

Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte für Komfortlüftung



Ausgearbeitet durch

R. Furter, D. Helfenfinger, H. Huber, L. Wenger

Hochschule für Technik+Architektur (HTA) Luzern

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Dezember 2005

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmerin:

Hochschule für Technik+Architektur Luzern, Zentrum für Integrale Gebäudetechnik
Technikumstrasse 21, 6048 Horw

Autoren:

Rudolf Furter, Dominique Helfenfinger, Heinrich Huber, Larissa Wenger
Hochschule für Technik+Architektur Luzern
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik
Technikumstrasse 21
6048 Horw

Begleitgruppe:

Dr.-Ing. Andreas Bühring, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg im Breisgau
Christoph Gmür, AWEL, Abteilung Energie, 8090 Zürich
Steffen Schmidt, Helios Ventilatoren AG, 8902 Urdorf
Mark Zimmermann, Programmleiter Rationelle Energienutzung in Gebäuden, EMPA ZEN
Andreas Eckmanns, Bereichsleiter Gebäude BFE

Dezember 2005

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: EMPA, 8600 Dübendorf (www.empa-ren.ch)

Zusammenfassung

In den letzten Jahren wurden vermehrt Kompaktlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und Abluftwärmepumpe in MINERGIE-P® – und Passivhäusern eingesetzt. Die bestehenden Normen und Richtlinien für die Geräteprüfungen werden dieser Art von Kompaktlüftungsgeräten nur schlecht gerecht. In einem Vorprojekt wurde an der Hochschule für Technik+Architektur Luzern ein Entwurf für ein Prüfreglement ausgearbeitet, das die Ansprüche an solche Geräte, speziell auch die akustischen Aspekte, vollständig abdeckt. Aufgrund dieses Prüfreglementes wurde der Prüfstand geplant und an der HTA Luzern aufgebaut. Während der Planung und dem Aufbau des Prüfstandes wurde der Entwurf des Prüfreglementes überarbeitet und normativen Entwicklungen angepasst. Das Hauptziel ist eine technisch vollständige Geräteprüfung an Kompaktlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe mit vertretbarem finanziellem Aufwand. Nebst den thermischen und strömungstechnischen Messungen werden auch Schallmessungen durchgeführt. Der vom Gerät durch das Gehäuse in den Aufstellungsraum abgestrahlte Schallleistungspegel und die Schallleistungspegel an den Luftanschlüssen werden gemessen. Zu einer gesamtheitlichen Beurteilung können auch die Bedienung und Wartung, verwendete Materialien, allfällige Wärmebrückenprobleme usw. gehören. Bei ersten Probemessungen hat sich der neue Prüfstand bereits bewährt.

Summary

In recent years there has been increasing used of compact ventilation units with heat recovery and return-air heat pumps in MINERGIE-P® and passive houses. The existing standards and guidelines are poorly suited to this type of compact ventilation unit. In a preliminary study at the Lucerne School of Engineering + Architecture (LSEA) a draft testing standard was prepared which fully covers the requirements of such units, including, in particular, acoustic aspects. Based on this standard a testing facility was planned and constructed at the LSEA. During the planning and construction of the testing facility the draft of the testing standard was revised and adapted to standards developments. The primary goal is a technically comprehensive testing programme for compact ventilation units with heat recovery units and heat pumps, which can nevertheless be carried out at reasonable cost. In addition to thermal and flow measurements, acoustic measurements are carried out. Both the sound power level emitted through the unit's casing and the sound power level transmitted into the ventilation ducts are measured. The overall assessment can also include service and maintenance, materials used, possible problems with thermal bridges, etc. In initial pilot tests the new facility successfully proved its worth.

Resumé

Au cours des dernières années, de plus en plus d'appareils d'aération compacts avec récupération de chaleur et pompes à chaleur à extraction d'air ont été introduits en MINERGIE et maisons passives. Les normes et directives actuelles se rapportant à l'essai d'appareils ne répondent plus tout à fait aux exigences de ce genre d'appareils. Dans un projet préliminaire l'Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Lucerne (HTA Luzern) a élaboré une ébauche de règlement qui recouvre la totalité des exigences de ces appareils y compris les aspects acoustiques. En fonction de ce règlement un banc d'essai a été planifié et mis en place (à la HTA Luzern).

Pendant la planification et le montage du banc d'essai l'ébauche de règlement a été remaniée et des évolutions normatives adaptées. Le but principal est un essai techniquement complet de ces d'appareils avec des dépenses financières acceptables.

Outre les mesurages thermiques et d'écoulement sont également réalisés des mesurages de puissance sonore, des mesures de niveau de puissance sonore émis par l'appareil à travers le boîtier dans l'espace d'installation ainsi que le niveau de puissance sonore aux joints des conduits d'air. En vue d'une évaluation globale peuvent être considérés le fonctionnement et la maintenance, les matériaux utilisés, d'éventuels problèmes de ponts thermiques, etc. Lors des premiers essais, le nouveau banc d'essai a déjà fait ses preuves.

1 Inhaltsverzeichnis

1	INHALTSVERZEICHNIS.....	4
2	AUSGANGSLAGE.....	5
3	BESCHRIEB DES PRÜFSTANDES.....	6
3.1	ALLGEMEINE INFORMATION.....	6
3.2	STEUERUNG / BEDIENUNG	9
3.3	MESSDATENERFASSUNG	11
3.4	AUSWERTUNGEN / BERECHNUNGEN.....	12
4	PRÜFVERFAHREN / PRÜFREGLEMENT	22
5	ERSTE MESSRESULTATE	30
6	SCHLUSSBEMERKUNGEN UND AUSBLICK.....	54
7	ANHANG	55
7.1	LITERATURVERZEICHNIS	56
7.2	PRÜFREGLEMENT	57

2 Ausgangslage

Der Entscheid, einen neuen Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe zu errichten, basiert auf verschiedenen Arbeiten und Untersuchungen, die bis in das Jahr 1998 zurückgehen. Begonnen hat es mit einer Studentenarbeit, die das Umfeld der kontrollierten Wohnungslüftung – heute meist als Komfortlüftung bezeichnet – etwas durchleuchtete. Mit einer Marktumfrage wurde die Situation in der Schweiz analysiert. Das Gesamtbild war, nicht ganz überraschend, recht negativ. Häufig wurden erhebliche Mängel bei der Qualität der Geräte und den Planungsunterlagen hervorgehoben. Ein häufig erwähnter Punkt war die Schallproblematik, sowie allgemein auch Beanstandungen über falsche und unvollständige Angaben über die Energieeffizienz der Geräte. Andere Umfragen kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Negative Beispiele von Komfortlüftungsanlagen wurden mehrfach auch in Presse und TV dargestellt. Dies kann in der Öffentlichkeit zu einem negativen Bild der Komfortlüftung führen. Die Problemabgrenzung zwischen dem Lüftungsgerät und dem angeschlossenen System ist nicht immer eindeutig auszumachen. Um hier Abhilfe zu schaffen, sollen systematische Prüfungen, wie bei den Wärmepumpen etabliert, durchgeführt werden.

Das normative Umfeld ist stark im Umbruch. Internationale Normungs- und Richtlinienarbeiten in den Bereichen Lüftung von Gebäuden (CEN TC 156) und Wärmepumpen CEN/TC 113 wirken sich zukünftig auf die Prüfung von Kompaktlüftungsgeräten aus. Im Rahmen vom IEA HPP Annex 28 "Test Procedure and seasonal performance calculation for residential heat pumps with combined space and domestic hot water heating" wird ein Testablauf für Kompaktlüftungsgeräte mit Wärmepumpe und Brauchwarmwasserbereitung definiert, welcher den aktuellen Stand der normativen Arbeiten berücksichtigt, die Testdauer minimiert und somit die Prüfkosten möglichst tief hält. Obwohl einige Normen-Arbeiten noch nicht abgeschlossen sind, konnte ein detailliertes Prüfreglement für die Prüfung von Kompaktlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung und Abluftwärmepumpe erarbeitet werden. Es hat sich aber gezeigt, dass es zum heutigen Zeitpunkt noch nicht möglich ist, mit einem Prüfreglement alle bestehenden Vorgaben zu erfüllen. In Deutschland braucht es nach wie vor eine bauaufsichtliche Zulassung durch das DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin). Basis für die Zulassung sind Messungen nach einem Prüfreglement des DIBt. Das Passivhaus Institut Darmstadt erteilt ein Zertifikat „Passivhaus geeignete Komponente“. Die Kriterien für dieses Zertifikat sind teilweise abweichend oder ergänzend zum Prüfreglement des DIBt.

Die D-A-CH-Organisation hat sich vor einiger Zeit ebenfalls "Überlegungen für ein DACH-Gütesiegel analog den Wärmepumpen gemacht. Leider konnte hier noch kein Ergebnis erzielt werden.

3 Beschreibung des Prüfstandes

3.1 Allgemeine Information

Die Planung und Realisation des Prüfstandes gestaltete sich aufgrund der Normenarbeiten nicht sehr einfach. Der Prüfstand wurde so konzipiert und aufgebaut, dass er möglichst alle heutigen und zukünftigen Anforderungen erfüllen kann. Das gilt insbesondere für die Eckdaten der Luftzustände. Mit diesem Prüfstand ist es möglich, sämtliche für die Komfortlüftung wichtigen Betriebszustände nachzubilden.

Luftkonditionen	Aussenluft	Abluft	Aufstellungsraum
Temperatur [°C]	ca. -12 bis +21	21 bis 26	10 bis 26
Feuchtigkeit [% r.F.]	70 bis 80	30 bis 60	-
Volumenstrom [m³/h]	50 bis ca. 1200	50 bis 1200	-



Fig. 1: Perspektive Ansicht Prüfstand



Fig. 2: Luftaufbereitungsgeräte

Die Aussenluft, Abluft und Raumluft (Fig. 1 und Fig. 2) werden in separaten Luftaufbereitungsgeräten konditioniert. Für die Aussenluftkonditionierung ist zusätzlich ein zweiter Nachkühler (NK2, Fig. 1) parallel zum Luftaufbereitungsgerät installiert. Dieser wird alternierend betrieben. Das heisst, der Nachkühler NK2 wird in Betrieb genommen, wenn der Nachkühler NK1 eingefroren ist. Sobald der eingefrorene Nachkühler vom Luftstrom getrennt ist (Klappenumschaltung), wird er durch Aufheizen des Kühlwassers aufgetaut. Durch diese Einrichtung ist ein permanenter Betrieb möglich.

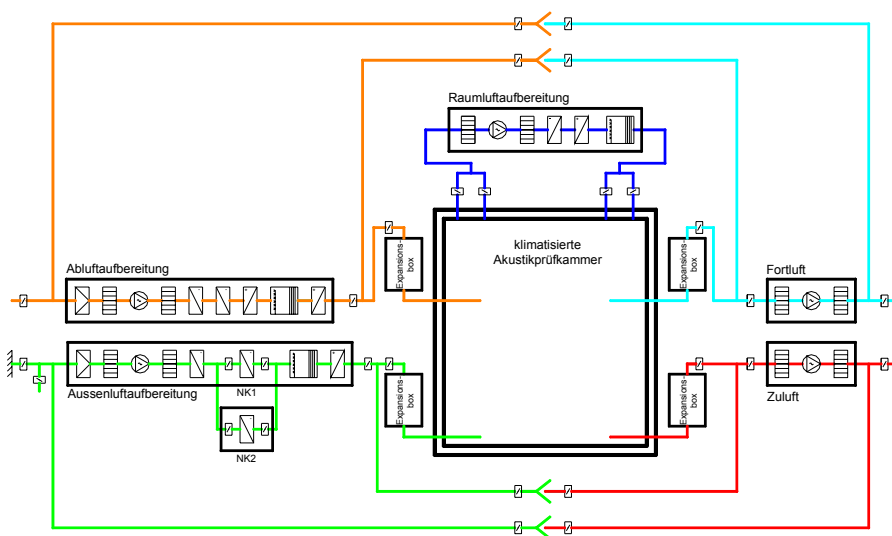


Fig. 3: Lüftungsprinzipschema des Prüfstandes

Für die Luftaufbereitung werden Standard-Geräte eingesetzt. Dies hat zur Folge, dass für eine optimale Luftkonditionierung (geringe Temperaturschichtungen im Gerät und regeltechnische Anforderungen) ein Mindestvolumenstrom von ca. 800 m³/h durch die Geräte strömen muss. Wenn Geräte mit Volumenströmen ≥ 800 m³/h geprüft werden, wird die gesamte konditionierte Luft zu den Expansionsboxen (hydraulische Weiche) geführt. Aus den Expansionsboxen holt sich der Prüfling den geforderten Volumenstrom. Durch diese Einrichtung sind die Druckverhältnisse in der Anlage klar definiert. Wenn Geräte mit Luftvolumenströmen < 800 m³/h geprüft werden, wird nur so viel Luft in die Expansionsboxen (Fig. 4) geführt, wie der Prüfling benötigt. Der restliche Volumenstrom wird durch die Bypässe zurück zu den Luftaufbereitungsgeräten geführt.

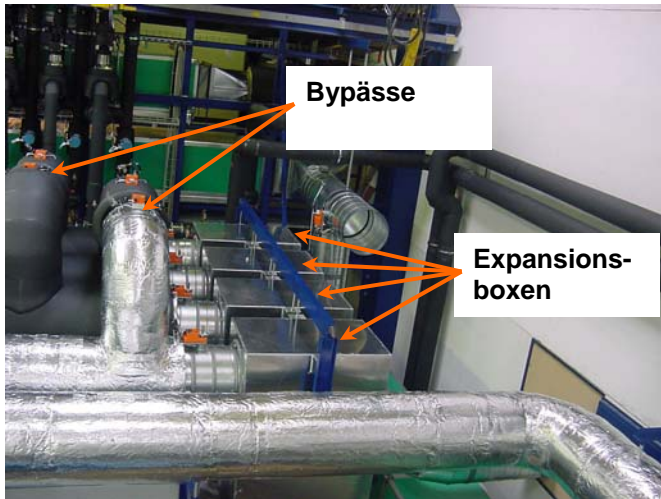


Fig. 4: Expansionsboxen und Bypässe

Der Prüfstand wurde so konzipiert, dass die nachfolgenden Gerätetypen (und Kombinationen davon) im Luftvolumenstrombereich von 50 m³/h bis 1200 m³/h geprüft werden können:

- Geräte mit Zu- und Abluft, Wärmerückgewinnung und Abluftwärmepumpe für Zulufterwärmung
- Geräte mit Abluft, Abluftwärmepumpe für Wassererwärmung
- Geräte mit Abluft, Abluftwärmepumpe für Wassererwärmung und/oder Wärmeabgabe an ein anderes wasserführendes System
- Geräte mit Zu- und Abluft (rekuperative und regenerative) Wärmerückgewinnung
- Wärmepumpe mit Wärmequelle Abluft und /oder Aussenluft



Fig. 5: Akustikkabine für Aufstellung der Prüflinge



Fig. 6: Modulare Zwischenwand und Messeinrichtung

Nebst den thermischen und strömungstechnischen Messungen können im Prüfstand auch akustische Messungen durchgeführt werden. Die doppelwandige, zweiteilige Prüfkammer ermöglicht den Grundschaallpegel in der Prüfkammer tief zu halten. So können bei den Kompaktgeräten während dem realen thermischen Betrieb auch die abgestrahlten Schallleistungspegel durch das Gehäuse und an den Luftanschlüssen bestimmt werden. Die akustischen Messungen werden in Anlehnung an die Norm EN ISO 9614 [7] durchgeführt. Die Prüfkammer hat eine Abmessung von 6.5 x 3.5 x 3.5 m und wird durch eine demontierbare Zwischenwand in zwei Kammern unterteilt. In der ersten Kammer (Innenabmessung 3.0 x 3.0 x 3.0 m) (Fig. 5) wird der Prüfling aufgestellt und in der zweiten Kammer (Innenabmessung 2.5 x 3.0 x 3.0 m) (Fig. 6) ist die Messtechnik untergebracht. Die Zwischenwand besteht aus neun demontierbaren Akustikpaneelen. Je nach dem wo die Luftanschlusstutzen am Prüfling angeordnet sind, können die Akustikpaneelen demontiert und das Gerät mit den Lüftungsrohren angeschlossen werden. Diese Einrichtung ermöglicht für jedes Gerät einen optimalen Rohranschluss.

3.2 Steuerung / Bedienung

Der Prüfstand wird über eine speicherprogrammierbare Steuerung SPS gesteuert. Die Bedienung erfolgt mit einer eigens für den Prüfstand angefertigten Bedienoberfläche mit Promos NT via PC. Die Bedienung erfolgt auf drei Ebenen. Auf der ersten Ebene (Fig. 7) ist der gesamte Prüfstand dargestellt. Hier werden die Luftführungen der einzelnen Luftaufbereitungsgeräte sowie die Klappenstellungen bestimmt. Zusätzlich erhält man Informationen über die einzelnen Lufttemperaturen, Luftfeuchtigkeiten, Volumenströme, Störmeldungen und Betriebsstatus der Luftaufbereitungsgeräte.

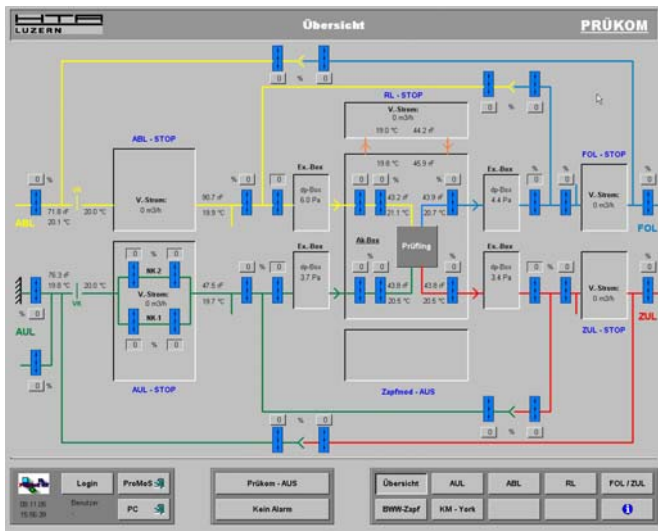


Fig. 7: oberste Bedienebene: Gesamtübersicht

Auf der zweiten Bedienebene werden die Aussenluft-, Abluft-, Raumluft-, Zuluft- und Fortluftaufbereitungsgeräte (siehe Fig. 8 bis Fig. 11) bedient. Hier werden die Volumenströme, Lufttemperaturen, Luftfeuchtigkeiten und Drücke der einzelnen Luftaufbereitungsgeräte eingestellt und überwacht.

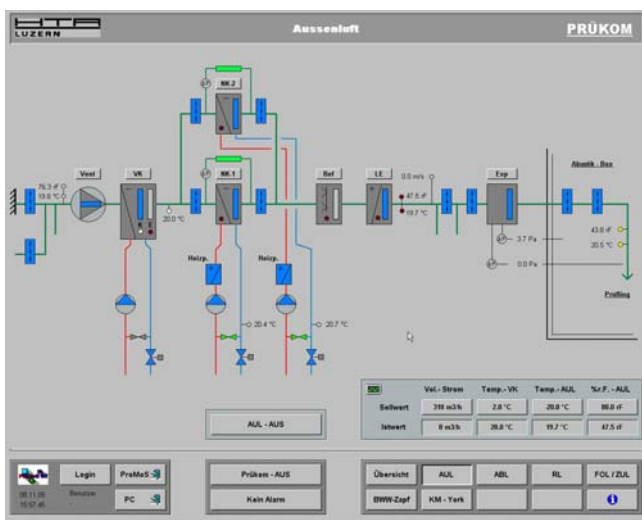


Fig. 8: zweite Bedienebene: Aussenluftaufbereitung

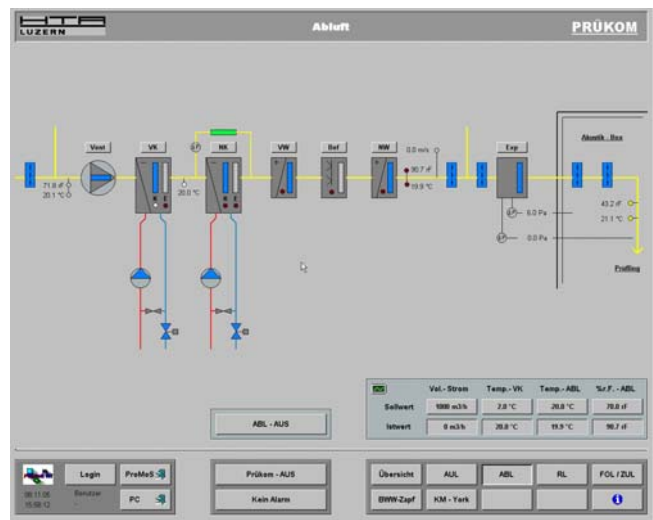


Fig. 9: zweite Bedienebene: Abluftaufbereitung

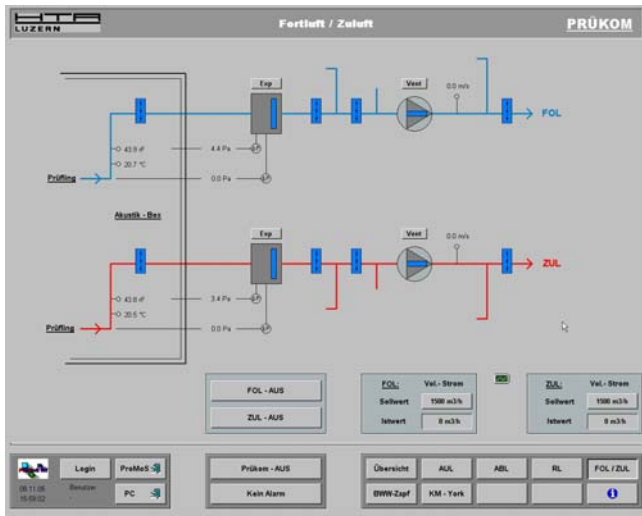


Fig. 10: zweite Bedienebene: Raumluftaufbereitung

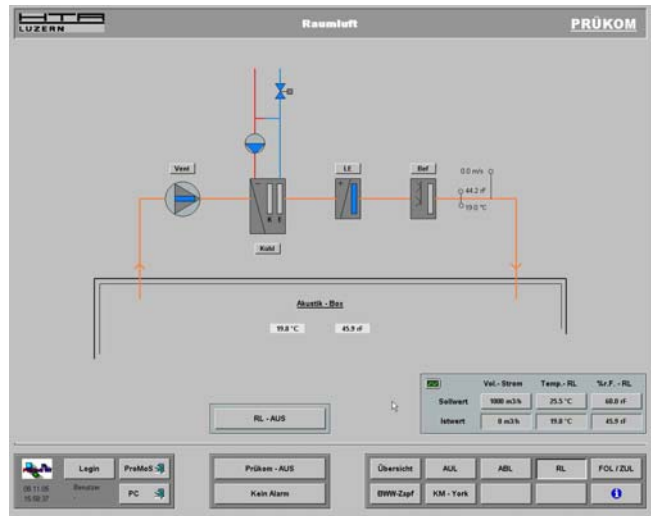


Fig. 11: zweite Bedienebene: Raumluftaufbereitung

Auf der dritten Bedienebene werden Trendverläufe (Fig. 12) und Regelparameter (Fig. 13) angezeigt. Die Regelparameter können auf dieser Ebene verstellt werden.

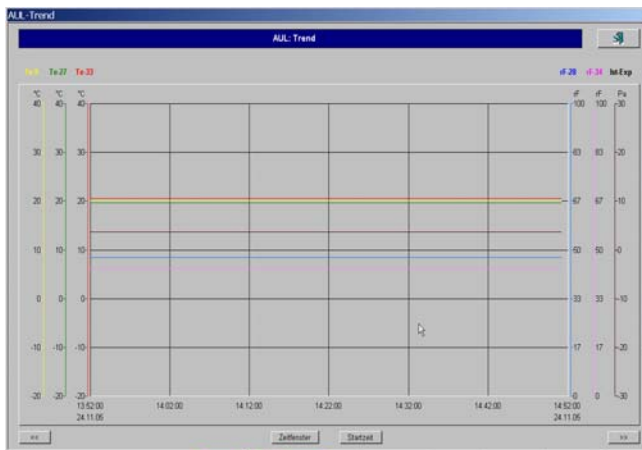


Fig. 12: dritte Bedienebene: Trendverlauf

Fig. 13: dritte Bedienebene: Einstellung der Regelparameter

3.3 Messdatenerfassung

Für die Messdatenerfassung wurde ein Messsystem gewählt, mit der eine grosse Datenmenge in kurzer Zeit erfasst und weiterverarbeitet werden kann. Denn für die Prüfung von Brauchwassererwärmer mit Wärmepumpen nach EN 255-3 [5] muss während der Brauchwarmwasserzapfung ein Messintervall kleiner 10 Sekunden möglich sein. Die gesamte Brauchwarmwasser-Prüfung kann bis zu einer Woche dauern.

Für die thermischen Messungen werden folgende Messgrössen erfasst:

Temperatur

Messgerät	PT 100
Anzahl	38
Messsignal	Widerstand (4-Leiter)

Relative Feuchte

Messgerät	Hygroclip
Anzahl	4
Messsignal	0-10 V DC

Druck

Messgerät	Drucktransmitter
Anzahl	9
Messsignal	0-10 V DC

Volumenstrom

Messgerät	Varycontrol und Drucktransmitter
Anzahl	5
Messsignal	0-10 V DC

Elektrische Leistung

Messgerät	Infratek
Anzahl	1
Messsignal	GPIO

Durchfluss

Messgerät	MID magnetisch/induktiv
Anzahl	1
Messsignal	0-10 V DC

In jedem Luftanschluss werden die Temperatur (5 PT100-Fühler), die relative Luftfeuchtigkeit, der Volumenstrom und der Druckverlust gemessen. Zusätzlich werden die Raumluft- und die Oberflächentemperaturen in der Prüfkammer und die elektrische Leistungsaufnahme des Prüflings gemessen. Für die Prüfung von Brauchwassererwärmer mit Wärmepumpen nach EN 255-3 [5] wird zusätzlich die Kalt- und Warmwassertemperatur und der Durchfluss gemessen, damit einerseits die gezapfte Energie berechnet und andererseits die Zapfmengen überprüft werden können. Sämtliche Messgeräte werden vor dem Messeinsatz kalibriert.

3.4 Auswertungen / Berechnungen

Nachfolgend sind alle Grössen und Kennzahlen aufgelistet, welche für die Datenauswertungen notwendig und in einer Standard-Excel-Vorlage programmiert sind:

Relative Feuchte

$$\varphi = \frac{p_D}{p_s} \quad [\% \text{ r.F.}]$$

p_D	Partialdruck Wasserdampf	[Pa]
p_s	Sättigungsdruck Wasserdampf	[Pa]

Absolute Luftfeuchte bezogen auf ein Gemisch von 1 kg trockene Luft

$$x = \frac{p_D \cdot R_L}{p_L \cdot R_D} \quad [\text{kg/kg}]$$

p_D	Partialdruck Wasserdampf	[Pa]
p_L	Partialdruck Luft	[Pa]
R_D	Gaskonstante Wasserdampf = 461.4 J/kgK	[J/kgK]
R_L	Gaskonstante Luft = 287.1 J/kgK	[J/kgK]

Enthalpie

$$h_{(1+x)} = c_p \cdot t + x \cdot (c_{pd} \cdot t + r_w) \quad [\text{kJ/kg}]$$

Geltungsbereich: $0 \leq x \leq x_s$

c_p	spez. Wärmekapazität trockene Luft	[J/kgK]
c_{pd}	spez. Wärmekapazität Dampf = 1.86 kJ/kgK	[J/kgK]
t	Lufttemperatur	[°C]
x	absolute Luftfeuchte	kg/kg]
r_w	Verdunstungsenthalpie Wasser = 2501 kJ/kg	[J/kg]

Dichte der feuchten Luft

$$\rho = \frac{(1+x)}{R_L + x \cdot R_D} \cdot \frac{p}{T} \quad [\text{kg/m}^3]$$

x	absolute Luftfeuchte	[kg/kg]
R_D	Gaskonstante Wasserdampf = 461.4 J/kgK	[J/kgK]
R_L	Gaskonstante Luft = 287.1 J/kgK	[J/kgK]
T	abs. Lufttemperatur	[K]
p	Luftdruck	[Pa]

Sättigungsdruck [10]

$$p_S = 611 \cdot e^{-4.909965 \cdot 10^{-4} + 8.183197 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 5.552967 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 - 2.228376 \cdot 10^{-5} \cdot \vartheta^3 - 6.211808 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^4} \quad [\text{Pa}]$$

Geltungsbereich: $-20^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 0.01^\circ\text{C}$

Maximale Abweichung: 0.00%

$$p_S = 611 \cdot e^{1.91275 \cdot 10^{-4} + 7.258 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 2.939 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 + 9.841 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^3 - 1.92 \cdot 10^{-9} \cdot \vartheta^4} \quad [\text{Pa}]$$

Geltungsbereich: $0.01^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 100^\circ\text{C}$

Maximale Abweichung: 0.02%

$$p_S = 611 \cdot e^{6 \cdot 10^{-5} \cdot 7.13274 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 2.581631 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 + 6.311955 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^3 - 7.167112 \cdot 10^{-10} \cdot \vartheta^4} \quad [\text{Pa}]$$

Geltungsbereich: $100^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 200^\circ\text{C}$

Maximale Abweichung: 0.02%

ϑ Lufttemperatur [°C]

spez. Wärmekapazität [10]

$$c_p = 1.0065 + 5.309587 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta + 4.758596 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^2 - 1.136145 \cdot 10^{-10} \cdot \vartheta^3 \quad [\text{kJ/kgK}]$$

Geltungsbereich: $-20^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 200^\circ\text{C}; 1 \text{ bar}$

Maximale Abweichung: 0.05 %

ϑ Lufttemperatur [°C]

Kennwerte

Luftvolumenstrom

$$\dot{V} = a \cdot \left(p_{wi} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_{mess}} \right)^b \quad [m^3/h]$$

p_{wi}	Wirkdruck	[Pa]
ρ_0	Luftdichte bei der Kalibration [kg/m ³]	
ρ_{mess}	Luftdichte bei der Messung [kg/m ³]	
a	Parameter aus Ausgleichsfunktion	[-]
b	Parameter aus Ausgleichsfunktion	[-]

Temperatur-Änderungsgrad auf die ABL bezogen

$$\eta_{T_ABL} = \frac{\vartheta_{ABL} - \vartheta_{FOL}}{\vartheta_{ABL} - \vartheta_{AUL}} \quad [-]$$

ϑ_{ABL}	Ablufttemperatur	[°C]
ϑ_{FOL}	Fortlufttemperatur	[°C]
ϑ_{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]

Temperatur-Änderungsgrad auf die ZUL bezogen

$$\eta_{T_ZUL} = \frac{\vartheta_{ZUL} - \vartheta_{AUL}}{\vartheta_{ABL} - \vartheta_{AUL}} \quad [-]$$

ϑ_{ZUL}	Zulufttemperatur	[°C]
ϑ_{ABL}	Ablufttemperatur	[°C]
ϑ_{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]

Elektrothermischer Verstärkungsfaktor / elektrisches Wirkungsverhältnis

$$ETV = \frac{\dot{m}_{ZUL} \cdot h_{ZUL} - \dot{m}_{AUL} \cdot h_{AUL}}{P_{el}} = \frac{\dot{H}_{ZUL} - \dot{H}_{AUL}}{P_{el}} \quad [-]$$

