

**Ringversuch zum Vergleich des
Prüfverfahrens für dezentrale
Lüftungsgeräte mit alternierender
Ventilator Drehrichtung zwischen
drei Prüfstellen zur energetischen
Bewertung**

T 3345

T 3345

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-8167-9887-3

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Forschungsbericht

Ringversuch zum Vergleich des Prüfverfahrens für dezentrale Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator-drehrichtung zwischen drei Prüfstellen zur energetischen Bewertung

Dipl.-Ing. (FH) Taner Özbiyik

Europäisches Testzentrum für
Wohnungslüftungsgeräte (TZWL) e.V.
Ernst-Mehlich-Str. 4A
44141 Dortmund

Dortmund, 20. Juli 2016

Zusammenfassung

Für dezentrale Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator Drehrichtung, auch als „Push-Pull-Geräte“ und „Umschaltgeräte“ bekannt, stehen zur Bewertung der thermodynamischen Eigenschaften zwei neue Prüfverfahren zur Verfügung.

Zum einen ist dies das „Spülluftverfahren“ und zum anderen das „direkte Verfahren“ gemäß der DIN EN 13141-8:2014.

Es stellt sich die Frage, ob die nach den beiden Verfahren ermittelten Kennwerte reproduzierbar sind und für die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) verwendet werden können.

In dem hier vorliegenden Forschungsbericht wurde deshalb untersucht, welche Ergebnisse die Messungen nach beiden Prüfvorschriften an drei ausgewählten Prüfstellen liefern.

Es wurden geringere Abweichungen beim Spülluftverfahren als bei dem direkten Verfahren erwartet. In diesem Ringversuch konnte diese Erwartung bestätigt werden. Allerdings stellte sich heraus, dass das Spülluftverfahren noch nicht ausreichend beschrieben ist. Des Weiteren wurden bei der Ermittlung der geförderten Luftmengen bisher in den Prüfvereinbarungen nicht berücksichtigte Einflussfaktoren festgestellt.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	II
Diagrammverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator Drehrichtung	2
3 Prüfmethoden	4
3.1 Kalorisches Verfahren	4
3.2 Spülluftverfahren	6
3.3 Direkte Verfahren nach DIN EN 13141-8:2014	9
4 Ringversuch	11
4.1 Prüfgegenstand	11
4.2 Versuchsaufbau	12
4.3 Vorgehensweise	13
4.4 Ablauf	16
5 Ergebnisse	17
5.1 Lüftungstechnische Kennlinien	17
5.1.1 Vergleich zwischen Prüfstelle 1 und 2	17
5.1.2 Vergleich Messanordnung saugseitig/druckseitig an Prüfstelle 3	19
5.1.3 Vergleich unterschiedlicher Anordnungen des Wärmeübertragers an Prüfstelle 2	20
5.1.4 Vergleich der Lüftungstechnischen Kennlinien aller drei Prüfstellen	23
5.2 Thermodynamische Ergebnisse nach Spülluftverfahren	25
5.3 Thermodynamische Ergebnisse nach direktem Verfahren gemäß DIN EN 13141-8	30
6 Diskussion	34
7 Quellenverzeichnis	37
Anhang	38
A Auswertemasken	38
B Vergleichsdiagramme der Lüftungstechnischen Kennlinien	53
C Bilder der Prüfaufbauten	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Luftzustände nach Prüfvereinbarung Lü-A Nr. 20a.....	14
Tabelle 2: Temperaturbedingungen nach DIN EN 13141-8.....	14
Tabelle 3: Mögliche Varianten der Aufnahme von Kennlinien der Abluft- und Zuluftvolumenströme bei einem Gerätepaar (x = Kennlinie gemessen).....	15
Tabelle 4: Mögliche Varianten der Messanordnung der Volumenströme (x = Kennlinie gemessen).....	15
Tabelle 5: Vergleich der Ergebnisse der thermodynamischen Prüfungen nach dem Spülluftverfahren der drei Prüfstellen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur.....	25
Tabelle 6: Vergleich der Standardabweichungen der Ergebnisse je Luftvolumenstrom bei Betrachtung der Prüfstellen 1 und 2 mit Prüfstellen 1 bis 3.....	26
Tabelle 7: Vergleich der Ergebnisse der thermodynamischen Prüfungen an den drei Prüfstellen an der kleinsten Stufe nach dem Spülluftverfahren und Darstellung der wiederholten Messungen (Fettkursiv) an der Prüfstelle 3 unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der Außenlufttemperatur.....	29
Tabelle 8: Neuer Vergleich der Standardabweichungen der Ergebnisse je Luftvolumenstrom bei Betrachtung der Prüfstellen 1 und 2 mit Prüfstellen 1 bis 3 mit den wiederholten Messungen bei konstanter Umgebungstemperatur an Prüfstelle 3.....	29
Tabelle 9: Vergleich der Ergebnisse der thermodynamischen Prüfungen der drei Prüfstellen nach direktem Verfahren.....	30
Tabelle 10: Vergleich der Standardabweichungen der Ergebnisse der Messungen je Luftvolumenstrom nach dem direktem Verfahren bei Betrachtung aller drei Prüfstellen.....	31

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Abluft/Fortluft aufgenommen an den Prüfstellen 1 und 3.....	18
Diagramm 2: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Außenluft/Zuluft aufgenommen an den Prüfstellen 1 und 3.....	18
Diagramm 3: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Abluft/Fortluft von zwei Geräten und unterschiedlichen Messanordnungen, aufgenommen von Prüfstelle 3.....	19
Diagramm 4: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Außenluft/Zuluft von zwei Geräten und unterschiedlichen Messanordnungen, aufgenommen von Prüfstelle 3.....	20
Diagramm 5: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Abluft von Gerät 1 und unterschiedlichen Anordnungen des Wärmeübertragers, aufgenommen von Prüfstelle 2.....	21
Diagramm 6: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Zuluft von Gerät 1 und unterschiedlichen Anordnungen des Wärmeübertragers, aufgenommen von Prüfstelle 2.....	22
Diagramm 7: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Abluft von Gerät 2 und unterschiedlicher Anordnung des Wärmeübertragers, aufgenommen von Prüfstelle 2.....	22
Diagramm 8: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Zuluft von Gerät 2 und unterschiedlichen Anordnungen des Wärmeübertragers, aufgenommen von Prüfstelle 2.....	23
Diagramm 9: exemplarischer Vergleich der Lüftungstechnischen Kennlinie der Abluft über alle drei Prüfstellen.....	24
Diagramm 10: exemplarischer Vergleich der Lüftungstechnischen Kennlinie der Zuluft über alle drei Prüfstellen.....	24
Diagramm 11: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der drei Prüfstellen für die Stufe 1 geprüft nach dem Spülluftverfahren.....	26
Diagramm 12: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der drei Prüfstellen für die Stufe 2 geprüft nach dem Spülluftverfahren.....	27
Diagramm 13: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der drei Prüfstellen für die Stufe 3 geprüft nach dem Spülluftverfahren.....	27
Diagramm 14: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der drei Prüfstellen für die Stufe 1 geprüft nach dem Spülluftverfahren, bei Prüfstelle 3 mit den Wiederholungsmessungen.....	29

Diagramm 15: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der Stufe 1 je Prüfstelle für das direkte Prüfverfahren.....	31
Diagramm 16: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der Stufe 2 je Prüfstelle für das direkte Prüfverfahren.....	32
Diagramm 17: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der Stufe 3 je Prüfstelle für das direkte Prüfverfahren.....	32
Diagramm 18: Vergleich der Standardabweichungen des Spülluftverfahrens und des direkte Prüfverfahrens.....	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Funktionsweise und des Aufbaus von Lüftungsgeräten mit alternierender Ventilator Drehrichtung.....	3
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Prüfkammern für das kalorische Prüfverfahren.....	5
Abbildung 3: Schematische Darstellung für das Spülluftverfahren (Draufsicht).....	7
Abbildung 4: Schematische Darstellung für das Spülluftverfahren mit Spülluft (Frontansicht).....	7
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Prüfkammer für das direkte Verfahren nach DIN EN 13141-8.....	10

1 Einleitung

Die erhöhte Marktnachfrage nach Lüftungsgeräten mit alternierender Ventilator-drehrichtung führt zu vermehrten Nachfragen nach Prüfungen zur Ermittlung der energetischen Kennwerte dieser Geräte. Das besondere an diesem Gerätetyp ist die zyklische Umkehrung der Luftströmung zur Auf- und Entladung eines regenerativen Wärmeübertragers. Die bisherigen europäischen und nationalen normativen Prüfvorgaben sind jedoch überwiegend auf der Grundlage von Lüftungsgeräten mit einer statischen Luftströmung aufgestellt worden. Demzufolge sind Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator-drehrichtung in den Prüfmethoden national wie europaweit kaum bzw. gar nicht als Lüftungsgeräte berücksichtigt. Nach den bisherigen Prüfvereinbarungen des DIBt können diese Geräte lediglich mit einem aufwändigen und damit kostenintensiven kalorischen Prüfverfahren vermessen werden. Um den Aufwand der Prüfungen und damit den Zeitaufwand und die Kosten zu senken, wurde von der Prüfstelle HLK am Insitut für GebäudeEnergetik (IGE) der Universität Stuttgart ein alternatives Prüfverfahren („Spülluftverfahren“) entwickelt. Zwischenzeitlich wurde erstmals ein weiteres Prüfverfahren, ein direktes Verfahren, für Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator-drehrichtung in die Prüfnorm DIN EN 13141-8:2014 aufgenommen.

Es stellen sich nun folgende Fragen.

1. Ist das Spülluftverfahren ausreichend beschrieben und geeignet, um reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen?
2. Liefert das Prüfverfahren, beschrieben in der DIN EN 13141-8, vergleichbare Ergebnisse?
3. Müssen alle Prüfungen an beiden Geräten eines Gerätepaars durchgeführt werden?

Um diese Fragen beantworten zu können, werden die Funktionsweise von Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator-drehrichtung und die theoretischen Grundlagen der drei Prüfverfahren nachfolgend vorgestellt. Anschließend werden der durchgeführte Ringversuch und dessen Ergebnisse aufgeführt. Der Forschungsbericht wird durch eine Diskussion der Resultate abgeschlossen.

2 Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator Drehrichtung

Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator Drehrichtung arbeiten mit regenerativen Wärmeübertragern zur Wärmerückgewinnung. Diese werden durch Strömungsumkehr zyklisch aufgeladen und entladen. Um die Luftbilanz im zu belüftenden Raum ausgeglichen zu halten, sind mindestens zwei Geräte erforderlich, die gegenläufig arbeiten. Die Geräte arbeiten in der Regel mit Umschaltzeiten zwischen 40 und 80 Sekunden. Die dabei geförderten Luftvolumenströme liegen etwa zwischen 10 und 70 m³/h, teilweise auch bis zu 100 m³/h. Die Geräte werden in Außenwänden installiert. Die Geräte bestehen im wesentlichen aus folgenden Einzelteilen:

- eine Einschubhülse mit variabler Länge
- Ventilatoren (einer mit reversibler Luftförderrichtung oder zwei mit fester Luftförderrichtung)
- einer oder mehrere Wärmespeicher
- einer oder mehrere Filter
- eine oder mehrere Innenraumbliquen (optionales Zubehör)
- eine oder mehrere Außenblenden/Wetterschutzhaube (optionales Zubehör)
- eine Steuerung inklusive Spannungsversorgung und Bedieneinheit

Die Anordnungen von Ventilator, Wärmespeicher und Filter variieren in der Reihenfolge und in den Abständen zueinander. Zumeist werden auch verschiedene Innenraumbliquen, teilweise auch verschiedene Außenblenden/Wetterschutzhauben angeboten. In Abbildung 1 ist die Funktionsweise und ein exemplarischer Aufbau dargestellt.

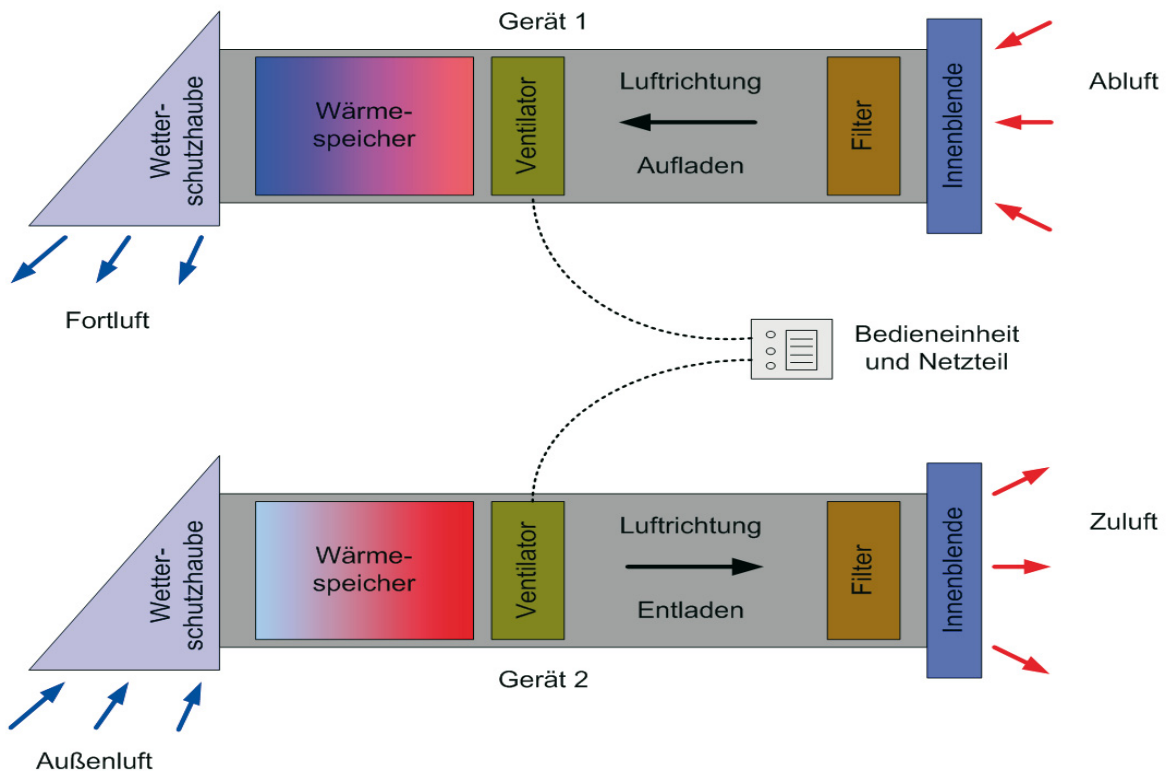


Abbildung 1: Darstellung der Funktionsweise und des Aufbaus von Lüftungsgeräten mit alternierender Ventilatorrichtung

3 Prüfmethoden

Wie bereits erwähnt, existieren zwei neue Prüfmethoden zur Ermittlung energetischer Kennwerte und ein älteres Verfahren. Das Spülluftverfahren und das direkte Verfahren nach DIN EN 13141-8 stellen die neuen Prüfmethoden dar. Das bereits länger bekannte kalorische Verfahren wird hier nur der Vollständigkeit aufgeführt und ist sonst nicht Bestandteil der Untersuchung. Allen Prüfverfahren gemein ist, die durch Wärmerückgewinnung erzielte Wärmemenge zu erfassen und als Anteil der maximal möglichen zurück gewinnbaren Wärmemenge anzugeben. Dabei ist zwischen latenter und sensibler Wärme zu unterscheiden. Bei allen Prüfmethoden sind Messungen an einem voll ausgestatteten Gerätepaar durchzuführen, d.h. inklusive Innenraumbundle und Wetterschutzhaube.

Ein ausschlaggebender Faktor für die Höhe der Wärmerückgewinnung ist die geförderte Luftmenge bzw. die Balance zwischen zugeführter und abgeführter Luftmenge. Bei keiner der drei Prüfmethoden ist bei der Ermittlung der thermodynamischen Eigenschaften eine gleichzeitige Erfassung der Luftvolumenströme vorgesehen. Von daher sind vor der thermodynamischen Prüfung die Lüftungstechnischen Prüfungen zur Ermittlung der Luftmengen und der Balance durchzuführen.

3.1 Kalorisches Verfahren

Das kalorische Verfahren [Lü-A Nr. 14a] beruht auf der physikalischen Grundlage „Die Summe aller Wärmeströme ist gleich Null“. In Abbildung 2 ist eine schematische Darstellung des Prüfverfahrens dargestellt. In einer Prüfkammer 1 wird die Raumluft konditioniert. Die für die Konditionierung zugeführte Energie wird erfasst. Die Prüfkammer 1 befindet sich dabei in einer zweiten Prüfkammer, in der die Außenluft konditioniert wird. Die Energieströme für Prüfkammer 2 werden nicht benötigt. Die Lüftungsgeräte sind paarweise in der Kammerwand von Prüfkammer 1 zu Prüfkammer 2 installiert. Die Wärmeströme von Prüfkammer 1 in Prüfkammer 2 durch die Kammerwände müssen nicht erfasst werden, da sie bei konstanten Raum- und Außenluftbedingungen identisch sind.

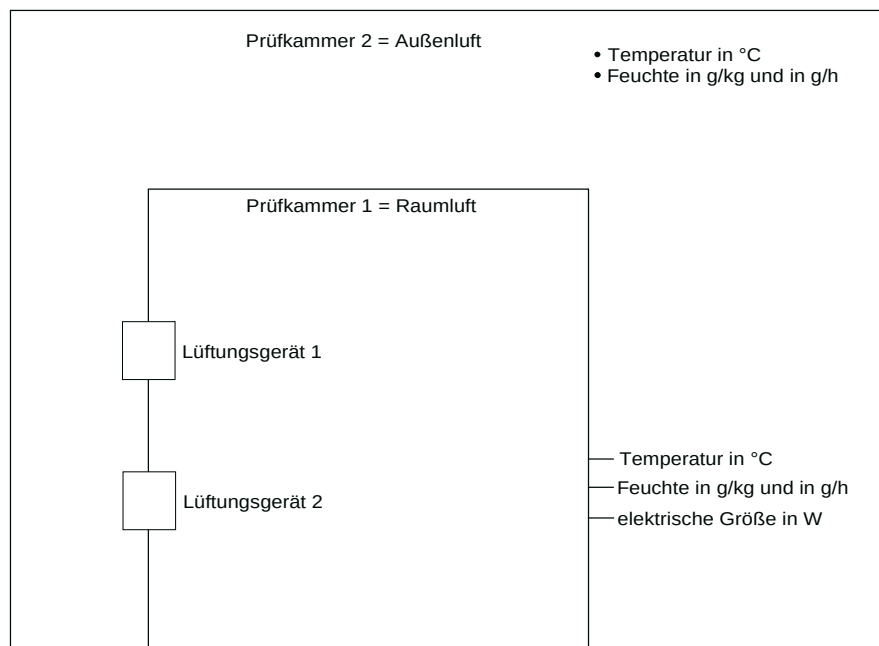


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Prüfkammern für das kalorische Prüfverfahren

Der Anteil der zurückgewonnenen Wärmemenge wird durch eine Differenzbetrachtung ermittelt. Im ersten Schritt werden die Lüftungsgeräte ohne Wärmerückgewinnung betrieben. Dies geschieht bei Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilatorrichtung durch Deaktivierung des Umschaltbetriebs, d.h. die Lüftungsrichtungen sind stationär. Im zweiten Schritt arbeiten die Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung, d.h. die Lüftungsrichtungen sind instationär. Für beide Betriebsarten werden die Energieströme, die zum konstant halten der Raumlufttemperatur als auch -feuchte benötigt werden, erfasst. Die Differenz dieser beiden Energieströme gibt die Energiemenge an, die allein der Wärmerückgewinnung zugeschrieben werden kann.

Vorteile:

- Beliebige Gerätetypen können damit geprüft werden.
- Platzierung der Temperatur- und Feuchtesensoren unabhängig von der Geräteausführung.
- Erfassung der Temperaturen alle 30 Sekunden ausreichend

Nachteile:

- Es wird eine Prüfkammer 1 innerhalb einer zweiten Prüfkammer 2 benötigt.
- Die zugeführte enthalpische Energiemenge für Prüfkammer 1 muss bei niedriger zurückgewonnener Wärmeleistung sehr genau erfasst werden.
- Es erfolgt nur eine zuluftseitige Betrachtung.
- Die Luft in den Prüfkammern muss ausreichend vermischt werden.
- Kurzschlussströme zwischen den beiden Geräten sind zu verhindern.
- Es sind Messungen im stationären und instationären Betriebszustand notwendig.

3.2 Spülluftverfahren

Das Spülluftverfahren [Spülluftverfahren] beruht ähnlich dem kalorischen Verfahren auf der Bilanzierung von Energieströmen. Der Prüfaufbau besteht aus zwei Prüfboxen, die in sich nochmals in zwei Kammern unterteilt sind. Das zu prüfende Gerätepaar wird jeweils zwischen den beiden Prüfboxen luftdicht eingebaut. Eine Prüfbox wird als Außenluftkammer (Außenluftseite), die andere als Abluftkammer (Abluftseite) betrieben. Die Prüfboxen werden mit einem Spülluftstrom durchströmt, der den Konditionen der Ab- bzw. Außenluft entspricht. Die Menge der Spülluft ist der Geräteluftmenge anzupassen. Die Darstellung des Prüfverfahrens ist in Abbildung 3 und Abbildung 4 zu sehen. Abbildung 3 zeigt das schematische Verfahren von oben auf die Prüfboxen betrachtet. Abbildung 4 ist die Darstellung als Frontansicht.

