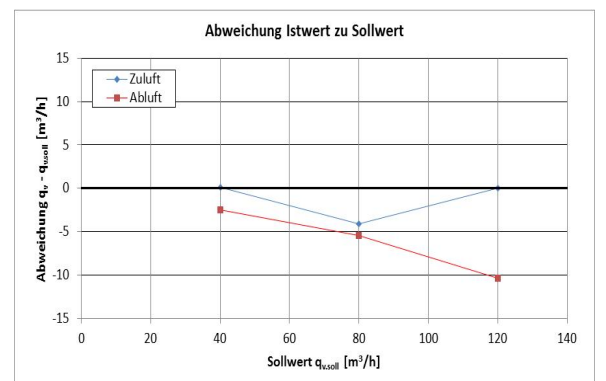
Prüfling C

Zuluft

Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701	ER801	PDR706	FR802	
	p _{Baro} Pa	t _U °C	t °C	ρ kg/m ³	q _v m ³ /h	P _{el} W	Δp Pa	q _{v,soll} m ³ /h	q _v -q _{v,soll} m ³ /h
Klappe voll offen	96750	23.3	21.1	1.142	120.0	2.5	33.8	120	0.0
VAV im Regelmodus	96741	23.1	20.9	1.142	75.9	3.5	33.9	80	-4.1
VAV im Regelmodus	96731	23.3	20.7	1.143	40.1	3.4	33.8	40	0.1

Abluft

Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701	ER801	PDR706	FR802	
	p _{Baro} Pa	t _U °C	t °C	ρ kg/m ³	q _v m ³ /h	P _{el} W	Δp Pa	q _{v,soll} m ³ /h	q _v -q _{v,soll} m ³ /h
Klappe voll offen	95411	25.1	21.4	1.124	109.6	3.9	36.2	120	-10.4
VAV im Regelmodus	95399	26.5	21.3	1.125	74.6	4.0	38.4	80	-5.4
VAV im Regelmodus	95380	25.9	21.1	1.125	37.5	4.0	36.2	40	-2.5



Figur 9: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom Prüfling C

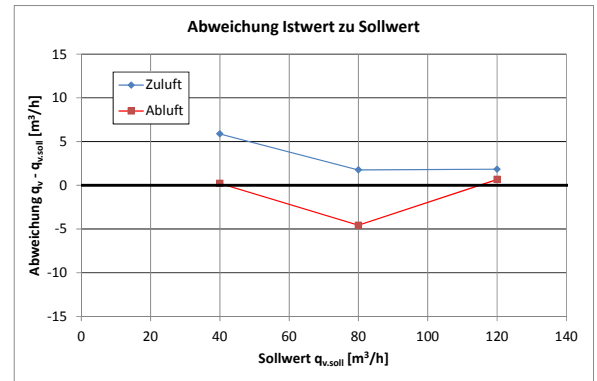
Prüfling D

Zuluft

Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701	ER801	PDR706	FR802	
	p_{stat} Pa	t_{L} °C	t °C	ρ kg/m ³	q_v m ³ /h	P_{cl} W	Δp Pa	$q_{v,\text{soll}}$ m ³ /h	$q_v - q_{v,\text{soll}}$ m ³ /h
Klappe voll offen	96195	22.4	20.0	1.140	121.8	8.4	13.2	120	1.8
VAV im Regelmodus	96192	22.4	20.0	1.140	81.8	8.4	13.3	80	1.8
VAV im Regelmodus	96208	22.4	20.1	1.140	45.9	8.4	13.6	40	5.9

Abluft

Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701	ER801	PDR706	FR802	
	p_{stat} Pa	t_{L} °C	t °C	ρ kg/m ³	q_v m ³ /h	P_{cl} W	Δp Pa	$q_{v,\text{soll}}$ m ³ /h	$q_v - q_{v,\text{soll}}$ m ³ /h
Klappe voll offen	96062	22.6	20.2	1.138	120.7	8.4	13.1	120	0.7
VAV im Regelmodus	96059	23.2	20.3	1.137	75.4	8.1	13.1	80	-4.6
VAV im Regelmodus	96058	23.1	20.3	1.137	40.2	8.2	13.0	40	0.2



Figur 10: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom Prüfling D

Bemerkungen:

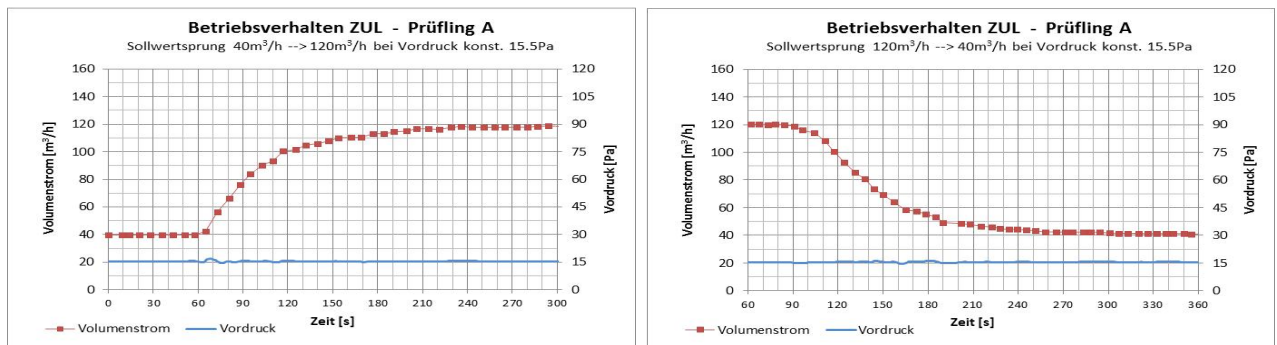
Alle Produkte halten die Sollwerte über den gesamten Volumenstrombereich gut ein. Beim Produkt C wäre allenfalls eine Justierung der Sollwerteinstellung angemessen. Die Druckverluste der Produkt A, B und D sind mit ca. 15 Pa erstaunlich tief. Das Produkt C weist bei voll geöffnetem Zustand einen um ca. 20 Pa höheren Druckverlust auf als die Produkte A, B und D.

5.3.2 Betriebsverhalten bei Sollwertsprüngen

Das Betriebsverhalten bei Sollwertsprüngen ist für alle untersuchten Produkte ähnlich ausgefallen. Exemplarisch wird das Betriebsverhalten vom Produkt A aufgeführt. Im Anhang unter „10.3 Zusammenstellung Betriebsverhalten bei Sollwertsprüngen“ sind sämtliche Betriebsverhalten abgebildet.

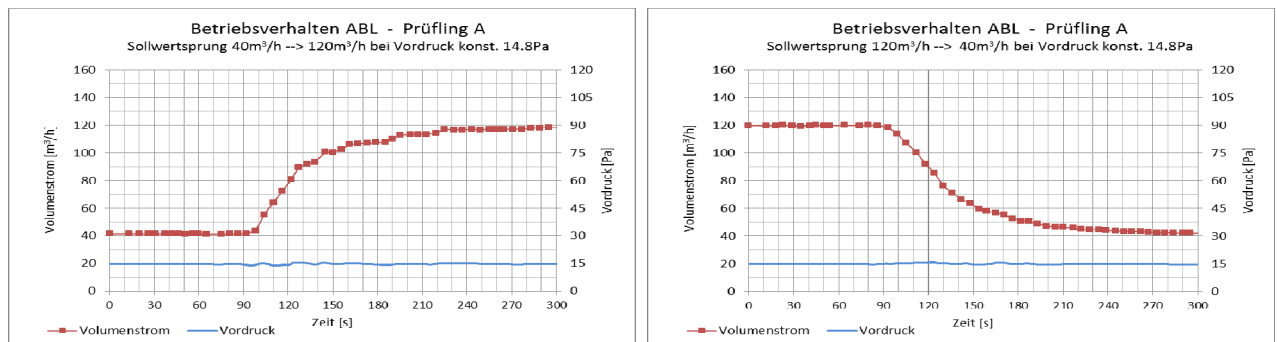
Sollwertsprung des Volumenstroms bei minimalem Vordruck

Zulufseite



Figur 11:Zuluft-Sollwertsprung des Volumenstromes beim minimalen Vordruck Prüfling A

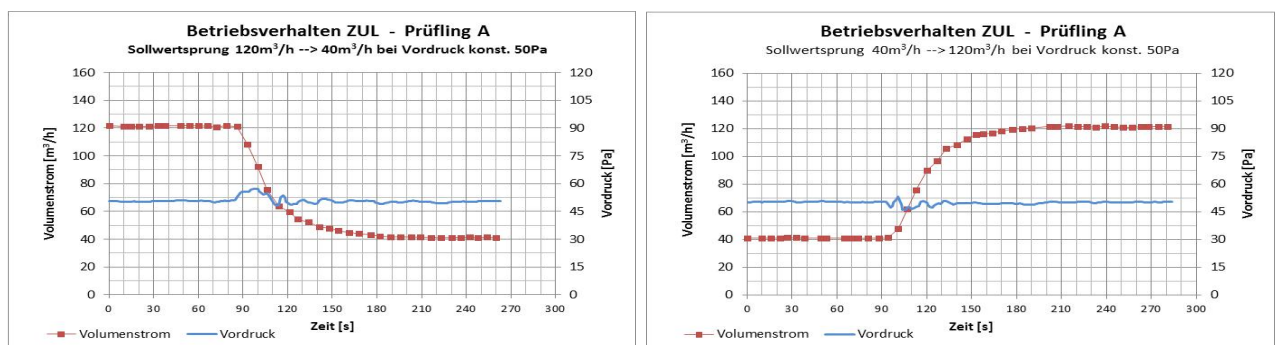
Abluftseite



Figur 12: Abluft-Sollwertsprung des Volumenstromes beim minimalen Vordruck Prüfling A

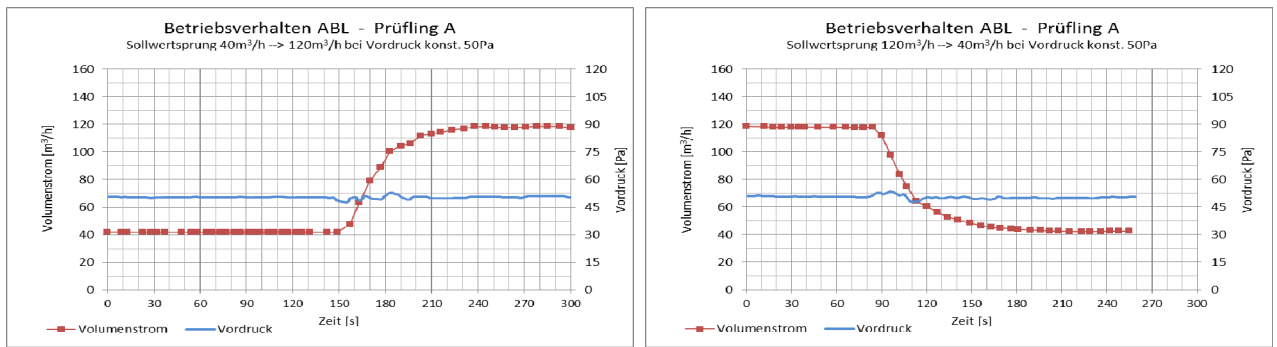
Sollwertsprung des Volumenstroms bei maximalem Vordruck

Zulufseite



Figur 13: Zuluft-Sollwertsprung des Volumenstromes beim maximalen Vordruck Prüfling A

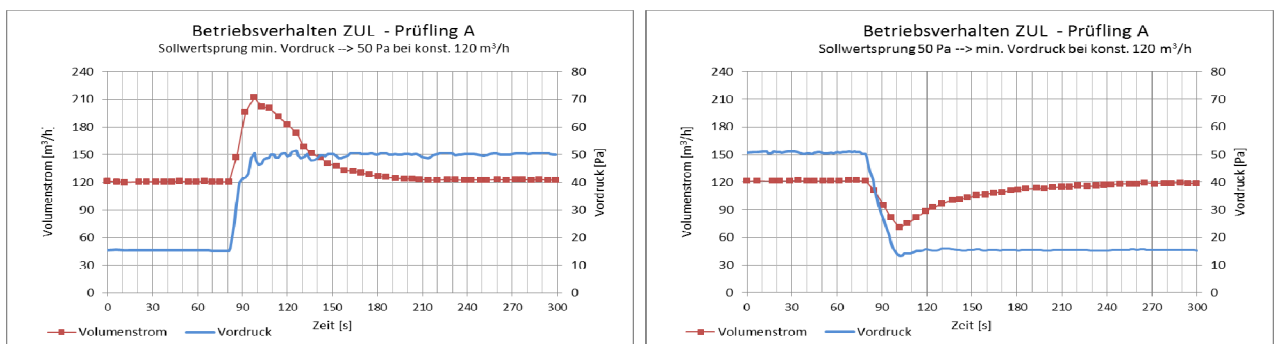
Abluftseite



Figur 14: Abluft-Sollwertsprung des Volumenstromes beim maximalen Vordruck Prüfling A

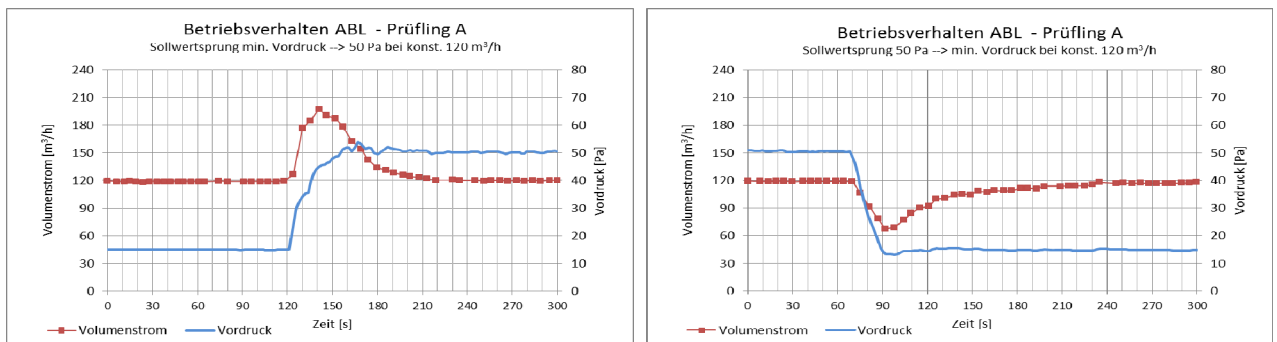
Störgrössensprung (Vordruckänderung) beim maximalen Volumenstrom

Zuluftseite



Figur 15: Zuluft-Sollwertsprung bei Vordruckänderung beim maximalen Volumenstrom Prüfling A

Abluftseite



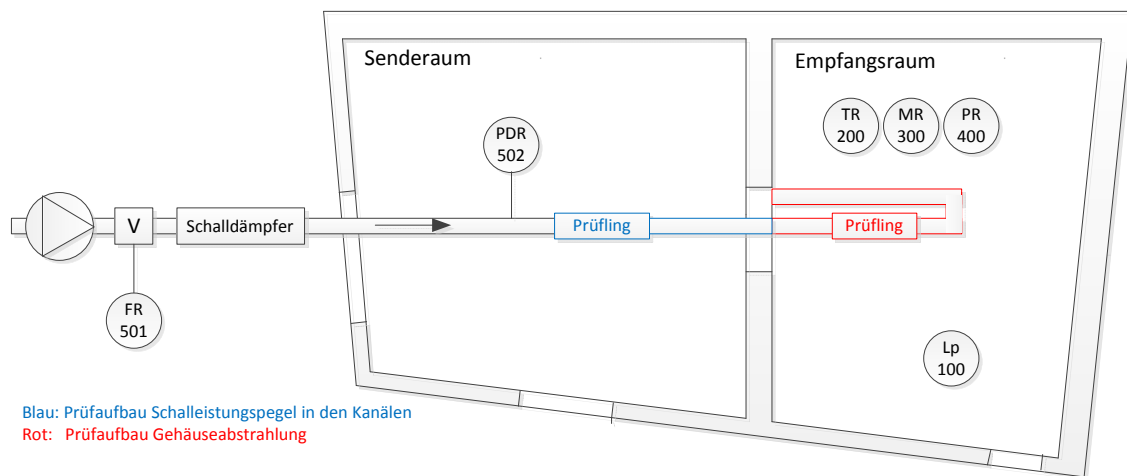
Figur 16: Abluft-Sollwertsprung bei Vordruckänderung beim maximalen Volumenstrom Prüfling A

Bemerkungen:

Alle Produkte reagieren schnell und mit gutem Regelverhalten auf die Störgrösse der Vordruckveränderung. In einer realen Anlage werden sich die Druckverhältnisse kaum so schnell ändern wie bei diesem Versuch. Falls bei mehreren Wohnungen gleichzeitig Volumenstromregler schliessen sollten und die Ventilatorregelung langsamer ist als die Laufzeit der VAV, dann ist allenfalls kurzzeitig mit höheren Strömungsgeräuschen zu rechnen. Für den Wohnbereich könnten die Laufzeiten bei allen Produkten verlängert werden, was das Risiko von Druckstörungen und kurzzeitig erhöhten Strömungsgeräuschen vermindern würde.

5.4 Akustische Untersuchungen

Die akustischen Untersuchungen wurden im Hallraum durchgeführt. Der Prüfaufbau sieht wie folgt aus:



Figur 17: Prüfeinrichtung akustische Messungen

Gemessene Grössen

FR	Durchfluss	Lp	Schalldruckpegel	TR	Temperatur
MR	Feuchte	PR	abs. Druck		

Berechnete Grössen

Mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum

L_p dB mittlerer Schalldruckpegel in einem bestimmten Frequenzband im Empfangsraum

$$L_p = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{N_M} \cdot \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0.1 \cdot L_{pi}} \right) - K_1$$

L_{pi} dB gemessener Schalldruckpegel in einem bestimmten Frequenzband an der i-ten Mikrofonposition

N_M - Anzahl der Mikrofone

K_1 dB Fremdgeräuschkorrektur in einem bestimmten Frequenzband für Werte von $10 \text{ dB} \leq \Delta L \leq 15 \text{ dB}$
 $K_1 = -10 \lg(1 - 10^{-0.1 \Delta L})$

- wenn $\Delta L > 15 \text{ dB}$ ist, ist keine Korrektur erforderlich

- wenn $\Delta L < 10 \text{ dB}$ ist, beträgt die max. Korrektur 0.5 dB und diese Schalleistungspegel stellen eine obere Grenze dar.