\dot{m}_{ZUL}	Zuluftmassenstrom	[kg/s]
\dot{m}_{AUL}	Aussenluftmassenstrom	[kg/s]
P_{el}	elektrische Leistungsaufnahme des Gerätes	[W]
h_{ZUL}	spezifische Zuluftenthalpie	[J/kg]
h_{AUL}	spezifische Aussenluftenthalpie	[J/kg]
\dot{H}_{ZUL}	Zuluftenthalpiestrom	[W]
\dot{H}_{AUL}	Aussenluftenthalpiestrom	[W]

Feuchteänderungsgrad

$$\eta_x = \frac{x_{ZUL} - x_{AUL}}{x_{ABL} - x_{AUL}} \quad [-]$$

x_{ZUL}	Zuluftfeuchte	[kg/kg]
x_{ABL}	Abluftfeuchte	[kg/kg]
x_{AUL}	Aussenluftfeuchte	[kg/kg]

Wärmeleistung trockene Luft

$$\dot{Q} = \dot{V}_{AUL} \cdot \rho \cdot c_{PL} \cdot (\vartheta_{ZUL} - \vartheta_{AUL}) \quad [W]$$

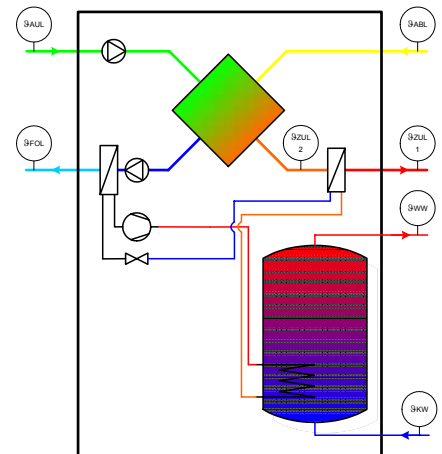
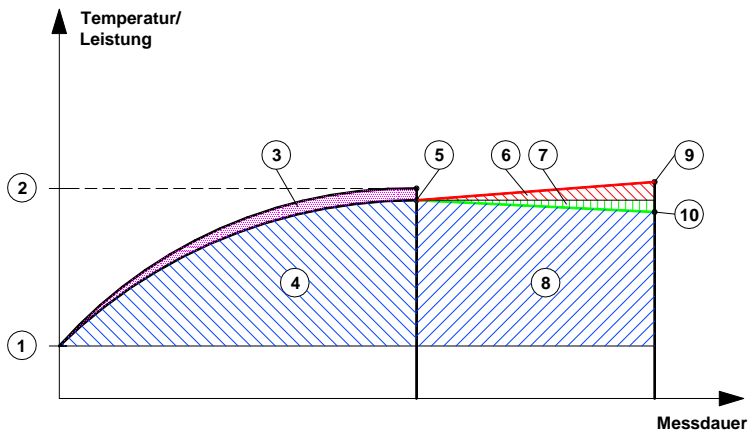
\dot{V}_{AUL}	Aussenluftvolumenstrom	[m³/s]
ρ	Luftdichte	[kg/m³]
c_{PL}	spezifische Wärmekapazität	[J/kgK]
ϑ_{ZUL}	Zulufttemperatur	[°C]
ϑ_{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]

Wärmeleistung feuchter Luft

$$\dot{Q} = \dot{V}_{ABL} \cdot \rho \cdot (h_{ZUL} - h_{AUL}) \quad [W]$$

\dot{V}_{ABL}	Abluftvolumenstrom	[m³/s]
ρ	Luftdichte	[kg/m³]
h_{ZUL}	spezifische Zuluftenthalpie	[J/kg]
h_{AUL}	spezifische Aussenluftenthalpie	[J/kg]

COP₁ für die Aufheizphase des Brauchwarmwasserspeichers



Legende

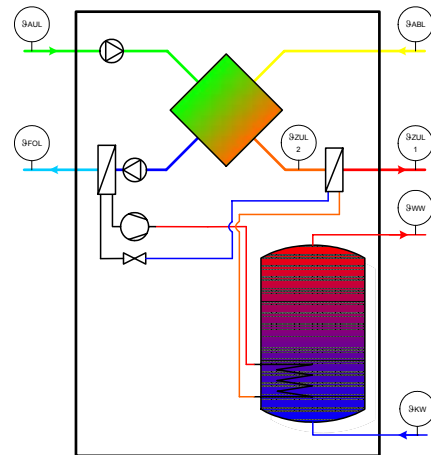
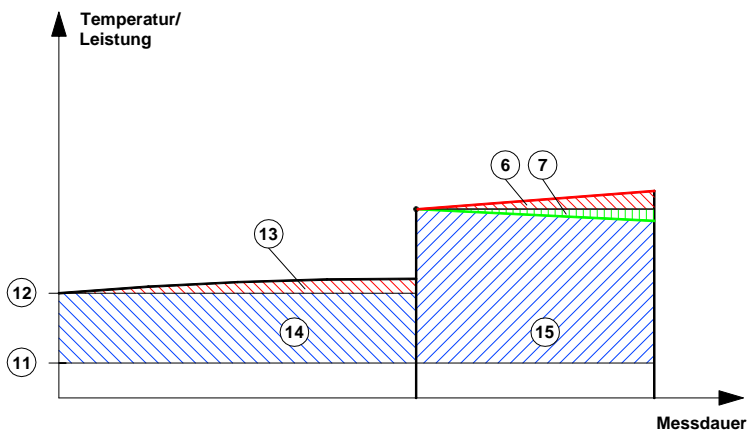
1. Kaltwassertemperatur ϑ_{KW}
2. BWW-Endtemperatur nach Ladevorgang ϑ_{BWW}
3. Wärmeverluste des Speichers während des Ladevorgangs $Q_{BWW_Aufheizverluste}$
4. Effektiver Speicher-Wärmeinhalt $Q_{BWW_eff_Aufheizung}$
5. Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung ϑ_{BWW_eff}
6. Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) Q_{BWW_Gewinn}
7. Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_Verlust}$
8. Wärmeinhalt im Speicher während der Lüfterwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_eff_Betrieb}$
9. BWW-Endtemperatur nach Speichermischung ϑ_{BWW_Gewinn}
10. BWW-Endtemperatur nach Speichermischung $\vartheta_{BWW_Verlust}$

$$COP_{1_Winter} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung} + Q_{ZUL_1}}{E_{el_total} \text{ (Ventilatoren, Steuerung, Verdichter)}}$$

$$COP_{1_Sommer} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung}}{E_{el_total} \text{ (Ventilatoren, Steuerung, Verdichter)}}$$

COP _{1_Winter}	COP für die Aufheizphase des BWW im Winter	[-]
COP _{1_Sommer}	COP für die Aufheizphase des BWW im Sommer	[-]
Q _{BWW_eff_Aufheizung}	Effektiver Speicher-Wärmeinhalt	[J]
Q _{ZUL_1}	ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung (nur im Winterfall)	[J]
E _{el_total} (Ventilator, Steuerung, Verdichter)	Elektrische Energieaufnahme für Ventilatoren, Steuerung und Verdichter	[J]

COP₂ für die Lufterwärmung



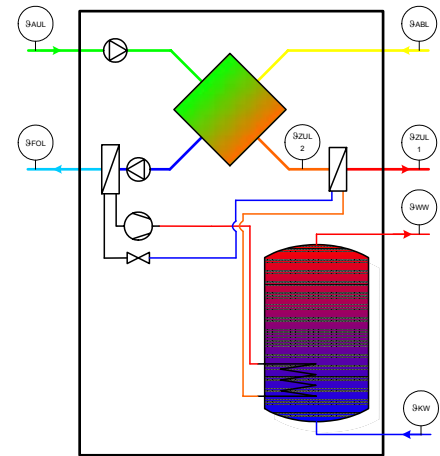
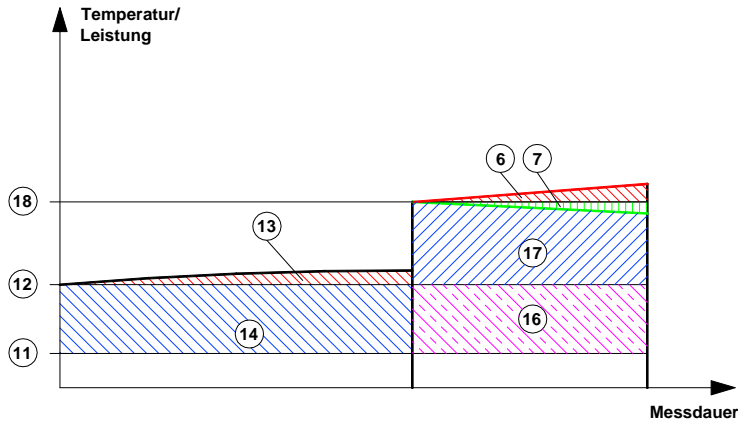
Legende

- 6. Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) Q_{BWW_Gewinn}
- 7. Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_Verlust}$
- 11. AUL-Temperatur ϑ_{AUL}
- 12. ZUL-Temperatur vor dem Verdampfer ϑ_{ZUL2}
- 13. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung Q_{ZUL_1}
- 14. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung durch die WRG $Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}$
- 15. ZUL-Erwärmung mit WRG und WP Q_{ZUL_WRG+WP}

$$COP_2 = \frac{Q_{ZUL_WRG+WP} + Q_{BWW_Gewinn/Verlust}}{E_{el_total}(Ventilatoren, Steuerung Verdichter)} = \frac{m_{zul} \cdot c_{pL} \cdot (\vartheta_{ZUL1} - \vartheta_{AUL}) + m_{BWW} \cdot c_W \cdot (\vartheta_{BWW_eff} - \vartheta_{BWW_Gewinn/Verlust})}{E_{el_total}(Ventilatoren, Steuerung Verdichter)}$$

COP ₂	COP für die Lufterwärmung	[-]
Q_{ZUL_WRG+WP}	ZUL-Erwärmung mit WRG und WP	[J]
Q_{BWW_Gewinn}	Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden)	[J]
$Q_{BWW_Verlust}$	Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden)	[J]
$E_{el_total}(Ventilator, Steuerung, Verdichter)$	Elektrische Energieaufnahme für Ventilatoren, Steuerung und Verdichter	[J]
m_{zul}	Zuluftmasse	[kg]
m_{BWW}	Masse Brauchwarmwasser	[kg]
c_{pL}	spezifische Wärmekapazität Luft	[J/kgK]
c_W	spezifische Wärmekapazität Wasser	[J/kgK]
ϑ_{ZUL1}	Zulufttemperatur im Anschlussstutzen	[°C]
ϑ_{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]
ϑ_{BWW_eff}	Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
ϑ_{BWW_Gewinn}	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
$\vartheta_{BWW_Verlust}$	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]

COP₃ für die Aufheizphase des Brauchwarmwassers MINERGIE



Legende

- 6. Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) Q_{BWW_Gewinn}
- 7. Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_Verlust}$
- 11. AUL-Temperatur ϑ_{AUL}
- 12. ZUL-Temperatur vor dem Verdampfer ϑ_{ZUL2}
- 13. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung Q_{ZUL_1}
- 14. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung durch die WRG $Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}$
- 16. ZUL-Erwärmung durch die WRG Q_{ZUL_WRG}
- 17. ZUL-Erwärmung durch die WP Q_{ZUL_WP}
- 18. ZUL-Temperatur im Anschlussstutzen ϑ_{ZUL1}

$$COP_{3_Winter} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung} + Q_{ZUL_1}}{E_{el_total} (Verdichter)}$$

$$COP_{3_Sommer} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung}}{E_{el_total} (Verdichter)}$$

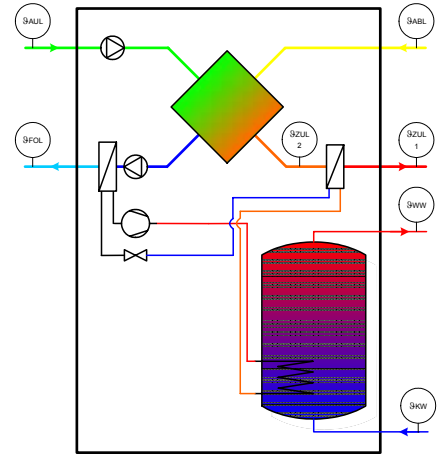
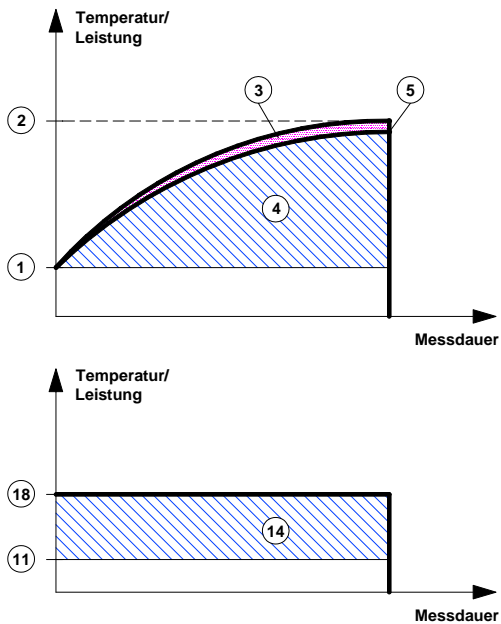
COP _{3_Winter}	COP für die Aufheizphase des BWW im Winter MINERGIE	[-]
COP _{3_Sommer}	COP für die Aufheizphase des BWW im Sommer MINERGIE	[-]
$Q_{BWW_eff_Aufheizung}$	Effektiver Speicher-Wärmeinhalt	[J]
Q_{ZUL_1}	ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung (nur im Winterfall)	[J]
$E_{el_total} (Verdichter)$	Elektrische Energieaufnahme für Verdichter	[J]

COP₄ für die Lufterwärmung MINERGIE

$$\text{COP}_4 = \frac{Q_{\text{ZUL_WP}} + Q_{\text{BWW_Gewinn/Verlust}}}{E_{\text{el_total(Verdichter)}}} = \frac{m_{\text{zul}} \cdot c_{\text{pL}} \cdot (\vartheta_{\text{ZUL1}} - \vartheta_{\text{ZUL2}}) + m_{\text{BWW}} \cdot c_{\text{W}} \cdot (\vartheta_{\text{BWW_eff}} - \vartheta_{\text{BWW_Gewinn/Verlust}})}{E_{\text{el_total(Verdichter)}}}$$

COP ₄	COP für die Lufterwärmung MINERGIE	[-]
Q _{ZUL_WRG+WP}	ZUL-Erwärmung mit WRG und WP	[J]
Q _{BWW_Gewinn}	Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit 8 Stunden)	[J]
Q _{BWW_Verlust}	Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit 8 Stunden)	[J]
E _{el_total (Verdichter)}	Elektrische Energieaufnahme für Verdichter	[J]
m _{ZUL}	Zuluftmasse	[kg]
m _{BWW}	Masse Brauchwarmwasser	[kg]
c _{PL}	spezifische Wärmekapazität Luft	[J/kgK]
c _W	spezifische Wärmekapazität Wasser	[J/kgK]
ϑ _{ZUL_2}	Zulufttemperatur vor dem Verdampfer	[°C]
ϑ _{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]
ϑ _{BWW_eff}	Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
ϑ _{BWW_Gewinn}	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
ϑ _{BWW_Verlust}	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]

COP_{5_Winter} für die Aufheizphase des Brauchwarmwassers inkl. Wärmerückgewinnung



Legende

1. Kaltwassertemperatur ϑ_{KW}
2. BWW-Endtemperatur nach Ladevorgang ϑ_{BWW}
3. Wärmeverluste des Speichers während des Ladevorgangs $Q_{BWW_Aufheizverluste}$
4. Effektiver Speicher-Wärmeinhalt $Q_{BWW_eff_Aufheizung}$
5. Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung ϑ_{BWW_eff}
11. AUL-Temperatur ϑ_{AUL}
14. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung durch die WRG $Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}$
18. ZUL-Temperatur im Anschlussstutzen ϑ_{ZUL1}

$$COP_{5_Winter} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung} + Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}}{E_{el_total} \text{ (Ventilator, Steuerung, Verdichter)}}$$

COP _{5_Winter}	COP für die Aufheizphase des BWW inkl. WRG im Winter	[-]
Q _{BWW_eff_Aufheizung}	Effektiver Speicher-Wärmeinhalt	[J]
Q _{ZUL_WRG_BWW-Ladung}	ZUL-Erwärmung während der BWB-Ladung	[J]
E _{el_total} (Ventilator, Steuerung, Verdichter)	Elektrische Energieaufnahme für Verdichter	[J]

Akustische Grössen

Schallleistungspegel

$$L_w = L_p - c_g + c_{pw} \quad [\text{dB}]$$

L_p	gemessener Schalldruckpegel	[dB]
c_g	Fremdgeräuschkorrektur gem. EN 23 741 Abschnitt 7.2.3, Seite 9	[dB]

Korrekturwert Schalldruck- in Schallleistungspegel (Verfahren 1)

$$c_{pw} = -10 \cdot \log \frac{T}{T_0} + 10 \cdot \log \frac{V}{V_0} + 10 \cdot \log \left(1 + \frac{S \cdot \lambda}{8 \cdot V} \right) - 10 \cdot \log \left(\frac{B}{1000} \right) - 14 \quad [\text{dB}]$$

T	Nachhallzeit des Hallraumes	[s]
T_0	Bezugsnachhallzeit 1 s	[s]
V	gesamtes Raumvolumen des Hallraumes 210.1 m ³	[m ³]
V_0	Bezugsvolumen 1 m ³	[m ³]
S	gesamte Raumbofläche des Hallraumes 215.1 m ²	[m ²]
λ	Wellenlänge bei der Mittenfrequenz des Oktav- oder Terzbandes	[m]
B	Luftdruck	[mbar]

Wellenlänge bei der Mittenfrequenz des Oktav- oder Terzbandes

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}]$$

c	Schallgeschwindigkeit 344 m/s	[m/s]
f	Frequenz	[Hz]

Gesamtschallleistungspegel

$$L_{w_{\text{total}}} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{w100}}{10}} + 10^{\frac{L_{w125}}{10}} + 10^{\frac{L_{w160}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{w10000}}{10}} \right) \quad [\text{dB}]$$

A-bewerteter Schallleistungspegel

$$L_w(A) = L_w + c_j \quad [\text{dB}]$$

L_w	Schallleistungspegel	[dB]
c_j	Korrekturwert Bewertungsfilter A (gem. EN 23 741, Anhang C, Seite 12)	[dB]

Formeln für Schallleistungsmessung mittels der Schallintensitäts-Methode Schallleistungspegel der Gehäuseabstrahlung (gem. ISO 9614 Teil 1-3)

$$L_w = L_I + A \quad [\text{dB}]$$

L_I	gemessener Schallintensitätspegel	[dB]
A	Hüllfläche, auf der die Schallintensitäts-Messpunkte liegen	[m ²]

4 Prüfverfahren / Prüfreglement

Für Kompaktlüftungsgeräte mit Wärmepumpe ist weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene ein technisch zweckmässiges Prüfreglement vorhanden. Die HTA Luzern hat ein Prüfreglement ausgearbeitet, welches die Testmethoden und den Messablauf definiert. Die Feinausarbeitung des Prüfregments gestaltete sich schwieriger als angenommen. Wir stellen heute eine sehr unübersichtliche Situation im Bereich der Normung fest. Die Situation in Deutschland ist ebenfalls sehr unklar. Obwohl eine Europäische Norm (EN 13141 [1]) existiert, sind in Deutschland noch die Bestimmungen des DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin) in Kraft. Wir haben Kenntnis, dass in Deutschland, nebst den CEN-Tätigkeiten versucht wird, eine nationale Norm einzuführen. Dies wird aber sicher noch längere Zeit dauern. Es kommt hinzu, dass auch die Wärmepumpennormen überarbeitet wurden. Ob diese Normen auch für Kompaktlüftungsgeräte mit Abluftwärmepumpe Gültigkeit haben werden, ist momentan nicht klar ersichtlich. Falls diese Normen auch für die Kompaktlüftungsgeräte mit Wärmepumpe für Aussenluft/Abluft anzuwenden sind, müssten die Geräte bis zu Aussenlufttemperaturen von -15°C geprüft werden können. Bei der Ausarbeitung wurde zusätzlich darauf geachtet, dass die internationalen normativen Arbeiten, welche zurzeit in den Bereichen Kompaktlüftungsgeräte, Zapfmodelle für Warmwasser, Wärmepumpe und Akustik laufen, in das Prüfreglement integriert wurden. Luftzustände wurden, sofern sie nicht definiert waren, mit Hilfe von Erfahrungswerten festgelegt. Der Vorschlag soll nun in internationale Normengremien eingebracht werden, um eine europäische Norm auszuarbeiten.

Eine komplette Prüfung an einem Kompaktlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe umfasst folgende Prüfungen:

- Dichtigkeitsprüfungen (interne und externe Leckagen)
- Lüftungstechnische Prüfungen
- Thermodynamische Prüfungen
- Akustische Prüfungen
- Filter-Bypass-Leckage (optional)
- Bedienung/Wartung/Sicherheit (optional)
- Hygienische Untersuchungen (optional)

Nachfolgend sind einige Punkte aus dem Prüfreglement aufgelistet. Details können im Prüfreglement, im Anhang nachgeschlagen werden. Die Berechnungen der einzelnen Kenngrössen sind hier nicht explizit aufgeführt. Diese sind auch im Prüfreglement und/oder in den einzelnen Normen ersichtlich.

Dichtigkeitsprüfung

Die inneren und äusseren Leckagen werden nach der EN 308 [2] und nach der EN 13141 [1] geprüft. Als Variante können die inneren Leckagen mittels Spurengas bestimmt werden. Dabei wird ermittelt, wie gross der Leckagestrom von der Abluft in die Zuluft im Realbetrieb ist.

Bestimmung der Anzahl Messpunkte und Volumenströme

Die Bestimmung des Einsatzbereiches erfolgt nach dem Ansatz des Passivhaus Instituts Darmstadt. Der Einsatzbereich wird wie folgt bestimmt:

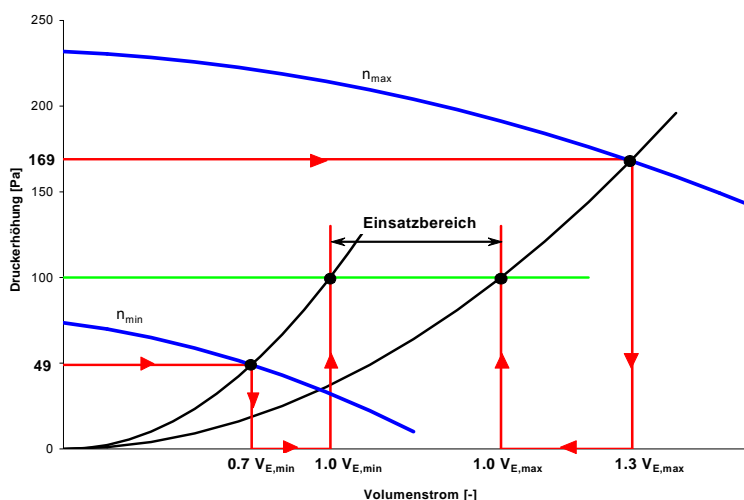


Fig. 14: Bestimmung des Einsatzbereiches des Prüflings

Der maximale Volumenstrom wird bestimmt, in dem das Gerät auf maximaler Stufe oder Drehzahl noch eine externe Pressung von 100 Pa-1,3²=169 Pa erzeugen kann.

Der minimale Volumenstrom wird bestimmt, in dem das Gerät auf minimaler Stufe oder Drehzahl noch eine externe Pressung von 49 Pa erzeugen kann.

Ist das Verhältnis zwischen dem minimalen zum maximalen Volumenstrom grösser als 1.6:1, wird der Bereich zwischen dem Minimum und Maximum in Teilbereiche unterteilt und für jeden Teilbereich einen Bereichsvolumenstrom bestimmt. Für die Festlegung der Teilbereiche und der Bereichsvolumenströme kann der Auftraggeber zwischen dem DIBt-Ansatz oder dem Ansatz nach dem Passivhaus-Institut wählen.

Ansatz nach DIBt

Ermittlung der notwendigen Anzahl Teilbereiche n:

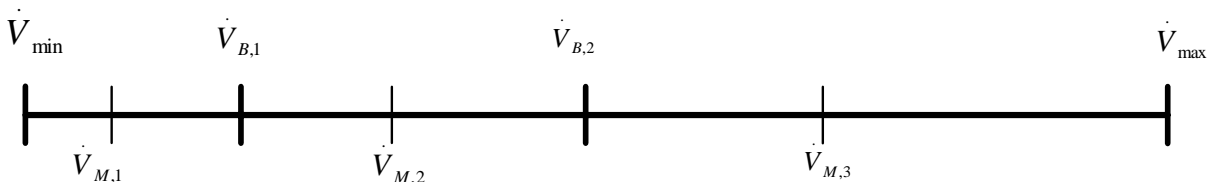
$$n \geq 2.13 \cdot \ln \left(\frac{\dot{V}_{\max}}{\dot{V}_{\min}} \right)$$

Ermittlung der oberen Bereichsgrenze $\dot{V}_{B,m}$

$$\dot{V}_{B,m} \geq \dot{V}_{\min} \cdot \sqrt[n]{\left(\frac{\dot{V}_{\max}}{\dot{V}_{\min}} \right)^m}$$

Ermittlung des Bereichsvolumenstromes $\dot{V}_{M,m}$

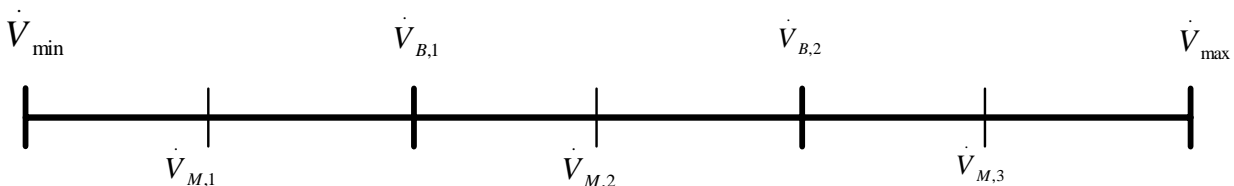
$$\dot{V}_{M,m} \geq \dot{V}_{\min} \cdot \sqrt[2n]{\left(\frac{\dot{V}_{\max}}{\dot{V}_{\min}} \right)^{(2m-1)}}$$



Ist das Verhältnis zwischen dem hohen und dem niedrigen Wert grösser als 1,6:1, wird der Volumenstrombereich in gleichgroße Teilbereiche aufgeteilt, die wiederum im Verhältnis $\leq 1,6:1$ bleiben müssen. Innerhalb dieser Teilbereiche wird jeweils beim Bereichsvolumenstrom gemessen.

Ansatz nach Passivhaus Institut Darmstadt

Ist das Verhältnis zwischen dem hohen und dem niedrigen Wert grösser als 1.6:1, wird der Volumenstrombereich in gleich grosse Teilbereiche aufgeteilt, die wiederum im Verhältnis $\leq 1.6:1$ bleiben müssen. Innerhalb dieser Teilbereiche wird jeweils beim mittleren Volumenstromwert gemessen.



Lüftungstechnische Prüfungen

Die Luftvolumenstrom/Druck-Kennlinien für den Zuluft- und für den Abluftventilator werden nach der DIN 24163 [3] bestimmt.

Bei Prüflingen mit **festen Drehzahlen** werden die Luftvolumenstrom/Druck-Kennlinien bei jeder Betriebsstufe aufgenommen. Die Punkte der einzelnen Kennlinien werden im stabilen Bereich im Abstand von maximal 30 Pa gemessen.

Bei Prüflingen mit einer **stufenlosen Drehzahlregulierung** oder mit einer **Konstantvolumenstromregelung** wird der obere und untere Grenzwert festgelegt und der Zwischenbereich wird in gleichmässige Abschnitte unterteilt. Die Punkte der einzelnen Kennlinien werden im stabilen Bereich im Abstand von maximal 50 Pa gemessen. Bei jedem Punkt wird die elektrische Leistungsaufnahme erfasst.

Thermodynamischen Prüfungen

Die thermodynamischen Prüfungen werden nach der EN 14511 [4] durchgeführt. Die Abluft- und Aussenluftkonditionen werden momentan von der EN14511 [4] übernommen. Falls die normativen Entwicklungen in Deutschland und Österreich andere Prüfpunkte ergeben, können diese angepasst werden. Für die thermischen Prüfungen werden pro festgelegten Volumenstrom standardmässig 4 Temperaturen vorgesehen (Fig. 15).

	Aussenluft		Abluft		Heizung		BWW	Kommentar
	Temperatur [°C]	Feuchtkugel- temperatur [°C]	Temperatur [°C]	Feuchtkugel- temperatur [°C]	Vorlauf [°C]	Rücklauf [°C]	Temperatur [°C]	
1	7	6	20	12	45	40	60	Normbedingung
2	-15	-	20	7	45	a	60	Option
3	-7	-8	20	9.5	45	a	60	Standard
4	2	1	20	9.5	45	a	60	Standard
5	-7	-8	20	9.5	35	a	60	Standard
6	7	6	20	12	35	a	60	Standard
7	15	10	20	14	35	a	60	Option
8	7	6	20	12	-	-	60	BWW
a die Prüfung wird mit dem Volumenstrom durchgeführt, der sich bei Messpunkt 1 (Normbedingung) einstellt								

Fig. 15: Messpunkte für ein Kompaktlüftungsgerät ohne Lufterdregister

Aussenluft			Abluft		
Temperatur [°C]	Feuchtkugel- temperatur [°C]	Relative Feuchte [% r.F.]	Temperatur [°C]	Feuchtkugel- temperatur [°C]	Relative Feuchte [% r.F.]
-7	-8	74	20	9.5	25
2	1	84	20	9.5	25
7	6	87	20	12	37
15	10	52	20	14	54

Fig. 16: Messpunkte für ein Kompaktlüftungsgerät ohne Lufterdregister

Falls die Prüfungen für eine DIBt-Zulassung benötigt werden, werden die Messungen mit den Luftkonditionen vom DIBt durchgeführt:

	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3
Ablufttemperatur	21°C	21°C	21°C
Abluftfeuchte	36% rel. Feuchte	46% rel. Feuchte	56% rel. Feuchte
Aussenlufttemperatur	-3°C	4°C	10°C
Aussenluftfeuchte	80% rel. Feuchte	80% rel. Feuchte	80% rel. Feuchte

Fig. 17: Messpunkte nach DIBt

Da einige Geräte in Kombination mit einem Lufterdregister betrieben werden, wurde zusätzlich die Aussenlufttemperatur nach dem Lufterdregister definiert. Diese Daten sind für das Schweizerische Mittelland gültig (Fig. 18). Für andere Regionen muss die Aussenlufttemperatur nach dem Lufterdregister überprüft und allenfalls angepasst werden.