• Temperatur in °C

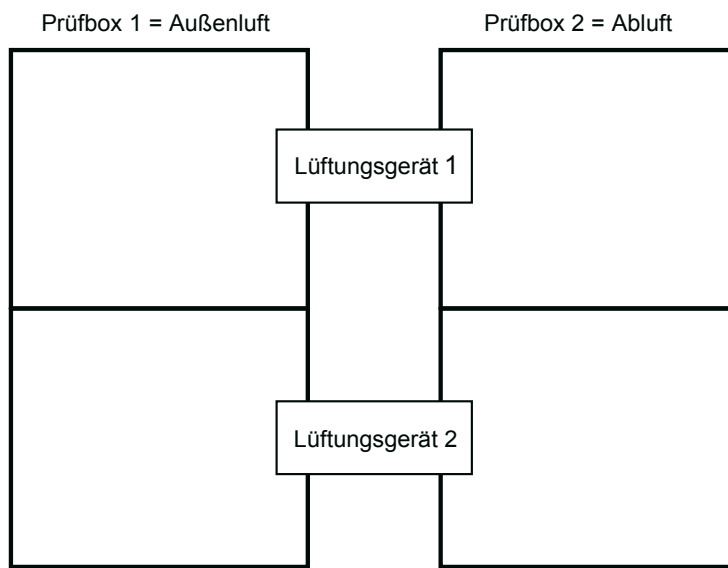


Abbildung 3: Schematische Darstellung für das Spülluftverfahren (Draufsicht).

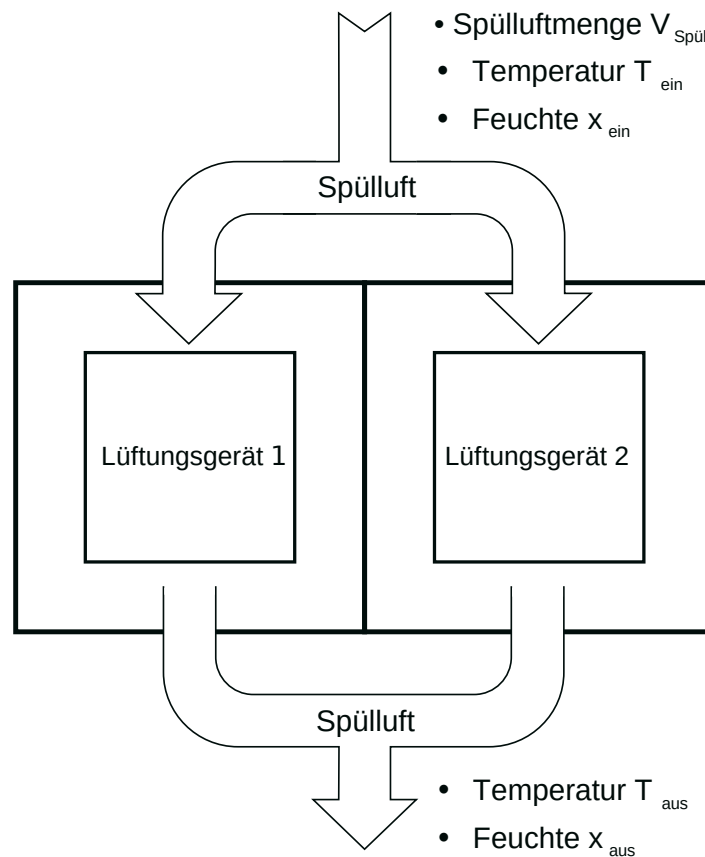


Abbildung 4: Schematische Darstellung für das Spülluftverfahren mit Spülluft (Frontansicht)

Im Gegensatz zum kalorischen Verfahren müssen keine „Kammern“, sondern nur die Spülluft konditioniert werden. Die Energiebilanzierung erfolgt über Temperatur und absolute Feuchte der ein- und austretenden Spülluft. Die geförderte Spülluftmenge ist nicht für die Bilanzierung notwendig, da sie sich bei einer Differenzbetrachtung als konstante Größe heraus kürzt. Das gilt ebenso für die Energieströme vom Aufstellort zu den Prüfboxen. Solange die Temperatur des Aufstellorts konstant ist, kürzen sich die Wärmeströme durch die Boxen bei der Differenzbetrachtung heraus. Die Spülluftmenge wird jedoch zum Einstellen des Verhältnisses zur geförderten Geräteluftmenge herangezogen.

Der Anteil der zurückgewonnenen Wärmemenge wird hier durch eine Differenzbetrachtung ermittelt. Im ersten Schritt werden die Lüftungsgeräte ohne Wärmerückgewinnung betrieben. Dies geschieht durch Deaktivierung des Umschaltbetriebs, d.h. die Luftrichtungen sind stationär. Im zweiten Schritt arbeiten die Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung, d.h. die Luftrichtungen sind instationär.

Für beide Betriebsarten werden die Differenzen der ein- und austretenden Temperaturen und absoluten Feuchten gebildet. Das Verhältnis beider Differenzen gibt, getrennt nach betrachteter Größe, das Temperatur- bzw. Feuchteverhältnis an.

Vorteile:

- Es genügen Temperatur- und Feuchtemessungen der ein- und austretenden Spülluft, wie sie auch bei Kanal gebundenen Geräten durchgeführt wird. Die Messtechnik kann also übernommen werden
- Es werden Temperatur- und Feuchteverhältnisse getrennt ermittelt
- Platzierung der Temperatur- und Feuchtesensoren unabhängig von der Geräteausführung
- Erfassung der Temperaturen alle 30 Sekunden ausreichend
- Eine zuluftseitige und fortluftseitige Betrachtung ist möglich
- Die Spülluftmenge muss nicht exakt bestimmt werden, es muss lediglich sichergestellt werden, dass sie im stationären und instationären Betrieb identisch ist
- Kurzschlussströme zwischen den beiden Geräten können nicht auftreten
- Ergebnis theoretisch unabhängig von Bedingungen am Aufstellort

Nachteile:

- Es werden zwei Prüfboxen benötigt
- Eine ausreichende Umströmung der Innenblende und der Wetterschutzhaube mit Spülluft muss sichergestellt werden
- Es sind Messungen im stationären und instationären Betriebszustand notwendig

3.3 Direkte Verfahren nach DIN EN 13141-8:2014

Bei dem direktem Verfahren nach DIN EN 13141-8 [DIN EN 13141-8] werden die Temperaturverläufe der ein- und ausströmenden Luft direkt während der Auf- und Entladezyklen erfasst.

Die Geräte sind dabei zwischen zwei Klimakammern installiert. Eine Kammer ist für die Außenluft-, die andere für die Abluftseite vorgesehen.

Es werden die mittleren kalorischen Temperaturen des Geräteluftstroms gemessen. Über den Temperaturverlauf jedes Auf- und Entladezyklusses des Wärmeübertragers wird ein mittleres Temperaturverhältnis berechnet.

Durch die relativ kurzen Taktzeiten von 40 bis 70 Sekunden müssen die Temperatursensoren ausreichend schnell sein. Eine Feuchtemessung ist nicht vorgesehen. Eine Aufzeichnung der Werte in einem Takt von mindestens 30 Sekunden, wie es z.B. bei zentralen Geräten verlangt wird, ist hier nicht ausreichend.

Durch die unterschiedlichen Ausführungen der Innenblenden und Wetterschutzhauben ist eine allgemeingültige Vorgabe der Platzierung der Temperatursensoren nicht möglich. Es ist der zu prüfenden Stelle überlassen, die Sensoren entsprechend sinnvoll zu platzieren.

Vorteile:

- Es sind nur Messungen im instationären Betriebszustand notwendig
- Zwei Klimakammern mit einer Trennwand sind ausreichend
- Eine zuluftseitige und fortluftseitige Betrachtung ist möglich

Nachteile:

- Keine Ermittlung der Feuchten möglich. Die Platzierung der Temperatursensoren ist abhängig von der Geräteausführung und hierdurch nicht einheitlich.
- Schnellere Erfassung der Temperaturen notwendig (Sekundenweise)
- Die Luft in den Prüfkammern muss ausreichend vermischt werden.
- Kurzschlussströme zwischen den beiden Geräten sind zu verhindern.

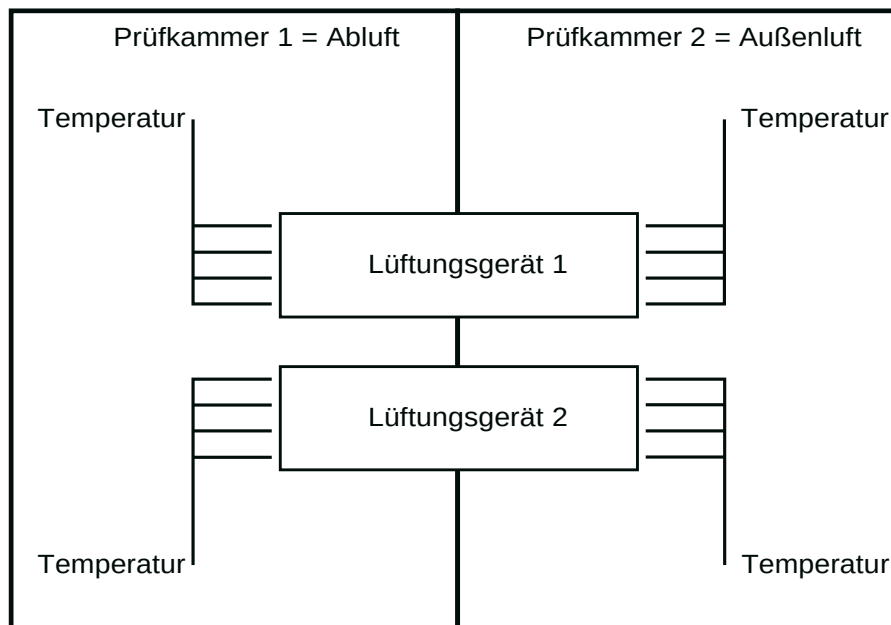


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Prüfkammer für das direkte Verfahren nach DIN EN 13141-8

4 Ringversuch

Im Fokus der vorliegenden Studie stand die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den thermodynamischen Prüfungen an einem Prüfgegenstand, durchgeführt bei drei ausgewählten Prüfstellen unter Anwendung des Spülluftverfahrens und dem direktem Verfahren nach DIN EN 13141-8. Die Prüfberichte jeder Prüfstelle liegen dem Verfasser vor.

4.1 Prüfgegenstand

Der Prüfgegenstand wurde auf dem freien Markt erworben. Dabei handelt es sich um ein aus zwei Einzelgeräten bestehendes Lüftungssystem welches aus mehreren Bauteilen zusammengesetzt wird. Dazu gehören:

- 2 Einschübe
- 2 Wandhülsen
- 2 Innenblenden
- 2 Außengitter
- 1 Steuerung
- 1 Bedienung

Die beiden Einzelgeräte werden über eine elektronische Steuerung geregelt. Über die Bedienung können drei bzw. vier Stufen sowie die Funktion Sommerlüften ausgewählt werden.

4.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau folgt dem Aufbau, wie er im Prüfmodell zur Prüfung von Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator Drehrichtung, aufgestellt von der Prüfstelle HLK am Institut für GebäudeEnergetik (IGE) der Universität Stuttgart, beschrieben ist. Hierbei wird ein Gerätepaar zwischen zwei Prüfboxen eingebaut. Die Prüfboxen sind in sich jeweils nochmal in zwei Kammern aufgeteilt. Die Kammern sind luftdicht und thermisch isoliert ausgeführt. Jede Prüfbox wird mit einem Spülluftstrom durchströmt, der den Konditionen für Ab- bzw. Außenluft entspricht. Die Spülluft wird über eine Leitung zur Prüfbox geführt, in zwei Stränge aufgeteilt, um die beiden Kammern zu durchströmen, anschließend wieder zusammengeführt und über eine Leitung abgeführt.

Über Ablenkplatten innerhalb jeder Kammer soll ein vollständiges Umströmen der Geräte-Ansaugöffnung sichergestellt werden.

Die Bestimmung des Temperaturverhältnisses erfolgt auf Basis zweier Messungen. Eine Messung erfolgt im Betriebsmodus ohne Wärmerückgewinnung. Hierbei arbeiten die Geräte im stationären Betrieb, d.h. die Lüftrichtung wechselt nicht. Eine zweite Messung erfolgt im Betriebsmodus mit Wärmerückgewinnung. Hierbei arbeiten die Geräte im instationären Betrieb, d.h. die Lüftrichtung wechselt in einem vom Hersteller vorgesehenen Takt. Der Takt kann in den einzelnen Gerätestufen variieren.

Weitere Randbedingungen:

- Kammern luftdicht zueinander und zur Umgebung
- Kammern thermisch isoliert
- Keine Druckdifferenz zwischen den Kammern, die über ein Gerät verbunden sind
- Die Spülluftmenge beträgt das 1,2 bis 2-fache der Geräteluftmenge
- Die Geräte sind in einer Umgebung nahe dem Abluftzustand eingebaut und gedämmt
- Lüftungstechnische Kennlinien wurden vorher aufgenommen
- Eintrittskonditionen bei stationärem und instationärem Betrieb müssen gleich sein ($dT < 0,1K$, $dm_{Spül} < 1\%$)

Das zuluftseitige Temperaturverhältnis ergibt sich nach Formel (1)

$$\eta_{\theta,Zu} = \frac{T_{Ab,aus,instat} - T_{Ab,aus,stat}}{T_{Ab,ein} - T_{Ab,aus,stat}} \quad (1)$$

Das zuluftseitige Feuchteverhältnis ergibt sich analog nach Gleichung (2)

$$\eta_{x,Zu} = \frac{x_{Ab,aus,instat} - x_{Ab,aus,stat}}{x_{Ab,ein} - x_{Ab,aus,stat}} \quad (2)$$

Analog können die fortluftseitigen Verhältnisse bestimmt werden.

Jede Prüfstelle hat eigene Prüfboxen nach den Vorgaben des Spülluftverfahrens. Unter den an den Prüfstellen gegebenen, insbesondere räumlichen Möglichkeiten variiert jedoch der Aufstellort der Prüfboxen.

An Prüfstelle 1 befand sich die Box der Außenluftseite in einer Klimakammer mit Außenluftbedingungen, die Box der Abluftseite in einer Klimakammer mit Abluftbedingungen.

An Prüfstelle 2 befanden sich beide Boxen in einer Klimakammer mit Abluftbedingungen.

An Prüfstelle 3 befanden sich beide Boxen in einem unklimatisierten Prüfraum.

Nach dem Spülluftverfahren sollte der Aufstellort der Prüfboxen bei konstanten Bedingungen keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben, daher sind in dem Spülluftverfahren keine Aufstellbedingungen aufgeführt.

Die Messungen nach dem direktem Verfahren fanden ebenfalls in den Prüfboxen statt.

4.3 Vorgehensweise

Die thermodynamischen Prüfungen wurden an allen drei Prüfstellen nach dem Spülluftverfahren und nach dem direktem Verfahren durchgeführt. Zusätzlich wurden lüftungstechnische Prüfungen durchgeführt.

Die Prüfungen wurden beim direktem Verfahren an drei Volumenströmen, V_{\min} , V_{nenn} , V_{\max} durchgeführt. Die Volumenströme sind im Gerät voreingestellt und betragen gemäß Bedienungsanleitung des Hersteller 15, 30 und 38 m³/h. Die Luftzustände bei den mit dem Spülluftverfahren durchgeführten Messungen richten sich an die bisher für dezentrale Geräte gültige Prüfvereinbarung des DIBt (siehe Tabelle 1) [Lü-A Nr. 20]. Die Prüfung erfolgt an allen drei Stufen mit allen drei Luftzuständen. Damit ergeben sich insgesamt 9 Prüfpunkte.

Tabelle 1: Luftzustände nach Prüfvereinbarung Lü-A Nr. 20a

Luftzustand	Außenluftbedingung		Abluftbedingung	
	Temperatur	Feuchte	Temperatur	Feuchte
1	-3 °C	80 % rel.	21 °C	36 % rel.
2	4 °C	80 % rel.	21 °C	46 % rel.
3	10 °C	80 % rel.	21 °C	56 % rel.

Die Temperaturbedingungen bei den mit dem direktem Verfahren durchgeführten Messungen richten sich nach den dort aufgeführten Normprüfungen 1 und 2. Die Prüfung erfolgt an allen drei Stufen mit den Temperaturbedingungen der Normprüfungen 1 und 2 (siehe Tabelle 2). Damit ergeben sich insgesamt 6 thermodynamische Prüfpunkte.

Tabelle 2: Temperaturbedingungen nach DIN EN 13141-8

Normprüfung	Außenluftbedingung		Abluftbedingung	
	Temperatur	Feuchtkugel-Temperatur	Temperatur	Feuchtkugel-Temperatur
1	7 °C	-	20 °C	12 °C
2	2 °C	1 °C	20 °C	15 °C

Für die Lüftungstechnische Prüfung werden Zuluft- und Abluftvolumenströme vermessen. Da jedes Gerät durch das Umschalten der Lüfrichtung beide Volumenströme fördert und es dazu keine Festlegung in den Prüfvereinbarungen gibt, existieren verschiedene Varianten der Prüfkombination. Die möglichen Varianten sind in Tabelle 3 aufgeführt. Je nach angewandter Variante werden dabei Messungen an nur einem Gerät oder an beiden Geräten durchgeführt. Welche Variante Anwendung findet, kann jede Prüfstelle selbst entscheiden.

Darüber hinaus verfügen die Prüfstellen über unterschiedliche Möglichkeiten zur Umsetzung des Prüfverfahrens. Da davon ausgegangen wird, dass der Abluftvolumenstrom dem Forstluftvolumenstrom und der Zuluftvolumenstrom dem Außenluftvolumenstrom entspricht, sind sowohl druckseitige Messungen (Fort- und Zuluft) sowie saugseitige Messungen (Außenluft- und Abluft) zulässig. Die möglichen Varianten der Messanordnung sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 3: Mögliche Varianten der Aufnahme von Kennlinien der Abluft- und Zuluftvolumenströme bei einem Gerätepaar (x = Kennlinie gemessen)

Variante	Gerät 1		Gerät 2	
	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft
1	x	x		
2			x	x
3	x			x
4		x	x	
5	x	x	x	x

Tabelle 4: Mögliche Varianten der Messanordnung der Volumenströme (x = Kennlinie gemessen)

Variante	Saugseitige Messung		Druckseitige Messung	
	Abluft	Außenluft	Fortluft	Zuluft
1	x	x		
2	x			x
3		x	x	
4			x	X

4.4 Ablauf

Zu Beginn des Ringversuchs führte Prüfstelle 1 die Lüftungstechnischen und thermodynamischen Prüfungen nach beiden Verfahren durch. Nach Abschluss der Messungen wurde das Gerätepaar zur Prüfstelle 2 geschickt. Hier konnten zunächst nur die

thermodynamischen Prüfungen durchgeführt werden, da der Lüftungstechnische Prüfstand wegen Umbauarbeiten nicht zur Verfügung stand. Anschließend wurden die Lüftungstechnischen und thermodynamischen Prüfungen bei Prüfstation 3 geprüft.

Nachdem alle thermodynamischen Prüfungen an allen drei Prüfstationen durchgeführt wurden, fand eine Besprechung der Ergebnisse statt.

Als Resultat der Besprechung wurden zur Überprüfung einer Vermutung weitere Prüfungen an Prüfstation 3 durchgeführt. Um welche Vermutung es sich dabei handelt, ist in Abschnitt 5.2 Thermodynamische Ergebnisse nach Spülluftverfahren beschrieben.

Abschließend wurde das Gerätepaar zur Prüfstation 2 verschickt, um die fehlenden Lüftungstechnischen Prüfungen nachzuholen.

5 Ergebnisse

Die thermodynamischen Ergebnisse werden getrennt nach den beiden durchgeführten Prüfverfahren, Spülluftverfahren und direktem Verfahren, ausgewiesen. Bevor die thermodynamischen Ergebnisse verglichen werden, erfolgt zunächst der Vergleich der Lüftungstechnischen Kennlinien.

5.1 Lüftungstechnische Kennlinien

Da Prüfstelle 2 die Lüftungstechnischen Kennlinie erst im Nachgang durchführen konnte, werden hier zunächst die Kennlinien der Prüfstellen 1 und 3 einander gegenüber gestellt.

Anschließend erfolgen die Vergleiche der Ergebnisse bei unterschiedlicher Messanordnung sowie bei unterschiedlichen Abständen des Wärmeübertragers zum Ventilatorblock.

Ein Vergleich der Kennlinien aller drei Prüfstellen schließt die Ergebnisse der Lüftungstechnischen Kennlinien ab.

5.1.1 Vergleich zwischen Prüfstelle 1 und 2

Zunächst erfolgt ein Vergleich der aufgenommenen Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Prüfstelle 1 mit denen der Prüfstelle 2.

In Diagramm 2 und Diagramm 1 sieht man einen hinreichend ähnlichen Verlauf der Kennlinien. Die Außenluft/Zuluft-Kennlinie der beiden Prüfstellen weicht um ca. $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ab. In der Abluft/Fortluft ist hingegen faktisch keine Abweichung festzustellen.

Es ist anzumerken, dass die Kennlinien der Prüfstelle 1 einen etwas zackigen Verlauf aufweisen, da im Prüfbericht nur ganzzahlige Werte für den Volumenstrom und den Druck aufgeführt sind. Es konnten daher keine Zwischenwerte in den Diagrammen dargestellt werden.

Auffällig ist die bei höherer Gerätestufe ansteigende Disbalance. In Stufe drei beträgt diese ca. $8 \text{ m}^3/\text{h}$. Nach beiden Prüfverfahren sind hier maximal 3 % bzw. $3 \text{ m}^3/\text{h}$ (je nachdem, welcher Wert größer ist) erlaubt.

Unklar ist hier, welche der bereits in Tabelle 3 aufgeführten Varianten die Prüfstellen vermessen haben. Es ist also nicht ersichtlich, welche Kennlinie mit welchem Gerät aus dem Gerätepaar aufgenommen wurde.