ΔL dB Differenz der über alle Mikrofone gemittelten Schalldruckpegel in einem bestimmten Frequenzband zwischen eingeschalteter Schallquelle zu den Fremdgeräuschen (ausgeschaltete Schallquelle)

Schalleistungspegel der Geräuschequelle

L_w dB Schalleistungspegel in einem bestimmten Frequenzband

$$L_w = \bar{L}_p + \left\{ 10 \cdot \lg \left(\frac{A}{A_0} \right) + 4.34 \cdot \frac{A}{S} + 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{S \cdot c}{8 \cdot V \cdot f} \right) - 25 \cdot \lg \left[\frac{427}{400} \cdot \sqrt{\frac{273}{273 + \theta} \cdot \frac{B}{B_0}} \right] - 6 \right\}$$

L_p dB mittl. Schalldruckpegel in einem bestimmten Frequenzband

A m^2 äquivalente Schallabsorptionsfläche des Empfangsraumes

T_{rev} S Nachhallzeit für ein bestimmtes Frequenzband

A_0 m^2 Bezugsabsorptionsfläche = 1 m^2

S m^2 Raumboberfläche = 214.48 m^2

V m^3 Rauminhalt = 210.32 m^3

f Hz Bandmittenfrequenz

c m/s Schallgeschwindigkeit der Luft

$$c = 20.05 \cdot \sqrt{273 + \theta}$$

θ °C Temperatur

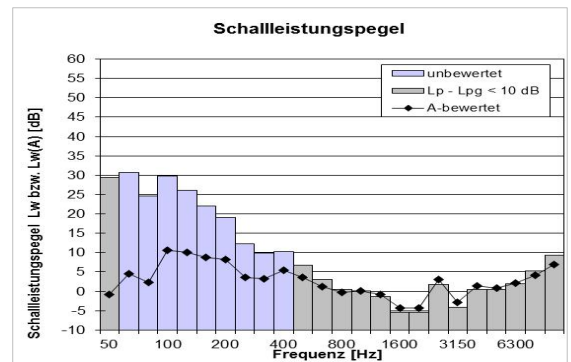
B Pa atmosphärischer Druck

B_0 Pa Bezugsdruck 101325 Pa

5.4.1 Gehäuseabstrahlung beim maximalen Volumenstrom und Vordruck

Prüfling A (120 m³/h; 50 Pa)

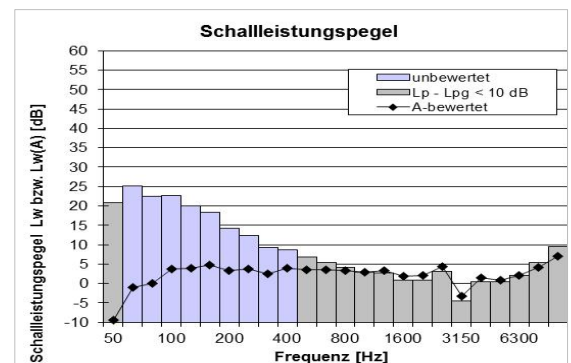
Frequenz Hz	L _{pg} dB	L _p dB	K1 dB	Messung Zuluftseitig		Hochrechnung auf ganzes Gerät	
				L _w dB	L _{w(A)} dB	L' _w dB	L' _{w(A)} dB
63	22.1	34.9	0.0	33.7	7.3	36.7	10.3
125	13.7	32.3	0.0	31.8	14.7	34.8	17.7
250	4.3	19.6	0.0	20.3	10.4	23.3	13.4
500	0.4	10.8	0.0	12.4	8.5	15.4	11.5
1000	-2.6	2.7	0.5	4.6	4.5	7.6	7.5
2000	-4.3	0.1	0.5	3.2	4.4	6.2	7.4
4000	-1.6	-5.9	0.5	4.1	5.0	7.1	8.0
8000	1.7	-2.2	0.5	11.4	9.6	14.4	12.6
Total				36.0	18.5	39.0	21.5
Total ohne L_p - L_{pg} < 10 dB				36.0	17.2	39.0	20.2



Figur 18: Oktavbandanalyse der Gehäuseabstrahlung bei 120 m³/h, 50 Pa vom Prüfling A

Prüfling B (120 m³/h; 50 Pa)

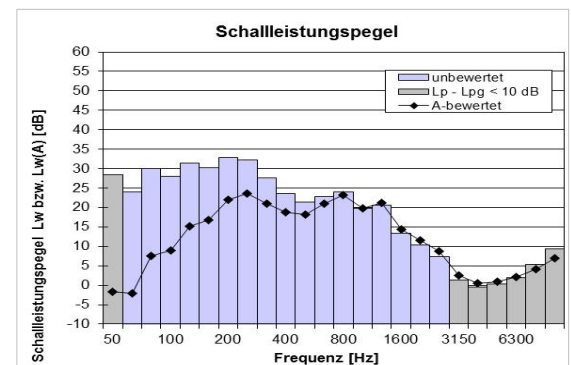
Frequenz Hz	L _{pg} dB	L _p dB	K1 dB	Messung Zuluftseitig		Hochrechnung auf ganzes Gerät	
				L _w dB	L _{w(A)} dB	L' _w dB	L' _{w(A)} dB
63	22.1	28.6	0.5	27.9	1.7	30.9	4.7
125	13.7	26.1	0.0	25.5	9.5	28.5	12.5
250	4.3	16.6	0.0	17.2	8.6	20.2	11.6
500	0.4	10.3	0.5	12.0	8.8	15.0	11.8
1000	-2.6	6.1	0.5	8.1	8.1	11.1	11.1
2000	-4.3	3.7	0.5	6.5	7.7	9.5	10.7
4000	-1.6	-3.5	0.5	4.1	5.1	7.1	8.1
8000	1.7	-2.6	0.5	11.4	10.3	14.4	13.3
Total				30.3	17.1	33.3	20.1
Total ohne L_p - L_{pg} < 10 dB				26.1	12.1	29.1	15.1



Figur 19: Oktavbandanalyse der Gehäuseabstrahlung bei 120 m³/h, 50 Pa vom Prüfling B

Prüfling C (120 m³/h; 70 Pa)

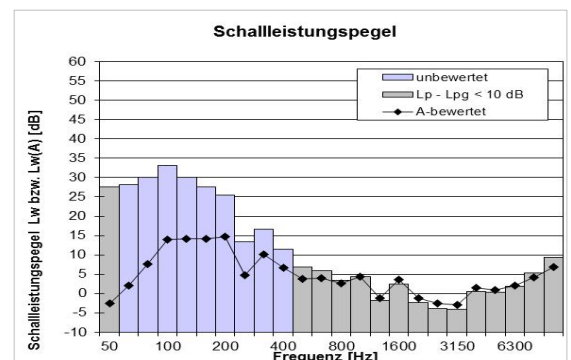
Frequenz Hz	L _{pg} dB	L _p dB	K1 dB	Messung Zuluftseitig		Hochrechnung auf ganzes Gerät	
				L _w dB	L _{w(A)} dB	L' _w dB	L' _{w(A)} dB
63	22.1	34.3	0.0	32.9	6.7	35.9	9.7
125	13.7	35.2	0.0	34.9	18.9	37.9	21.9
250	4.3	35.3	0.0	36.2	27.6	39.2	30.6
500	0.4	25.4	0.0	27.5	24.3	30.5	27.3
1000	-2.6	24.2	0.0	26.6	26.6	29.6	29.6
2000	-4.3	12.7	0.0	15.8	17.0	18.8	20.0
4000	-1.6	0.1	0.5	5.3	6.3	8.3	9.3
8000	1.7	-2.3	0.5	11.3	10.2	14.3	13.2
Total				40.1	31.6	43.1	34.6
Total ohne L_p - L_{pg} < 10 dB				40.1	31.6	43.1	34.6



Figur 20: Oktavbandanalyse der Gehäuseabstrahlung bei 120 m³/h, 70 Pa vom Prüfling C

Prüfling D (120 m³/h; 50 Pa)

Frequenz Hz	L _{pg} dB	L _p dB	K1 dB	Messung Zuluftseitig		Hochrechnung auf ganzes Gerät	
				L _w dB	L _{w(A)} dB	L' _w dB	L' _{w(A)} dB
63	22.1	34.9	0.0	33.5	7.3	36.5	10.3
125	13.7	36.1	0.0	35.6	19.6	38.6	22.6
250	4.3	25.6	0.0	26.3	17.7	29.3	20.7
500	0.4	11.9	0.0	13.6	10.4	16.6	13.4
1000	-2.6	5.6	0.5	7.5	7.5	10.5	10.5
2000	-4.3	1.8	0.5	4.4	5.6	7.4	8.6
4000	-1.6	-4.9	0.5	4.1	5.1	7.1	8.1
8000	1.7	-2.4	0.5	11.3	10.2	14.3	13.2
Total				38.1	22.8	41.1	25.8
Total ohne L_p - L_{pg} < 10 dB				38.0	22.2	41.0	25.2



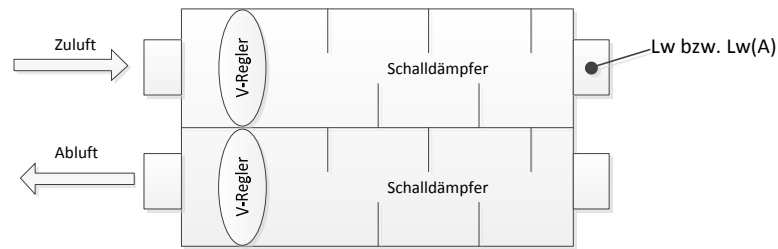
Figur 21: Oktavbandanalyse der Gehäuseabstrahlung bei 120 m³/h, 50 Pa vom Prüfling D

Bemerkungen:

Die Differenzen zwischen den einzelnen Produkten (20 dB(A); Vergleich B und C) sind erstaunlich hoch. Die Gründe dürften in der strömungstechnischen Gestaltung der VAV liegen. Das Produkt mit dem höchsten Druckverlust weist die höchste Gehäuseabstrahlung auf. Validierungsmessungen haben ergeben, dass die Lüftungsrohre im Senderraum keinen Einfluss auf die Gehäuseabstrahlung haben.

Der von der Lüftungsanlage verursachte Schalldruckpegel darf in Wohn- und Schlafzimmern beim Nennvolumenstrom max. 25 dB(A) betragen. Bei üblichen Installationen, z.B. in Technikräumen lässt sich diese Anforderung erfüllen. Dabei sind die Vorgaben der Lieferanten zu beachten.

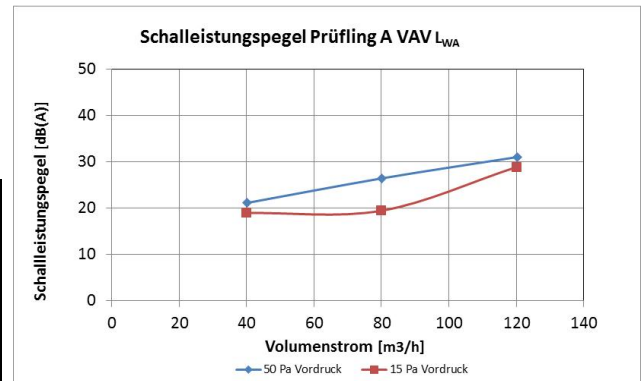
5.4.2 Schalleistungspegel im Zuluft-Anschlusstutzen



Figur 22: Prüfeinrichtung Untersuchung Schalleistungspegel im Zuluft-Anschlusstutzen

Prüfling A

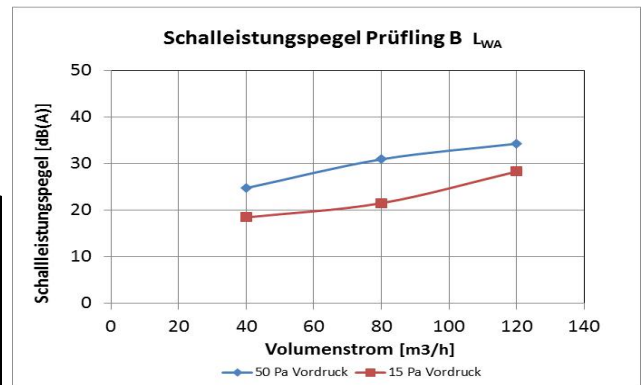
	Temperatur	rel. Feuchte	Luftdruck	Volumenstrom (Sollwert)	Druckdifferenz	Schalleistung
	°C	%r.F.	mbar	m ³ /h	Pa	dB(A)
Punkt 1	17.8	39.3	954.7	120.0	49.2	31
Punkt 2	17.9	39.0	954.8	120.0	14.0	29
Punkt 3	17.9	38.6	954.9	80.0	50.6	26
Punkt 4	17.8	38.7	954.9	80.0	13.7	19
Punkt 5	17.8	38.8	954.9	40.0	50.6	21
Punkt 6	17.8	39.1	954.9	40.0	14.2	19



Figur 23: Schalleistungspegel in der Zuluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling A

Prüfling B

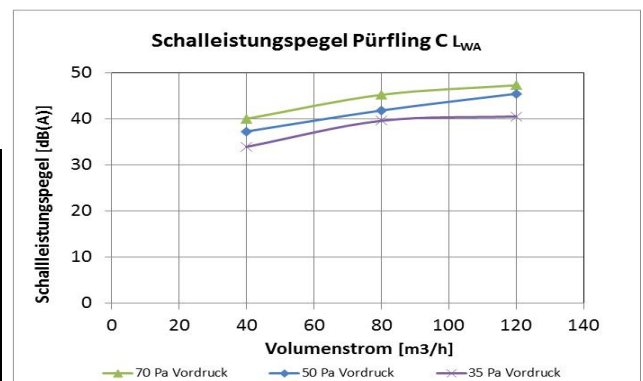
	Temperatur	rel. Feuchte	Luftdruck	Volumenstrom (Sollwert)	Druckdifferenz	Schalleistung
	°C	%r.F.	mbar	m ³ /h	Pa	dB(A)
Punkt 1	18.2	43.1	967.3	120.0	50.1	34
Punkt 2	18.2	43.2	967.4	120.0	16.3	28
Punkt 3	18.2	43.1	967.4	80.0	50.7	31
Punkt 4	18.2	43.1	967.4	80.0	14.1	22
Punkt 5	18.2	43.1	967.4	40.0	50.3	25
Punkt 6	18.2	43.1	967.5	40.0	14.0	18



Figur 24: Schalleistungspegel in der Zuluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling B

Prüfling C

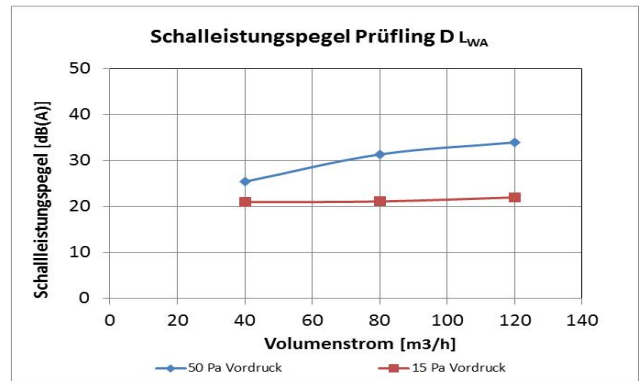
	Temperatur	rel. Feuchte	Luftdruck	Volumenstrom (Sollwert)	Druckdifferenz	Schalleistung
	°C	%r.F.	mbar	m ³ /h	Pa	dB(A)
Punkt 1	17.7	38.5	954.9	120.0	70.8	47
Punkt 2	17.9	37.7	955.1	120.0	50.9	45
Punkt 3	17.9	37.5	955.1	120.0	35.6	41
Punkt 4	18.0	37.4	955.2	80.0	69.8	45
Punkt 5	17.9	37.6	955.3	80.0	50.7	42
Punkt 6	17.9	38.0	955.3	80.0	35.6	40
Punkt 7	17.8	38.1	955.4	40.0	69.6	40
Punkt 8	17.8	38.0	955.5	40.0	50.5	37
Punkt 9	17.8	38.0	955.5	40.0	34.9	34



Figur 25: Schalleistungspegel in der Zuluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling C

Prüfling D

	Temperatur	rel. Feuchte	Luftdruck	Volumenstrom (Sollwert)	Druckdifferenz	Schalleistung
	°C	%r.F.	mbar	m ³ /h	Pa	dB(A)
Punkt 1	17.8	39.0	954.6	120.0	49.5	34
Punkt 2	17.8	38.5	954.6	120.0	14.5	22
Punkt 3	17.9	38.3	954.6	80.0	49.9	31
Punkt 4	17.9	38.3	954.6	80.0	14.8	21
Punkt 5	17.9	38.6	954.6	40.0	50.6	25
Punkt 6	17.9	38.7	954.6	40.0	15.6	21



Figur 26: Schalleistungspegel in der Zuluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling D

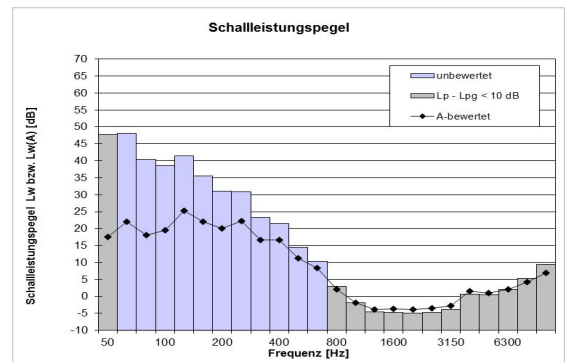
Bemerkungen:

Wie bei der Gehäuseabstrahlung sind auch bei den Strömungsgeräuschen grosse Differenzen zwischen den untersuchten Produkten vorhanden. Beim Produkt C muss erwähnt werden, dass der Schalldämpfer nicht serienmässig angebaut ist, sondern separat mitgeliefert wird. Zusätzlich schreibt der Hersteller bei diesem Produkt einen weiteren Schalldämpfer vor dem Zuluft-Durchlass vor. Damit resultieren am Zuluft-Durchlass vergleichbare Schalldruckpegel wie bei den anderen Produkten. Der Hersteller argumentiert, dass mit diesem zusätzlichen Schalldämpfer auch die Telefonie-Schallübertragung besser gelöst wird.

5.4.3 Oktavanalyse im Zuluft-Anschlussstutzen

Prüfling A (120 m³/h; 50 Pa)

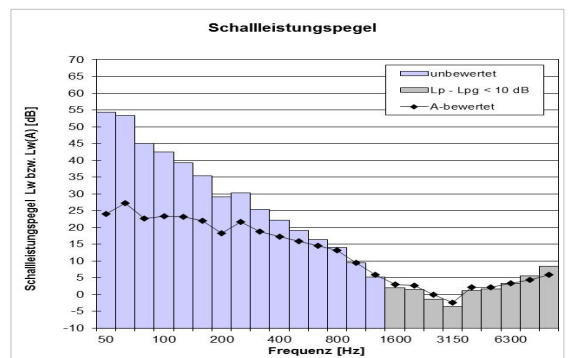
Frequenz Hz	Lpg dB	Lp dB	K1 dB	Lw dB	Lw(A) dB
63	22.1	32.0	0.5	51.3	25.1
125	13.7	30.1	0.0	43.9	27.9
250	4.3	24.3	0.0	34.3	25.7
500	0.4	15.8	0.0	22.6	19.4
1000	-2.6	1.1	0.5	4.7	4.7
2000	-4.3	-5.6	0.5	-0.1	1.1
4000	-1.6	-5.1	0.5	4.3	5.3
8000	1.7	-1.9	0.5	11.4	10.3
Total				52.1	31.5
Total ohne Lp - Lpg < 10 dB				44.4	30.3



Figur 27: Oktavbandanalyse in der Zuluft bei 120 m³/h, 50 Pa vom Prüfling A

Prüfling B (120 m³/h; 50 Pa)

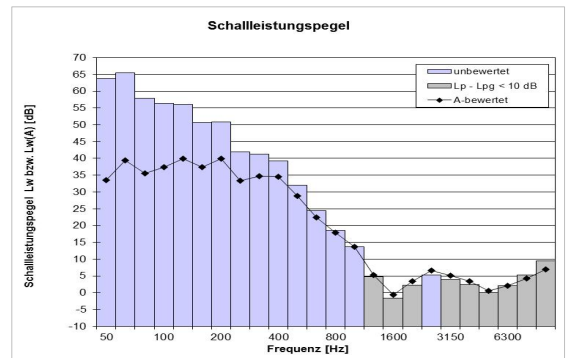
Frequenz Hz	Lpg dB	Lp dB	K1 dB	Lw dB	Lw(A) dB
63	22.1	39.4	0.0	58.9	32.7
125	13.7	31.3	0.0	45.4	29.4
250	4.3	24.6	0.0	34.3	25.7
500	0.4	19.3	0.0	25.7	22.5
1000	-2.6	12.2	0.0	16.2	16.2
2000	-4.3	2.6	0.5	5.7	6.9
4000	-1.6	-4.1	0.5	4.1	5.1
8000	1.7	-2.6	0.5	11.3	10.2
Total				59.1	35.2
Total ohne Lp - Lpg < 10 dB				59.1	35.2



Figur 28: Oktavbandanalyse in der Zuluft bei 120 m³/h, 50 Pa vom Prüfling B

Prüfling C (120 m³/h; 70 Pa)