	Aussenluft			Abluft		Heizung		BWW	Kommentar
	Temperatur vor Lufterdregister [°C]	Feuchtkugel- temperatur [°C]	Temperatur nach Lufterdregister [°C]	Temperatur [°C]	Feuchtkugel- temperatur [°C]	Vorlauf [°C]	Rücklauf [°C]	Temperatur [°C]	
1	7	6	7	20	12	45	40	60	Normbedingung
2	-15	-	-7	20	7	45	a	60	Option
3	-7	-8	2	20	9.5	45	a	60	Standard
4	2	1	5	20	9.5	45	a	60	Standard
5	-7	-8	2	20	9.5	35	a	60	Standard
6	7	6	7	20	12	35	a	60	Standard
7	15	10	15	20	14	35	a	60	Option
8	7	6	7	20	12	-	-	60	BWW
a die Prüfung wird mit dem Volumenstrom durchgeführt, der sich bei Messpunkt 1 (Normbedingung) einstellt									

Fig. 18: Messpunkte für ein Kompaktlüftungsgerät mit Lufterdregister

Untersuchungen an Kompaktlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung und mit Wärmepumpe haben gezeigt, dass durch die komplexe Bauweise nicht überall Messfühler platziert werden können. Aus diesem Grund müssen die einzelnen Komponenten wie Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe sowie einzelne Betriebsarten in drei Schritten separat geprüft werden:

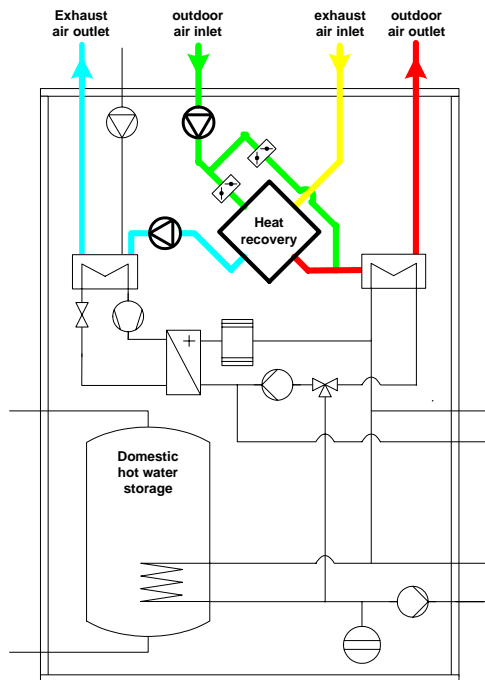


Fig. 19: Lüftungsbetrieb

1. Bestimmung des Temperaturänderungsgrades und des elektrothermischen Verstärkungsfaktors

Für die Bestimmung des Temperaturänderungsgrades der Wärmerückgewinnung und des elektrothermischen Verstärkungsfaktors sind nur die Lüftungseinheit und Steuerung des Gerätes in Betrieb. Die Wärmepumpe und die elektrischen Heizeinsätze sind ausgeschaltet. Der Warmwasserspeicher hat Umgebungstemperatur (± 5 K). Die thermischen Messungen werden bei allen festgelegten Temperaturen und Volumenströme durchgeführt. Die Messungen finden bei konstanten Lufttemperaturen- und Feuchten statt.

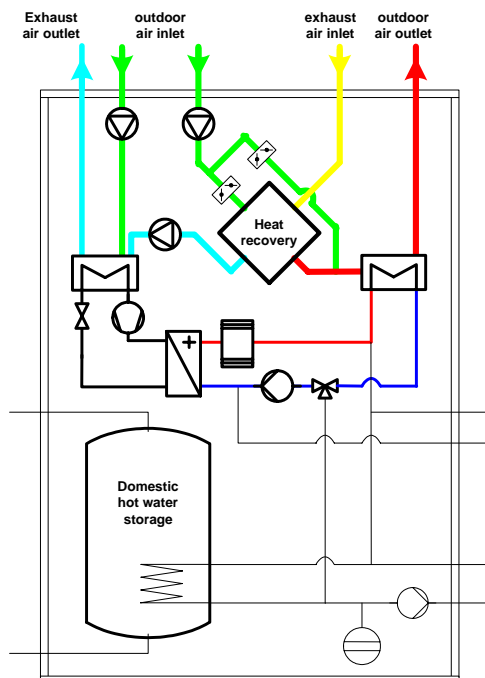


Fig. 20: Lüftungs- und Wärmepumpenbetrieb für Lufterwärmung

2. Bestimmung des COP für die Lufterwärmung

Für die Bestimmung des COP für die Lufterwärmung sind die Lüftungseinheit und die Wärmepumpe in Betrieb. Die Wärmepumpe gibt die Wärme nur an die Raumheizung (Zulufterwärmung) ab. Der Warmwasserspeicher ist auf Betriebstemperatur von 60°C geladen. Es findet keine Warmwasserzapfung oder Wärmeabgabe an ein wasserführendes System statt. Allfällige Heizeinsätze sind ausgeschaltet. Die Lüftungseinheit ist in Betrieb. Die Wärmepumpe ist nur für die Zulufterwärmung in Betrieb. Die thermischen Messungen werden bei allen festgelegten Temperaturen und Volumenströme durchgeführt. Die Zulufttemperatur wird nicht begrenzt. Die Messungen finden bei konstanten Lufttemperaturen und -Feuchten statt.

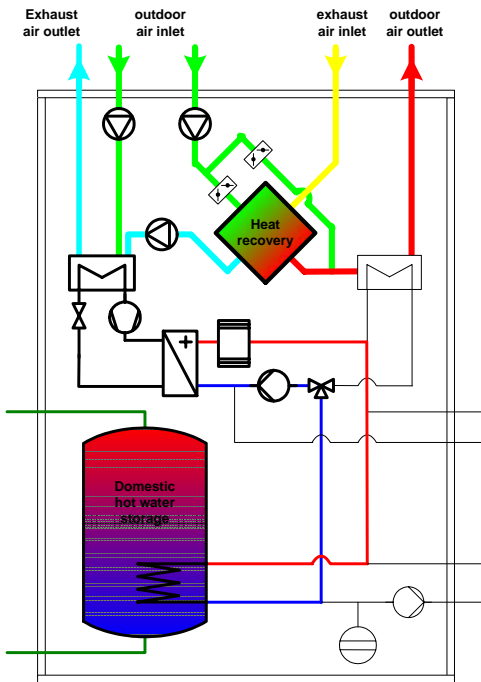


Fig. 21: Lüftungs- und Wärmepumpenbetrieb für Brauchwassererwärmung

3. Bestimmung des COP für die Brauchwassererwärmung

Für die Bestimmung des COP für die Brauchwassererwärmung ist die Lüftungseinheit und die Wärmepumpe in Betrieb. Die Wärmepumpe gibt die Wärme nur an das Brauchwasser ab. Die Messung wird in Anlehnung an die EN 255-3 [5] bei einer Aussentemperatur von $+7^{\circ}\text{C}$ durchgeführt. Der Warmwasserspeicher ist anfangs auf einer Temperatur von $+15^{\circ}\text{C}$. Die Warmwasserzapfung findet gemäß dem Zapfmodell von der EN 255-3 [5] statt. Auf ausdrücklichem Wunsch des Herstellers kann das Zapfmodell der EN 255-3 [5] durch ein Zapfmodell vom M/324 [6] ersetzt werden. Heizeinsätze sind ausgeschaltet. Die Lüftungseinheit ist in Betrieb. Die thermische Messung wird nur bei einem Luftvolumenstrom durchgeführt. Ergeben sich aus dem Einsatzbereich des Gerätes zwei Messpunkte, dann ist die Messung beim höheren Volumenstrom der beiden Messpunkte, im Fall von drei Messpunkten beim mittleren Volumenstrom, durchzuführen. Die Messung findet bei konstanten Lufttemperaturen und -Feuchten statt.

Um die Messdauer zu reduzieren, wird die Periode 4 „Bestimmung der Leistungsaufnahme während der Bereitschaftsperiode“ von fünf Aufheizintervallen auf zwei reduziert. Somit kann die Prüfdauer um ca. drei Tage reduziert werden. Die restlichen Perioden werden wie in der EN 255-3 [5] beschrieben übernommen. Eine weitere Abweichung zur EN 255-3 [5] ist, dass das Brauchwarmwasser fest auf 60°C (hygienische Gründe) aufgeheizt wird.

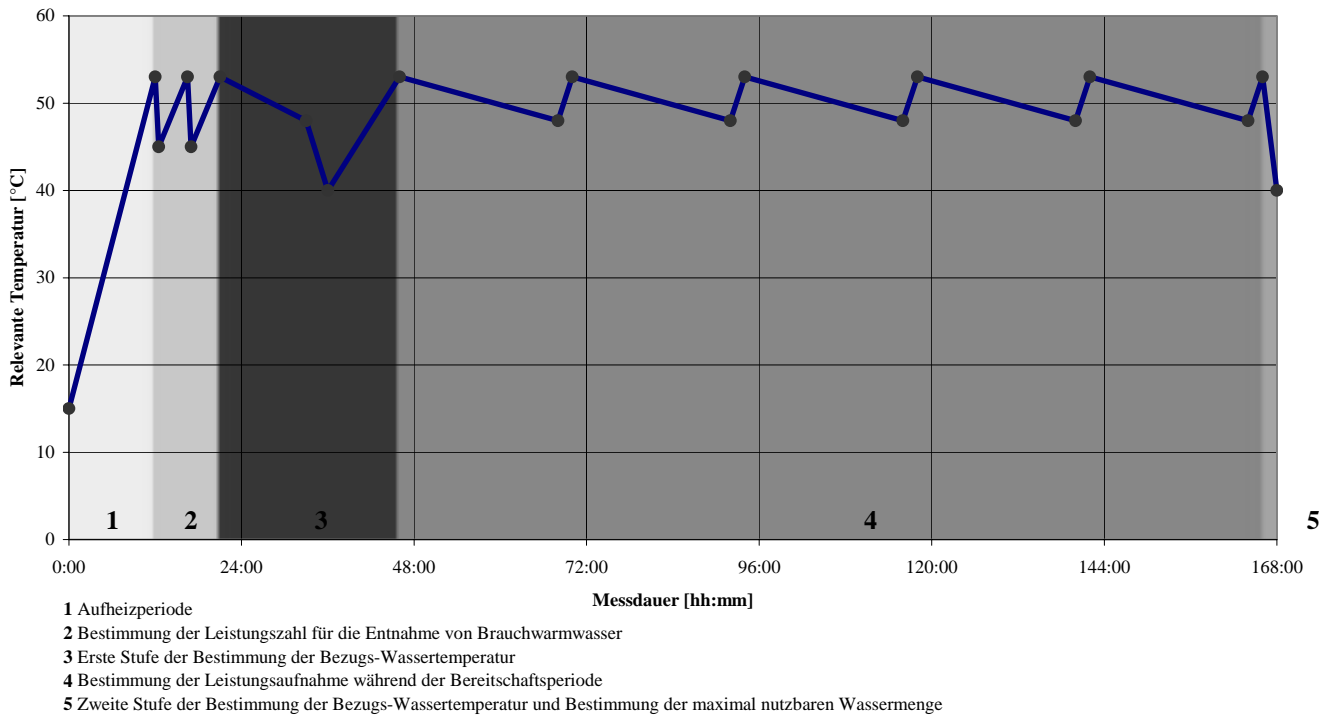


Fig. 22: Diagramm Zapfmodell nach EN 255-3

Betrieb der Wärmepumpe für Wärmeabgabe an ein wasserführendes System

Gibt das Kompaktgerät die Wärme an ein wasserführendes System ab, wird die Prüfung für die Bestimmung des COP wie folgt durchgeführt:

Die Lüftungseinheit und die Wärmepumpe sind in Betrieb. Die Wärmepumpe ist nur für die Wärmeabgabe an ein wasserführendes System in Betrieb. Die thermischen Messungen werden bei allen festgelegten Luft-Temperaturen und Luft-Volumenströmen durchgeführt. Der wasserseitige Volumenstrom wird bei der Normbedingung (siehe Fig. 15) festgelegt. Dieser Massenstrom gilt für alle thermischen Messungen. Es werden Messungen mit Vorlauftemperaturen von 35°C (Fussbodenheizung) und 45°C (Heizkörper) durchgeführt.

Es findet keine Warmwasserzapfung oder Wärmeabgabe an die Zuluft statt. Die Messungen finden bei konstanten Lufttemperaturen und -Feuchten statt.

Standby Betrieb

Die Leistungsaufnahme des Gerätes (inklusive Steuerung) wird im reinen Standbybetrieb gemessen.

Prüfung zur Frostschutteinrichtung / Zyklusversuch (Option, in Anlehnung an DIBt)

Ausgehend vom thermodynamischen Messpunkt wird die Außenlufttemperatur von -3°C (Abluft 21°C und 36% rel. Feuchte) bis max. -12°C abgesenkt, um den Schaltpunkt der Frostschutteinrichtung zu erfassen. Dabei soll die Absenkung der Außenlufttemperatur nicht schneller als 1K pro 5 Minuten erfolgen. Zur Überprüfung, ob die vom Hersteller gewählte Frostschutzstrategie ausreichend ist, wird ein Zyklusversuch durchgeführt.

Bei einer Außenlufttemperatur von 4K unter der Einschalttemperatur, maximal aber bei -12°C, werden über eine Zeitdauer von mindestens 3 Schaltvorgängen, mindestens jedoch 30 Minuten die thermodynamischen Daten (Temperatur, Feuchte) der ein- und austretenden Luftströme am Lüftungsgerät aufgezeichnet. Wenn nach drei Schaltvorgängen oder mindestens 30 Minuten noch keine hinreichende Ähnlichkeit des Kurvenverlaufes (z.B. Konstanz der Fortlufttemperatur oder des Druckabfalles) innerhalb der drei Schaltvorgänge erreicht ist, sind 3 weitere Schaltvorgänge aufzunehmen. Der Zyklusversuch ist bei einem Volumenstrom eines thermodynamischen Messpunktes bei einer Abluftfeuchte von 36% rel. Feuchte durchzuführen. Ergeben sich aus dem Einsatzbereich des Gerätes zwei thermodynamische Messpunkte, dann ist der Zyklusversuch beim niedrigeren Volumenstrom der beiden Messpunkte, im Fall von drei thermodynamischen Messpunkten beim mittleren Volumenstrom, durchzuführen.

Akustische Prüfungen

Die akustischen Messungen werden für die Schallabstrahlungen durch das Gehäuse des Prüflings an den Aufstellungsraum und für die Schallabstrahlung in die Luftanschlussleitungen durchgeführt. Die Messungen der Schallabstrahlungen durch das Gehäuse des Prüflings werden nach den Schallintensitätsmessnormen ISO 9614 [7] durchgeführt. Die Messungen der Schallabstrahlung in die Luftanschlussleitungen werden nach den Schallintensitätsmessnormen ISO 9614 [7] oder nach dem Hallraumverfahren durchgeführt. Die akustischen Messungen werden im Realbetrieb, d.h. mit konditionierter Luft durchgeführt.

Die Messungen werden bei folgenden Einstellungen durchgeführt:

Geräuschquelle	Volumenstrom	Druckverlust Kanalanschluss
Gerät durch Gehäuse	max. Volumenstrom*	100 Pa
FOL/AUL-Anschlüsse	max. Volumenstrom*	100 Pa
ABL/ZUL-Anschlüsse	min. und max. Volumenstrom*	70/100/130 Pa

*gemäß Festlegung des minimalen und maximalen Volumenstroms nach dem Ansatz des Passivhaus Instituts Darmstadt.

Filter-Bypass-Leckage (optional)

Die Filter-Bypass-Leckage ist ein Indikator für die Hygiene. Sie wird in Anlehnung an die EN 1886 [8] bestimmt.

Hygienische Untersuchungen (optional)

Die hygienischen Untersuchungen werden nach der SWKI 2003-5 [9] durchgeführt.

Bedienung/Wartung/Sicherheit (optional)

Die Bedienung, Wartung und Sicherheit vom Kompaktlüftungsgeräte werden beurteilt. Die Kriterien werden noch - aufgrund der Erfahrungen mit den ersten Geräteprüfungen - festgelegt.

5 Erste Messresultate

Die Inbetriebnahme des Prüfstandes erfolgte mit einem Kompaktlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe. Die Resultate sind in diesem Kapitel aufgeführt.

Leckagen

Aussenleckage

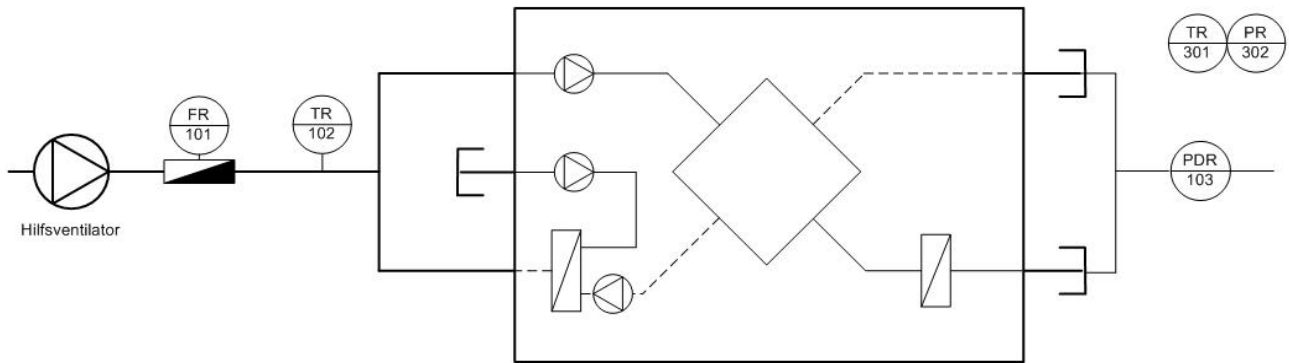


Fig. 23: Messschema Aussenleckage

P_{soll} [Pa]	P_{ist} [Pa]	T_{Luft} [°C]	P_{Luft} [hPa]	V_{Start} [m³]	V_{Ende} [m³]	ΔV [m³]	$t_{\text{Messdauer}}$ [s]	$V_{\text{Leckage_Total}}$ [m³/h]	$V_{\text{Leckage_Rohr}}$ [m³/h]	$V_{\text{Leckage_Gerät}}$ [m³/h]	V_{Bezug} [m³/h]	Leckage [%]
+100	98	20.6	963.1	14140.30	14141.50	1.20	1782	2.4	1.9	0.5	135	0.37
+150	152	20.9	963.1	14141.60	14143.10	1.50	1608	3.4	2.5	0.8	135	0.60
+200	203	21.1	963.1	14143.30	14150.85	7.55	6503	4.2	3.1	1.0	135	0.77
+250	249	21.0	963.1	14151.25	14153.25	2.00	1502	4.8	3.5	1.3	135	0.94
+300	298	21.2	963.1	14153.45	14155.00	1.55	1021	5.5	4.0	1.5	135	1.08
-100	-106	21.3	951.8	14155.47	14156.80	1.33	1706	2.8	1.8	1.0	135	0.75
-150	-151	21.5	951.8	14157.15	14159.85	2.70	2718	3.6	2.3	1.3	135	0.94
-200	-198	21.6	951.8	14160.05	14161.82	1.77	1419	4.5	2.8	1.7	135	1.24
-250	-249	21.7	951.8	14162.03	14164.25	2.22	1591	5.0	3.2	1.8	135	1.34
-300	-298	21.6	951.8	14166.05	14169.34	3.29	2095	5.7	3.6	2.0	135	1.50

Fig. 24: Tabelle Resultate Aussenleckage

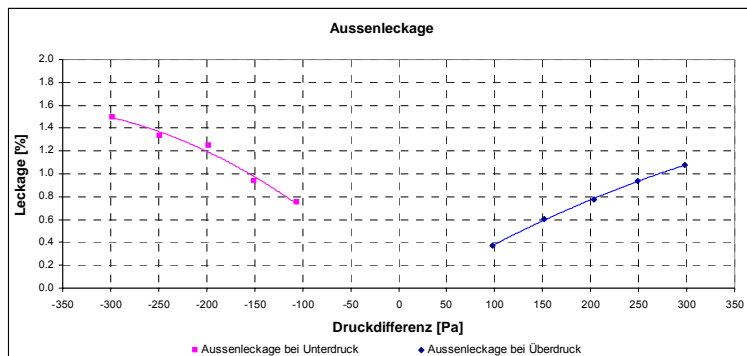


Fig. 25: Diagramm Resultate Aussenleckage

Die Aussenleckage wird bei einem Über- und Unterdruck von 250 Pa bei 135 m³/h Luftvolumenstrom angegeben. Sie beträgt bei Überdruck 0.94 % und bei Unterdruck 1.34 %.

Innenleckage

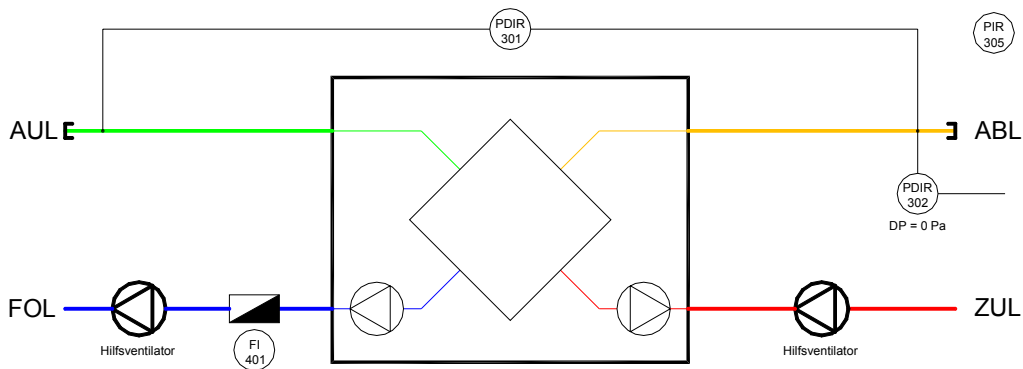


Fig. 26: Messschema Innenleckage

P_{soll} [Pa]	P_{ist} [Pa]	P_{Umgebung} [Pa]	T_{Luft} [°C]	P_{Luft} [hPa]	V_{Start} [m³]	V_{Ende} [m³]	ΔV [m³]	$t_{\text{Messdauer}}$ [s]	V_{Leckage} [m³/h]	V_{Bezug} [m³/h]	Leckage [%]
+50	52	1	22.0	963.1	14170.62	14172.00	1.38	1510	3.3	135	2.44
+100	100	2	22.1	963.1	14172.45	14174.41	1.96	1435	4.9	135	3.64
+150	150	-1	22.1	963.1	14174.77	14177.50	2.73	1531	6.4	135	4.76
+200	202	-2	22.3	963.1	14178.60	14181.00	2.40	1121	7.7	135	5.71
-50	-53	1	21.9	963.1	14181.93	14183.15	1.22	1323	3.3	135	2.46
-100	-102	1	21.9	963.1	14183.63	14185.30	1.67	1217	4.9	135	3.66
-150	-151	1	22.0	963.1	14186.60	14188.78	2.18	1251	6.3	135	4.65
-200	-202	0	21.9	963.1	14189.46	14192.22	2.76	1337	7.4	135	5.50

Fig. 27: Tabelle Resultate Innenleckage

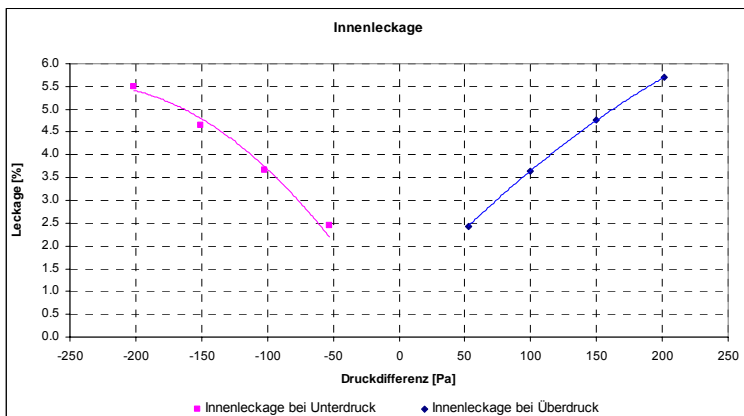


Fig. 28: Diagramm Resultate Innenleckage

Die Innenleckage wird bei einem Über- und Unterdruck von 100 Pa bei 135 m³/h Luftvolumenstrom angegeben. Sie beträgt bei Überdruck 3.64 % und bei Unterdruck 3.66 %.

Druck/Volumenstrom-Kennlinie

Die Volumenströme wurden vom Gerätehersteller vorgegeben und wurden nicht nach dem Ansatz im Prüfrelement bestimmt.

95 m3/h (Ventilatoreinstellungen: ZUL 19%; ABL 19%)

Messpunkt	T _{AUL} [°C]	T _{ABL} [°C]	Druckerhöhung_AUL [Pa]	Druckerhöhung_ABL [Pa]	elektrische Leistungsaufnahme [W]	Luftdruck [mbar]	Dichte [kg/m3]	V _{AUL} [m3/h]	V _{ABL} [m3/h]
1	22.2	22.3	7.0	7.0	20.3	962	1.130	100.3	103.5
2	22.2	22.3	26.9	27.0	25.1	962	1.130	105.2	105.5
3	22.3	22.3	54.7	54.0	30.8	963	1.130	106.4	106.8
4	22.3	22.3	78.3	77.5	37.1	963	1.130	115.6	114.0
5	22.3	22.3	103.5	104.2	42.2	963	1.130	115.5	113.0
6	22.4	22.3	125.9	123.8	46.6	963	1.130	116.1	112.8
7	22.4	22.3	154.0	153.3	53.7	962	1.130	119.3	113.5
8	22.4	22.3	179.0	178.9	61.6	962	1.129	124.2	116.0
9	22.6	22.5	255.5	248.3	82.9	962	1.128	130.3	121.3
10	22.7	22.6	275.0	274.9	79.0	962	1.128	113.2	110.5
11	22.7	22.6	292.6	290.4	73.8	962	1.128	99.9	96.5
12	22.8	22.8	332.2	336.2	69.2	962	1.127	69.6	74.6

125 m3/h (Ventilatoreinstellungen: ZUL 28%; ABL 28%)

Messpunkt	T _{AUL} [°C]	T _{ABL} [°C]	Druckerhöhung_AUL [Pa]	Druckerhöhung_ABL [Pa]	elektrische Leistungsaufnahme [W]	Luftdruck [mbar]	Dichte [kg/m3]	V _{AUL} [m3/h]	V _{ABL} [m3/h]
1	21.1	21.1	10.8	11.0	27.6	957	1.129	124.2	124.3
2	21.2	21.2	25.1	25.2	31.2	957	1.128	126.5	123.3
3	21.4	21.5	50.8	49.2	37.4	957	1.128	133.2	128.0
4	21.5	21.5	72.9	74.8	42.1	957	1.127	130.4	127.3
5	21.6	21.6	103.6	100.7	48.5	957	1.127	130.5	126.9
6	21.7	21.7	125.6	125.1	54.8	957	1.127	131.9	128.4
7	22.1	22.0	155.3	155.2	64.1	958	1.125	135.8	131.6
8	22.0	21.9	187.0	196.0	78.2	957	1.126	145.3	137.6
9	22.4	22.3	225.0	224.9	85.0	958	1.125	145.2	132.6
10	22.5	22.4	249.8	249.9	82.1	958	1.124	127.5	122.2
11	22.7	22.6	278.1	275.4	79.6	958	1.124	114.2	109.0
12	22.9	22.8	200.9	207.1	88.9	953	1.116	157.3	147.4

135 m3/h (Ventilatoreinstellungen: ZUL 32%; ABL 31%)

Messpunkt	T _{AUL} [°C]	T _{ABL} [°C]	Druckerhöhung_AUL [Pa]	Druckerhöhung_ABL [Pa]	elektrische Leistungsaufnahme [W]	Luftdruck [mbar]	Dichte [kg/m3]	V _{AUL} [m3/h]	V _{ABL} [m3/h]
1	22.5	22.5	12.7	13.0	32.1	957	1.123	135.5	134.9
2	22.7	22.7	24.3	24.4	35.0	957	1.122	136.1	134.6
3	22.9	22.9	50.4	51.2	42.0	956	1.120	142.7	138.1
4	22.7	22.7	75.2	77.9	47.7	954	1.118	141.1	138.0
5	22.7	22.7	100.1	101.2	54.3	954	1.118	141.3	139.6
6	22.8	22.8	122.8	124.6	60.4	954	1.117	142.2	140.0
7	22.9	22.8	146.8	148.2	68.4	954	1.117	145.6	143.3
8	22.8	22.8	182.6	171.4	80.3	953	1.117	150.1	151.2
9	22.9	22.8	206.3	210.2	87.7	953	1.116	155.0	143.3
10	23.0	22.9	228.4	226.6	85.4	953	1.116	145.3	132.7

190 m³/h (Ventilatoreinstellungen: ZUL 55%; ABL 52%)

Messpunkt	T _{AUL} [°C]	T _{ABL} [°C]	Druckerhöhung_AUL [Pa]	Druckerhöhung_ABL [Pa]	elektrische Leistungsaufnahme [W]	Luftdruck [mbar]	Dichte [kg/m ³]	V _{AUL} [m ³ /h]	V _{ABL} [m ³ /h]
1	22.6	22.5	25.6	26.0	61.5	953	1.117	191.4	189.9
2	22.6	22.5	49.0	50.2	68.7	953	1.117	190.3	189.8
3	22.6	22.5	77.6	77.7	82.3	953	1.117	194.5	197.2
4	22.6	22.6	106.4	106.5	100.6	952	1.117	207.7	205.9
5	22.7	22.6	123.9	125.0	107.8	952	1.117	214.3	201.1
6	22.7	22.7	151.6	151.9	103.5	952	1.116	196.7	185.0
7	22.7	22.7	174.8	173.4	91.1	952	1.116	182.0	168.9
8	22.7	22.7	200.4	201.2	92.3	952	1.116	164.3	150.7
9	22.8	22.7	230.0	227.9	89.1	952	1.116	150.3	136.0

Fig. 29: Tabelle Resultate Lüftungstechnische Prüfung

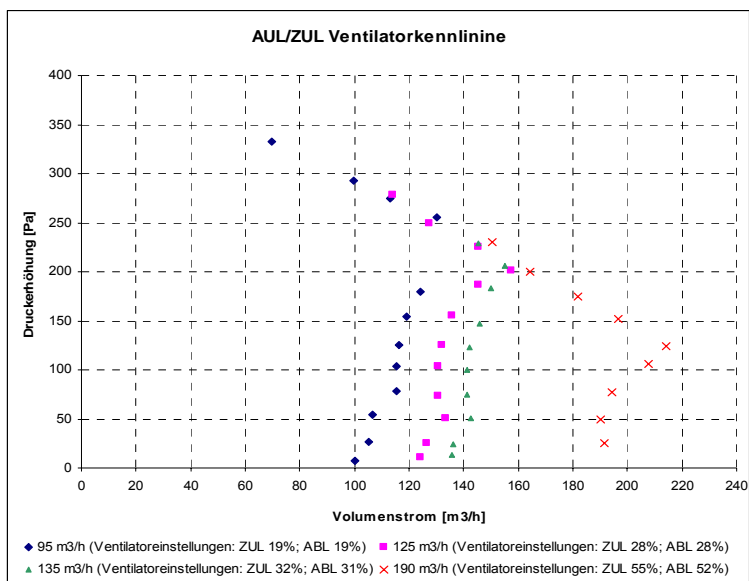


Fig. 30: Diagramm Resultate Lüftungstechnische Prüfung AUL/ZUL-Ventilator Kennlinie

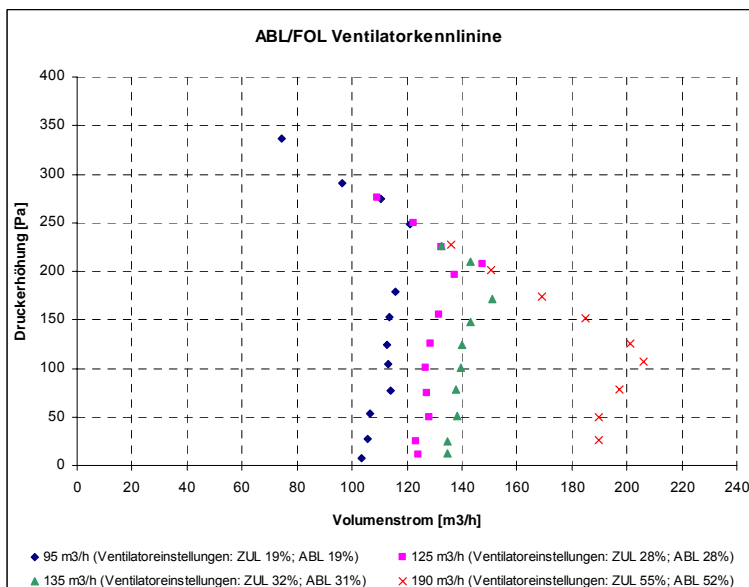


Fig. 31: Diagramm Resultate Lüftungstechnische Prüfung ABL/FOL-Ventilator Kennlinie

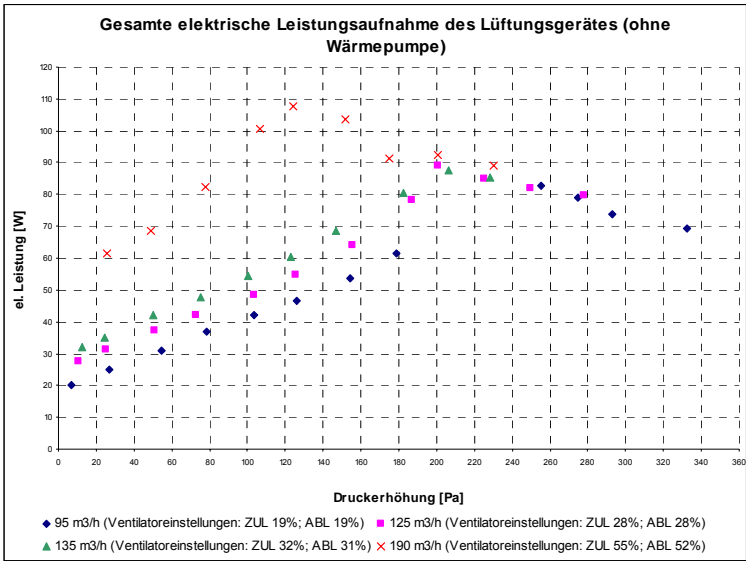


Fig. 32: Diagramm Resultate gesamte elektrische Leistungsaufnahme des Lüftungsgerätes ohne Wärmepumpe

Die Leistungsaufnahme im Standby-Betrieb beträgt 5.5 W.