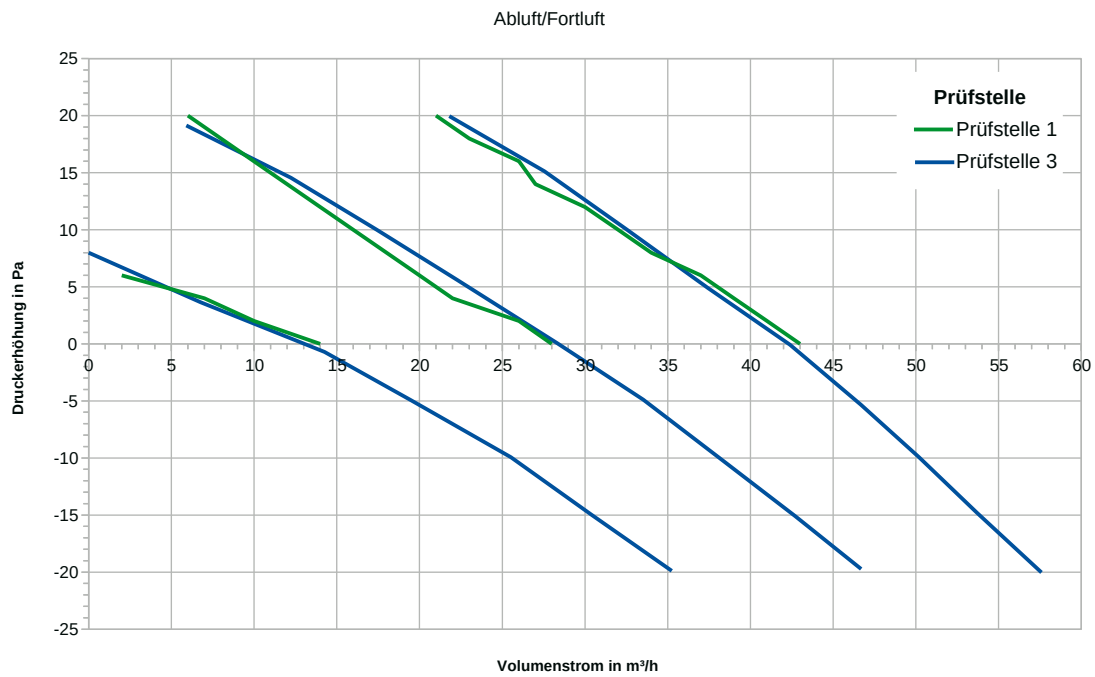


Diagramm 1: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Abluft/Fortluft aufgenommen an den Prüfstellen 1 und 3

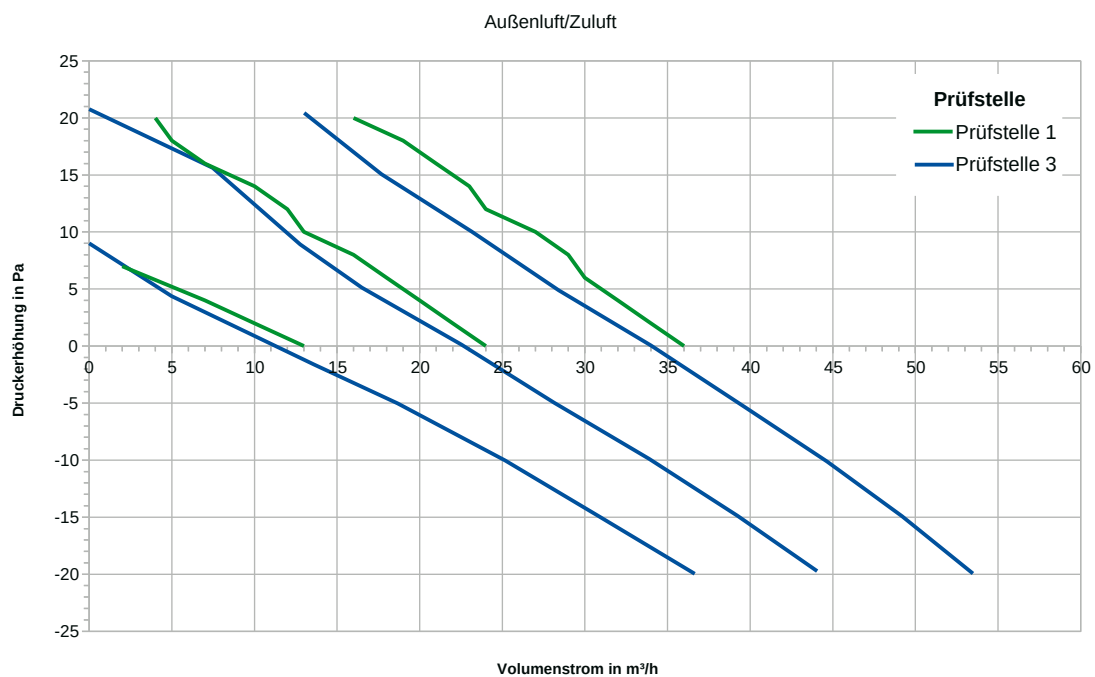


Diagramm 2: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Außenluft/Zuluft aufgenommen an den Prüfstellen 1 und 3

5.1.2 Vergleich Messanordnung saugseitig/druckseitig an Prüfstelle 3

An Prüfstelle 3 wurden Kennlinien an beiden Geräten des Gerätepaars gemessen, um zu überprüfen, ob es dabei zu abweichenden Kennlinien kommt. Gleichzeitig wurde die Messanordnung – also die saugseitige oder druckseitige Messung des Volumenstroms – an einem Gerät verändert. Das Ergebnis ist, unterschieden nach Luftrichtung, in den Diagrammen 3 und 4 dargestellt,.

Bei Änderung der Messanordnung an Gerät 1 von saugseitig auf druckseitig, verschiebt sich die Kennlinie für die Außenluft/Zuluft um ca. $1 \text{ m}^3/\text{h}$ und für die Abluft/Fortluft um ca. $3 \text{ m}^3/\text{h}$.

Beim Vergleich der Kennlinien von Gerät 1 saugseitig zu Gerät 2 saugseitig, verschiebt sich die Kennlinie für die Außenluft/Zuluft um ca. $2 \text{ m}^3/\text{h}$ und für die Abluft/Fortluft um ca. $3 \text{ m}^3/\text{h}$.

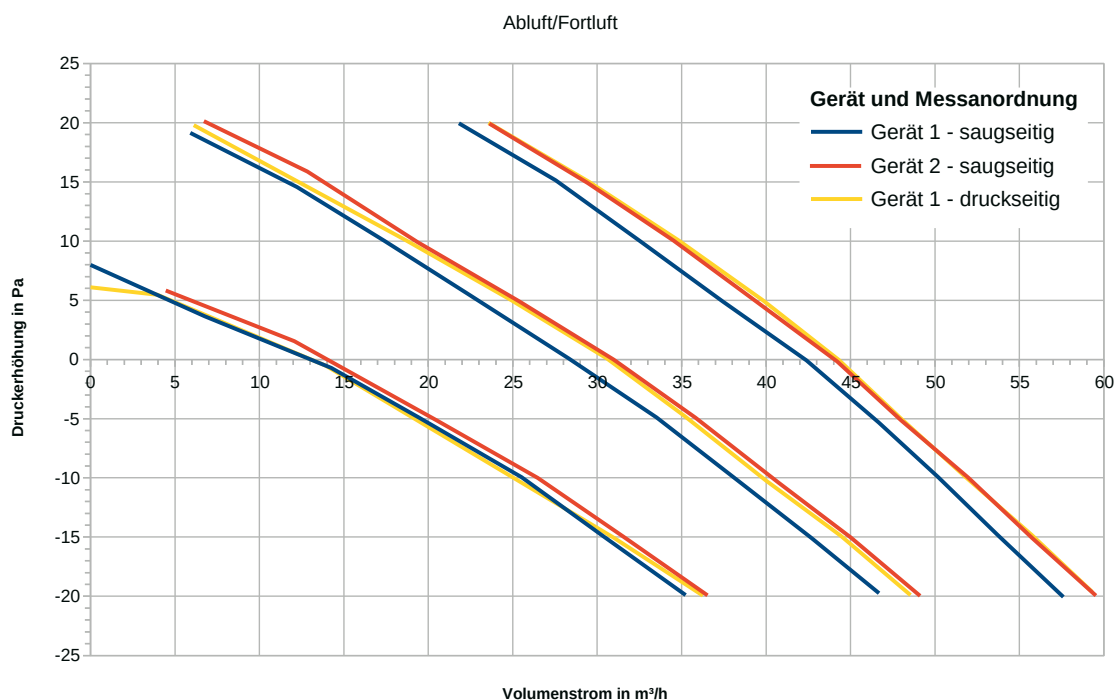


Diagramm 3: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Abluft/Fortluft von zwei Geräten und unterschiedlichen Messanordnungen, aufgenommen von Prüfstelle 3

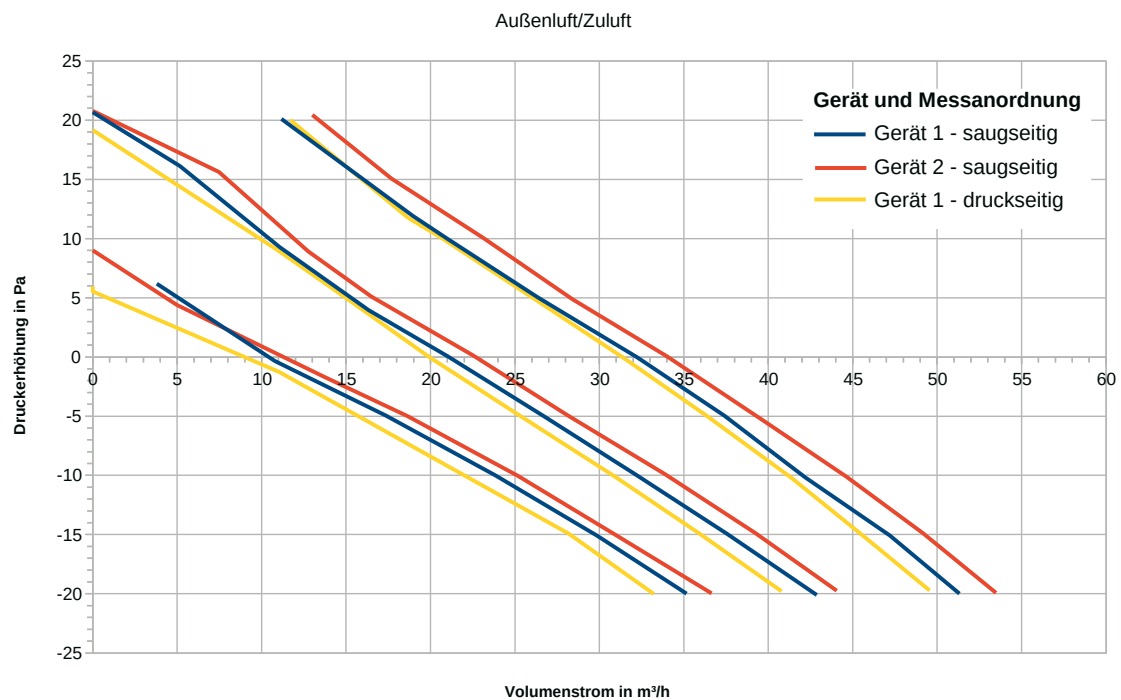


Diagramm 4: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Außenluft/Zuluft von zwei Geräten und unterschiedlichen Messanordnungen, aufgenommen von Prüfstelle 3

5.1.3 Vergleich unterschiedlicher Anordnungen des Wärmeübertragers an Prüfstelle 2

An Prüfstelle 2 wurden an beiden Geräten jeweils die Kennlinien bei drei verschiedenen Abständen des Wärmeübertragers zum Ventilatorblock aufgenommen, um zu überprüfen, ob es auch hierbei zu abweichenden Kennlinien kommt. Die Abstände sind bezeichnet mit

- raumseitig: Wärmeübertrager nahe an Innenblenden
- mittig: Wärmeübertrager mittig in der Einschubhülse
- außenseitig: Wärmeübertrager nahe an Außenblende

Die Kennlinien sind in den Diagrammen 5 bis 8 dargestellt. Die Unterschiede bei den freiblasenden Volumenströmen zwischen den Anordnungen mittig und außenseitig betragen maximal 1 m³/h. In vielen Fällen sind über die gemessenen Druckerhöhungen keine Unterschiede zu erkennen.

Deutlich zu sehen ist eine Abweichung bei der raumseitigen Anordnung. Hier verlaufen die Kennlinien mit deutlichem Abstand zu den beiden anderen Anordnungen. Im Durchschnitt beträgt die Abweichung zwischen 2 und 3 m³/h. Die maximale Abweichung ist in der dritten Stufe der Abluft bei Gerät 2 mit ca. 4 m³/h zu erkennen (Diagramm 7).

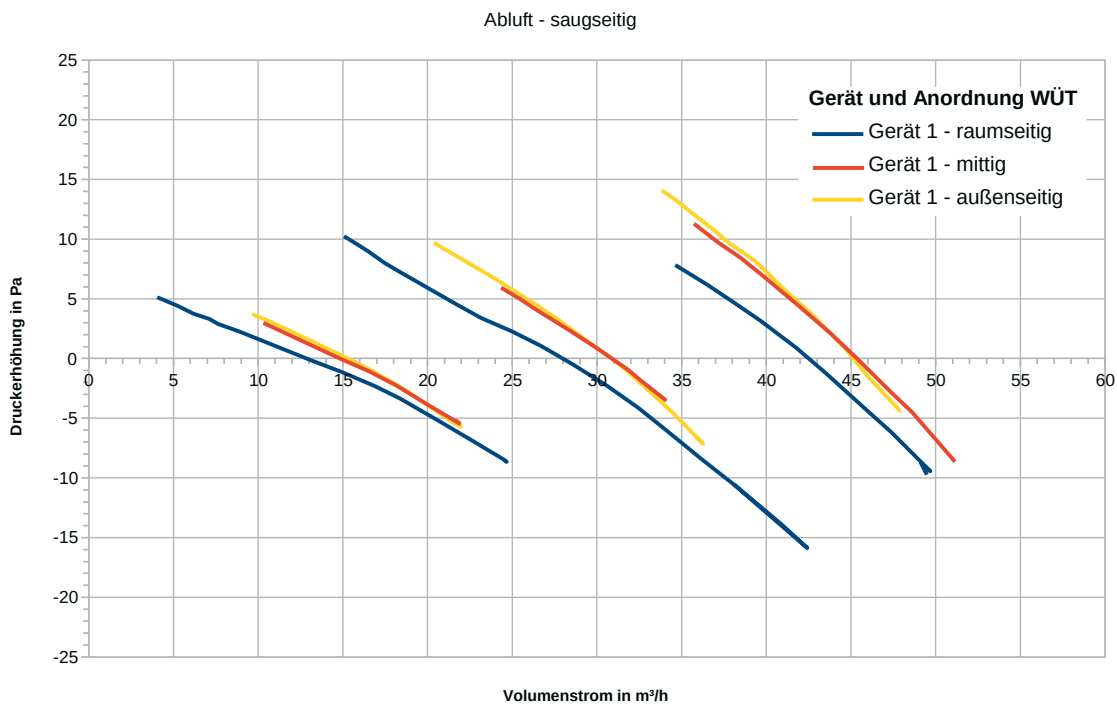


Diagramm 5: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Abluft von Gerät 1 und unterschiedlichen Anordnungen des Wärmeübertragers, aufgenommen von Prüfstelle 2



Diagramm 6: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Zuluft von Gerät 1 und unterschiedlichen Anordnungen des Wärmeübertragers, aufgenommen von Prüfstelle 2

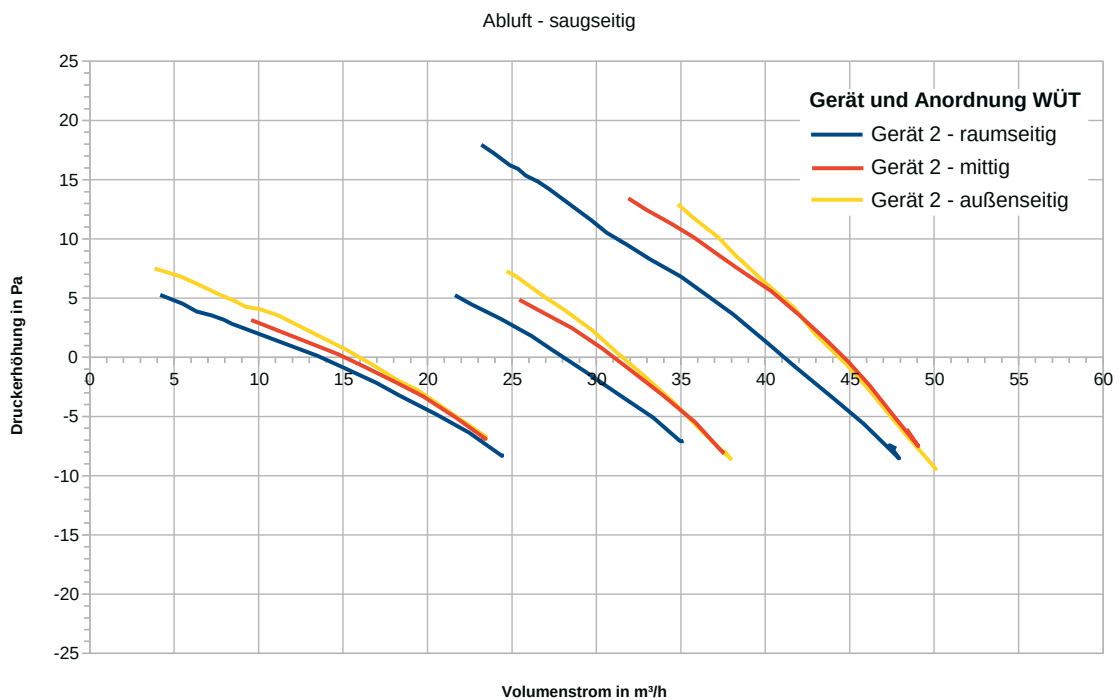


Diagramm 7: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Abluft von Gerät 2 und unterschiedlicher Anordnung des Wärmeübertragers, aufgenommen von Prüfstelle 2

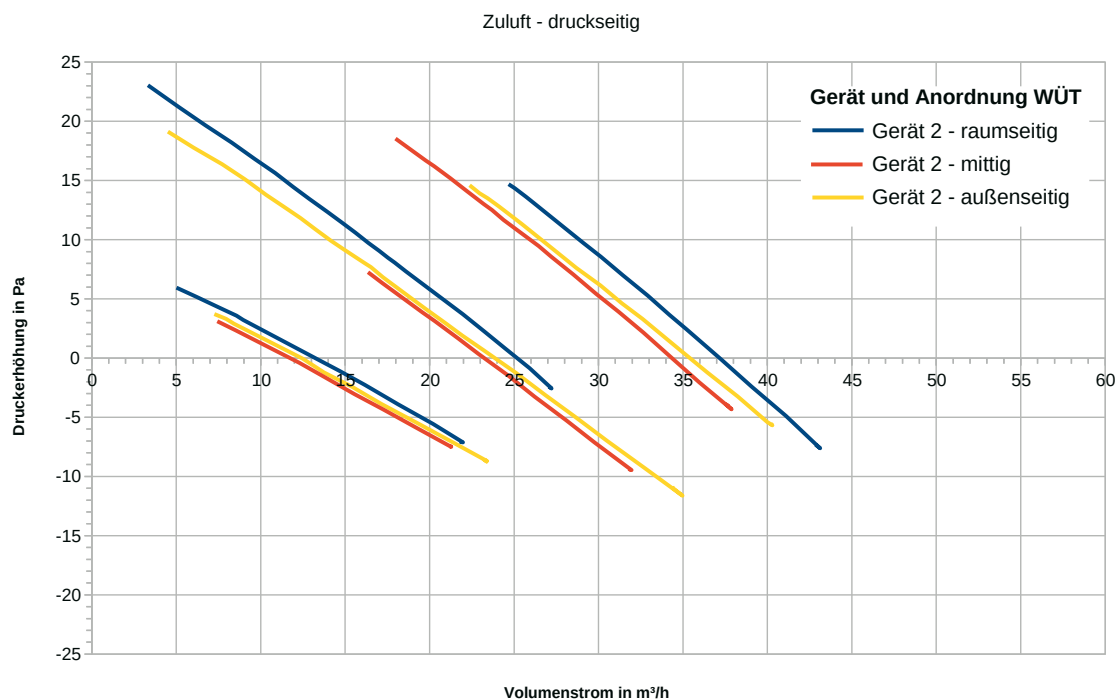


Diagramm 8: Druck-Volumenstrom-Kennlinien der Zuluft von Gerät 2 und unterschiedlichen Anordnungen des Wärmeübertragers, aufgenommen von Prüfstelle 2

5.1.4 Vergleich der Lüftungstechnischen Kennlinien aller drei Prüfstellen

Ein direkter Vergleich der Lüftungstechnischen Kennlinien fällt schwer, da die Prüfstellen 2 und 3 mehrere Kennlinien bei unterschiedlichen Konstellationen aufgenommen haben.

Im Gegensatz zu dem bei zentralen und dezentralen Geräten sonst üblichem einzigen Diagramm mit jeweils einer Kennlinie für die Abluft und Zuluft je Lüfterstufe, sind es bei Prüfstelle 2 durch die drei verschiedene Anordnungen des Wärmeübertragers schon drei Diagramme. Die Anzahl verdoppelt sich auf sechs durch die Vermessung beider Einzelgeräte (Geräte 1 und 2).

Bei Prüfstelle 3 kommen weitere Kennlinien durch die unterschiedlichen Messanordnungen dazu.

Hier kann also nur ein exemplarischer Vergleich aus einer der vielen möglichen Kombinationen durchgeführt werden. Einige weitere Kombinationen sind im Anhang B aufgeführt.

