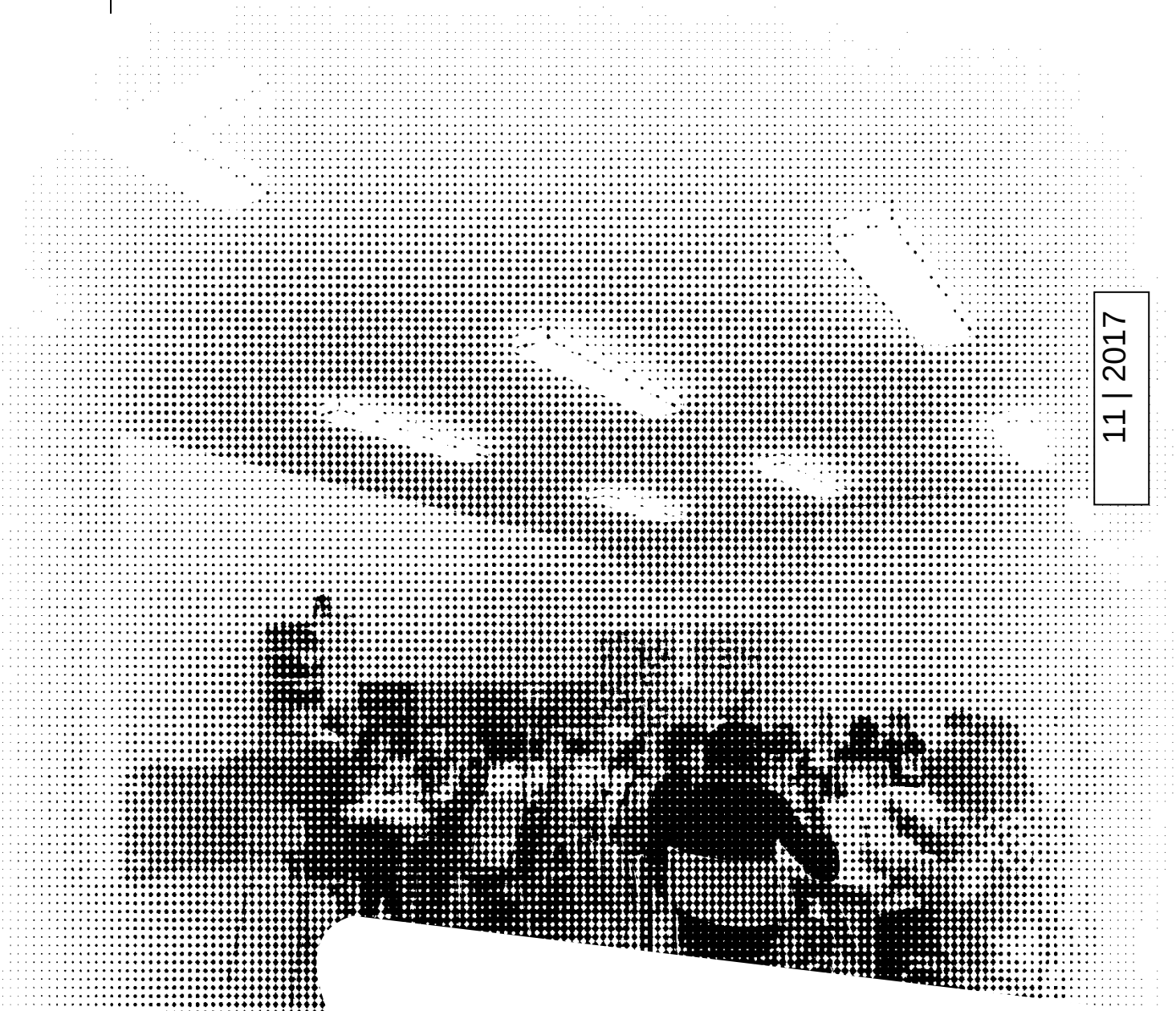
Stadt Zürich

11 | 2017



Lüftung für Schulen

Untersuchung von Schulzimmer-Lüftungsgeräten

Schlussbericht

Fachstelle
Energie- und Gebäudetechnik

IMPRESSUM

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

Bearbeitung:
Prof. Heinrich Huber, Michael Lüthi, Patrick Keller, Vanessa Frei, Dominik Hotz
(Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw)
technik-architektur@hslu.ch

Projektleitung:
Franz Sprecher
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amt für Hochbauten

Projektteam:
Prof. Heinrich Huber (Hochschule Luzern– Technik & Architektur, Horw)
Patrick Keller (Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw)
Michael Lüthi (Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw)
Vanessa Frei (Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Horw)
Dominik Hotz (Hochschule Luzern– Technik & Architektur, Horw)

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen
> Bauen für 2000-Watt-Gesellschaft > Grundlagen und Studienergebnisse

Zürich, November 2017

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 4
2 Einleitung 5
3 Zielsetzung und Vorgehen 7
3.1 Zielsetzung 7
3.2 Vorgehen 7
4 Recherche 9
4.1 Normen und Literatur 9
4.2 Produkteübersicht 10
5 Messkonzept 21
5.1 Prüflinge und Prüfbereich 21
5.2 Prüfprogramm 21
6 Messresultate 24
6.1 Prüfinstitut und Prüfberichte 24
6.2 Leckage 24
6.3 Filter-Bypass-Volumenstrom 28
6.4 Volumenstrom-/Druck-Kennlinie 29
6.5 Thermische Eigenschaften und elektrische Aufnahmeleistung 30
6.6 Frostschutzprüfung 31
6.7 Akustik 33
6.8 Hygienische Beurteilung 35
6.9 Thermische Behaglichkeit 36
7 Energiebedarf 38
7.1 Methode und Annahmen 38
7.2 Resultate 38
8 Zusammenfassung Geräteprüfung 41
9 Planungsempfehlungen 42
10 Schlussbemerkungen 45
10.1 Schlussfolgerungen 45
10.2 Weiterführende Arbeiten 45
11 Abkürzung und Symbole 46
11.1 Abkürzungen 46
11.2 Symbole und Formelzeichen 46
12 Literaturverzeichnis 47
13 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis 49
Anhang 1 Messkonzept für die strömungs- und wärmetechnischen Untersuchungen 52
Anhang 2 Messkonzept für die akustische Prüfung 55
Anhang 3 Akustische Prüfung – Detailergebnisse am Beispiel des Lüftungsgeräts D 57
Anhang 4 Behaglichkeitsprüfung 60

1 Zusammenfassung

Diese Arbeit umfasst eine qualitative und quantitative Gegenüberstellung verschiedener dezentraler Schulhauslüftungsgeräte. Der Schwerpunkt bildet die experimentelle Untersuchung von vier Produkten.

Die Raumluftqualität hat einen wesentlichen Einfluss auf das Wohlbefinden und die kognitive Leistungsfähigkeit. Wegen der hohen Belegungsdichte ist bei Schulzimmern selbst bei alten, rel. undichten Gebäuden ein systematischer Luftaustausch unerlässlich. Bei Neubauten und Modernisierungen ist ein Lüftungskonzept zwingend, um eine Luftqualität zu erreichen, die einem heutigen Lehrbetrieb angemessen ist. Mechanische Schulzimmerlüftungen mit Wärmerückgewinnung bieten dabei den grössten Nutzen bezüglich Energieverbrauch, Behaglichkeit und Schallschutz. Im Vergleich zu zentralen Anlagen haben dezentrale Lüftungsgeräte den Vorteil, dass der Platzbedarf für die Luftverteilung allenfalls ganz wegfällt oder mind. sehr gering ist. Dezentrale Lüftungsgeräte lassen sich ausser in Neubauten oft auch in bestehenden Klassenzimmern einfach installieren.

Der vorliegende Bericht umfasst eine Übersicht der normativen Vorgaben bezüglich der Raumluftqualität in Schulzimmern, eine Produkteübersicht von verschiedenen dezentralen Schulzimmer-Lüftungsgeräten und die Prüfergebnisse von vier experimentell untersuchten Lüftungsgeräten. Zum Schluss erfolgt eine energetische Gegenüberstellung der untersuchten Lüftungsgeräte. Zudem werden Empfehlungen für die Planung von dezentralen Schulzimmerlüftungen gegeben.

Es hat sich gezeigt, dass die vier messtechnisch untersuchten Lüftungsgeräte deutliche Unterschiede bezüglich Energieeffizienz, Frostschutzstrategie, Schall und Hygiene aufweisen. Bei der Evaluation von Schulzimmer-Lüftungsgeräten ist daher eine hohe Sorgfalt und Fachkompetenz erforderlich. Um den Vergleich von verschiedenen Produkten zu erleichtern, wird empfohlen, in einer weiterführenden Arbeit eine unabhängige Plattform für Schulzimmer-Lüftungsgeräte aufzubauen.

2 Einleitung

Die Stadt Zürich legt grossen Wert auf eine dauerhaft gute Raumluftqualität in ihren Schulhäusern. Aus diesem Grund wird dem Lüftungskonzept bei Schulbauten besondere Beachtung geschenkt.

Aus Energie-, Schallschutz- und Behaglichkeitsgründen werden heutzutage Gebäudehüllen möglichst luftdicht geplant und ausgeführt. Damit wird der natürliche Luftaustausch durch Undichtheiten in der Gebäudehülle minimiert. Um Schäden an der Bausubstanz (wie z. B. Schimmel) zu vermeiden sowie ein behagliches Raumklima und gute Lernbedingungen zu gewährleisten, ist ein systematischer und geplanter Luftaustausch zwingend. Es gilt, die Emissionen aus dem Stoffwechsel der Personen sowie Emissionen von Materialien und Einrichtungen aus den Klassenräumen abzuführen und gleichzeitig die Ersatzluft so zuzuführen, dass heutige Anforderungen an thermische Behaglichkeit, Hygiene und Schallschutz eingehalten sind. [1]

Ein Indikator zur Beurteilung der Raumluftqualität ist die CO_2-Konzentration in Innenräumen. Bis zu einer CO_2-Konzentration von 1000 ppm wird die Raumluftqualität allgemein als gut beurteilt. Forschungsergebnisse zeigen einen wesentlichen Einfluss der Raumluftqualität auf das Wohlbefinden und die kognitive Leistungsfähigkeit [2].

Die Belüftung von Schulzimmern kann einerseits natürlich, mittels einer manuellen oder automatischen Fensterlüftung, oder durch eine mechanische Lüftung erfolgen. Die mechanische Lüftung kann zentral oder dezentral ausgeführt werden. Bei einer zentralen Anlage werden mehrere Räume von einem gemeinsamen Lüftungsgerät aus über ein Verteilsystem (Luftkanäle) versorgt.

Bei dezentralen Lösungen verfügt jedes einzelne Schulzimmer über ein eigenes Lüftungsgerät, das direkt im Raum oder in unmittelbarer Nähe platziert ist. Der grosse Vorteil von dezentralen Geräten ist, dass je nach Ausführung keine resp. nur eine kurze Luftverteilung erforderlich ist. Dadurch lässt sich diese Lösung auch gut in bestehenden Schulhäusern realisieren. Ein Nachteil gegenüber zentralen Anlagen ist der höhere Wartungsaufwand für die Geräte. Insbesondere zu beachten sind die Kosten und der Arbeitsaufwand für den Filterwechsel. Je nach Aussenluft und Filterqualität ist davon auszugehen, dass die Filter ein- bis dreimal jährlich gewechselt werden müssen.

Dezentrale Schulzimmerlüftungen lassen sich standardisieren. So werden Einzelraumlüftungsgeräte für Schulzimmer von verschiedenen Herstellern als Serienprodukte angeboten. Dadurch besteht ein grosses Potential für reproduzierbare Konzepte mit entsprechenden Kostenvorteilen.

Im deutschsprachigen Markt finden sich heute rund 20 Produkte von Einzelraumlüftungsgeräten, die spezifisch für Schulzimmer konzipiert sind. Wie bei anderen Produktegruppen wäre es daher für Anwender hilfreich, wenn ein einheitlicher und unabhängiger Produktevergleich vorliegen würden. Da dies bis anhin nicht der Fall war, hat die Stadt Zürich die vorliegende Arbeit in Auftrag gegeben.

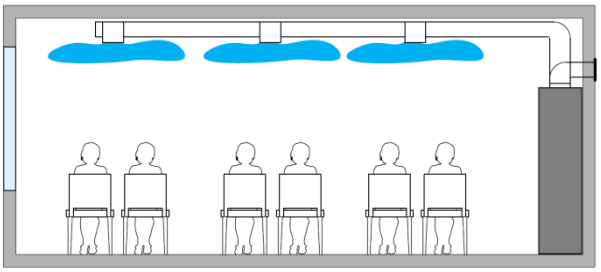
Die Einzelraumlüftungssysteme sind als Decken-, Stand-, Brüstungsgeräte (siehe Figur 1 bis Figur 3) auf dem Markt erhältlich. Die Zulufteinbringung unterscheitet sich je nach Bauart des Lüftungsgerätes (siehe Figur 4 bis Figur 7)

Ein idealer vertikaler Luftaustausch (Quelllüftung) begünstigt das Abführen der warmen, belasteten Luft unter der Decke. [3]

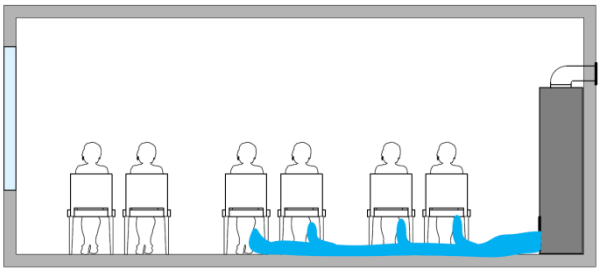
Figur 1: Beispiel Standgerät der Firma Rosenberg [8]

Figur 2: Beispiel Deckengerät der Firma Wesco [13]

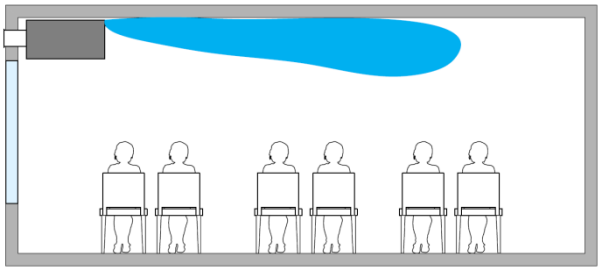
Figur 3: Beispiel Brüstungsgerät der Firma Trox Hesco [2]



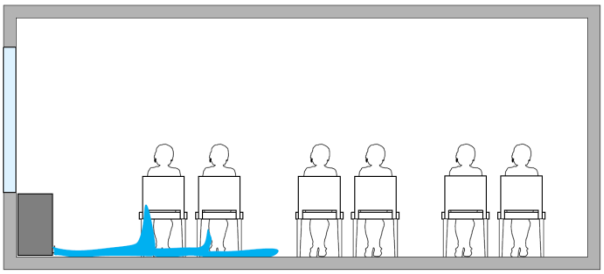
Figur 4: Zuluftströmung mit Deckendrallauslässen



Figur 5: Zuluftströmung Standgerät mit Quelllüftung



Figur 6: Zuluftströmung Deckengerät



Figur 7: Zuluftströmung Brüstungsgerät

3 Zielsetzung und Vorgehen

3.1 Zielsetzung

Systemlösungen und Produkte für dezentrale Schulhauslüftungen werden untersucht und beurteilt. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind:

- Qualitativer und quantitativer Vergleich von heutigen Produkten
- Planungsempfehlungen für Architekten und Gebäudetechnikplaner
- Empfehlungen für die Umsetzung und allfällige weitere F+E-Aktivitäten

3.2 Vorgehen

Recherche

Einschlägige Anforderungen und Empfehlungen aus Normen, Baustandards und Fachliteratur werden zusammengefasst.

Im Rahmen einer Recherche werden bekannte Lösungen zusammengestellt und verglichen.

Experimentelle Untersuchungen

Es werden vier Produkte evaluiert, die experimentell untersucht werden. Diese werden unter Laborbedingungen ausgemessen.

Je nach Bauart der Geräte lehnen sich die Prüfungen an folgende Normen an:

- EN 13053:2012 Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumlufttechnische Geräte – Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten
- EN 13141-7:2010 Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschließlich Wärmerückgewinnung
- EN 13141-8:2013 Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen - Teil 8: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten ohne Luftführung (einschließlich Wärmerückgewinnung)

Für die bekannten verschiedenen Bauarten von Lüftungsgeräten trifft keine der aufgeführten Normen vollständig zu. Die Prüfmodelle werden nach der Evaluation der Geräte ausgearbeitet. Dabei werden folgende Leistungskenngrössen erhoben:

- Bestimmung der thermischen Eigenschaften bei 3 Volumenströmen (Abluft 20°C / < 35%r.F. und Aussenluft 7°C / ca. 80%r.F.)
- Elektrische Aufnahmeleistung bei drei Volumenströmen, und bei Geräten mit Kanalanschlüssen pro Volumenstrom bei mind. drei verschiedenen Förderdrücken.
- Bestimmung der internen und externen Leckage
- Filter-Bypass-Volumenstrom
- Frostschutzprüfung
- Schallleistungspegel in den Anschlusskanälen und der Geräteabstrahlung bei einem Volumenstrom

Zusätzlich zu den in den Normen behandelten Leistungskenngrössen wird eine hygienische Beurteilung der Geräte durchgeführt.

Bei zwei Geräten wird die thermische Behaglichkeit beurteilt. Dabei werden die Geräte realitätsnah in einem Raum eingebaut.

Die Prüfung der vier Geräte wird in separaten Prüfberichten dokumentiert und den Herstellern zur Verfügung gestellt. Die Resultate werden in anonymisierter Form im Schlussbericht zusammengefasst.

Energiebedarf

Es wird ein energetischer Vergleich der untersuchten Lüftungsgeräte erstellt. Die Leistungsdaten der Lüftungsgeräte werden auf Basis der Messungen eingesetzt.

Planungsempfehlungen

Die Erkenntnisse der Analyse und der experimentellen Untersuchungen werden beurteilt und in Planungsempfehlungen umgesetzt.

4 Recherche

4.1 Normen und Literatur

Wie bereits im Kapitel 2 erwähnt, fördert eine kontinuierlich gute Raumluftqualität die Leistungsfähigkeit von Lernenden. Die Recherchen der aktuellen Normen und Richtlinien haben folgendes aufgezeigt:

Die Norm SIA 382/1:2014 [4] führt Vorgaben zur Raumluftqualität für Räume mit Personenaufenthalt auf (siehe Tabelle 1). Darin geht hervor, dass für eine mechanische Lüftung in Schulzimmern ein Aussenluftvolumenstrom von 18 bis 30 m³/h·Person gefordert ist. Mit dieser Aussenluftmenge kann ein CO_2-Pegel von 1000 bis 1400 ppm erreicht werden [4]. Gemäss verschiedenen Forschungsarbeiten empfiehlt es sich, einen Tagesmittelwert der CO_2-Raumluftkonzentration von 1000 ppm nicht zu überschreiten [5]. Dies kann mit Aussenluftvolumenströmen ab 25 m³/h·Person erreicht werden. Dieser Wert ist im Rahmen von Messungen an Zürcher Schulhäuser [6] bestätigt worden und deckt sich mit den Angaben für Schulzimmer des SIA 382/1:2014.

Tabelle 1: Klassierung der Raumluftqualität (RAL) gemäss SIA 382/1:2014

Kat.	Beschreibung	Beispiele
RAL 1	Raumluft mit hoher Luftqualität	
	Luft in Räumen mit besonderen Anforderungen an den Gehalt von Fremd- und Geruchsstoffen in der Raumluft	Labor- und Produktionsräume für empfindliche Arbeiten bzw. Güter
RAL 2	Raumluft mit mittlerer Luftqualität	
	Luft in Räumen, die dem Aufenthalt von Personen dienen und bei denen erhöhte Ansprüche gestellt werden; CO_2-Pegel < 1000 ppm*, Luftrate > 30 m³/h·Person	Räume mit speziellen Ansprüchen an Gerüche, insbesondere für neu eintretende Personen
RAL 3	Raumluft mit mässiger Luftqualität	
	Luft in Räumen, die dem Aufenthalt von Personen dienen; CO_2-Pegel 1000 bis 1400 ppm*, Luftrate 18 bis 30 m³/h·Person	Typische Wohn- und Bürogebäude
RAL 4	Raumluft mit niedriger Luftqualität	
	Luft in Räumen, in denen sich nur selten oder keine Personen aufhalten, sowie in Räumen, in denen geraucht wird	Lagerräume, Korridore; alle Räume, in denen geraucht wird
*Die angegebenen CO_2-Pegel gelten für einen CO_2-Gehalt der Aussenluft von 400 ppm und eine CO_2-Emission pro Person von 18 l/h.		