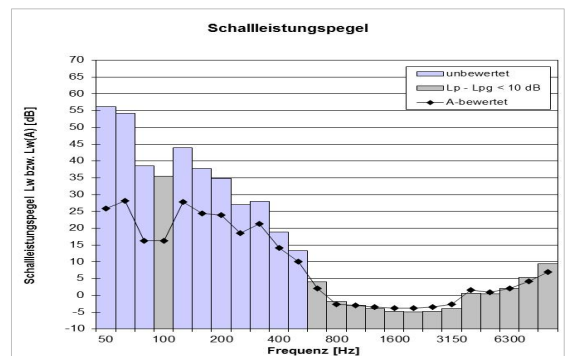
Frequenz Hz	Lpg dB	Lp dB	K1 dB	Lw dB	Lw(A) dB
63	22.1	48.9	0.0	68.2	42.0
125	13.7	45.7	0.0	59.8	43.8
250	4.3	41.3	0.0	51.8	43.2
500	0.4	33.2	0.0	40.2	37.0
1000	-2.6	15.8	0.0	19.9	19.9
2000	-4.3	4.3	0.5	7.6	8.8
4000	-1.6	2.7	0.5	7.2	8.2
8000	1.7	-2.2	0.5	11.4	10.3
Total				68.9	48.2
Total ohne Lp - Lpg < 10 dB				68.9	48.2



Figur 29: Oktavbandanalyse in der Zuluft bei 120 m³/h, 70 Pa vom Prüfling C

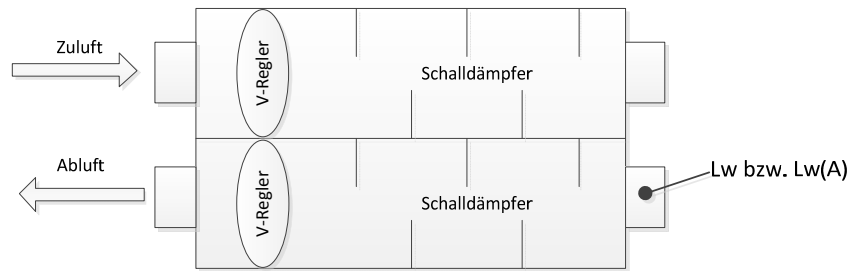
Prüfling D (120 m³/h; 50 Pa)

Frequenz Hz	Lpg dB	Lp dB	K1 dB	Lw dB	Lw(A) dB
63	22.1	38.4	0.0	58.3	32.1
125	13.7	31.8	0.0	45.3	29.3
250	4.3	26.0	0.0	36.2	27.6
500	0.4	13.3	0.0	20.0	16.8
1000	-2.6	-4.4	0.5	2.0	2.0
2000	-4.3	-6.2	0.5	-0.1	1.1
4000	-1.6	-4.9	0.5	4.3	5.3
8000	1.7	-2.6	0.5	11.4	10.3
Total				58.5	34.9
Total ohne Lp - Lpg < 10 dB				58.5	34.9



Figur 30: Oktavbandanalyse in der Zuluft bei 120 m³/h, 50 Pa vom Prüfling D

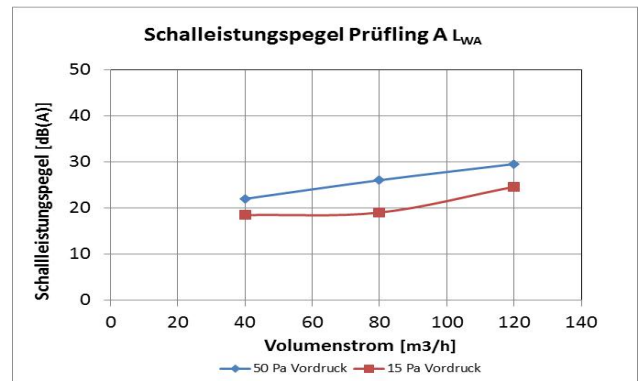
5.4.4 Schalleistungspegel im Abluft-Anschlussstutzen



Figur 31: Prüfeinrichtung Untersuchung Schalleistungspegel im Abluft-Anschlussstutzen

Prüfling A

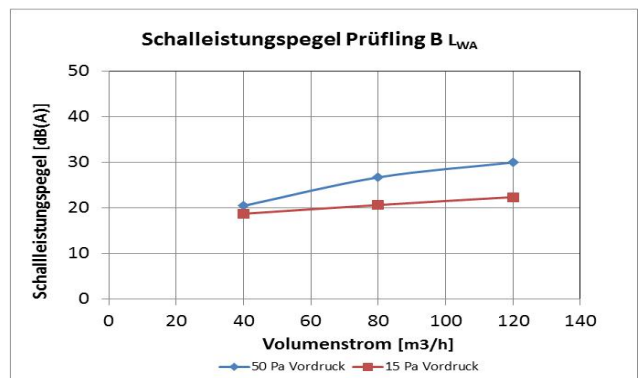
	Temperatur °C	rel. Feuchte %r.F.	Luftdruck mbar	Volumenstrom (Sollwert) m³/h	Druckdifferenz Pa	Schalleistung dB(A)
Punkt 1	17.8	38.4	953.6	120.0	-51.6	30
Punkt 2	18.0	38.4	953.6	120.0	-15.8	25
Punkt 3	18.0	38.4	953.6	80.0	-50.6	26
Punkt 4	18.0	38.4	953.5	80.0	-16.0	19
Punkt 5	17.9	38.4	953.6	40.0	-52.7	22
Punkt 6	17.9	38.4	953.6	40.0	-15.7	19



Figur 32: Schalleistungspegel in der Abluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling A

Prüfling B

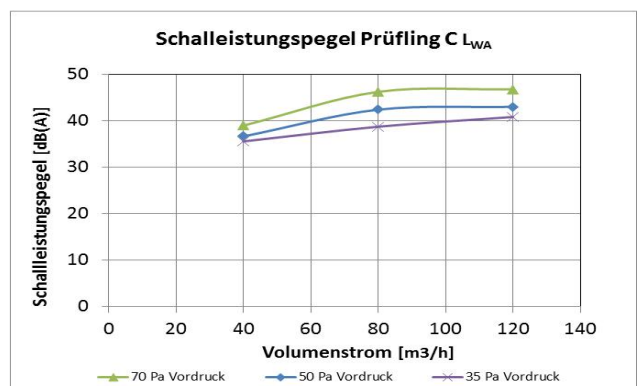
	Temperatur °C	rel. Feuchte %r.F.	Luftdruck mbar	Volumenstrom (Sollwert) m³/h	Druckdifferenz Pa	Schalleistung dB(A)
Punkt 1	18.1	38.4	953.3	120.0	-50.2	30
Punkt 2	17.9	38.4	953.4	120.0	-14.6	22
Punkt 3	17.8	38.4	953.4	80.0	-49.3	27
Punkt 4	17.8	38.4	953.5	80.0	-17.0	21
Punkt 5	17.8	38.4	953.5	40.0	-51.2	20
Punkt 6	17.8	38.4	953.6	40.0	-15.8	19



Figur 33: Schalleistungspegel in der Abluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling B

Prüfling C

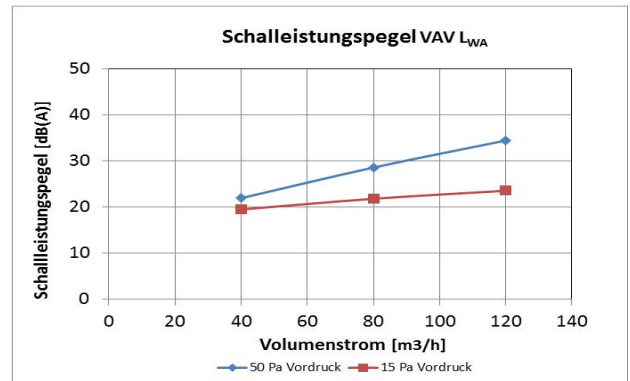
	Temperatur °C	rel. Feuchte %r.F.	Luftdruck mbar	Volumenstrom (Sollwert) m³/h	Druckdifferenz Pa	Schalleistung dB(A)
Punkt 1	17.8	38.5	953.8	120.0	-71.1	47
Punkt 2	17.8	38.5	953.8	120.0	-51.6	43
Punkt 3	17.9	38.5	953.7	120.0	-36.5	41
Punkt 4	18.0	38.6	953.6	80.0	-71.9	46
Punkt 5	18.1	38.6	953.6	80.0	-50.5	42
Punkt 6	17.8	38.5	953.6	80.0	-35.5	39
Punkt 7	17.7	38.6	953.6	40.0	-70.7	39
Punkt 8	18.0	38.6	953.6	40.0	-52.6	37
Punkt 9	17.9	38.6	953.6	40.0	-36.0	36



Figur 34: Schalleistungspegel in der Abluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling C

Prüfling D

	Temperatur °C	rel. Feuchte %r.F.	Luftdruck mbar	Volumenstrom (Sollwert) m ³ /h	Druckdifferenz Pa	Schallleistung dB(A)
Punkt 1	17.7	38.5	953.6	120.0	-51.5	34.5
Punkt 2	17.8	38.5	953.7	120.0	-16.2	23.6
Punkt 3	17.9	38.5	953.7	80.0	-51.9	28.6
Punkt 4	17.9	38.5	953.8	80.0	-16.2	21.8
Punkt 5	17.8	38.5	953.7	40.0	-50.4	22.0
Punkt 6	18.0	38.5	953.7	40.0	-15.5	19.5



Figur 35: Schalleistungspegel in der Abluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling D

Bemerkungen:

Für die Messung der Strömungsgeräusche in der Abluft wurde die Luft durch den Prüfling gesaugt. Somit ergaben sie negative Druckdifferenzen. In den Diagrammen werden die Unterdrücke nicht als Negativdrücke angegeben.

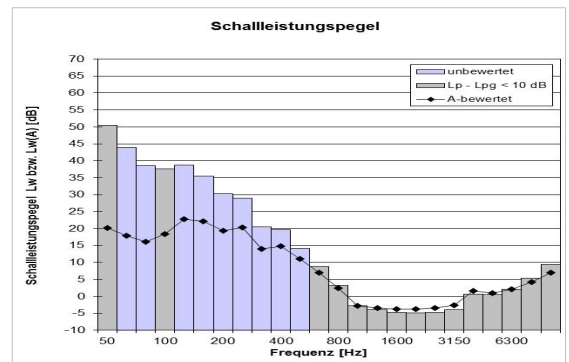
Wie bei der Gehäuseabstrahlung und in der Zuluft sind auch bei den Strömungsgeräuschen in der Abluft grosse Differenzen zwischen den untersuchten Produkten vorhanden. Beim Produkt C ist der Schalldämpfer nicht serienmässig angebaut, sondern wird separat mitgeliefert. Beim Produkt C wird bei einem Einrohrverteilsystem üblicherweise in der Abluft nach dem Einlass zusätzlich ein Telefoneschalldämpfer eingebaut. Bei einer sternförmigen Verteilung (eingelegt in Beton mit Verteilerkasten) wird standardmässig kein zusätzlicher Schalldämpfer eingebaut. Hier muss mit einer Berechnung überprüft werden, ob ein zusätzlicher Schalldämpfer nach dem Einlass notwendig ist, um die Anforderungen nach SIA 181 einzuhalten.

Damit die Produkte verglichen werden können, wurde beim Produkt C bei 50 Pa eine zusätzliche Schallmessung durchgeführt.

5.4.5 Oktavbandanalyse im Abluft-Anschlussstutzen

Prüfling A (120 m³/h 50 Pa)

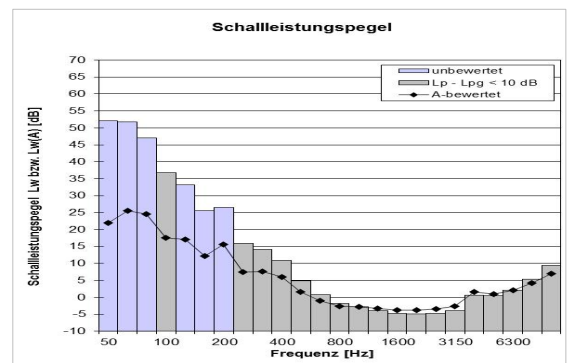
Frequenz Hz	Lpg dB	Lp dB	K1 dB	Lw dB	Lw(A) dB
63	22.1	31.8	0.5	51.5	25.3
125	13.7	28.6	0.0	42.3	26.3
250	4.3	22.8	0.0	32.9	24.3
500	0.4	14.3	0.0	21.0	17.8
1000	-2.6	0.8	0.5	4.8	4.8
2000	-4.3	-5.7	0.5	-0.1	1.1
4000	-1.6	-4.9	0.5	4.3	5.3
8000	1.7	-2.6	0.5	11.4	10.3
Total				52.1	30.5
Total ohne Lp - Lpg < 10 dB				42.8	28.8



Figur 36: Oktavbandanalyse in der Abluft bei 120 m³/h, 50 Pa vom Prüfling D

Prüfling B (120 m³/h 50 Pa)

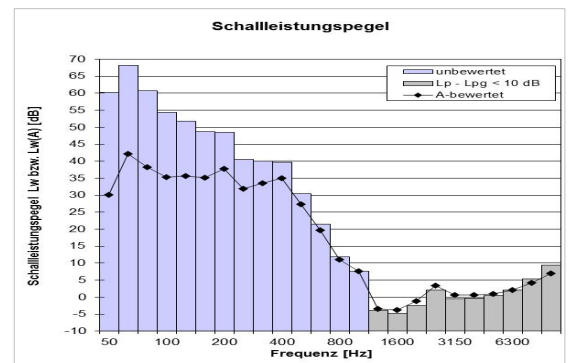
Frequenz Hz	Lpg dB	Lp dB	K1 dB	Lw dB	Lw(A) dB
63	22.1	36.4	0.0	55.6	29.4
125	13.7	24.2	0.0	38.5	22.5
250	4.3	16.7	0.0	27.1	18.5
500	0.4	5.8	0.5	12.1	8.9
1000	-2.6	-4.6	0.5	2.0	2.0
2000	-4.3	-5.8	0.5	0.0	1.2
4000	-1.6	-4.8	0.5	4.3	5.3
8000	1.7	-2.6	0.5	11.4	10.3
Total				55.7	30.6
Total ohne Lp - Lpg < 10 dB				55.7	30.5



Figur 37: Oktavbandanalyse in der Abluft bei 120 m³/h, 50 Pa vom Prüfling B

Prüfling C (120 m³/h 70 Pa)

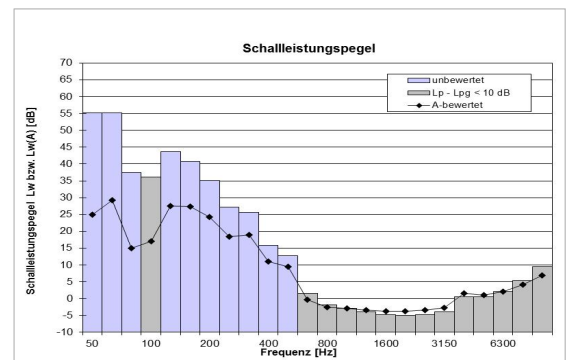
Frequenz Hz	Lpg dB	Lp dB	K1 dB	Lw dB	Lw(A) dB
63	22.1	50.7	0.0	69.5	43.3
125	13.7	42.7	0.0	57.0	41.0
250	4.3	39.3	0.0	49.7	41.1
500	0.4	33.3	0.0	40.3	37.1
1000	-2.6	9.3	0.0	13.3	13.3
2000	-4.3	0.8	0.5	4.0	5.2
4000	-1.6	-0.9	0.5	4.7	5.7
8000	1.7	-2.5	0.5	11.4	10.3
Total				69.8	47.2
Total ohne Lp - Lpg < 10 dB				69.8	47.2



Figur 38: Oktavbandanalyse in der Abluft bei 120 m³/h, 70 Pa vom Prüfling C

Prüfling D (120 m³/h 50 Pa)

Frequenz Hz	Lpg dB	Lp dB	K1 dB	Lw dB	Lw(A) dB
63	22.1	38.5	0.0	58.3	32.1
125	13.7	32.6	0.0	45.9	29.9
250	4.3	25.8	0.0	36.2	27.6
500	0.4	11.1	0.0	17.7	14.5
1000	-2.6	-5.1	0.5	2.0	2.0
2000	-4.3	-5.8	0.5	-0.1	1.1
4000	-1.6	-4.7	0.5	4.3	5.3
8000	1.7	-2.6	0.5	11.4	10.3
Total				58.6	35.1
Total ohne Lp - Lpg < 10 dB				58.6	35.1

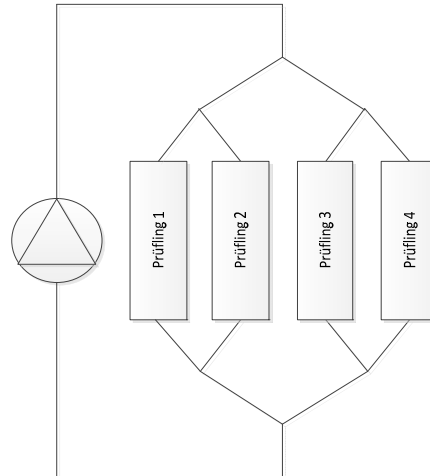


Figur 39: Oktavbandanalyse in der Abluft bei 120 m³/h, 50 Pa vom Prüfling D

5.5 Verschmutzungsanfälligkeit

Die Verschmutzungsanfälligkeit wurde überprüft, indem die vier Prüflinge parallel angeordnet in die Versuchsanlage eingebaut wurden (siehe Bild unten). Die Versuchsanlage wurde so eingestellt, dass bei einem Sollwert von 120 m³/h die Druckdifferenz über die Prüflinge ca. 50 Pa betrug. Bei Versuchsbeginn wurde der Anlage ca. 300 Gramm Teststaub (Mineralmehl ISO 12103 A1 ultra fine) beigemischt.

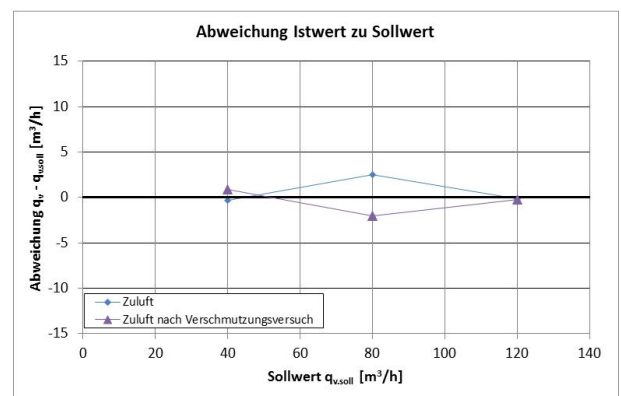
Nach dem Verschmutzungsversuch wurde im Sinne einer Funktionskontrolle überprüft, inwieweit die Volumenströme genau eingehalten werden.