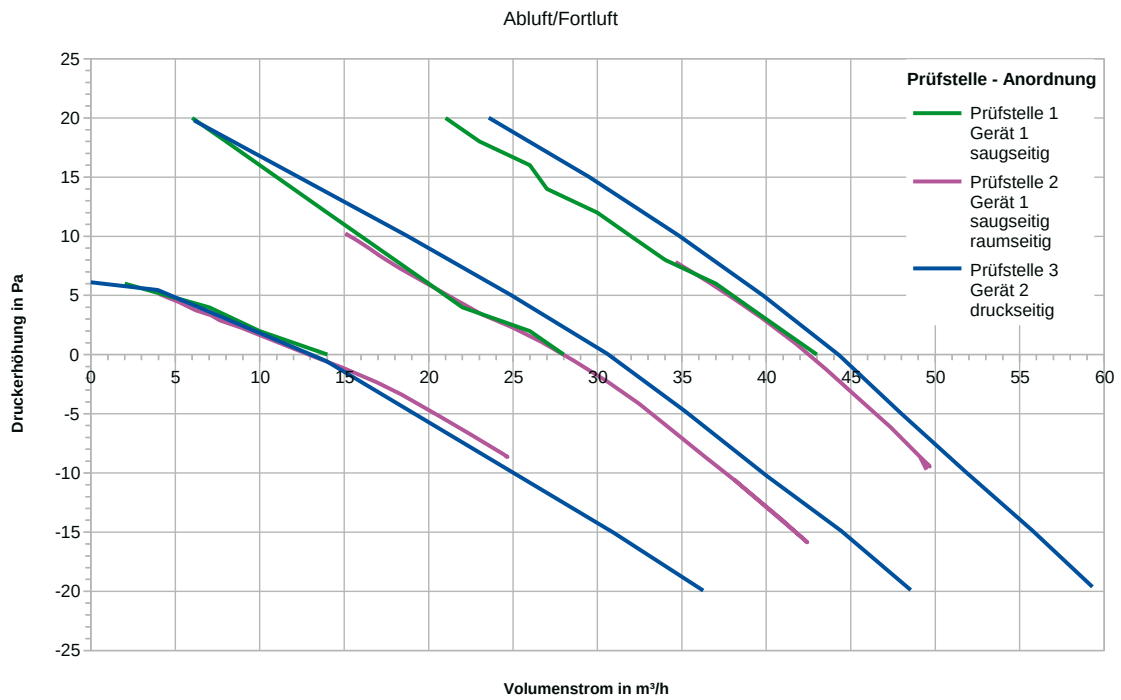


Diagramm 9: exemplarischer Vergleich der lüftungstechnischen Kennlinie der Abluft über alle drei Prüfstellen

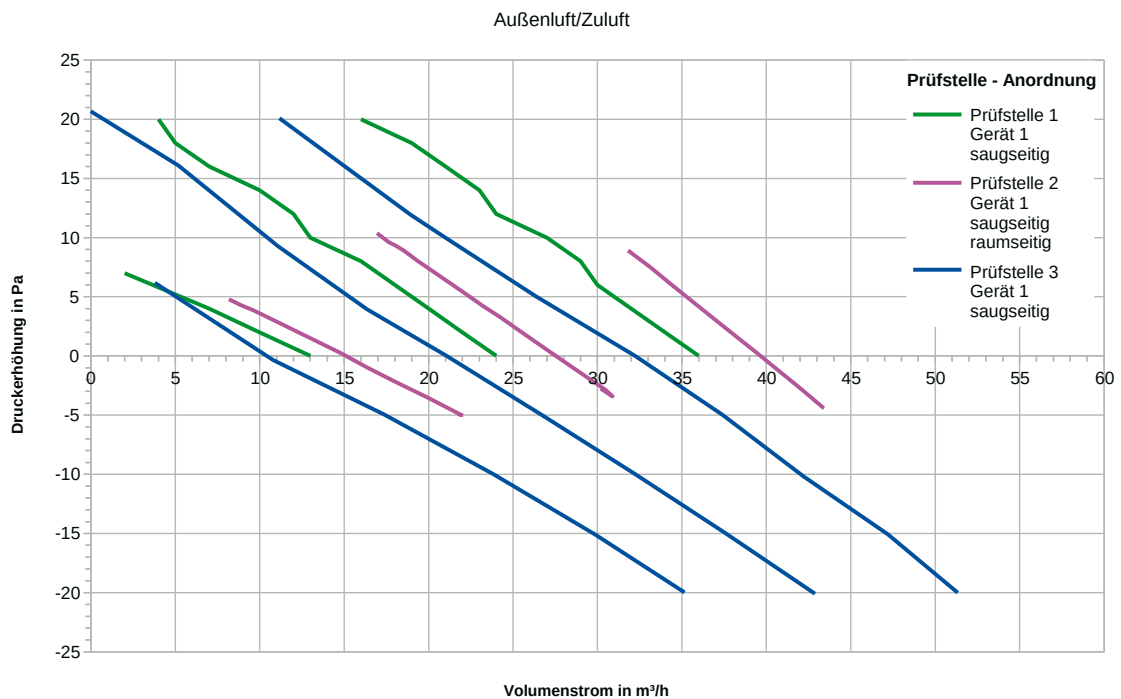


Diagramm 10: exemplarischer Vergleich der lüftungstechnischen Kennlinie der Zuluft über alle drei Prüfstellen

5.2 Thermodynamische Ergebnisse nach Spülluftverfahren

Die Ergebnisse der thermodynamischen Prüfungen nach dem Spülluftverfahren sind in Tabelle 5 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen zwischen Prüfstelle 1 und 2 in allen drei Stufen durchweg vergleichbare Werte.

Bei Prüfstelle 3 liegen die Ergebnisse an vereinzelt Messpunkten bei ähnlichen Werten verglichen mit den der beiden anderen Prüfstellen. Mindestens ein Wert in jeder Stufe weicht ab. Besonders zeigt sich dies in der Stufe 1 in Diagramm 11.

In Zahlen ausgedrückt, beträgt die Standardabweichung insgesamt über alle drei Prüfstellen 3 Prozentpunkte. Betrachtet man nur die Prüfstellen 1 und 2, beträgt sie 1,2 Prozentpunkte.

Tabelle 5: Vergleich der Ergebnisse der thermodynamischen Prüfungen nach dem Spülluftverfahren der drei Prüfstellen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur

Volumenstrom	Prüfstelle	zuluftseitiges Temperaturverhältnis in Prozent		
		-3 °C	4 °C	10 °C
13 m³/h	1	82,3	83,9	83,1
	2	84,3	83,7	84,4
	3	76,8	85,8	95,5
28 m³/h	1	79,4	80,3	81,0
	2	80,7	80,5	79,9
	3	81,5	83,3	87,7
42 m³/h	1	74,3	74,9	76,2
	2	79,2	76,7	78,9
	3	77,5	77,5	84,6

Tabelle 6: Vergleich der Standardabweichungen der Ergebnisse je Luftvolumenstrom bei Betrachtung der Prüfstellen 1 und 2 mit Prüfstellen 1 bis 3

Volumenstrom	Standardabweichung in Prozentpunkten	
	Prüfstellen 1+ 2	Prüfstellen 1+ 2 + 3
13m³/h	0,8	4,0
28 m³/h	0,6	2,3
42 m³/h	2,2	2,7
Mittelwert	1,2	3,0

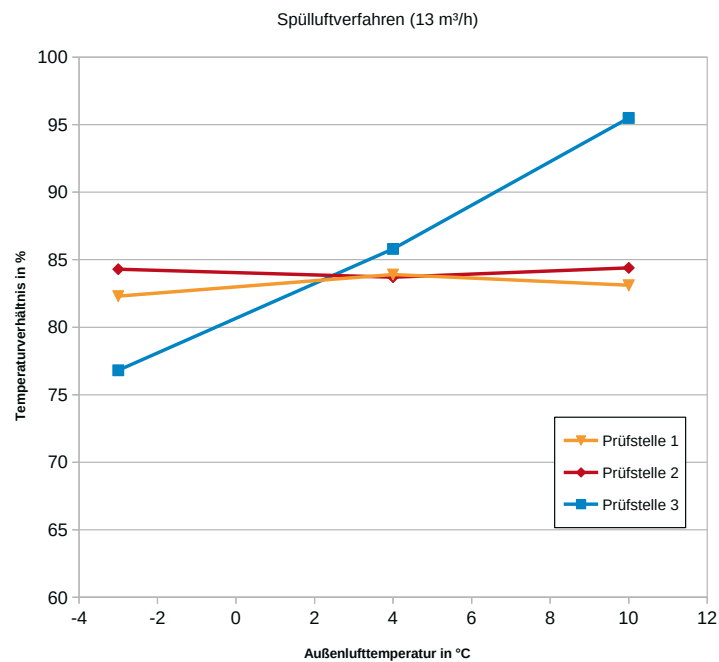


Diagramm 11: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der drei Prüfstellen für die Stufe 1 geprüft nach dem Spülluftverfahren

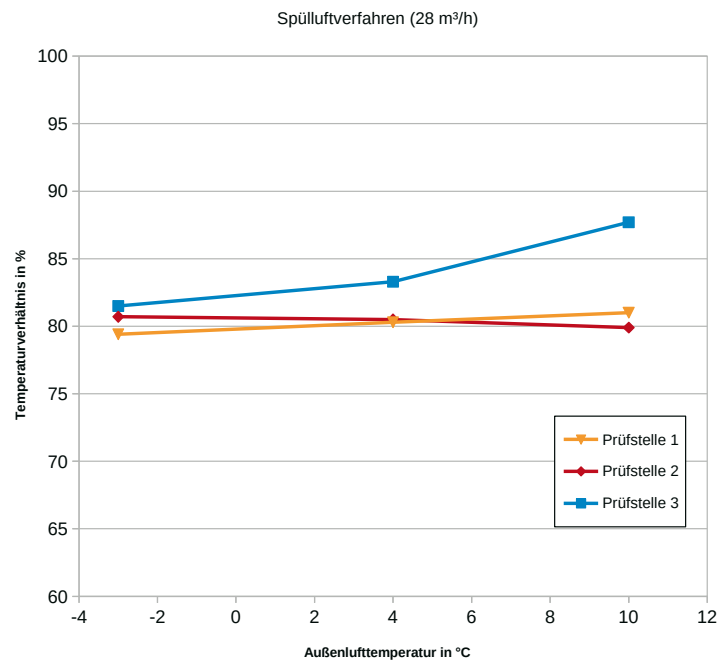


Diagramm 12: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der drei Prüfstellen für die Stufe 2 geprüft nach dem Spülluftverfahren

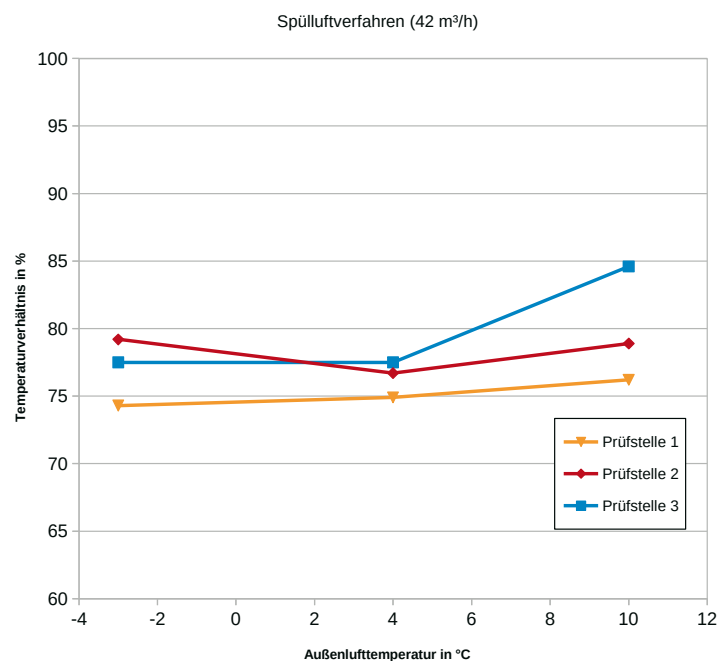


Diagramm 13: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der drei Prüfstellen für die Stufe 3 geprüft nach dem Spülluftverfahren

Bei der Untersuchung der möglichen Ursachen für die Abweichungen in den Ergebnissen der Prüfstelle 3 kam die Vermutung auf, dass die Umgebungstemperatur der Aufstellorte der Prüfboxen einen Einfluss haben könnte. In der theoretischen Betrachtung des

Prüfverfahrens hat die absolute Umgebungstemperatur keinen Einfluss auf das Ergebnis. Auch ist in der Prüfanweisung nach dem Spülluftverfahren keine Bedingung zur Umgebungstemperatur enthalten. Eine Prüfstelle hatte bei früheren Prüfungen bemerkt, dass es dennoch zu einer Abhängigkeit kommen kann.

Um die Vermutung zu überprüfen, wurden die Prüfbedingungen der Prüfstellen bezüglich der Umgebungstemperaturen betrachtet. In Prüfstelle 1 entspricht die Umgebungstemperatur der Prüfbox der Außenluftbedingung eben gleich der Außenlufttemperatur und die der Abluftbedingung ist gleich der Ablufttemperatur. In Prüfstelle 2 beträgt die Umgebungstemperatur beider Prüfboxen der Temperatur der Abluft.

In Prüfstelle 3 sind keine konstanten Temperaturen je Messpunkt eingehalten. So schwanken die Umgebungstemperaturen je nach Datum der Prüfung zwischen 19,6°C und 21,7°C.

Eine mögliche Erklärung für die Ergebnisunterschiede wurde hiermit wahrscheinlich.

Um die Vermutung zu stützen, wurden die Prüfungen in Prüfstelle 3 bei veränderter Umgebungstemperatur wiederholt. Diese Messungen wurden jeweils bei der kleinsten Luftstufe von 13 m³/h bei den Außentemperaturen von -3 und 10°C durchgeführt. Diese Ergebnisse zeigten bei den ersten Messungen die deutlichsten Auffälligkeiten. Weitere Prüfpunkte wurden nicht wiederholt.

Die Umgebungstemperaturen wurden dieses mal bei 21°C konstant gehalten, also bei der Temperatur der Abluftbedingung. In Tabelle 7 sind die Werte der Wiederholungsmessungen fett dargestellt. Die Ergebnisse sind denen der beiden anderen Prüfstellen ähnlicher. Die Standardabweichung reduziert sich von 4 auf 1,3 Prozentpunkte für den kleinsten Volumenstrom und insgesamt von 3 auf 2,1 Prozentpunkte.

Tabelle 7: Vergleich der Ergebnisse der thermodynamischen Prüfungen an den drei Prüfstellen an der kleinsten Stufe nach dem Spülluftverfahren und Darstellung der wiederholten Messungen (**Fettkursiv**) an der Prüfstelle 3 unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der Außenlufttemperatur

Volumenstrom	Prüfstelle	zuluftseitiges Temperaturverhältnis in %		
		-3 °C	4 °C	10 °C
13m³/h	1	82,3 %	83,9 %	83,1 %
	2	84,3 %	83,7 %	84,4 %
	3	80,3 %	85,8 %	83,9 %

Tabelle 8: Neuer Vergleich der Standardabweichungen der Ergebnisse je Luftvolumenstrom bei Betrachtung der Prüfstellen 1 und 2 mit Prüfstellen 1 bis 3 mit den wiederholten Messungen bei konstanter Umgebungstemperatur an Prüfstelle 3

Volumenstrom	Standardabweichung in Prozentpunkten (Wiederholungsmessung bei 13 m³/h)	
	Prüfstellen 1+ 2	Prüfstellen 1+ 2 + 3
13 m³/h	0,8	1,3
28 m³/h	0,6	2,3
42 m³/h	2,2	2,7
Mittelwert	1,2	2,1

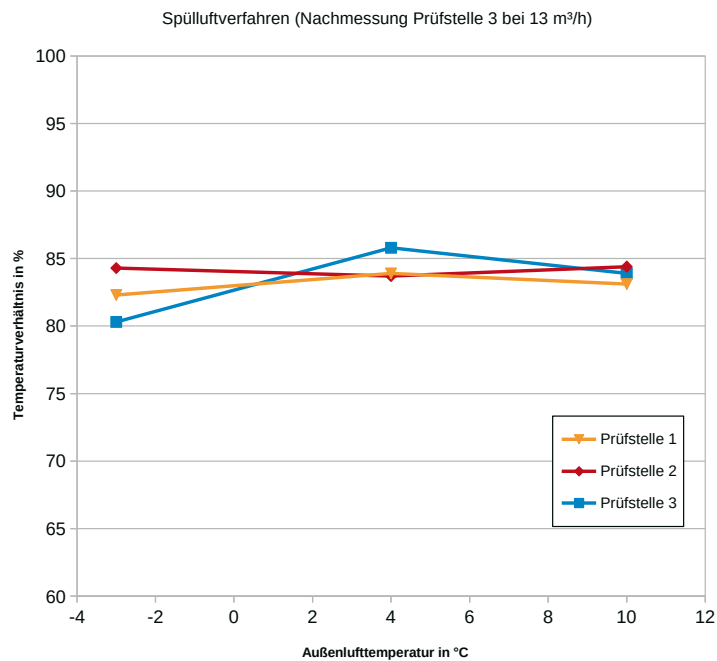


Diagramm 14: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der drei Prüfstellen für die Stufe 1 geprüft nach dem Spülluftverfahren, bei Prüfstelle 3 mit den Wiederholungsmessungen

5.3 Thermodynamische Ergebnisse nach direktem Verfahren gemäß DIN EN 13141-8

Die Ergebnisse der thermodynamischen Prüfungen nach dem direktem Verfahren gemäß DIN EN 13141-8 sind in Tabelle 9 sowie in Diagramm 15, Diagramm 16 und Diagramm 17 dargestellt.

Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse unter den Prüfstellen fällt hier schwerer. Die einzelnen Temperaturverhältnisse weichen um bis zu 10 Prozentpunkte voneinander ab. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert liegt daher bei 2,7 Prozentpunkte. Es zeigen sich jedoch - mit einer Ausnahme - gleiche Tendenzen.

Tabelle 9: Vergleich der Ergebnisse der thermodynamischen Prüfungen der drei Prüfstellen nach direktem Verfahren

Volumenstrom	Prüfstelle	zuluftseitiges Temperaturverhältnis in %	
		2 °C	7 °C
13m³/h	1	78,3	82,3
	2	85,9	87,1
	3	80,8	84,7
28 m³/h	1	72,4	75,8
	2	80,1	82,9
	3	76,4	83,6
42 m³/h	1	67,3	73,6
	2	75,3	78,2
	3	77,5	77,8

Im Gegensatz zum Spülluftverfahren hat die Umgebungstemperatur der Prüfboxen in diesem Verfahren keinen Einfluss auf die Temperaturverhältnisse, da die Temperaturen direkt am Geräte-Ein- und Auslass gemessen werden. Daher ist in Tabelle 10 der Vergleich der durchschnittlichen Abweichungen über den Mittelwert nur für alle Prüfstellen aufgeführt.

Tabelle 10: Vergleich der Standardabweichungen der Ergebnisse der Messungen je Luftvolumenstrom nach dem direktem Verfahren bei Betrachtung aller drei Prüfstellen

Volumenstrom	Standardabweichung in Prozentpunkten
	Prüfstelle 1 + 2 + 3
13 m³/h	3,1
28 m³/h	4,1
42 m³/h	4,0
Mittelwert	3,7

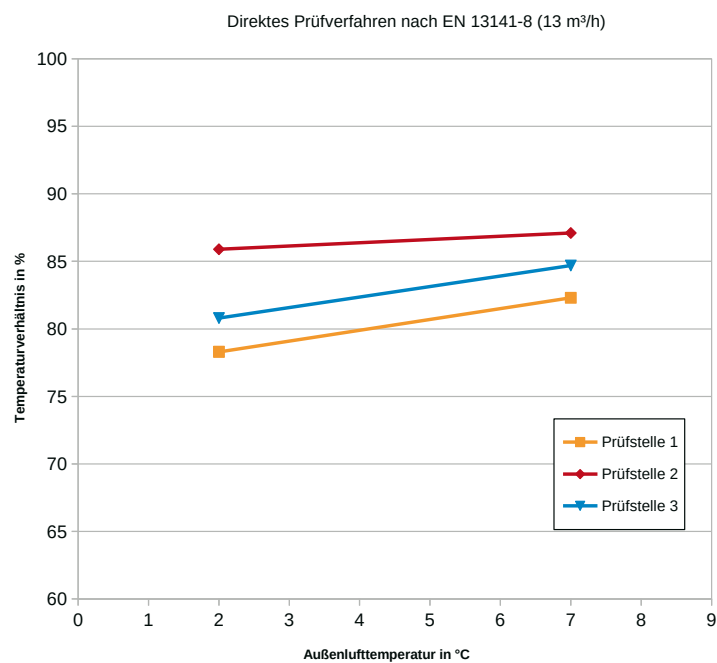


Diagramm 15: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der Stufe 1 je Prüfstelle für das direkte Prüfverfahren.

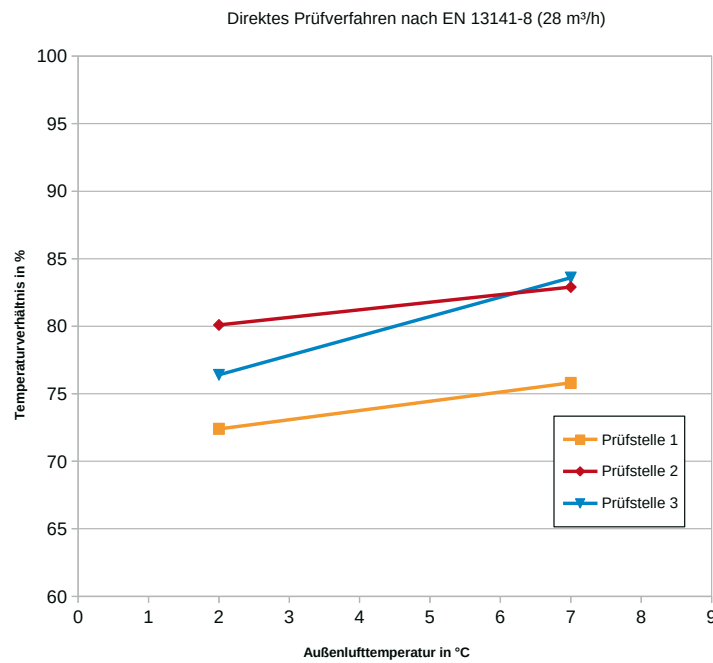


Diagramm 16: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der Stufe 2 je Prüfstelle für das direkte Prüfverfahren.