Temperatur-Änderungsgrad

Die Volumenströme wurden vom Gerätehersteller vorgegeben und wurden nicht nach dem Ansatz im Prüfrelement bestimmt. Die Ablufttemperatur beträgt 21°C statt wie im Prüfrelement 20°C.

Datenzusammenstellung $t_{AUL} = 0^{\circ}C$ $t_{ABL} = 21^{\circ}C$ $\phi_{ABL} = 25\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	m_{AUL} [kg/h]	m_{ZUL} [kg/h]	m_{ABL} [kg/h]	m_{FOL} [kg/h]	Δp_{AUL} [Pa]	Δp_{ZUL} [Pa]	Δp_{ABL} [Pa]	Δp_{FOL} [Pa]	P_{EL} [W]	η_{T_ABL} [-]	η_{T_ZUL} [-]	ETV [-]
100	-0.11	17.15	20.97	6.47	124.3	117.0	119.4	110.2	52.2	55.3	45.3	50.6	35.65	0.69	0.82	15.68
120	-0.05	16.90	20.98	6.14	142.5	135.8	134.1	124.3	50.6	50.4	49.3	50.0	41.60	0.71	0.81	15.36
135	0.00	17.34	21.00	6.34	160.8	153.4	158.0	148.7	53.9	55.4	54.2	52.4	51.51	0.70	0.83	14.27

Datenzusammenstellung $t_{AUL} = 7^{\circ}C$ $t_{ABL} = 21^{\circ}C$ $\phi_{ABL} = 35\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	m_{AUL} [kg/h]	m_{ZUL} [kg/h]	m_{ABL} [kg/h]	m_{FOL} [kg/h]	Δp_{AUL} [Pa]	Δp_{ZUL} [Pa]	Δp_{ABL} [Pa]	Δp_{FOL} [Pa]	P_{EL} [W]	η_{T_ABL} [-]	η_{T_ZUL} [-]	ETV [-]
100	7.01	18.69	20.99	11.41	125.7	118.2	122.9	112.9	54.5	56.1	47.3	53.5	37.83	0.69	0.84	9.16
120	6.98	18.35	20.99	11.09	144.6	138.4	137.1	127.4	51.0	53.4	52.0	54.8	44.26	0.71	0.81	9.16
135	7.03	18.64	21.01	11.23	161.4	155.2	158.8	151.8	51.7	54.5	48.1	50.4	51.30	0.70	0.83	9.13

Datenzusammenstellung $t_{AUL} = 10^{\circ}C$ $t_{ABL} = 21^{\circ}C$ $\phi_{ABL} = 45\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	m_{AUL} [kg/h]	m_{ZUL} [kg/h]	m_{ABL} [kg/h]	m_{FOL} [kg/h]	Δp_{AUL} [Pa]	Δp_{ZUL} [Pa]	Δp_{ABL} [Pa]	Δp_{FOL} [Pa]	P_{EL} [W]	η_{T_ABL} [-]	η_{T_ZUL} [-]	ETV [-]
120	10.08	19.09	20.97	13.36	144.7	137.8	136.9	127.1	51.9	53.0	51.4	54.3	44.63	0.70	0.83	6.71

Datenzusammenstellung $t_{AUL} = 4^{\circ}C$ $t_{ABL} = 21^{\circ}C$ $\phi_{ABL} = 35\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	m_{AUL} [kg/h]	m_{ZUL} [kg/h]	m_{ABL} [kg/h]	m_{FOL} [kg/h]	Δp_{AUL} [Pa]	Δp_{ZUL} [Pa]	Δp_{ABL} [Pa]	Δp_{FOL} [Pa]	P_{EL} [W]	η_{T_ABL} [-]	η_{T_ZUL} [-]	ETV [-]
180	4.11	17.89	21.00	9.04	216.0	209.3	204.2	195.8	65.0	67.7	63.6	59.3	84.34	0.71	0.82	9.28

Fig. 33: Tabelle Temperaturänderungsgrad

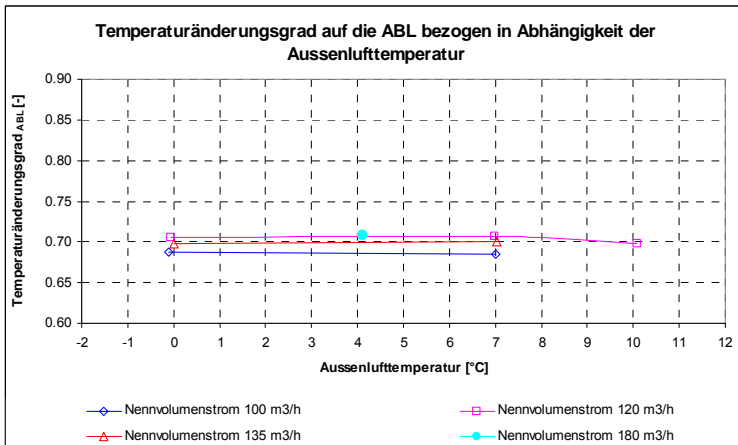


Fig. 34: Diagramm Temperaturänderungsgrad auf ABL bezogen

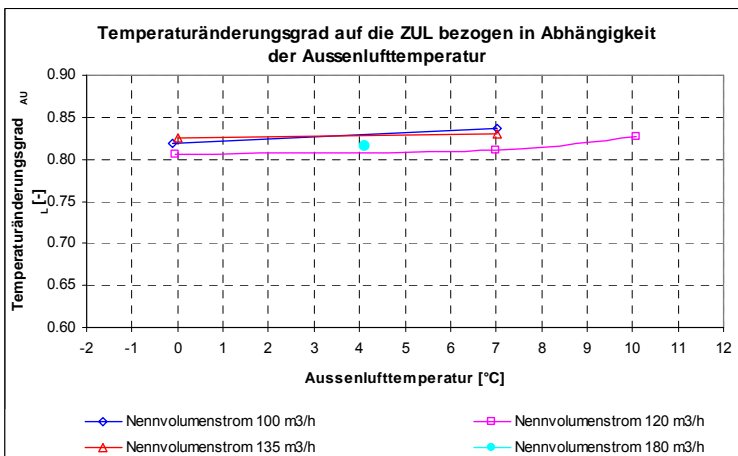


Fig. 35: Diagramm Temperaturänderungsgrad auf AUL bezogen

Elektrothermischer Verstärkungsfaktor (Elektrisches Wirkungsverhältnis)

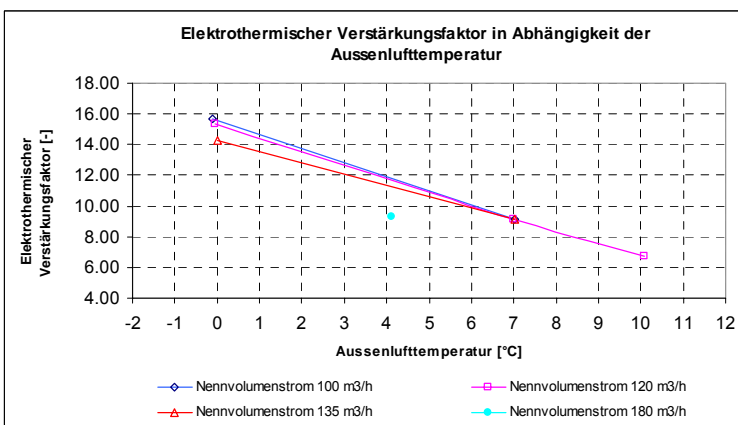
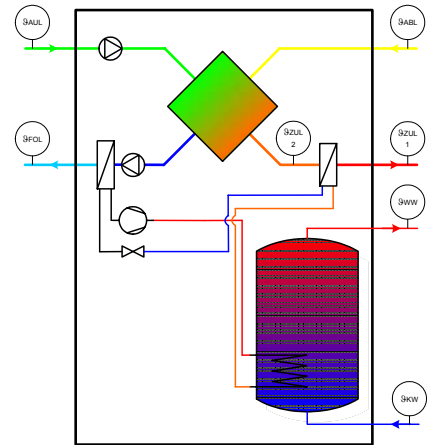
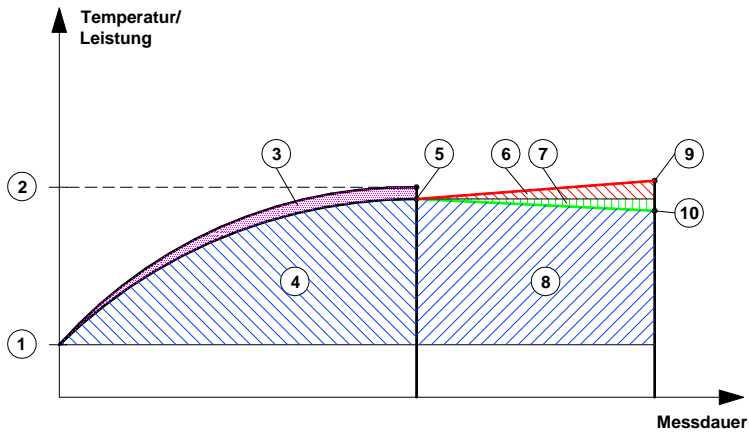


Fig. 36: Diagramm elektrothermischer Verstärkungsfaktor ETV

COP gesamtes Gerät

In einer ersten Messphase wird das Brauchwarmwasser auf 60°C aufgeheizt. Aus diesen Daten berechnet sich COP₁. In der zweiten Messphase setzt die Erwärmung der Zuluft ein. Aus diesen Daten berechnet sich COP₂.

COP₁ für die Aufheizphase des Brauchwarmwassers



Legende

1. Kaltwassertemperatur ϑ_{KW}
2. BWW-Endtemperatur nach Ladevorgang ϑ_{BWW}
3. Wärmeverluste des Speichers während des Ladevorgangs $Q_{BWW_Aufheizverluste}$
4. Effektiver Speicher-Wärmeinhalt $Q_{BWW_eff_Aufheizung}$
5. Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung ϑ_{BWW_eff}
6. Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) Q_{BWW_Gewinn}
7. Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_Verlust}$
8. Wärmeinhalt im Speicher während der Lufterwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_eff_Betrieb}$
9. BWW-Endtemperatur nach Speichermischung ϑ_{BWW_Gewinn}
10. BWW-Endtemperatur nach Speichermischung $\vartheta_{BWW_Verlust}$

$$COP_{1_Winter} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung} + Q_{ZUL_1}}{E_{el_total} \text{ (Ventilatoren, Steuerung, Verdichter)}}$$

$$COP_{1_Sommer} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung}}{E_{el_total} \text{ (Ventilatoren, Steuerung, Verdichter)}}$$

COP _{1_Winter}	COP für die Aufheizphase des BWW im Winter	[-]
COP _{1_Sommer}	COP für die Aufheizphase des BWW im Sommer	[-]
Q _{BWW_eff_Aufheizung}	Effektiver Speicher-Wärmeinhalt	[J]
Q _{ZUL_1}	ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung	[J]
E _{el_total} (Ventilator, Steuerung, Verdichter)	Elektrische Energieaufnahme für Ventilatoren, Steuerung und Verdichter	[J]

Resultate COP₁:

Datenzusammenstellung

$t_{AUL} = 2^{\circ}\text{C}$

$t_{ABL} = 21^{\circ}\text{C}$

$\phi_{ABL} = 25\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	ϕ_{AUL} [%]	ϕ_{ZUL} [%]	ϕ_{ABL} [%]	ϕ_{FOL} [%]	m_{AUL} [kg/h]	P_{EL} [W]	COP_1 [-]
100	1.89	20.33	21.12	1.39	68.4	19.7	27.2	85.6	124.3	399.0	1.42
120	2.18	20.17	21.14	1.73	71.7	21.2	27.5	85.7	136.9	404.0	1.37
135	1.91	19.94	21.14	1.83	73.3	21.7	27.5	86.7	153.1	410.5	1.42

Datenzusammenstellung

$t_{AUL} = 7^{\circ}\text{C}$

$t_{ABL} = 21^{\circ}\text{C}$

$\phi_{ABL} = 35\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	ϕ_{AUL} [%]	ϕ_{ZUL} [%]	ϕ_{ABL} [%]	ϕ_{FOL} [%]	m_{AUL} [kg/h]	P_{EL} [W]	COP_1 [-]
100	6.87	21.13	21.08	3.06	79.4	30.6	31.9	86.1	125.7	406.6	1.62
120	7.01	20.94	21.07	3.64	81.5	32.2	35.2	87.0	136.2	414.1	1.62
135	6.99	20.75	21.07	4.11	82.9	33.1	35.2	88.1	154.8	423.7	1.67

Datenzusammenstellung

$t_{AUL} = 10^{\circ}\text{C}$

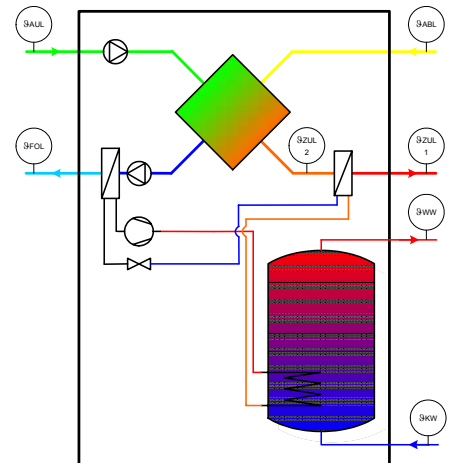
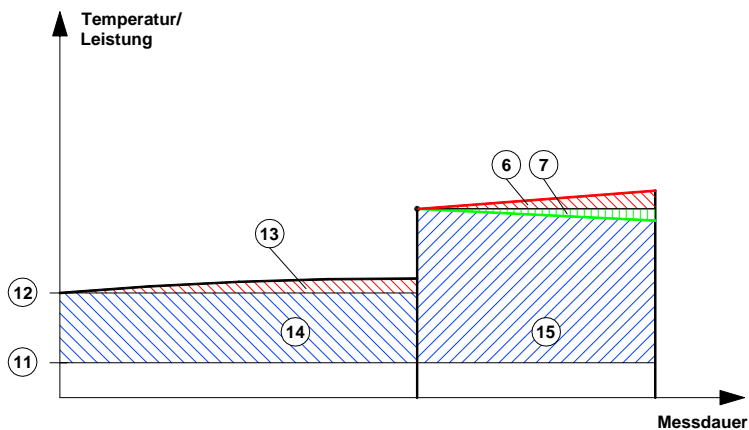
$t_{ABL} = 21^{\circ}\text{C}$

$\phi_{ABL} = 45\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	ϕ_{AUL} [%]	ϕ_{ZUL} [%]	ϕ_{ABL} [%]	ϕ_{FOL} [%]	m_{AUL} [kg/h]	P_{EL} [W]	COP_1 [-]
120	10.14	21.19	20.98	5.27	86.0	41.7	45.1	87.9	140.0	417.8	1.68

Fig. 37: Tabelle COP₁

COP₂ für die Lufterwärmung



Legende

- 6. Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit 8 Stunden) Q_{BWW_Gewinn}
- 7. Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit 8 Stunden) $Q_{BWW_Verlust}$
- 11. AUL-Temperatur ϑ_{AUL}
- 12. ZUL-Temperatur vor dem Verdampfer ϑ_{ZUL2}
- 13. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung Q_{ZUL_1}
- 14. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung durch die WRG $Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}$
- 15. ZUL-Erwärmung mit WRG und WP Q_{ZUL_WRG+WP}

$$COP_2 = \frac{Q_{ZUL_WRG+WP} + Q_{BWW_Gewinn/Verlust}}{E_{el_total}(Ventilatoren, Steuerung Verdichter)} = \frac{m_{zul} \cdot c_{pL} \cdot (\vartheta_{ZUL1} - \vartheta_{AUL}) + m_{BWW} \cdot c_W \cdot (\vartheta_{BWW_eff} - \vartheta_{BWW_Gewinn/Verlust})}{E_{el_total}(Ventilatoren, Steuerung Verdichter)}$$

COP ₂	COP für die Lufterwärmung	[-]
Q_{ZUL_WRG+WP}	ZUL-Erwärmung mit WRG und WP	[J]
Q_{BWW_Gewinn}	Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden)	[J]
$Q_{BWW_Verlust}$	Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden)	[J]
$E_{el_total}(Ventilator, Steuerung, Verdichter)$	Elektrische Energieaufnahme für Ventilatoren, Steuerung und Verdichter	[J]
m_{zul}	Zuluftmasse	[kg]
c_{pL}	spezifische Wärmekapazität Luft	[J/kgK]
c_W	spezifische Wärmekapazität Wasser	[J/kgK]
ϑ_{ZUL_1}	Zulufttemperatur im Anschlussstutzen	[°C]
ϑ_{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]
ϑ_{BWW_eff}	Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
ϑ_{BWW_Gewinn}	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
$\vartheta_{BWW_Verlust}$	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]

Resultate COP₂:

Datenzusammenstellung

$t_{AUL} = 2^{\circ}\text{C}$

$t_{ABL} = 21^{\circ}\text{C}$

$\varphi_{ABL} = 25\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	φ_{AUL} [%]	φ_{ZUL} [%]	φ_{ABL} [%]	φ_{FOL} [%]	m_{AUL} [kg/h]	P_{EL} [W]	COP_2 [-]
100	1.82	35.67	21.10	1.32	68.8	8.4	27.1	82.7	127.0	413.1	2.84
120	2.29	34.73	21.13	1.33	71.1	9.3	27.3	83.2	139.7	415.4	2.98
135	1.92	33.55	21.14	1.52	74.1	10.0	27.5	84.7	154.9	422.9	3.15

Datenzusammenstellung

$t_{AUL} = 7^{\circ}\text{C}$

$t_{ABL} = 21^{\circ}\text{C}$

$\varphi_{ABL} = 35\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	φ_{AUL} [%]	φ_{ZUL} [%]	φ_{ABL} [%]	φ_{FOL} [%]	m_{AUL} [kg/h]	P_{EL} [W]	COP_2 [-]
100	6.97	37.51	21.07	2.96	78.9	12.0	29.8	83.7	127.7	411.8	2.65
120	6.91	37.22	21.08	3.57	82.3	12.7	35.4	85.3	141.2	427.6	2.84
135	6.90	36.10	21.08	3.90	83.8	13.7	35.4	86.2	159.4	436.9	2.97

Datenzusammenstellung

$t_{AUL} = 10^{\circ}\text{C}$

$t_{ABL} = 21^{\circ}\text{C}$

$\varphi_{ABL} = 45\%$

V_{soll} [m ³ /h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	φ_{AUL} [%]	φ_{ZUL} [%]	φ_{ABL} [%]	φ_{FOL} [%]	m_{AUL} [kg/h]	P_{EL} [W]	COP_2 [-]
120	10.06	38.52	20.98	5.22	86.5	15.4	44.2	85.8	144.8	435.6	2.74

Fig. 38: Tabelle COP₂

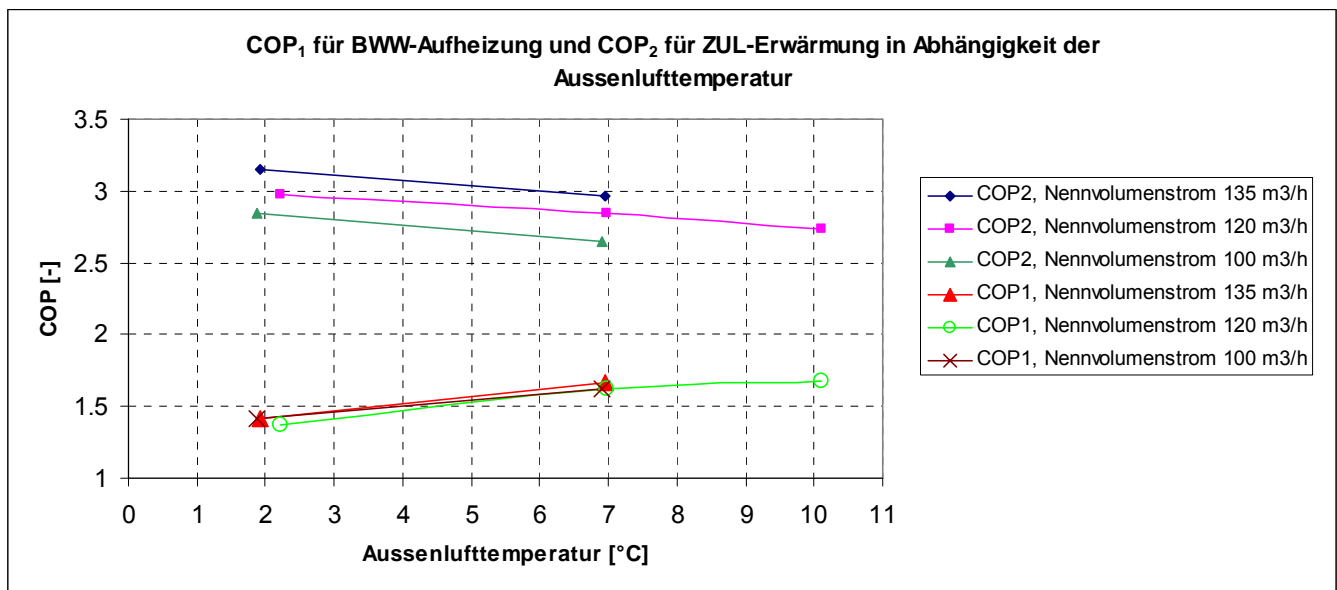
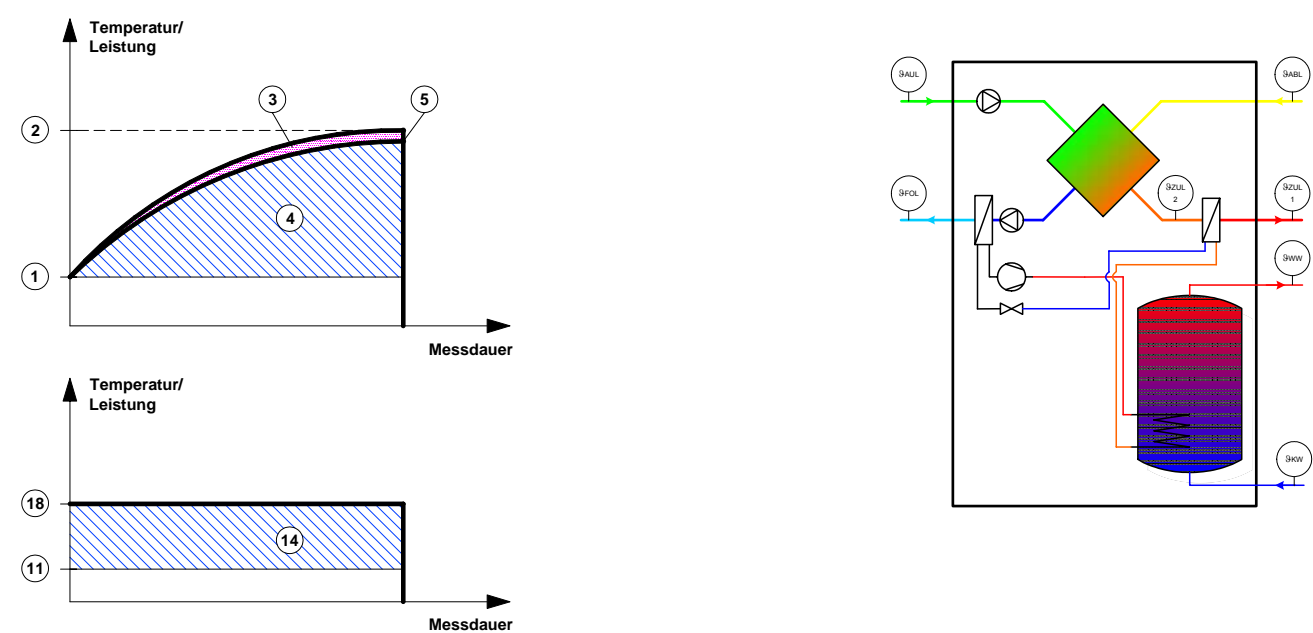


Fig. 39: Diagramm COP₁ und COP₂

Bei der Bestimmung von COP₁ für die BWW-Aufheizung bei 10°C Aussenlufttemperatur wurde die Wärme, die an die Zuluft abgegeben wurde, nicht berücksichtigt. Die Erwärmung der Zuluft wurde lediglich bei den Aussenlufttemperaturen 2°C und 7°C eingerechnet, da diese Messpunkte den Winterfall darstellen. In diesem Fall zählt die Erwärmung der Zuluft zur Nutzwärme, da die Erwärmung erwünscht ist.

COP_{5_Winter} für die Aufheizphase des Brauchwarmwassers inkl. Wärmerückgewinnung



Legende

- 1. Kaltwassertemperatur ϑ_{KW}
- 2. BWL-Endtemperatur nach Ladevorgang ϑ_{BWL}
- 3. Wärmeverluste des Speichers während des Ladevorgangs $Q_{BWL_Aufheizverluste}$
- 4. Effektiver Speicher-Wärmeinhalt $Q_{BWL_eff_Aufheizung}$
- 5. Effektive BWL-Endtemperatur nach Speichermischung ϑ_{BWL_eff}
- 11. AUL-Temperatur ϑ_{AUL}
- 14. ZUL-Erwärmung während der BWL-Ladung durch die WRG $Q_{ZUL_WRG_BWL-Ladung}$
- 18. ZUL-Temperatur im Anschlussstutzen ϑ_{ZUL1}

$$COP_{5_Winter} = \frac{Q_{BWL_eff_Aufheizung} + Q_{ZUL_WRG_BWL-Ladung}}{E_{el_total} \text{ (Ventilator, Steuerung, Verdichter)}}$$

COP _{5_Winter}	COP für die Aufheizphase des BWL inkl. WRG im Winter	[-]
Q _{BWL_eff_Aufheizung}	Effektiver Speicher-Wärmeinhalt	[J]
Q _{ZUL_WRG_BWL-Ladung}	ZUL-Erwärmung während der BWL-Ladung	[J]
E _{el_total} (Ventilator, Steuerung, Verdichter)	Elektrische Energieaufnahme für Verdichter	[J]

Datenzusammenstellung

$t_{AUL} = 2^{\circ}\text{C}$

$t_{ABL} = 21^{\circ}\text{C}$

$\phi_{ABL} = 25\%$

V_{sol} [m³/h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	ϕ_{AUL} [%]	ϕ_{ZUL} [%]	ϕ_{ABL} [%]	ϕ_{FOL} [%]	m_{AUL} [kg/h]	P_{EL} [W]	COP_5 [-]
100	1.89	20.33	21.12	1.39	68.4	19.7	27.2	85.6	124.3	399.0	2.78
120	2.18	20.17	21.14	1.73	71.7	21.2	27.5	85.7	136.9	404.0	2.87
135	1.91	19.94	21.14	1.83	73.3	21.7	27.5	86.7	153.1	410.5	3.05

Datenzusammenstellung

$t_{AUL} = 7^{\circ}\text{C}$

$t_{ABL} = 21^{\circ}\text{C}$

$\phi_{ABL} = 35\%$

V_{sol} [m³/h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	ϕ_{AUL} [%]	ϕ_{ZUL} [%]	ϕ_{ABL} [%]	ϕ_{FOL} [%]	m_{AUL} [kg/h]	P_{EL} [W]	COP_5 [-]
100	6.87	21.13	21.08	3.06	79.4	30.6	31.9	86.1	125.7	406.6	2.62
120	7.01	20.94	21.07	3.64	81.5	32.2	35.2	87.0	136.2	414.1	2.72
135	6.99	20.75	21.07	4.11	82.9	33.1	35.2	88.1	154.8	423.7	2.86

Datenzusammenstellung

$t_{AUL} = 10^{\circ}\text{C}$

$t_{ABL} = 21^{\circ}\text{C}$

$\phi_{ABL} = 45\%$

V_{sol} [m³/h]	t_{AUL} [°C]	t_{ZUL} [°C]	t_{ABL} [°C]	t_{FOL} [°C]	ϕ_{AUL} [%]	ϕ_{ZUL} [%]	ϕ_{ABL} [%]	ϕ_{FOL} [%]	m_{AUL} [kg/h]	P_{EL} [W]	COP_5 [-]
120	10.14	21.19	20.98	5.27	86.0	41.7	45.1	87.9	140.0	417.8	2.70

Fig. 40: Tabelle COP_5

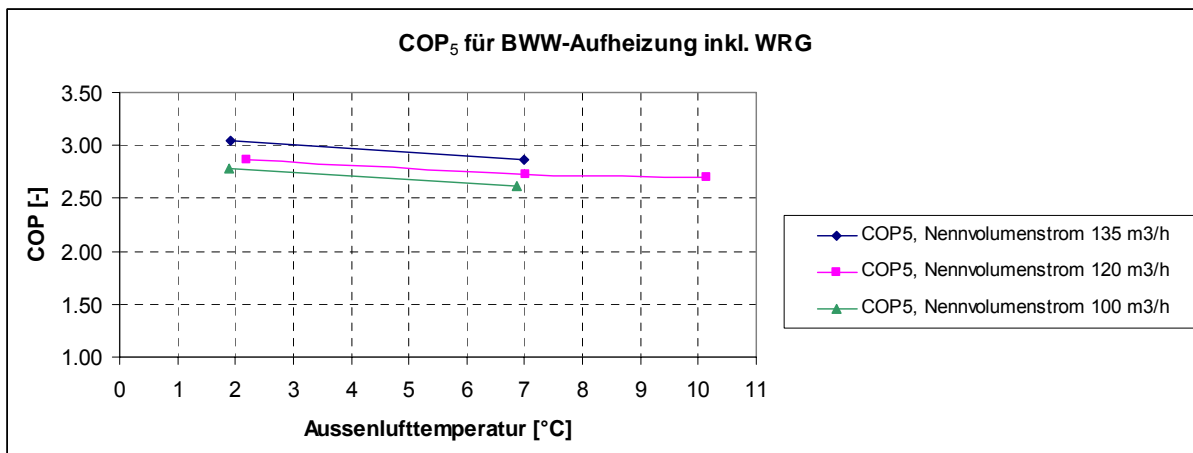


Fig. 41: Diagramm COP_5

Betriebszustände während den thermodynamischen Messungen

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die Daten der thermodynamischen Messung bei 7°C Aussenlufttemperatur und 120 m³/h Luftvolumenstrom. Das Messintervall beträgt eine Minute; eine Messung dauert rund 24 Stunden.

