



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

November 2015

Effizienter Vereisungsschutz (VS) bei Lüftungsanlagen, insbesondere Komfortlüftungssystemen

Schlussbericht

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

Auftragnehmer:

energie-cluster.ch, Monbijoustrasse 35, 3011 Bern

Projektleitung:

Beat Nussbaumer, Dr.Eicher+Pauli AG, 3014 Bern

Autoren:

Josef Ammann, TechEffekt Anstalt, Im Gepetsch 40, 9494 Schaan (LI)

Patrick Keller, HSLU Technik und Architektur, Technikumstrasse 21, 6048 Horw

BFE-Bereichsleiter: Adrian Grossenbacher

BFE Vertrags- und Projektnummer: SI/401177-01, 810001346

COO.2207.110.3.1005745

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Zusammenfassung

Die Komfortlüftung konnte sich in den letzten Jahren weiter breit durchsetzen. Auf der Grundlage der jährlichen Markterhebung des energie-cluster.ch kann von rund 100'000 Wohnungslüftungsgeräten unter 350 m³/h ausgegangen werden, die in der Schweiz per Ende 2012 in Betrieb waren.

Im Rahmen der Deklaration von Komfortlüftungsgeräten durch den energie-cluster.ch sowie aktueller Forschung & Entwicklungs-Projekte (F&E-) kann festgestellt werden, dass **Komfortlüftungsgeräte mehrheitlich mit Vereisungsschutz-Massnahmen (VS) betrieben werden, welche zu einem unnötig hohen Elektrizitätsverbrauch führen**. In einzelnen Fällen kann dieser den Strombedarf der Ventilation deutlich übersteigen.

Für die energetische Klassierung der Lüftungsgeräte wird der SEC_{CH}-Wert berechnet. Der SEC_{CH}-Wert sagt aus, wie hoch die Energieeinsparung einer Anlage im Vergleich zur Standardnutzung (SEC_{CH} = 0) in einem Jahr ist. Ein negativer SEC_{CH}-Wert bedeutet eine Energieeinsparung gegenüber der Standardnutzung. Mit einem Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (WRG) kann Energie eingespart werden. Es muss jedoch auch Energie für den Betrieb aufgewendet werden (Ventilatoren, Steuerung/Regelung, Vereisungsschutz). Je nach VS-Massnahme ist deren Jahresenergiebedarf beträchtlich.

Die Standard VS-Massnahmen (1 bis 8) sind einerseits definiert im technischen Reglement der Deklaration und wurden andererseits in der Untersuchung mit aktuell üblichen ergänzt (9 bis 11).

Mit den umfassenden Prüfstandmessungen an einem handelsüblichen Gegenstromwärmetauscher (Anhang 1) konnte erstmalig der Energiebedarf der einzelnen VS-Massnahmen überprüft und verifiziert werden. Dazu war auch die Definition der Standard-Betriebsbedingungen wie z.B. die innen- und aussen-Feuchteverhältnisse erforderlich.

Folgende Fragen im Zusammenhang mit dem Vereisungsschutz konnten geklärt werden:

- Der Einfluss von Kondensat auf den Energiebedarf durch die Druckverlustzunahme und die Reduktion des Temperaturverhältnisses ist relevant und soll durch die Anwendung eines zweiten Messpunktes sowie die Verwendung eines gewichteten Specific Power Input-Wertes (SPI) berücksichtigt werden.
Die Berechnungsgrundlagen dazu wurden erarbeitet.
- Eine variable Einfriergrenztemperatur in Abhängigkeit zur Feuchte ergibt ein Energiesparpotential von rund 10%. Der zurzeit angewendete Korrekturfaktor von 0.8 muss auf 0.9 angehoben werden. Die VS-Massnahme 03 benötigt zusätzliche Sensoren (Abluftfeuchte, Druckdifferenz Δp_{ABL} , Temperatur t_{FOL}). Die Frage von Aufwand und Ertrag dieser VS-Massnahme ist jeweils zu klären.
- Bei der Abtauschaltung sind ein Druckdifferenz-Sensor und die Messung des Abluft-Stromes (ABL) notwendig.
- Bei der Vorheizung mit Sole-Heizregister (VS 6 und 9) sind der zusätzliche Druckverlust des Sole Lufferhitzers mit Faktor $f_{VS,\Delta p}$ und der Energiebedarf des Pumpe Sole-Kreislaufes zu berücksichtigen.