Figur 40: Prüfaufbau Vermutzungsversuch

Prüfling A

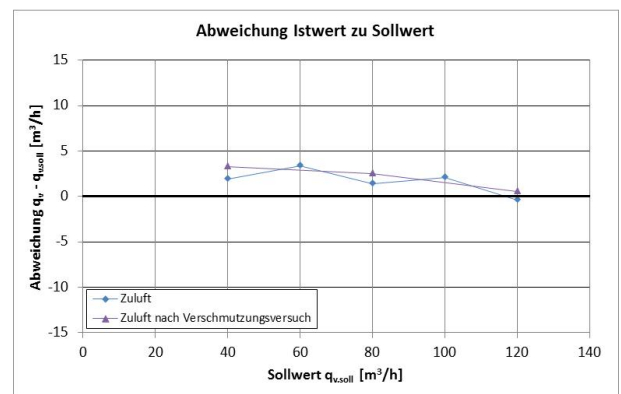
Messstelle	PR902	TR901	TR704			FR701	ER801	PDR706	FR802		
	p_{Baro} Pa	t_u °C	t °C	ρ kg/m ³	q_v m ³ /h	P_d W	Δp Pa	$q_{v,\text{soll}}$ m ³ /h	$q_v - q_{v,\text{soll}}$ m ³ /h	$q_v / q_{v,\text{soll}}$ %	VAV Verschmutzungs- versuch
Klappe voll offen	97265	19.6	20.0	1.151	119.8	5.2	15.5	120	-0.2	-0.2	
VAV im Regelmodus	97354	19.4	19.8	1.153	82.5	5.5	15.3	80	2.5	3.2	
VAV im Regelmodus	97355	19.4	19.7	1.153	39.7	5.3	15.5	40	-0.3	-0.8	VAV Verschmutzungs- versuch
VAV im Regelmodus	94981	23.8	18.9	1.130	119.8	5.0	15.0	120	-0.2	-0.2	
VAV im Regelmodus	94997	23.9	19.0	1.130	78.0	5.2	15.4	80	-2.0	-2.5	VAV Verschmutzungs- versuch
VAV im Regelmodus	94980	23.7	18.9	1.130	40.9	5.1	15.4	40	0.9	2.2	



Figur 41: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom vor und nach dem Verschmutzungsversuch vom Prüfling A

Prüfling B

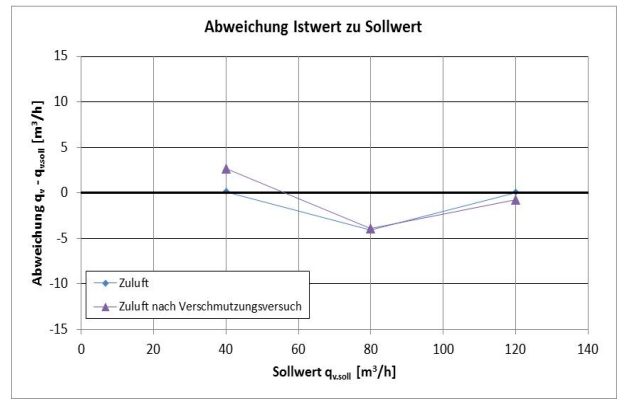
Messstelle	PR902	TR901	TR704			FR701	ER801	PDR706	FR802		
	p_{Baro} Pa	t_u °C	t °C	ρ kg/m ³	q_v m ³ /h	P_d W	Δp Pa	$q_{v,\text{soll}}$ m ³ /h	$q_v - q_{v,\text{soll}}$ m ³ /h	$q_v / q_{v,\text{soll}}$ %	VAV Verschmutzungs- versuch
Klappe voll offen	96925	20.8	19.9	1.147	119.6	5.2	14.3	120	-0.4	-0.4	
VAV im Regelmodus	96934	21.8	20.2	1.146	102.1	5.2	14.3	100	2.1	2.1	
VAV im Regelmodus	96947	22.7	20.4	1.145	81.4	5.2	14.3	80	1.4	1.8	VAV Verschmutzungs- versuch
VAV im Regelmodus	96924	22.8	20.5	1.144	63.4	5.1	14.3	60	3.4	5.6	
VAV im Regelmodus	96907	23.1	20.7	1.144	41.9	5.1	14.2	40	1.9	4.7	VAV Verschmutzungs- versuch
VAV im Regelmodus	94968	23.5	18.8	1.130	120.5	0.0	14.4	120	0.5	0.4	
VAV im Regelmodus	94973	23.6	18.8	1.130	82.5	0.0	14.5	80	2.5	3.2	VAV Verschmutzungs- versuch
VAV im Regelmodus	94977	23.5	18.8	1.130	43.3	0.0	14.5	40	3.3	8.3	



Figur 42: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom vor und nach dem Verschmutzungsversuch vom Prüfling B

Prüfling C

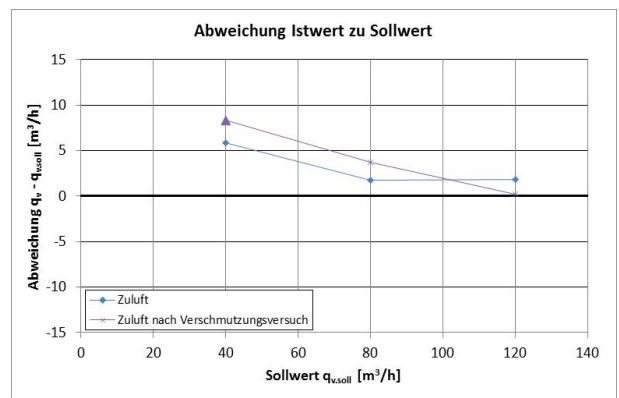
Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701	ER801	PDR706	FR802		
	p_{Baro} Pa	t_u °C	t °C	ρ kg/m ³	q_v m ³ /h	P_{el} W	Δp Pa	$q_{v,\text{soil}}$ m ³ /h	$q_v - q_{v,\text{soil}}$ m ³ /h	
Klappe voll offen	96750	23.3	21.1	1.142	120.0	2.5	33.8	120	0.0	Vor- Verschmutzungs- versuch
VAV im Regelmodus	96741	23.1	20.9	1.142	75.9	3.5	33.9	80	-4.1	
VAV im Regelmodus	96731	23.3	20.7	1.143	40.1	3.4	33.8	40	0.1	nach Verschmutzungs- versuch
VAV im Regelmodus	95026	23.8	18.9	1.131	119.2	3.9	33.7	120	-0.8	
VAV im Regelmodus	95029	24.0	18.9	1.131	76.1	3.9	33.7	80	-3.9	
VAV im Regelmodus	95032	23.9	18.9	1.131	42.6	3.9	33.7	40	2.6	



Figur 43: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom vor und nach dem Verschmutzungsversuch vom Prüfling C

Prüfling D

Messstelle	PR902	TR901	TR704		FR701	ER801	PDR706	FR802		
	p_{Baro} Pa	t_u °C	t °C	ρ kg/m ³	q_v m ³ /h	P_{el} W	Δp Pa	$q_{v,\text{soil}}$ m ³ /h	$q_v - q_{v,\text{soil}}$ m ³ /h	$q_v / q_{v,\text{soil}}$ %
Klappe voll offen	96195	22.4	20.0	1.140	121.8	8.4	13.2	120	1.8	1.5
VAV im Regelmodus	96192	22.4	20.0	1.140	81.8	8.4	13.3	80	1.8	2.2
VAV im Regelmodus	96208	22.4	20.1	1.140	45.9	8.4	13.6	40	5.9	14.7
VAV im Regelmodus	95009	23.8	18.9	1.130	120.3	5.3	13.3	120	0.3	0.2
VAV im Regelmodus	95007	23.8	18.9	1.130	83.0	5.2	14.2	80	3.0	3.7
VAV im Regelmodus	95011	23.7	18.9	1.131	43.3	5.1	14.5	40	3.3	8.3



Figur 44: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom vor und nach dem Verschmutzungsversuch vom Prüfling D

Bemerkungen:

Nach einer Versuchsdauer von vier Tagen wurden in den Prüflingen kaum Ablagerungen festgestellt (visuelle Beurteilung). Mit einer Menge von 300 g Teststaub war die Staubbelastung im Vergleich zur Aussen- respektive zur Raumluft extrem hoch. Die Überprüfung der Regelbarkeit beim minimalen Vordruck hat gezeigt, dass alle Produkte kaum empfindlich sind auf kurzfristige hohe Staubbelastungen. Prognosen über ein Langzeitverhalten mit realem Wohnungsstaub und allfällig höheren Abluffeuchten lassen sich aber daraus nicht ableiten.

6 Energiebedarf

6.1 Vorgehen und Methode

Bei einem fiktiven Mehrfamilienhaus werden verschiedene Mehrwohnungsanlagen mit VAV definiert, die gemäss dem schweizerischen Regelwerk dimensioniert sind. Mit einfachen Modellen für Benutzerverhalten, Druckverlust und Ventilatorwirkungsgrad wird der jährliche Energiebedarf berechnet.

6.2 Annahmen und Varianten

6.2.1 Gebäude

Standort:	schweizerisches Mittelland (Klimastation Zürich MeteoSchweiz)
Typ:	freistehendes Mehrfamilienhaus, dreigeschossiger Dreispänner mit Attika
Wohnungen:	drei 3½-, 4½- und 5½-Zimmer-Wohnungen plus Attika mit 5½-Zimmern (total 10 Wohnungen)
Energiestandard:	Minergie 2012
Energiebezugsfläche:	1370 m ²
Raumprogramm der Wohnungen:	Offener Bereich mit Wohnen/Essen/Kochen; Erschliessung der Schlafzimmer über einen Korridor; Abstellraum der auch als Technikraum für die Lüftung genutzt werden kann. Die 4½- und 5-Zimmer-Wohnungen sind sowohl mit einem Raum Bad/WC wie auch mit einer Dusche/WC ausgerüstet. Die 3½-Zimmer-Wohnungen haben nur ein Raum Bad/WC.
Nutzung:	Die Wohnungen werden gemäss Figur 45 genutzt.

Wohnung	Zimmer	Beschreibung	Anzahl Personen	Anwesenheit
W1	3 1/2	Single, berufstätig	1	40%
W2	3 1/2	Paar, pensioniert	2	65%
W3	3 1/2	Elternteil mit Kind	2	60%
W4	4 1/2	Paar berufstätig	2	45%
W5	4 1/2	Paar, pensioniert	2	65%
W6	4 1/2	Familie, beide Eltern berufstätig	3	55%
W7	5 1/2	Paar berufstätig	2	30%
W8	5 1/2	Familie, beide Eltern berufstätig	3	55%
W9	5 1/2	Familie, klassisch	4	70%
W10	Attika (5 1/2)	Paar berufstätig	2	45%
Gesamt	46		23	58%

Figur 45: Wohnungsnutzung

Für die Berechnung wurde für jede Wohnung ein Wochenprofil mit der stündlichen Belegung (Anzahl Personen) definiert. Bei Wohnung 7 wurde angenommen, dass von Freitag bis und mit Sonntag niemand zu Hause ist. Diese Wohnung steht stellvertretend für eine mittlere Ferienabwesenheit.

Mit 2,3 Personen pro Wohnung und einer Energiebezugsfläche von 60 m² pro Person entspricht die Nutzung dem schweizerischen Mittel. Einzig die Anzahl der 1-Personen-Haushalte ist untervertreten. Aus diesem Grund ist die berechnete Energieeinsparung eher konservativ kalkuliert.

6.2.2 Lüftungsanlage

Grundannahmen für alle Varianten

Alle Wohnungen werden mit einer Komfortlüftung belüftet. Dabei wird die Zuluft in den Schlaf- und Arbeitszimmern zugeführt. In Küche, Bad, Dusche und WC wird die Abluft abgesogen.

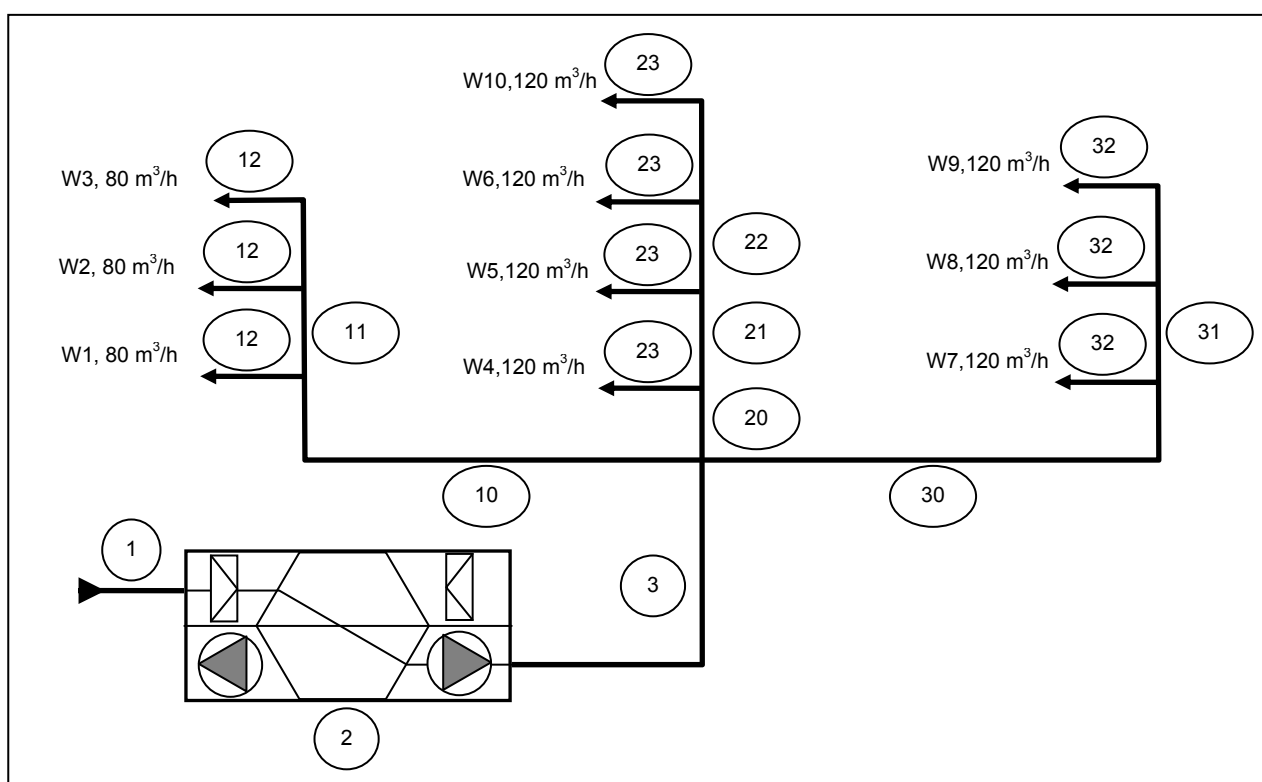
Die Luftvolumenströme werden gemäss Merkblatt SIA 2023 [2] dimensioniert. Der Wohnungsgrundriss ist so, dass das Wohnzimmer im Durchströmbereich liegt. Für den Normalbetrieb ergeben sich die nachfolgend aufgeführten Luftvolumenströme:

3½ -Zimmer-Wohnung: 80 m³/h

4½ -Zimmer-Wohnung: 120 m³/h

5½ -Zimmer-Wohnung: 120 m³/h

In den 4½ -Zimmer-Wohnungen ist die Abluftseite für die Dimensionierung massgebend, da zwei Badzimmer vorhanden sind. In den 3½ -und 5½-Zimmer-Wohnungen ist die Zuluftseite massgebend.



Figur 46: Strangschema Zuluft mit Nenn-Luftvolumenströmen

Die Anlage wird strömungstechnisch so dimensioniert, dass die Druckverlust-Anforderungen der SIA 382/1 erfüllt werden. Bei einfachen Lüftungsanlagen darf die Summe der Zu- und Abluftseitigen Druckverluste max. 700 Pa betragen. Figur 47 zeigt die Aufteilung auf die Teilstrecken auf der Zuluftseite. Es wird angenommen, dass die Abluftseite die gleichen Druckverluste aufweist. Die Druckverluste der Volumenstromregler sind dabei nicht enthalten, da diese bei den verschiedenen Varianten unterschiedlich gross sind.

Pos.	Beschreibung	Teilstücke Δp in Pa	Summen Δp in Pa
1	Aussenluft	30	240
2	Gerät	200	
3	Zuluft bis zur 1. Verzweigung	10	
10	Sammelleitung für W1, W2 und W3	10	60
11	Sammelleitung für W2 und W3	5	
12	Wohnungen W1, W2 und W3 ohne VAV	45	
20	Sammelleitung für W4, W5, W6 und W10	5	60
21	Sammelleitung für W5, W6 und W10	5	
22	Sammelleitung für W6 und W10	5	
23	Wohnungen W4, W5, W6 und W10 ohne VAV	45	60
30	Sammelleitung für W7, W8 und W9	10	
31	Sammelleitung für W8 und W9	5	
32	Wohnungen W7, W8 und W9 ohne VAV	45	

Figur 47: Druckverluste der Teilstrecken, ohne Volumenstromregler

Variante 1: Konstant, pauschal

Der Luftvolumenstrom pro Wohnung wird mit einem Konstant-Volumenstromregler eingestellt. Die Anlage wird daher einstufig betrieben. Die Einregulierung erfolgt strikt nach Merkblatt SIA 2023 [2].

Die Volumenstromregler in der Zu- und Abluft weisen jeweils einen Druckverlust von mindestens 50 Pa auf.

Wohnung	Betrieb	Zuluft in [m ³ /h]						Abluft in [m ³ /h]				
		Zi 1	Zi 2	Zi 3	Zi 4	Wohnen	Total	Küche	Bad	Dusche	Total	
W1	Konstant	30	30			20	80	40	40		80	
W2	Konstant	35	30			15	80	40	40		80	
W3	Konstant	30	30			20	80	40	40		80	
W4	Konstant	35	30	30		25	120	40	40	40	120	
W5	Konstant	35	30	30		25	120	40	40	40	120	
W6	Konstant	35	30	30		25	120	40	40	40	120	
W7	Konstant	30	30	30	30		120	40	40	40	120	
W8	Konstant	35	25	30	30		120	40	40	40	120	
W9	Konstant	30	30	30	30		120	40	40	40	120	
W10	Konstant	30	30	30	30		120	40	40	40	120	
Gesamt							1080					1080

Figur 48: Einstellung der Luftvolumenströme bei Variante 1 Konstant, pauschal

Variante 2: Konstant, individuelle Einregulierung

Der Luftvolumenstrom pro Wohnung wird mit einem Konstant-Volumenstromregler eingestellt. Die Anlage wird daher einstufig betrieben.

Die Luftvolumenströme werden raumweise nach den Bedürfnissen der Bewohner einreguliert. Da die Belegung in den meisten Fällen weniger hoch ist als in [2] angenommen, werden die Luftvolumenströme (in Absprache mit den Bewohnern) tiefer eingestellt. Figur 49 zeigt die Einstellungen der Luftvolumenströme für diese Variante.

Wohnung	Betrieb	Zuluft in [m ³ /h]						Abluft in [m ³ /h]			
		Zi 1	Zi 2	Zi 3	Zi 4	Wohnen	Total	Küche	Bad	Dusche	Total
W1	konstant	30	30			0	60	30	30		60
W2	konstant	35	25			10	70	30	40		70
W3	konstant	25	25			20	70	30	40		70
W4	konstant	35	35	30		0	100	30	35	35	100
W5	konstant	35	35	30		0	100	30	35	35	100
W6	konstant	35	30	30		15	110	30	40	40	110
W7	konstant	35	25	20	20		100	30	35	35	100
W8	konstant	30	30	30	20		110	30	40	40	110
W9	konstant	35	25	25	25		110	30	40	40	110
W10	konstant	35	25	25	25		110	35	40	35	110
Gesamt							940				940

Figur 49: Einstellung der Luftvolumenströme bei Variante Konstant, individuelle Einregulierung

Varianten 3A, 3B und 3D: VAV pro Wohnung, mit Konstantdruckregelung

Der Luftvolumenstrom pro Wohnung wird mit variablen Volumenstromreglern eingestellt. Die Bewohner können in der Wohnung folgende Betriebsstufen einstellen:

- Normalbetrieb: Anwesenheit Tag und Nacht
- Reduziert

Bei Normalbetrieb entspricht der Luftvolumenstrom dem Dimensionierungswert von SIA 2023 [2].

Bei der Betriebsweise 'Reduziert' entspricht der Luftvolumenstrom dem grösseren der beiden folgenden Werte: 30% des Werts bei Normalbetrieb oder 0,2-facher Luftwechsel (bezogen auf die Wohnung).

Der Zuluftventilator wird so geregelt, dass der Überdruck vor der ersten Verzweigung konstant ist. Der Abluftventilator wird so geregelt, dass der Unterdruck nach dem letzten Sammelstück konstant ist.

Die Produkte A, B und D (siehe Kapitel 5 Messresultate) lassen sich bei diesem Anlagekonzept einsetzen. Für die Volumenstromregler in Zu- und Abluft wird ein Vordruck von je 15 Pa eingesetzt. Dies entspricht dem minimalen Vordruck, bei dem das Regelverhalten dieser Produkte geprüft wurde.