Messungen der Raumluftqualität in Schulzimmern mit mechanischen Lüftungen haben gezeigt, dass die Vorgaben an die mittlere Raumluftqualität (RAL 2) in der Regel erreicht werden. In Schulhäusern mit knapper Bemessung des Aussenluftvolumenstroms (unter 25 m³/h·Person) empfiehlt sich eine zusätzliche manuelle Fensterlüftung während der Pausen. [5], [7]

Wegen der relativ geringen Volllaststunden (gemäss SIA 2024:2015 1550 h/a) soll bei einer mechanischen Lüftung unbedingt eine Bedarfssteuerung vorgesehen werden. Neben der Energieeffizienz spricht vor allem das Vermeiden einer zu tiefen Raumluftfeuchte für diese Massnahme [5].

Um unrealistische Erwartungen, unzufriedene Nutzer und falsches Verhalten bei Störungen zu vermeiden, ist eine intensive Kommunikation mit den Lehrkräften und den Lernenden notwendig. Eine reine Fensterlüftung in den Pausen reicht bei Klassenzimmern mit üblichen Belegungen und Dimensionen nicht aus, um während einer ganzen Lektion (45 Minuten), eine mässige Raumluftqualität (RAL 3) zu erreichen [8]. Vorteilhaft sind gegenüberliegende Fenster [21].

4.2 Produkteübersicht

In den Tabellen 3 bis 12 sind 19 Schulhauslüftungsgeräte von neun verschiedenen Herstellern aufgeführt. Bei vier davon sind im Rahmen des Projekts Messungen durchgeführt worden.

Für die Produkteangaben des dezentralen Schulzimmerlüftungsgerätes der Firma LTG (Typ FVS Univent) wurde vom Hersteller keine Freigabe erteilt. Aus diesem Grund ist das Gerät nicht im Raster aufgeführt.

Die Legende zur Produkteübersicht ist in der Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2: Legende zur Produktübersicht

Legende Produkteübersicht	
✓	Grund- / Standardausstattung
×	Keine Anschlussmöglichkeit und/oder nicht in Grundausstattung oder keine Angaben
≈	Anschlussmöglichkeit vorhanden jedoch nicht in Grundausstattung enthalten

Bei den aufgeführten Preisen handelt es sich um Richtpreise, die keine Transport- und Installationskosten enthalten. Weiter sind keine Umrechnungskurse, Mengenrabatte usw. eingerechnet. Zudem unterscheiden sich die Preise je nach Ausführungsvariante.

Tabelle 3: Produktübersicht Fabrikat Drexel-Weiss

Firma:		[redacted]	
Typ:		[redacted]	[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.] o. [€/Stk.]:		7‘486.-- €/Stk.	9‘100.-- €/Stk.
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		2900 x 562 x 480	3430 x 560 x 560
Filterklasse:	AUL	F7	F7
	ABL	M5	G4
Preis Ersatzfilter	AUL	30.30 €/Stk.	35.-- €/Stk.
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL	30.30 €/Stk.	35.-- €/Stk.
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		320	450
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		400	600
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		k. A.	k. A.
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		450 (bei 170 Pa) 600 (bei 50 Pa)	700 (bei 170 Pa) 850 (bei 50 Pa)
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		160 (bei 100 Pa)	250
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		400 [2)]	600
Wärmebereitstellungsgrad η_{PHI} [%]:		78 (nach PHI)	80 (nach PHI)
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		250 max. Leistung Ventilatoren	350
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		k. A.	k. A.
Schallleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		n.a. [1)]	n.a. [1)]
Ausstattung:			
Bypassklappe		×	✓
Wärmetauscher		✓	✓
Enthalphie-Wärmetauscher		×	×
AUL- und FOL-Klappe		×	✓
Kondensathebepumpe		×	×
Filter		✓	✓
Filterüberwachung		✓	✓
Regelung		✓	✓
Temperatursensoren		×	✓
CO_2-Sensor		≈	≈
VOC-Sensor		×	×
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		×	×
Feuchtesensor		≈	≈
Fernbedienung / Bedienteil		✓	✓
Zeitschaltuhr / -programm		✓	✓
BSK / Feueralarm		✓	✓
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		×	×
Sammelstörausgang (Schliesser)		×	×
Heizregister elektrisch		✓	✓
Heizregister PWW		×	×
Kühlregister		×	×
Anmerkung		Ohne Kanal-anschlussstutzen ZUL/ABL; enthält bereits Schall-dämpfer, Luftein- und Luft-auslass; Deckengerät	Ohne Kanal-anschlussstutzen ZUL/ABL; enthält bereits Schall-dämpfer, Luftein- und Luft-auslass; Deckengerät

1) Anstelle des Schallleistungspegels gibt der Hersteller nur einen Schalldruckpegel in einem Raum an. Der entsprechende Wert stammt aus der PHI-Zertifizierung und ist nicht genormt.

Tabelle 4: Produktübersicht Fabrikat Energenio 1/2

Firma:		[redacted]	
Typ:		[redacted]	[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.] o. [€/Stk.]:		7364.50 CHF/Stk.	8712.—CHF/Stk.
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		1982 x 473 x 880	1978 x 473 x 880
Filterklasse:	AUL	F7	F7
	ABL	M5	M5
Preis Ersatzfilter	AUL	52.80 CHF/Stk.	52.80 CHF/Stk.
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL	38.50 CHF/Stk.	38.50 CHF/Stk.
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		k. A.	k. A.
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		k. A.	k. A.
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		k. A.	k. A.
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		540	870
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		200	250
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		400	600
Temperaturverhältnis Zuluftseite $\eta_{\theta,su}$ [%]:		97 max.	97 max.
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		170 (ohne Heizregister)	340 (ohne Heizregister)
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		0.15 (bei 0.7 V_{max} / 20 Pa)	0.20 (bei 0.7 V_{max} / 20 Pa)
Schallleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		< 35	< 35
Ausstattung:			
Bypassklappe		✓	✓
Wärmetauscher		✓	✓
Enthalphie-Wärmetauscher		≈	≈
AUL- und FOL-Klappe		✓	✓
Kondensathebepumpe		✓	✓
Filter		✓	✓
Filterüberwachung		✓	✓
Regelung		✓ (Mikroprozessregelung)	✓ (Mikroprozessregelung)
Temperatursensoren		✓	✓
CO_2-Sensor		✓	✓
VOC-Sensor		≈	≈
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		≈	≈
Feuchtesensor		×	×
Fernbedienung / Bedienteil		✓	✓
Zeitschaltuhr / -programm		✓	✓
BSK / Feueralarm		≈	≈
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		≈	≈
Sammelstörausgang (Schliesser)		≈	≈
Heizregister elektrisch		✓	✓
Heizregister PWW		≈	≈
Kühlregister		×	×
Anmerkung		Ohne Kanalanschluss-stutzen ZUL/ABL; Decken-gerät; Enthalpie-Tauscher optional;	Ohne Kanalanschluss-stutzen ZUL/ABL; Decken-gerät; Enthalpie-Tauscher optional

Tabelle 5: Produktübersicht Fabrikat Energenio 2/2

Firma:		[redacted]	
Typ:		[redacted]	[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.] o. [€/Stk.]:		9317.-- CHF/Stk.	10‘103.50 CHF/Stk.
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		1282 x 2017 x 516	1500 x 2000 x 598
Filterklasse:	AUL	F7	F7
	ABL	M5	M5
Preis Ersatzfilter	AUL	83.60 CHF/Stk.	92.40 CHF/Stk.
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL	79.20 CHF/Stk.	82.50 CHF/Stk.
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		k. A.	k. A.
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		k. A.	k. A.
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		k. A.	k. A.
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		570 (bei 50 Pa)	920 (bei 50 Pa)
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		200 (bei 10 Pa)	250 (bei 10 Pa)
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		400	650
Temperaturverhältnis Zuluftseite $\eta_{\theta,su}$ [%]:		97.4 max.	97.4 max.
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		170 (ohne Heizregister)	340 (ohne Heizregister)
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		0.23 (bei 0.7 V_{max} / 50 Pa)	0.21 (bei 0.7 V_{max} / 50 Pa)
Schalleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		< 33	< 33
Ausstattung:			
Bypassklappe		✓	✓
Wärmetauscher		✓	✓
Enthalphie-Wärmetauscher		≈	≈
AUL- und FOL-Klappe		✓	✓
Kondensathebepumpe		✓	✓
Filter		✓	✓
Filterüberwachung		✓	✓
Regelung		✓ (Mikroprozessregelung)	✓ (Mikroprozessregelung)
Temperatursensoren		✓	✓
CO_2-Sensor		✓	✓
VOC-Sensor		≈	≈
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		≈	≈
Feuchtesensor		×	×
Fernbedienung / Bedienteil		✓	✓
Zeitschaltuhr / -programm		✓	✓
BSK / Feueralarm		≈	≈
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		≈	≈
Sammelstörausgang (Schliesser)		≈	≈
Heizregister elektrisch		✓	✓
Heizregister PWW		≈	≈
Kühlregister		×	×
Anmerkung		Standgerät; Enthalpie-Tauscher optional	Standgerät; Enthalpie-Tauscher optional

Tabelle 6: Produktübersicht Fabrikate Exhausto und LTM gmbh Ulm

Firma:		[redacted]	[redacted]
Typ:		[redacted]	[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.] o. [€/Stk.]:		k. A.	6‘947.-- €/Stk.
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		2072 x 840 x 500	1688 x 902 x 507
Filterklasse:	AUL	F7	M5 / F7 / F9
	ABL	M5	M5
Preis Ersatzfilter	AUL	k. A.	70.-- €/Stk. (Set 2 x M5)
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL	k. A.	
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		k. A.	425
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		500	600
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		k. A.	50 (bei V_{max}) 280 (bei V_{Nenn})
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		750 (bei 50 Pa)	870
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		150	192
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		850 max. Luftmenge	600
Temperaturverhältnis Zuluftseite $\eta_{\theta,su}$ [%]:		81.5	80
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		575	329
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		0.20	0.24
Schalleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		37	< 33 (bei V_{Nenn})
Ausstattung:			
Bypassklappe		✓	✓
Wärmetauscher		✓	✓
Enthalphie-Wärmetauscher		×	×
AUL- und FOL-Klappe		✓	✓
Kondensathebepumpe		≈	✓
Filter		✓	✓
Filterüberwachung		✓ 1)	×
Regelung		✓	✓
Temperatursensoren		✓ 2)	✓
CO_2-Sensor		≈	≈
VOC-Sensor		×	≈
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		✓	≈
Feuchtesensor		≈	≈
Fernbedienung / Bedienteil		≈	≈
Zeitschaltuhr / -programm		✓	✓
BSK / Feueralarm		✓	≈
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		≈ 3)	≈
Sammelstörausgang (Schliesser)		✓ (Umschaltkontakt)	≈
Heizregister elektrisch		≈	✓
Heizregister PWW		≈	×
Kühlregister		×	≈
Anmerkung		Ohne Kanalanschlussstutzen ZUL/ABL; Wand- oder Deckengerät 1) über Zeitprogramm 2) 4 Stk. montiert 3) Relais oder Webserver	Mit o. ohne Kanalanschlussstutzen ZUL/ABL; Deckengerät; Allgemein bauaufsichtlich zugelassenes Lüftungsgerät als freiblasendes Gerät wie auch als kanalgeführte Ausführung.

Tabelle 7: Produktübersicht Fabrikat Rosenberg Ventilatoren GmbH

Firma:		[redacted]	
Typ:		[redacted]	[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.] o. [€/Stk.]:		k. A.	k. A.
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		1950 x 570 x 1900	997 x 606 x 2078
Filterklasse:	AUL	F7 (bis F9 möglich)	F7 (bis F9 möglich)
	ABL	M5 (bis F7 möglich)	M5 (bis F7 möglich)
Preis Ersatzfilter	AUL	k. A.	k. A.
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL	k. A.	k. A.
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		500	350
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		750	55
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		50	50
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		750	50
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		250	250
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		750 (bei 35 dB(A)/50 Pa ext.) 450 (bei 30 dB(A)/50 Pa ext.)	500 (bei 34 dB(A)/50 Pa ext.) 350 (bei 30 dB(A)/50 Pa ext.)
Temperaturverhältnis Zuluftseite $\eta_{\theta,su}$ [%]:		> 90	> 93
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		135 (je Ventilator)	92 (je Ventilator)
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		0.25	0.27
Schallleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		35 (in 1 m Abstand)	34 (in 1 m Abstand)
Ausstattung:			
Bypassklappe		✓	✓
Wärmetauscher		✓	✓
Enthalphie-Wärmetauscher		≈	≈
AUL- und FOL-Klappe		✓	✓
Kondensathebepumpe		×	×
Filter		✓	✓
Filterüberwachung		✓	✓
Regelung		✓	✓
Temperatursensoren		✓ (in ZUL, AUL und Raum)	✓
CO_2-Sensor		✓	✓
VOC-Sensor		≈	≈
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		≈	≈
Feuchtesensor		≈	≈
Fernbedienung / Bedienteil		✓	✓
Zeitschaltuhr / -programm		✓	✓
BSK / Feueralarm		✓	✓
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		✓	✓
Sammelstörausgang (Schliesser)		✓	✓
Heizregister elektrisch		✓ (integriert)	≈
Heizregister PWW		×	×
Kühlregister		×	×
Anmerkung		Ohne Kanal-anschlussstutzen ZUL/ABL; Integrierter Quellluftauslass; Standgerät, Anschlussseite Links/Rechts wählbar	Ohne Kanalanschlussstut-zen ZUL/ABL; Integrierter Quellluftauslass + Abluft-gitter; Standgerät, An-schlussseite Links/Rechts wählbar

Tabelle 8: Produktübersicht Fabrikate SIEGENIA und TROX HESCO Schweiz AG

Firma:		[redacted]	[redacted]
Typ:		[redacted]	[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.] o. [€/Stk.]:		1‘715.-- CHF/Stk.	9‘200.- CHF/Stk. Brutto exkl. MWST
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		1150-3000 x 380-500 x 100	2090 x 741 x 417
Filterklasse:	AUL	F7	F7
	ABL	G3	G3
Preis Ersatzfilter	AUL	69.60 CHF/Stk. (Set Zu- und Abluft (F7/G3))	78.-- CHF/Stk.
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL		7.-- CHF/Stk.
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		40	Bei Schallleistungspegel 30 dB(A): 125 m^3/h
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		48	Bei Schallleistungspegel 35 dB(A): 175 m^3/h
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		k. A.	20
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		56 (>27 dB(A))	600
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		20 (20 dB(A))	100
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		Stufe 3: 56	150 / 225 / 300 / (400 Boost) Ab Werk standard-mässig eingestellt
Temperaturverhältnis Zuluftseite $\eta_{\theta,su}$ [%]:		< 62	Trocken ErP (Lot 6) bei 300 m^3/h = 82.2%
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		Stufe 3: 21	138 (Boost-Stufe) 75 (bei V_{Nenn})
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		0.30	SFP 1 (max. 0.28)
Schallleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		k. A.	33 (V_{Nenn}) – 49 (V_{max})
Ausstattung:			
Bypassklappe		×	✓
Wärmetauscher		✓	✓
Enthalphie-Wärmetauscher		×	×
AUL- und FOL-Klappe		×	✓
Kondensathebepumpe		×	×
Filter		✓	✓
Filterüberwachung		✓	✓
Regelung		✓	✓
Temperatursensoren		≈	✓
CO_2-Sensor		≈	×
VOC-Sensor		≈	✓
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		×	≈
Feuchtesensor		≈	×
Fernbedienung / Bedienteil		≈	×
Zeitschaltuhr / -programm		×	✓
BSK / Feueralarm		×	≈
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		×	✓
Sammelstörausgang (Schliesser)		×	×
Heizregister elektrisch		×	×
Heizregister PWW		×	✓
Kühlregister		×	≈
Anmerkung		Fensterlüfter mit WRG; Kleiner Volumenstrombereich	Brüstungsgerät; Luft-Wasser Wärmeüberträger mit Kühlfunk-tion

Tabelle 9: Produktübersicht Fabrikat Turbovex / aero comfort gmbh 1/2

Firma:		[redacted]	
Typ:		[redacted]	[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.] o. [€/Stk.]:		6‘214.-- CHF	4‘190.-- CHF
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		1500 x 828 x 493	1200 x 595 x 403
Filterklasse:	AUL	M5 (optional F7)	M5 (optional F7)
	ABL	M5	M5
Preis Ersatzfilter	AUL	53.-- CHF/Stk. (F7-Filter 106.-- CHF/Stk.)	51.-- CHF /Stk. (F7-Filter 102.-- CHF/Stk.)
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL	31.-- CHF	31.-- CHF
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		425	100
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		500	250
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		k. A.	k. A.
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		800	480
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		350	100
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		500	250
Temperaturverhältnis Zuluftseite $\eta_{\theta,su}$ [%]:		84.5	80.6
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		65 W (bei 500 m³/h)	28 W (bei 250 m³/h)
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		0.13	0.11
Schallleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		25 / 30 / 35	25 / 30 / 35
Ausstattung:			
Bypassklappe		✓	✓
Wärmetauscher		✓	✓
Enthalphie-Wärmetauscher		×	×
AUL- und FOL-Klappe		✓	✓
Kondensathebepumpe		≈	≈
Filter		✓	✓
Filterüberwachung		✓	✓
Regelung		✓	✓
Temperatursensoren		✓	✓
CO_2-Sensor		✓	✓
VOC-Sensor		≈	≈
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		≈	≈
Feuchtesensor		≈	≈
Fernbedienung / Bedienteil		≈	≈
Zeitschaltuhr / -programm		✓	✓
BSK / Feueralarm		✓	✓
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		×	×
Sammelstörausgang (Schliesser)		✓	✓
Heizregister elektrisch		≈ (650 W)	≈ (400 W)
Heizregister PWW		≈ (670 W)	≈ (340 W)
Kühlregister		×	×
Anmerkung		-Der Lieferung liegen die Anschlussstutzen bei, diese müssen durch den Unternehmer entsprechend seitlich oder oben am Gerät angebracht werden. -Das Gerät wird mittels einer Konsole an die Wand oder an die Decke verschraubt. Es kann aber auch AUL an der Fassade angesogen und die FOL über Dach geblasen werden. -Optional kann die Ausführung Combi L/R geordnet werden, welche einen zusätzlichen Anschlussstutzen ABL aufweist. Über diesen kann ca. 15-20 % der ABL-Luftmenge abgesogen werden, je nach Druckverlust in der Leitung / Armaturen.	

Tabelle 10: Produktübersicht Fabrikat Turbovex / aero comfort gmbh 2/2

Firma:		[redacted]	
Typ:		[redacted]	[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.] o. [€/Stk.]:		7‘416.-- CHF/Stk.	9‘147.-- CHF/Stk.
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		1800 x 895 x 565	2100 x 1050 x 665
Filterklasse:	AUL	M5 (optional F7)	M5 (optional F7)
	ABL	M5	M5
Preis Ersatzfilter	AUL	59.-- CHF/Stk. (F7-Filter 116.-- CHF)	64.-- CHF/Stk. (F7-Filter 126.--CHF/Stk.)
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL	31.-- CHF /Stk.	31.-- CHF/Stk.
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		600	700
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		750	1000
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		k. A.	k. A.
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		1‘100	1‘600
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		350	500
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		750	1‘000
Temperaturverhältnis Zuluftseite $\eta_{\theta,su}$ [%]:		82	80.6
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		78 W (bei 750 m³/h)	150 W (bei 1000 m³/h)
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		0.10	0.15
Schallleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		25 / 30 / 35	25 / 30 / 35
Ausstattung:			
Bypassklappe		✓	✓
Wärmetauscher		✓	✓
Enthalphie-Wärmetauscher		×	×
AUL- und FOL-Klappe		×	×
Kondensathebepumpe		≈	≈
Filter		✓	✓
Filterüberwachung		✓	✓
Regelung		✓	✓
Temperatursensoren		×	×
CO_2-Sensor		✓	✓
VOC-Sensor		≈	≈
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		≈	≈
Feuchtesensor		≈	≈
Fernbedienung / Bedienteil		≈	≈
Zeitschaltuhr / -programm		✓	✓
BSK / Feueralarm		✓	✓
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		×	×
Sammelstörausgang (Schliesser)		✓	✓
Heizregister elektrisch		≈	≈
Heizregister PWW		≈	≈
Kühlregister		×	×
Anmerkung		Ohne Kanalanschlussstutzen ZUL/ABL; Deckengerät -Der Lieferung liegen die Anschlussstutzen bei, diese müssen durch den Unternehmer entsprechend seitlich oder oben am Gerät angebracht werden. -Das Gerät wird mittels einer Konsole an die Wand oder an die Decke verschraubt. Es kann aber auch AUL an der Fassade angesogen und die FOL über Dach geblasen werden.	