Weiter wurde ein Ranking der VS-Massnahmen erstellt. Zugrunde liegt ein Lüftungsgerät, welches ohne Berücksichtigung der VS-Massnahme in die Energieklasse B eingeteilt wurde.

Ranking	Vereisungsschutz-Massnahme	SEC-Wert kWh/m ² .a	E-Klasse
1	VS 1 Feuchterückgewinnung	-9.34	B
2	VS 2 Erdreich-Luft-Wärmeübertrager	-9.28	
3	VS 9 Vorheizung mit Sole-Heizregister (Erdwärme)	-8.85	
4	VS 3 Vorheizung mit elektr. Heizregister, geregelt	-8.74	
5	VS 6 Vorheizung mit PWW oder Sole Luftheritzer	-8.71	
6	VS 11 Abtauschaltung mit PWW, Festwertregelung	-8.61	
7	VS 4 Vorheizung elektr. Heizregister zweistufig	-8.39	C
8	VS 10 Abtauschaltung mit el. Heizregister, geregelt	-8.14	
9	VS 5 Vorheizung elektr. Heizregister einstufig	-7.51	E
10	VS 7 Bypass in AUL+ Nachheizung	-5.33	
11	VS 8 Bypass* in AUL+ Nachheizung elektrisch	-5.13	

Die Erkenntnisse und Resultate fliessen direkt über die Innovationsgruppe Komfortlüftung des energie-cluster.ch in die Produktentwicklung ein.

Inhaltsverzeichnis

1	Auftrag	3
2	Ausgangslage	3
2.1	Relevanz	3
2.2	Lösungsansatz	4
2.3	Vereisungsschutz-Massnahmen.....	5
2.4	Arbeitsschritte	7
3	Versuchsaufbau, Messstand	7
3.1	Prüfaufbau.....	8
3.2	Summenhäufigkeit der Aussenluftfeuchte	8
3.3	Feuchtequellen	9
3.4	Standard-Abluftfeuchte	10
4	Vereisungsgrenztemperatur	12
4.1	Definition	12
4.2	Vereisungsverhalten	12
4.3	Berechnung.....	13
4.4	Einfluss der Abluftfeuchte auf die Vereisungsgrenztemperatur.....	14
5	Auswertung der Messungen	14
5.1	Druckverlustzunahme bei Kondensation (ohne Vereisung)	14
5.1.1	Messpunkte bei Referenzvolumenstrom 210 m ³ /h.....	14
5.2	Interpretation/Diskussion der Messergebnisse.....	17
5.3	Vereisungsverhalten	19
5.4	Temperaturverhältnis	22
6	Zusätzliche Vereisungsschutz-Massnahmen	25
6.1	VS-Massnahme: Vorheizung mit einem Sole-Heizregister (Erdwärme) VS9.....	25
6.1.1	Definition	25
6.1.2	Berechnung von SEC _{CH}	25
6.1.3	Beispiel	26
6.2	VS-Massnahme: Abtauschaltung VS10 und VS11.....	26
6.2.1	Definition	26
6.2.2	Auswertung der Messungen	26
6.2.3	Berechnung von SEC _{CH}	28
6.2.4	Spezifischer Energieaufwand für die Vereisungsschutz-Massnahmen VS10 und VS11	29
7	Einfluss der Abluftfeuchte auf den Energiebedarf	30
7.1	Grundlagen	30
7.2	Kondensation im Wärmeübertrager (ohne Vereisung)	30
7.3	Vereisungsschutz-Massnahme mit variabler Einfriergrenztemperatur	31
8	Ranking der Vereisungsschutz-Massnahmen	33
9	Literaturverzeichnis.....	34
10	Abbildungsverzeichnis	34
11	Tabellenverzeichnis	35

12	Abkürzungsverzeichnis.....	36
13	Anhang: Messbericht.....	37

1 Auftrag

Im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE will das vorliegende Projekt mit der Branche ein anerkanntes Berechnungs- und Nachweisverfahren der gängigen Vereisungsschutz-Massnahmen erarbeiten und effiziente Vereisungsschutz-Strategien kommunizieren.

Komfortlüftungssysteme sind ein zentraler Baustein für effiziente Gebäude. Mit der "Deklaration Komfortlüftungsgeräte" kann u.a. die Effizienz der Geräte effektiv erstmalig verglichen werden. Die Umsetzung der Deklaration zeigt aber, dass a) in der Praxis oft Geräte mit ineffizienten Vereisungsschutz-Massnahmen zum Einsatz gelangen und b) die Betriebswerte zu einem unnötig hohen Energieverschleiss führen.