Variante 4C: VAV pro Wohnung, optimale Ventilatorregelung

Mit Ausnahme der Ventilatorregelung und dem Vordruck der VAV entspricht die Variante 4 der Variante 3.

Der Zuluft- und der Abluftventilator werden so geregelt, dass der ungünstigste Volumenstromregler immer voll offen ist. Da heute nur der Prüfling C standardmässig mit dieser Regelstrategie angeboten wird, wird in der Berechnung ein minimaler Vordruck von 35 Pa bei 120 m³/h eingesetzt. Bei den anderen Prüflingen ist die Regelstrategie als Option erhältlich.

Variante 4A: VAV pro Wohnung, optimale Ventilatorregelung

Bei Variante 4A wird die gleiche Regelstrategie wie bei der Variante 4C angewendet. Der Vordruck der VAV-Box wird aber mit 15 Pa angenommen.

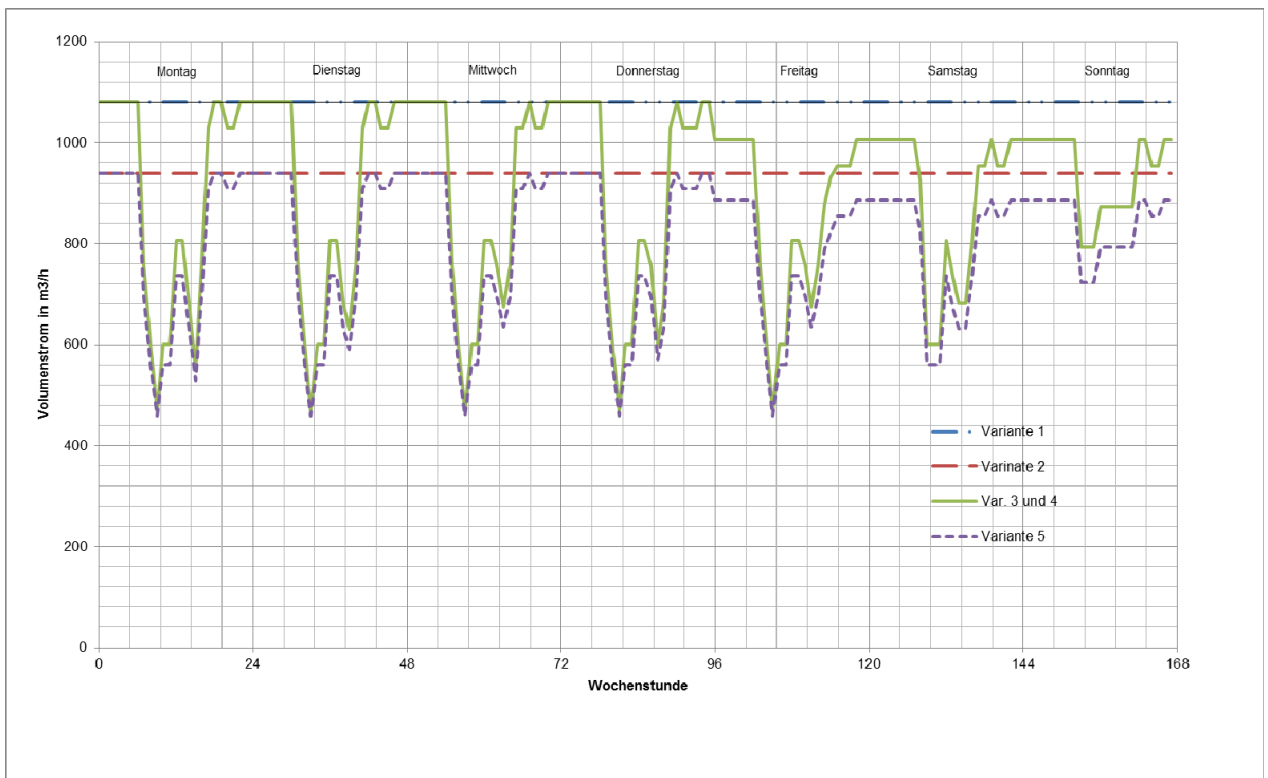
Variante 5: Optimal

Diese Variante enthält die Bestwerte der Varianten 1 bis 4:

- Individuelle Einregulierung wie Variante 2
- Kleiner Druckverlust der VAV-Box wie Variante 3
- Ideale Ventilatorregelung wie Variante 4

Gesamter Luftvolumenstrom der Varianten

Figur 50 zeigt den Wochenverlauf beim gewählten Modell des 10-Familienhauses. Bei Modellen für grössere Gebäude würde sich der Volumenstrom glätten. Bei Modellen mit kleineren Gebäuden würde sich durch den grösseren Einfluss einzelner Wohnungen vor allem während den Tagstunden eine grössere Schwankung einstellen. Je nach eingesetztem Wohnungstyp könnten die Volumenströme prozentual noch weiter unter dem Dimensionierungswert liegen.

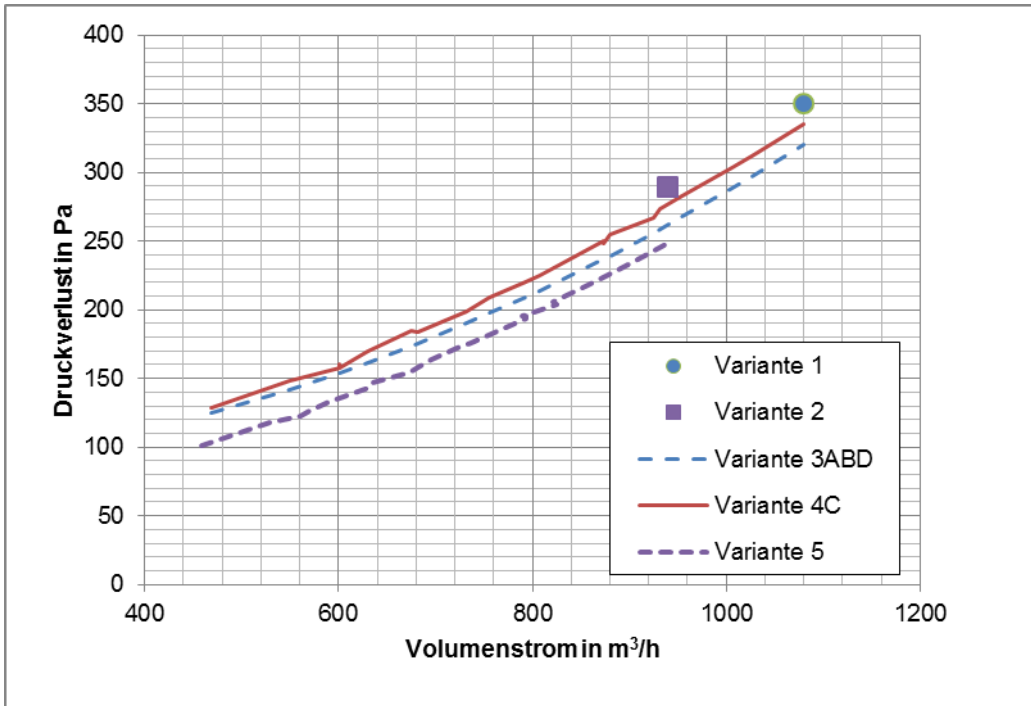


Figur 50: Luftvolumenstrom der verschiedenen Varianten (Wochenverlauf)

Leistungsdaten der Lüftungsanlage

Mit Ausnahme der Volumenstromregler ist die Lüftungsanlage bei allen Varianten gleich aufgebaut und ausgelegt.

Für die Berechnung wird angenommen, dass sich der Druckverlust der Kanäle und Formstücke quadratisch zum Volumenstrom verhält. Bei den Varianten 1 und 2 werden klassische Konstant-Volumenstromregler eingesetzt. Dabei wird von einem Druckverlust von 50 Pa ausgegangen.



Figur 51: Druck-Volumenstrom-Kennlinie des Berechnungsmodells

Es wird angenommen, dass der Ventilatorwirkungsgrad, inkl. Antrieb, Motor und Regelung, eine Exponentialfunktion der hydraulischen Leistung ist:

$$\eta_v = \eta_{v,0} \cdot \left(\frac{p \cdot q_v}{p_0 \cdot q_{v,0}} \right)^n$$

Dabei ist

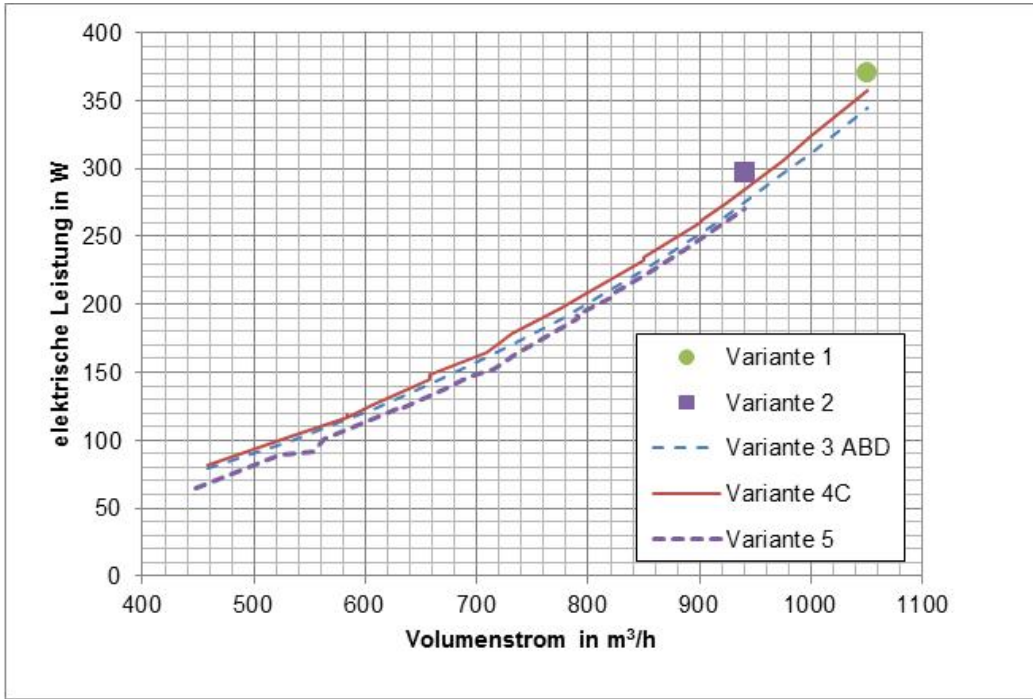
- η_v Ventilatorwirkungsgrad im Betriebspunkt
- $\eta_{v,0}$ Ventilatorwirkungsgrad beim Nennvolumenstrom
- p Druckverlust im Betriebspunkt
- p_0 Druckverlust beim Nennvolumenstrom
- q_v Luftvolumenstrom im Betriebspunkt
- $q_{v,0}$ Luftvolumenstrom beim Nennvolumenstrom
- n Exponent 0,167

Der Wert des Exponenten n ist an die SIA 382/1 [1] angelehnt: Der Wirkungsgrad nimmt mit der Wurzel des Volumenstroms zu, sofern der Druckverlust quadratisch mit dem Volumenstrom zunimmt.

Die Daten beim Nennvolumenstrom sind in Figur 52 eingetragen. Bei allen Anlagen sind zwei Ventilatoren vorhanden. Das heisst, in der Energiebilanz verdoppelt sich die elektrische Leistung.

Fall			Var. 1	Var. 2	Var. 3 A/B/D	Var. 4 C	Var. 5
Luftvolumenstrom	q_v	m ³ /h	1080	940	1080	1080	940
Förderdruck pro Ventilator	p	Pa	350	300	320	335	268
Wirkungsgrad	η	%	55	53	54	55	52
Elektrische Aufnahmeleistung beider Ventilatoren	P_{el}	W	382	289	354	368	256

Figur 52: Ventilatordaten bei Normalbetrieb



Figur 53: Elektrische Aufnahmeleistung der Ventilatoren

Energiebedarf der VAV-Boxen

Gemäss den Messungen haben die Volumenstromboxen praktisch konstante Aufnahmeleistungen, die in Figur 54 dargestellt sind. Für Variante 5 wird ein Wert angenommen, der nach Ansicht der Autoren als Jahresmittelwert erreichbar sein sollte.

Die aufgeführten Leistungen werden in der Berechnung als Bandlast eingesetzt.

Variante	Var. 3A	Var. 3B	Var. 3D	Var. 4C	Var. 5
Elektr. Aufnahmeleistung	5,1 W	5,2 W	8,2 W	3,7	2,0 W

Figur 54: Aufnahmeleistungen der VAV-Boxen

6.3 Auswertung

Resultate

Absolute Werte

Variante			1	2	3A	3B	3D	4C	5
Luftvolumenstrom	q_v	m ³ /h	1080	940	899	899	899	899	803
mech. therm. wirksamer Aussenluftvolumenstrom	$q_{v,th}$	m ³ /h	216	188	180	180	180	180	161
el. Leitung VAV	$P_{el,VAV}$	W	0	0	51	52	82	37	20
mittlere elektr. Ventilatorleistung	$P_{el,V}$	W	368	289	253	253	253	268	189
mittlere elektr. Leistung der gesamten Anlage	$P_{el,tot}$	W	368	289	304	305	335	305	209

Leistungen bezogen auf die Energiebezugsfläche

Variante			1	2	3A	3B	3D	4C	5
Luftvolumenstrom ^{a)} therm. wirksamer Aussen- luftvolumenstrom Minergie	q_v/A_E	$m^3/h.m^2$	0.79	0.69	0.66	0.66	0.66	0.66	0.59
	$q_{v,th}/A_E$	$m^3/h.m^2$	0.31	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27
mittlere elektrische Leistung der geamten Anlage	P_e/A_E	W/m^2	0.27	0.21	0.22	0.22	0.24	0.22	0.15

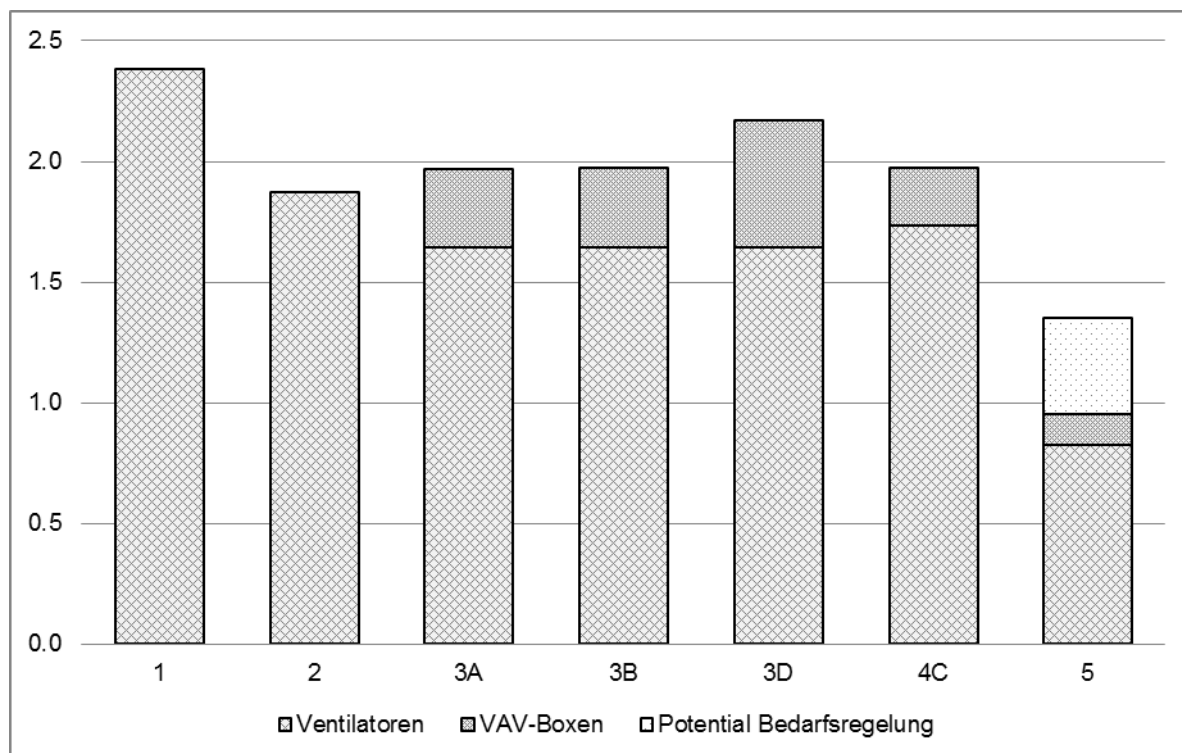
Energiebedarf bezogen auf Energiebezugsfläche

Variante			1	2	3A	3B	3D	4C	5
Lüftungswärmeverluste	Q_v	kWh/m^2	9.1	8.5	8.3	8.3	8.3	8.3	7.9
elektr. Energie Lüftung	W_{el}	kWh/m^2	2.4	1.9	2.0	2.0	2.2	2.0	1.4

Figur 55: Berechnungsergebnisse der Varianten

a) inkl. Infiltration von $0,15 m^3/h.m^2$ gemäss Minergie-Nachweis

Figur 56 zeigt den Energiebedarf der Varianten 1 bis 4 gemäss den obigen Tabellen. Bei Variante 5 ist zusätzlich der Einfluss einer Luftqualitätsregelung (z.B. CO_2) qualitativ enthalten. Überschlagsmässig wurde das Energiesparpotential einer solchen Regelung auf ca. 30% (bezogen auf Variante 5 ohne Bedarfsregelung) geschätzt.



Figur 56: Elektrizitätsbedarf der Varianten, bezogen auf die Energiebezugsfläche

Die Variante 4A ist der Übersichtlichkeit halber nicht aufgeführt. Der Elektrizitätsbedarf liegt bei dieser Variante nur ca. 3% unter dem Wert von Variante 3A.

Diskussion Energiebedarf

Die Ausgangslage, Variante 1, stellt eine korrekt dimensionierte Mehrwohnungsanlage mit fest eingestellten Luftvolumenströmen dar. Der Strombedarf kann sowohl bezüglich der spezifischen Ventilatorleistung ($0,34 W/(m^3/h)$) wie auch bezogen auf die Energiebezugsfläche als gut bezeichnet werden.

Variante 2 zeigt das Potential auf, wenn eine einstufige Anlage optimal einreguliert wird. Das heisst, dass die Luftvolumenströme in den einzelnen Zimmern erst nach Bezug der Wohnungen

definitiv eingestellt würden. Es müsste dafür gesorgt werden, dass auch nach einem Mieterwechsel oder bei Veränderungen im Haushalt (Auszug von Kindern, Abtausch von Zimmern, etc.) eine Nachregulierung stattfinden würde. In der Praxis ist die längerfristige Durchsetzung dieser Strategie kaum möglich resp. kostenintensiv.

Bei den Varianten 3 und 4 kann der Luftvolumenstrom in jeder Wohnung über eine VAV-Box von den Bewohnern zweistufig (Normalbetrieb und reduziert) eingestellt werden. Im Nennbetrieb sind die Luftvolumenströme gleich wie bei Variante 1.

Die Varianten 3A, 3B und 3D stellen die drei VAV-Boxen A, B und D dar, die im Rahmen des Projekts messtechnisch untersucht wurden. Der Druckverlust dieser drei Produkte ist praktisch gleich gross. Die elektrischen Aufnahmeleistungen der VAV-Boxen unterscheiden sich aber erheblich. Wie die „Figur 55: Berechnungsergebnisse der Varianten“ und die „Figur 56: Elektrizitätsbedarf der Varianten, bezogen auf die Energiebezugsfläche“ zeigen, ist der Jahresenergieverbrauch der VAV-Boxen, im Vergleich zur Ventilatorenergie, beachtlich gross. Es ist zu vermuten, dass hier ein Sparpotential vorhanden ist.