Tabelle 11: Produktübersicht Fabrikat Wesco / AIRFLOW 1/2

Firma:		[redacted]	
Typ:		[redacted]	[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.]:		k. A.	k. A.
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		1910 x 916 x 473	800 x 674 x 2323
Filterklasse:	AUL	M5 / F7	M5 / F7
	ABL	M5 / M5	M5 / M5
Preis Ersatzfilter	AUL	k. A.	k. A.
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL	k. A.	k. A.
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		650 [2] / 585 [3]	690 [2) 6)] / 621 [3) 6)] 650 [2) 7)] / 585 [3) 7)]
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		725 [2] / 652 [3]	830 [2) 6)] / 747 [3) 6)] 800 [2) 7)] / 720 [3) 7)]
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		9 (Wandgitter Ø315) / - (Wandgitter Ø400)	11 (Wandgitter Ø315) / - (Wandgitter Ø400)
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		650 [4]	690 [4]
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		195 [2] / 176 [3]	207 [2) 6)] / 186 [3) 6)] 195 [2) 7)] / 176 [3) 7)]
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		218	249 [2) 6)] / 240 [2) 7)]
Temperaturverhältnis Zuluftseite $\eta_{\theta,su}$ [%]:		84 [1]	88 [1]
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		156 [1]	240 [1]
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		0.22 [1]	0.25 [1]
Schallleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		35 [1]	35 [1]
Ausstattung:			
Bypassklappe		✓	✓
Wärmetauscher		✓	✓
Enthalphie-Wärmetauscher		×	×
AUL- und FOL-Klappe		✓	✓
Kondensathebepumpe		≈	≈
Filter		✓	✓
Filterüberwachung		✓	✓
Regelung		✓	✓
Temperatursensoren		✓	✓
CO_2-Sensor		✓	✓
VOC-Sensor		≈	≈
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		≈	≈
Feuchtesensor		≈	≈
Fernbedienung / Bedienteil		≈	≈
Zeitschaltuhr / -programm		✓	✓
BSK / Feueralarm		✓	✓
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		×	×
Sammelstörausgang (Schliesser)		✓[5]	✓[5]
Heizregister elektrisch		≈	≈
Heizregister PWW		≈	≈
Kühlregister		800V × / 800H ✓	×
Anmerkung		Mit Kanalanschluss AUL/FOL, ZUL/ABL mit/ohne Kanalanschluss; Decken- oder Wandmontage [1] Bei Nennluftvolumenstrom [2] AUL M5-Filter / ABL M5-Filter [3] AUL F7-Filter / ABL M5-Filter [4] bei AUL/ABL-Filter M5 und 30dB(A) [5] (Kontakt NO) APM-Version [6] Mischlüftung [7] Verdrängungslüftung	

Tabelle 12: Produktübersicht Fabrikat Wesco / AIRFLOW 2/2

Firma:		[redacted]
Typ:		[redacted]
Preis Grundausstattung [CHF/Stk.] o. [€/Stk.]:		k. A.
Abmessungen [L x B x H] [mm]:		2324 x 1214 x558
Filterklasse:	AUL	M5 / F7
	ABL	M5 / M5
Preis Ersatzfilter	AUL	k. A.
[CHF/Stk.] o. [€/Stk.]	ABL	k. A.
Maximale Kapazität bei 30 dB(A) [m^3/h]:		950 [2] / 925 [3]
Maximale Kapazität bei 35 dB(A) [m^3/h]:		1075 [2] / 1060 [3]
Externer Druckverlust [Pa] Ext. Druckerhöhung [Pa]		- (Wandgitter Ø315) / 5 (Wandgitter Ø400)
Maximaler Volumenstrom [m³/h]		950 [4]
Minimaler Volumenstrom [m³/h]		285 [2] / 278 [3]
Nennluftvolumenstrom [m^3/h]:		330 [2]
Temperaturverhältnis Zuluftseite $\eta_{\theta,su}$ [%]:		82 [1]
Maximale Leistungsaufnahme [W]:		305 [1]
Spezifische Geräteleistung [W/(m^3/h)]		0.24 [1]
Schallleistungspegel L_{WA} [dB(A)]		35 [1]
Ausstattung:		
Bypassklappe		✓
Wärmetauscher		✓
Enthalphie-Wärmetauscher		×
AUL- und FOL-Klappe		✓
Kondensathebepumpe		≈
Filter		✓
Filterüberwachung		✓
Regelung		✓
Temperatursensoren		✓
CO_2-Sensor		✓
VOC-Sensor		≈
PIR-Sensor (Bewegungsmelder)		≈
Feuchtesensor		≈
Fernbedienung / Bedienteil		≈
Zeitschaltuhr / -programm		✓
BSK / Feueralarm		✓
Pot.freie Ausgänge für Betriebsüberwachung		×
Sammelstörausgang (Schliesser)		✓ [5]
Heizregister elektrisch		≈
Heizregister PWW		≈
Kühlregister		×
Anmerkung		Mit Kanalanschluss AUL/FOL/ZUL/ABL [1] Bei Nennluftvolumenstrom [2] (Kontakt NO) APM-Version [3] AUL F7-Filter / ABL M5-Filter [4] bei Mischlüftung, AUL/ABL-Filter M5 und 30dB(A) [5] (Kontakt NO) APM-Version

5 Messkonzept

5.1 Prüflinge und Prüfbereich

Die Prüflinge sind als Funktionseinheit definiert, die das Standardlüftungsgerät (bestehend aus Ventilatoren, Wärmerückgewinnung, Bypassklappen, Filtern und Gehäuse) und die Steuer- / Regeleinrichtung umfassen. Bei Geräten ohne raumseitigen Kanalanschluss gehören weiter die Zu- und Abluftgitter zum Standardlüftungsgerät.

Die Bauarten sind in Tabelle 13 aufgeführt. In dieser Tabelle sind auch die bei der Prüfung verwendeten Luftvolumenströme und externen Differenzdrücke aufgeführt.

Für das Gerät mit Kanalanschlüssen wurden die deklarierten Volumenströme in Anlehnung an die EN 13141-7:2010 festgelegt. Dabei wird die Volumenstrom-/Druck-Kennlinie des Gerätes berücksichtigt. Bei den Geräten ohne Kanalanschlüsse wurden die Luftvolumenströme auf Basis der Herstellerangaben in Rücksprache mit dem Lieferanten festgelegt.

Der externe Differenzdruck ist beim Geräte mit Kanalanschluss durch die EN 13141-7:2010 definiert. Bei den Geräten ohne Kanalanschluss wurde einheitlich ein externer Differenzdruck von 30 Pa festgelegt. Dieser Wert steht stellvertretend für die Druckverluste der Aussen- und Fortluft-Durchlässe, die nicht Bestandteil der Prüflinge waren.

Tabelle 13: Merkmale und Betriebspunkte der vier untersuchten Lüftungsgeräte

Merkmal, Betriebspunkt	Lüftungsgerät			
	A	B	C	D
raumseitige Kanalanschlüsse	mit	ohne	ohne	ohne
Bauart	Schrankgerät	Brüstungsgerät	Deckengerät	Deckengerät
maximaler Volumenstrom q_{vd}	530 m³/h	300 m³/h	750 m³/h	650 m³/h
Nennvolumenstrom q_{vn}	371 m³/h	225 m³/h	525 m³/h	455 m³/h
minimaler Volumenstrom q_v	180 m³/h	150 m³/h	350 m³/h	180 m³/h
externer Differenzdruck für die Prüfung der thermischen, elektrischen und akustischen Kennwerte	bei q_{vd}: 100 Pa bei q_{vn}: 50 Pa bei q_v: 50 Pa	30 Pa	30 Pa	30 Pa

Die minimalen Volumenströme beziehen sich auf die Prüfbedingungen (Messung der Leistungskenndaten). Sie wurden so festgelegt, dass dabei die aufgeführten externen Differenzdrücke erreicht werden. Die Volumenströme wurden von Hand eingestellt, d.h. nicht über eine CO_2-Regelung.

5.2 Prüfprogramm

5.2.1 Wärme- und strömungstechnische Untersuchungen

Wo nicht anders erwähnt werden diese Prüfungen gemäss EN 13141-7:2010 und die EN 13141-8:2013 durchgeführt. Detaillierte Angaben zum Prüfaufbau und zur Auswertung finden sich im Anhang A1.

Interne und externe Leckage

Die interne Leckage des Prüflings zwischen Abluft-/Fortluftseite und Aussenluft-/Zuluftseite wird bestimmt, indem die Abluft-/Fortluftseite mit einem Stützventilator unter Druck gesetzt wird. Die Druckdifferenz zwischen der Aussenluft-/Zuluftseite und der Umgebungsluft wird mit einem ex-

ternen Ventilator konstant auf 0 Pa gehalten. Die Leckage entspricht dem Volumenstrom auf der Aussenluft-/Zuluftseite, der zur Stabilisierung der Differenzdruckes von 0 Pa nötig ist.

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

Messgrössen: Leckluftvolumenstrom, Druckdifferenz, atmosphärischer Luftdruck, Temperatur

Filter-Bypass-Volumenstrom

Der Filter-Bypass-Volumenstrom bzw. die Filter-Bypass-Leckage wird in zwei Schritten bestimmt.

Schritt 1: Ermittlung der Gesamtleckage (Leckage durch das Gehäuse und durch die Verbindungsstelle zwischen Filterrahmen und Gehäuse). Die Eintrittsseite der Filterzelle wird mit einer Folie luftdicht verschlossen. Mit einem Stützventilator wird eine stationäre Druckdifferenz über den Filter eingestellt. Die Leckage entspricht dem zugeführten Volumenstrom, der zur Stabilisierung des Differenzdruckes nötig ist.

Schritt 2: Ermittlung der Leckage durch das Gehäuse. Zusätzlich zur Filterzelle wird die Verbindungsstelle zwischen Filterrahmen und Gehäuse abgedichtet und die Messung analog Schritt 1 durchgeführt.

Die Filter-Bypass-Leckage entspricht der Differenz der Leckluftvolumenströme aus Schritt 1 und 2.

In Abweichung zur Norm, aber im Sinn einer besseren Vergleichbarkeit der Geräte untereinander wurde der Filter-Bypass-Volumenstrom bei allen Geräten in einem Bereich von 50 bis 400 Pa bestimmt.

Messgrössen: Volumenstrom, Differenzdruck, Temperatur, atmosphärischer Luftdruck

Volumenstrom- / Druck-Kennlinie

Die Volumenstrom / Druck Kennlinien werden anhand von neun Messpunkten ermittelt.

Messgrössen: Temperatur, absolute Luftfeuchte, Volumenstrom, Druckdifferenz

Thermodynamische Prüfung

Das Temperaturverhältnis wird auf die Zuluftseite und auf die Fortluftseite bezogen ausgewiesen. Dieser zweite Wert ist für die Energiebilanz entscheidend und wird in dieser Arbeit für die Berechnung der Energieeinsparung verwendet. Bei dieser Prüfung wird auch die elektrische Aufnahmeleistung gemessen.

Die Prüfung wird bei drei Volumenströmen durchgeführt. Die Luftkonditionen sind im Standard-Prüfpunkt der beiden Normen so gewählt, dass keine Kondensation auftritt:

- Abluft: 20°C, 35 % r.F.
- Aussenluft: 7°C, 65 % r.F.

Messgrössen: Temperatur, absolute Luftfeuchte, Volumenstrom, Druckdifferenz, elektrische Aufnahmeleistung

Frostschutzprüfung

Die Frostschutzprüfung erfolgt beim Nennvolumenstrom.

Die Messungen der Frostprüfungen erfolgen gemäss prEN 13141-7:2016. Im aktuellen Entwurf der Prüfnorm wird der Ablauf konkreter beschrieben, als in der noch alten, gültigen Version.

Die Frostschutzprüfung startet mit einer Aussentemperatur von +2 °C. Diese wird dann innerhalb von mindestens 3 Stunden kontinuierlich bis auf -15 °C gesenkt. Dabei kann u.a. festgestellt werden bei welcher Aussentemperatur die Frostschutzfunktion aktiviert wird.

Messgrössen: Temperatur, Volumenstrom, elektrische Leistung

5.2.2 Akustische Prüfung

Die akustischen Messungen erfolgten gemäss EN 13141-7:2010 und EN 13141-8:2013. Detaillierte Angaben zum Prüfaufbau und zur Auswertung finden sich im Anhang A2.

Die Schallemissionen werden bei drei Volumenströmen gemessen. Beim Gerät mit Kanalanschluss wird der Schallleistungspegel in den vier Leitungsanschlüssen gemessen. Zudem wird der Schallleistungspegel der Gehäuseabstrahlung bestimmt. Bei den Geräten ohne raumseitige Kanalanschlüsse wird der gesamte, im Aufstellungsraum emittierte Schallleistungspegel (d.h. Zuluft, Abluft und Gehäuse) pauschal gemessen. Zudem werden die Schallleistungspegel an den aussenseitigen Leitungsanschlüssen gemessen.

Messgrössen: Volumenstrom, elektrische Leistung, Schalldruckpegel, atmosphärischer Luftdruck, Temperatur

5.2.3 Hygienische Beurteilung

Die hygienische Beurteilung erfolgt anhand der Kriterien der DIN 4719:2009 [18]. Da dabei keine Klassierung erfolgt, wird die Methode der Deklaration Komfortlüftung von energie-cluster [19] zugezogen: Ein Lüftungsgerät, das bei allen Kriterien mit der Bestbewertung abschneidet, erhält die Hygieneklasse A. Wenn ein Kriterium nicht oder nur teilweise erfüllt ist, wird eine Klasse abgezogen.

5.2.4 Thermische Behaglichkeit

Detaillierte Angaben zum Prüfaufbau und zur Auswertung finden sich im Anhang A4.

Die Behaglichkeitsuntersuchungen werden an zwei Prüflingen mit integrierter Regelung durchgeführt. Die messtechnischen Überprüfungen der thermischen Behaglichkeit in der Aufenthaltszone sind in Anlehnung SIA 180:2014 und in Übereinstimmung mit der SN EN ISO 7730 erfolgt.

Messgrössen: Volumenstrom, Temperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit

6 Messresultate

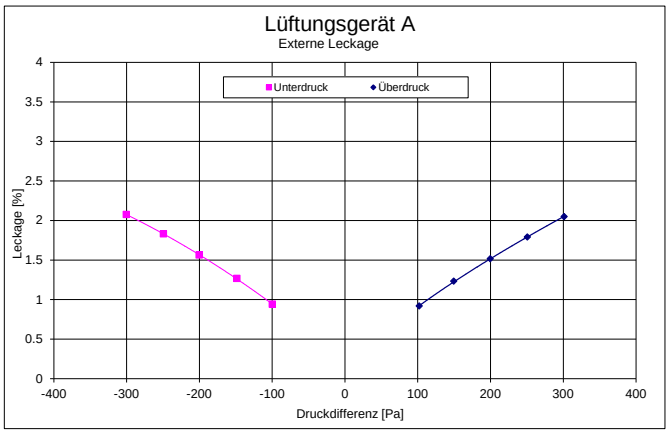
6.1 Prüfinstitut und Prüfberichte

Die experimentellen Untersuchungen wurden an der Prüfstelle Gebäudetechnik der Hochschule Luzern in Horw durchgeführt. Die Messungen sind in den Prüfberichten, die für jedes Gerät erstellt wurden, detailliert dokumentiert. Hier werden die anonymisierten Resultate zusammengefasst.

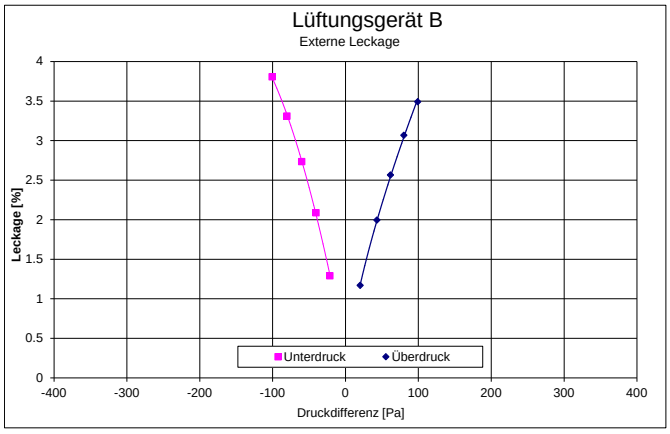
6.2 Leckage

Die Messergebnisse für die externen und internen Leckagen der Lüftungsgeräte sind in den Figuren 8 bis 15 ersichtlich. Das Lüftungsgerät mit Kanalanschlüssen an der Aussen-, Zu-, Ab- und Fortluft wurde in einem Bereich von ±100 Pa bis ±300 Pa ausgemessen. Die anderen Lüftungsgeräte, welche in der Zu- und Abluft direkt ausblasend sind, sind in einem Bereich von ±20 Pa bis ±100 Pa ausgemessen worden.