2 Ausgangslage

Mit der Verbesserung der Gebäude-Luftdichtigkeit und der optimierten Wärmedämmung der Gebäudehülle rückte seit den 90er Jahren verbunden mit der Gesamteffizienz die kontrollierte Ersatzluft mit Wärmerückgewinnung stark in den Vordergrund. Nachfolgendes Diagramm weist die Absatzzahlen von Komfortlüftungssystemen in der Schweiz aus:

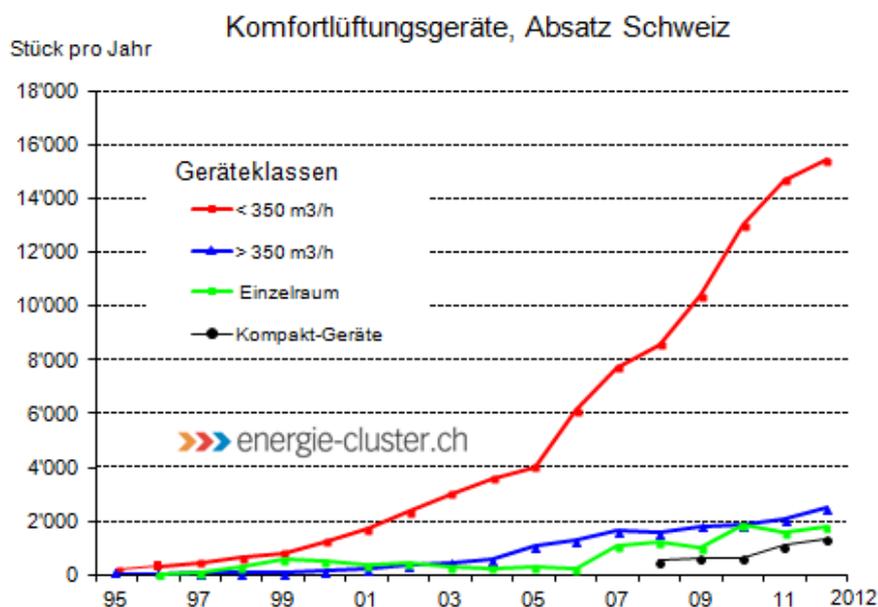


Abbildung 1: Marktentwicklung Komfortlüftungsgeräte Schweiz; energie-cluster.ch

Die Statistik dokumentiert eindrücklich den Einzug von Komfortlüftungssystemen in den Gebäudestandard (im Neubaubereich). Eine grobe Schätzung auf der Grundlage der energie-cluster.ch-Erhebung ergibt per Ende 2012 rund 100'000 betriebene Geräte mit einer Luftmenge von unter 350 m³/h.

2.1 Relevanz

Im Rahmen der laufenden Deklarationen und aktueller F&E-Projekte konnte festgestellt werden, dass **eine Mehrheit der betriebenen Komfortlüftungsgeräte mit VS-Massnahmen betrieben werden, welche zu einem unnötig hohen Energie- und meist vor allem Stromverbrauch führt.** Eine Hochrechnung auf der Grundlage der erhobenen, in der Schweiz abgesetzten Geräte und unter der berechtigten Annahme, dass die Hälfte davon mit nicht optimierten VS-Massnahmen betrieben werden, ergibt ein Einsparpotential von jährlich rund 6'000 Megawattstunde (MWh).

2.2 Lösungsansatz

Es geht grundsätzlich um die Berechnung und Verifizierung des spezifischen Energieaufwandes q_{VS} und um den Faktor für den zusätzlichen Druckverlust $f_{VS,\Delta p}$ für die unterschiedlichen VS-Massnahmen.

Grundlage für die Berechnung ist das Reglement für die technische Prüfung von Komfortlüftungsgeräten 2012. Neben den bereits dargestellten VS-Massnahmen VS 1 bis VS 8 sollen zusätzliche Varianten untersucht werden, welche in der Praxis zur Anwendung gelangen.

Als zusätzliche zu berechnende VS-Massnahmen waren gemäss Projektantrag

- die Reduktion des Aussenluftvolumenstroms („Disbalance“),
- das Abtauverhalten (Druckänderung über Wärmetauscher) (WT) und
- die Regelung über die Fortlufttemperatur vorgesehen.