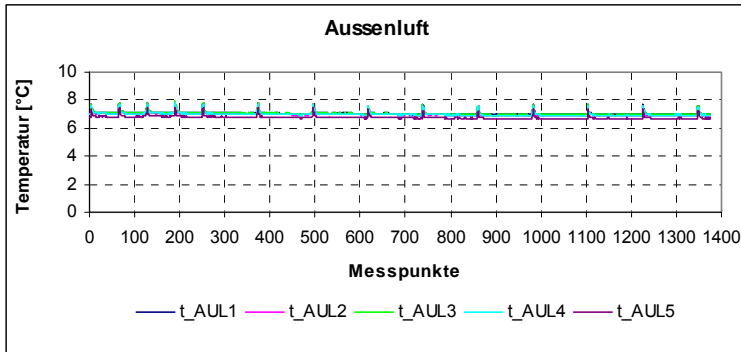


Fig. 42: Diagramm thermische Messungen Aussenlufttemperatur

Der Sollwert für die Aussenlufttemperatur wurde während der Messung gut eingehalten. Die kurzfristigen Temperaturanstiege sind Folge der automatischen Abtaugung im Kompaktlüftungsgerät. Die Aussenlufttemperatur wurde mit fünf Temperaturfühlern PT 100 gemessen.

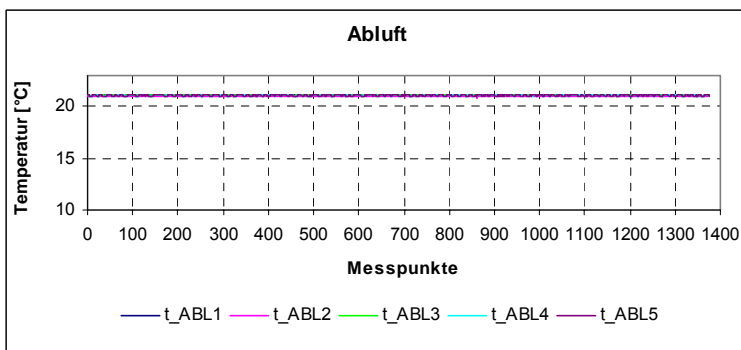


Fig. 43: Diagramm thermische Messungen Ablufttemperatur

Die Ablufttemperatur betrug in Abweichung zum Prüfglement 21°C und blieb während der Messung konstant.

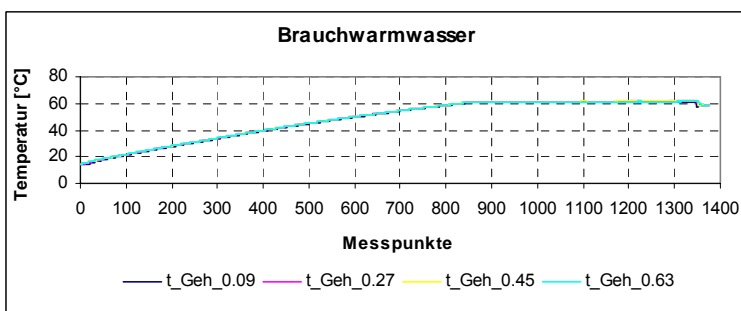


Fig. 44: Diagramm thermische Messungen Brauchwarmwassertemperatur

Das oben stehende Diagramm zeigt die Aufheizung des Brauchwarmwassers. Nach rund 14 Stunden war die Solltemperatur von 60°C erreicht. Die Temperatur des Brauchwarmwassers wurde mit vier Temperaturfühlern PT 100 gemessen, die auf unterschiedlichen Höhen am Gehäuse angebracht waren.

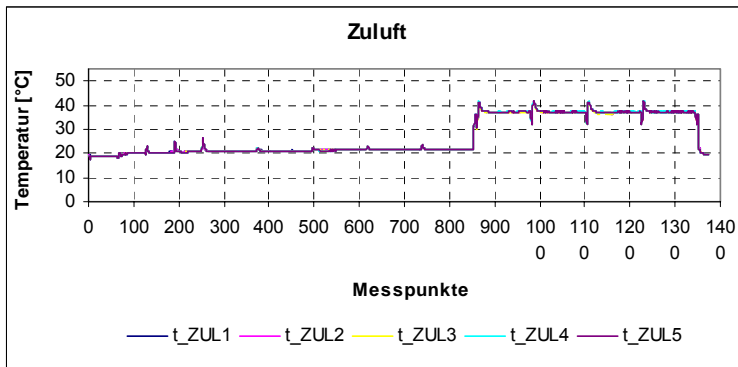


Fig. 45: Diagramm thermische Messungen Zulufttemperatur

Nachdem die Solltemperatur des Brauchwarmwassers erreicht war, setzte die Zuluft-Erwärmung ein. Von diesem Punkt an wurde noch weitere 8 Stunden gemessen. Da der Kondensator im Wassererwärmer und jener in der Zuluft in Serie geschaltet sind, wurde die Zuluft auch während des Aufheizens des Warmwassers leicht erwärmt. Die Zulufttemperatur wurde mit fünf Temperatursensoren PT 100 gemessen.

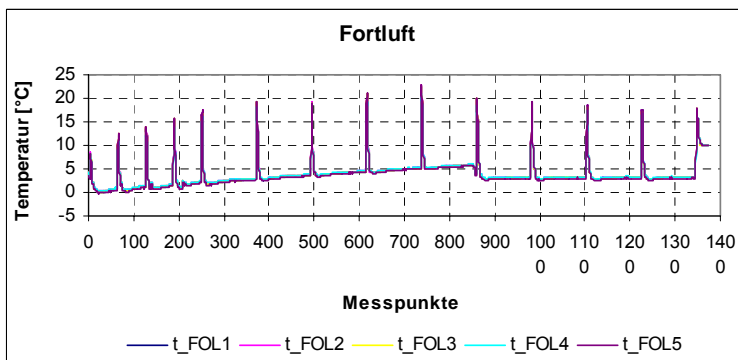


Fig. 46: Diagramm thermische Messungen Fortlufttemperatur

Der Verdampfer der Wärmepumpe befindet sich in der Fortluft. Die kurzfristigen Temperaturanstiege sind Folge der automatischen Abtauung. Die Fortlufttemperatur wurde mit fünf Temperatursensoren PT 100 gemessen.

Der Temperaturanstieg während der ersten 14 Stunden ist Folge der veränderten Verdichterleistung. Mit steigender Temperatur des Brauchwarmwassers sinkt die Leistungsabgabe des Kondensators im Wassererwärmer und somit auch die Leistungsaufnahme des Verdampfers in der Fortluft.

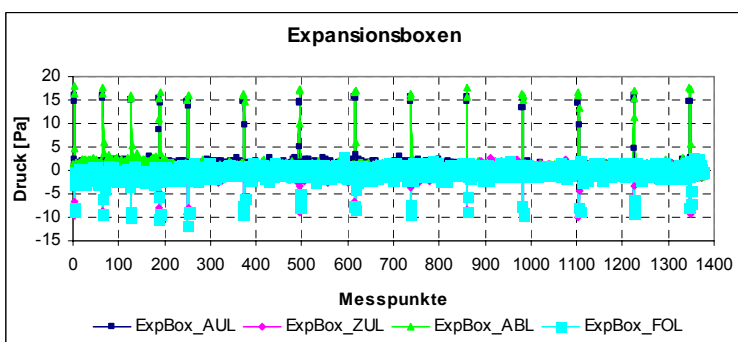


Fig. 47: Diagramm thermische Messungen Druck in Expansionsboxen

Das Kompaktlüftungsgerät bezieht die von der Luftaufbereitungsanlage des Prüfstandes konditionierte Luft aus den Expansionsboxen. Der Überdruck zur Umgebung soll hier gleich null sein. Die kurzfristigen Anstiege resp. Senkungen sind wiederum Folge der automatischen Abtauung.

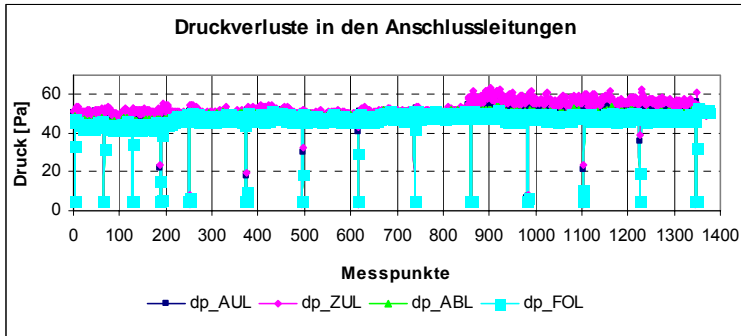


Fig. 48: Diagramm thermische Messungen Druckverluste in den Anschlussleitungen

Der Druckverlust in den Anschlussleitungen beträgt ein- und austrittseitig je 50 Pa. Die kurzfristigen Senkungen sind wiederum Folge der automatischen Abtauung, da in diesem Fall die Ventilatoren ausgeschaltet werden.

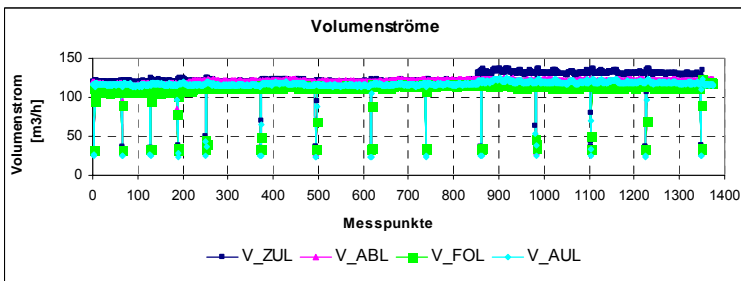


Fig. 49: Diagramm thermische Messungen Volumenströme in den Anschlussstutzen

Der Sollvolumenstrom für diese Messung betrug 120 m³/h. Die kurzfristigen Senkungen sind wiederum Folge der automatischen Abtauung, da in diesem Fall die Ventilatoren ausgeschaltet werden.

Geräuschabstrahlung durch Gehäuse und in die Luftanschlussrohre

Geräuschabstrahlung Gehäuse

Die akustische Messung des Gehäuses erfolgte nach EN 9614-1 [7].

Randbedingungen:

Luftvolumenströme: 120 m³/h

Druckverlust Aussenluft/Zuluft: 100 Pa

Druckverlust Abluft/Fortluft: 100 Pa

Aussenlufttemperatur: 10 °C

Ablufttemperatur: 21 °C

Die Oberfläche des Gehäuses wurde nach folgender Skizze in Teilflächen eingeteilt:

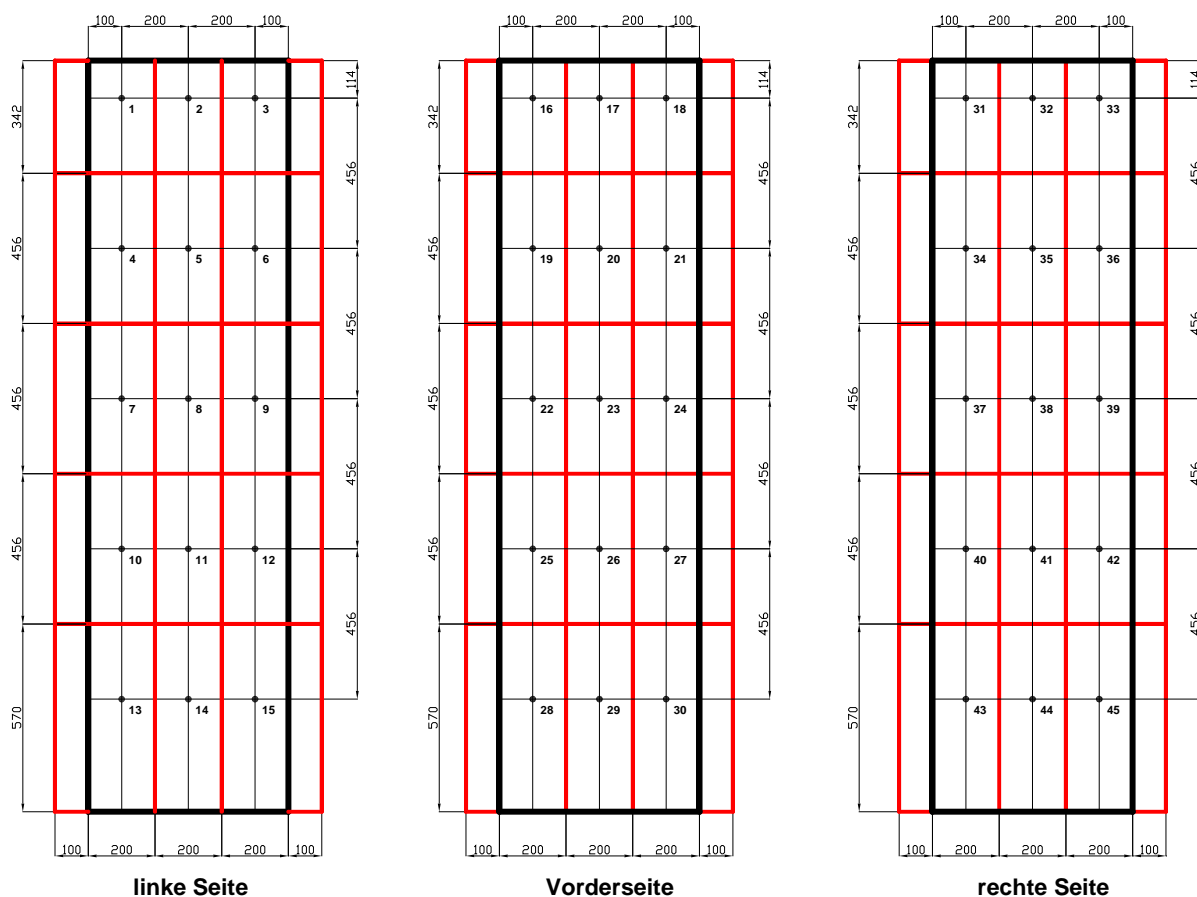


Fig. 50: Messpunkte für die Gehäuseschallabstrahlung

Terzband	Intensität linke Seite	Fläche linke Seite	Schallleistungspegel linke Seite	Intensität vorne	Fläche Vorderseite	Schallleistungspegel Vorderseite	Intensität rechte Seite	Fläche rechte Seite	Schallleistungspegel rechte Seite	Gesamtschallleistungspegel unbewertet	A-Bewertungsfilter	Gesamtschallleistungspegel bewertet
Frequenz Berechnung Hz	I_l dB	A_l dB	L_{wl} dB	I_v dB	A_v dB	L_{wv} dB	I_r dB	A_r dB	L_{wr} dB	L_w dB		$L_w(A)$ dB
50	56.7	2.6	59.3	54.0	2.6	56.6	56.4	2.6	59.0	63.3	-30.2	33.1
63	50.0	2.6	52.7	44.5	2.6	47.1	48.6	2.6	51.2	55.7	-26.1	29.6
80	46.8	2.6	49.4	39.5	2.6	42.1	46.7	2.6	49.3	52.7	-22.4	30.3
100	44.0	2.6	46.7	39.9	2.6	42.5	40.4	2.6	43.0	49.2	-19.1	30.1
125	42.1	2.6	44.8	36.5	2.6	39.1	35.6	2.6	38.2	46.5	-16.0	30.5
160	36.0	2.6	38.6	36.7	2.6	39.3	33.1	2.6	35.7	42.9	-13.3	29.6
200	33.1	2.6	35.7	30.7	2.6	33.3	31.1	2.6	33.8	39.2	-10.8	28.4
250	28.1	2.6	30.7	25.7	2.6	28.3	26.2	2.6	28.8	34.2	-8.6	25.6
315	21.2	2.6	23.8	16.4	2.6	19.0	21.2	2.6	23.8	27.5	-6.6	20.9
400	18.4	2.6	21.0	16.0	2.6	18.6	16.6	2.6	19.2	24.5	-4.8	19.7
500	15.6	2.6	18.2	13.1	2.6	15.7	13.2	2.6	15.8	21.5	-3.2	18.3
630	18.0	2.6	20.6	11.6	2.6	14.2	17.6	2.6	20.2	23.9	-1.9	22.0
800	11.8	2.6	14.4	8.2	2.6	10.8	10.8	2.6	13.4	17.9	-0.8	17.1
1000	8.3	2.6	10.9	6.1	2.6	8.7	8.9	2.6	11.6	15.3	0.0	15.3
1250	8.2	2.6	10.9	3.1	2.6	5.7	6.9	2.6	9.5	13.9	0.6	14.5
1600	13.5	2.6	16.1	8.5	2.6	11.1	12.0	2.6	14.6	19.2	1.0	20.2
2000	5.1	2.6	7.7	4.1	2.6	6.7	4.8	2.6	7.4	12.0	1.2	13.2
2500	5.2	2.6	7.9	4.6	2.6	7.2	2.9	2.6	5.5	11.7	1.3	13.0
3150	4.2	2.6	6.8	5.3	2.6	7.9	3.2	2.6	5.9	11.7	1.2	12.9
4000	5.2	2.6	7.8	4.0	2.6	6.6	2.6	2.6	5.2	11.4	1.0	12.4
5000	5.9	2.6	8.5	8.0	2.6	10.6	2.1	2.6	4.7	13.3	0.6	13.9
6300	7.2	2.6	9.8	7.5	2.6	10.1	3.5	2.6	6.1	13.8	-0.1	13.7
8000	7.3	2.6	9.9	6.5	2.6	9.2	3.9	2.6	6.5	13.5	-1.1	12.4
10000												
Total			61			58			60	65		40

Fig. 51: Tabelle abgestrahlter Schallleistungspegel durch das Gehäuse

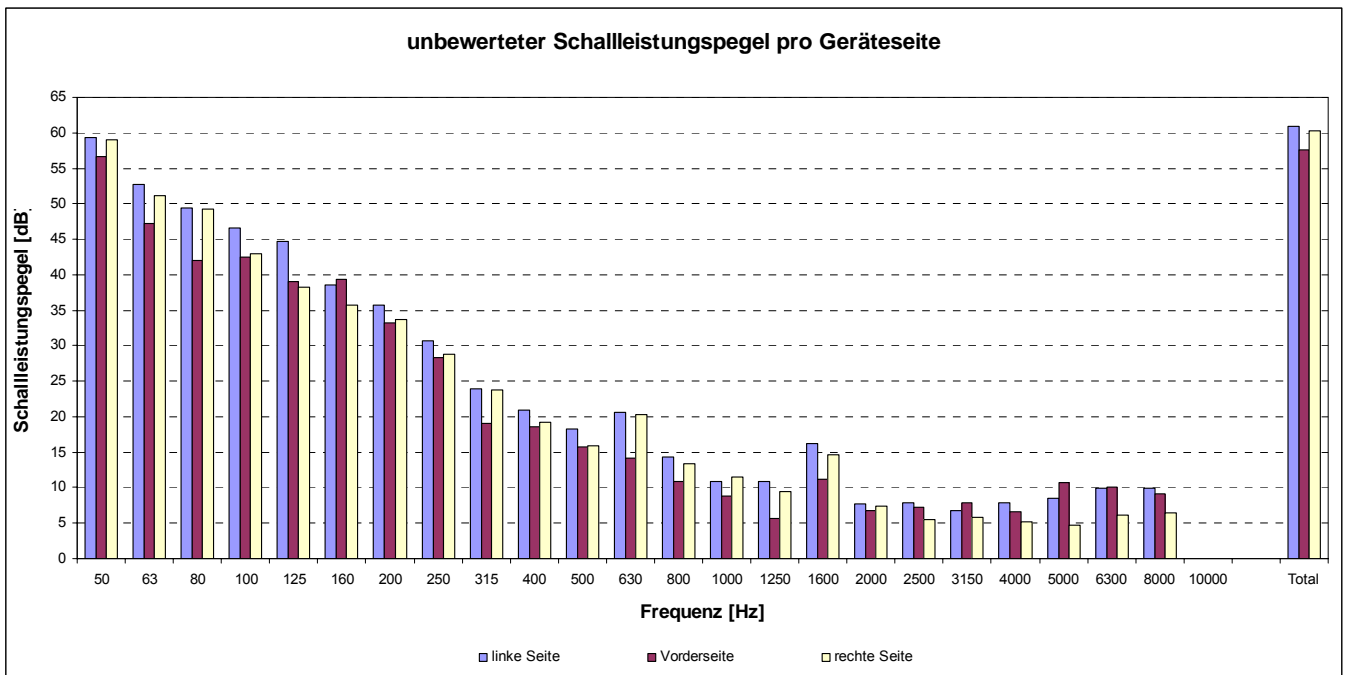


Fig. 52: Diagramm Schallleistungspegel pro Geräteseite

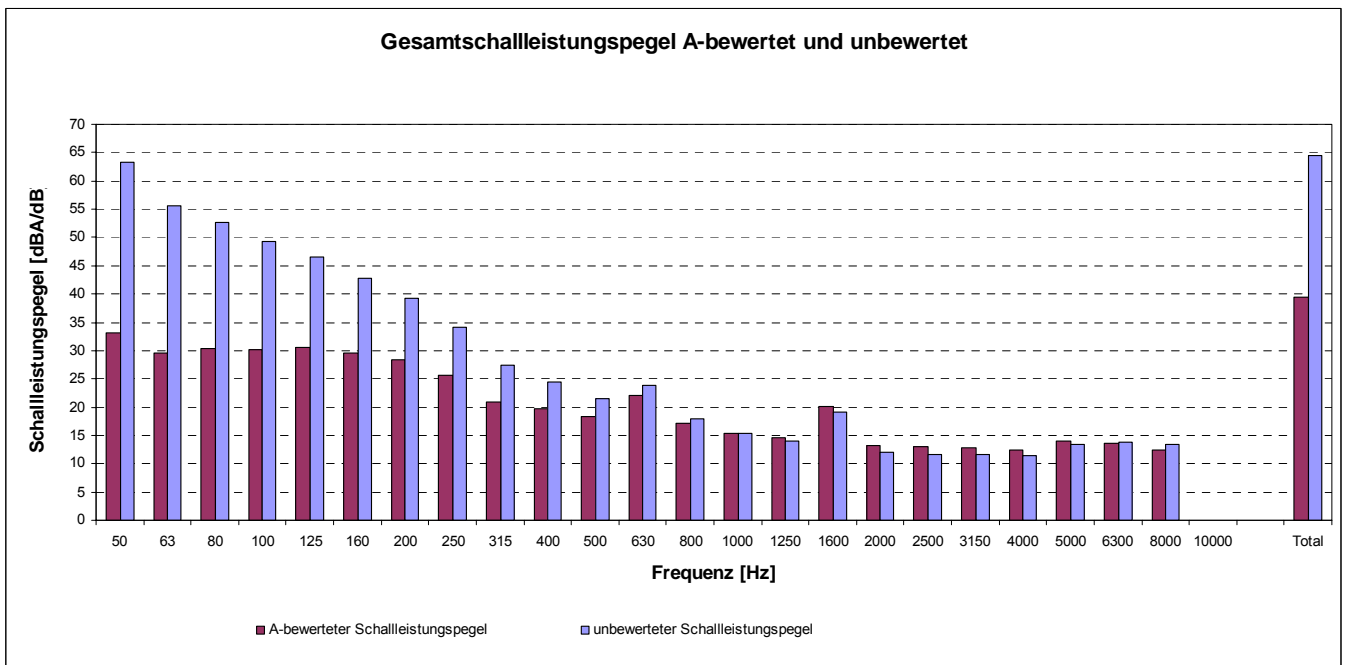


Fig. 53: Tabelle Gesamtschallleistungspegel durch das Gehäuse A-bewertet und unbewertet

Geräuschabstrahlung in die Luftanschlussrohre

Die akustische Messung der Rohre erfolgte nach den folgenden Normen EN ISO 3741 [11] und EN ISO 5135 [12]:

Randbedingungen:

Messort: Hallraum

Raumlufttemperatur: 18°C

Temperatur der Luftvolumenströme: 18°C

Aussenluft:

Volumenstrom externer Druck	WRG+WP						WRG					
	137 m3/h 71.3 Pa		137 m3/h 104.1 Pa		136 m3/h 130.8 Pa		138 m3/h 73.0 Pa		135 m3/h 99.9 Pa		134 m3/h 126.0 Pa	
f Hz	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)
100	48.5	29.4	51.2	32.1	54.4	35.3	48.6	29.5	50.7	31.6	54.5	35.4
125	41.8	25.7	43.8	27.7	44.7	28.6	41.3	25.2	43.5	27.4	44.7	28.6
160	40.3	26.9	42.4	29.0	43.6	30.2	40.3	26.9	41.9	28.5	43.3	29.9
200	43.6	32.7	45.8	34.9	47.5	36.6	43.9	33.0	46.0	35.1	47.2	36.3
250	37.1	28.5	39.2	30.6	40.7	32.1	37.3	28.7	39.2	30.6	40.5	31.9
315	32.5	25.9	34.1	27.5	35.4	28.8	33.0	26.4	34.7	28.1	35.8	29.2
400	28.6	23.8	30.5	25.7	31.9	27.1	28.9	24.1	30.9	26.1	31.9	27.1
500	25.9	22.7	27.5	24.3	28.9	25.7	26.0	22.8	27.4	24.2	28.5	25.3
630	22.7	20.8	23.6	21.7	24.3	22.4	22.2	20.3	23.5	21.6	24.1	22.2
800	26.0	25.2	27.0	26.2	28.2	27.4	26.7	25.9	27.8	27.0	28.8	28.0
1000	25.5	25.5	26.7	26.7	27.6	27.6	25.7	25.7	26.9	26.9	27.7	27.7
1250	18.2	18.8	19.5	20.1	20.0	20.6	18.0	18.6	19.3	19.9	20.2	20.8
1600	16.1	17.1	16.7	17.7	17.4	18.4	15.9	16.9	16.7	17.7	17.2	18.2
2000	12.5	13.7	13.0	14.2	13.5	14.7	12.1	13.3	12.9	14.1	13.3	14.5
2500	12.7	14.0	13.1	14.4	13.6	14.9	12.3	13.6	13.2	14.5	13.6	14.9
3150	17.4	18.6	17.1	18.3	17.6	18.8	16.9	18.1	17.0	18.2	17.6	18.8
4000	13.9	14.9	14.2	15.2	14.1	15.1	13.7	14.7	14.1	15.1	14.0	15.0
5000	14.8	15.3	14.9	15.4	15.0	15.5	14.8	15.3	14.9	15.4	15.0	15.5
6300	16.7	16.8	16.7	16.8	16.8	16.9	16.7	16.8	16.7	16.8	16.7	16.8
8000	18.6	17.5	18.6	17.5	18.6	17.5	18.6	17.5	18.6	17.5	18.6	17.5
10000	20.7	18.2	20.7	18.2	20.7	18.2	20.6	18.1	20.7	18.2	20.7	18.2
Total	51.1	38.1	53.6	40.0	56.1	41.7	51.2	38.3	53.2	40.0	56.0	41.6

Fig. 54: Tabelle Geräuschabstrahlung im Aussenluftrohr

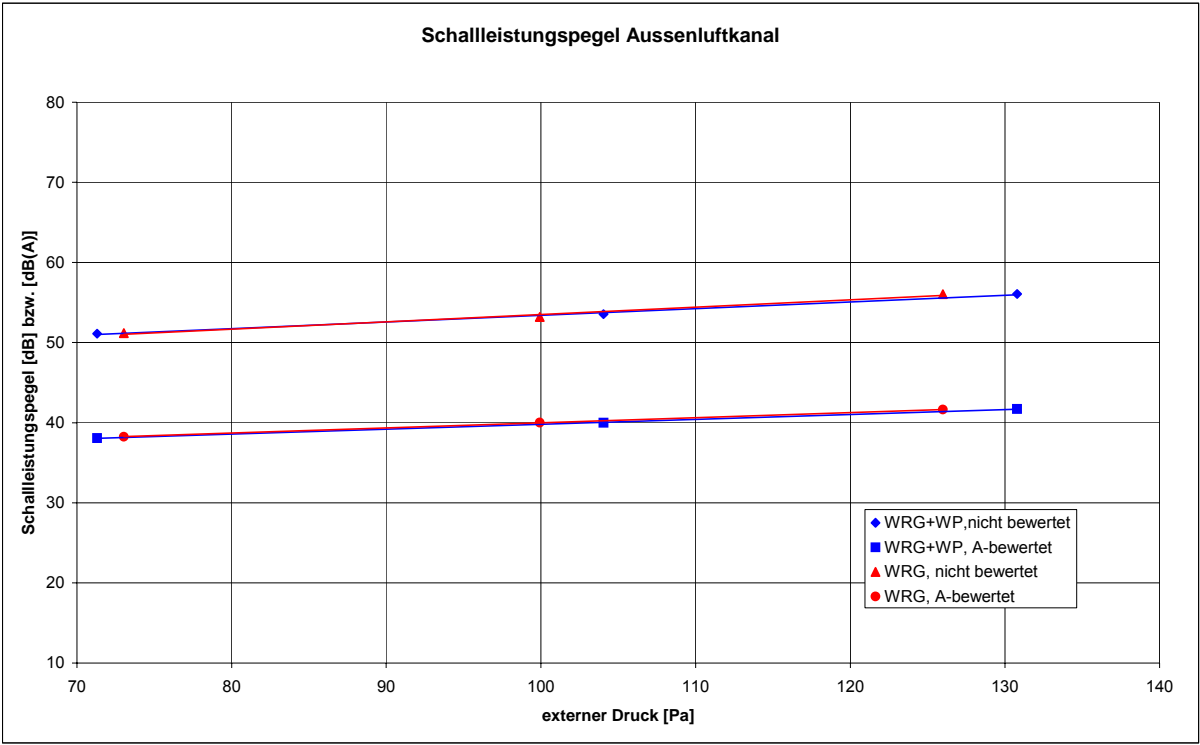


Fig. 55: Diagramm Geräuschabstrahlung im Aussenluftrohr

Zuluft (WRG+WP mit und ohne Schalldämpfer)