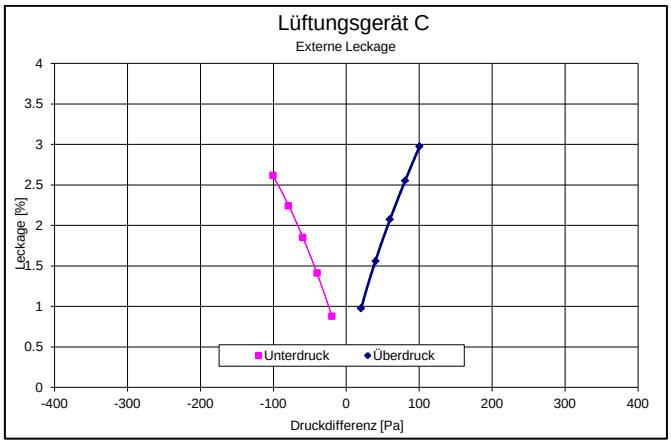
Externe Leckage



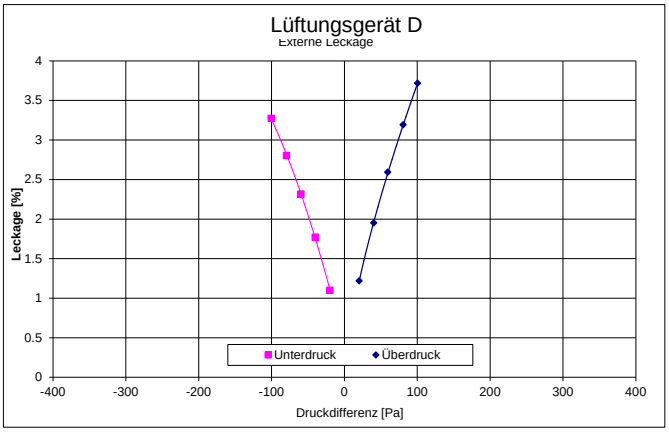
Figur 8: Externe Leckage – Lüftungsgerät A



Figur 9: Externe Leckage - Lüftungsgerät B

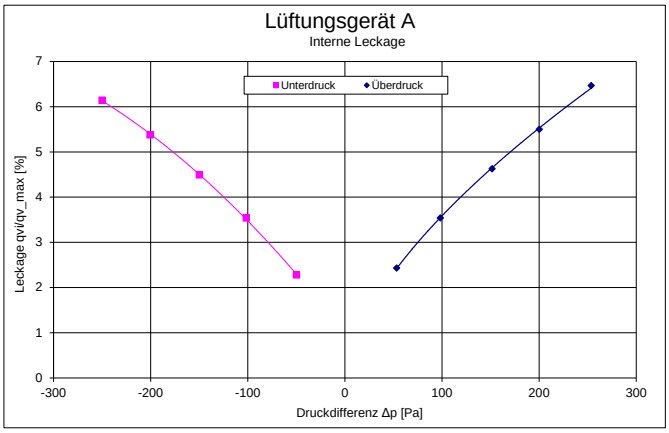


Figur 10: Externe Leckage - Lüftungsgerät C

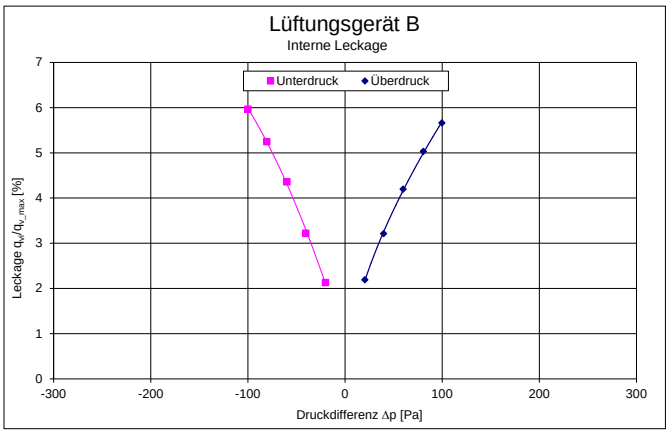


Figur 11: Externe Leckage - Lüftungsgerät D

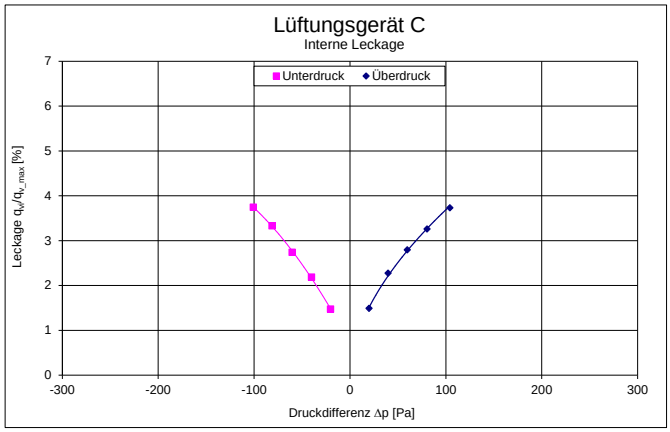
Intern Leckage



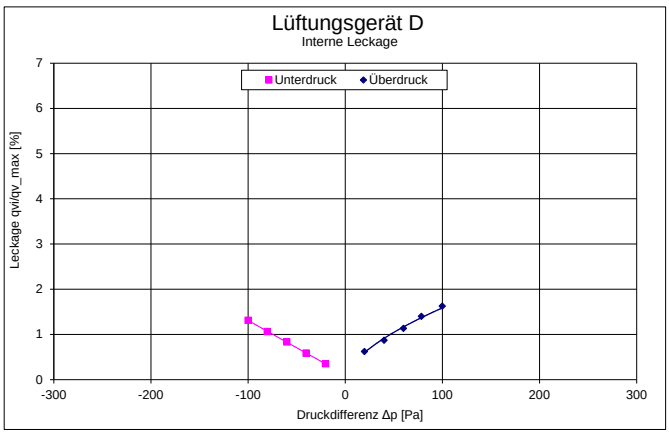
Figur 12: Interne Leckage – Lüftungsgerät A



Figur 13: Interne Leckage - Lüftungsgerät B



Figur 14: Interne Leckage - Lüftungsgerät C



Figur 15: Interne Leckage - Lüftungsgerät D

Undichtheitsklassierung:

Bei der Beurteilung der Leckagen ist zu beachten, dass es sich um dezentrale Lüftungsgeräte handelt, welche lediglich einen Raum mit Aussenluft versorgen. Das heisst, dass die Leckluftvolumenströme im Raum bleiben, resp. vom Raum kommen.

Tabelle 14: Undichtheiten und der Klassierung

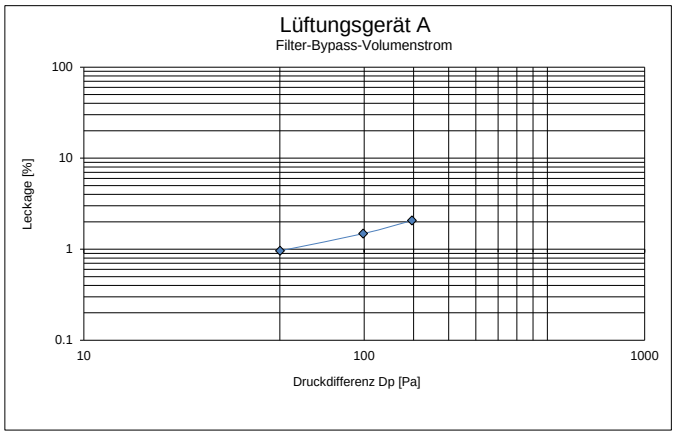
Art der Undichtheit	Lüftungsgerät			
	A	B	C	D
Äussere Undichtheit (bei 250 Pa)	1.8 %	-	-	-
Innere Undichtheit (bei 100 Pa)	3.5 %	-	-	-
Innere Undichtheit (bei +20 Pa)	-	2.1 %	1.5 %	0.6 %
Innere Undichtheit (bei -20 Pa)	-	2.2 %	1.5 %	0.3 %
Klasse	A2[1)]	U2[2)]	U1[2)]	U1[2)]

[1)] Klassierung nach EN 13141-7:2010
[2)] Klassierung nach EN 13141-8:2014

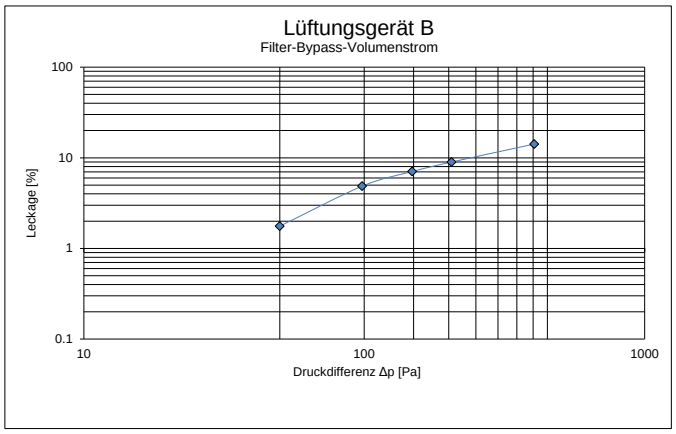
Die Klasse A2 entspricht der zweitbesten Klasse nach der EN 13141-7:2010, welche für Lüftungsgeräte mit Kanalanschlüssen vorgesehen ist. Die Klasse U1 entspricht der besten Klasse und U2 der zweitbesten Klasse nach der EN 13141-8:2014, welche für Lüftungsgeräte ohne Luftführung bestimmt ist.

Beim Gerät mit Kanalanschlüssen ist zu beachten, dass dieses vom Hersteller auch als Version ohne Kanalanschlüsse angeboten wird. Ohne Kanalanschlüsse wäre die beste Dichtheitsklasse erreicht worden.

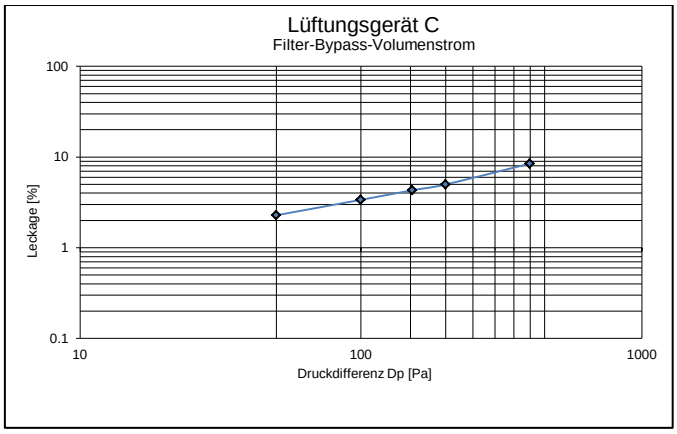
6.3 Filter-Bypass-Volumenstrom



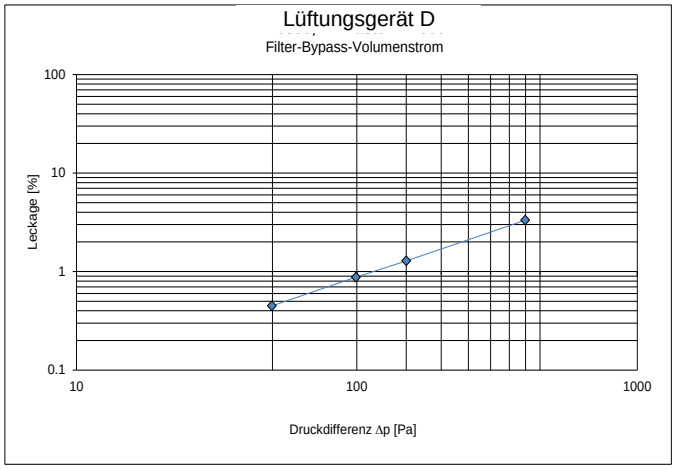
Figur 16: Filter-Bypass-Volumenstrom – Lüftungsgerät A



Figur 17: Filter-Bypass-Volumenstrom - Lüftungsgerät B



Figur 18: Filter-Bypass-Volumenstrom - Lüftungsgerät C

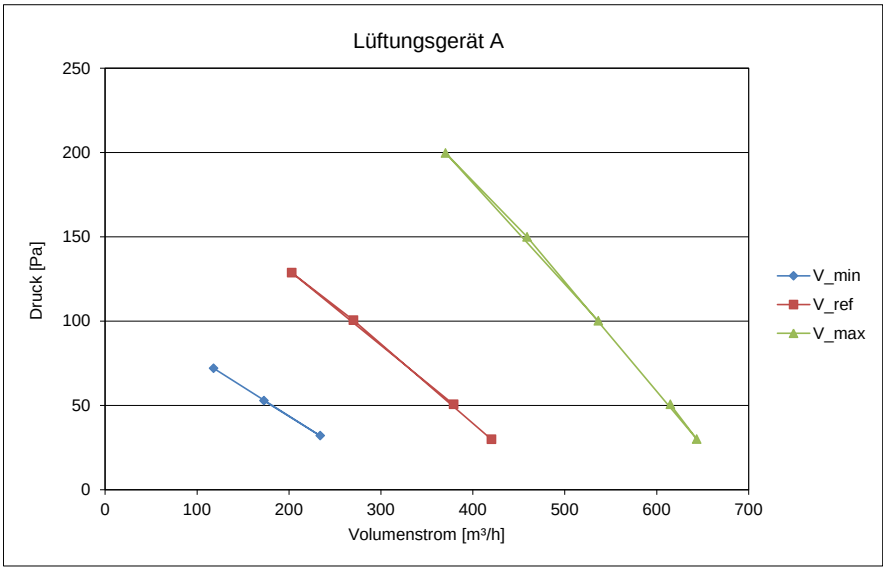


Figur 19: Filter-Bypass-Volumenstrom - Lüftungsgerät D

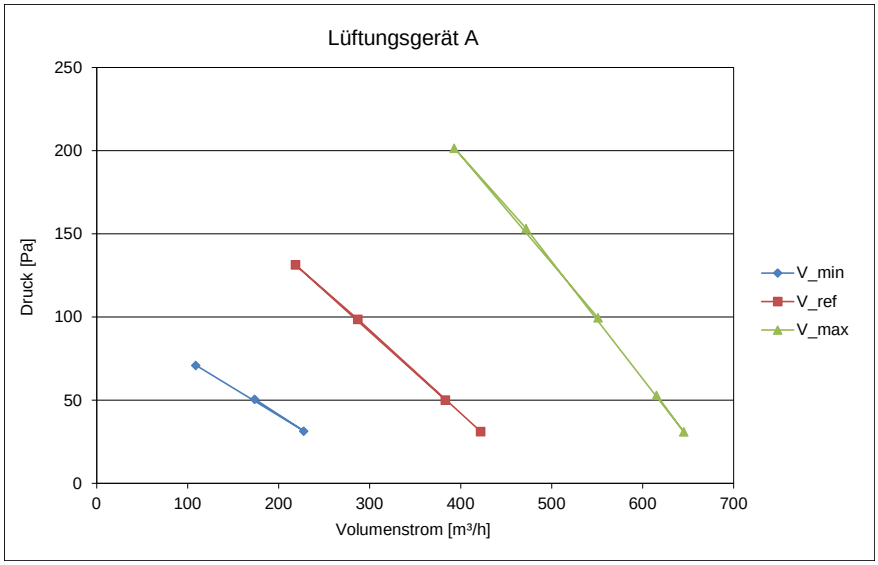
Bemerkungen:

Da beim Gerät A der Filter bei 400 Pa aus der Halterung gekippt ist, ist lediglich der Bereich von 50 Pa bis 150 Pa aufgeführt.

6.4 Volumenstrom-/Druck-Kennlinie



Figur 20: Volumenstrom-/Druck-Kennlinie Ab-/Fortluftseite – Lüftungsgerät A



Figur 21: Volumenstrom-/Druck-Kennlinie Aussen-/ Zuluftseite – Lüftungsgerät A

Bemerkungen:

Bei den Geräten ohne Kanalanschluss auf der Zu- und Abluftseite, wurde auf die Bestimmung einer Volumenstrom- / Druck-Kennlinie verzichtet.

6.5 Thermische Eigenschaften und elektrische Aufnahmeleistung

Tabelle 15: Thermische Eigenschaften, elektr. Aufnahmeleistung und spezifische Geräteleistung – Lüftungsgerät A

Leistungskenngrösse	Symbol	Betriebspunkt		
		min. Volumenstrom 180 m³/h 50 Pa	Nennvolumenstrom 371 m³/h 50 Pa	max. Volumenstrom 530 m³/h 100 Pa
Temperaturverhältnis Zuluftseite	$\eta_{\theta,su}$	91 %	88 %	87 %
Temperaturverhältnis Fortluftseite	$\eta_{\theta,ex}$	74 %	77 %	74 %
Elektrische Aufnahmeleistung	P_E	37 W	73 W	166 W
spezifische Geräteleistung	P_{SPI}	0.20 W/(m³/h)	0.20 W/(m³/h)	0.31 W/(m³/h)

Tabelle 16: Thermische Eigenschaften, elektr. Aufnahmeleistung und spezifische Geräteleistung – Lüftungsgerät B

Leistungskenngrösse	Symbol	Betriebspunkt		
		min. Volumenstrom 150 m³/h 30 Pa	Nennvolumenstrom 225 m³/h 30 Pa	max. Volumenstrom 300 m³/h 30 Pa
Temperaturverhältnis Zuluftseite	$\eta_{\theta,su}$	84 %	87 %	84 %
Temperaturverhältnis Fortluftseite	$\eta_{\theta,ex}$	68 %	67 %	59 %
Elektrische Aufnahmeleistung	P_E	48 W	63 W	103 W
spezifische Geräteleistung	P_{SPI}	0.28 W/(m³/h)	0.27 W/(m³/h)	0.32 W/(m³/h)

Tabelle 17: Thermische Eigenschaften, elektr. Aufnahmeleistung und spezifische Geräteleistung – Lüftungsgerät C

Leistungskenngrösse	Symbol	Betriebspunkt		
		min. Volumenstrom	Nennvolumenstrom	max. Volumenstrom
Volumenstrom	q_v	350 m³/h	525 m³/h	750 m³/h
externer Förderdruck	Δp	30 Pa	30 Pa	30 Pa
Temperaturverhältnis Zuluftseite	$\eta_{\theta,su}$	69 %	64 %	65 %
Temperaturverhältnis Fortluftseite	$\eta_{\theta,ex}$	56 %	53 %	48 %
Elektrische Aufnahmeleistung	P_E	59 W	137 W	264 W
spezifische Geräteleistung	P_{SPI}	0.18 W/(m³/h)	0.26 W/(m³/h)	0.35 W/(m³/h)

Tabelle 18: Thermische Eigenschaften, elektr. Aufnahmeleistung und spezifische Geräteleistung – Lüftungsgerät D

Leistungskenngrösse	Symbol	Betriebspunkt		
		min. Volumenstrom	Nennvolumenstrom	max. Volumenstrom
Volumenstrom	q_v	180 m³/h	455 m³/h	650 m³/h
externer Förderdruck	Δp	30 Pa	30 Pa	30 Pa
Temperaturverhältnis Zuluftseite	$\eta_{\theta,su}$	80 %	81 %	80 %
Temperaturverhältnis Fortluftseite	$\eta_{\theta,ex}$	73 %	73 %	71 %
Elektrische Aufnahmeleistung	P_E	28 W	89 W	180 W
spezifische Geräteleistung	P_{SPI}	0.16 W/(m³/h)	0.19 W/(m³/h)	0.28 W/(m³/h)

Bemerkungen:

Beim fortluftseitigen Temperaturverhältnis zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den vier Geräten (53 % bis 77 %).

Aus den Differenzen zwischen dem zuluft- und fortluftseitigen Temperaturverhältnissen kann auf die thermische Dämmung und allfällige Leckagen im Betrieb geschlossen werden. Differenzen von max. 10 % deuten diesbezüglich auf eine gute Qualität hin. Während bei 20 % Unterschied ein Potential bei der Wärmedämmung vermutet werden kann.

Bei der spezifischen Geräteleistung erfüllen alle vier Geräte den Zielwert der SIA 382/1:2014. Das effizienteste Gerät hat aber eine 30% bessere spezifische Geräteleistung als das ungünstigste. Interessant ist, dass das Gerät mit Kanalanschluss deutlich effizienter ist als zwei der Geräte ohne Kanalanschluss.

6.6 Frostschutzprüfung

Gerät A

Bei einer Aussentemperatur von -5.5 °C schaltet sich erstmals das elektrische Heizregister mit einer Leistung von ca. 1.2 kW ein. Unterhalb von ca. -12°C ist das Heizregister dauernd eingeschaltet. Bei der Sichtkontrolle nach Abschluss der Frostschutzprüfung wurde keine Eisbildung festgestellt.

Gerät B

Bei Unterschreiten einer Grenztemperatur öffnet die Regelung die motorisierte Bypassklappe. Erst wenn die Aussentemperatur um mind. 2 K (konfigurierbar) über dem Grenzwert liegt, wird der Bypass wieder geschlossen. Gemäss Herstellerempfehlung soll der Sollwert auf -6°C eingestellt werden.

Bei der Forstschutzprüfung im Labor war diese Funktion deaktiviert, so dass die WRG, wie zu erwarten war, vereist ist.

Gerät C

Gemäss Hersteller wird der Zuluftvolumenstrom um bis zu 30% reduziert, wenn der Minimalwert der Zulufttemperatur nicht mehr erreicht wird. Wenn die Zulufttemperatur immer noch zu tief ist, werden beide Ventilatoren reduziert betrieben.

Bei der Frostschutzprüfung konnte die vom Hersteller beschriebene Strategie bedingt bestätigt werden. Bei einer Aussentemperatur von -14 bis -15°C wurde ein Absinken des Abluftvolumenstroms beobachtet. In den folgenden 10 Stunden mit einer Aussentemperatur von -15 °C sank der Abluftvolumenstrom bis auf ca. 20 % des Startwerts.

Gerät D

Um ein Vereisen des Wärmetauschers zu verhindern, wird der Aussenluftvolumenstrom reduziert. Fortluftseitig ist ein Temperaturfühler zur ständigen Temperaturüberwachung montiert. Sinkt die Aussenlufttemperatur unter einen Wert von -2.6 °C wird der Aussenluftvolumenstrom stetig reduziert.

Gemäss Herstellerangaben sollte das Lüftungsgerät bei einer Aussenlufttemperatur von -10 °C abschalten. Bei der Prüfung war dies aber nicht der Fall. Hingegen wurde der Aussenluftvolumenstrom weiter, bis auf ca. 30% des Startwerts, reduziert. Zudem hat sich während der Frostschutzprüfung Kondensat am Revisionsdeckel gebildet. Bei der Sichtkontrolle nach Abschluss der Frostschutzprüfung wurde keine Eisbildung festgestellt. Jedoch konnte der Wärmetauscher lediglich auf der Aussen- bzw. Zuluftseite überprüft werden.