Die Projektabklärungen ergaben, dass diese Massnahmen jedoch einerseits nicht konform mit einem ordentlichen Lüftungsbetrieb sind (Disbalance) resp. andererseits sich die notwendigen Führungsgrößen nicht eignen. Als Alternativen wurden folgende in der Praxis angewendeten VS-Massnahmen untersucht:

VS 9 Vorheizung mit Sole-Heizregister (Erdwärme)

VS 10 Abtauschaltung, Bypass und Nachheizung mit elektrischem Heizregister

VS 11 Abtauschaltung, Bypass und Nachheizung mit Pump Warm Wasser (PWW)- Heizregister

Für die Berechnung der VS-Varianten ist die Festlegung einer Standard Abluftfeuchte notwendig.

Formel 1:	$x_{AB(t)} = x_{AU(t)} + x_{Qu(t)}$
$x_{AB(t)}$	absolute Feuchte Abluft in kg/kg
t	Stundenwerte (dry)
x_{Qu}	Feuchtequellen (Grundlast + nutzerabhängige Last)

Als Nebenthema wird untersucht, unter welchen Voraussetzungen ein aktiver Vereisungsschutz nicht erforderlich ist. Neben dem Aussenklima und der Art der WRG spielen der Standort des Lüftungsgeräts und die Führung der Aussenluftleitung eine Rolle. Auch unter Einhaltung der Wärmedämmvorschriften (Mustervorschriften der Kantone Energie Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE_n) 2008, Vollzugshilfe Lüftungstechnische Anlagen) findet in gewissen Situationen eine Aussenluftherwärmung statt, bei der sich weitere Vereisungsschutzmassnahmen erübrigen. Es werden einfache Näherungsgleichungen entwickelt, um die verschiedenen Varianten in Energienachweisen (z.B. Minergie) zu erfassen.

2.3 Vereisungsschutz-Massnahmen

Der Energiebedarf der Vereisungsschutz-Massnahmen wird nach dem technischen Reglement wie folgt berechnet:

Formel 2:
$$q_{VS} = q_{VS,El} + q_{VS,h} + q_{VS,SolPu}$$

Formel 3:
$$q_{VS,El} = \frac{\dot{V}_{su}}{A_E} * F_{El} * \rho * c * \frac{1}{3600} * f_{VS,Ctrl} * f_{P,EL}$$

Formel 4:
$$q_{VS,h} = \frac{\dot{V}_{su}}{A_E} * F_h * \rho * c * \frac{1}{3600} * \frac{f_{P,h}}{\eta_h}$$

Formel 5:
$$q_{VS,SolPu} = \frac{P_{SolPu}}{100*1000} * t_{SolPu} * f_{VS,Ctrl} * f_{P,EL}$$

F_{El}	Lüftungsgradstunden Kh/a für VS-Massnahme (elektrische Heizung)
$f_{VS,Ctrl}$	Faktor für die Steuerung/Regelung der elektrischen Heizung
F_h	Lüftungsgradstunden in Kh/a für VS-Massnahme (PWW-Heizung)
$q_{VS,SolPu}$	spezifischer Energieaufwand für die Solepumpe in kWh/(m ² a) (gilt für VS 9)
P_{SolPu}	max. Leistungsaufnahme der Pumpe W (ohne Vorgaben Standardwert gilt 60 W)
t_{SolPu}	Betriebszeit je nach Einfriergrenztemperatur θ_E in h
q_{VS}	spezifischer Energiebedarf für die VS-Massnahme
$q_{VS, El}$	spezifischer Energiebedarf Strom für die VS-Massnahme in kWh/(m ² *a)
$q_{VS, h}$	spezifischer Energiebedarf Heizung für die VS-Massnahme in kWh/(m ² *a)
$f_{P, EL}$	Gewichtung des Energieträgers Strom 2.0
$f_{P, h}$	Gewichtung des Energieträgers Heizung 1.0
V_{su}/A_E	spezifischer Volumenstrom in m ³ /(h*m ²)