Variante 4C ist mit den Messdaten von Produkt C berechnet. Im Gegensatz zu Variante 3 ist aber eine optimale Ventilatorregelung serienmässig vorhanden. Dafür ist der Druckverlust der VAV-Box 20 Pa höher als bei Variante 3. Die Aufnahmeleistung der VAV-Boxen ist praktisch gleich wie bei den Varianten 3A und 3B. Gemäss den Modellannahmen und Berechnungen ergibt sich kein Unterschied zu den Varianten 3A und 3B. Da der Hauptteil der Druckverluste im Lüftungsggerät und in den Hauptleitungen anfällt (und nicht in Steigsträngen und Wohnungen), bringt die optimale Ventilatorregelung nur eine geringe Einsparung, die dann vom höheren Druckverlust der VAV-Boxen kompensiert wird. Bei der Variante 4A wird die gleiche Regelstrategie angenommen, aber ein Vordruck der VAV-Box beträgt nur 15 Pa. Es zeigt sich auch hier, dass die optimale Ventilatorregelung bei einer Verteilung mit tiefem Druckverlust kein relevantes Energiesparpotential bietet.

Gegenüber Variante 1 sparen die Varianten 2, 3A, 3B und 4C rund 17% elektrische Energie ein. Wegen des hohen Stromverbrauchs der VAV-Boxen beträgt die Einsparung bei Variante 3D nur 11%.

Variante 5 stellt das aus Sicht der Autoren heute technisch machbare Optimum dar. Dabei werden der geringe Druckverlust der VAV-Boxen von Variante 3 mit der Ventilatorsteuerung von Variante 4 kombiniert. Zudem wird von einer individuellen Einregulierung ausgegangen (wie Variante 2). Für den Stromverbrauch einer VAV-Box wird ein Energieverbrauch eingesetzt, der 2 W Bandlast entspricht. Dies wird als realistischer Wert beurteilt. Gegenüber Variante 1 lässt sich so ca. 40% elektrische Energie einsparen. Weiter könnte diese Variante mit einer Bedarfsregelung ausgerüstet werden. Insbesondere in den Sommermonaten, wenn vermehrt die Fenster geöffnet werden, kann diese nochmals zu einer deutlichen Energieeinsparung führen. Beim Produkt C ist die CO₂-Regelung standardmässig enthalten. Bei den anderen Produkten ist sie optional erhältlich. Gemäss Grobabschätzung kann eine CO₂-Regelung rund 30% Energie einsparen. Der Wert ist sehr stark vom Benutzerverhalten abhängig. Zudem spielt es eine Rolle, wie weit der mechanische geförderte Luftvolumenstrom wegen der Feuchteabfuhr in Bädern und Duschen reduziert werden kann. Speziell zu berücksichtigen sind fensterlose Nassräume.

Parallel zur elektrischen Energie reduziert sich auch der Luftvolumenstrom, was auch zu einer geringfügigen Reduktion des Heizwärmebedarfs von ca. 0,5 bis 1,0 kWh/m² (bezogen auf die Energiebezugsfläche) führt. Der Hauptvorteil des geringeren Luftvolumenstroms ist aber nicht die Wärmeeinsparung, sondern die höhere Raumlufffeuchte und die Möglichkeit der Nutzer, die Luftmengen nach ihren Bedürfnissen einstellen zu können.

7 Schall

7.1 Schalldruckpegel im Raum durch Zuluft

7.1.1 Vorgehen und Methode

Mit einfachen rechnerischen Abschätzungen wird beurteilt wie hoch der von den VAV-Boxen verursachte Schalldruckpegel im Raum ist. Die Berechnung beginnt ab der VAV-Box und geht bis in den Raum. Der Ventilator und die Hauptverteilung werden nicht berücksichtigt. Es wird angenommen, dass nach dem Lüftungsgerät angemessene Schalldämpfer installiert werden können und dass in der Hauptverteilung keine relevanten Strömungsgeräusche entstehen (kleine Dimensionen, tiefe Geschwindigkeiten).

Die Berechnungen werden in Anlehnung an [3] durchgeführt. Das heisst, dass nur die Strömungsgeräusche der VAV-Box und des Zuluft-Durchlasses berücksichtigt werden. Die übrigen Komponenten haben nur eine dämpfende Wirkung.

Die Berechnungen werden mit dem Tool „WRL-Auslegungs-Tool V 0-6-2“ durchgeführt. Dieses Tool wird in schweizerischen und österreichischen Weiterbildungskursen für Komfortlüftung eingesetzt.

7.1.2 Annahmen

Raum

Schlafzimmer einer 4^{1/2}-Zimmer-Wohnung.

Der Beurteilungspunkt liegt 1 m vom Zuluft-Durchlass entfernt. Der Luftdurchlass befindet sich an einer Raumkante (Richtfaktor 4). Das Raumvolumen beträgt 30 m³ und die Nachhallzeit 0,6 s. Mit diesen Annahmen ergibt sich eine Raumdämpfung von rund 1 dB (rechnerisch 0,9 dB).

Wohnungsverteilung

Unmittelbar an der VAV-Box ist ein Verteilerkasten mit vier Abgängen angeschlossen. Die einzelnen Zimmer sind mit 5 m langen flexiblen Kunststoffleitungen erschlossen.

Es wird angenommen, dass der Zuluft-Durchlass einen Schallleistungspegel von 20 dB(A) verursacht (keine Lieferantangaben vorhanden). Für die Dämpfung des Luftdurchlasses werden die Werte eines marktgängigen Produktes mit Anschlusskasten eingesetzt.

Bei den Schallberechnungen werden die Messdaten beim maximalen Volumenstrom und maximalen Vordruck eingesetzt.

7.1.3 Resultate

In Figur 57 zeigt ein Berechnungsbeispiel.

Bauteil	Oktavband							Hz		
	63	125	250	500	1000	2000	4000			
1 Lüftungsgerät Handeingabe VAV-Box Produkt A	51.3	43.9	34.3	22.6	4.7	0	4.3	dB		
2 Schalldämpfer 1 keine Schalldämpfer	0	0	0	0	0	0	0	dB		
3 Bögen d = 125 bis 250 mm	0	0	0	0	0	0	0	dB		
4 Rohr aus Stahlblech, d = 100 bis 200 mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	dB		
5 Luftverteilerkasten oder T-Stück ungedämmter Kasten	4	Abg.	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	dB		
6 Leitung nach Verteiler Comfotube 90	5	m	0.0	-2.0	-2.5	-1.5	-1.5	-2.0	-3.5	dB
7 Schalldämpfer 2 keine Schalldämpfer	0	0	0	0	0	0	0	dB		
8 Dämpfung Luftdurchlass Zehnder CLD, inkl. Anschlusskasten	-9.3	-8.3	-12.4	-8	-18.6	-18.2	-15.5	dB		
9 Mündungsreflexion	0	0	0	0	0	0	0	dB		
10 Schalleistungspegel nach Luftdurchlass	36.0	27.6	13.4	7.1	-21.4	-26.2	-20.7	dB		
11 A-Bewertung	-26	-16	-9	-3	0	1	1	dB		
12 Schalleistungspegel Oktavband nach Luftdurchlass [A-Bewertet]	10.0	11.6	4.4	4.1	-21.4	-25.2	-19.7	dB		
13 Schalleistungspegel nach Durchlass [A-Bewertet]	14.7							dB(A)		
14 Luftdurchlass, Eigenschall A-Bewertet, Grundwert	20.0							dB(A)		
15 Zuschlag: Einbausituation Luftdurchlass	0.0							dB(A)		
16 Luftdurchlass gesamter Eigenschall A-Bewertet	20.0							dB(A)		
17 Schalleistungspegel im Raum [A-Bewertet]	21.1							dB(A)		
18 Raumdämpfung	-0.9							dB		
19 Schalldruckpegel eines Durchlasses Abstand vom Durchlass: 1 m	20.2							dB(A)		
20 Gesamter Schalldruckpegel Anzahl Durchlässe im Raum: 1	20.2							dB(A)		

Figur 57: Schallberechnung Produkt A

Produkt A führt bei den angenommenen Rahmenbedingungen im Schlafzimmer zu einem Schalldruckpegel von ca. 20 dB(A) und ist daher akustisch unkritisch.

Die Produkte B und D führen zu einem Schalldruckpegel von 21 bis 22 dB(A) und können auch als unproblematisch beurteilt werden.

Produkt C wird gemäss Vorgaben des Lieferanten zusammen mit Telefoneschalldämpfern eingesetzt. Diese Telefoneschalldämpfer waren nicht Gegenstand dieser Arbeit, weshalb diese Variante nicht quantitativ beurteilt wird.

7.2 Abstrahlung Gehäuse

Figur 58 zeigt die bei den Messungen ermittelten Schalleistungspegel der Gehäuseabstrahlung bei einem Luftvolumenstrom von 120 m³/h und einem Druckabfall über der VAV-Box von 50 Pa.

Variante	A	B	C	D
Schalleistungspegel	22 dB(A)	20 dB(A)	29 dB(A)	25 dB(A)

Figur 58: Schalleistungspegel der Gehäuseabstrahlung der Varianten.

Wie beim Schalleistungspegel im Schlafzimmer sind auch hier die Produkte A und B unkritisch. Bereits bei geringfügigen akustischen Massnahmen, wie z.B. Installation in einem Schrank oder einer heruntergehängten Decke werden hier die Anforderungen gut erreicht.

Bei den Produkten C und D sind bei einer Installation in Technikräumen, Abstellräumen oder geschlossenen Installationszonen ebenfalls unkritisch.

8 Planungsempfehlungen

Gründe für Mehrwohnungsanlagen mit VAV

- Mehrwohnungsanlagen verursachen einen geringeren Instandhaltungsaufwand als Einzelwohnungsanlagen. Insbesondere bei Mietwohnungen ist neben den Filterkosten der Aufwand für Filterwechsel tiefer.
- Variabel-Volumenstromregler (VAV) pro Wohnung erlauben einen bedarfsgerechten Betrieb. Damit sinken der Energiebedarf und das Risiko von tiefen Raumlufffeuchten.
- VAV vereinfachen die Einregulierung und Inbetriebnahme. Zudem sind nachträgliche Veränderungen von Luftvolumenströmen von einzelnen Wohnungen einfach möglich.
- Bei den meisten Produkten können über einen einfachen Datenbus Daten zwischen der Lüftungszentrale und den Volumenstromreglern übertragen werden. Dadurch können die Einregulierung, die Inbetriebnahme der Anlage sowie nachträgliche Sollwert-Anpassungen (wenn sich durch Mieterwechsel die Personenzahl ändert) erheblich vereinfacht werden.
- Die Akzeptanz einer Lüftungsanlage ist höher, wenn die Nutzer die Luftmenge an ihre Bedürfnisse anpassen können.

Auswahl von Produkten / Platzierung

- Es wird empfohlen, Produkte einzusetzen, bei denen der Lieferant VAV, Steuerung und Schalldämpfer als Gesamtsystem anbietet.
- Die Zugänglichkeit der VAVs muss für Wartung und Unterhalt immer gewährleistet sein.
- Falls aus Platzgründen VAVs direkt nach Bögen installiert werden, müssen VAVs eingesetzt werden, bei welchen dies möglich ist (Herstellerangaben beachten).

Strömungstechnische Auslegung

- Die Luftvolumenströme in den einzelnen Wohnungen sind nach dem SIA-Merkblatt 2023 [2] zu dimensionieren. Dabei ist in Durchströmbereichen (offene Wohn-, Ess- und Kochbereiche) keine Zuluft zuzuführen.
- Die Anforderungen an den Druckverlust von einfachen Lüftungsanlagen gemäss SIA 382/1 [1] müssen eingehalten werden. Das heisst, dass der Zuluftventilator einen maximalen Förderdruck von 400 Pa und der Abluftventilator von 300 Pa aufweisen darf.
- Die Ventilatoren sollen drehzahl geregelt sein. Bei einer Druckregelung (Differenz zwischen Kanal und Umgebung) wird empfohlen, zuluftseitig bei der ersten Verzweigung und Abluftseitig beim letzten Sammelstück (T-Stück) zu messen. Der Sollwert soll auf der Zu- und Abluftseite jeweils max. 80 Pa betragen. Darin enthalten sind Hauptverteilung, Wohnungsverteilung und Vordruck der VAV-Box.
- Die Hauptverteilung zwischen Luftaufbereitungsgerät und Wohnungsanschlüssen soll als Druckverteilung konzipiert werden. Das heisst, dass der Druckverlust zwischen Druckmessung (der Ventilatorregelung) und ungünstigstem Wohnungsanschluss max. 15 Pa betragen soll. Bei Strömungsgeschwindigkeiten von max. 3 m/s (was in der Regel den gesetzlichen Anforderungen entspricht) und strömungstechnisch günstigen Formstücken kann dies üblicherweise eingehalten werden.

Schall

- Der von der Lüftungsanlage verursachte Schalldruckpegel darf in Wohn- und Schlafzimmern beim Nennvolumenstrom max. 25 dB(A) betragen. VAVs ohne Schalldämpfer halten diese Anforderungen nicht ein. Auch bei Anlagen mit Konstantvolumenstromregelung sind Schalldämpfer zwingend notwendig.
- Zur Beurteilung der Strömungsgeräusche ist eine akustische Berechnung empfehlenswert. Die massgebenden Schallquellen sind die Ventilatoren und die VAV.

- Die Abstrahlungsgeräusche von VAV-Boxen in Wohnungen sind zu beachten. Bei den im Projekt untersuchten Produkten ist bei einer Installation in einem Abstellraum in der Regel ein genügend guter Schallschutz vorhanden. Bei Installationen in der Wohnung (Schrank, Hohldecke, etc.) muss dies bei der Produktwahl berücksichtigt werden.
- Schallmessungen in Labors werden üblicherweise bei ungestörter Anströmung durchgeführt. Wenn VAV-Boxen nahe bei Bögen, T-Stücken oder anderen Störquellen eingesetzt werden, sind die akustischen Werte mit dem Lieferanten zu klären. Allenfalls sind erhöhte akustische Massnahmen erforderlich.

Energie

- Es wird empfohlen, dass die elektrische Dauerleistung einer VAV-Box (mit Zu- und Abluft) max. 5 W beträgt. In Zukunft sollte es möglich sein, den Energieverbrauch zu reduzieren. In Frage käme z.B. ein intermittierender Betrieb.
- Der Zuluftventilator muss die Kategorie SFP 2 und der Abluftventilator die SFP-Kategorie 1 erreichen. Die addierten spezifischen Ventilatorleistungen von Zu- und Abluftventilator dürfen demnach max. 0,34 W/(m³/h) betragen.
- Bei einer häufigen Nachregulierung des Volumenstromes resultiert ein marginal höherer Stromverbrauch für die Regelung als wenn der Volumenstrom nicht geregelt wird.

Steuerung/Regelung

- Einfache und selbsterklärende Bedieneinheiten in den Wohnungen müssen im Alltag gut sichtbar und zugänglich sein. Eine zweckmässige Platzierung ist z.B. im Korridor neben der Wohnungseingangstür oder beim Eingang in die Küchen.
- Bei Mietwohnungen wird eine einfache Steuerung mit Handschalter empfohlen. Bei Eigentumswohnungen kommen Zeitprogramme und mehr Stufen in Frage (Partystufe mit Timer), wobei bei dieser Option die elektrische Leistung der VAV-Box je nach Produkt grösser wird.
- Eine steuerungstechnische Verbindung zwischen den VAV-Boxen den Wohnungen und der Regelung des Lüftungsgerätes ist möglich. Dadurch können die Ventilatoren allenfalls optimal geregelt werden. Die Einregulierung und nachträgliche Sollwerteveränderungen werden so vereinfacht. Mit einer Internetverbindung können Fernwartungen durchgeführt werden.
- Luftqualitätsregelungen (CO₂/VOC) können zu einer deutlichen Energieeinsparung führen. Bei der Regelstrategie ist aber zu berücksichtigen, dass nachts bei geschlossenen Zimmertüren in jedem Schlafzimmer ein genügend hoher Zuluftvolumenstrom vorhanden ist. Zudem muss ganzjährig die Feuchtabfuhr gewährleistet werden.

9 Schlussbemerkungen

Mehrwohnungsanlagen mit Variabel-Volumenstromreglern (VAV) bieten gegenüber Einzelwohnungsanlagen vor allem bei der Instandhaltung Vorteile. Es ist aber anspruchsvoll, energetische gute Mehrwohnungsanlagen zu realisieren.

Ein tiefer Elektrizitätsverbrauch der Ventilatoren erfordert nicht nur eine strömungstechnisch sorgfältige Auslegung, sondern auch einen tiefen Vordruck der VAV. Eine positive Erkenntnis aus den experimentellen Untersuchungen ist, dass heutige marktgängige Produkte auf einen Vordruck von lediglich 15 Pa ausgelegt werden können, wenn die Anlage entsprechend konzipiert ist.

Neben der Ventilatorenergie muss der Stromverbrauch der VAV beachtet werden. Die Aufnahmeleistung der VAV-Boxen war, mindestens aus Sicht der Verfasser, höher als erwartet. Hier wird ein Einsparpotential vermutet.

Die Schallwerte der untersuchten Produkte zeigen, dass bei fachgerechter Realisierung der gesamten Anlage die hohen Anforderungen des SIA-Merkblattes 2023 [2] eingehalten werden können.

Insgesamt wurde der Eindruck gewonnen, dass heutige VAV-Boxen für den Wohnbereich eine gute Reife aufweisen.