Bemerkungen:

Die verschiedenen Frostschutzstrategien sind auch von Wohnungslüftungsgeräten her bekannt.

Die elektrische Vorwärmung ist energetisch ungünstig. Die Lösungen mit Unterdruck sind bei einer dichten Gebäudehülle von der Lüftungsfunktion her fragwürdig. Die Variante mit Bypass überzeugt unter den vier Varianten am meisten, wobei wegen der tiefen Zulufttemperatur eine Nachwärmung mit einem Nachwärmer (der an der Raumheizung angeschlossen ist) zu empfehlen wäre.

6.7 Akustik

Die akustischen Messungen wurden im Hallraum durchgeführt. Als Beispiel für die detaillierten Messresultate finden sich die Werte vom Lüftungsgeräte D im Anhang A3.

Tabelle 19: Total A-bewerteter Schallleistungspegel (L_{WA}) – Lüftungsgerät A

Emissionsquelle	Betriebspunkt		
	min. Volumenstrom q_v = 180 m³/h Δp = 50 Pa	Nennvolumenstrom q_{vn} = 371 m³/h Δp = 50 Pa	max. Volumenstrom q_{vd} = 530 m³/h Δp = 100 Pa
Gehäuseabstrahlung	34 dB(A)	36 dB(A)	41 dB(A)
Aussenluft-Anschlussstutzen	39 dB(A)	45 dB(A)	52 dB(A)
Zuluft-Anschlussstutzen	39 dB(A)	43 dB(A)	48 dB(A)
Fortluft-Anschlussstutzen	47 dB(A)	54 dB(A)	61 dB(A)
Abluft-Anschlussstutzen	40 dB(A)	44 dB(A)	49 dB(A)

Tabelle 20: Total A-bewerteter Schallleistungspegel (L_{WA}) - Lüftungsgerät B

Emissionsquelle	Betriebspunkt		
	min. Volumenstrom q_v = 150 m³/h Δp = 30 Pa	Nennvolumenstrom q_{vn} = 225 m³/h Δp = 30 Pa	max. Volumenstrom q_{vd} = 300 m³/h Δp = 30 Pa
Gehäuseabstrahlung, inkl. Zu- und Abluft-Durchlass	41 dB(A)	43 dB(A)	48 dB(A)
Aussenluft-Anschlussstutzen	44 dB(A)	47 dB(A)	51 dB(A)
Fortluft-Anschlussstutzen	46 dB(A)	49 dB(A)	53 dB(A)

Tabelle 21: Total A-bewerteter Schallleistungspegel (L_{WA}) – Lüftungsgerät C

Emissionsquelle	Betriebspunkt		
	min. Volumenstrom q_v = 350 m³/h Δp = 30 Pa	Nennvolumenstrom q_{vn} = 525 m³/h Δp = 30 Pa	max. Volumenstrom q_{vd} = 750 m³/h Δp = 30 Pa
Gehäuseabstrahlung, inkl. Zu- und Abluft-Durchlass	47 dB(A)	53 dB(A)	63 dB(A)
Aussenluft-Anschlussstutzen	50 dB(A)	56 dB(A)	56 dB(A)
Fortluft-Anschlussstutzen	61 dB(A)	62 dB(A)	75 dB(A)

+Tabelle 22: Total A-bewerteter Schallleistungspegel (L_{WA}) - Lüftungsgerät D

Emissionsquelle	Betriebspunkt		
	min. Volumenstrom q_v = 250 m³/h Δp = 30 Pa	Nennvolumenstrom q_{vn} = 455 m³/h Δp = 30 Pa	max. Volumenstrom q_{vd} = 650 m³/h Δp = 30 Pa
Gehäuseabstrahlung, inkl. Zu- und Abluft-Durchlass	37 dB(A)	40 dB(A)	48 dB(A)
	q_v = 180 m³/h Δp = 30 Pa	q_{vn} = 455 m³/h Δp = 30 Pa	q_{vd} = 650 m³/h Δp = 30 Pa
Aussenluft-Anschlussstutzen	43 dB(A)	54 dB(A)	59 dB(A)
Fortluft-Anschlussstutzen	49 dB(A)	59 dB(A)	65 dB(A)

Bemerkungen:

Bei allen vier Geräten wurden die Gehäuseabstrahlung sowie der Schalldruckpegel der Aussen- und Fortluft gemessen. Der Schalldruckpegel in der Zu- und Abluft wurde lediglich bei dem Lüftungsgerät mit Rohranschlussstutzen in der Zu- und Abluft gemessen.

Die SIA 181:2006 stellt Mindestanforderungen an den Schutz gegen Geräusche haustechnischer Anlagen. Bei Dauergeräuschen in Schulzimmern gilt ein Anforderungswert von L_H = 28 dB(A).

Wenn eine Raumdämpfung von 10 dB angenommen wird, wäre ein Schallleistungspegel von ca. 38 dB zulässig (mit der Annahme, dass sich die verschiedenen Korrekturfaktoren der SIA 181 in etwa kompensieren). Bei Lüftungsgeräte mit raumseitigen Anschlüssen lassen sich die Anforderungen voraussichtlich gut erfüllen, wenn in der Zu- und Abluftleitung Schalldämpfer eingebaut werden. Die Geräte ohne raumseitige Anschlüsse müssten mit einem tieferen Luftvolumenstrom betrieben werden (kleiner als der Nennluftvolumenstrom), oder es müssten akustische Massnahmen getroffen werden, damit die Anforderung der SIA 181 erfüllt würden.

Zusätzlich ist der Aussenschall zu beachten. Bei einem hohen Aussenschallpegel ist zu prüfen, ob der Schallschutz der Gebäudehülle durch die Lüftungsgeräte nicht unzulässig geschwächt wird. Obwohl das Schalldämmass im Rahmen dieses Projekts nicht gemessen wurde, kann angenommen werden, dass dies nur an extrem lauten Lagen kritisch wäre.

An ruhigen Lagen sind allenfalls die Schallemissionen, die die Lüftungsgeräte gegen aussen abgeben, zu beachten. Dies kann insbesondere dann eine Rolle spielen, wenn an einer Fassade eines Schulhauses mehrere Geräte installiert sind. Da die Lüftungsgeräte in der Regel nur am Tag betrieben werden, wären kritische Situationen allerdings höchstens in Ruhezonen zu erwarten.

6.8 Hygienische Beurteilung

Tabelle 23: Hygienische Beurteilung und Klassierung der Lüftungsgeräte

Kriterium	Lüftungsgerät			
	A	B	C	D
Werkstoffe	✓	✓	✓	✓
Filter	✓	~	~	✓
Ausführung	✓	✓	×	~
Bedienung	✓	✓	✓	✓
Ausrüstung	✓	✓	✓	✓
Filter-Bypass-Leckage (siehe Kapitel 6.3)	✓	×	✓	✓
Leckage Klasse (siehe Kapitel 6.2)	×	×	✓	✓
Filterüberwachung vorhanden? (über Druck oder Zeit)	✓	✓	✓	✓
Summe der Minuspunkte	-1 Klasse	-3 Klassen	-2 Klassen	-1 Klasse
Resultierende Hygiene-Klasse	B	D	C	B

✓ erfüllt

× nicht erfüllt

~ teilweise erfüllt

Bemerkungen:

Das Kriterium Filter wurde lediglich teilweise erreicht, da die Filter nicht ausreichend gekennzeichnet waren.

Mängel bei der Ausführung haben zu Kondensatansammlung an einzelnen Bauteilen des Lüftungsgerätes (wie z. B. an der Revisionsöffnung) geführt.

Ist die Filter-Bypass-Leckage je nach Filterklasse grösser als die zulässigen Werte gemäss Tabelle 24, ist dieses Kriterium nicht erfüllt, was eine Hygieneklasse Abzug bedeutet.

Tabelle 24: Zulässige Filter-Bypass-Leckage nach EN 1886:1998 (jedoch bezogen auf den max. Luftvolumenstrom bei 100 Pa externem Druck, Differenzdruck über den Filter 100 Pa)

Filterklasse	F5	F6	F7	F8	F9
Max. Leckluftrate am Filter	6 %	4 %	2 %	1 %	0.5 %

Bei der Leckage ist die beste Klasse nach der EN 13141-7:2010 oder der EN 13141-8:2014 (je nach Bauweise des Lüftungsgerätes) zu erreichen. Ein nicht Erreichen dieses Wertes hat ebenfalls einen Abzug der Hygieneklasse zufolge.

6.9 Thermische Behaglichkeit

Die Behaglichkeitsmessungen sind beim Deckengerät D und einem Brüstungsgerät B erfolgt. Die Prüfaufbauten sind im Anhang 4 dargestellt. Gemäss der SIA 180:2014 ist die thermische Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich in allen Jahreszeiten während den Nutzungszeiten sicherzustellen.

Als Abstände vom Boden sind 0.05 m als Minimal- und 1.7 m als Maximalabstand definiert. Für die messtechnische Überprüfung der thermischen Behaglichkeit in der Aufenthaltszone sind die Werte gemäss SIA 180:2014 und in Übereinstimmung mit SN EN ISO 7730 in folgenden Messhöhen zu ermitteln: 0.1 m, 0.6 m, 1.1 m, 1.7 m.

Die Messungen erfolgen bei einer Zulufttemperatur am Auslass von 16 °C (was der ZUL-Temperatur nach WRG bei einer Aussenlufttemperatur von 0 °C und einem Wirkungsgrad von 80 % entspricht).

Deckengerät D:

Da der Zuluftstrahl nach einer Wurfweite von ca. 2.0 m den tiefsten Punkt (d. h. Abstand vom Boden zum Zuluftstrahl ist am kleinsten) erreicht, wurden die Sonden mit einem Abstand vom Gerät von 2.0 m und 3.0 m platziert.

Das Lüftungsgerät ist auf den Nennluftvolumenstrom von 455 m³/h eingestellt worden.

Gemäss der Definition der SN EN ISO 7730 fällt das durch das Lüftungsgerät D verursachte Zugluftrisiko in die Kategorie C.

Die Auswertung der Messungen zeigt auf, dass nach 2 m Eindringtiefe an allen Sonden im Bereich von 0.1 m und 0.6 m über Boden Zugluftrisiko von >18 % herrscht. Das lässt darauf schliessen, dass der Zuluftstrahl von der vom Zuluft-Durchlass gegenüberliegenden Wand umgelenkt wird. Der Zuluft-Durchlass hat einen Abstand von 4.45 m zur gegenüberliegenden Wand. Um das Zugluftrisiko zu minimieren muss das Lüftungsgerät also einen grösseren Abstand zur gegenüberliegenden Wand aufweisen. In den Unterlagen des Herstellers finden sich keine Angaben zur minimalen Raumtiefe resp. zum minimalen Abstand von Wänden und anderen Hindernissen. Es ist unklar, wie der Lieferant diese Information Planern zur Verfügung stellt.

Bei der Messung hat das Zugluftrisiko nach 3 m Eindringtiefe weiter zugenommen. Dies kann ebenfalls mit der Umlenkung des Zuluftstrahls an der vom Zuluft-Durchlass gegenüberliegenden Wand erklärt werden.

Die Raumlufttemperatur betrug während den Messungen 19-20 °C. Wird diese Temperatur erhöht verringert sich das Zugluftrisiko.

Figur 22: Rauchversuch mit Zuluftstrahl bei Lüftungsgerät D

Brüstungsgerät B:

Die SIA 180:2014 legt für den Beginn des Aufenthaltsbereiches einen Mindestabstand von 0.6 m von Heizkörpern und Klimageräten fest. Deswegen erfolgten Messungen mit 0.6 m und 1.0 m Abstand vom Ausblasgitter.

Das Lüftungsgerät ist auf der Stufe 3 (bei 300 m³/h) eingestellt worden.

Gemäss der Definition der SN EN ISO 7730 fällt das durch das Lüftungsgerät B verursachte Zugluftrisiko in die Kategorie A. Lediglich die Sensoren direkt vor dem Zuluft-Durchlass (SR/TR 223 und SR/TR 227 siehe Anhang 5) zeigen ein Zugluftrisiko von >30 % auf und fallen somit aus der Klassierung nach der SN EN ISO 7730. Ein Grund für das hohe Zugluftrisiko ist die Luftgeschwindigkeit, welche an den entsprechenden Sonden 0.37 m/s beträgt.

Die Auswertung der Messung mit 1.0 m Abstand zum Zuluft-Durchlass zeigt auf, dass die Sonden SR/TR 223 und SR/TR 227 (siehe Anhang 5), ein zwischen 8.2 % bzw. 21 % geringeres Zugluftrisiko besteht. Auch hier zeigen die Sensoren direkt am Auslass (SR/TR 223 und SR/TR 227) ein Zugluftrisiko > 30 % und fallen somit aus der Klassierung nach der SN EN ISO 7730. Auch bei einem Abstand von 1.0 m zum Zuluft-Durchlass beträgt die Luftgeschwindigkeit an den entsprechenden Sonden noch >0.29 m/s.

Gemäss SIA 180 soll im Winter eine Raumluftgeschwindigkeit von 0.13 m/s und im Sommer 0.18 m/s nicht überschritten werden.

Figur 23: Rauchversuch mit Zuluftstrahl bei Lüftungsgerät B

7 Energiebedarf

7.1 Methode und Annahmen

Der thermische und elektrische Energiebedarf für die Lüftung wird anhand der Prüfergebnisse berechnet.

Die Nennvolumenströme der vier untersuchten Geräte sind zu unterschiedlich, als dass ein sinnvoller Vergleich an einem Referenzraum durchgeführt werden könnte. Es wird daher davon ausgegangen, dass jedes Gerät in einem Schulzimmer eingesetzt werden kann, in dem es beim Nennvolumenstrom betrieben werden kann. Das kann auch bedeuten, dass in einem grösseren Schulzimmer gleichzeitig zwei Geräte vom gleichen Typ eingesetzt werden.

Im Vergleich zwischen den Geräten wird ausgewiesen, wie gross die eingesparte Wärmeenergie (durch die WRG) und der Bedarf an elektrischer Energie pro Person ist. Der Referenzfall für die Einsparung der Wärmeenergie ist eine Fensterlüftung mit dem gleichen mitterlen Luftvolumenstrom.

Die Lüftungswärmeverluste werden anhand des fortluftseitigen Temperaturverhältnisses berechnet.

Standort:	schweizerisches Mittelland
Raumtemperatur	20°C
Aussentemperatur im Winter:	4°C
Aussenluftvolumenstrom:	25 m³/(h·Pers)
Betriebszeit:	Vollbetriebszeit 1550 h/a (nach SIA 2024:2015) 75% davon fallen auf die Heizsaison

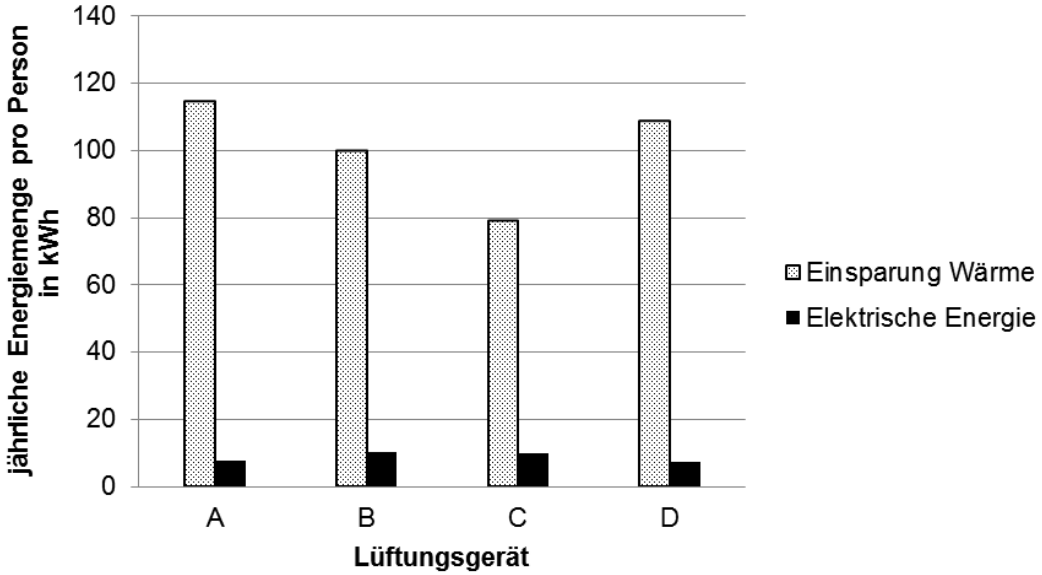
7.2 Resultate

Tabelle 25, sowie die Figuren 26 und 27 zeigen den Vergleich der vier untersuchten Geräte. Die Energiemengen beziehen sich auf eine Person. Die "Energieeinsparung Wärme" versteht sich als die Wärmemenge, die gegenüber einer Fensterlüftung eingespart wird. Der elektrothermische Verstärkungsfaktor (ETV) ist das Verhältnis zwischen der Energieeinsparung Wärme und dem elektrischen Energiebedarf der Lüftung.

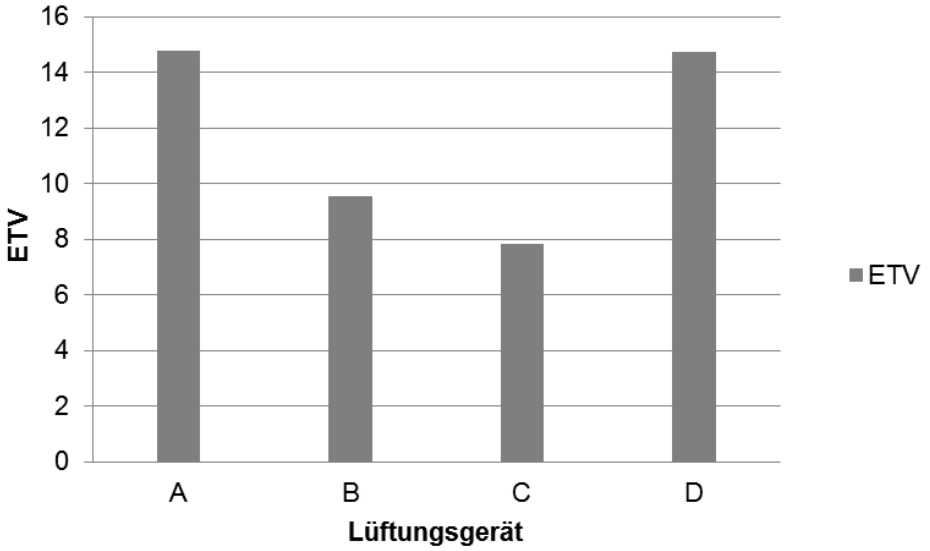
Tabelle 25: Energetische Kennwerte der vier untersuchten Lüftungsgeräte, Energiemengen bezogen auf eine Person

Grösse	Symbol	Einheit	Lüftungsgerät			
			A	B	C	D
Thermische Energie						
Temperaturverhältnis Fortluft	$\eta_{\theta ex}$	-	0.77	0.67	0.53	0.73
Einsparung Wärmeenergie	ΔQ_v	kWh/P	115	100	79	109
Elektrische Energie						
Spezifische Geräteleistung	P_{SPI}	$W/(m^3/h)$	0.20	0.27	0.26	0.19
Elektrische Leistung	P_{el}	W/P	5.0	6.8	6.5	4.8
Elektrischer Energiebedarf Lüftung	W_{el}	kWh/P	7.8	10.5	10.1	7.4
Elektrothermischer Verstärkungsfaktor	ETV	-	23	15	12	23

Figur 24: Einsparung an Wärmeenergie und Bedarf an elektrischer Energie der vier untersuchten Lüftungsgeräte, Energiemengen bezogen auf eine Person



Figur 25: Elektrothermischer Verstärkungsfaktor (ETV) der vier untersuchten Lüftungsgeräte



Die Lüftungsgeräte A und D schneiden energetisch deutlich besser ab, als die Geräte B und C. Der Grund ist, dass sowohl die Energieeinsparung durch die WRG deutlich kleiner als auch der Energiebedarf für die Luftförderung deutlich grösser sind. Bei allen untersuchten Lüftungsgeräten liegt der ETV in einem guten Bereich. Es ist aber auffällig, dass die beiden besten Lüftungsgeräte einen doppelt so hohen ETV erreichen, wie das Gerät mit dem tiefsten Wert.