Faktoren je nach Art der VS-Massnahme			VS-Grenztemperatur θ_E [°C]			
Nr.	Art der VS-Massnahme		-2	-3	-4	-5
VS 1	Feuchterückgewinnung $t_E < -12^\circ\text{C}$	F_h	0	0	0	0
		F_{el}	0	0	0	0
		$f_{VS,Ctrl}$	1.00	1.00	1.00	1.00
VS 2	Erdreich-Luft-Wärmeübertrager	F_h	0	0	0	0
		F_{el}	0	0	0	0
		$f_{VS,Ctrl}$	1.00	1.00	1.00	1.00
VS 3	Vorheizung elektr. Heizregister elektronisch geregelt intern oder extern von Lüftungsgerät? Standard Variante mit zusätzlichem Sensor (Temperatur, Druck) für die Regelung der VS-Massnahme	F_h	0	0	0	0
		F_{el}	1'554	1'110	789	526
		$f_{VS,Ctrl}$	1.00	1.00	1.00	1.00
		$f_{VS,Ctrl}$	0.80	0.80	0.80	0.80
VS 4	Vorheizung elektr. Heizregister zweistufig geregelt intern oder extern von Lüftungsgerät?	F_h	0	0	0	0
		F_{el}	1'554	1'110	789	526
		$f_{VS,Ctrl}$	2.23	1.60	1.05	1.00
VS 5	Vorheizung elektr. Heizregister einstufig intern oder extern von Lüftungsgerät?	F_h	0	0	0	0
		F_{el}	1'554	1'110	789	526
		$f_{VS,Ctrl}$	3.53	3.13	2.89	2.96
VS 6	Vorheizung mit PWW oder Sole Luftheritzer Festwertregelung auf VS-Grenztemperatur	F_h	1'554	1'110	789	526
		F_{el}	0	0	0	0
VS 7	Bypass* in AUL+ Nachheizung Festwertregelung auf 15°C	F_h	10'343	7'554	6'223	5'186
		F_{el}	0	0	0	0
VS 8	Bypass* in AUL+ Nachheizung elektrisch	F_h	0	0	0	0
		F_{el}	10'343	7'554	6'223	5'186
		$f_{VS,Ctrl}$	2.23	1.60	1.05	1.00
VS 9	Vorheizung mit Sole-Heizregister (Erdwärme)	F_h	0	0	0	0
		F_{el}	0	0	0	0
		t_{SolPu}	517	358	286	233
	Geregelte Pumpendrehzahl (PWM)	$f_{VS,Ctrl}$	0.75	0.75	0.75	0.75
	Einstufige Pumpe (Ein/Aus)	$f_{VS,Ctrl}$	1.0	1.0	1.0	1.0
VS 10	Abtauschaltung Bypass und Nachheizung mit elektrischem Heizregister, elektronisch geregelt auf Zulufttemperatur 15°C , Regelung mit zusätzlichem Druckdifferenzsensor	F_h	0	0	0	0
		F_{el}	3'000	2'191	1'805	1'503
		t_{abt}	517	358	286	233
		$f_{VS,Ctrl}$	1.0	1.0	1.0	1.0
VS 11	Abtauschaltung Bypass und Nachheizung mit PWW- Heizregister, Festwertregelung auf Zulufttemperatur 15°C , Regelung mit zusätzlichem Druckdifferenzsensor	F_h	3'000	2'191	1'805	1'503
		F_{el}	0	0	0	0
		t_{abt}	517	358	286	233
		$f_{VS,Ctrl}$	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabelle 1: „VS-Massnahmen“: Werte für F_h , F_{el} , t_{SolPu} , t_{abt} , und $f_{VS,Ctrl}$

* Diese Werte gelten bei einer einstufigen VS-Massnahme. Bei einer mehrstufigen VS-Massnahme (Bypassbetrieb oder Ausenluftventilatorbetrieb mehrstufig) werden diese Werte projektbezogen berechnet.

2.4 Arbeitsschritte

Die Projektbearbeitung gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

1. Vereisungsschutz-Massnahmen definieren
2. Berechnungsverfahren für den spezifischen Energieaufwand q_{VS} und den Faktor für den zusätzlichen Druckverlust $f_{VS,\Delta p}$ entwickeln
3. Festlegung der Standard Abluftfeuchte $x_{AB}(t) = x_{AU}(t) + x_{Qu}(t)$
4. Durchführung von Prüfstand-Messungen an einem handelsüblichen Gegenstromwärmetauscher
5. Ergebnisse aus dem Projekt dem relevanten Marktteilnehmern vermitteln und Empfehlungen an die Geräte- und Anlagenhersteller weiterleiten
6. Aus den Projektergebnissen werden Empfehlungen zu Handen der SIA-Kommission 382 abgeleitet, um den Vereisungsschutz bei Lüftungsnormen (spez. Merkblatt SIA 2023) qualifizierter einzubeziehen.