10 Anhang

10.1 Abkürzungen und Begriffe

VAV Variabel-Volumenstrom-Regler

VAV-Box Apparat für eine Wohnung mit Zu- und Abluft-VAV, Schalldämpfern und Steuerung

10.2 Literaturverzeichnis

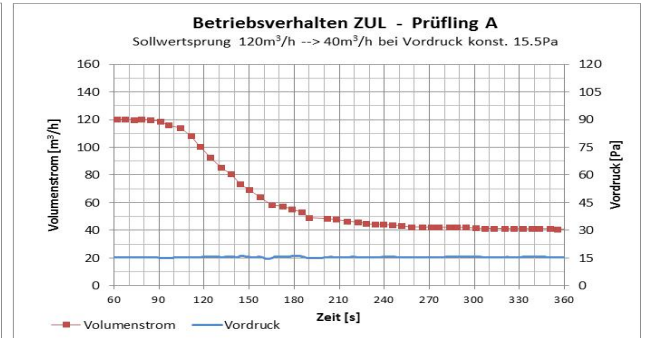
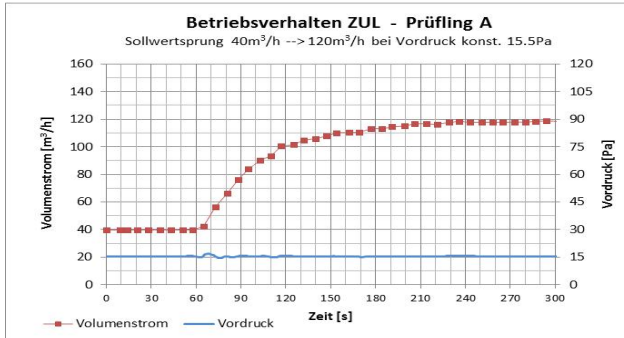
- [1] Norm SIA 382/1:2007; Lüftungs- und Klimaanlagen – Grundlagen
- [2] Merkblatt SIA 2023:2008; Lüftung in Wohnbauten
- [3] Huber H.: Planungshandbuch Komfortlüftung. Faktor Verlag, Zürich 2010

10.3 Zusammenstellung Betriebsverhalten bei Sollwertsprüngen

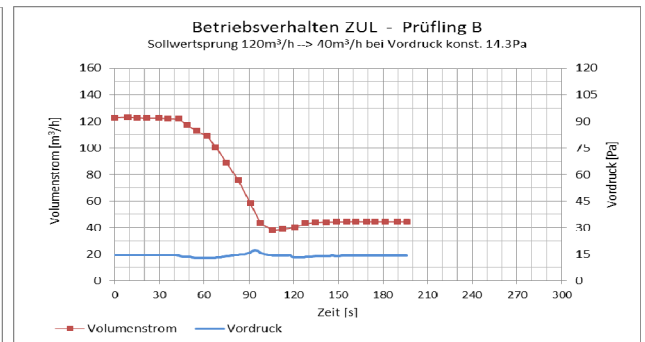
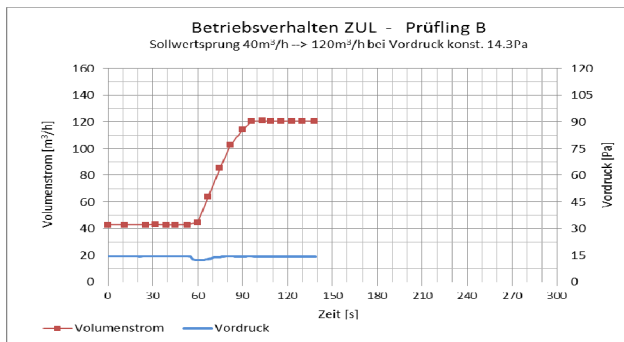
10.3.1 Sollwertsprung des Volumenstroms bei minimalem Vordruck

Zuluftseite

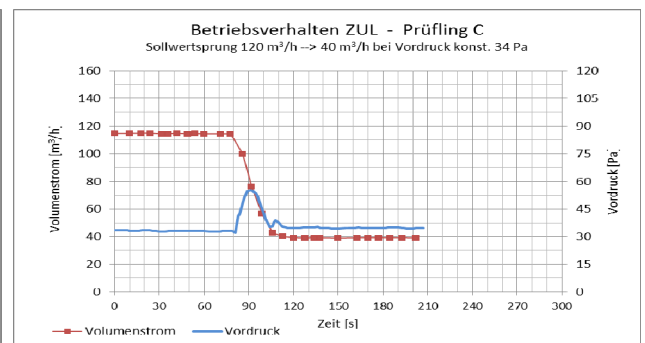
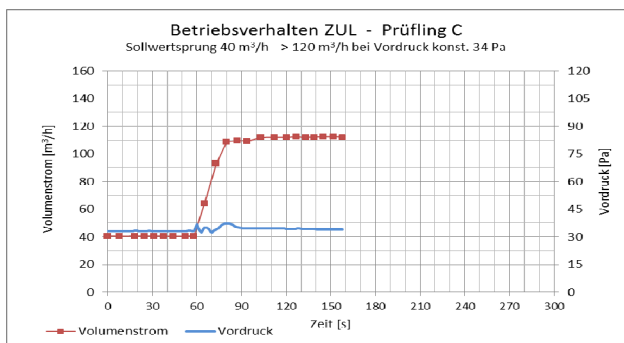
Prüfling A



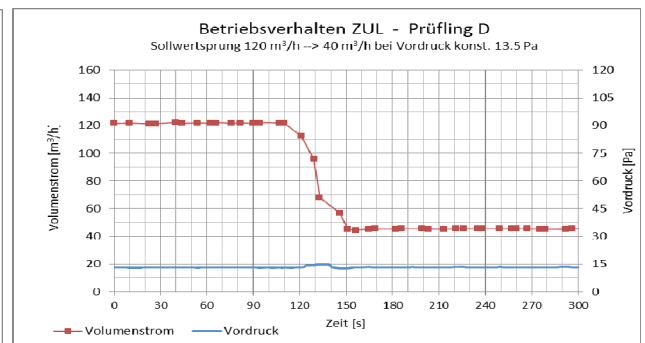
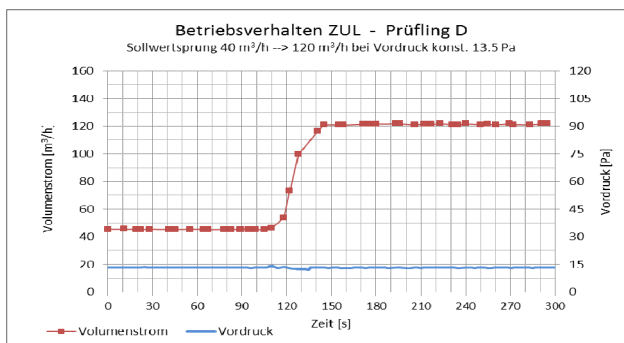
Prüfling B



Prüfling C

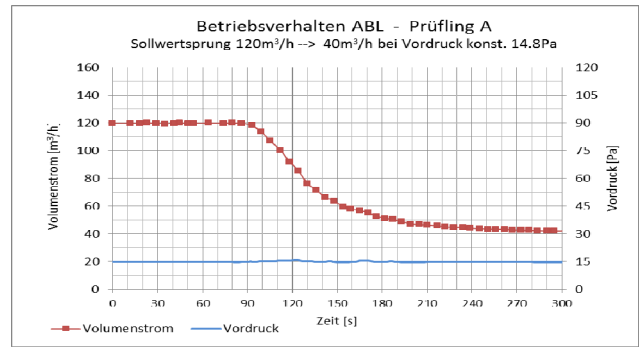
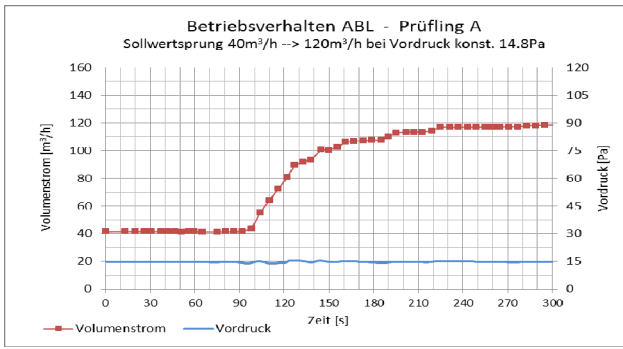


Prüfling D

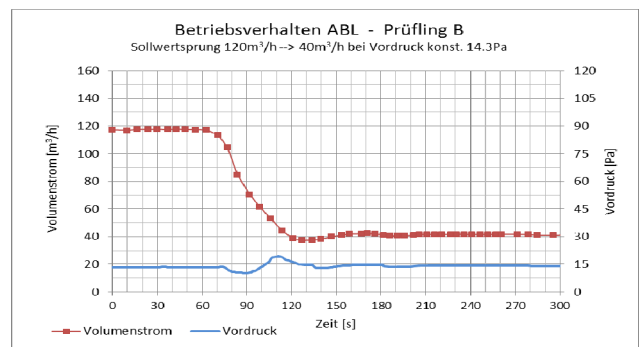
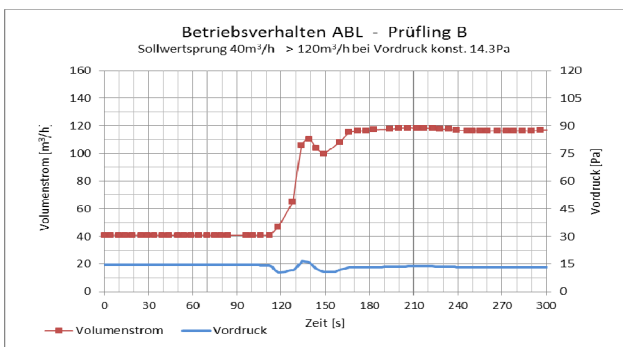


Abluftseite

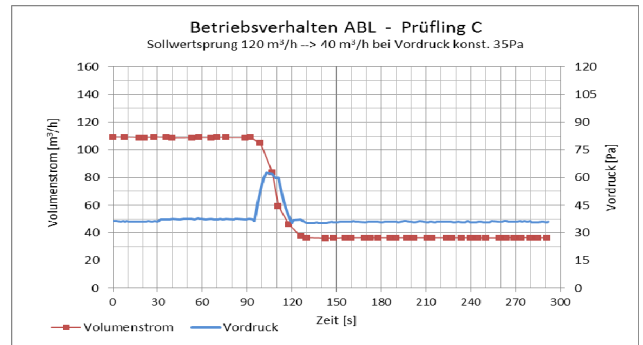
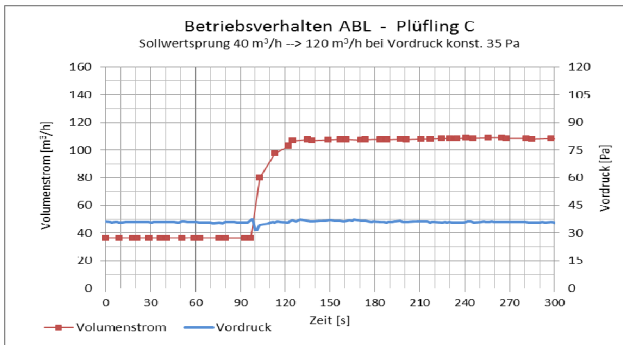
Prüfling A



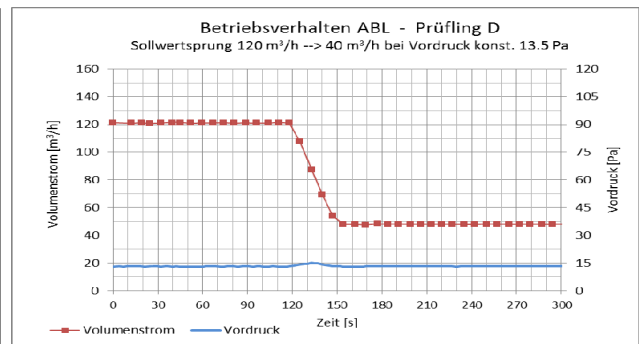
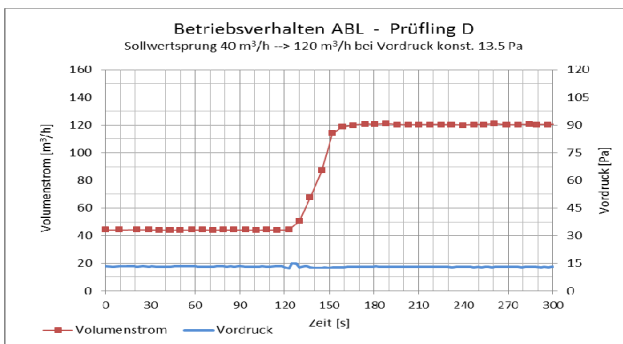
Prüfling B



Prüfling C



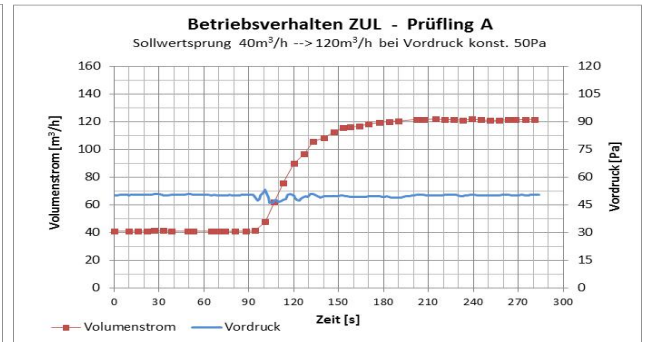
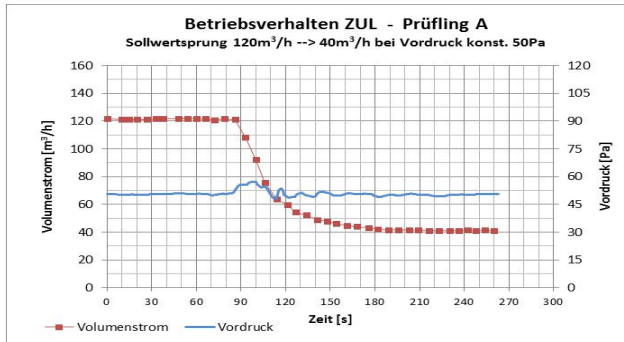
Prüfling D



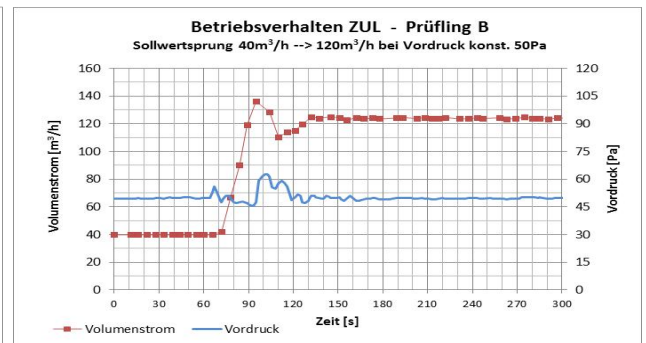
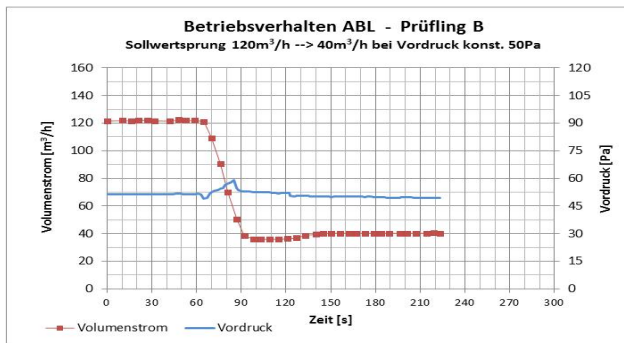
10.3.2 Sollwertsprung des Volumenstroms bei maximalem Vordruck

Zulufseite

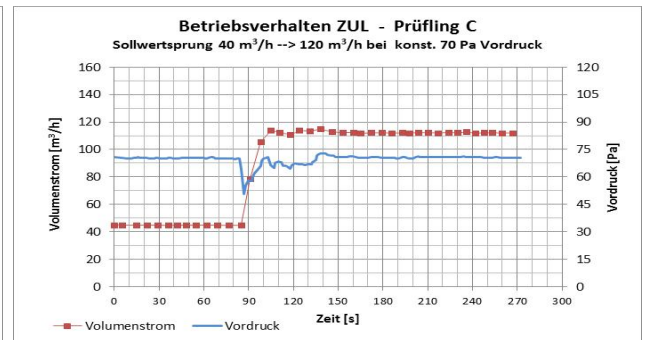
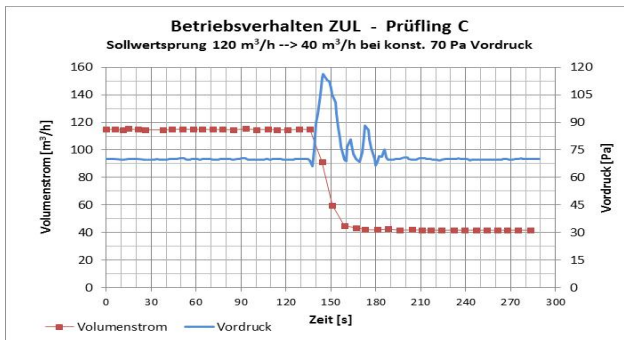
Prüfling A



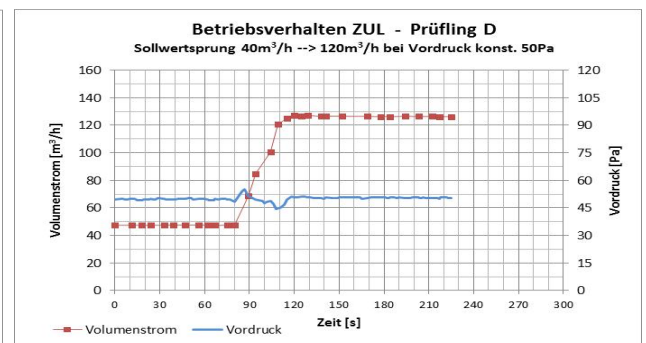
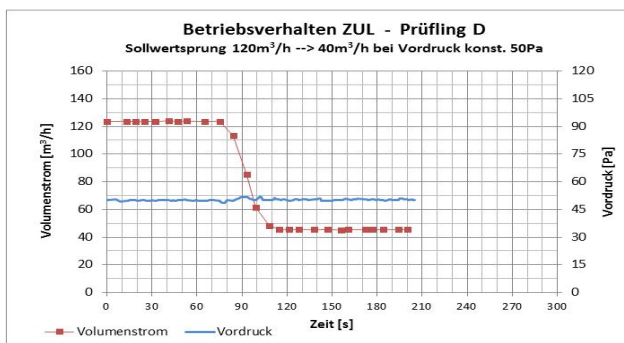
Prüfling B



Prüfling C

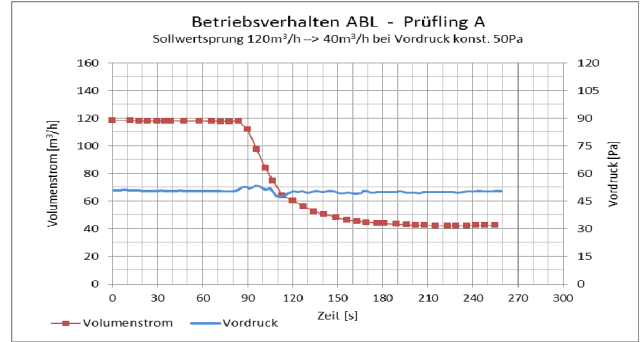
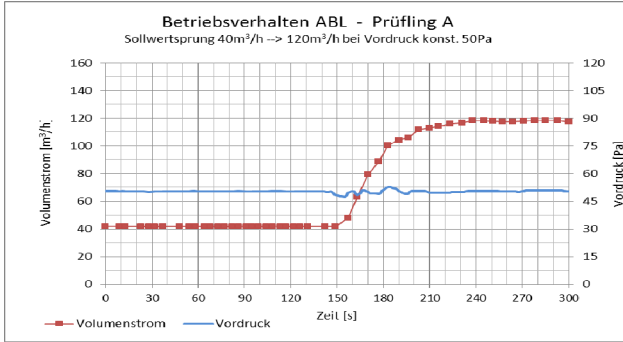


Prüfling D

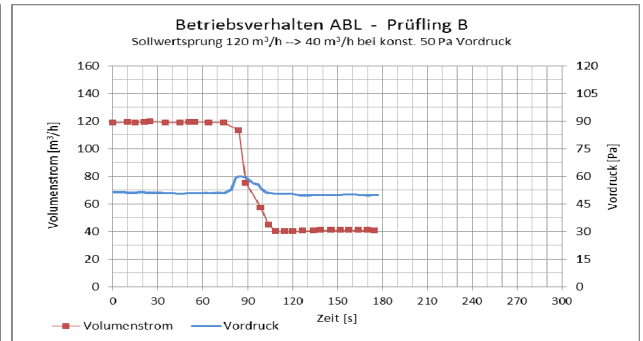
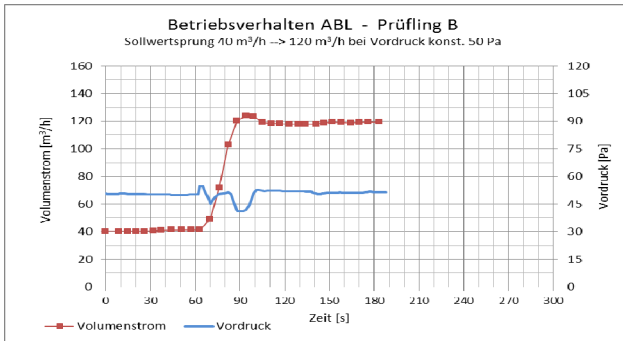


Abluftseite

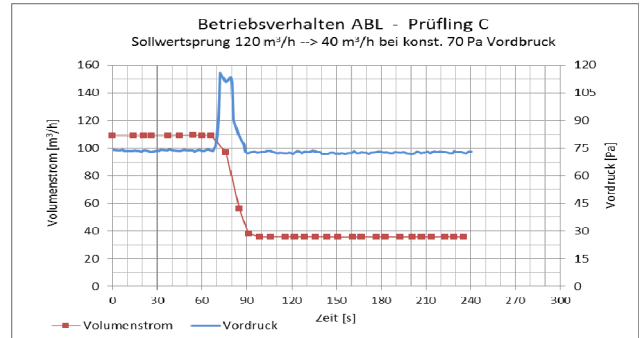
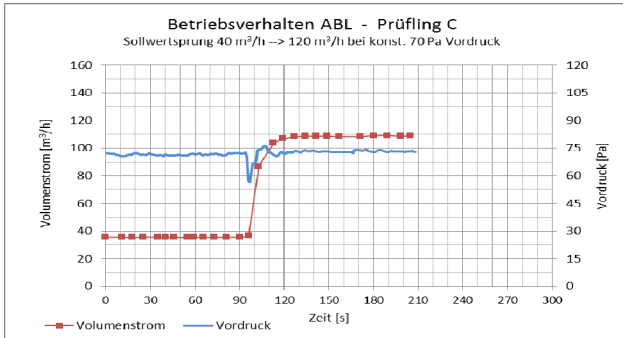
Prüfling A