Beim energetischen Vergleich wurde der Energiebedarf für den Frostschutz vernachlässigt. Der Grund ist, dass verschiedenartige Forstschutzstrategien vorliegen. Zudem kann anhand der Frostschutzprüfung davon ausgegangen werden, dass im schweizerischen Mittelland (sowie bei wärmerem Klima) der Energieaufwand für den Forstschutz gering ist und bei allen Geräten in einem ähnlichen Bereich liegt. Aufgrund der Berechnungsmodelle in Normentwurf prEN 13142 kann abgeschätzt werden, dass sich der ETV unter Berücksichtigung des Frostschutzes um ca. 5 % reduzieren würde.

8 Zusammenfassung Geräteprüfung

Tabelle 26 zeigt die wichtigsten Prüfergebnisse der vier untersuchten Lüftungsgeräte. Die Daten beziehen sich auf den Nenn-Luftvolumenstrom.

Tabelle 26: Zusammenfassung der Prüfergebnisse der vier untersuchten Lüftungsgeräte, alle Daten bei den Nennluftvolumenströmen der Geräte

Bezeichnung, Grösse	Symbol	Einheit	Gerät			
			A	B	C	D
raumseitiger Kanalschluss			mit	ohne	ohne	ohne
Bauart			Schrank-gerät	Brüstungs-gerät	Decken-gerät	Decken-gerät
Nennluftvolumenstrom	q_{vn}	m³/h	371	225	525	455
Undichtheitsklassierung nach EN 13141-7:2010 nach EN 13141-8:2014			 A2 -	 - U2	 - U1	 - U1
Klassifizierung Filter-Bypass-Leckage (nach EN 1886:1998)			erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt
Temperaturverhältnis Zuluft	$\eta_{\theta,su}$	-	0.88	0.87	0.64	0.81
Temperaturverhältnis Fortluft	$\eta_{\theta,ex}$	-	0.77	0.67	0.53	0.73
spezifische Geräteleistung	P_{SPI}	W/(m³/h)	0.20	0.27	0.26	0.19
Elektrothermischer Verstär-kungsfaktor [1)]			23	15	12	23
Schallleistungspegel Gehäuse-abstrahlung	L_{WA}	dB(A)	36	43	43	40
Frostschutzstrategie			elektr. Vor-wärmer	Bypass	Reduktion Zuluft	Reduktion Zuluft
Hygiene-Klasse		-	C	D	C	B
1) bei Klima des schweizerischen Mittellandes						

9 Planungsempfehlungen

Die Planungsempfehlungen beziehen sich auf dezentrale Lüftungsgeräte für einzelne Klassezimmer. Das heisst, es wird vorausgesetzt, dass im Rahmen eines vorgelagerten Lüftungskonzepts (vgl. SIA 180:2014, Ziff. 3.2) diese Variante gewählt wurde.

Luftvolumenstrom/Gerätegrösse

Bei Vollbelegung des Klassenzimmers soll der Luftvolumenstrom pro Person mindestens 25 m^3/h betragen. So ergibt sich z.B. bei 25 Lernenden und einer Lehrperson ein gesamter Luftvolumenstrom von 650 m^3/h.

Die Anforderungen an die Energieeffizienz und den Schall sollen bei diesem Luftvolumenstrom eingehalten werden.

Anordnung und Luftführung

Falls es die räumlichen Gegebenheiten zulassen, sollen Lüftungsgeräte vorzugsweise ausserhalb der Schulzimmer platziert werden. Neben dem Platzbedarf spricht vor allem der Schallschutz für eine solche Lösung.

Die Lüftungsgeräte sind so anzuordnen, dass sie für die Wartung gut zugänglich sind. Insbesondere zu beachten ist, dass je nach Aussenluft- und Filterqualität die Filter ein bis dreimal jährlich gewechselt werden müssen.

Bei der Luftführung ist das potentielle Zugluftrisiko zu beachten.

Bei Lüftungsgeräten mit Zuluft im Bodenbereich ist der minimale Abstand vom Zuluft-Durchlass bis zu dem am nächsten gelegenen Tisch oder Arbeitsplatz gemäss den Angaben des Lieferanten einzuhalten. Je nach Typ und Betriebsbedingungen ist als Richtwert ein minimaler Abstand von 1 bis 2 m zu erwarten.

Bei Lösungen mit Zuluft-Durchlässen an der Decke (z.B. Laminargittern) ist die Wurfweite des Zuluftstrahls zu beachten. Insbesondere bei geringen Raumtiefen (z.B. Anordnungen an Seitenwänden) ist das Risiko einer Strahlumkehr abzuklären. Bei Decken- und Schrankgeräten sind die entsprechenden Angaben vom Lieferanten einzufordern.

Steuerung/Regelung

Der Luftvolumenstrom soll möglichst nach der Raumluftqualität (CO_2-Gehalt) geregelt werden.

Wenn beim minimalen Volumenstrom, resp. der minimal zulässigen Ventilatordrehzahl der Sollwert des CO_2-Gehalts unterschritten wird, soll das Gerät im Ein/Aus-Modus betrieben werden. Dies setzt voraus, dass der CO_2-Sensor im Raum (und nicht im Gerät oder im Abluftkanal) platziert ist. Damit beim Betreten des Schulzimmers eine gute Luftqualität angetroffen wird, soll die Lüftung ca. eine halbe Stunde vor Unterrichtsbeginn über ein Zeitprogramm eingeschaltet werden. Es wird empfohlen, die Lüftung auch nach Unterrichtsende nochmals für einen Spülbetrieb einzuschalten.

Raumluftfeuchte

Um bei tiefen Aussentemperaturen eine allzu tiefe Raumluftfeuchte zu vermeiden, soll der Aussenluftvolumenstrom bei Aussentemperaturen von unter 0°C reduziert werden. Pro Person soll aber immer ein Aussenluftvolumenstrom von mindestens 15 m^3/h zugeführt werden. Weitere Hinweise dazu finden sich in SIA 382/1, Ziff. 2.2.6.

Bei einer CO_2-Regelung kann der CO_2-Gehalt bei tiefen Aussentemperaturen bis auf 1500 ppm erhöht werden.

Lüftungsgeräte mit Enthalpietauschern[1] können zu einer höheren Raumluftfeuchte führen. Beim üblicherweise geringen Feuchteanfall in Schulzimmern ist der Effekt allerding gering.

Nachtauskühlung und Kühlbetrieb

Der sommerliche Wärmeschutz und eine allfällige aktive Kühlung sind parallel zum Lüftungskonzept bereits in einer frühen Planungsphase zu klären.

Vom Luftvolumenstrom her sind die meisten Lüftungsgeräte dafür geeignet, dass sie für eine Nachtauskühlung eingesetzt werden können. Die Lüftungsgeräte müssen dabei mit einem Bypass und einer entsprechenden Regelfunktionen ausgerüstet sein.

Beim Bedarf nach einer aktiven Kühlung besteht bei einigen Lüftungsgeräten die Option einer Ausrüstung mit Zuluftkühler. Dies setzt allerdings eine Kälteversorgung voraus.

Hygiene

Für die Zuluft wird gemäss SIA 380/1 mindestens ein Filter der Klasse F7 verlangt.

An Lagen mit hoher Feinstaubbelastung wird eine Filterklasse G9 und ein Vorfilter empfohlen. In Anlehnung an SIA 382/1, Ziff. 1.7.1 kann die Feinstaubbelastung als hoch bezeichnet werden, wenn der Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV) um mehr als 50 % überschritten wird.

Der Filterwechsel kann durch instruierte Personen, wie z.B. die Hauswartung, durchgeführt werden. Dabei ist u.a. der Arbeitsschutz (Mundschutz, Einweghandschuhe) sowie die fachgerechte Entsorgung der Filter zu beachten.

Bei der Evaluation von Lüftungsgeräten sollen unbedingt die Kosten für Ersatzfilter berücksichtigt werden.

Es wird empfohlen, Lüftungsgeräte einzusetzen, die gemäss der im Projekt verwendeten Klassierung mindestens Hygieneklasse C erreichen.

Energie

Bei der Beurteilung der Wärmerückgewinnung, resp. deren Energieeinsparung ist das fortluftseitige Temperaturverhältnis $\eta_{\theta,ex}$ massgebend. Als Minimum wird ein Wert von $\eta_{\theta,ex}$ = 0.70 empfohlen.

Die spezifische elektrische Aufnahmeleistung P_{SPI} soll bei maximal 0.23 $W/(m^3/h)$ betragen. Dies entspricht der SPI-Klasse 3 gemäss prEN 13142 (Stand Juni 2017) [20].

Das Lüftungsgerät soll nicht mit einem Elektro-Vorwärmer oder Nachwärmer ausgerüstet sein.

[1] Neben sensibler Wärme wird auch Feuchte von der Abluft an die Zuluft übertragen.

Frostschutz/Vorwärmung

Die Lüftungsfunktionen müssen vollständig gewährleistet sein, solange die Aussentemperatur über dem Auslegungswert der SIA 2028, Tabelle 6 (letzte Spalte) liegt. Bei Zürich-MeteoSchweiz beträgt dieser Auslegungswert -13°C. Das bedeutet z.B. dass oberhalb dieser Temperatur der Zuluftvolumenstrom und der Abluftvolumenstrom immer gleich gross sein müssen. Oberhalb dieser Temperatur darf die Frostschutzregelung bei Vereisungsrisiko der WRG den Zuluftvolumenstrom nicht reduzieren.

Eine elektrische Vorwärmung soll aus energetischen Gründen vermieden werden.

Allenfalls kommt ein Frostschutz mit einer Bypassregelung in Frage, wenn das Gerät mit einem Nachwärmer ausgerüstet ist. Der Nachwärmer muss an der Raumheizung angeschlossen sein.

Einige Enthalpietauscher können bis zu Aussentemperaturen von ca. -20°C eingesetzt werden (mit Gerätelieferant zu klären), ohne dass ein Vereisungsrisiko besteht. Die Vorteile von Enthalpietauschern sind, dass die Lüftungsfunktion nicht beeinträchtig wird, die Zulufttemperatur nicht wegen einer Bypass-Funktion reduziert wird und dass die Raumluftfeuchte geringfügig höher ist als bei reinen Wärmetauschern.

Schall

Der von der Lüftungsanlage verursachte Schalldruckpegel soll gemäss SIA 181 im Schulzimmern max. 28 dB(A) betragen.

An lauten Lagen ist zu prüfen, ob das Lüftungsgerät den Schallschutz der Gebäudehülle nicht unzulässig schwächt. Die betrifft insbesondere Fassadengeräte.

10 Schlussbemerkungen

10.1 Schlussfolgerungen

Mit dezentralen Lüftungsgeräten lassen sich in Schulzimmern sowohl ein hoher Komfort wie auch eine hohe Energieeffizienz erreichen.
Die im Projekt untersuchten Lüftungsgeräte weisen bezüglich Energie, Frostschutzfunktion, Schall und Hygiene deutliche Unterschiede auf. Eine der vier untersuchten Geräte weist bei allen Kriterien gute Leistungskennwerte resp. Beurteilungen aus. Bei einem weiteren Gerät werden alle Kriterien ausser dem Frostschutz gut beurteilt.
Die Unterschiede zwischen den Geräten weisen darauf hin, dass heute bei der Evaluation von Lüftungsgeräten eine hohe Sorgfalt und Fachkompetenz erforderlich ist.

10.2 Weiterführende Arbeiten

Beim heutigen vielfältigen Angebot an dezentralen Lüftungsgeräten für Schulzimmer ist es selbst für Fachleute schwierig, Produkte zu evaluieren, die für den geplanten Einsatzfall gute Leistungskennwerte aufweisen. Dies wird z. B. dadurch erschwert, dass der energetisch massgebende Kennwert der WRG (fortluftseitiges Temperaturverhältnis) von den Lieferanten in der Regel nicht ausgewiesen wird. Auch Leckagen und hygienische Merkmale lassen sich aufgrund von Produktedeklarationen oft nicht oder mindestens nicht vollständig beurteilen.

Aufgrund dieser Situation wird daher empfohlen, eine Plattform für einen unabhängigen Vergleich von dezentralen Schulzimmer-Lüftungsgeräten aufzubauen. Dazu bietet sich an, die bestehende Plattform von Deklaration Komfortlüftung von energie-cluster.ch zu erweitern. Da Schulzimmerlüftungsgeräte teilweise andere Anforderungen haben als Wohnungslüftungsgeräte, soll aber eine eigene Kategorie definiert werden.

11 Abkürzung und Symbole

11.1 Abkürzungen

ABL Abluft

AUL Aussenluft

BSK Brandschutzklappe

CO_2 Kohlenstoffdioxid

ETV Elektrothermischer Verstärkungsfaktor

FOL Fortluft

k. A. Keine Angaben

PHI Passivhaus Institut

SPI Spezifische Geräteleistung

VOC Flüchtige organische Verbindungen

ZUL Zuluft

11.2 Symbole und Formelzeichen

Die Formeln für die berechneten Grössen finden sich im Anhang 1

$L_{pA,PHI}$ Schalldruckpegel im Raum nach Passivhaus Institut

$L_{W,A}$ Schallleistungspegel, A-bewertet

P_E Elektrische Aufnahmeleistung

P_{SPI} Spezifische Geräteleistung

q_v Minimaler Volumenstrom

q_{vd} Maximaler Volumenstrom

q_{vn} Nennvolumenstrom

Δp externer Förderdruck

$\eta_{\theta,su}$ Temperaturverhältnis (Wärmerückgewinnungsgrad) nach EN 13141-7 oder EN 13141-8, bezogen auf die Zuluftseite

$\eta_{\theta,ex}$ Temperaturverhältnis nach EN 13141-7 oder EN 13141-8, bezogen auf die Fortluftseite

η_{PHI} Wärmebereitstellungsgrad nach Passivhaus Institut

12 Literaturverzeichnis

[1] Schopfer, R.: FGK-Kongress Lüftung in Schulen,“ GI - GebäudeTechnik | InnenraumKlima, 2013

[2] Fachverband Gebäude-Klima e.V.: [Online]. Available: http://www.downloads.fgk.de/174_SR_22_Schullueftung_V4_Internet_010611.pdf. [Zugriff am 09 08 2016]

[3] Schälin, A., Barp, S.: Modul 2 Raumluftströmungen, S. Z. Amt für Hochbauten, Hrsg., Zürich, 2009.

[4] Norm SIA 382/1:2014 Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen

[5] Sprecher F., Hässig, W., Schickor, C., Würmli, C.: Schlussbericht Lüftung für Schulen. Stadt Zürich, Amft für Hochbauten, Fachstelle Energie und Gebäudetechnik. Zürich, 2012

[6] Gugerli, D. H., Huber, H., Weber, A.: Schulhäuser – Wieviel Luft braucht das Hirn. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie und Gebäudetechnik.. Zürich, 2004

[7] Coutalies, R., Heinss, U.: Vergleichende Luftqualitätsmessungen in Schulhäusern im Kanton Aargau. Bau- und Umweltchemie Zürich, 2005

[8] Händel, C.: Lüftung im Vergleich - Zentral oder dezentral. Fachverband Gebäud-Klima e.V., Bietigheim-Bissingen, 2009

[9] Lärmschutz-Verordnung (LSV), Stand 01. Januar 2016

[10] Merkblatt SIA 2024:2015 Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik

[11] Konferenz Kantonaler Energiedirektoren EnDK, *Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEn 2014),* Bern, 2015

[12] Norm EN 13053+A1:2011 Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumlufttechnische Geräte – Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten

[13] Norm EN 13141-8:2014 Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 8: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten ohne Luftführung (einschließlich Wärmerückgewinnung)

[14] Norm EN 13141-7:2010 Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschließlich Wärmerückgewinnung)

[15] Norm SIA 180:2014 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden

[16] Wesco AG, 2016. [Online]. Available: www.wesco.ch. [Zugriff am 09 08 2016]

[17] Hässig, W., Primas, A., Karlström, A., und C. Filleux, C.: CO_2-Gesteuerte Lfütungen in Schulhäusern. Bundesamt für Energie BFE, Uster, 2006

[18] Norm DIN 4719:2009 Lüftung von Wohnungen — Anforderungen, Leistungsprüfungen und Kennzeichnungen von Lüftungsgeräten

[19] energie-cluster.ch: Deklaration Lüftungsgeräte bis 1000 m3/h, Reglement für die technische Prüfung . 2. Fassung Bern, 2017

[20] Normentwurf prEN 13142 (Stand Juni 2017) Lüftung von Gebäuden — Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen - Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrössen

[21] Galli, A., Hässig, W.: Kontrollierte Fensterlüftung – Pilotprojekt Schulhaus Untermoos. Stadt Zürich, Amft für Hochbauten, Fachstelle Energie und Gebäudetechnik. Zürich, 2012

13 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Klassierung der Raumluftqualität (RAL) gemäss SIA 382/1:2014 9
Tabelle 2: Legende zur Produktübersicht 10
Tabelle 3: Produktübersicht Fabrikat Drexel-Weiss 11
Tabelle 4: Produktübersicht Fabrikat Energenio 1/2 12
Tabelle 5: Produktübersicht Fabrikat Energenio 2/2 13
Tabelle 6: Produktübersicht Fabrikate Exhausto und LTM gmbh Ulm 14
Tabelle 7: Produktübersicht Fabrikat Rosenberg Ventilatoren GmbH 15
Tabelle 8: Produktübersicht Fabrikate SIEGENIA und TROX HESCO Schweiz AG 16
Tabelle 9: Produktübersicht Fabrikat Turbovex / aero comfort gmbh 1/2 17
Tabelle 10: Produktübersicht Fabrikat Turbovex / aero comfort gmbh 2/2 18
Tabelle 11: Produktübersicht Fabrikat Wesco / AIRFLOW 1/2 19
Tabelle 12: Produktübersicht Fabrikat Wesco / AIRFLOW 2/2 20
Tabelle 13: Merkmale und Betriebspunkte der vier untersuchten Lüftungsgeräte 21
Tabelle 14: Undichtheiten und der Klassierung 27
Tabelle 15: Thermische Eigenschaften, elektr. Aufnahmeleistung und spezifische Geräteleistung - Lüftungsgerät A 30
Tabelle 16: Thermische Eigenschaften, elektr. Aufnahmeleistung und spezifische Geräteleistung - Lüftungsgerät B 30
Tabelle 17: Thermische Eigenschaften, elektr. Aufnahmeleistung und spezifische Geräteleistung - Lüftungsgerät C 30
Tabelle 18: Thermische Eigenschaften, elektr. Aufnahmeleistung und spezifische Geräteleistung - Lüftungsgerät D 30
Tabelle 19: Total A-bewerteter Schalldruckpegel (L_{WA}) – Lüftungsgerät A 33
Tabelle 20: Total A-bewerteter Schalldruckpegel (L_{WA}) - Lüftungsgerät B 33
Tabelle 21: Total A-bewerteter Schalldruckpegel (L_{WA}) – Lüftungsgerät C 33
+Tabelle 22: Total A-bewerteter Schalldruckpegel (L_{WA}) - Lüftungsgerät D 33
Tabelle 23: Hygienische Beurteilung und Klassierung der Lüftungsgeräte 35
Tabelle 24: Zulässige Filter-Bypass-Leckage nach EN 1886:1998 (jedoch bezogen auf den max. Luftvolumenstrom bei 100 Pa externem Druck, Differenzdruck über den Filter 100 Pa) 35
Tabelle 25: Energetische Kennwerte der vier untersuchten Lüftungsgerät, Energiemengen bezogen auf eine Person 39
Tabelle 25: Zusammenfassung der Prüfergebnisse der vier untersuchten Lüftungsgeräte, alle Daten bei den Nennluftvolumenströmen der Geräte 41
Tabelle 26: Oktavbandanalyse 650 m³/h / 30 Pa 57
Tabelle 27: Oktavbandanalyse 550 m³/h / 30 Pa 57
Tabelle 28: Oktavbandanalyse 400 m³/h / 30 Pa 57