Volumenstrom externer Druck	WRG+WP						WRG						WRG+WP mit Schalldämpfer					
	133 m³/h 72.1 Pa		133 m³/h 99.8 Pa		136 m³/h 132.5 Pa		135 m³/h 70.8 Pa		136 m³/h 96.4 Pa		135 m³/h 131.4 Pa		134 m³/h 72.3 Pa		135 m³/h 102.4 Pa		139 m³/h 134.1 Pa	
	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)
f Hz																		
100	61.5	42.4	63.0	43.9	65.1	46.0	61.7	42.6	62.9	43.8	65.4	46.3	53.3	34.2	55.0	35.9	57.8	38.7
125	57.1	41.0	58.7	42.6	61.4	45.3	57.0	40.9	59.2	43.1	61.0	44.9	46.4	30.3	48.0	31.9	50.2	34.1
160	53.3	39.9	54.9	41.5	57.4	44.0	53.1	39.7	55.1	41.7	57.1	43.7	41.9	28.5	44.0	30.6	46.4	33.0
200	53.9	43.0	55.8	44.9	58.0	47.1	54.0	43.1	55.7	44.8	57.9	47.0	36.1	25.2	38.0	27.1	40.3	29.4
250	53.9	45.3	55.5	46.9	57.6	49.0	53.8	45.2	55.5	46.9	57.3	48.7	29.1	20.5	30.8	22.2	33.2	24.6
315	50.5	43.9	51.9	45.3	53.7	47.1	50.6	44.0	51.8	45.2	53.6	47.0	32.0	25.4	33.7	27.1	35.6	29.0
400	49.5	44.7	51.1	46.3	52.2	47.4	49.5	44.7	50.9	46.1	52.1	47.3	33.3	28.5	34.5	29.7	35.9	31.1
500	46.7	43.5	48.1	44.9	49.7	46.5	46.8	43.6	48.0	44.8	49.7	46.5	30.7	27.5	32.2	29.0	34.0	30.8
630	46.3	44.4	47.4	45.5	48.9	47.0	46.4	44.5	47.6	45.7	48.8	46.9	22.6	20.7	23.8	21.9	25.1	23.2
800	48.1	47.3	49.4	48.6	50.9	50.1	48.1	47.3	49.5	48.7	50.9	50.1	14.9	14.1	15.7	14.9	17.0	16.2
1000	44.7	44.7	45.8	45.8	47.5	47.5	44.8	44.8	45.8	45.8	47.3	47.3	12.2	12.2	12.8	12.8	13.8	13.8
1250	35.5	36.1	37.3	37.9	39.0	39.6	35.6	36.2	37.3	37.9	39.0	39.6	11.2	11.8	11.5	12.1	12.6	13.2
1600	28.7	29.7	30.9	31.9	35.4	36.4	28.6	29.6	30.4	31.4	32.9	33.9	11.1	12.1	11.5	12.5	12.3	13.3
2000	17.3	18.5	25.7	26.9	32.2	33.4	17.3	18.5	18.5	19.7	25.8	27.0	10.3	11.5	10.4	11.6	10.9	12.1
2500	16.3	17.6	24.2	25.5	32.4	33.7	16.3	17.6	17.6	18.9	26.3	27.6	11.1	12.4	11.2	12.5	11.3	12.6
3150	24.7	25.9	29.1	30.3	33.1	34.3	24.9	26.1	26.4	27.6	30.3	31.5	17.6	18.8	17.4	18.6	17.4	18.6
4000	27.7	28.7	31.2	32.2	34.0	35.0	27.8	28.8	29.6	30.6	32.9	33.9	13.2	14.2	13.2	14.2	13.3	14.3
5000	25.9	26.4	30.0	30.5	32.4	32.9	26.0	26.5	27.8	28.3	31.6	32.1	14.9	15.4	14.9	15.4	14.9	15.4
6300	24.4	24.5	30.0	30.1	32.0	32.1	24.5	24.6	26.2	26.3	31.5	31.6	16.8	16.9	16.8	16.9	16.8	16.9
8000	23.9	22.8	30.3	29.2	31.9	30.8	24.0	22.9	25.6	24.5	31.7	30.6	18.5	17.4	18.5	17.4	18.5	17.4
10000	22.2	19.7	32.5	30.0	33.6	31.1	22.3	19.8	23.1	20.6	33.4	30.9	20.8	18.3	20.8	18.3	20.7	18.2
Total	64.8	54.6	66.3	56.1	68.6	57.9	64.9	54.6	66.4	56.1	68.6	57.8	54.5	38.4	56.2	40.0	58.9	42.3

Fig. 56: Tabelle Geräuschabstrahlung im Zuluftrohr

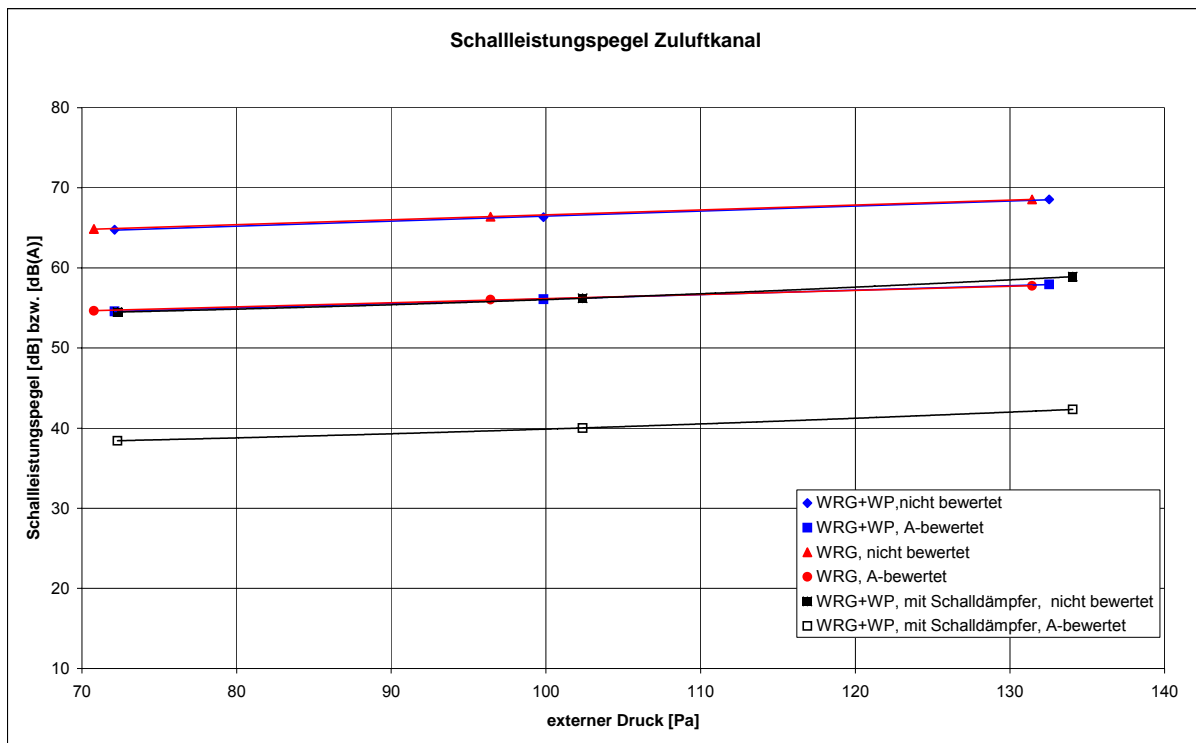


Fig. 57: Diagramm Geräuschabstrahlung im Zuluftrohr

Abluft

Volumenstrom externer Druck	WRG+WP						WRG					
	133 m3/h 70.1 Pa		132 m3/h 100.6 Pa		133 m3/h 131.1 Pa		137 m3/h 72.3 Pa		136 m3/h 99.6 Pa		139 m3/h 134.1 Pa	
f Hz	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)
100	45.3	26.2	47.5	28.4	51.3	32.2	45.4	26.3	47.6	28.5	51.6	32.5
125	40.9	24.8	43.1	27.0	45.6	29.5	41.5	25.4	42.8	26.7	46.1	30.0
160	40.7	27.3	43.0	29.6	45.4	32.0	40.9	27.5	42.4	29.0	45.4	32.0
200	42.6	31.7	45.1	34.2	47.6	36.7	43.1	32.2	44.6	33.7	47.5	36.6
250	36.7	28.1	38.2	29.6	40.7	32.1	37.3	28.7	38.6	30.0	41.6	33.0
315	33.9	27.3	35.9	29.3	37.8	31.2	33.9	27.3	35.7	29.1	38.7	32.1
400	29.7	24.9	31.4	26.6	34.0	29.2	30.3	25.5	32.5	27.7	34.6	29.8
500	25.5	22.3	27.1	23.9	29.0	25.8	25.8	22.6	26.7	23.5	29.2	26.0
630	26.2	24.3	27.5	25.6	28.7	26.8	25.6	23.7	26.4	24.5	28.8	26.9
800	29.5	28.7	31.2	30.4	33.0	32.2	29.6	28.8	30.6	29.8	33.2	32.4
1000	28.5	28.5	29.9	29.9	32.0	32.0	28.8	28.8	29.9	29.9	32.4	32.4
1250	20.1	20.7	22.0	22.6	24.4	25.0	20.4	21.0	21.7	22.3	24.5	25.1
1600	19.1	20.1	20.7	21.7	22.6	23.6	19.4	20.4	20.4	21.4	22.6	23.6
2000	15.7	16.9	17.8	19.0	20.1	21.3	16.3	17.5	17.7	18.9	20.1	21.3
2500	15.6	16.9	17.8	19.1	20.4	21.7	16.0	17.3	17.5	18.8	20.2	21.5
3150	15.1	16.3	17.1	18.3	19.4	20.6	18.6	19.8	19.9	21.1	19.4	20.6
4000	17.8	18.8	19.9	20.9	22.7	23.7	18.4	19.4	19.7	20.7	22.6	23.6
5000	16.0	16.5	17.3	17.8	19.2	19.7	16.5	17.0	17.2	17.7	19.2	19.7
6300	16.9	17.0	17.3	17.4	18.1	18.2	17.2	17.3	17.4	17.5	18.1	18.2
8000	19.0	17.9	19.2	18.1	19.9	18.8	19.4	18.3	19.5	18.4	19.9	18.8
10000	20.2	17.7	20.2	17.7	20.3	17.8	21.2	18.7	21.1	18.6	20.4	17.9
Total	49.4	38.3	51.6	40.2	54.6	42.6	49.7	38.7	51.4	40.0	54.9	42.9

Fig. 58: Tabelle Geräuschabstrahlung im Abluftrohr

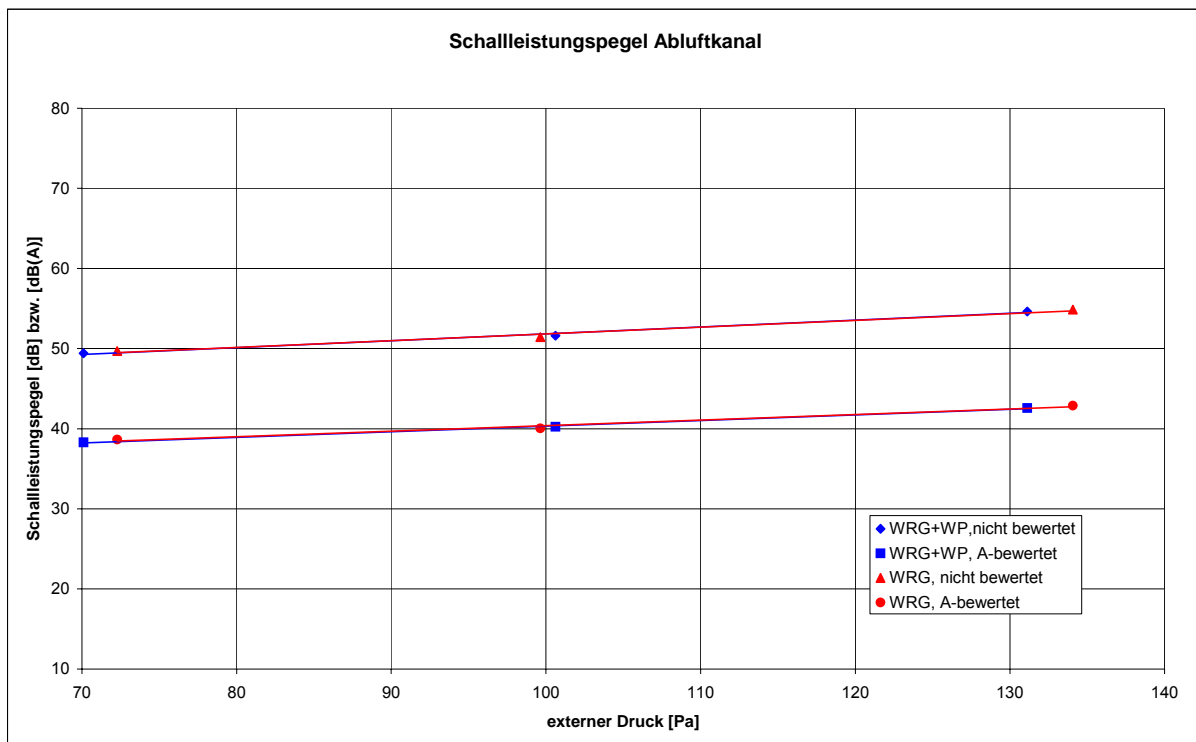


Fig. 59: Diagramm Geräuschabstrahlung im Abluftrohr

Fortluft

Volumenstrom externer Druck	WRG+WP						WRG					
	136 m³/h 70.8 Pa		132 m³/h 101.2 Pa		138 m³/h 129.3 Pa		138 m³/h 72.3 Pa		133 m³/h 98.3 Pa		136 m³/h 129.6 Pa	
f Hz	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)	Lw dB	Lw dB (A)
100	58.6	39.5	61.0	41.9	62.8	43.7	60.6	41.5	61.5	42.4	63.4	44.3
125	54.6	38.5	56.9	40.8	58.6	42.5	55.5	39.4	57.1	41.0	58.4	42.3
160	49.6	36.2	52.2	38.8	54.5	41.1	50.3	36.9	52.1	38.7	54.1	40.7
200	50.7	39.8	52.3	41.4	54.7	43.8	51.3	40.4	52.9	42.0	55.0	44.1
250	52.6	44.0	54.4	45.8	56.4	47.8	53.7	45.1	54.9	46.3	56.8	48.2
315	49.3	42.7	50.9	44.3	52.7	46.1	49.5	42.9	51.1	44.5	52.6	46.0
400	47.2	42.4	49.0	44.2	51.4	46.6	47.8	43.0	49.1	44.3	50.9	46.1
500	45.2	42.0	46.9	43.7	48.9	45.7	46.1	42.9	47.2	44.0	49.0	45.8
630	45.5	43.6	47.3	45.4	48.7	46.8	45.4	43.5	46.9	45.0	48.2	46.3
800	47.0	46.2	48.3	47.5	49.8	49.0	48.0	47.2	48.8	48.0	50.1	49.3
1000	41.8	41.8	42.6	42.6	44.0	44.0	43.3	43.3	43.6	43.6	44.4	44.4
1250	32.6	33.2	34.2	34.8	36.0	36.6	33.6	34.2	34.7	35.3	36.0	36.6
1600	24.1	25.1	26.0	27.0	28.0	29.0	25.9	26.9	27.1	28.1	28.7	29.7
2000	15.9	17.1	16.7	17.9	18.0	19.2	16.2	17.4	17.0	18.2	18.2	19.4
2500	16.5	17.8	17.6	18.9	19.0	20.3	16.8	18.1	17.8	19.1	18.9	20.2
3150	25.1	26.3	26.7	27.9	28.4	29.6	25.1	26.3	26.7	27.9	28.1	29.3
4000	27.0	28.0	28.8	29.8	30.7	31.7	27.8	28.8	29.3	30.3	30.9	31.9
5000	25.2	25.7	27.1	27.6	29.0	29.5	26.0	26.5	27.5	28.0	29.1	29.6
6300	22.4	22.5	24.0	24.1	25.8	25.9	23.0	23.1	24.4	24.5	26.0	26.1
8000	22.8	21.7	24.4	23.3	26.2	25.1	23.2	22.1	24.7	23.6	26.3	25.2
10000	21.6	19.1	22.5	20.0	23.4	20.9	22.1	19.6	22.7	20.2	23.7	21.2
Total	62.3	52.8	64.4	54.5	66.3	56.3	63.6	53.6	64.8	54.8	66.6	56.3

Fig. 60: Tabelle Geräuschabstrahlung im Fortluftrohr

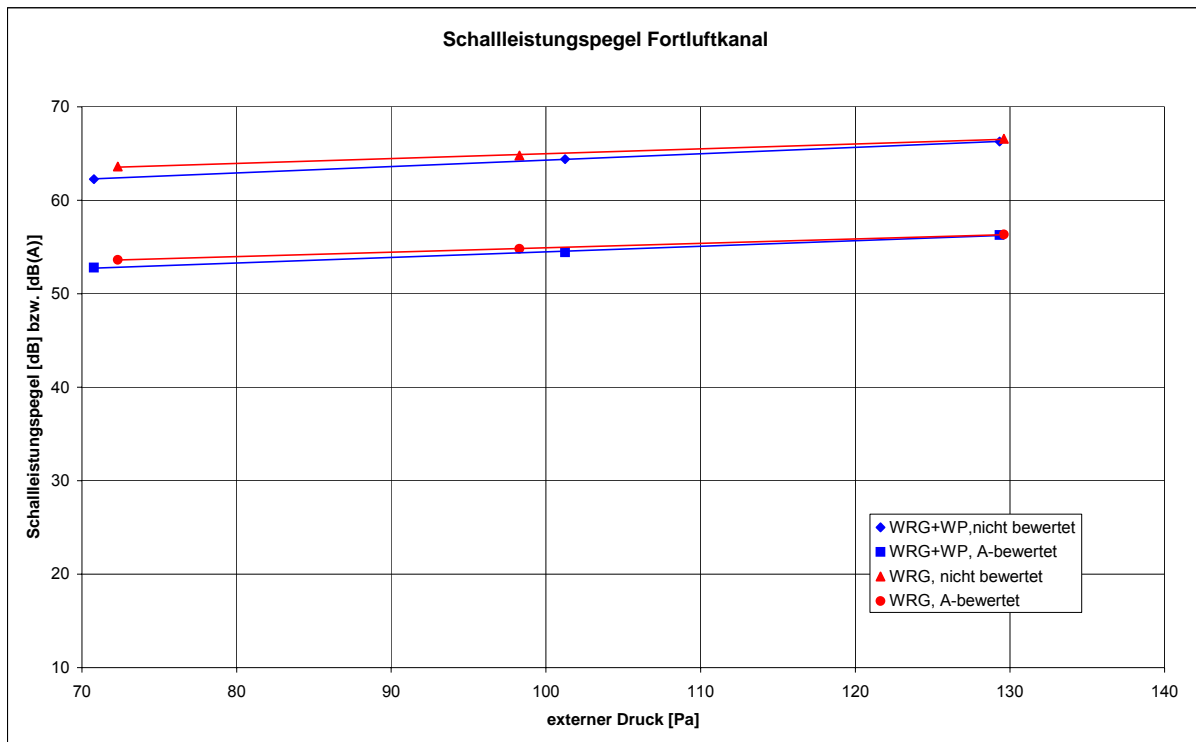


Fig. 61: Diagramm Geräuschabstrahlung im Fortluftrohr

6 Schlussbemerkungen und Ausblick

Der Prüfstand hat sich bei der ersten Geräteprüfung gut bewährt. Um den Bedienkomfort noch zu verbessern, resp. zu vereinfachen sind noch einige Anpassungen an der Visualisierungsoberfläche Promos zu machen. Bei Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe für Brauchwassererwärmung dauert eine Messung mehrere Stunden. Somit stellt sich die Frage der Fernüberwachung und – bedienung. Momentan sind Aufträge für Messungen an weiteren drei Komfortlüftungsgeräten vorhanden. Wir hoffen, dass im Jahre 2006 noch weitere Geräte mit finanzieller Beteiligung des BFE durchgeführt werden können. Die nationalen und internationalen Entwicklungen bei den Normen müssen laufend beobachtet werden. Das Prüfrelement in der heutigen Fassung wird sicher noch Änderungen erfahren. Insbesondere sind die Abluftfeuchtigkeiten noch in Diskussion und im CEN/TC 113 sollten die Prüfanforderungen für WP-Wassererwärmung als Ablösung der EN 255-3 erfolgen. Die Erkenntnis, dass die bestehenden Prüfrelemente nur schlecht auf Kompaktgeräte mit Wärmepumpe angewendet werden können, führten auch in Deutschland zu einem Forschungsvorhaben, das dieses Jahr abgeschlossen wurde. Diese Arbeit verfolgt ähnliche Ziele wie die unseren. Es ist zu hoffen, dass in absehbarer Zeit europäisch eine einheitliche Prüfung erfolgen wird.

Im Laufe des Jahres 2006 muss auch die Frage der Publikation der Prüfergebnisse diskutiert werden. Wir könnten uns ein elektronisches Prüfbulletin, ähnlich dem WP-Bulletin vorstellen.

Energieetikette

Auf Initiative des Vereins energie-cluster.ch und der HTA Luzern wurde im Jahr 2005 ein BFE-Projekt für die Schaffung einer Energieetikette für Lüftungsgeräte durchgeführt. Es ist geplant, dass diese Energieetikette im Jahr 2006 als Pilotphase durchgeführt wird und dass das BFE die Trägerschaft übernimmt. Für die Erlangung einer Energieetikette müssen keine speziellen Messungen durchgeführt werden. Die Kennwerte zur Klassierung von Geräten sollen auf Messungen von unabhängigen und akkreditierten Prüfstellen beruhen, zum Beispiel der Prüfstelle HLK der HTA Luzern

Dank

Mark Zimmermann danken wir für die gute Unterstützung in diesem Projekt.

Der HTA Luzern danken wir für die zusätzliche finanzielle Unterstützung, die die Durchführung dieses Projektes ermöglichte.

Ein weiterer Dank geht an die Stiftung zur Förderung der HTA Luzern

7 Anhang

7.1 Literaturverzeichnis

- [1] EN 13141-7 Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschliesslich Wärmerückgewinnung) für mechanische Lüftungsanlagen in Einfamilienhäusern, Mai 2004
- [2] EN 308 Wärmeaustauscher – Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen, Juni 1997
- [3] DIN 24163 Teil 1-3 Leistungsmessung, Normkennlinien, Normprüfstände, Januar 1985
- [4] EN 14511 Teil 1-4 Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und –kühlung, Juni 2004
- [5] EN 255-3 Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Heizen - Teil 3: Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwasser, Juli 1997
- [6] Mandate to CEN and CENELEC for the elaboration and adoption of measurement standards for household appliances – Water heaters, Hot water storage appliances and water heating systems", European Commission DG TREN, TREN D1 D(2002), 27. 9. 2002, Brussels
- [7] ISO 9614 Teil 1-3, Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen, Juli 1995
- [8] EN 1886, Lüftung von Gebäuden - Zentrale raumluftechnische Geräte - Mechanische Eigenschaften und Messverfahren; Mai 2004
- [9] SWKI 2003-5 hygienische Anforderungen an raumluftechnische Anlagen, 2003
- [10] Glück, Bausteine der Heizungstechnik, Zustands- und Stoffwerte, 2. Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin 1991
- [11] EN ISO 3741 Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hallraumverfahren der Genauigkeitsklasse 1; 1999
- [12] EN ISO 5135 Akustik - Bestimmung des Schalleistungspegels von Geräuschen von Luftdurchlässen, Volumenstromreglern, Drossel- und Absperrelementen durch Messungen im Hallraum, 1997

7.2 Prüfreglement

Prüfreglement für die Prüfung von Kompaktlüftungsgeräten

Geräte mit Zu- und Abluft, Wärmerückgewinnung und Abluftwärmepumpe für Wassererwärmung und/oder Wärmeabgabe an ein anderes wasserführendes System

Version: 1.01 / 22.12.05

Datum: 22.12.05

1 Einleitung

Dieses Reglement beschreibt ein Prüfprogramm für Lüftungskompaktgeräte mit Zu- und Abluft, sowie Wärmerückgewinnung. Weiter beinhalten diese Geräte eine Wärmepumpe, die auf der Zu- und/oder Abluftseite mit der Lüftung gekoppelt ist. Die Wärmequelle der Wärmepumpe ist Abluft und/oder Aussenluft. Die Wärmepumpe gibt die Nutzwärme an die Zuluft, an Warmwasser und/oder ein anderes wasserführendes System ab.

Soweit als möglich hält sich die Prüfung an die EN 13141-7

2 Zweck

Der Zweck dieses Prüfglements liegt darin, den Prüfumfang, das Prüfverfahren und die Anforderungen an die Messeinrichtung für die Prüfung von Lüftungskompaktgeräten mit Wärmepumpen festzulegen.

3 Anwendungsbereich

Dieses Prüfprogramm gilt für die Prüfung von Lüftungskompaktgeräten mit Wärmepumpen in einem Volumenstrombereich von 100 m³/h bis 1200 m³/h.

3.1 Anwendungsbereich

Die Geräte haben folgende minimale Ausrüstung:

- Zu- und Abluftventilatoren, evtl. zusätzlicher Aussenluft-Ventilator für die Wärmepumpe mit Antrieb.
Die Ventilatoren müssen so bedient werden können, dass die Prüfpunkte eingestellt werden können.
- Luft/Luft-Wärmeübertrager (z.B. Plattenwärmeaustauscher)
- Wärmepumpe mit Wärmequelle Abluft und /oder Aussenluft
- Elektrische Ausrüstung
Alle elektrischen Komponenten sind vorschriftsgemäss verdrahtet, abgesichert und auf ein Elektrotabelleau geführt. Das Gerät kann an das öffentliche Netz (230 V oder 400 V) angeschlossen werden. Am Gerät müssen elektrische Anschlüsse vorgesehen werden, damit die elektrischen Grössen der Verdichter und von allfälligen Heizeinsätzen separat gemessen werden können. Sämtliche Ventilatoren, Verdichter, Heizeinsätze müssen separat in Betrieb genommen werden können.
- Steuerung mit Bedienungseinheit.
- Filter
In der Aussenluft - und der Abluftseite ist mindestens ein Grobfilter der Klasse G3 eingebaut.
- Gehäuse
Die Komponenten sind betriebsbereit in einem Gehäuse eingebaut
- Dokumentation
Montage-, Inbetriebsetzungs- und Bedienungsanleitung

Neben der minimalen Ausrüstung können folgende Komponenten vorhanden sein:

- Warmwasserspeicher
Der Warmwasserspeicher ist entweder im Gehäuse eingebaut oder wird neben dem Gerät platziert.
- Bypass für Sommerbetrieb
- Elektroheizeinsatz für Wassererwärmung
- Wärmeauskopplung an ein wasserführendes Heizsystem

Die Einstellung (Sollwerte, Parameter) der Steuerung/Regelung wird vom Auftraggeber vorgenommen und dokumentiert.

4 Prüfumfang

Die gesamte Prüfung umfasst:

- Dichtigkeitsprüfung
- Lüftungstechnische Prüfung
- Prüfung der Filter-Bypass-Leckage*
- Energetische Prüfung
- Akustische Prüfung
- Bedienung und Wartung
- Hygienische Beurteilung*

*Diese Prüfung ist optional und wird nur auf Wunsch des Auftraggebers durchgeführt.

Wenn für einzelne Teilprüfungen Prüfberichte einer gleichwertigen Prüfstelle vorliegen, kann auf diese Prüfung verzichtet werden.

5 Begriffe und Definitionen

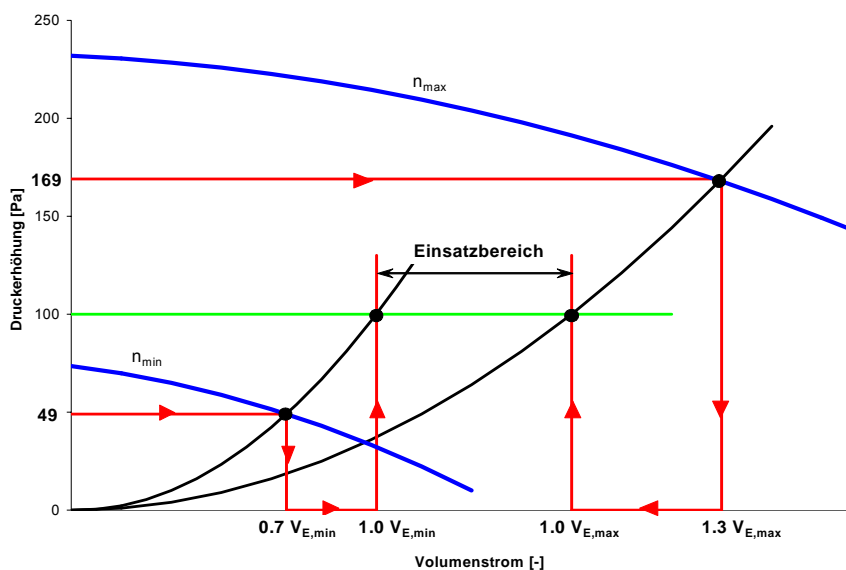
5.1 Definitionen

Lüftungskompaktgerät

Lüftungskompaktgeräte sind Geräte mit Zu- und Abluft sowie Wärmerückgewinnung. Weiter beinhalten diese Geräte eine Wärmepumpe, die auf der Zu- und/oder Abluftseite mit der Lüftung gekoppelt ist. Die Wärmequelle der Wärmepumpe ist Abluft und/oder Aussenluft. Die Wärmepumpe gibt die Nutzwärme an die Zuluft, an Warmwasser und/oder ein anderes wasserführendes System ab.

Einsatzbereich eines Geräts

Die Bestimmung des Einsatzbereiches erfolgt nach dem Ansatz des Passivhaus Instituts Darmstadt. Der Einsatzbereich wird wie folgt bestimmt:



Der maximale Volumenstrom wird bestimmt, bei dem das Gerät auf maximaler Stufe oder Drehzahl noch eine externe Pressung von $100 \text{ Pa} \cdot 1,3^2 = 169 \text{ Pa}$ erzeugen kann.

Der minimale Volumenstrom wird bestimmt, in dem das Gerät auf minimaler Stufe oder Drehzahl noch eine externe Pressung von 49 Pa erzeugen kann.

Betriebspunkt

Bei einem Betriebspunkt sind in Abluft und Aussenluft die Temperaturen und der Feuchtegehalt konstant.

Aufstellungsraum

Der Aufstellungsraum ist der Raum, in dem das Gerät installiert wird.

Wenn das Gerät im beheizten Teil des Gebäudes steht, kommen Wärmeströme vom Gerät an den Aufstellungsraum der Raumheizung zugute. Wärmeflüsse in umgekehrter Richtung sind in der Heizsaison Verluste.

Leckagen

Als Leckagenvolumenstrom sind die externen und internen Undichtheiten definiert, die warme Luft in den Aussenluft- bzw. Zuluftvolumenstrom einsaugen bzw. einblasen. Die internen Leckagen führen damit zu einer wesentlichen Verbesserung der energetischen Bewertung. Weiterhin sind diese Undichtheiten aus hygienischer Sicht zu betrachten.

Filter-Bypass-Leckagen

Luftumleitung um die Filtereinsätze.

Druckdifferenz

Druckdifferenz zwischen dem Aussen- und Fortluftstutzen oder dem Ab- und Fortluftstutzen des Gerätes.

In der Regel wird davon ausgegangen, dass die Druckerhöhung auf der Zu- und Abluftseite gleich gross ist. Abweichungen sind ausdrücklich zu erwähnen.

Temperaturverhältnisse (Temperatur-Änderungsgrad)

Temperaturdifferenz zwischen Eintritt und Austritt von einem der Luftströme dividiert durch die Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Lufteintritten.

Leistungsaufnahme

Mittlere elektrische Wirkleistungsaufnahme der Einheit in einem definierten Zeitabschnitt an den Anschlussklemmen in Watt; sie ergibt sich aus:

- der Leistungsaufnahme der Ventilatoren
- der Leistungsaufnahme für den Betrieb aller Verdichter und der Leistungsaufnahme für das Abtauen mit Ausnahme von zusätzlichen elektrischen Heizgeräten, die nicht zum Abtauen verwendet werden
- der Leistungsaufnahme aller Steuerungs- und Sicherheitseinrichtungen der Ausrüstung

Prüfspannung

Spannung zur Versorgung der Einheit während der Prüfung.

6 Prüfbedingungen

6.1 Bestimmung der Anzahl Messpunkten und Volumenströme

Ist das Verhältnis zwischen dem minimalen zum maximalen Volumenstrom grösser als 1,6:1, wird der Bereich zwischen dem Minimum und Maximum in Teilbereiche unterteilt und für jeden Teilbereich einen Bereichsvolumenstrom bestimmt. Für die Festlegung der Teilbereiche und der Bereichsvolumenströme kann der Auftraggeber zwischen dem DIBt-Ansatz oder dem Ansatz nach dem Passivhaus-Institut wählen.