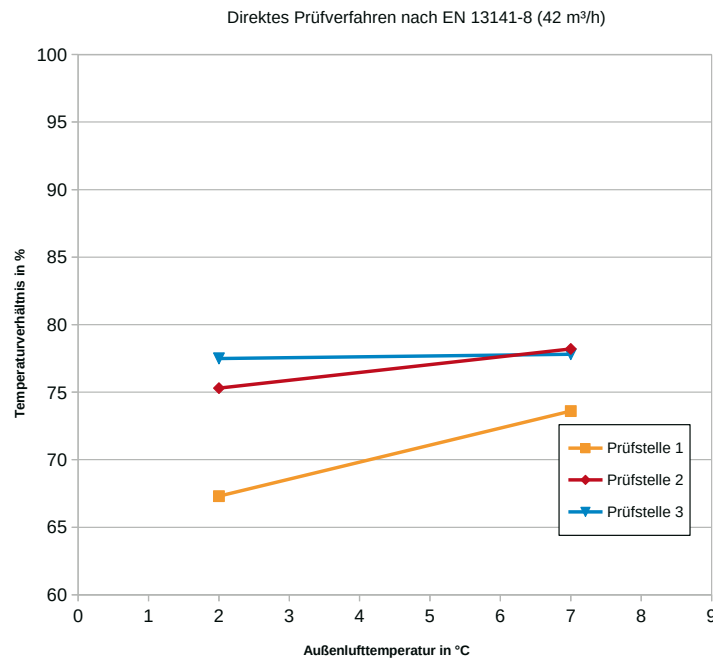


Diagramm 17: Darstellung der thermodynamischen Ergebnisse der Stufe 3 je Prüfstelle für das direkte Prüfverfahren.

In nachfolgendem Diagramm 18 sind die Standardabweichungen beider Prüfverfahren dargestellt. Für das Spülluftverfahren sind die Abweichungen nochmals in betrachtete Prüfstellen mit und ohne Wiederholungsmessung unterteilt.

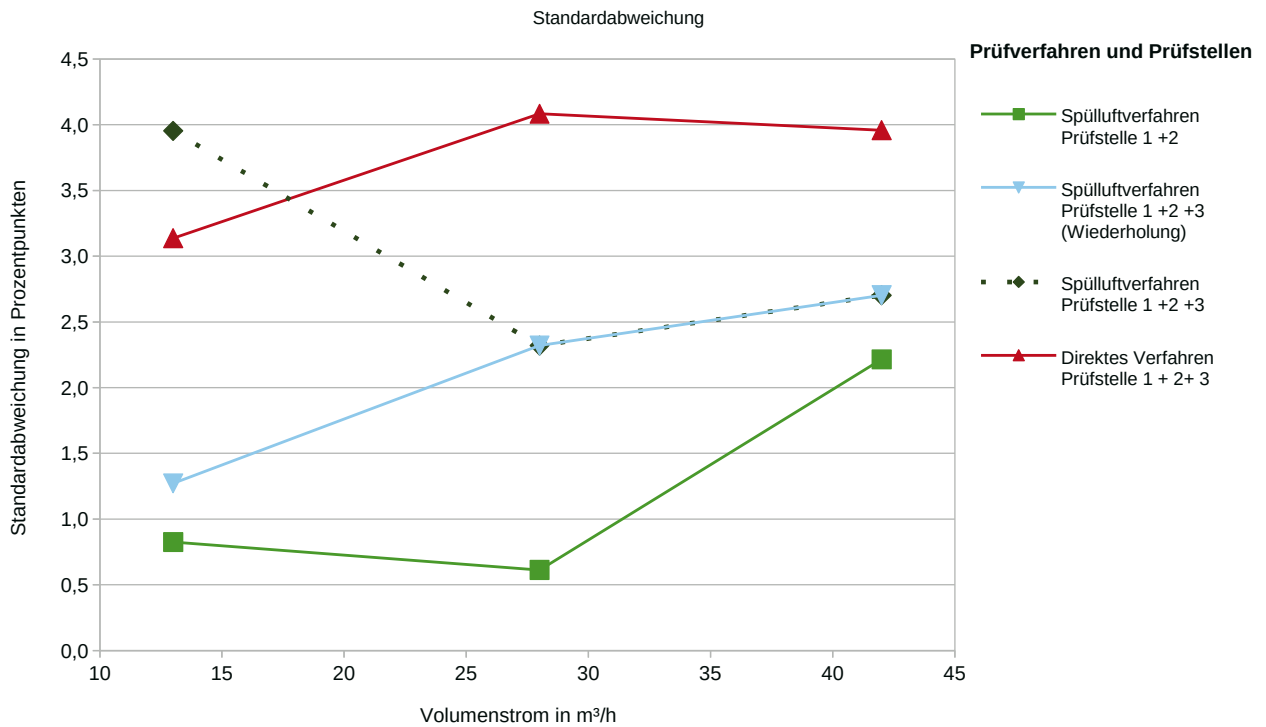


Diagramm 18: Vergleich der Standardabweichungen des Spülluftverfahrens und des direkte Prüfverfahrens.

6 Diskussion

Die Betrachtung der Standardabweichungen der Ergebnisse der thermodynamischen Prüfungen lässt erkennen, dass das Spülluftverfahren im Vergleich zum direktem Verfahren nach DIN EN 13141-8 zu geringeren Abweichungen zwischen den Prüfstellen geführt hat. Allerdings gilt das nur unter der Prämisse, dass die Umgebungstemperatur des Aufstellorts der Abluft-Prüfbox über die Messreihe hinweg konstant der Ablufttemperatur ausgesetzt sind. Dies hat die teilweise Wiederholung der Messung der Prüfstelle 3 aufgezeigt. Dabei scheint es – zumindest bei der zuluftseitigen Betrachtung – nicht von Bedeutung zu sein, ob die Außenluft-Prüfbox der Abluft- oder Außenlufttemperatur ausgesetzt ist.

Ansonsten kann es bei abweichenden Umgebungstemperaturen zu unterschiedlichen Temperaturverhältnissen kommen. In dieser Untersuchung betragen diese bis zu 10 Prozentpunkte.

Es ist wünschenswert, die Prüfungen an den übrigen Messpunkten mit konstanter Umgebungstemperatur an Prüfstelle 3 zu wiederholen. Der Kosten- und Zeitaufwand wäre im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht zu vertreten gewesen. Hierzu wäre ein sich anschließendes, neues Forschungsvorhaben geeignet, im Rahmen dessen weitere Fragestellungen untersucht werden könnten, die sich aus dem hier vorgestellten Vorhaben ergeben haben.

Bei näherer Betrachtung der Auswertemasken der verschiedenen Prüfstellen zeigt sich weiterhin, dass die Temperaturdifferenzen zwischen $T_{Ab,aus,inst}$ und $T_{Ab,ein}$ bei sehr niedrigen Geräteluftmengen teilweise sehr klein ausfallen. Bei 10°C Außenlufttemperatur und dem Gerätevolumenstrom von 13 m³/h beträgt diese z.B. bei Prüfstelle 1 gerade einmal 0,2 K.

Nach diesem Beispiel führt die Berechnung nach Gleichung 1 zum Beispiel zu einem Temperaturverhältnis von 86,6% (siehe Gleichung 3).

$$\eta_{\theta, Zu} = \frac{T_{Ab, aus, instat} - T_{Ab, aus, stat}}{T_{Ab, ein} - T_{Ab, aus, stat}} \quad (3)$$

$$\eta_{\theta, Zu} = \frac{20,8 - 19,5}{21 - 19,5} = \frac{1,3}{1,5} = 0,866 = 86,6 \%$$

Wird die Temperaturdifferenz auf 0,1 reduziert, was z.B. durch eine geringere Spülluftmenge auftreten kann, steigt das Temperaturverhältnis um 6,7 Prozentpunkte auf 93,3% (Gleichung 4). Es ist daher zu empfehlen, die Temperaturdifferenzen – insbesondere bei niedrigen Geräteluftmengen – durch geeignete Maßnahmen möglichst groß zu halten. Eine Möglichkeit besteht z.B. darin, die Spülluftmenge nicht unter einer Mindestluftmenge zu wählen (z.B. 30 m³/h).

$$\eta_{\theta, Zu} = \frac{20,9 - 19,5}{21 - 19,5} = \frac{1,4}{1,5} = 0,933 = 93,3 \% \quad (4)$$

Im Übrigen beträgt das Temperaturverhältnis bei oben genannten Beispiel laut Prüfbericht nicht 86,6% sondern 84,4%. Die Abweichung kann dadurch erklärt werden, dass die Berechnung im Hintergrund, anders als angegeben, mit mehr als einer Nachkommastelle durchgeführt wurde. Es bleibt zu überlegen, Temperaturen in der Auswertemaske mit zwei Nachkommastellen auszugeben, um diese Ungenauigkeit zu minimieren.

Hinzu kommt, dass bei der Berechnungsformel unklar ist, welche Eintritts-Ablufttemperatur – stationär oder instationär – mit $T_{Ab, ein}$ gemeint ist. Auch hier können geringe Abweichungen beider möglichen Temperaturen zu geringen Veränderungen im Temperaturverhältnis führen.

Die aufgetretenen Abweichungen des Temperaturverhältnisses, ermittelt nach dem direktem Verfahren nach DIN EN 13141-8, können nicht auf unterschiedliche Umgebungstemperaturen zurückgeführt werden. Bei diesem Prüfverfahren führt vielmehr die Platzierung der Temperatursensoren zu Differenzen. Da laut Prüfanweisung die kalorische Temperatur erfasst werden soll, ohne mitzuteilen, wie diese in der Praxis zu bestimmen ist, ist es der Prüfstelle überlassen, an welcher Position die Temperatursensoren anzubringen sind. Für die Erfassung der kalorischen Temperatur werden Informationen über das Strömungsprofil benötigt. Das Strömungsprofil müsste demnach vorher erfasst werden und anhand dieser die Platzierung der Temperatursensoren gewählt werden. Die

Strömung hängt allerdings maßgeblich von den eingesetzten Innen- und Außenblenden ab. Des Weiteren können sich die Strömungen in Abhängigkeit von der geförderten Luftmenge verändern. Es wäre also erforderlich, die Strömungen mindestens für jede zu vermessende Geräteluftmenge zu erfassen und gegebenenfalls die Temperatursensoren für jede zu vermessende Luftmenge neu zu platzieren. Der Prüfaufwand würde dadurch enorm ansteigen, und selbst dann gäbe es keine Gewissheit, die tatsächliche kalorische Temperatur erfasst zu haben.

Eine Aufnahme der Strömungsprofile ist bei keiner Prüfstelle durchgeführt worden. Ebenso sind an keiner Prüfstelle die Temperatursensoren exakt an derselben Position angebracht. So kommt es vermutlich zu den oben aufgeführten Abweichungen in den Ergebnissen.

Wie eingangs erwähnt, hat die Geräteluftmenge und die Balance zwischen Ab- und Zuluft einen Einfluss auf die thermodynamischen Messergebnisse. Ein direkter Vergleich der Lüftungstechnischen Kennlinien unter den Prüfstellen ist aufgrund der vielfältigen Messkonstellationen nicht eindeutig möglich. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass die geförderten Luftmengen durch Variation der Abstände des Wärmeübertragers zum Ventilator zu Abweichungen der geförderten Luftmengen von bis zu 4 m³/h führen können. Es ist davon auszugehen, dass es bei dezentralen Lüftungsgeräte mit alternierender Ventilator Drehrichtung mit ihrer speziellen Bauweise und der variabel ausgeführten Komponentenanzordnung, zu ähnlichen oder auch größeren Abweichungen kommen kann. Um eine Vergleichbarkeit untereinander herzustellen, sind mindestens detaillierte Dokumentationen der Anordnung der Komponenten notwendig.

Die Auswirkung der Messanordnung, also ob saugseitig oder druckseitig gemessen wird, zeigte kein eindeutiges Ergebnis. Die Abweichungen der saug- zu druckseitigen Messungen betragen allerdings immer weniger als 3 m³/h. Gemäß DIN EN ISO-5801 sind beide Verfahren zulässig.

Für eine genauere Analyse der festgestellten Abweichungen und für einen detaillierteren Vergleich der Messergebnisse aus dem direktem Prüfverfahren nach der DIN EN 13141-8 wären sicher weitere Forschungen bzw. Vergleichsmessungen notwendig.

7 Quellenverzeichnis

Lü-A Nr. 14a: Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung "Luft/Luft-Technik" - Kalorisches Prüfverfahren, DIBt ()

Spülluftverfahren: Prüfmodell zur Prüfung von alternierenden dezentralen Geräten, Universität Stuttgart (2012)

DIN EN 13141-8: 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 ventilatorgestützte Lüftungsanlagen von einzelnen Räumen; Deutsche Fassung EN 13141-8:2014, DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2014)

Lü-A Nr. 20: Vereinbarungen des SVA-A "Lüftungstechnik" zur Prüfung von Lüftungsgeräten als Grundlage für die Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen, DIBt (2002)

Anhang

A Auswertemasken

Prüfstelle 1, Spülluftverfahren

		DIBt A10	DIBt A4	DIBt A-3
		Stufe 1		
Mess- bzw. Rechengröße	Einheit	DIBt A10	DIBt A4	DIBt A-3
Gerät				
Mittlerer Volumenstrom (aus ltp)	m ³ /h	14	14	14
Mittlere Temperatur am Ventilator	°C	15	12	9
Dichte am Ventilator	kg/m ³	1,17	1,17	1,21
Mittlerer Massenstrom	kg/s	0,0046	0,0046	0,0048
Instationär				
Messwerte				
Temperatur Außenluft	°C	10,0	4,0	-3,0
Feuchte Außenluft	%	79,9	79,1	85,7
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	29,4	29,0	27,8
Temperatur Abluft	°C	21,0	21,0	21,0
Feuchte Abluft	%	56,8	45,5	37,7
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	30,6	30,8	30,2
Temperatur Abluft aus	°C	20,4	20,0	19,4
Umgebungsluftdruck	Pa	97.280	96.270	98.071
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2,4	2,4	2,6
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft	g/kg	6,34	4,19	2,60
Wassergehalt Abluft	g/kg	9,17	7,41	6,01
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,19	1,21	1,26
Dichte Abluft	kg/m ³	1,15	1,13	1,16
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,0097	0,0097	0,0097
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,0097	0,0097	0,0097
Stationär				
Messwerte				
Temperatur Außenluft	°C	10,0	4,0	-3,0
Feuchte Außenluft	%	80,3	81,2	85,7
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	29,4	29,0	27,8
Temperatur Abluft	°C	21,0	21,0	20,9
Feuchte Abluft	%	57,0	47,3	35,9
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	30,6	30,8	30,2
Temperatur Abluft aus	°C	17,3	14,9	11,9
Umgebungsluftdruck	Pa	97.192	97.739	98.110
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2,7	2,8	2,9
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft	g/kg	6,37	4,23	2,60
Wassergehalt Abluft	g/kg	9,20	7,57	5,68
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,19	1,21	1,26
Dichte Abluft	kg/m ³	1,15	1,13	1,16
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,0097	0,0097	0,0097
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,0097	0,0097	0,0097
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	83,1	83,9	82,3
volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m ³ /h)	0,17	0,17	0,18

		Stufe 2		
Mess- bzw. Rechengröße	Einheit	DIBt A10	DIBt A4	DIBt A-3
Gerät				
Mittlerer Volumenstrom (aus Itp)	m ³ /h	28	28	28
Mittlere Temperatur am Ventilator	°C	15	12	9
Dichte am Ventilator	kg/m ³	1,17	1,19	1,20
Mittlerer Massenstrom	kg/s	0,0091	0,0093	0,0094
Instationär				
Messwerte				
Temperatur Außenluft	°C	10,0	4,0	-3,0
Feuchte Außenluft	%	80,1	82,0	86,8
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	43,4	42,5	41,4
Temperatur Abluft	°C	21,0	21,0	21,1
Feuchte Abluft	%	57,5	47,7	36,0
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	45,2	45,1	45,1
Temperatur Abluft aus	°C	19,9	19,3	18,4
Umgebungsluftdruck	Pa	97.800	97.770	97.600
elektr. Wirkleistung gesamt	W	4,5	4,7	4,4
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft	g/kg	6,32	4,27	2,64
Wassergehalt Abluft	g/kg	9,21	7,62	5,78
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,20	1,23	1,26
Dichte Abluft	kg/m ³	1,15	1,15	1,15
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,0144	0,0145	0,0144
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,0145	0,0145	0,0144
Stationär				
Messwerte				
Temperatur Außenluft	°C	10,0	4,0	-3,0
Feuchte Außenluft	%	80,9	80,3	86,2
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	43,4	42,5	41,4
Temperatur Abluft	°C	21,0	21,0	20,9
Feuchte Abluft	%	56,3	46,9	36,0
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	45,2	44,9	45,2
Temperatur Abluft aus	°C	15,6	12,3	8,1
Umgebungsluftdruck	Pa	97.741	97.140	96.460
elektr. Wirkleistung gesamt	W	5,2	5,4	5,7
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft	g/kg	6,39	4,22	2,66
Wassergehalt Abluft	g/kg	9,02	7,56	5,81
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,20	1,23	1,26
Dichte Abluft	kg/m ³	1,15	1,15	1,15
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,0144	0,0144	0,0144
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,0145	0,0144	0,0144
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	81,0	80,3	79,4
volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m ³ /h)	0,16	0,17	0,16

		Stufe 3		
Mess- bzw. Rechengröße	Einheit	DIBt A10	DIBt A4	DIBt A-3
Gerät				
Mittlerer Volumenstrom (aus Itp)	m ³ /h	43	43	43
Mittlere Temperatur am Ventilator	°C	16	12	9
Dichte am Ventilator	kg/m ³	1,17	1,18	1,20
Mittlerer Massenstrom	kg/s	0,0140	0,0141	0,0143
Instationär				
Messwerte				
Temperatur Außenluft	°C	10,0	4,0	-3,0
Feuchte Außenluft	%	80,6	80,3	86,6
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	53,0	52,1	50,7
Temperatur Abluft	°C	21,0	20,9	21,0
Feuchte Abluft	%	56,9	48,1	37,5
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	55,3	55,4	55,3
Temperatur Abluft aus	°C	19,5	18,5	17,2
Umgebungsluftdruck	Pa	97.766	97.280	97.540
elektr. Wirkleistung gesamt	W	8,8	9,1	9,1
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft	g/kg	6,37	4,21	2,65
Wassergehalt Abluft	g/kg	9,11	7,72	6,02
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,20	1,22	1,26
Dichte Abluft	kg/m ³	1,15	1,15	1,15
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,0176	0,0177	0,0177
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,0177	0,0177	0,0177
Stationär				
Messwerte				
Temperatur Außenluft	°C	10,0	4,0	-3,0
Feuchte Außenluft	%	80,4	81,7	85,9
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	53,2	52,2	50,7
Temperatur Abluft	°C	21,0	20,9	21,0
Feuchte Abluft	%	57,1	45,3	35,8
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	55,3	55,5	55,3
Temperatur Abluft aus	°C	14,8	11,2	6,4
Umgebungsluftdruck	Pa	97.697	97.300	97.370
elektr. Wirkleistung gesamt	W	10,3	10,3	10,4
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft	g/kg	6,36	4,28	2,63
Wassergehalt Abluft	g/kg	9,20	7,26	5,75
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,20	1,22	1,26
Dichte Abluft	kg/m ³	1,15	1,15	1,15
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,0177	0,0177	0,0177
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,0177	0,0177	0,0177
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	76,2	74,9	74,3
volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m ³ /h)	0,20	0,21	0,21

Prüfstelle 2, Spülluftverfahren

Lüfterstufe min				
Mess- bzw. Rechengröße	Einheit	Luftzustand 1	Luftzustand 2	Luftzustand 3
Gerät				
mittlerer Abluftvolumenstrom (aus lufttechnischer Prüfung)	m ³ /h	14	14	14
Temperatur am Ventilator	°C	9,0	12,5	15,5
Dichte am Ventilator	kg/m ³	1,19	1,15	1,13
Mittlerer Massenstrom	kg/s	0,005	0,004	0,004
Messwerte Instationär				
Temperatur Außenluft (Au)	°C	-3,0	4,0	10,0
rel. Feuchte Außenluft	%	41	56	69
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	28	29	29
Temperatur Abluft (Ab)	°C	21,0	21,0	21,0
rel. Feuchte Abluft	%	36	45	56
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	31	31	31
Temperatur Abluft aus	°C	20,4	20,6	20,8
Umgebungsluftdruck	Pa	96658	94200	94200
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2,7	2,7	2,7
Rechenwerte Instationär				
Sättigungsdruck des WD (Au)	Pa	475	816	1228
Sättigungsdruck des WD (Ab)	Pa	2488	2492	2490
Wassergehalt Außenluft	g/kg	1,24	3,04	5,67
Wassergehalt Abluft	g/kg	5,82	7,50	9,42
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,24	1,18	1,15
Dichte Abluft	kg/m ³	1,14	1,11	1,11
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,010	0,009	0,009
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,010	0,010	0,009
Messwerte Stationär				
Temperatur Außenluft (Au)	°C	-3,0	4,1	10,0
rel. Feuchte Außenluft	%	40	56	69
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	30	29	29
Temperatur Abluft (Ab)	°C	21,0	21,0	21,0
rel. Feuchte Abluft	%	36	45	56
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	31	31	31
Temperatur Abluft aus	°C	17,3	18,5	19,5
Umgebungsluftdruck	Pa	96468	94200	94200
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2,8	2,8	2,8
Rechenwerte Stationär				
Sättigungsdruck des WD (Au)	Pa	475	817	1227
Sättigungsdruck des WD (Ab)	Pa	2492	2488	2489
Wassergehalt Außenluft	g/kg	1,21	3,06	5,64
Wassergehalt Abluft	g/kg	5,82	7,40	9,40
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,25	1,18	1,15
Dichte Abluft	kg/m ³	1,14	1,11	1,11
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,010	0,009	0,009
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,010	0,010	0,009
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	84,3	83,7	84,4
volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m ³ /h)	-	-	-