Tabelle 29: Oktavbandanalyse 250 m³/h / 30 Pa....57
Tabelle 30: Oktavbandanalyse 550 m³/h / 30 Pa....58
Tabelle 31: Oktavbandanalyse 650 m³/h / 30 Pa....58
Tabelle 32: Oktavbandanalyse 455 m³/h / 30 Pa....58
Tabelle 33: Oktavbandanalyse 180 m³/h / 30 Pa....58
Tabelle 34: Oktavbandanalyse 650 m³/h / 30 Pa....59
Tabelle 35: Oktavbandanalyse 550 m³/h / 30 Pa....59
Tabelle 36: Oktavbandanalyse 180 m³/h / 30 Pa....59
Tabelle 37: Oktavbandanalyse 455 m³/h / 30 Pa....59

Figur 1: Beispiel Standgerät der Firma Rosenberg [8]....6
Figur 2: Beispiel Deckengerät der Firma Wesco [13]....6
Figur 3: Beispiel Brüstungsgerät der Firma Trox Hesco [2]....6
Figur 4: Zuluftströmung mit Deckendrallauslässen....6
Figur 5: Zuluftströmung Standgerät mit Quelllüftung....6
Figur 6: Zuluftströmung Deckengerät....6
Figur 7: Zuluftströmung Brüstungsgerät....6
Figur 8: Externe Leckage – Lüftungsgerät A....25
Figur 9: Externe Leckage - Lüftungsgerät B....25
Figur 10: Externe Leckage - Lüftungsgerät C....25
Figur 11: Externe Leckage - Lüftungsgerät D....25
Figur 12: Interne Leckage – Lüftungsgerät A....26
Figur 13: Interne Leckage - Lüftungsgerät B....26
Figur 14: Interne Leckage - Lüftungsgerät C....26
Figur 15: Interne Leckage - Lüftungsgerät D....26
Figur 16: Filter-Bypass-Volumenstrom – Lüftungsgerät A....28
Figur 17: Filter-Bypass-Volumenstrom - Lüftungsgerät B....28
Figur 18: Filter-Bypass-Volumenstrom - Lüftungsgerät C....28
Figur 19: Filter-Bypass-Volumenstrom - Lüftungsgerät D....28
Figur 20: Volumenstrom-/Druck-Kennlinie Ab-/Fortluftseite – Lüftungsgerät A....29
Figur 21: Volumenstrom-/Druck-Kennlinie Aussen-/ Zuluftseite – Lüftungsgerät A....29
Figur 22: Rauchversuch mit Zuluftstrahl bei Lüftungsgerät D....36
Figur 23: Rauchversuch mit Zuluftstrahl bei Lüftungsgerät B....37
Figur 24: Einsparung an Wärmeenergie und Bedarf an elektrischer Energie der vier untersuchten Lüftungsgeräte, Energiemengen bezogen auf eine Person....39
Figur 25: Elektrothermischer Verstärkungsfaktor (ETV) der vier untersuchten Lüftungsgeräte....39
Figur 26: Skizze Seitenansicht Messaufbau Brüstungsgerät D....60

Figur 27: Ansicht Zuluftauslass D inkl. Sondepositionen und Sondenbeschriftung, Massangabe in cm.....60

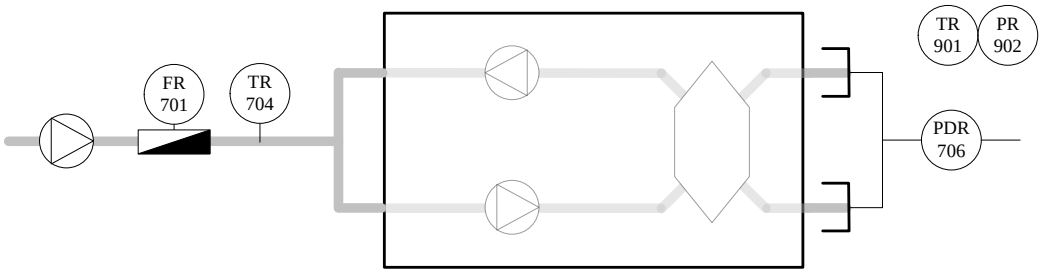
Figur 28: Skizze Seitenansicht Messaufbau Brüstungsgerät B 61

Figur 29: Ansicht Zuluftauslass, Lüftungsgerät B, inkl. Sondepositionen und Sondenbeschriftung, Massangabe in cm.....61

Anhang 1 Messkonzept für die strömungs- und wärmetechnischen Untersuchungen

Prüfung der externen Leckage

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



Gemessene Grössen

FR701	q_{ve}	m^3/h	externer Leckluftvolumenstrom
PDR706	p_{tU}	Pa	Druckdifferenz zwischen Geräteinnerem zur Umgebung
PR902	p_{Baro}	Pa	Barometerstand
TR704	θ_{qv}	°C	Temperatur beim Volumenstrommessgerät
TR901	θ_{Umg}	°C	Umgebungstemperatur

Berechnete Grössen

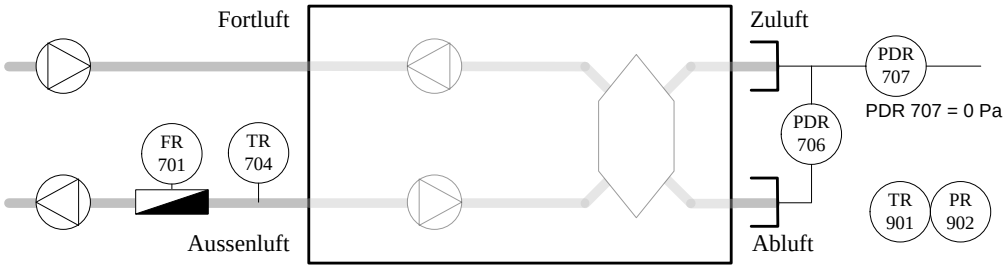
Leckage % rel. Leckage

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

q_{vd} m^3/h grösster deklarierter Luftvolumenstrom

Prüfung der internen Leckage

Die Leckage des Prüflings zwischen Abluft-/Fortluftseite und Aussenluft-/Zuluftseite wird bestimmt, indem die Abluft-/Fortluftseite mit einem Stützventilator unter Druck gesetzt wird. Die Druckdifferenz zwischen der Aussenluft-/Zuluftseite und der Umgebungsluft wird mit einem externen Ventilator konstant auf 0 Pa gehalten. Die Leckage entspricht dem Volumenstrom auf der Aussenluft-/Zuluftseite, der zur Stabilisierung des Differenzdruckes von 0 Pa nötig ist.



Gemessene Grössen

FR701	q_{vi}	m^3/h	interner Leckluftvolumenstrom
PDR706	Δp_s	Pa	Druckdifferenz zwischen Ab-/Fortluftseite und Aussen-/Zuluftseite
PDR707	Δp	Pa	Druckdifferenz zwischen Aussen-/Zuluftseite und Umgebung
PR902	p_{Baro}	Pa	Barometerstand
TR704	θ_{qv}	°C	Temperatur beim Volumenstrommessgerät
TR901	θ_{Umg}	°C	Umgebungstemperatur

Berechnete Grössen

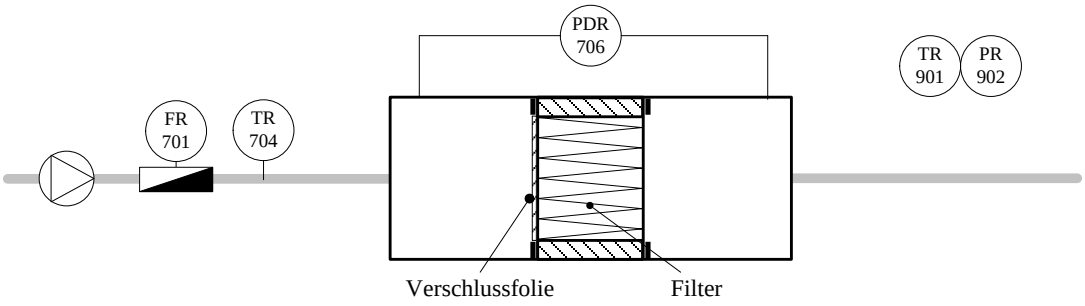
Leckage % rel. Leckage

$$\text{Leckage} = \frac{q_{vi}}{q_{vd}} \cdot 100\%$$

q_{vd} m^3/h grösster deklarierter Luftvolumenstrom

Prüfung der Filter-Bypass Leckage

Die Filter-Bypass-Leckage wird in zwei Schritten bestimmt.
Schritt 1, Ermittlung der Gesamtleckage (Leckage durch das Gehäuse und durch die Verbindungsstelle zwischen Filterrahmen und Gehäuse). Die Filterzelle wird auf der Eintrittseite mit einer Folie luftdicht verschlossen. Mit einem Stützventilator wird eine stationäre Druckdifferenz über den Filter eingestellt. Die Leckage entspricht dem zugeführten Volumenstrom, der zur Stabilisierung des Differenzdruckes nötig ist.
Schritt 2, Ermittlung der Leckage durch das Gehäuse. Zusätzlich zur Filterzelle wird die Verbindungsstelle zwischen Filterrahmen und Gehäuse abgedichtet und die Messung analog Schritt 1 durchgeführt.
Die Filter-Bypass-Leckage entspricht der Differenz der Leckvolumenströme aus Schritt 1 und 2.



Gemessene Grössen

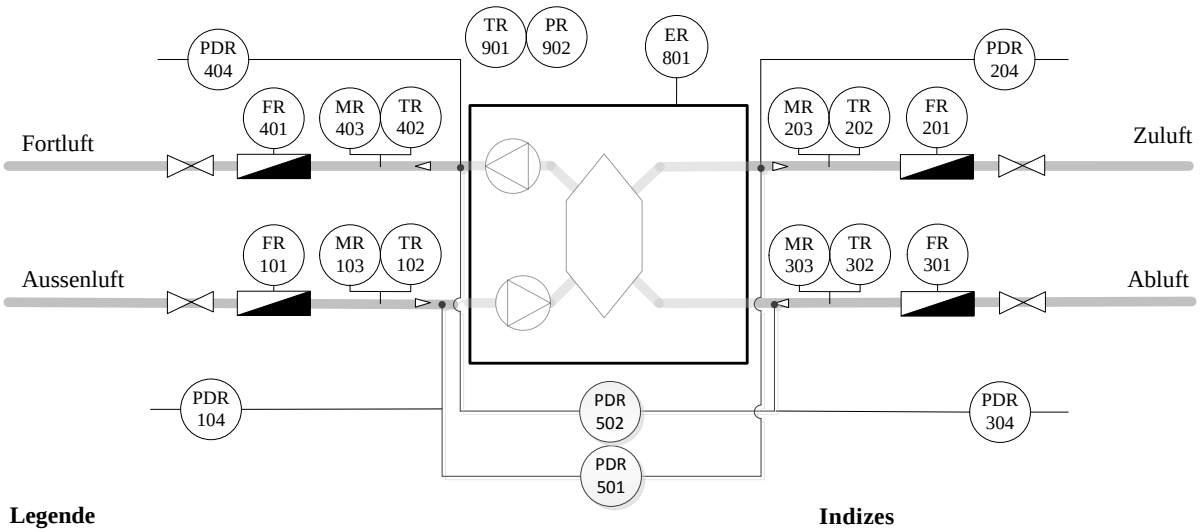
FR701	q_{Lt} / q_L	m^3/h	Gesamtleckluftvolumenstrom / Leckvolumenstrom durch das Gehäuse
PDR706	Δp	Pa	Druckdifferenz über Filtereinheit
PR902	p_{Baro}	Pa	Barometerstand
TR704	θ_{qv}	°C	Temperatur beim Volumenstrommessgerät
TR901	θ_U	°C	Umgebungstemperatur

Berechnete Grössen

q_{Lf}	m^3/h	Filter-Bypass-Leckage
		$q_{Lf} = q_{Lt} - q_L$
Leckage	%	rel. Leckage
		$\text{Leckage} = \frac{q_{Lf}}{q_{vd}} \cdot 100\%$
q_{vd}	m^3/h	grösster deklarierter Luftvolumenstrom

Prüfung der thermischen Eigenschaften

Luftkonditionierung: Die Aussenluft- und Abluftkonditionierung geschieht mittels zweier Klimageräte (Monobloc) mit einem Filter, einem Ventilator, einem Vor- und einem Nachkühler, einem Lufterhitzer sowie einem Befeuchter. Mit externen Ventilatoren und Drosselorganen wird die externe Pressung beim Gerät auf den geforderten Sollwert eingestellt.



Legende

ER	elekt. Leistungaufnahme	1xx	Aussenluft
FR	Durchfluss	2xx	Zuluft
MR	Luftfeuchte	3xx	Abluft
PDR	Druckdifferenz	4xx	Fortluft
PR	abs. Druck (Barometerstand)	8xx	Gerät
TR	Temperatur	9xx	Umgebungsbedingungen

Indizes

1	Ab-/Fortluftseite
2	Aussen-/Zuluftseite
AB	Abluft
FO	Fortluft
AU	Aussenluft
ZU	Fortluft
U	Umgebung

Gemessene Grössen

dp	Pa	statischer Druck	PDR104, PDR204, PDR304, PDR404
dp_{ext}	Pa	externe Pressung	PDR501, PDR502
V	m^3/h	Volumenstrom	FR101, FR201, FR301, FR401
p_{Baro}	Pa	Barometerstand	PR902
P_{el}	W	elekt. Leistung	ER801
ϑ	°C	Temperatur	TR102, TR202, TR302, TR402, TR901
tp	°C	Taupunkttemperatur	MR103, MR203, MR303, MR403

Berechnete Grössen

p_{tU1}, p_{tU2}	Pa	externe Druckdifferenz zwischen Ein- und Austrittsstutzen Abluftseite $p_{tU1}=\|p_{s11}\|+\|p_{s12}\|$, Zuluftseite $p_{tU2}=\|p_{s21}\|+\|p_{s22}\|$
q_m	kg/h	Massenstrom $q_m = \rho \cdot q_v$
ρ	kg/m^3	Dichte der Luft $\rho = f(p_{Baro}, t, x)$
c_p	J/kg K	spez. Wärmekapazität $c_p = f(t)$
x	kg/kg	abs. Feuchte, bezogen auf trockene Luft $x = f(p_{Baro}, t, tp, ps)$ ps = Sättigungsdruck in Pa
h	kJ/kg	Enthalpie $h = f(p_{Baro}, t, x)$

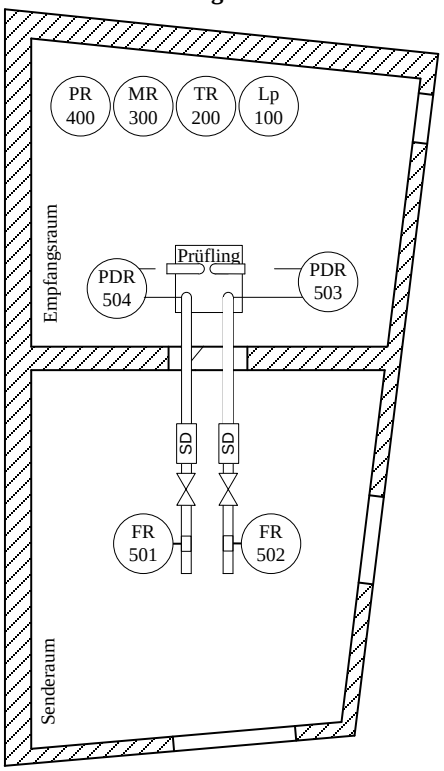
$$\eta_{\theta,su} = \frac{\theta_{22} - \theta_{21}}{\theta_{11} - \theta_{21}} \cdot \frac{q_{m22}}{q_{m11}} \qquad \eta_{\theta,ex} = \frac{\theta_{11} - \theta_{12}}{\theta_{11} - \theta_{21}} \cdot \frac{q_{m12}}{q_{m21}}$$

$\eta_{x,su}$, $\eta_{x,ex}$ - Feuchteverhältnis auf der Zuluftseite / Feuchteverhältnis auf der Abluftseite

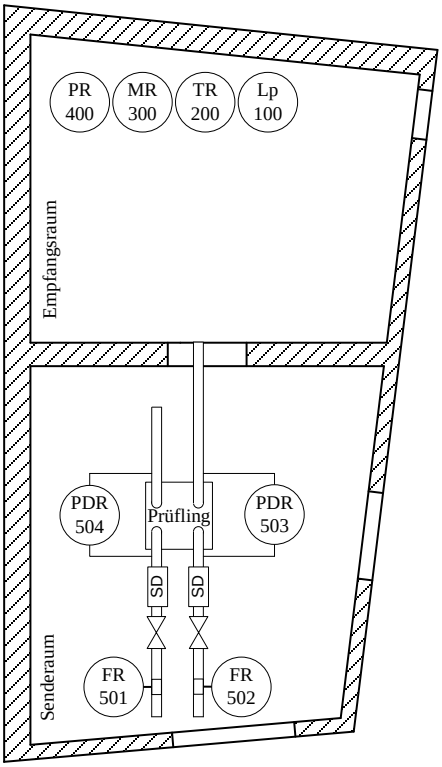
$$\eta_{x,su} = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}} \cdot \frac{q_{m22}}{q_{m11}} \qquad \eta_{x,ex} = \frac{x_{11} - x_{12}}{x_{11} - x_{21}} \cdot \frac{q_{m12}}{q_{m21}}$$

Anhang 2 Messkonzept für die akustische Prüfung

Prüfeinrichtung
Gehäuseabstrahlung



Prüfeinrichtung
Schallleistungspegel in den Luftanschlüssen



Gemessene Grössen

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

Berechnete Grössen
Mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum

L_p dB mittlerer Schalldruckpegel in einem bestimmten Frequenzband im Empfangsraum

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

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 dB $\leq \Delta L \leq$ 15 dB K1=-10 lg(1-$10^{-0.1\,\Delta L}$), wenn ΔL < 10 dB ist, beträgt die max. Korrektur 0.5 dB und diese Schallleistungspegel stellen eine obere Grenze dar.