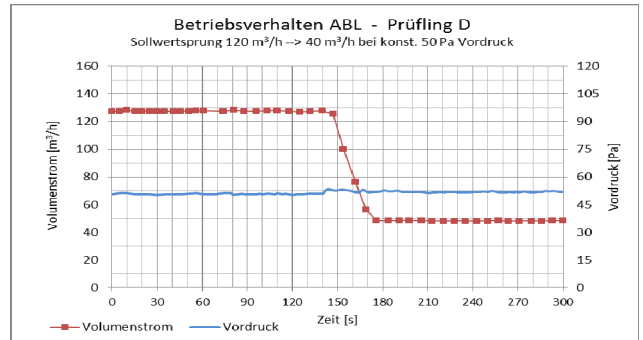
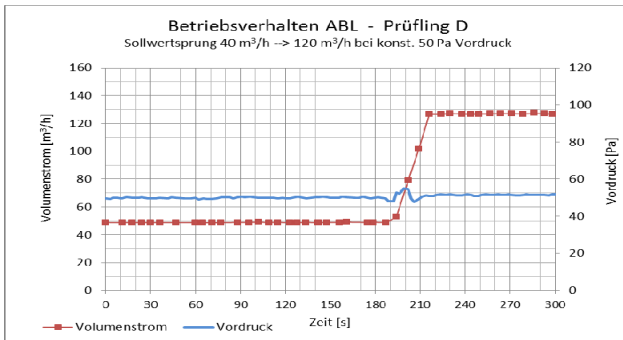
Prüfling B



Prüfling C



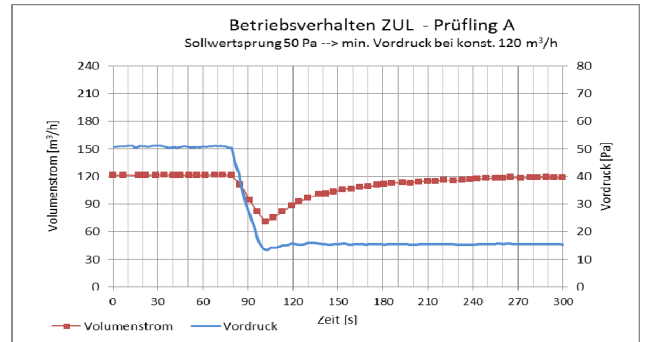
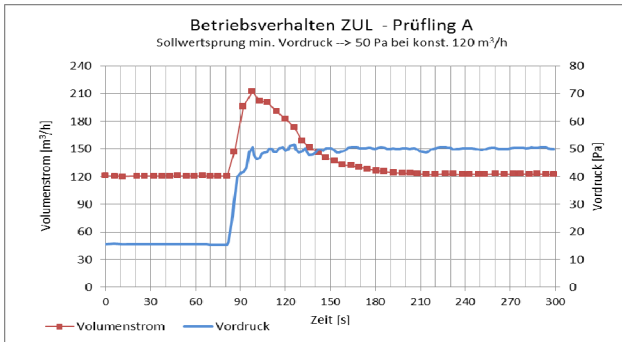
Prüfling D



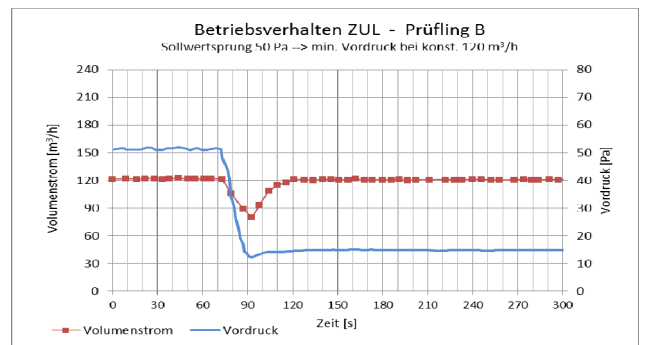
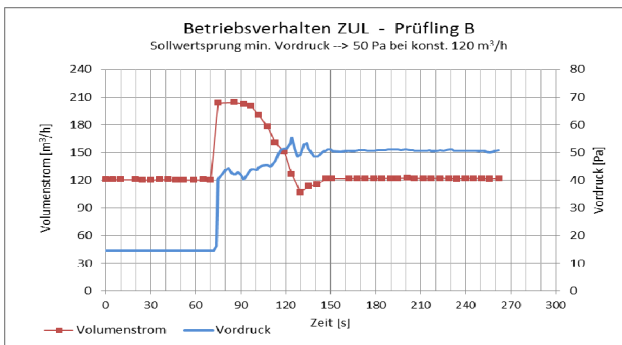
10.4 Störgrössensprung (Vordruckänderung) beim maximalem Volumenstrom

Zulufseite

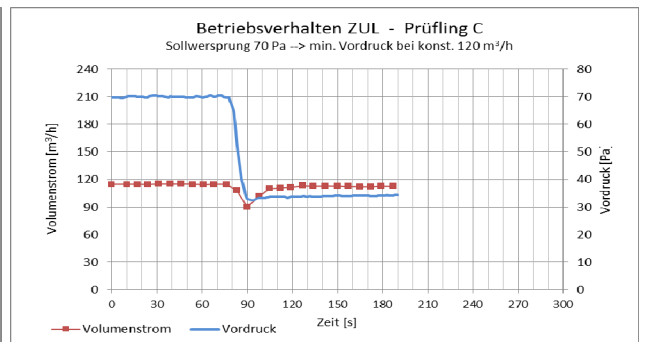
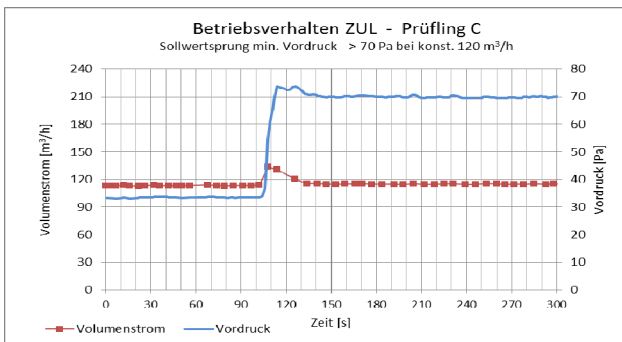
Prüfling A



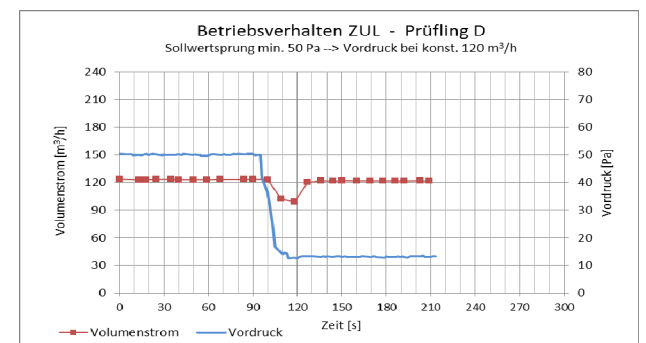
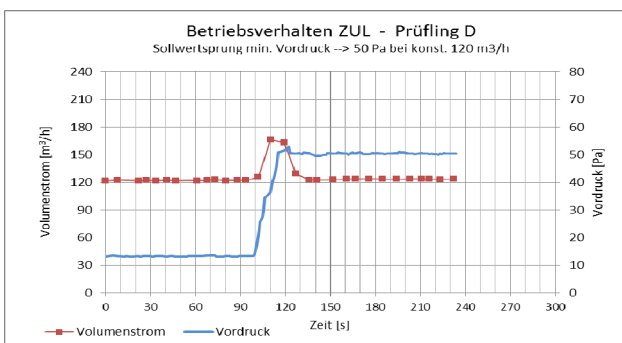
Prüfling B



Prüfling C

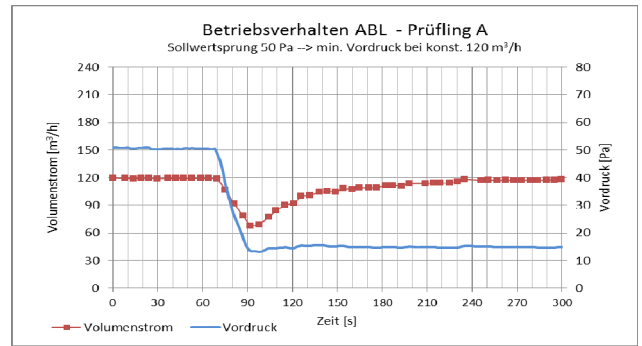
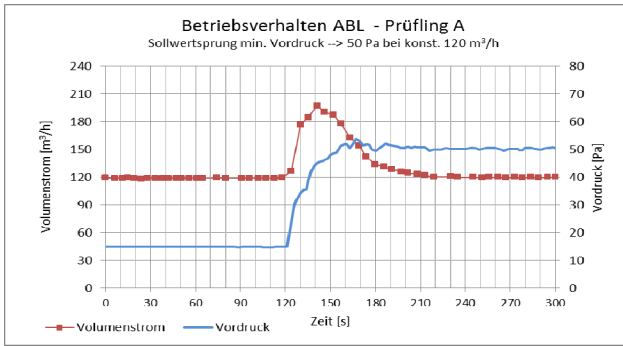


Prüfling D

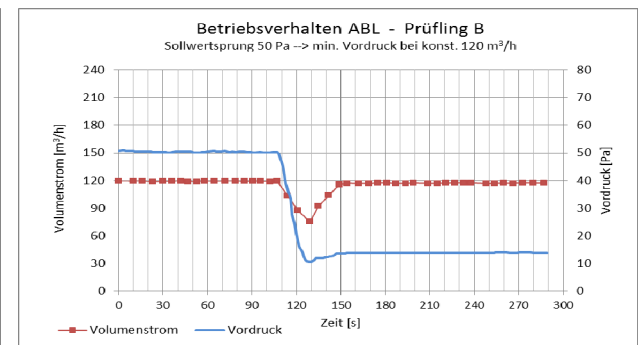
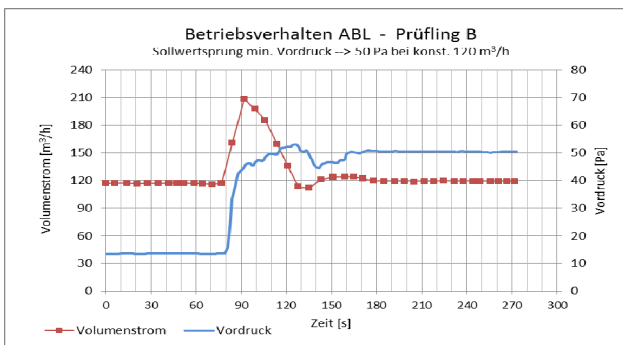


Abluftseite

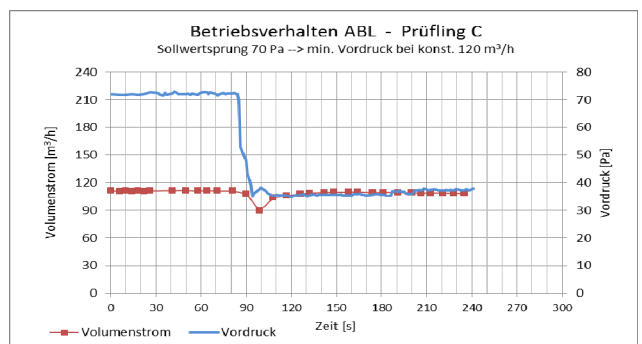
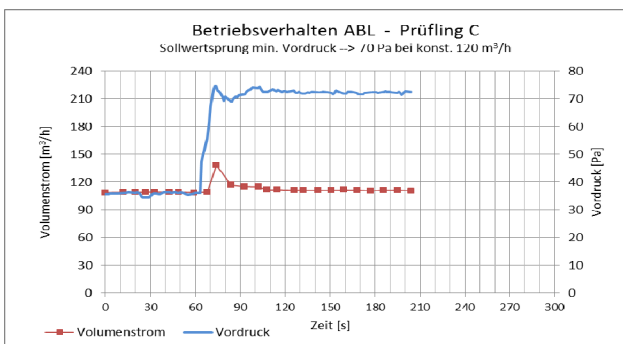
Prüfling A



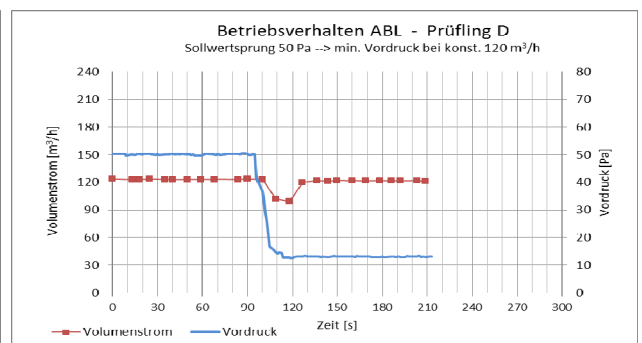
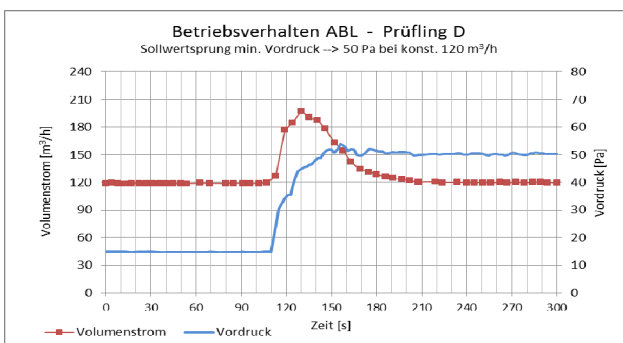
Prüfling B



Prüfling C



Prüfling D



10.5 Tabellen- und Bilderverzeichnis

Figur 1: Prüfeinrichtung Untersuchung externe Leckagen	10
Figur 2: externe Leckage Prüfling A.....	11
Figur 3: externe Leckage Prüfling B.....	11
Figur 4: externe Leckage Prüfling C.....	11
Figur 5: externe Leckage Prüfling D.....	11
Figur 6: Prüfeinrichtung Untersuchung Betriebsverhalten.....	12
Figur 7: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom Prüfling A.....	13
Figur 8: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom Prüfling B.....	13
Figur 9: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom Prüfling C.....	13
Figur 10: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom Prüfling D.....	14
Figur 11:Zuluft-Sollwertsprung des Volumenstromes beim minimalen Vordruck Prüfling A.....	15
Figur 12: Abluft-Sollwertsprung des Volumenstromes beim minimalen Vordruck Prüfling A	15
Figur 13: Zuluft-Sollwertsprung des Volumenstromes beim maximalen Vordruck Prüfling A.....	15
Figur 14: Abluft-Sollwertsprung des Volumenstromes beim maximalen Vordruck Prüfling A	16
Figur 15: Zuluft-Sollwertsprung bei Vordruckänderung beim maximalen Volumenstrom Prüfling A	16
Figur 16: Abluft-Sollwertsprung bei Vordruckänderung beim maximalen Volumenstrom Prüfling A.....	16
Figur 17: Prüfeinrichtung akustische Messungen	17
Figur 18: Oktavbandanalyse der Gehäuseabstrahlung bei 120 m ³ /h, 50 Pa vom Prüfling A	18
Figur 19: Oktavbandanalyse der Gehäuseabstrahlung bei 120 m ³ /h, 50 Pa vom Prüfling B	18
Figur 20: Oktavbandanalyse der Gehäuseabstrahlung bei 120 m ³ /h, 70 Pa vom Prüfling C	18
Figur 21: Oktavbandanalyse der Gehäuseabstrahlung bei 120 m ³ /h, 50 Pa vom Prüfling D	18
Figur 22: Prüfeinrichtung Untersuchung Schalleistungspegel im Zuluft-Anschlussstutzen	20
Figur 23: Schalleistungspegel in der Zuluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling A.....	20
Figur 24: Schalleistungspegel in der Zuluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling B.....	20
Figur 25: Schalleistungspegel in der Zuluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling C.....	20
Figur 26: Schalleistungspegel in der Zuluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling D.....	21
Figur 27: Oktavbandanalyse in der Zuluft bei 120 m ³ /h, 50 Pa vom Prüfling A.....	22
Figur 28: Oktavbandanalyse in der Zuluft bei 120 m ³ /h, 50 Pa vom Prüfling B.....	22
Figur 29: Oktavbandanalyse in der Zuluft bei 120 m ³ /h, 70 Pa vom Prüfling C.....	22
Figur 30: Oktavbandanalyse in der Zuluft bei 120 m ³ /h, 50 Pa vom Prüfling D.....	22
Figur 31: Prüfeinrichtung Untersuchung Schalleistungspegel im Abluft-Anschlussstutzen	23
Figur 32: Schalleistungspegel in der Abluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling A.....	23
Figur 33: Schalleistungspegel in der Abluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling B.....	23
Figur 34: Schalleistungspegel in der Abluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling C	23
Figur 35: Schalleistungspegel in der Abluft bei verschiedenen Vordrücken und Volumenströme vom Prüfling D	24
Figur 36: Oktavbandanalyse in der Abluft bei 120 m ³ /h, 50 Pa vom Prüfling D	25

Figur 37: Oktavbandanalyse in der Abluft bei 120 m ³ /h, 50 Pa vom Prüfling B.....	25
Figur 38: Oktavbandanalyse in der Abluft bei 120 m ³ /h, 70 Pa vom Prüfling C	25
Figur 39: Oktavbandanalyse in der Abluft bei 120 m ³ /h, 50 Pa vom Prüfling D	25
Figur 40: Prüfaufbau Vermutungsversuch.....	26
Figur 41: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom vor und nach dem Verschmutzungsversuch vom Prüfling A	26
Figur 42: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom vor und nach dem Verschmutzungsversuch vom Prüfling B	26
Figur 43: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom vor und nach dem Verschmutzungsversuch vom Prüfling C	27
Figur 44: Abweichung Soll-/Istwert-Volumenstrom vor und nach dem Verschmutzungsversuch vom Prüfling D	27
Figur 45: Wohnungsnutzung	28
Figur 46: Strangschema Zuluft mit Nenn-Luftvolumenströmen	29
Figur 47: Druckverluste der Teilstrecken, ohne Volumenstromregler	30
Figur 48: Einstellung der Luftvolumenströme bei Variante 1 Konstant, pauschal	30
Figur 49: Einstellung der Luftvolumenströme bei Variante Konstant, individuelle Einregulierung	31
Figur 50: Luftvolumenstrom der verschiedenen Varianten (Wochenverlauf)	32
Figur 51: Druck-Volumenstrom-Kennlinie des Berechnungsmodells	33
Figur 52: Ventilatordaten bei Normalbetrieb	33
Figur 53: Elektrische Aufnahmeleistung der Ventilatoren	34
Figur 54: Aufnahmeleistungen der VAV-Boxen	34
Figur 55: Berechnungsergebnisse der Varianten a) inkl. Infiltration von 0,15 m ³ /h.m ² gemäss Minergie-Nachweis	35
Figur 56: Elektrizitätsbedarf der Varianten, bezogen auf die Energiebezugsfläche	35
Figur 57: Schallberechnung Produkt A	38
Figur 58: Schalleistungspegel der Gehäuseabstrahlung der Varianten.	38