Die Ermittlung der Rechenwerte erfolgte unter Verwendung folgender Konstanten:

c _{p,L} [kJ/(kgK)]	c _{p,D} [kJ/(kgK)]	r ₀ [kJ/kg]
1,004	1,86	2500

Lüfterstufe med				
Mess- bzw. Rechengröße	Einheit	Luftzustand 1	Luftzustand 2	Luftzustand 3
Gerät				
mittlerer Abluftvolumenstrom (aus lufttechnischer Prüfung)	m ³ /h	28	28	28
Temperatur am Ventilator	°C	9,0	12,5	15,5
Dichte am Ventilator	kg/m ³	1,16	1,15	1,13
Mittlerer Massenstrom	kg/s	0,009	0,009	0,009
Messwerte Instationär				
Temperatur Außenluft (Au)	°C	-3,0	4,0	10,0
rel. Feuchte Außenluft	%	48	66	74
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	42	42	43
Temperatur Abluft (Ab)	°C	21,0	21,0	21,0
rel. Feuchte Abluft	%	36	46	56
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	46	46	46
Temperatur Abluft aus	°C	19,8	20,1	20,4
Umgebungsluftdruck	Pa	94200	94200	94200
elektr. Wirkleistung gesamt	W	5,4	5,4	5,4
Rechenwerte Instationär				
Sättigungsdruck des WD (Au)	Pa	475	813	1226
Sättigungsdruck des WD (Ab)	Pa	2492	2493	2489
Wassergehalt Außenluft	g/kg	1,52	3,58	6,07
Wassergehalt Abluft	g/kg	5,93	7,60	9,36
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,21	1,18	1,15
Dichte Abluft	kg/m ³	1,11	1,11	1,11
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,014	0,014	0,014
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,014	0,014	0,014
Messwerte Stationär				
Temperatur Außenluft (Au)	°C	-3,0	3,9	10,0
rel. Feuchte Außenluft	%	48	67	75
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	42	42	44
Temperatur Abluft (Ab)	°C	21,0	21,0	21,0
rel. Feuchte Abluft	%	36	46	55
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	46	46	46
Temperatur Abluft aus	°C	14,5	16,4	18,2
Umgebungsluftdruck	Pa	94200	94200	94200
elektr. Wirkleistung gesamt	W	5,8	5,6	5,5
Rechenwerte Stationär				
Sättigungsdruck des WD (Au)	Pa	475	811	1232
Sättigungsdruck des WD (Ab)	Pa	2491	2492	2489
Wassergehalt Außenluft	g/kg	1,51	3,59	6,15
Wassergehalt Abluft	g/kg	5,95	7,62	9,24
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,21	1,18	1,15
Dichte Abluft	kg/m ³	1,11	1,11	1,11
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,014	0,014	0,014
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,014	0,014	0,014
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	80,7	80,5	79,9
volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m ³ /h)	-	-	-

Die Ermittlung der Rechenwerte erfolgte unter Verwendung folgender Konstanten:

c _{p,L} [kJ/(kgK)]	c _{p,D} [kJ/(kgK)]	r ₀ [kJ/kg]
1,004	1,86	2500

Lüfterstufe max				
Mess- bzw. Rechengröße	Einheit	Luftzustand 1	Luftzustand 2	Luftzustand 3
Gerät				
Abluftvolumenstrom (aus lufttechnischer Prüfung)	m ³ /h	43	43	43
Temperatur am Ventilator	°C	9,0	12,5	15,5
Dichte am Ventilator	kg/m ³	1,19	1,15	1,13
Mittlerer Massenstrom	kg/s	0,014	0,014	0,014
Messwerte Instationär				
Temperatur Außenluft (Au)	°C	-3,1	4,0	10,1
rel. Feuchte Außenluft	%	58	67	78
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	49	52	53
Temperatur Abluft (Ab)	°C	21,1	20,9	21,0
rel. Feuchte Abluft	%	36	45	56
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	56	56	56
Temperatur Abluft aus	°C	19,3	19,6	20,2
Umgebungsluftdruck	Pa	96525	94200	94200
elektr. Wirkleistung gesamt	W	10,5	10,6	10,4
Rechenwerte Instationär				
Sättigungsdruck des WD (Au)	Pa	471	816	1233
Sättigungsdruck des WD (Ab)	Pa	2497	2478	2488
Wassergehalt Außenluft	g/kg	1,76	3,64	6,40
Wassergehalt Abluft	g/kg	5,78	7,53	9,39
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,24	1,18	1,15
Dichte Abluft	kg/m ³	1,14	1,11	1,11
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,017	0,017	0,017
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,018	0,017	0,017
Messwerte Stationär				
Temperatur Außenluft (Au)	°C	-3,0	4,1	10,0
rel. Feuchte Außenluft	%	57	68	78
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	49	52	52
Temperatur Abluft (Ab)	°C	21,0	21,1	21,0
rel. Feuchte Abluft	%	36	45	56
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	57	55	56
Temperatur Abluft aus	°C	12,8	15,1	17,3
Umgebungsluftdruck	Pa	96540	94200	94200
elektr. Wirkleistung gesamt	W	10,6	10,5	10,5
Rechenwerte Stationär				
Sättigungsdruck des WD (Au)	Pa	475	820	1232
Sättigungsdruck des WD (Ab)	Pa	2496	2500	2486
Wassergehalt Außenluft	g/kg	1,75	3,72	6,38
Wassergehalt Abluft	g/kg	5,77	7,60	9,35
Dichte Außenluft	kg/m ³	1,24	1,18	1,15
Dichte Abluft	kg/m ³	1,14	1,11	1,11
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,017	0,017	0,017
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,018	0,017	0,017
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	79,2	76,7	78,9
volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m ³ /h)	-	-	-

Die Ermittlung des Rechenwerte erfolgte unter Verwendung folgender Konstanten:

c _{p,L} [kJ/(kgK)]	c _{p,D} [kJ/(kgK)]	r ₀ [kJ/kg]
1,004	1,86	2500

Prüfstelle 3, Spülluftverfahren

Soll-Volumenstrom	13 m³/h	Stufe 1		
Mess-bzw. Rechenaröße	Einheit	10 °C	4 °C	-3 °C

Instationär

Meßwerte				
Temperatur Außenluft ein	°C	10.2	4.1	-2.9
Temperatur Außenluft aus	°C	13.7	9.5	4.2
Temperatur Abluft ein	°C	21.0	21.0	21.0
Temperatur Abluft aus	°C	20.9	20.4	19.3
rel. Feuchte Außenluft ein	%	78.5	76.2	75.6
rel. Feuchte Abluft ein	%	56.1	44.3	37.7
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	30.7	29.5	29.3
Spülluftstrom Abluft	m³/h	32.0	30.6	30.5
Umgebungsdruck	Pa	97634	97408	98544
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2.7	2.5	2.6
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft ein	g/kg	6.62	4.01	2.31
Wassergehalt Abluft ein	g/kg	9.02	7.13	5.98
Dichte Außenluft ein	kg/m³	1.20	1.22	1.27
Dichte Abluft ein	kg/m³	1.15	1.15	1.16
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0.01017	0.00998	0.01033
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0.01014	0.00970	0.00978

Stationär

Meßwerte				
Temperatur Außenluft ein	°C	10.2	4.1	-2.9
Temperatur Außenluft aus	°C	16.2	13.8	10.5
Temperatur Abluft ein	°C	21.0	21.0	20.9
Temperatur Abluft aus	°C	18.8	16.6	13.8
rel. Feuchte Außenluft ein	%	78.0	76.7	76.0
rel. Feuchte Abluft ein	%	56.5	45.9	36.6
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	30.6	29.6	30.0
Spülluftstrom Abluft	m³/h	32.0	30.7	31.1
Umgebungsdruck	Pa	97656	97644	98766
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2.6	2.6	2.9
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft ein	g/kg	6.23	4.02	2.30
Wassergehalt Abluft ein	g/kg	9.08	7.36	5.77
Dichte Außenluft ein	kg/m³	1.20	1.22	1.27
Dichte Abluft ein	kg/m³	1.15	1.15	1.17
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0.01014	0.01004	0.01059
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0.01013	0.00974	0.01000
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	95,5	85,8	76,8
Volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m³/h)	0,20	0,19	0,21

Soll-Volumenstrom	28 m³/h	Stufe 2		
Mess-bzw. Rechenaröße	Einheit	10 °C	4 °C	-3 °C

Instationär

Meßwerte				
Temperatur Außenluft ein	°C	10.0	4.0	-2.9
Temperatur Außenluft aus	°C	13.9	9.9	6.2
Temperatur Abluft ein	°C	21.0	21.0	21.0
Temperatur Abluft aus	°C	20.4	19.7	19.0
rel. Feuchte Außenluft ein	%	77.8	76.7	74.4
rel. Feuchte Abluft ein	%	56.0	47.5	34.7
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	41.1	41.6	40.9
Spülluftstrom Abluft	m³/h	42.1	42.6	42.9
Umgebungsluftdruck	Pa	95865	97065	99146
elektr. Wirkleistung gesamt	W	4.9	5.2	5.1
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft ein	a/ka	6.25	4.03	2.26
Wassergehalt Abluft ein	a/ka	9.16	7.69	5.47
Dichte Außenluft ein	ka/m³	1.17	1.22	1.28
Dichte Abluft ein	ka/m³	1.13	1.14	1.17
Spülluftstrom Außenluft	ka/s	0.01335	0.01402	0.01449
Spülluftstrom Abluft	ka/s	0.01308	0.01342	0.01388

Stationär

Meßwerte				
Temperatur Außenluft ein	°C	10.1	4.0	-2.8
Temperatur Außenluft aus	°C	18.3	17.0	16.6
Temperatur Abluft ein	°C	21.0	21.0	21.0
Temperatur Abluft aus	°C	16.5	13.4	10.3
rel. Feuchte Außenluft ein	%	77.0	76.8	74.8
rel. Feuchte Abluft ein	%	55.5	47.1	36.9
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	41.1	41.2	39.9
Spülluftstrom Abluft	m³/h	42.4	42.8	42.7
Umgebungsluftdruck	Pa	96.037	97.170	99.286
elektr. Wirkleistung gesamt	W	5.7	6.0	6.2
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft ein	a/ka	6.25	4.02	2.27
Wassergehalt Abluft ein	a/ka	9.08	7.60	5.81
Dichte Außenluft ein	ka/m³	1.18	1.22	1.28
Dichte Abluft ein	ka/m³	1.13	1.14	1.17
Spülluftstrom Außenluft	ka/s	0.01338	0.01391	0.01414
Spülluftstrom Abluft	ka/s	0.01321	0.01350	0.01383
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	87,7	83,3	81,5
Volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m³/h)	0,19	0,20	0,20

Soll-Volumenstrom	42 m³/h	Stufe 3		
Mess- bzw. Rechenaröße	Einheit	10 °C	4 °C	-3 °C

Instationär

Meßwerte				
Temperatur Außenluft ein	°C	10.1	4.1	-3.1
Temperatur Außenluft aus	°C	14.4	9.5	5.4
Temperatur Abluft ein	°C	21.0	21.0	21.0
Temperatur Abluft aus	°C	20.3	19.4	18.7
rel. Feuchte Außenluft ein	%	78.6	76.9	77.7
rel. Feuchte Abluft ein	%	56.5	46.2	33.9
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	58.4	61.8	61.0
Spülluftstrom Abluft	m³/h	61.4	64.0	64.2
Umgebungsluftdruck	Pa	99783	96670	99655
elektr. Wirkleistung gesamt	W	9.2	9.2	9.2
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft ein	a/ka	6.12	4.07	2.30
Wassergehalt Abluft ein	a/ka	8.88	7.49	5.30
Dichte Außenluft ein	ka/m³	1.22	1.21	1.28
Dichte Abluft ein	ka/m³	1.17	1.14	1.18
Spülluftstrom Außenluft	ka/s	0.01974	0.02074	0.02175
Spülluftstrom Abluft	ka/s	0.01986	0.02011	0.02086

Stationär

Meßwerte				
Temperatur Außenluft ein	°C	9.9	3.9	-3.0
Temperatur Außenluft aus	°C	18.5	16.1	14.1
Temperatur Abluft ein	°C	21.0	21.0	21.0
Temperatur Abluft aus	°C	16.7	13.9	10.8
rel. Feuchte Außenluft ein	%	78.6	76.3	77.2
rel. Feuchte Abluft ein	%	56.5	45.8	35.5
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	58.4	61.4	61.5
Spülluftstrom Abluft	m³/h	61.6	63.8	64.7
Umgebungsluftdruck	Pa	99.872	96.744	99.530
elektr. Wirkleistung gesamt	W	10.1	10.2	10.3
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft ein	a/ka	6.01	4.00	2.30
Wassergehalt Abluft ein	a/ka	8.87	7.42	5.57
Dichte Außenluft ein	ka/m³	1.22	1.21	1.28
Dichte Abluft ein	ka/m³	1.18	1.14	1.17
Spülluftstrom Außenluft	ka/s	0.01977	0.02063	0.02191
Spülluftstrom Abluft	ka/s	0.01994	0.02005	0.02098
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	84,6	77,2	77,5
Volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m³/h)	0,23	0,23	0,23

Prüfstelle 3, Spülluftverfahren (Nachmessung)

Soll-Volumenstrom	42 m³/h	Stufe 3		
Mess-bzw. Rechenaröße	Einheit	10 °C	4 °C	-3 °C

Instationär

Meßwerte				
Temperatur Außenluft ein	°C	10.0		-3.0
Temperatur Außenluft aus	°C	13.5		4.1
Temperatur Abluft ein	°C	21.0		21.0
Temperatur Abluft aus	°C	20.5		19.7
rel. Feuchte Außenluft ein	%	64.6		50.1
rel. Feuchte Abluft ein	%	56.0		35.2
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	27.6		29.8
Spülluftstrom Abluft	m³/h	30.1		31.9
Umgebungsluftdruck	Pa	98891		100012
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2.6		2.6
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft ein	a/ka	5.03		1.49
Wassergehalt Abluft ein	a/ka	8.89		5.50
Dichte Außenluft ein	ka/m³	1.21		1.29
Dichte Abluft ein	ka/m³	1.16		1.18
Spülluftstrom Außenluft	ka/s	0.00925		0.01065
Spülluftstrom Abluft	ka/s	0.00965		0.01040

Stationär

Meßwerte				
Temperatur Außenluft ein	°C	10.0		-2.9
Temperatur Außenluft aus	°C	16.4		10.5
Temperatur Abluft ein	°C	21.0		21.0
Temperatur Abluft aus	°C	17.9		14.4
rel. Feuchte Außenluft ein	%	64.5		53.5
rel. Feuchte Abluft ein	%	56.6		35.5
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	29.2		31.0
Spülluftstrom Abluft	m³/h	28.4		30.8
Umgebungsluftdruck	Pa	98.899		99.371
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2.7		3.0
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft ein	a/ka	5.02		1.61
Wassergehalt Abluft ein	a/ka	8.99		5.58
Dichte Außenluft ein	ka/m³	1.21		1.28
Dichte Abluft ein	ka/m³	1.16		1.17
Spülluftstrom Außenluft	ka/s	0.00979		0.01100
Spülluftstrom Abluft	ka/s	0.00910		0.00997
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	83,9		80,3
Volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m³/h)	0,20		0,22

Prüfstelle 1, Direktes Verfahren nach DIN EN 13141-8

		EN A7	EN A7	EN A7
		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Gerätewerte				
Stufe	m ³ /h	0	0	0
Volumenstrom (aus Itp)	m ³ /h	14	28	43
Temperatur am Ventilator	°C	13,4	13,5	13,5
Dichte am Ventilator	kg/m ³	1,18	1,18	1,18
Mittlerer Massenstrom	kg/s	0,0047	0,0092	0,0141
Messwerte				
<i>Messwerte</i>				
Temperatur Außenluft	°C	7,0	7,0	7,0
Feuchte Außenluft	%	90,0	90,9	89,5
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	29,0	43,2	53,0
Temperatur Abluft	°C	20,0	20,0	19,9
Feuchte Abluft	%	38,3	39,1	38,8
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	30,4	45,2	55,0
Zulufttemperatur Gerät (fallend)	°C	17,7	16,8	16,5
Fortlufttemperatur Gerät (steigend)	°C	10,8	10,9	11,7
Umgebungsluftdruck	Pa	97.250	97.110	97.610
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2,5	4,7	9,3
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft	g/kg	5,82	5,88	5,78
Wassergehalt Abluft	g/kg	5,77	5,91	5,81
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,0097	0,0144	0,0178
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,0097	0,0144	0,0177
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (unkorrigiert)	%	82,3	75,8	73,6
Temperaturverhältnis FO (unkorrigiert)	%	70,3	70,0	63,9
volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m ³ /h)	0,18	0,17	0,22

		EN A2	EN A2	EN A2
		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Gerätewerte				
Stufe	m ³ /h	0	0	0
Volumenstrom (aus Itp)	m ³ /h	14	28	43
Temperatur am Ventilator	°C	11,1	11,0	11,0
Dichte am Ventilator	kg/m ³	1,20	1,20	1,20
Mittlerer Massenstrom	kg/s	0,0047	0,0093	0,0143
Messwerte				
<i>Messwerte</i>				
Temperatur Außenluft	°C	2,0	2,0	2,0
Feuchte Außenluft	%	90,7	87,9	91,6
Spülluftstrom Außenluft	m ³ /h	28,2	42,0	51,3
Temperatur Abluft	°C	20,0	20,0	19,9
Feuchte Abluft	%	61,5	62,3	61,5
Spülluftstrom Abluft	m ³ /h	30,2	44,9	54,9
Zulufttemperatur Gerät (fallend)	°C	16,1	15,0	14,0
Fortlufttemperatur Gerät (steigend)	°C	8,7	9,2	10,0
Umgebungsluftdruck	Pa	98.110	97.980	98.030
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2,4	4,5	9,3
Rechenwerte				
Wassergehalt Außenluft	g/kg	4,09	3,97	4,13
Wassergehalt Abluft	g/kg	9,26	9,41	9,21
Spülluftstrom Außenluft	kg/s	0,0097	0,0144	0,0177
Spülluftstrom Abluft	kg/s	0,0097	0,0144	0,0177
Ergebniswerte				
Temperaturverhältnis ZU (unkorrigiert)	%	78,3	72,4	67,3
Temperaturverhältnis FO (unkorrigiert)	%	62,8	59,9	55,2
volumenbez. elektr. Ventilatorleist.	W/(m ³ /h)	0,17	0,16	0,22

Prüfstelle 2, Direktes Verfahren nach DIN EN 13141-8

Wärmeübertrager mit Feuchteübertragung	ja
--	----

Gerätewerte			A7		
			min	med	max
Volumenstrom aus Lufttechnischer Prüfung		m³/h	14	28	43

Messwerte

Temperatur AB	Θ_{11}	°C	20,2	20,1	20,1
Temperatur FO (steigend)	Θ_{12}	°C	9,1	9,6	9,8
Temperatur AU	Θ_{21}	°C	6,4	7,1	7,1
Temperatur ZU (fallend)	Θ_{22}	°C	18,4	17,8	17,2
Feuchte AB	ϕ_{11}	%	39	39	39
Feuchte AU	ϕ_{21}	%	84	85	85
Wassergehalt AB	x_{11}	g/kg	6,02	5,97	5,90
Wassergehalt AU	x_{21}	g/kg	5,29	5,61	5,62
Feuchtkugeltemperatur AB	Θ_{w11}	°C	12,2	12,1	12,0
Feuchtkugeltemperatur AU	Θ_{w21}	°C	-	-	-
Zykluszeit	t _{cycle}	s	60,0	60,0	60,0
Totzeit	t _{2=t4}	s	0,0	0,0	0,0
Umgebungstemperatur	Θ_{amb}	°C	20,2	20,1	20,1
Umgebungsluftdruck	p_{amb}	Pa	95.966	96.150	96.208
elektr. Wirkleistung gesamt	P_E	W	2,7	5,1	9,5

Ergebnis

			min	med	max
Temperaturverhältnis Zuluft (unkorrigiert)	$\eta_{\Theta SU}$	%	87,1	82,9	78,2
Temperaturverhältnis Fortluft (unkorrigiert)	$\eta_{x SU}$	%	80,7	80,4	79,3
spez. elektr. Leistungsaufnahme bezogen auf $(qV_{11}+qV_{22})/2$	P_E/q_{V22}	W/(m³/h)	-	-	-

Die Ermittlung von Hilfsgrößen erfolgt unter Verwendung folgender Konstanten:

$c_{p,L}$ [kJ/(kgK)]	$c_{p,D}$ [kJ/(kgK)]	r_0 [kJ/kg]	$c_{p,w}$ [kJ/(kgK)]
1,004	1,86	2500	4,18

Wärmeübertrager mit Feuchteübertragung	ja
--	----

Gerätewerte			A2		
			min	med	max
Volumenstrom aus Lufttechnischer Prüfung		m³/h	14	28	43

Messwerte

Temperatur AB	Θ_{11}	°C	20,3	20,2	20,3
Temperatur FO (steigend)	Θ_{12}	°C	5,1	5,7	6,5
Temperatur AU	Θ_{21}	°C	2,0	2,0	2,0
Temperatur ZU (fallend)	Θ_{22}	°C	17,7	16,6	15,7
Feuchte AB	ϕ_{11}	%	59	60	60
Feuchte AU	ϕ_{21}	%	86	89	89
Wassergehalt AB	x_{11}	g/kg	9,21	9,29	9,25
Wassergehalt AU	x_{21}	g/kg	3,96	4,05	4,06
Feuchtkugeltemperatur AB	$\Theta_{w,11}$	°C	15,2	15,2	15,2
Feuchtkugeltemperatur AU	$\Theta_{w,21}$	°C	1,2	1,2	1,3
Zykluszeit	t _{cycle}	s	60,0	60,0	60,0
Totzeit	t _{2=t4}	s	0,0	0,0	0,0
Umgebungstemperatur	Θ_{amb}	°C	20,3	20,2	20,3
Umgebungsluftdruck	p _{amb}	Pa	96.560	96.557	96.748
elektr. Wirkleistung gesamt	P _E	W	2,8	5,2	9,5