Ansatz nach DIBt

Ermittlung der notwendigen Anzahl Teilbereichen n:

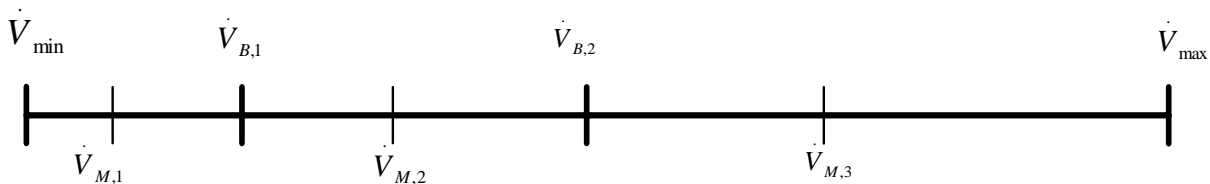
$$n \geq 2.13 \cdot \ln \left(\frac{\dot{V}_{\max}}{\dot{V}_{\min}} \right)$$

Ermittlung der oberen Bereichsgrenze $\dot{V}_{B,m}$

$$\dot{V}_{B,m} \geq \dot{V}_{\min} \cdot \sqrt[n]{\left(\frac{\dot{V}_{\max}}{\dot{V}_{\min}} \right)^m}$$

Ermittlung des Bereichsvolumenstromes $\dot{V}_{M,m}$

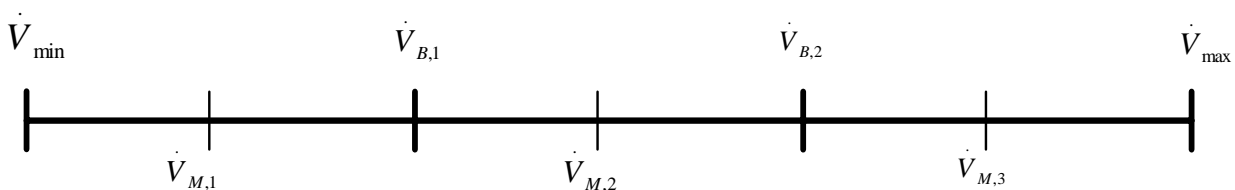
$$\dot{V}_{M,m} \geq \dot{V}_{\min} \cdot \sqrt[2n]{\left(\frac{\dot{V}_{\max}}{\dot{V}_{\min}} \right)^{(2m-1)}}$$



Ist das Verhältnis zwischen dem hohen und dem niedrigen Wert grösser als 1,6:1, wird der Volumenstrombereich in gleichgroße Teilbereiche aufgeteilt, die wiederum im Verhältnis $\leq 1,6:1$ bleiben müssen. Innerhalb dieser Teilbereiche wird jeweils beim Bereichsvolumenstrom gemessen.

Ansatz nach Passivhaus Institut Darmstadt

Ist das Verhältnis zwischen dem hohen und dem niedrigen Wert grösser als 1,6:1, wird der Volumenstrombereich in gleich grosse Teilbereiche aufgeteilt, die wiederum im Verhältnis $\leq 1,6:1$ bleiben müssen. Innerhalb dieser Teilbereiche wird jeweils beim mittleren Volumenstromwert gemessen.



6.2 Leckagenprüfung

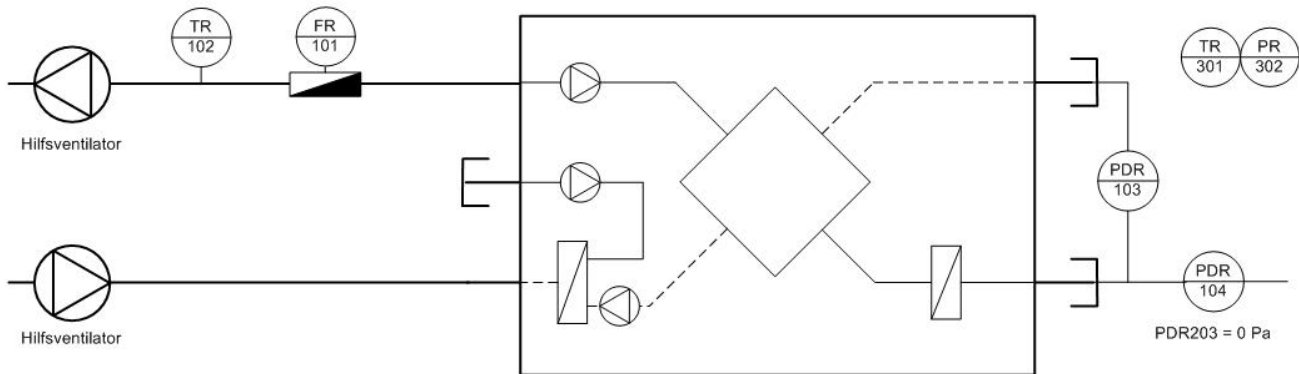
Die Innen- und Aussenleckagen sind nach EN 308 und EN 13141-7 zu prüfen.

Messpunkte

Die Messungen werden bei den folgenden Druckdifferenzen durchgeführt:

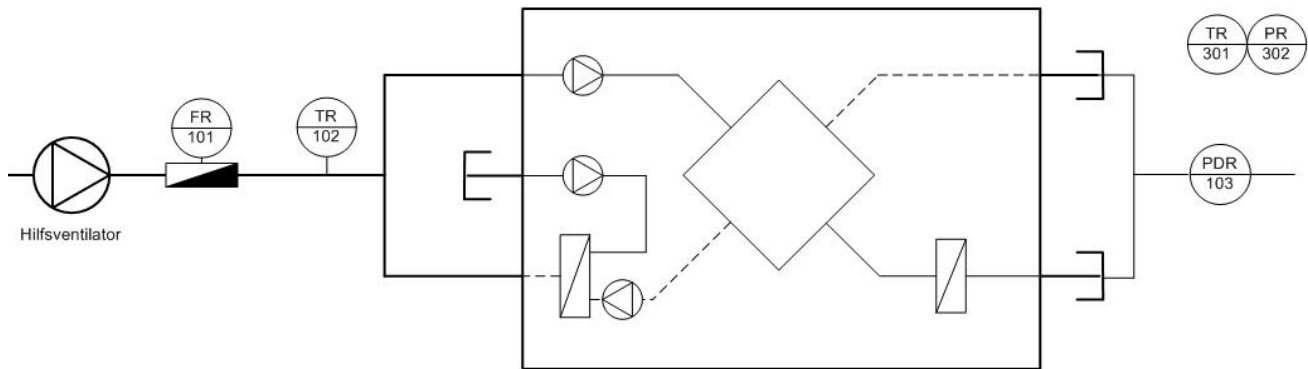
Innenleckagen: 50 Pa / 100 Pa / 150 Pa / 200 Pa

Leckage



Position	Messgrösse	Messgerät / Fühler	Messsignal
FR101	Durchfluss	Balgengaszähler oder Messturbine	Anzeige-Zeit / Impuls
TR102	Temperatur Leckluft	PT100	Widerstandsmessung
PDR103	Differenzdruck zwischen Ab-/Fortluftseite und Aussen-/Zuluftseite	Drucktransmitter	Strom / Spannung
PDR104	Differenzdruck zur Umgebung (=0 Pa)	Drucktransmitter	Strom / Spannung
TR301	Umgebungstemperatur	PT100	Widerstandsmessung
PR302	Luftdruck	elektron. Barometer	Strom / Spannung

Aussenleckagen: -100 Pa / -150 Pa / -200 Pa / -250 Pa / -300 Pa
+100 Pa / +150 Pa / +200 Pa / -+250 Pa / +300 Pa



Position	Messgrösse	Messgerät / Fühler	Messsignal
FR101	Durchfluss	Balgengaszähler oder Messturbine	Anzeige-Zeit / Impuls
TR102	Temperatur Leckluft	PT100	Widerstandsmessung (4-Leiter)
PDR103	Differenzdruck	Drucktransmitter	Strom / Spannung
TR301	Umgebungstemperatur	PT100	Widerstandsmessung (4-Leiter)
PR302	Luftdruck	elekt. Barometer	Strom / Spannung

Messgrössen

Aussenleckagenvolumenstrom	m ³
Innenleckagenvolumenstrom	m ³
Druckdifferenz	Pa
Lufttemperatur	°C
Rel. Luftfeuchte	%r.F.
Luftdruck	mbar
Zeit	s

Auswertung

Der Luftvolumenstrom der Aussenleckagen bei Über- und Unterdruck von 250 Pa ist als Wert anzugeben und mit dem grössten angegebenen Luftvolumenstrom der Einheit als Prozentsatz anzugeben.

Der Luftvolumenstrom der Innenleckagen bei Überdruck von 100 Pa ist als Wert anzugeben und mit dem grössten angegebenen Luftvolumenstrom der Einheit als Prozentsatz zu anzugeben.

Die gemessenen Aussen- und Innenleckagen sind zusätzlich in Kurven anzugeben.

Bemerkungen

Während der Messungen müssen die Ventilatoren der zu prüfenden Einheit abgeschaltet sein.

Variante: Prüfung der ABL-Übertragung mit Spurengas

Bei speziellen Arten der Wärmerückgewinnung (z.B. Rotoren), speziellen Druckverhältnissen im Gerät oder auf Wunsch des Auftraggebers kann die ABL-Übertragung mittels Spurengasmethode bestimmt werden. Dabei wird ermittelt, wie gross der Leckagemassenstrom von der Abluft in die Zuluft ist.

6.3 Filter-Bypass-Leckagen

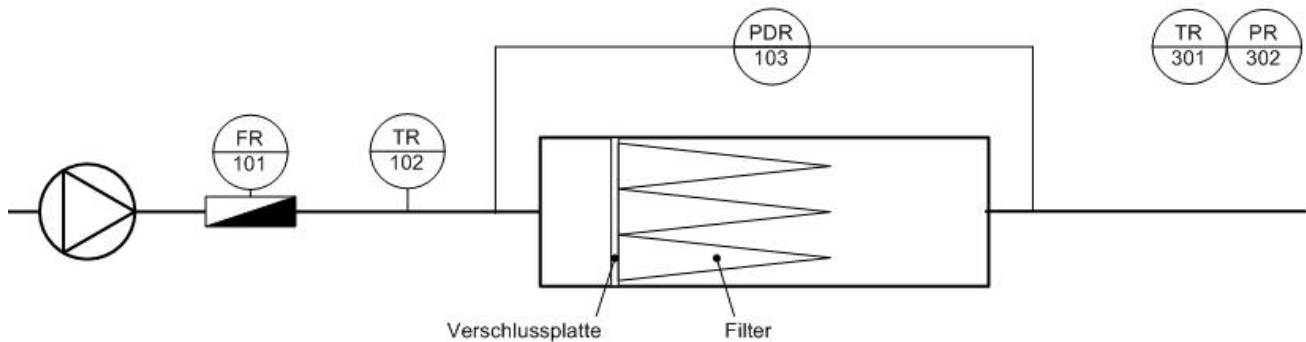
Die Kennwerte und die Klassifizierung der Filter-Bypass-Leckagen werden nach dem Abschnitt 6 von EN 1886:1998 ermittelt, jedoch mit einer Bezugs-Prüfdifferenz, die wie folgt bestimmt wird:

Zuerst wird die Druckdifferenz über den Filter der Einheit im Lieferzustand beim maximalen Volumenstrom (Bestimmung Kapitel 6.1) gemessen

Dann ist die Bezugsdruckdifferenz als das Doppelte der vorgenannten Druckdifferenz festzulegen, jedoch mindestens 25 Pa.

Messpunkte

Die Messungen werden bei 5 Druckdifferenzen im Bereich von 50% bis 150% der Bezugsdruckdifferenz gemessen.



Position	Messgrösse	Messgerät / Fühler	Messsignal
FR101	Durchfluss	Balgengaszähler oder Messturbine	Anzeige-Zeit / Impuls
TR102	Temperatur Leckluft	PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
PDR103	Differenzdruck über den Filter bzw. der Verschlussplatte	Drucktransmitter	Strom / Spannung
TR301	Umgebungstemperatur	PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
PR302	Luftdruck	elekt. Barometer	Strom / Spannung

Messgrössen

Leckagenvolumenstrom	m ³
Druckdifferenz	Pa
Lufttemperatur	°C
Luftdruck	mbar
Zeit	s

Auswertung

Die Auswertung und Klassifizierung erfolgt nach dem Abschnitt 6 von EN 1886:1998

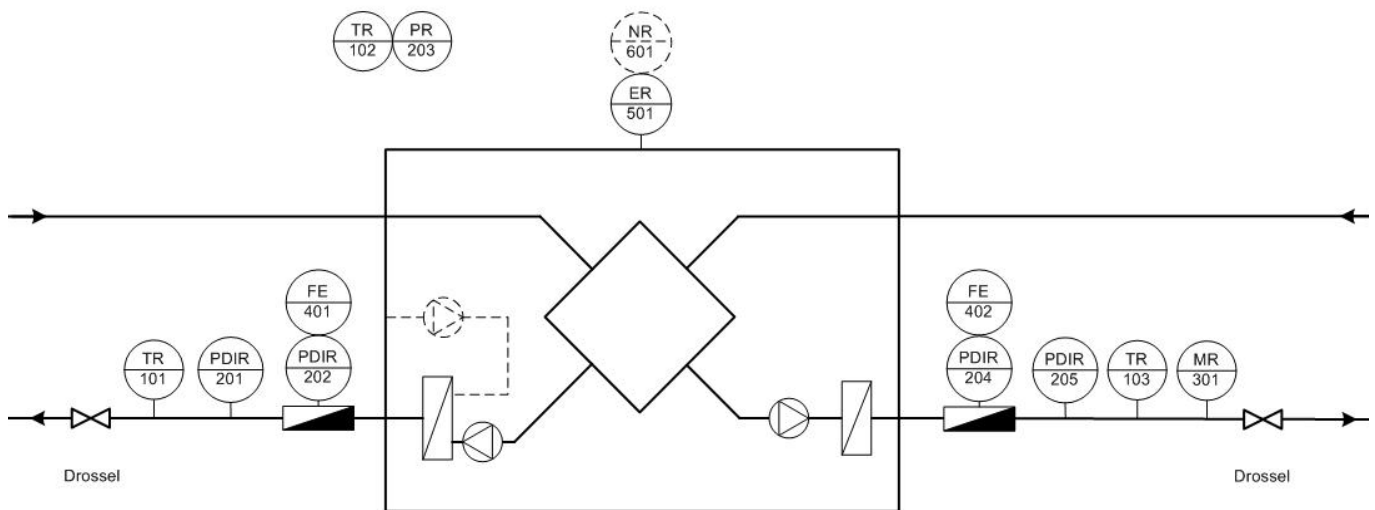
6.4 Lüftungstechnische Prüfungen

Die Luftvolumenstrom/Druck-Kennlinien für den Zuluft- und für den Abluftventilator werden nach der DIN 24163 [3] bestimmt. Der für die Messung notwendige Luftvolumenstrom wird in eine Beruhigungskammer geführt. Der Prüfling wird saugseitig an die Beruhigungskammer angeschlossen und saugt den notwendigen Volumenstrom aus der Beruhigungskammer an.

Messpunkte

Bei Prüflingen mit **festen Drehzahlen** werden die Luftvolumenstrom/Druck-Kennlinien bei jeder Betriebsstufe aufgenommen. Die Punkte der einzelnen Kennlinien werden im stabilen Bereich im Abstand von maximal 50 Pa gemessen.

Bei Prüflingen mit einer **stufenlosen Drehzahlregulierung** oder mit einer **Konstantvolumenstromregelung** wird der obere und untere Grenzwert festgelegt und der Zwischenbereich wird in gleichmässige Abschnitte unterteilt. Die Punkte der einzelnen Kennlinien werden im stabilen Bereich im Abstand von maximal 50 Pa gemessen. Bei jedem Punkt wird die elektrische Leistungsaufnahme erfasst.



Messgrößen

Volumenstrom	m^3/h
Druckdifferenz	Pa
Lufttemperatur	$^{\circ}\text{C}$
Rel. Luftfeuchte	%r.F.
Drehzahl	n^{-1}
Luftdruck	mbar
El. Größen	W/V/A

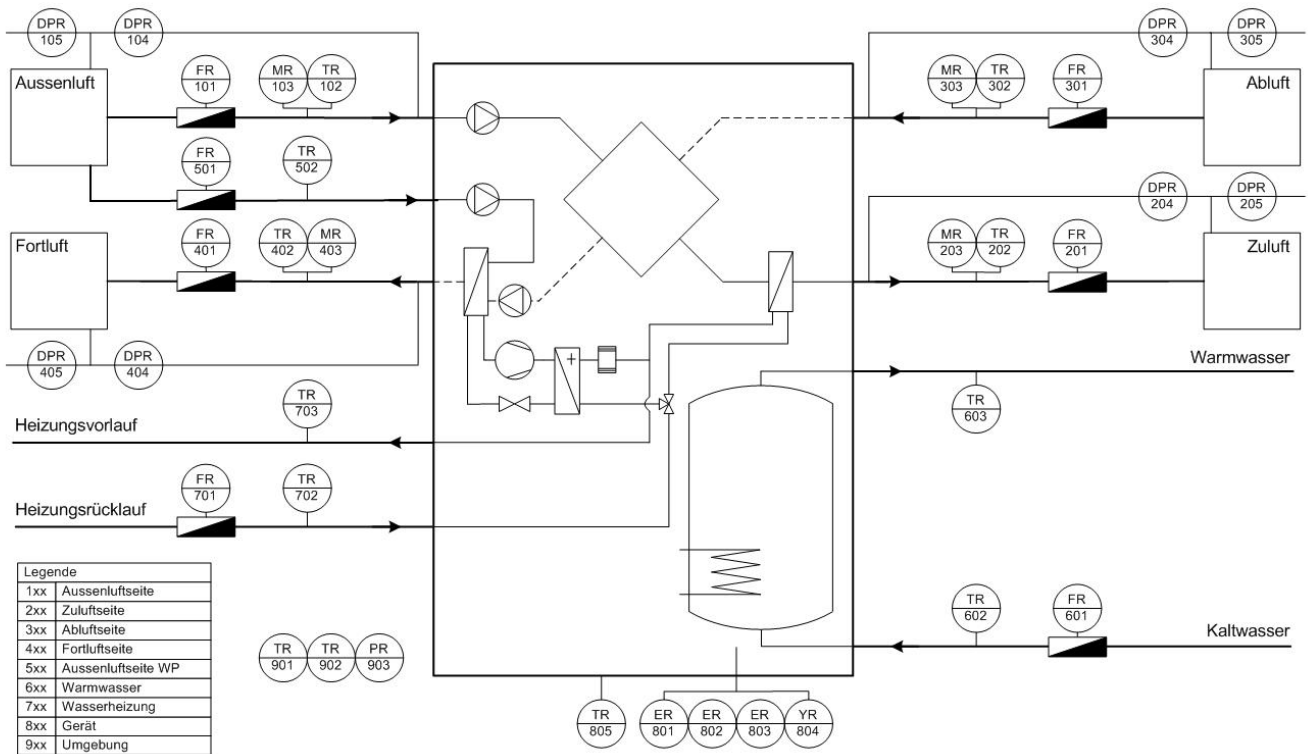
Auswertung

Die Messungen werden als Kennlinien in einem Luftvolumenstrom/Druck-Diagramm dargestellt.

6.5 Thermodynamischen Prüfungen

6.5.1 Thermische Prüfpunkte

Prüfpunkte in Anlehnung an EN 14511 (Stand 8/2003)



Position	Messgrösse	Messgerät / Fühler	Messsignal
FR101	Volumenstrom Aussenluft	Varycontrol und Drucktransmitter (Wirkdruckmessung)	Strom / Spannung
TR102	Temperatur Aussenluft	5 PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
MR103	Feuchte Aussenluft	Hygroclip	Spannung
DPR104	Druckverlust Aussenluft vor Gerät	Drucktransmitter	Strom / Spannung
DPR105	Druckdifferenz Aussenluft-Ausgleichskammer/Umgebung	Drucktransmitter	Strom / Spannung
FR201	Volumenstrom Zuluft	Varycontrol und Drucktransmitter (Wirkdruckmessung)	Strom / Spannung
TR202	Temperatur Zuluft	5 PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
MR203	Feuchte Zuluft	Hygroclip	Spannung
DPR204	Druckverlust Zuluft nach Gerät	Drucktransmitter	Strom / Spannung
DPR205	Druckdifferenz Zuluft-Ausgleichskammer/Umgebung	Drucktransmitter	Strom / Spannung
FR301	Volumenstrom Abluft	Varycontrol und Drucktransmitter (Wirkdruckmessung)	Strom / Spannung
TR302	Temperatur Abluft	5 PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
MR303	Feuchte Abluft	Hygroclip	Spannung
DPR304	Druckverlust Abluft vor Gerät	Drucktransmitter	Strom / Spannung
DPR305	Druckdifferenz Abluft-Ausgleichskammer/Umgebung	Drucktransmitter	Strom / Spannung

Position	Messgröße	Messgerät / Fühler	Messsignal
FR401	Volumenstrom Fortluft	Varycontrol und Drucktransmitter (Wirkdruckmessung)	Strom / Spannung
TR402	Temperatur Fortluft	5 PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
MR403	Feuchte Fortluft	Hygroclip	Spannung
DPR404	Druckverlust Fortluft nach Gerät	Drucktransmitter	Strom / Spannung
DPR405	Druckdifferenz Fortluft-Ausgleichskammer/Umgebung	Drucktransmitter	Strom / Spannung
FR501	Volumenstrom Aussenluft für WP	Varycontrol und Drucktransmitter (Wirkdruckmessung)	Strom / Spannung
TR502	Temperatur Aussenluft für WP	5 PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
FR601	Durchfluss Kaltwasser	MID magn./ind.	Strom / Spannung
TR602	Temperatur Kaltwasser	PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
TR603	Temperatur Warmwasser	PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
FR701	Durchfluss Wasserheizung	MID magn./ind.	Strom / Spannung
TR702	Temperatur Heizungsrücklauf	PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
TR703	Temperatur HeizungsVorlauf	PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
ER801	Elektr. Leistungsaufnahme Gerät	Messumformer	Strom / Spannung
ER802	Elektr. Leistungsaufnahme WP	Messumformer	Strom / Spannung
ER803	Überwachung Eingangsspannung		
YR804	Abtauung		
TR805	Oberflächentemperatur Gerät	5 PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
TR901	Temperatur Umgebungsluft	3 PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
TR902	Oberflächentemperatur Wände	3 PT100	Widerstandsmessung (4 Leiter)
PR903	Luftdruck	elekt. Barometer	

	Aussenluft		Abluft		Heizung		BWW	Kommentar
	Temperatur [°C]	Feuchtkugel- temperatur [°C]	Temperatur [°C]	Feuchtkugel- temperatur [°C]	Vorlauf [°C]	Rücklauf [°C]	Temperatur [°C]	
1	7	6	20	12	45	40	60	Normbedingung
2	-15	-	20	7	45	a	60	Option
3	-7	-8	20	9.5	45	a	60	Standard
4	2	1	20	9.5	45	a	60	Standard
5	-7	-8	20	9.5	35	a	60	Standard
6	7	6	20	12	35	a	60	Standard
7	15	10	20	14	35	a	60	Option
8	7	6	20	12	-	-	60	BWW
a die Prüfung wird mit dem Volumenstrom durchgeführt, der sich bei Messpunkt 1 (Normbedingung) einstellt								

Fig. 62: Messpunkte für ein Kompaktlüftungsgerät ohne Lufterdregister

Aussenluft			Abluft		
Temperatur	Feuchtkugeltemperatur	Relative Feuchte	Temperatur	Feuchtkugeltemperatur	Relative Feuchte
[°C]	[°C]	[% r.F.]	[°C]	[°C]	[% r.F.]
-7	-8	74	20	9.5	25
2	1	84	20	9.5	25
7	6	87	20	12	37
15	10	52	20	14	54

Da einige Geräte mit einem Lufterdregister betrieben werden, wurde zusätzlich die Aussenlufttemperatur nach dem Lufterdregister definiert. Diese Daten sind für das Schweizerische Mittelland gültig. Für andere Regionen muss die Aussenlufttemperatur nach dem Lufterdregister überprüft und allenfalls angepasst werden.

	Aussenluft			Abluft		Heizung		BWW	Kommentar
	Temperatur vor Lufterdregister	Feuchtkugeltemperatur	Temperatur nach Lufterdregister	Temperatur	Feuchtkugeltemperatur	Vorlauf	Rücklauf	Temperatur	
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	
1	7	6	7	20	12	45	40	60	Normbedingung
2	-15	-	-7	20	7	45	a	60	Option
3	-7	-8	2	20	9.5	45	a	60	Standard
4	2	1	5	20	9.5	45	a	60	Standard
5	-7	-8	2	20	9.5	35	a	60	Standard
6	7	6	7	20	12	35	a	60	Standard
7	15	10	15	20	14	35	a	60	Option
8	7	6	7	20	12	-	-	60	BWW
^a die Prüfung wird mit dem Volumenstrom durchgeführt, der sich bei Messpunkt 1 (Normbedingung) einstellt									

Falls die Prüfungen für eine DIBt-Zulassung benötigt werden, werden die Messungen mit den Luftkonditionen vom DIBt durchgeführt:

	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3
Ablufttemperatur	21°C	21°C	21°C
Abluftfeuchte	36% rel. Feuchte	46% rel. Feuchte	56% rel. Feuchte
Aussenlufttemperatur	-3°C	4°C	10°C
Aussenluftfeuchte	80% rel. Feuchte	80% rel. Feuchte	80% rel. Feuchte

Die Prüfmethode der thermodynamischen Prüfung orientiert sich im Wesentlichen an den Richtlinien der DIBt (Stand Juni 2001) und der EN 308 mit folgenden Ausnahmen:

- Die Massenströme der Außen- und Fortluft werden durch Einstellung am Gerät (falls es sich nicht um automatisch geregelte Ventilatoren handelt) im Rahmen der Messgenauigkeit abgeglichen.
- Es werden nicht nur die Volumenströme von Außen- und Abluft, sondern auch von Fort- und Zuluft gemessen.

Luftvolumenströme

Variante 1

Die Messungen sind bei den Luftvolumenströmen durchzuführen, welche nach dem Kapitel 6.1 bestimmt worden sind. Der für die Messungen aufzuprägende Differenzdruck (externe Pressung) beträgt **generell 100 Pa**. Der aufgeprägte externe Druckabfall soll gleichmäßig (d.h. zu jeweils etwa 50 %) auf Saug- und Druckseite verteilt werden.

Variante 2

Die Volumenströme werden nach Angaben des Auftraggebers eingestellt. Sie müssen aber innerhalb des Einsatzbereichs gemäss Variante 1 liegen.

Messgrössen

Grösse		AUL	ZUL	ABL	FOL	Gerät	Umgebung
Temperatur	[°C]	x	x	x	x	-	x
Feuchte	[% r.F.]	x	x	x	x	-	-
Volumenstrom	[m ³ /h]	x	x	x	x	-	-
Oberflächentemperatur	[°C]	-	-	-	-	x	x
Druckdifferenz	Pa						
Luftdruck	mbar						
El. Grössen WP	W/V/A						
El. Grössen Gerät	W/V/A						

Auswertung

Es werden folgende Grössen ermittelt, welche tabellarisch und in Diagramm dargestellt werden:

- Temperatur-Änderungsgrad
- Wärmebereitstellungsgrad
- Feuchte-Änderungsgrad
- Elektrisches Wirkungsverhältnis
- Elektrothermischer Verstärkungsgrad

Bemerkungen

Die gesamte elektrische Leistungsaufnahme des Gerätes (inklusive Steuerung) ist sowohl während der thermodynamischen Prüfung als auch den reinen Standbybetrieb des Gerätes zu bestimmen.

Wenn die Einheit für den Betrieb in einem kalten Klima ausgelegt ist (d.h. Auslegungs- und Bezugsaußentemperatur im Winter von -10°C oder darunter), ist nach EN 308 eine zusätzliche Prüfung durchzuführen.

6.5.4 Lüftungsbetrieb nur mit Wärmerückgewinnung

Die Wärmepumpe und die elektrischen Heizeinsätze sind ausgeschaltet. Der Warmwasserspeicher hat Umgebungstemperatur (+/- 5 K). Die thermischen Messungen werden bei allen festgelegten Temperaturen und Volumenströme durchgeführt. Die Messungen finden bei konstanten Lufttemperaturen- und Feuchten statt.

6.5.5 Betrieb der Wärmepumpe zur Zulufterwärmung

Der Warmwasserspeicher ist auf Betriebstemperatur von 60°C geladen. Es findet keine Warmwasserzapfung oder Wärmeabgabe an ein wasserführendes System statt. Allfällige Heizeinsätze sind ausgeschaltet. Die Lüftungseinheit ist in Betrieb. Die Wärmepumpe ist nur für die Zulufterwärmung in Betrieb. Die thermischen Messungen werden bei allen festgelegten Temperaturen und Volumenströme durchgeführt. Die Zulufttemperatur wird nicht begrenzt. Die Messungen finden bei konstanten Lufttemperaturen und -Feuchten statt.

6.5.6 Betrieb der Wärmepumpe für Warmwasser

Diese Prüfung wird in Anlehnung an die EN 255-3 durchgeführt. Um die Messdauer zu reduzieren, wird die Periode 4 „Bestimmung der Leistungsaufnahme während der Bereitschaftsperiode“ von fünf Aufheizintervallen auf zwei reduziert. Somit kann die Prüfdauer um ca. drei Tage reduziert werden. Die restlichen Perioden werden wie in der EN 255-3 [5] beschrieben übernommen. Eine weitere Abweichung zur EN 255-3 [5] ist, dass das Brauchwarmwasser fest auf 60°C (hygienische Gründe) aufgeheizt wird.

6.5.7 Betrieb der Wärmepumpe für Wärmeabgabe an ein wasserführendes System

Zu- und Abluft in Betrieb.

Der Warmwasserspeicher ist auf Betriebstemperatur von 60°C geladen. Es findet keine Warmwasserzapfung oder Wärmeabgabe an die ZUL statt. Allfällige Heizeinsätze sind ausgeschaltet. Die Lüftungseinheit ist in Betrieb. Die Wärmepumpe ist nur für die Wärmeabgabe an ein wasserführendes System in Betrieb. Die thermischen Messungen werden bei allen festgelegten Luft-Temperaturen und Luft-Volumenströme durchgeführt. Der wasserseitige Volumenstrom wird vom Lieferant festgelegt. Die VL-Temperatur ist entweder 35° oder 45°C. Die Messungen finden bei konstanten Lufttemperaturen und -Feuchten statt.

6.5.8 Prüfung zur Frostschutteinrichtung (option)

Ausgehend vom thermodynamischen Messpunkt wird die Außenlufttemperatur von -3°C (Abluft 21°C und 36% rel. Feuchte) bis max. - 12°C abgesenkt, um den Schalterpunkt zu erfassen. Dabei soll die Absenkung der Außenlufttemperatur nicht schneller als 1K pro 5 Minuten erfolgen.

Zur Überprüfung, ob die vom Hersteller gewählte Frostschutzstrategie ausreichend ist, wird ein Zyklusversuch durchgeführt.

6.5.9 Zyklusversuch (DIBt)

Bei einer Außenlufttemperatur von 4K unter der Einschalttemperatur, maximal aber bei -12°C, werden über eine Zeitdauer von mindestens 3 Schaltvorgängen, mindestens jedoch 30 Minuten die thermodynamischen Daten (Temperatur, Feuchte) der ein- und austretenden Luftströme am Lüftungsgerät aufgezeichnet.