3 Versuchsaufbau, Messstand

Der Versuchsaufbau und die Messungen erfolgten im akkreditierten Lüftungslabor der Hochschule Luzern (HSLU) in Horw und setzten sich im Wesentlichen aus folgenden Komponenten zusammen:

- Anfertigen einer Prüfbox und Einbau des Prüflings (Kreuz-/Gegenstromwärmetauscher Fabrikat Recair)
- Prüfling und Prüfbox gut wärmedämmen
- Anschlüsse passend zu Anschlussrohren des Prüfstandes für Komfortlüftungsgeräte
- Abnehmbarer Deckel im Bereich der Fortluft für die visuelle Prüfung
- Kondensatablauf

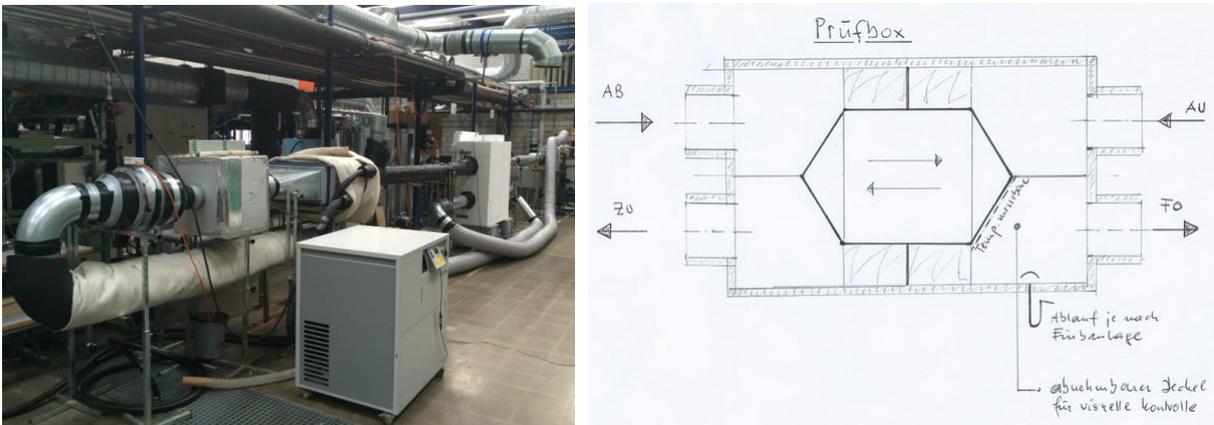


Abbildung 2 / 3: Skizze „Prüfbox“ und Messanordnung Lüftungslabor HSLU Technik und Architektur (T&A) Horw

Messstellen

- Volumenströme, statische Drücke, Temperatur, relative Feuchte in den Anschlussrohren
- Temperaturmesslinie bei Fortluftaustritt am Wärmeübertrager für das Temperaturprofil
- Beobachten der Vereisung mit Endoskop und Druckverlustanstieg

Prüfprogramm

- 3 Volumenströme (max. 300 m³/h, Referenz 210 m³/h, min. 100 m³/h)
- Messungen bei allen 3 Volumenströmen und konstanter Ablufttemperatur, variable Abluftfeuchte (noch zu definieren) und stufenweises Absenken der Aussenlufttemperatur
- Variation der Einbausituation (Luftführung vertikal, horizontal)