Ergebnis

Ergebnis			min	med	max
Temperaturverhältnis Zuluft (unkorrigiert)	η_{eSU}	%	85,9	80,1	75,3
Temperaturverhältnis Fortluft (unkorrigiert)	η_{xSU}	%	83,2	79,3	75,3
spez. elektr. Leistungsaufnahme bezogen auf (qV ₁₁ +qV ₂₂)/2	P _E /qV ₂₂	W/(m³/h)	-	-	-

Die Ermittlung von Hilfsgrößen erfolgt unter Verwendung folgender Konstanten:

c _{p,L} [kJ/(kgK)]	c _{p,D} [kJ/(kgK)]	r ₀ [kJ/kg]	c _{p,w} [kJ/(kgK)]
1,004	1,86	2500	4,18

Prüfstelle 3, Direktes Verfahren nach DIN EN 13141-8

Soll-Volumenstrom	12 m³/h	q _{vmin}	
Mess-bzw. Rechengröße	Einheit	2°C	7 °C

Meßwerte			
Temperatur Außenluft (fallend)	°C	3,5	8,3
Temperatur Zuluft(fallend)	°C	15,5	17,0
Temperatur Abluft (steigend)	°C	18,3	18,6
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	33,0	29,8
Spülluftstrom Abluft	m³/h	34,2	30,8
Umgebungstemperatur	°C	20,9	21
elektr. Wirkleistung gesamt	W	2,5	2,5
Ergebniswerte			
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	80,8	84,7

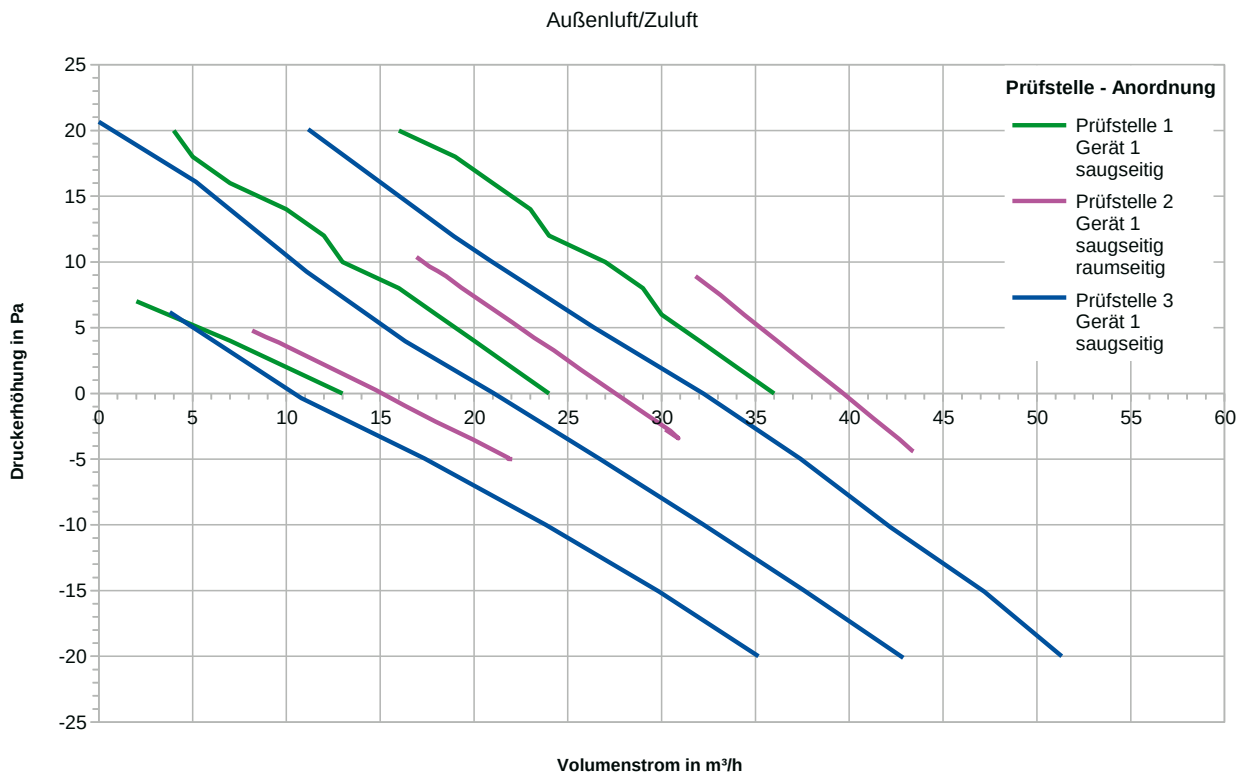
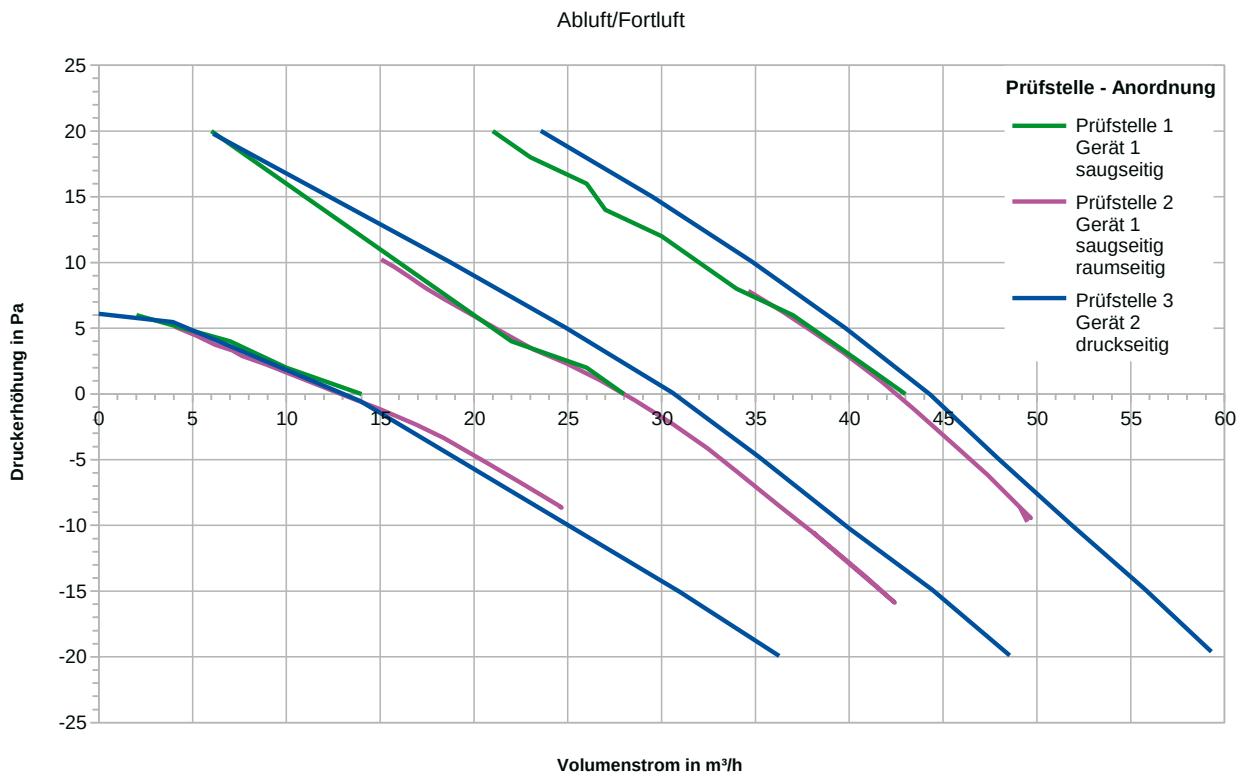
Soll-Volumenstrom	28 m³/h	q _{vn}	
Mess-bzw. Rechengröße	Einheit	2°C	7 °C

Meßwerte			
Temperatur Außenluft (fallend)	°C	4,3	9,6
Temperatur Zuluft(fallend)	°C	14,6	17,3
Temperatur Abluft (steigend)	°C	17,8	18,9
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	41,4	39,7
Spülluftstrom Abluft	m³/h	42,3	41,2
Umgebungstemperatur	°C	5,2	5,1
elektr. Wirkleistung gesamt	W	20,4	20
Ergebniswerte			
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	76,4	83,6

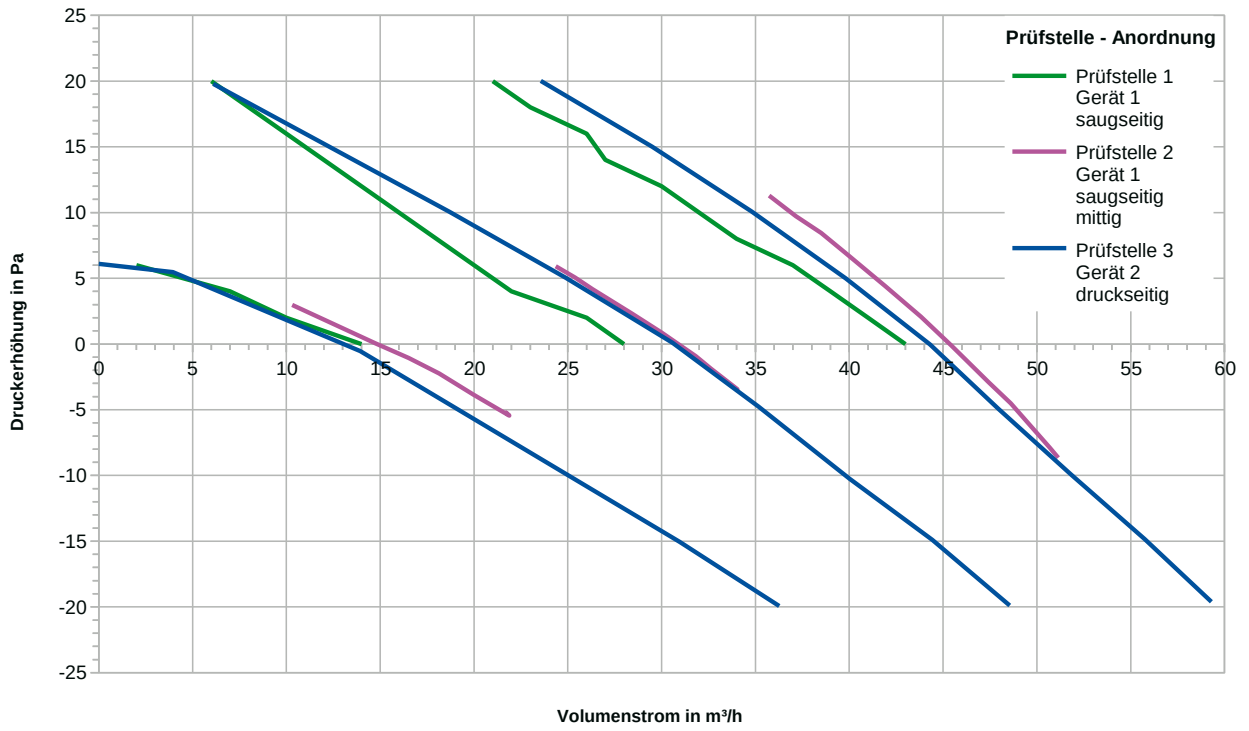
Soll-Volumenstrom	42 m³/h	q _{vd}	
Mess-bzw. Rechengröße	Einheit	2°C	7 °C

Meßwerte			
Temperatur Außenluft (fallend)	°C	5,2	8,9
Temperatur Zuluft(fallend)	°C	15,1	16,8
Temperatur Abluft (steigend)	°C	18,0	19,05
Spülluftstrom Außenluft	m³/h	60,0	60,1
Spülluftstrom Abluft	m³/h	62,5	62,8
Umgebungstemperatur	°C	9,3	9
elektr. Wirkleistung gesamt	W	20,5	20,0
Ergebniswerte			
Temperaturverhältnis ZU (Wärmebereitstellungsgrad)	%	77,5	77,8

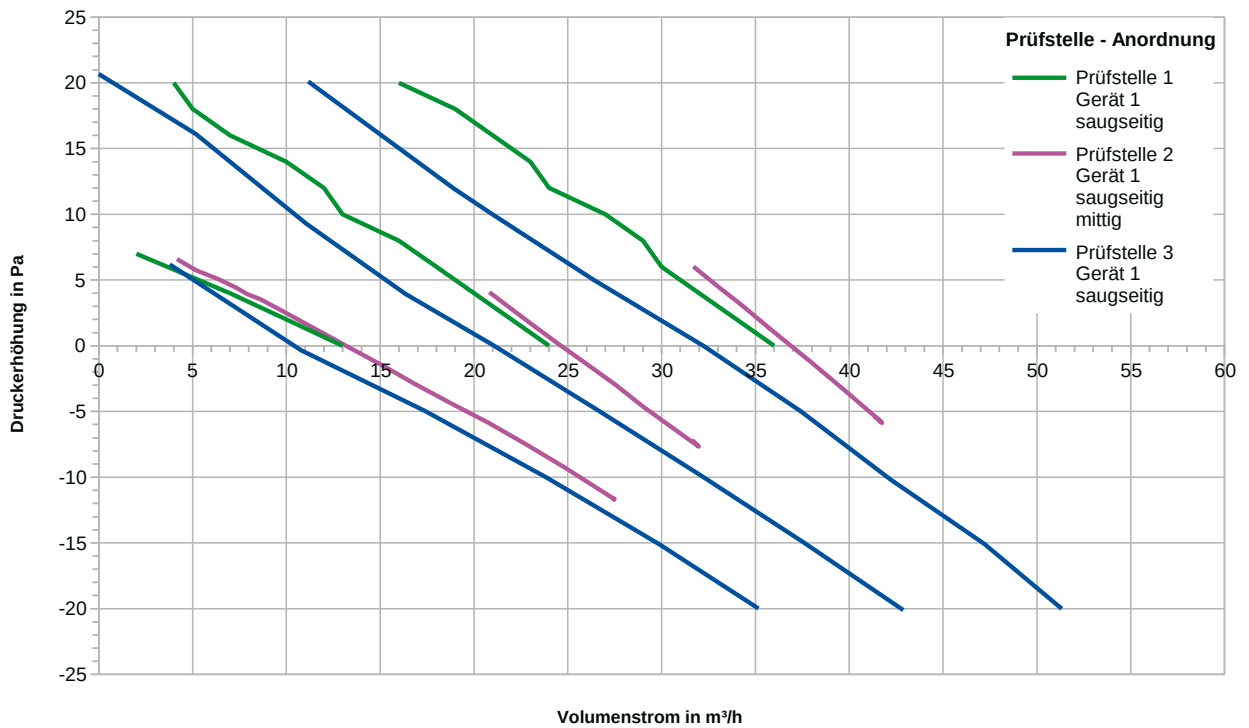
B Vergleichsdiagramme der Lüftungstechnischen Kennlinien