Wenn nach drei Schaltvorgängen oder mindestens 30 Minuten noch keine hinreichende Ähnlichkeit des Kurvenverlaufes (z.B. Konstanz der Fortlufttemperatur oder des Druckabfalles) innerhalb der drei Schaltvorgänge erreicht ist, sind 3 weitere Schaltvorgänge aufzunehmen.

Nach den Schaltvorgängen, ist unmittelbar nach erneuter Aktivierung der Frostschutteinrichtung das Lüftungsgerät abzuschalten, zu öffnen und der Wärmeübertrager visuell im Hinblick auf Kondensat oder Vereisung zu überprüfen, wenn keine hinreichende Ähnlichkeit des Kurvenverlaufes gegeben ist. Wenn eine Vereisung festgestellt wird, ist die Enteisungsstrategie für das Lüftungsgerätes nicht geeignet.

Der Zyklusversuch ist bei einem Volumenstrom eines thermodynamischen Messpunktes bei einer Abluftfeuchte von 36% rel. Feuchte durchzuführen. Ergeben sich aus dem Einsatzbereich des Gerätes zwei thermodynamische Messpunkte, dann ist der Zyklusversuch beim niedrigeren Volumenstrom der beiden Messpunkte, im Fall von drei thermodynamischen Messpunkten beim mittleren Volumenstrom, durchzuführen.

6.6 Akustische Prüfungen

Die akustischen Messungen werden für die Schallabstrahlung durch das Gehäuse des Prüflings und für die Schallabstrahlung in den Luftanschlüssen des Prüflings durchgeführt. Die akustischen Messungen werden nach den folgenden Normen durchgeführt:

- Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen ISO 9614 Blatt 1-3
- Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hallraumverfahren der Genauigkeitsklasse 1 (ISO 3741:1999); Deutsche Fassung EN ISO 3741:1999
Bestimmung des Schalleistungspegels von Geräuschen von Luftdurchlässen, Volumenstromreglern, Drossel- und Absperelementen durch Messungen im Hallraum (EN 5135), 1997
- Messung der Luftschallemissionen - Bestimmung des Schallleistungspegel von Luftkonditionierern, Wärmepumpen oder Entfeuchtern mit elektrisch angetriebenen Verdichtern. ENV 12102

Für die akustischen Messungen wird der Prüfling in eine konditionierte Akustikkabine nach den Anweisungen des Herstellers eingebaut. Bei Geräten mit Wärmepumpe werden die akustischen Messungen im Realbetrieb, d.h. mit konditionierter Luft durchgeführt. Die Aussenseite der Luftleitungen muss gedämmt werden, um die von den Leitungen emittierte Schallleistung zu verringern.

Die Messungen sind wie folgt zu messen:

Geräuschquelle	Volumenstrom	Differenzdruck
Abstrahlung Gerät	max. Volumenstrom	100 Pa
FOL-/AUL-Anschlüsse (Option)	max. Volumenstrom	100 Pa
ABL/ZUL-Anschlüsse	min. und max. Volumenstrom	70/100/130 Pa

Messpunkte

Die Schallleistungen werden beim maximalen Luftvolumenstrom, welcher nach Kapitel 6.1 bestimmt wird, gemessen. Gemessen wird die Schallabstrahlung durch das Gehäuse sowie die Schallabstrahlungen der Ventilatoren in den Anschlussrohren.

Messgrößen

Lin. Schallintensitätspegel (Frequenzbandanalyse)	dB
Abzuscannende Fläche	m ²
Volumenstrom	m ³ /h
Temperaturen	°C
Rel. Feuchte	% r.F.
Luftdruck	mbar

Auswertung

Die folgenden Messdaten werden tabellarisch und in Diagrammen dargestellt:

- Schallleistungspegel in Terzbändern und als Gesamtwert
- A-bewertete Schallleistungspegel in Terzbändern und als Gesamtwert

Prüfpunkte

- Nur Lüftungsbetrieb (WP aus)
- Lüftung und Wärmepumpe

6.7 Sicherheitsprüfung

Neben der Überprüfung, welche Sicherheits- und Konformitätsnachweise vorliegen wird die folgende sicherheitstechnische Sichtprüfung vorgenommen:

Mechanische Sicherheit (Sichtprüfung)

- Überprüfung auf Schutz gegen Berührung sich bewegender Bauteile
- Überprüfung auf scharfe Kanten
- Überprüfung hinsichtlich einer angemessenen Aufstellung und Sicherung der Ventilatoren

Elektrische Sicherheit (Sichtprüfung, keine SNV-Prüfung)

- Überprüfung des Schutzes gegen direktes und indirektes Berühren
- Überprüfung des mechanischen Schutzes der Leitungen
- Überprüfung der Schutzleiterverbindungen

6.8 Bedienung und Wartung

Die Beurteilung findet anhand einer Checkliste statt. Die Beurteilung bewertet Vollständigkeit und Qualität.

Dokumentation

Die technische Dokumentation kann als Entwurf vorliegen. Die Dokumentation muss mindestens auf Deutsch oder Englisch vorliegen.

Datenblatt

- Einsatzbereich
Zulässige Temperaturen; Anforderungen an die Luftqualität (z.B. geeignet für Küchenabluft) und an die Wasserqualität; ...
- Provisorische Tabellen und/oder Diagramme mit den strömungstechnischen, wärmetechnischen, elektrischen und akustischen Daten
- Masse und Gewichte
- Angaben zur Geräteausführung (Materialien, Oberflächenbehandlung, ...)
- Warmwasserspeicher
Inhalt, Material, Beschichtung, Wärmedämmung
- Kältemittel
Bezeichnung und Füllmenge
- Filterart und Filterklasse

Planungs- und Installationsanleitung

- Massstäbliche Skizze mit Bezeichnung und Spezifikation der Anschlüsse
- Angaben zur Aufstellung (Dämpfungselemente, Anforderungen an den Aufstellungsraum, Servicezugang)
- Anleitung für die Inbetriebnahme

Bedienungsanleitung und Wartung

- Sicherheitshinweise
- Beschreibung der Bedienungselemente und deren Funktion
- Verhalten bei Störungen und Störungsbehebung
- Adressen von Service- und Reparaturstellen
- Angaben zur Entsorgung (Rücknahmestellen, Kältemittel, ..)
- Wartungsplan (Filterwechsel, Reinigung Wärmeaustauscher, ...)
- Spezifikation und Bezugsquellen der wichtigsten Ersatzmaterialien (Filter, Sicherungen)

Beschriftungen am Gerät

Gut sichtbar und in dauerhafter Beschriftung, mindestens in deutscher oder englischer Sprache für:

- Bezeichnung aller Bedienungselemente
- Adresse des Lieferanten
- Angaben für Filterwechsel
- Typenschilder für das gesamte Geräte, sowie an Ventilatoren und Verdichter
- Kennzeichnung der Materialien im Hinblick auf die Entsorgung

Funktionsprüfung

- Öffnen und Schliessen der Serviceöffnungen
- Zugänglichkeit für Filterwechsel
- Zugänglichkeit für Kontrolle und Reinigung der Wärmeaustauscher, der Ventilatorlaufräder, Kondensatauffangwanne und Gehäuse

6.9 Hygienische Untersuchungen

Die hygienischen Untersuchungen werden in Anlehnung an die VDI 6022 (entspricht der SWKI 2003-5) durchgeführt.

7 Prüfbericht

Es werden drei verschiedene Prüfberichte bzw. Gerätelisten erstellt:

Prüfbericht A

Dieses Dossier enthält die gesamten Prüfungsunterlagen. Dieser Prüfbericht ist Bestandteil der Prüfung und wird nur dem Auftraggeber abgegeben.

Prüfbericht B

Dieses Dossier enthält die gesamten Prüfungsunterlagen wie im Prüfbericht A. Zusätzlich wird ein Bericht auf der Grundlage der Prüf- und Zulassungskriterien des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erstellt.

Anhang 1

Auswertungen / Berechnungen

Relative Feuchte

$$\varphi = \frac{p_D}{p_s} \quad [\% \text{ r.F.}]$$

p_D	Partialdruck Wasserdampf	[Pa]
p_s	Sättigungsdruck Wasserdampf	[Pa]

Absolute Luftfeuchte bezogen auf ein Gemisch von 1 kg trockene Luft

$$x = \frac{p_D \cdot R_L}{p_L \cdot R_D} \quad [\text{kg/kg}]$$

p_D	Partialdruck Wasserdampf	[Pa]
p_L	Partialdruck Luft	[Pa]
R_D	Gaskonstante Wasserdampf = 461.4 J/kgK	[J/kgK]
R_L	Gaskonstante Luft = 287.1 J/kgK	[J/kgK]

Enthalpie

$$h_{(1+x)} = c_p \cdot t + x \cdot (c_{pd} \cdot t + r_w) \quad [\text{kJ/kg}]$$

Geltungsbereich: $0 \leq x \leq x_s$

c_p	spez. Wärmekapazität trockene Luft	[J/kgK]
c_{pd}	spez. Wärmekapazität Dampf = 1.86 kJ/kgK	[J/kgK]
t	Lufttemperatur	[°C]
x	absolute Luftfeuchte	kg/kg
r_w	Verdunstungsenthalpie Wasser = 2501 kJ/kg	[J/kg]

Dichte der feuchten Luft

$$\rho = \frac{(1+x)}{R_L + x \cdot R_D} \cdot \frac{p}{T} \quad [\text{kg/m}^3]$$

x	absolute Luftfeuchte	[kg/kg]
R_D	Gaskonstante Wasserdampf = 461.4 J/kgK	[J/kgK]
R_L	Gaskonstante Luft = 287.1 J/kgK	[J/kgK]
T	abs. Lufttemperatur	[K]
p	Luftdruck	[Pa]

Sättigungsdruck [10]

$$p_S = 611 \cdot e^{-4.909965 \cdot 10^{-4} + 8.183197 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 5.552967 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 - 2.228376 \cdot 10^{-5} \cdot \vartheta^3 - 6.211808 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^4} \quad [\text{Pa}]$$

Geltungsbereich: $-20^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 0.01^\circ\text{C}$

Maximale Abweichung: 0.00%

$$p_S = 611 \cdot e^{1.91275 \cdot 10^{-4} + 7.258 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 2.939 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 + 9.841 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^3 - 1.92 \cdot 10^{-9} \cdot \vartheta^4} \quad [\text{Pa}]$$

Geltungsbereich: $0.01^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 100^\circ\text{C}$

Maximale Abweichung: 0.02%

$$p_S = 611 \cdot e^{6 \cdot 10^{-5} \cdot 7.13274 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 2.581631 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 + 6.311955 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^3 - 7.167112 \cdot 10^{-10} \cdot \vartheta^4} \quad [\text{Pa}]$$

Geltungsbereich: $100^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 200^\circ\text{C}$

Maximale Abweichung: 0.02%

ϑ Lufttemperatur [°C]

spez. Wärmekapazität [10]

$$c_p = 1.0065 + 5.309587 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta + 4.758596 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^2 - 1.136145 \cdot 10^{-10} \cdot \vartheta^3 \quad [\text{kJ/kgK}]$$

Geltungsbereich: $-20^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 200^\circ\text{C}; 1 \text{ bar}$

Maximale Abweichung: 0.05 %

ϑ Lufttemperatur [°C]

Kennwerte

Luftvolumenstrom

$$\dot{V} = a \cdot \left(p_{wi} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_{mess}} \right)^b \quad [m^3/h]$$

p_{wi}	Wirkdruck	[Pa]
ρ_0	Luftdichte bei der Kalibration [kg/m ³]	
ρ_{mess}	Luftdichte bei der Messung [kg/m ³]	
a	Parameter aus Ausgleichsfunktion	[-]
b	Parameter aus Ausgleichsfunktion	[-]

Temperatur-Änderungsgrad auf die ABL bezogen

$$\eta_{T_ABL} = \frac{\vartheta_{ABL} - \vartheta_{FOL}}{\vartheta_{ABL} - \vartheta_{AUL}} \quad [-]$$

ϑ_{ABL}	Ablufttemperatur	[°C]
ϑ_{FOL}	Fortlufttemperatur	[°C]
ϑ_{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]

Temperatur-Änderungsgrad auf die ZUL bezogen

$$\eta_{T_ZUL} = \frac{\vartheta_{ZUL} - \vartheta_{AUL}}{\vartheta_{ABL} - \vartheta_{AUL}} \quad [-]$$

ϑ_{ZUL}	Zulufttemperatur	[°C]
ϑ_{ABL}	Ablufttemperatur	[°C]
ϑ_{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]

Elektrothermischer Verstärkungsfaktor / elektrisches Wirkungsverhältnis

$$ETV = \frac{\dot{m}_{ZUL} \cdot h_{ZUL} - \dot{m}_{AUL} \cdot h_{AUL}}{P_{el}} = \frac{\dot{H}_{ZUL} - \dot{H}_{AUL}}{P_{el}} \quad [-]$$

\dot{m}_{ZUL}	Zuluftmassenstrom	[kg/s]
\dot{m}_{AUL}	Aussenluftmassenstrom	[kg/s]
P_{el}	elektrische Leistungsaufnahme des Gerätes	[W]
h_{ZUL}	spezifische Zuluftenthalpie	[J/kg]
h_{AUL}	spezifische Aussenluftenthalpie	[J/kg]
\dot{H}_{ZUL}	Zuluftenthalpiestrom	[W]
\dot{H}_{AUL}	Aussenluftenthalpiestrom	[W]

Feuchteänderungsgrad

$$\eta_x = \frac{x_{ZUL} - x_{AUL}}{x_{ABL} - x_{AUL}} \quad [-]$$

x_{ZUL}	Zuluftfeuchte	[kg/kg]
x_{ABL}	Abluftfeuchte	[kg/kg]
x_{AUL}	Aussenluftfeuchte	[kg/kg]

Wärmeleistung trockene Luft

$$\dot{Q} = \dot{V}_{AUL} \cdot \rho \cdot c_{PL} \cdot (\vartheta_{ZUL} - \vartheta_{AUL}) \quad [W]$$

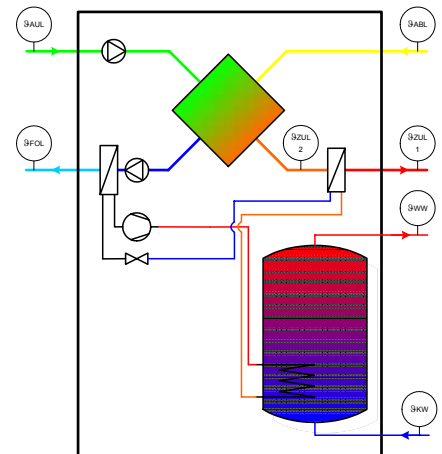
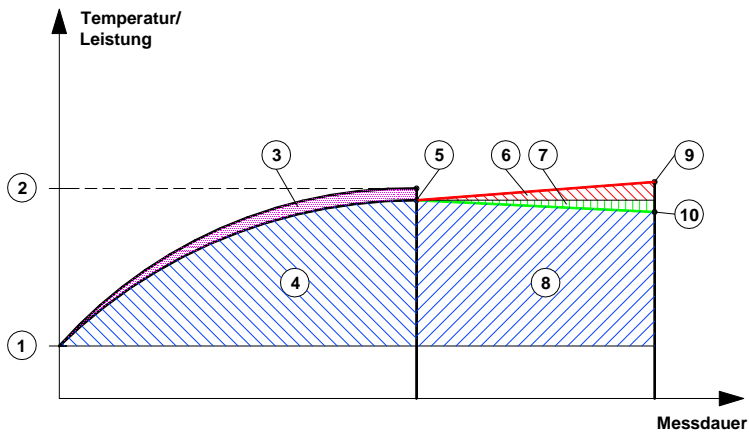
\dot{V}_{AUL}	Aussenluftvolumenstrom	[m³/s]
ρ	Luftdichte	[kg/m³]
c_{PL}	spezifische Wärmekapazität	[J/kgK]
ϑ_{ZUL}	Zulufttemperatur	[°C]
ϑ_{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]

Wärmeleistung feuchter Luft

$$\dot{Q} = \dot{V}_{ABL} \cdot \rho \cdot (h_{ZUL} - h_{AUL}) \quad [W]$$

\dot{V}_{ABL}	Abluftvolumenstrom	[m³/s]
ρ	Luftdichte	[kg/m³]
h_{ZUL}	spezifische Zuluftenthalpie	[J/kg]
h_{AUL}	spezifische Aussenluftenthalpie	[J/kg]

COP₁ für die Aufheizphase des Brauchwarmwasserspeichers



Legende

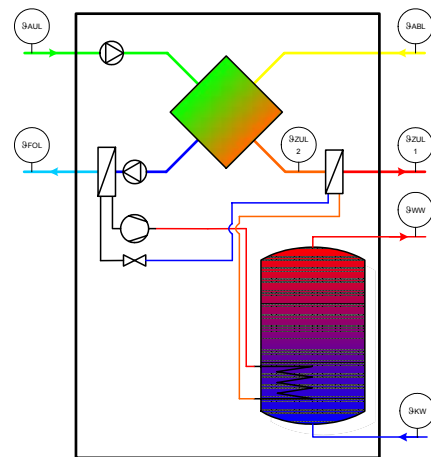
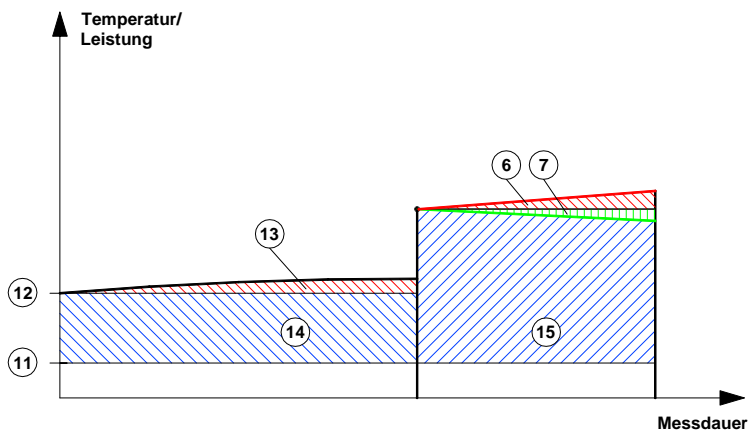
1. Kaltwassertemperatur ϑ_{KW}
2. BWW-Endtemperatur nach Ladevorgang ϑ_{BWW}
3. Wärmeverluste des Speichers während des Ladevorgangs $Q_{BWW_Aufheizverluste}$
4. Effektiver Speicher-Wärmeinhalt $Q_{BWW_eff_Aufheizung}$
5. Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung ϑ_{BWW_eff}
6. Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) Q_{BWW_Gewinn}
7. Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_Verlust}$
8. Wärmeinhalt im Speicher während der Lüfterwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_eff_Betrieb}$
9. BWW-Endtemperatur nach Speichermischung ϑ_{BWW_Gewinn}
10. BWW-Endtemperatur nach Speichermischung $\vartheta_{BWW_Verlust}$

$$COP_{1_Winter} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung} + Q_{ZUL_1}}{E_{el_total} \text{ (Ventilatoren, Steuerung, Verdichter)}}$$

$$COP_{1_Sommer} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung}}{E_{el_total} \text{ (Ventilatoren, Steuerung, Verdichter)}}$$

COP_{1_Winter}	COP für die Aufheizphase des BWW im Winter	[-]
COP_{1_Sommer}	COP für die Aufheizphase des BWW im Sommer	[-]
$Q_{BWW_eff_Aufheizung}$	Effektiver Speicher-Wärmeinhalt	[J]
Q_{ZUL_1}	ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung (nur im Winterfall)	[J]
$E_{el_total} \text{ (Ventilator, Steuerung, Verdichter)}$	Elektrische Energieaufnahme für Ventilatoren, Steuerung und Verdichter	[J]

COP₂ für die Lufterwärmung



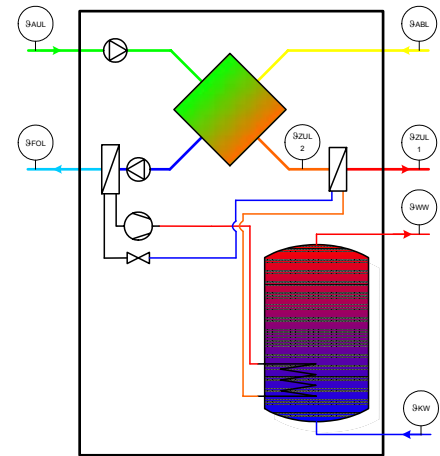
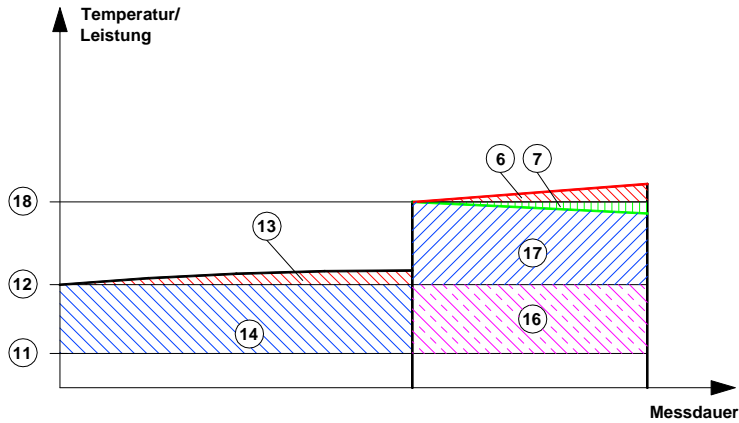
Legende

6. Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) Q_{BWW_Gewinn}
7. Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_Verlust}$
11. AUL-Temperatur ϑ_{AUL}
12. ZUL-Temperatur vor dem Verdampfer ϑ_{ZUL2}
13. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung Q_{ZUL_1}
14. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung durch die WRG $Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}$
15. ZUL-Erwärmung mit WRG und WP Q_{ZUL_WRG+WP}

$$COP_2 = \frac{Q_{ZUL_WRG+WP} + Q_{BWW_Gewinn/Verlust}}{E_{el_total}(Ventilatoren, Steuerung Verdichter)} = \frac{m_{zul} \cdot c_{pL} \cdot (\vartheta_{ZUL1} - \vartheta_{AUL}) + m_{BWW} \cdot c_W \cdot (\vartheta_{BWW_eff} - \vartheta_{BWW_Gewinn/Verlust})}{E_{el_total}(Ventilatoren, Steuerung Verdichter)}$$

COP ₂	COP für die Lufterwärmung	[-]
Q_{ZUL_WRG+WP}	ZUL-Erwärmung mit WRG und WP	[J]
Q_{BWW_Gewinn}	Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden)	[J]
$Q_{BWW_Verlust}$	Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden)	[J]
$E_{el_total}(Ventilator, Steuerung, Verdichter)$	Elektrische Energieaufnahme für Ventilatoren, Steuerung und Verdichter	[J]
m_{zul}	Zuluftmasse	[kg]
m_{BWW}	Masse Brauchwarmwasser	[kg]
c_{pL}	spezifische Wärmekapazität Luft	[J/kgK]
c_W	spezifische Wärmekapazität Wasser	[J/kgK]
ϑ_{ZUL1}	Zulufttemperatur im Anschlussstutzen	[°C]
ϑ_{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]
ϑ_{BWW_eff}	Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
ϑ_{BWW_Gewinn}	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
$\vartheta_{BWW_Verlust}$	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]

COP₃ für die Aufheizphase des Brauchwarmwassers MINERGIE



Legende

- 6. Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) Q_{BWW_Gewinn}
- 7. Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit z.B. 8 Stunden) $Q_{BWW_Verlust}$
- 11. AUL-Temperatur ϑ_{AUL}
- 12. ZUL-Temperatur vor dem Verdampfer ϑ_{ZUL2}
- 13. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung Q_{ZUL_1}
- 14. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung durch die WRG $Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}$
- 16. ZUL-Erwärmung durch die WRG Q_{ZUL_WRG}
- 17. ZUL-Erwärmung durch die WP Q_{ZUL_WP}
- 18. ZUL-Temperatur im Anschlussstutzen ϑ_{ZUL1}

$$COP_{3_Winter} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung} + Q_{ZUL_1}}{E_{el_total} (Verdichter)}$$

$$COP_{3_Sommer} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung}}{E_{el_total} (Verdichter)}$$

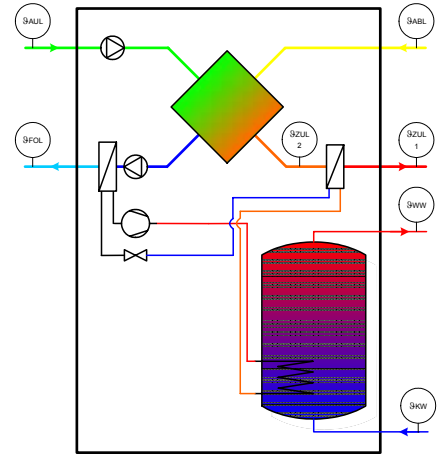
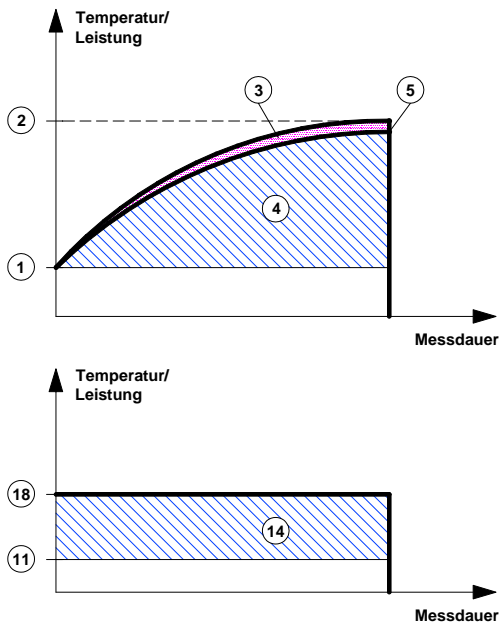
COP _{3_Winter}	COP für die Aufheizphase des BWW im Winter MINERGIE	[-]
COP _{3_Sommer}	COP für die Aufheizphase des BWW im Sommer MINERGIE	[-]
$Q_{BWW_eff_Aufheizung}$	Effektiver Speicher-Wärmeinhalt	[J]
Q_{ZUL_1}	ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung (nur im Winterfall)	[J]
$E_{el_total} (Verdichter)$	Elektrische Energieaufnahme für Verdichter	[J]

COP₄ für die Lufterwärmung MINERGIE

$$\text{COP}_4 = \frac{Q_{\text{ZUL_WP}} + Q_{\text{BWW_Gewinn/Verlust}}}{E_{\text{el_total(Verdichter)}}} = \frac{m_{\text{zul}} \cdot c_{\text{pL}} \cdot (\vartheta_{\text{ZUL1}} - \vartheta_{\text{ZUL2}}) + m_{\text{BWW}} \cdot c_{\text{W}} \cdot (\vartheta_{\text{BWW_eff}} - \vartheta_{\text{BWW_Gewinn/Verlust}})}{E_{\text{el_total(Verdichter)}}}$$

COP ₄	COP für die Lufterwärmung MINERGIE	[-]
Q _{ZUL_WRG+WP}	ZUL-Erwärmung mit WRG und WP	[J]
Q _{BWW_Gewinn}	Zusätzlicher Wärmeinhalt im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit 8 Stunden)	[J]
Q _{BWW_Verlust}	Wärmeverlust im Speicher während der ZUL-Erwärmung (Betriebszeit 8 Stunden)	[J]
E _{el_total (Verdichter)}	Elektrische Energieaufnahme für Verdichter	[J]
m _{ZUL}	Zuluftmasse	[kg]
m _{BWW}	Masse Brauchwarmwasser	[kg]
c _{PL}	spezifische Wärmekapazität Luft	[J/kgK]
c _W	spezifische Wärmekapazität Wasser	[J/kgK]
ϑ _{ZUL_2}	Zulufttemperatur vor dem Verdampfer	[°C]
ϑ _{AUL}	Aussenlufttemperatur	[°C]
ϑ _{BWW_eff}	Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
ϑ _{BWW_Gewinn}	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]
ϑ _{BWW_Verlust}	BWW-Endtemperatur nach Speichermischung	[°C]

COP_{5_Winter} für die Aufheizphase des Brauchwarmwassers inkl. Wärmerückgewinnung



Legende

1. Kaltwassertemperatur ϑ_{KW}
2. BWW-Endtemperatur nach Ladevorgang ϑ_{BWW}
3. Wärmeverluste des Speichers während des Ladevorgangs $Q_{BWW_Aufheizverluste}$
4. Effektiver Speicher-Wärmeinhalt $Q_{BWW_eff_Aufheizung}$
5. Effektive BWW-Endtemperatur nach Speichermischung ϑ_{BWW_eff}
11. AUL-Temperatur ϑ_{AUL}
14. ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung durch die WRG $Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}$
18. ZUL-Temperatur im Anschlussstutzen ϑ_{ZUL1}

$$COP_{5_Winter} = \frac{Q_{BWW_eff_Aufheizung} + Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}}{E_{el_total} \text{ (Ventilator, Steuerung, Verdichter)}}$$

COP_{5_Winter}	COP für die Aufheizphase des BWW inkl. WRG im Winter	[-]
$Q_{BWW_eff_Aufheizung}$	Effektiver Speicher-Wärmeinhalt	[J]
$Q_{ZUL_WRG_BWW-Ladung}$	ZUL-Erwärmung während der BWW-Ladung	[J]
$E_{el_total} \text{ (Ventilator, Steuerung, Verdichter)}$	Elektrische Energieaufnahme für Verdichter	[J]

Akustische Grössen

Schallleistungspegel

$$L_w = L_p - c_g + c_{pw} \quad [dB]$$

L_p	gemessener Schalldruckpegel	[dB]
c_g	Fremdgeräuschkorrektur gem. EN 23 741 Abschnitt 7.2.3, Seite 9	[dB]

Korrekturwert Schalldruck- in Schallleistungspegel (Verfahren 1)

$$c_{pw} = -10 \cdot \log \frac{T}{T_0} + 10 \cdot \log \frac{V}{V_0} + 10 \cdot \log \left(1 + \frac{S \cdot \lambda}{8 \cdot V} \right) - 10 \cdot \log \left(\frac{B}{1000} \right) - 14 \quad [dB]$$

T	Nachhallzeit des Hallraumes	[s]
T_0	Bezugsnachhallzeit 1 s	[s]
V	gesamtes Raumvolumen des Hallraumes 210.1 m ³	[m ³]
V_0	Bezugsvolumen 1 m ³	[m ³]
S	gesamte Raumbofläche des Hallraumes 215.1 m ²	[m ²]
λ	Wellenlänge bei der Mittenfrequenz des Oktav- oder Terzbandes	[m]
B	Luftdruck	[mbar]

Wellenlänge bei der Mittenfrequenz des Oktav- oder Terzbandes

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m]$$

c	Schallgeschwindigkeit 344 m/s	[m/s]
f	Frequenz	[Hz]

Gesamtschallleistungspegel

$$L_{w_{total}} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{w100}}{10}} + 10^{\frac{L_{w125}}{10}} + 10^{\frac{L_{w160}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{w10000}}{10}} \right) \quad [dB]$$

A-bewerteter Schallleistungspegel

$$L_w(A) = L_w + c_j \quad [dB]$$

L_w	Schallleistungspegel	[dB]
c_j	Korrekturwert Bewertungsfilter A (gem. EN 23 741, Anhang C, Seite 12)	[dB]

Formeln für Schallleistungsmessung mittels der Schallintensitäts-Methode Schallleistungspegel der Gehäuseabstrahlung (gem. ISO 9614 Teil 1-3)

$$L_w = L_I + A \quad [dB]$$

L_I	gemessener Schallintensitätspegel	[dB]
A	Hüllfläche, auf der die Schallintensitäts-Messpunkte liegen	[m ²]