ΔL dB $\Delta L = L_p - L_{pg}$

L_{pg} dB mittlerer Schalldruckpegel in einem bestimmten Frequenzband bei ausgeschalteter Schallquelle

Schallleistungspegel der Geräuschequelle

L_w dB Schallleistungspegel in einem bestimmten Frequenzband

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

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 = $1m^2$

S m^2 Raumoberfläche = 214.48 m^2

V m^3 Raumvolumen = 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 Bezugsdruck101325 Pa

Mündungsreflexion bei Messungen mit offenem Kanalende (Schallleistungspegel in den Luftanschlüssen)

(Berechnung gemäss EN ISO 5135: 1997)

$L_{w,duct}$ dB Schallleistungspegel mit Korrektur der Mündungsreflexion in einem bestimmten Frequenzband

$$L_{w,duct} = L_w + \Delta L_r = L_w + 10 \cdot \log \cdot \left(1 + \left(\frac{c}{4 \cdot \pi \cdot f} \right)^{2} \cdot \frac{\Omega}{S_{duct}} \right)$$

L_w dB in den Raum abgestrahlte Schallleistungspegel in einem bestimmten Frequenzband

ΔL_r dB Reflexionsverluste am offenen Kanalende (Mündungsreflexion) in einem bestimmten Frequenzband

S_{duct} m^2 freier Querschnitt Kanalende

Ω °C Raumwinkel der Abstrahlung vom Kanalende ($\Omega = 2\ \pi$)

A-bewertete Schallleistungspegel

L_{wA} dB A-bewerteter Schalldruckpegel in einem bestimmten Frequenzband

$$L_{wA} = L_w + C_j$$

C_j dB Korrekturwert Bewertungsfilter A

Terzband Mittenfrequenz Hz	j	C_j dB	Terzband Mittenfrequenz Hz	j	C_j dB
50	1	-30.2	800	13	-0.8
63	2	-26.2	1’000	14	0
80	3	-22.5	1’250	15	0.6
100	4	-19.1	1’600	16	1
125	5	-16.1	2’000	17	1.2
160	6	-13.4	2’500	18	1.3
200	7	-10.9	3’150	19	1.2
250	8	-8.6	4’000	20	1
315	9	-6.6	5’000	21	0.5
400	10	-4.8	6’300	22	-0.1
500	11	-3.2	8’000	23	-1.1
630	12	-1.9	10’000	24	-2.5

Anhang 3 Akustische Prüfung – Detailergebnisse am Beispiel des Lüftungsgeräts D

Gehäuseabstrahlung

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	58.3	0	56.3	30.2
125	20.2	49.8	0	48.2	31.4
250	15.6	37.3	0	37.1	29.0
500	8.2	29.9	0	30.4	27.0
1000	5.7	28.2	0	29.0	28.9
2000	7.0	14.9	0.46	17.1	18.2
4000	13.7	11.5	0.46	16.8	17.7
8000	15.6	13.2	1.26	23.9	21.9
Total				**57.0**	**36.8**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**57.0**	**36.5**

Tabelle 27: Oktavbandanalyse 650 m³/h / 30 Pa

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	65.4	0	63.4	37.6
125	20.2	58.9	0	57.4	40.9
250	15.6	46.6	0	46.0	36.7
500	8.2	39.0	0	39.5	36.3
1000	5.7	34.3	0	35.0	34.8
2000	7.0	29.9	0	32.1	33.2
4000	13.7	21.8	0.46	27.1	27.9
8000	15.6	14.9	1.26	25.1	23.5
Total				**64.5**	**45.2**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**64.5**	**45.0**

Tabelle 28: Oktavbandanalyse 550 m³/h / 30 Pa

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	62.8	0	60.8	34.6
125	20.2	52.9	0	51.4	34.9
250	15.6	40.4	0	40.0	30.9
500	8.2	34.6	0	35.1	31.8
1000	5.7	29.0	0	29.8	29.7
2000	7.0	21.3	0.164	23.5	24.6
4000	13.7	16.9	0.46	21.8	22.7
8000	15.6	14.1	1.26	24.8	22.8
Total				**61.3**	**40.1**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**61.3**	**40.0**

Tabelle 30: Oktavbandanalyse 400 m³/h / 30 Pa

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	58.3	0	56.3	30.2
125	20.2	49.8	0	48.2	31.4
250	15.6	37.3	0	37.1	29.0
500	8.2	29.9	0	30.4	27.0
1000	5.7	28.2	0	29.0	28.9
2000	7.0	14.9	0.46	17.1	18.2
4000	13.7	11.5	0.46	16.8	17.7
8000	15.6	13.2	1.26	23.9	21.9
Total				**57.0**	**36.8**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**57.0**	**36.5**

Tabelle 29: Oktavbandanalyse 250 m³/h / 30 Pa

Schallleistungspegel im Aussenluft-Anschlussstutzen

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	68.2	0	80.5	54.5
125	21.4	59.2	0	66.2	50.0
250	14.7	58.2	0	62.4	52.6
500	14.0	46.8	0	48.7	45.5
1000	15.1	46.2	0	47.6	47.9
2000	17.0	45.4	0	47.8	48.9
4000	20.4	38.1	0	42.9	43.9
8000	22.4	28.5	1.222	37.8	36.9
Total				**80.7**	**58.8**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**80.7**	**58.8**

Tabelle 32: Oktavbandanalyse 650 m³/h / 30 Pa

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	66.1	0	78.3	52.5
125	21.4	56.4	0	63.4	47.2
250	14.7	55.6	0	59.8	49.9
500	14.0	44.8	0	46.7	43.5
1000	15.1	43.3	0	44.7	45.0
2000	17.0	42.7	0	45.1	46.2
4000	20.4	35.0	0.154	39.7	40.7
8000	22.4	25.3	1.26	34.8	33.8
Total				**78.5**	**56.4**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**78.5**	**56.4**

Tabelle 31: Oktavbandanalyse 550 m³/h / 30 Pa

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	65.5	0	78.1	51.1
125	21.4	52.7	0	59.8	43.5
250	14.7	52.4	0	56.7	46.7
500	14.0	42.3	0	44.2	41.0
1000	15.1	40.0	0	41.4	41.7
2000	17.0	39.2	0	41.5	42.6
4000	20.4	31.0	0.399	35.7	36.7
8000	22.4	22.3	1.26	32.3	30.9
Total				**78.2**	**54.0**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**78.2**	**54.0**

Tabelle 33: Oktavbandanalyse 455 m³/h / 30 Pa

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	53.3	0	65.6	39.5
125	21.4	41.4	0	48.6	32.2
250	14.7	40.4	0	44.5	35.0
500	14.0	33.3	0	35.3	31.8
1000	15.1	28.0	0.231	29.4	29.6
2000	17.0	24.9	0.46	27.2	28.3
4000	20.4	19.6	0.46	24.7	25.7
8000	22.4	20.6	1.26	31.0	29.2
Total				**65.7**	**42.6**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**65.7**	**42.1**

Tabelle 34: Oktavbandanalyse 180 m³/h / 30 Pa

Schallleistungspegel im Fortluft-Anschlussstutzen

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	70.3	0	83.3	54.6
125	21.4	64.8	0	73.1	55.2
250	14.7	58.8	0	62.8	54.1
500	14.0	57.5	0	59.4	56.5
1000	15.1	57.8	0	59.0	59.0
2000	17.0	54.2	0	56.6	57.7
4000	20.4	47.9	0	52.7	53.7
8000	22.4	40.0	0	49.3	48.4
Total				**83.7**	**64.8**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**83.7**	**64.8**

Tabelle 35: Oktavbandanalyse 650 m³/h / 30 Pa

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	69.0	0	81.9	53.3
125	21.4	63.4	0	71.7	53.7
250	14.7	56.4	0	60.4	51.5
500	14.0	55.6	0	57.4	54.6
1000	15.1	54.8	0	56.1	56.0
2000	17.0	51.4	0	53.8	54.9
4000	20.4	44.5	0	49.2	50.2
8000	22.4	35.4	0.224	44.6	43.8
Total ab 50 Hz				**82.4**	**62.4**
Total ab 50 Hz ohne K_1 > Grenzwert				**82.4**	**62.4**

Tabelle 36: Oktavbandanalyse 550 m³/h / 30 Pa

Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	67.9	0	80.9	52.1
125	21.4	60.5	0	68.9	50.8
250	14.7	53.1	0	57.0	48.3
500	14.0	53.0	0	54.8	52.0
1000	15.1	51.3	0	52.5	52.4
2000	17.0	47.8	0	50.1	51.3
4000	20.4	39.9	0	44.6	45.7
8000	22.4	29.4	0.962	38.7	37.8
Total				**81.2**	**59.3**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**81.2**	**59.3**

Tabelle 38: Oktavbandanalyse 455 m³/h / 30 Pa

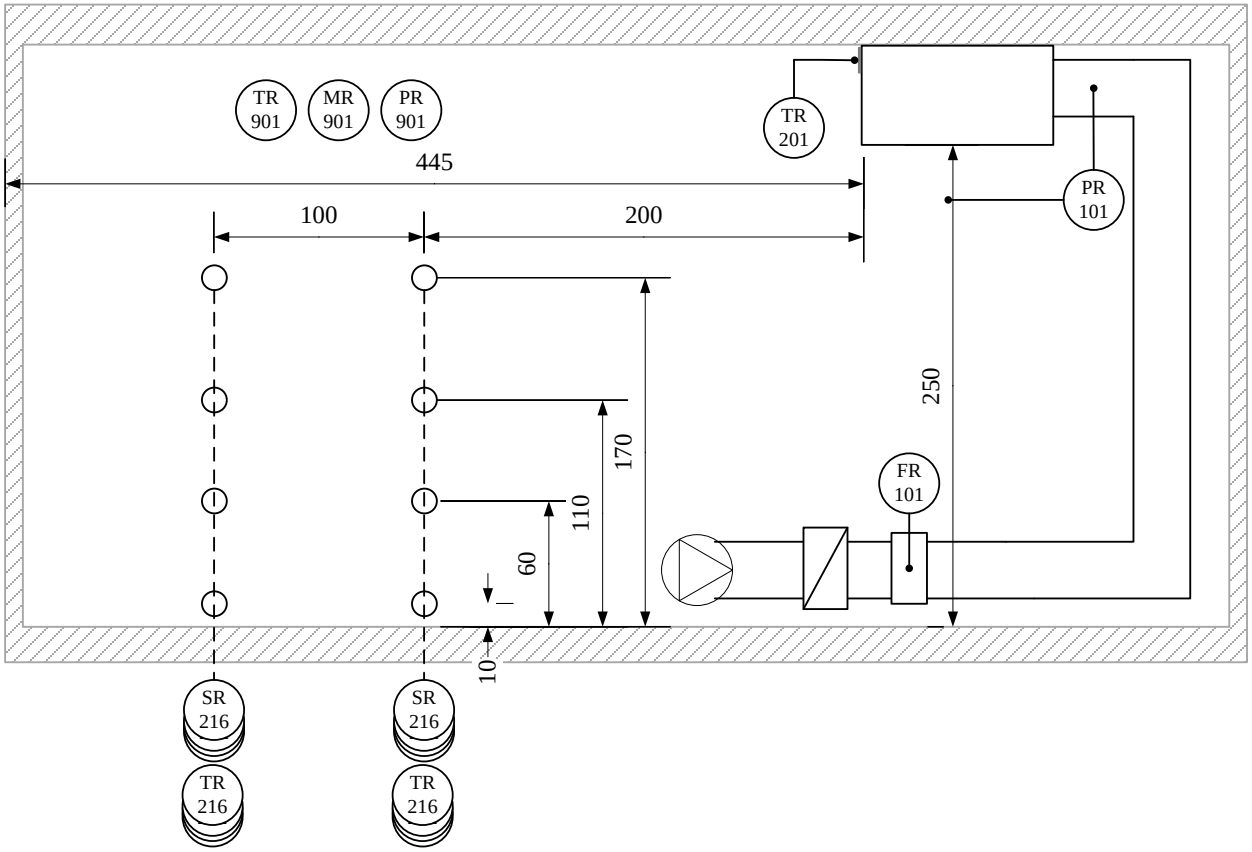
Oktavbandanalyse

f Hz	$L_{p(B)}$ dB	$L_{p(ST)}$ dB	K_1 dB	L_W dB	L_{WA} dB
63	21.9	59.3	0	72.3	43.6
125	21.4	51.4	0	59.8	41.7
250	14.7	44.9	0	48.7	40.4
500	14.0	44.0	0	45.9	42.9
1000	15.1	39.8	0	41.0	41.0
2000	17.0	33.5	0	35.8	36.9
4000	20.4	22.5	0.46	27.3	28.3
8000	22.4	20.7	1.26	31.1	29.3
Total				**72.6**	**49.4**
Total ohne K_1 > Grenzwert				**72.6**	**49.3**

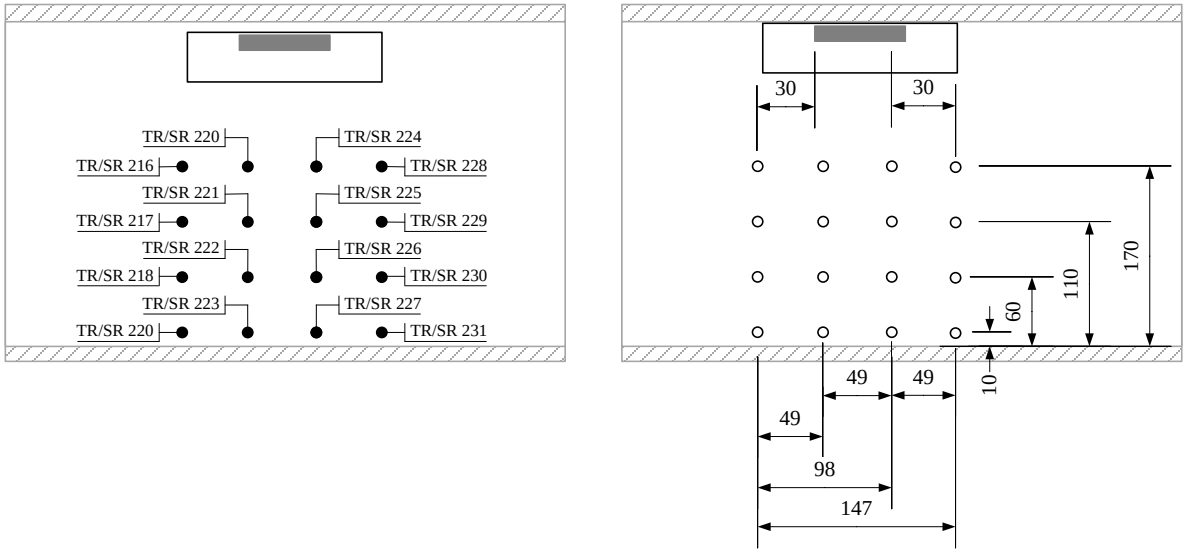
Tabelle 37: Oktavbandanalyse 180 m³/h / 30 Pa

Anhang 4 Behaglichkeitsprüfung

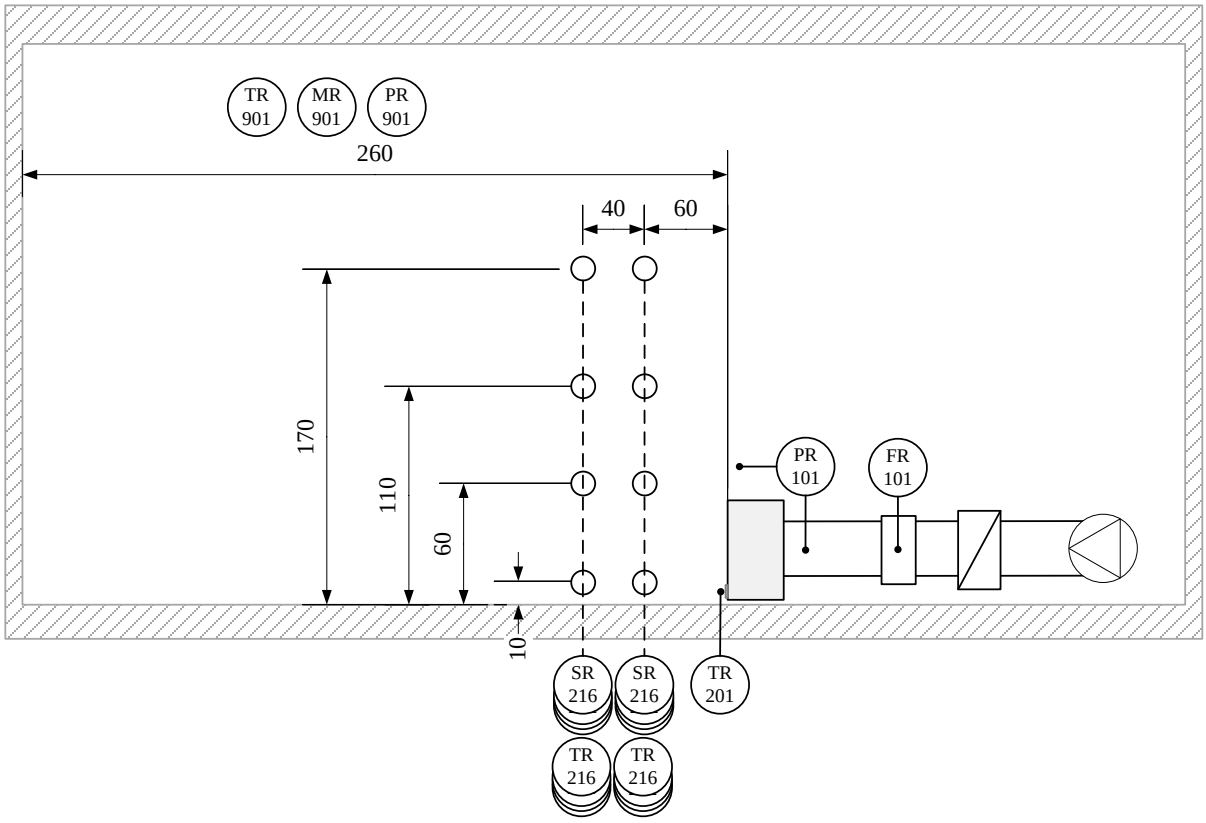
Figur 26: Skizze Seitenansicht Messaufbau Brüstungsgerät D



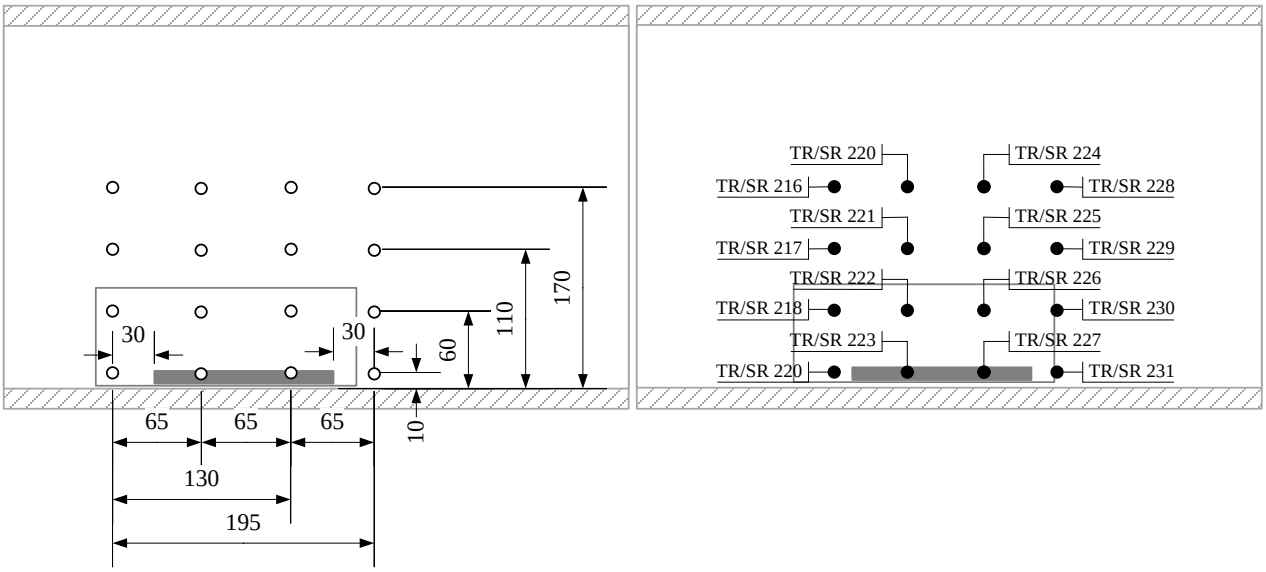
Figur 27: Ansicht Zuluftauslass D inkl. Sondepositionen und Sondenbeschriftung, Massangabe in cm



Figur 28: Skizze Seitenansicht Messaufbau Brüstungsgerät B



Figur 29: Ansicht Zuluftauslass, Lüftungsgerät B, inkl. Sondepositionen und Sondenbeschriftung, Massangabe in cm



Legende

TR	Temperatur	1xx	Aussenluft
FR	Durchfluss	2xx	Zuluft
MR	Luftfeuchte	3xx	Abluft
PDR	Druckdifferenz	4xx	Fortluft
PR	abs. Druck (Barometerstand)	8xx	Gerät
SR	Geschwindigkeit	9xx	Umgebungsbedingungen

Indizes

1	Ab-/Fortluftseite
2	Aussen-/Zuluftseite
AB	Abluft
FO	Fortluft
AU	Aussenluft
ZU	Fortluft
U	Umgebung

Gemessene Grössen

dp	Pa	statischer Druck	PDR901
dp	Pa	Druckdifferenz	PR101
V	m^3/h	Volumenstrom	FR101
p_{Baro}	Pa	Barometerstand	PR901
ϑ	°C	Temperatur	TR201, TR216, TR901
V	m/s	Luftgeschwindigkeit	SR 216

Berechnete Grössen

ρ kg/m³ Dichte

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{\rho_2 \cdot T_1}{\rho_1 \cdot T_2}$$

DR Die Beeinträchtigung durch Zugluft wird als vorausgesagter Prozentsatz von Menschen angegeben, die sich durch die Zugluft (draught ratin DR) beeinträchtigt fühlen.

$$DR = \left(34 - t_{a,l}\right) \cdot (\bar{v}_L - 0.05)^{0.62} (0.37 \cdot \bar{v}_L \cdot Tu + 3.14)$$

$t_{a,l}$ °C Lokale Lufttemperatur

TU % Der Turbulenzgrad TU gibt an, wie stark die Luftgeschwindigkeit in einem bestimmten Zeitintervall schwankt und wird in % angegeben. Er ist das Verhältnis der Standardabweichung der Luftgeschwindigkeit v_L zu ihrem Mittelwert.

$$TU = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(v_{Li} - \overline{v_L}\right)^2}}{\overline{v_L}}$$

$\overline{v_L}$ m/s lokale mittlere Luftgeschwindigkeit

v_{Li} m/s Luftgeschwindigkeit zum Zeitpunkt i