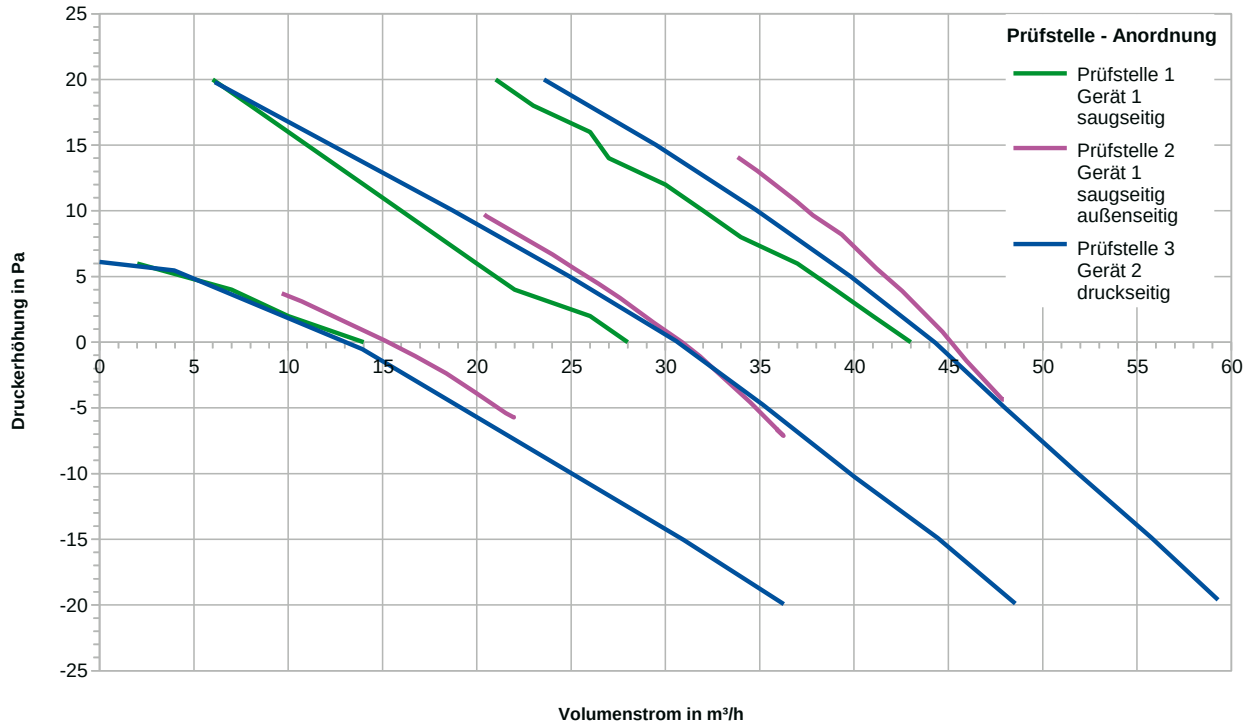
Abluft/Fortluft



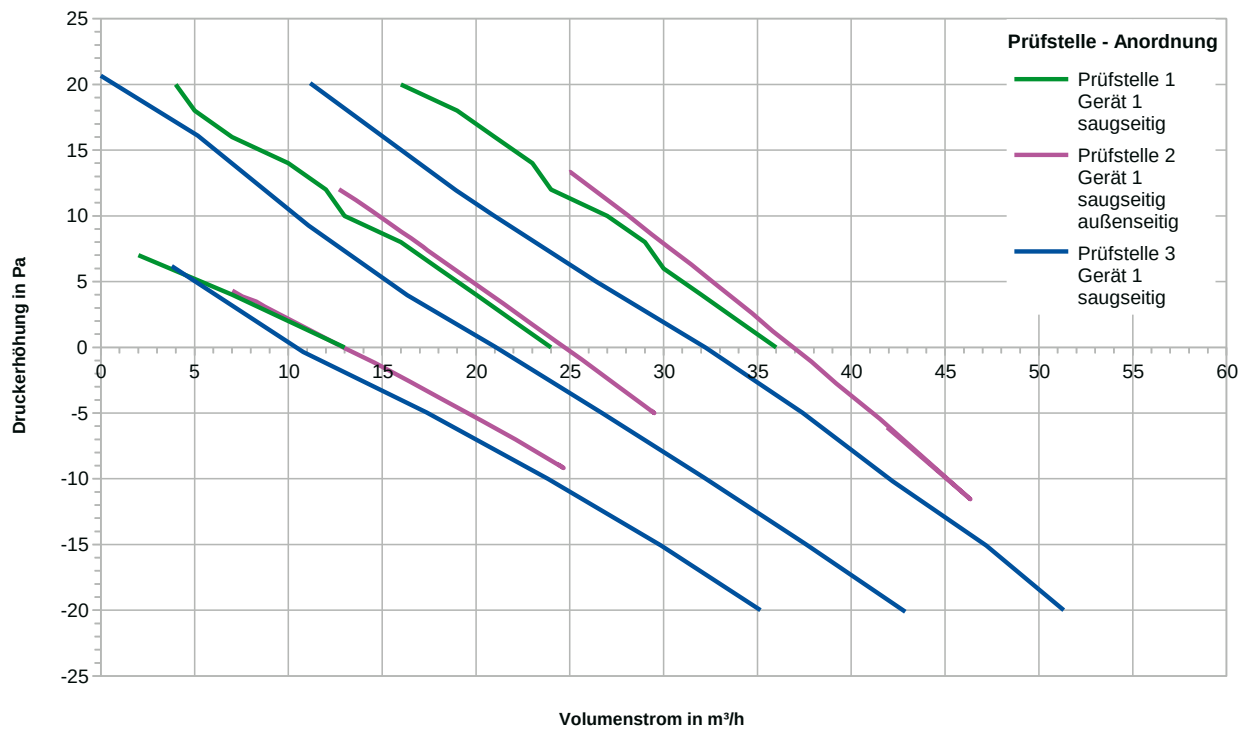
Außenluft/Zuluft



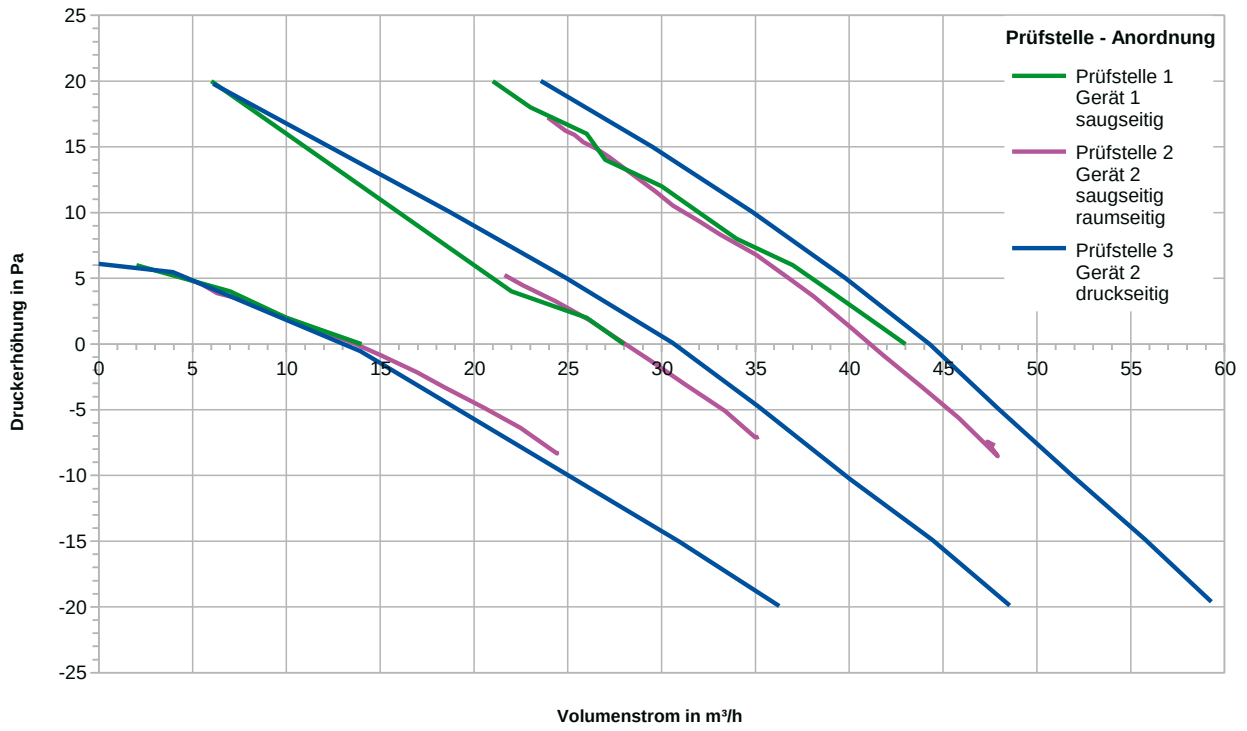
Abluft/Fortluft



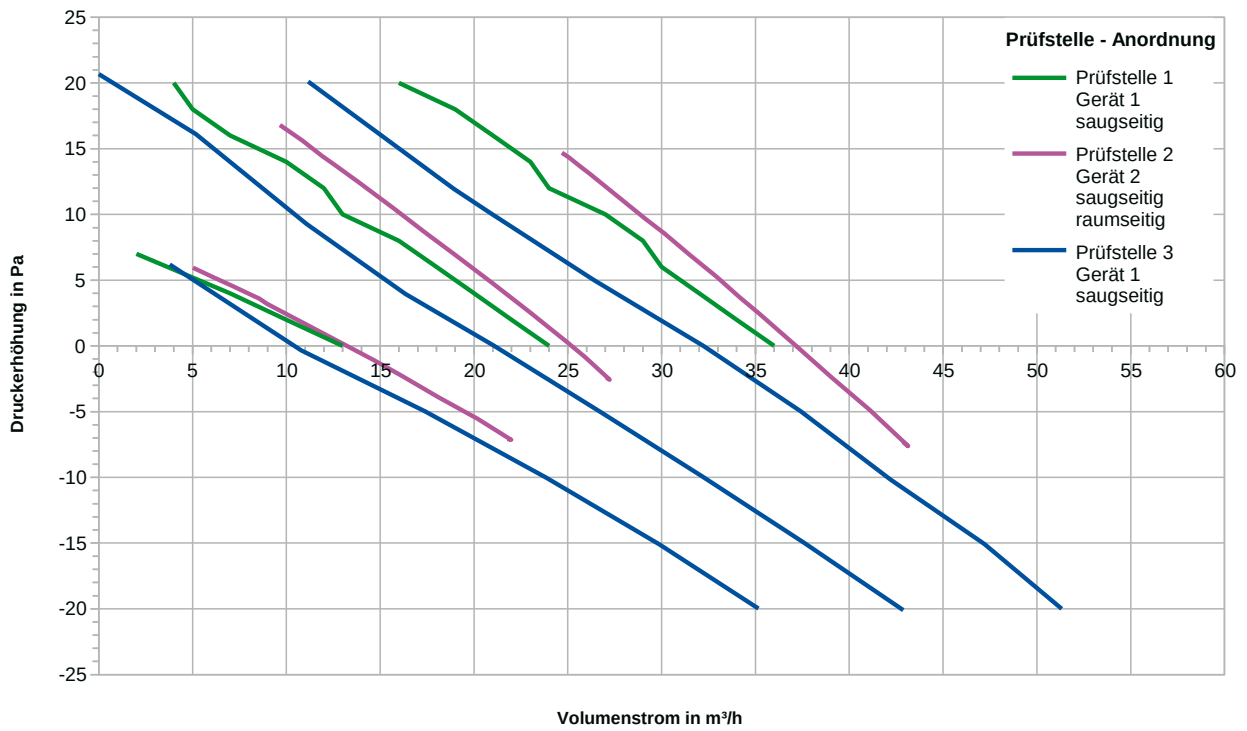
Außenluft/Zuluft



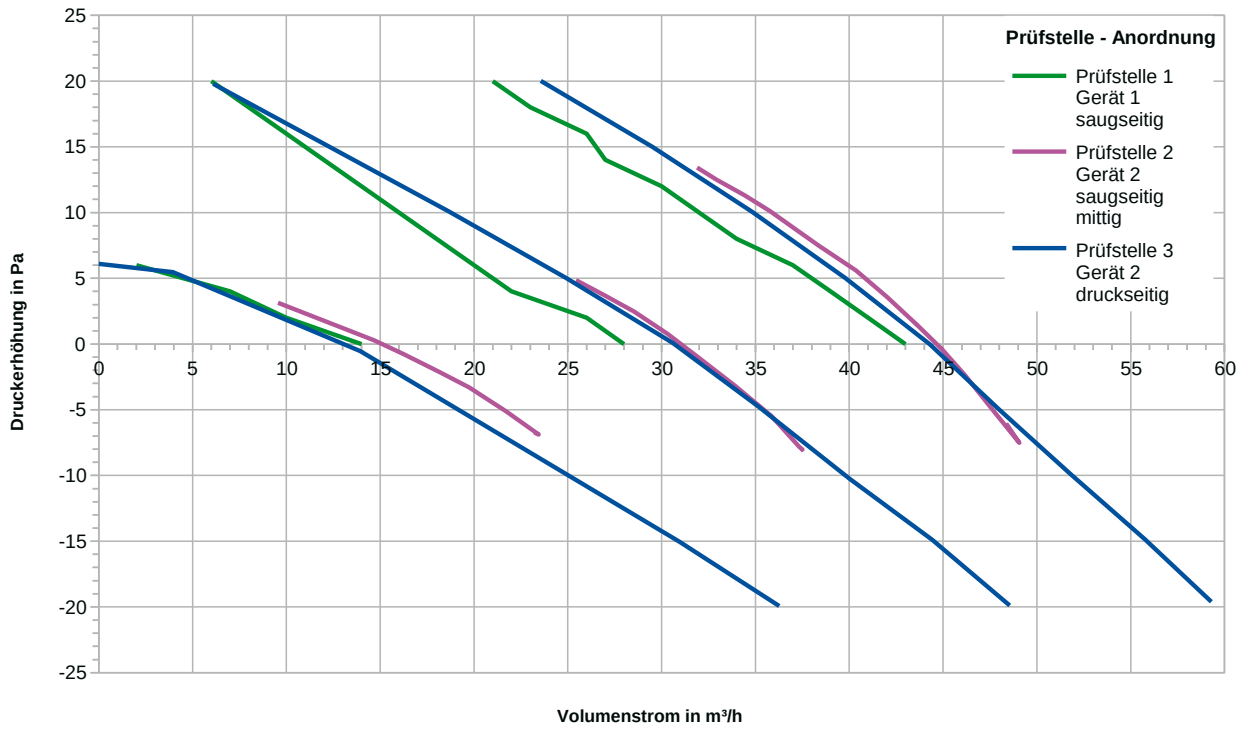
Abluft/Fortluft



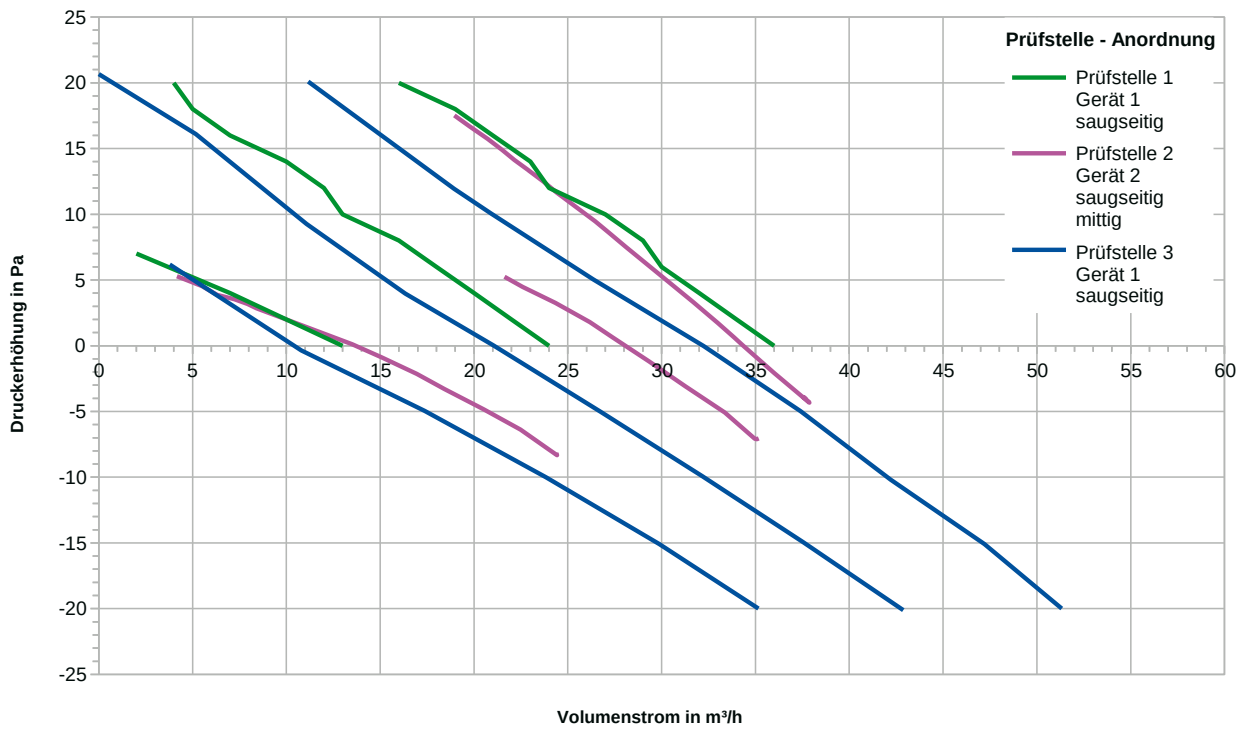
Außenluft/Zuluft



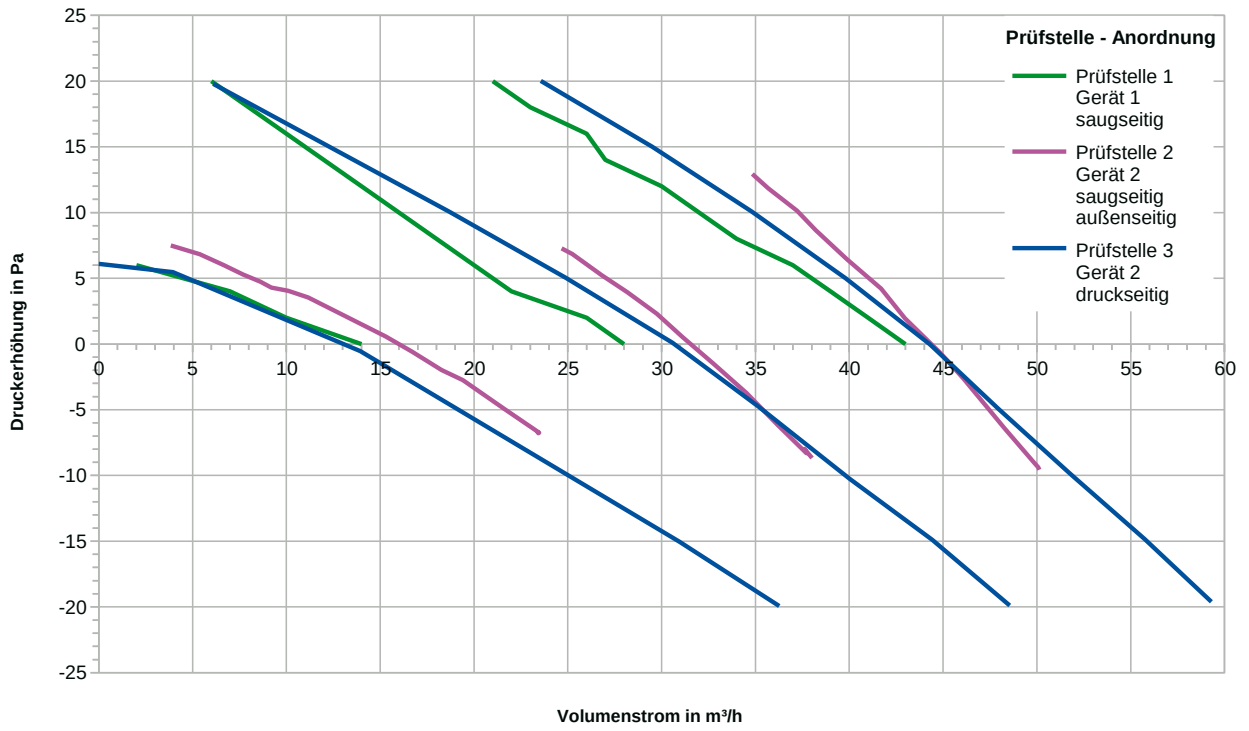
Abluft/Fortluft



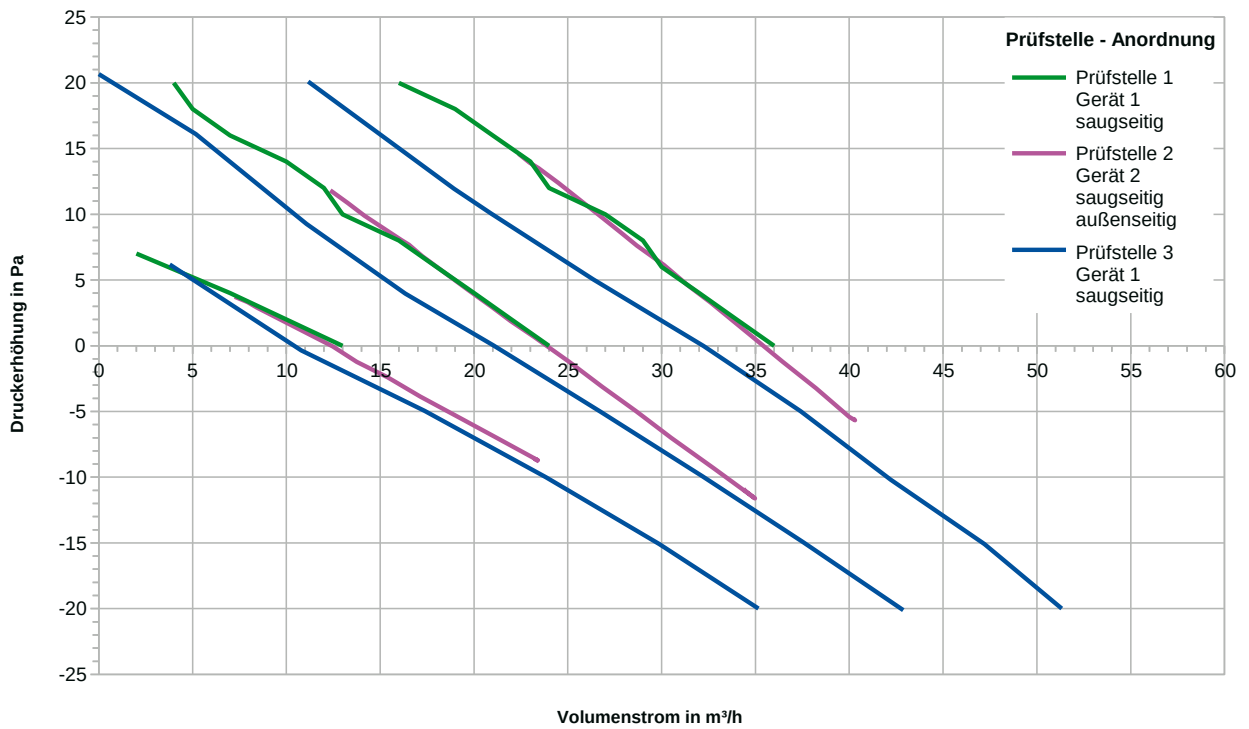
Außenluft/Zuluft



Abluft/Fortluft



Außenluft/Zuluft



C Bilder der Prüfaufbauten

Prüfaufbau der Prüfboxen in Prüfstelle 1



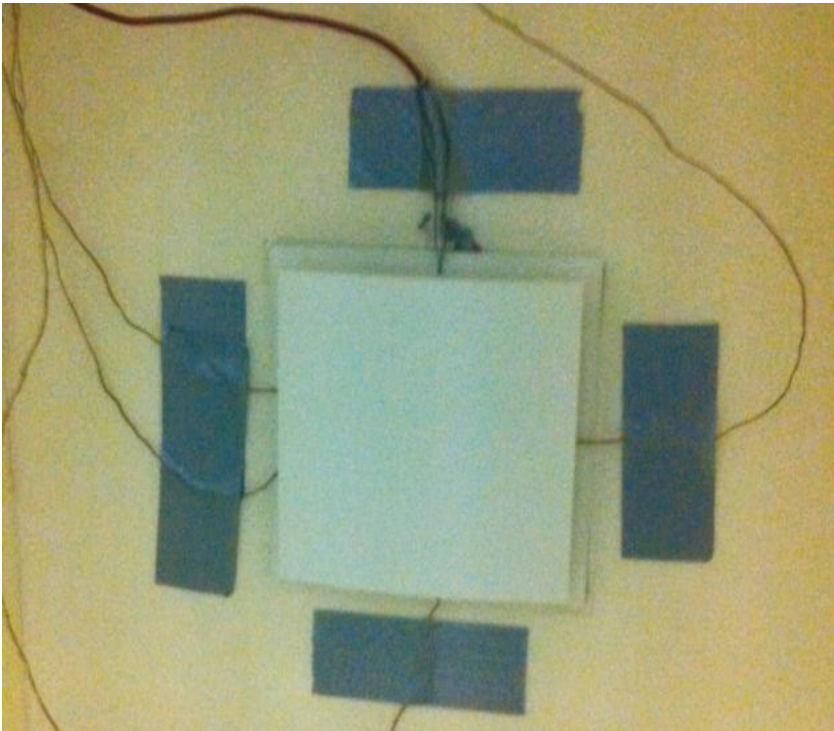
Prüfaufbau der Boxen in Prüfstelle 2



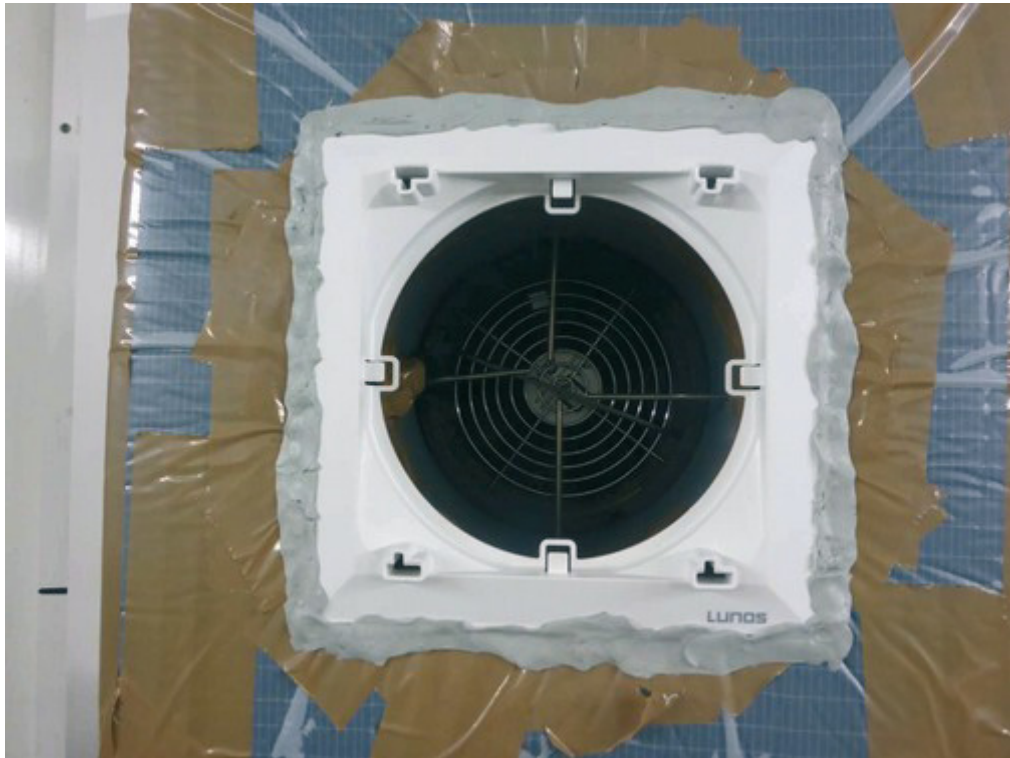
Prüfaufbau der Boxen in Prüfstelle 3



Temperaturmessstellen beim direktem Verfahren an Prüfstelle 1



Temperaturmessstellen beim direktem Verfahren an Prüfstelle 2



Temperaturmessstellen beim direkten Verfahren an Prüfstelle 3