3.1 Prüfaufbau

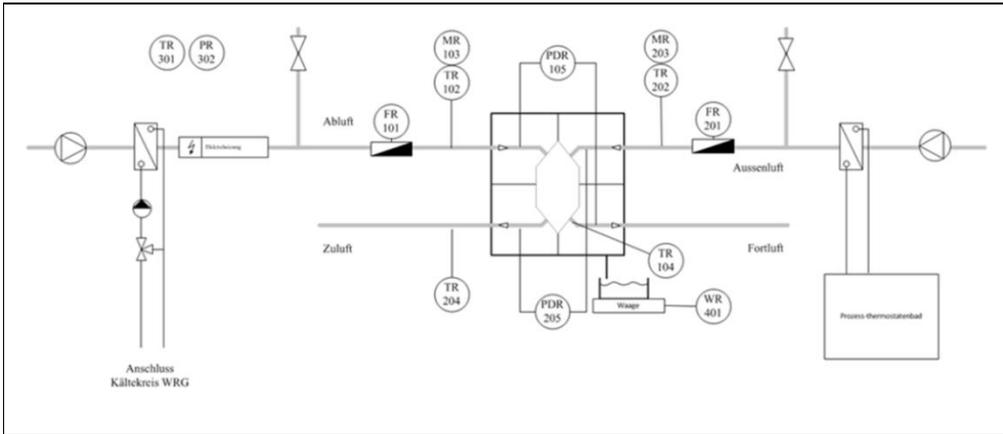


Abbildung 4: Prüfaufbau

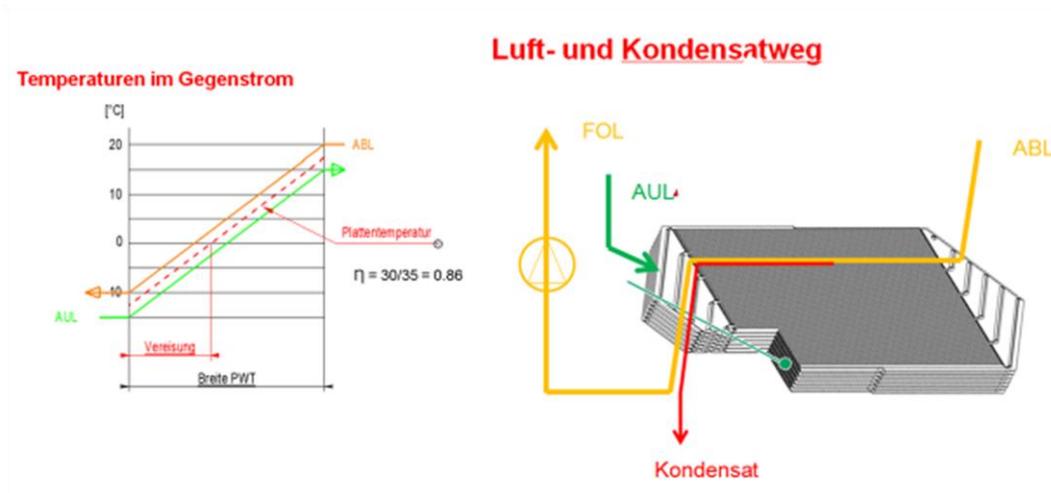


Abbildung 5: Grundlagen der Messung

3.2 Summenhäufigkeit der Aussenluftfeuchte

Die Berechnung der Standard-Aussenluftfeuchte erfolgte mit dem Design Reference Year (dry)-Datensatz der Klimastation SMA Zürich.

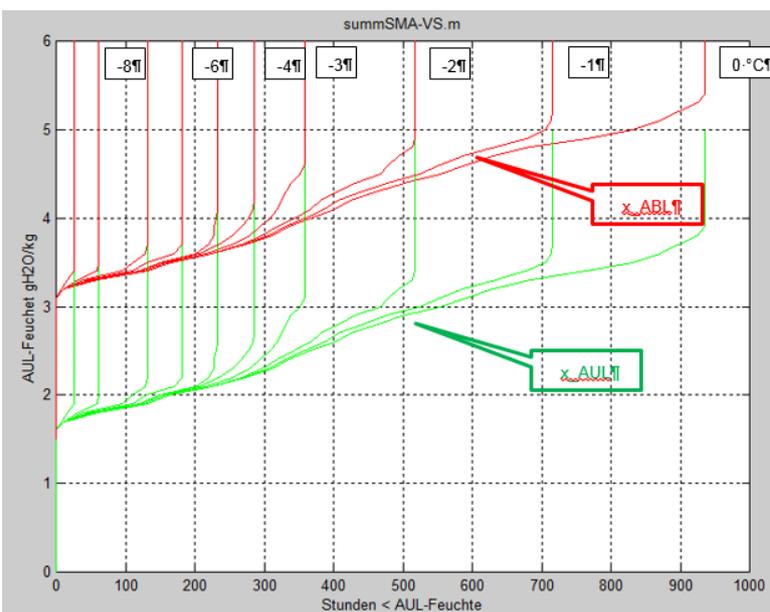


Abbildung 6: Summenhäufigkeit der Aussenluftfeuchte bei Grenztemperaturen $\le 0^{\circ}\text{C}$

z.B. $x_{ABL} = x_{AUL} + 1.5 \text{ g/kg}$

Werte bei Aussenluft (AUL)-Temperatur:

<u>Aussenlufttemp. [°C]</u>	<u>Stunden [h]</u>	<u>abs. Feuchte [g/kg]</u>
0	936	4.0
-1	716	3.8
-2	517	3.5
-3	358	3.2
-4	286	2.8
-5	233	2.7
-6	182	2.4
-7	132	2.3
-8	61	2.1
-9	27	2.0

3.3 Feuchtequellen

Die Berechnung der Feuchtequellen bezieht sich auf den Fachbeitrag „Feuchteabgabe in Wohnungen“ (Hartmann, 2001)

→ Eine Wohnung für 3 Personen (ohne Wäschetrocknung in der Wohnung): $5.6 \text{ dm}^3/\text{Tag}$

Daraus können folgende Feuchtequellen berechnet werden:

→ Bei Aussenluftvolumenstrom je Person $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (Mindest- Anforderung))

$$x_{Qu} = 5.6 * 1000 / 24 / 30 / 3 / 1.15 = 2.25 \text{ g/kg}$$

→ Bei Aussenluftvolumenstrom je Person $40 \text{ m}^3/\text{h}$ (z.B. $4 \frac{1}{2}$ Zimmerwohnung)

$$x_{Qu} = 5.6 * 1000 / 24 / 40 / 3 / 1.15 = 1.7 \text{ g/kg}$$

Die Dynamik der Feuchtelast ist zu berücksichtigen. Zum Beispiel der Duschvorgang führt zu einer kurzzeitigen Erhöhung der Abluftfeuchte. Ursache ist der grosse Luftwechsel und die meist gefliesste Oberfläche des Raumes. Bei einer kontinuierlichen Feuchteabgabe (z.B. Personen, Pflanzen) hingegen hat das Speicherverhalten der Umschliessungsflächen einen grossen Einfluss auf die Abluftfeuchte in Funktion der Zeit.

Beispiel mit 50% der in der Abluft wirksamen Feuchte und bei AUL-Volumenstrom je Person $40 \text{ m}^3/\text{h}$

$$x_{Qu} = 1.7 * 0.5 = 0.8 \text{ g/kg}$$

3.4 Standard-Abluftfeuchte

Aus der vorgängigen Berechnung ergibt sich folgender zu untersuchender Bereich der Abluftfeuchte

$$X_{ABL} = X_{AUL} + X_{Qu}$$

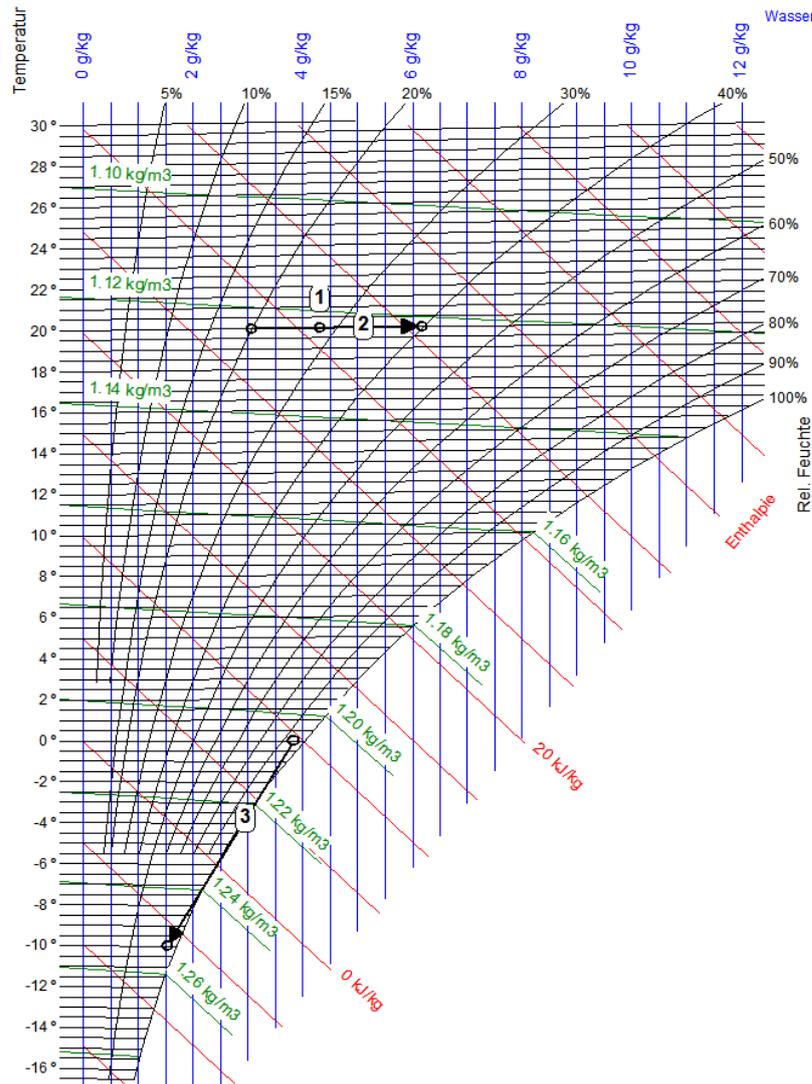


Abbildung 7: Abluftfeuchte

- Legende:
- 1 Messpunkt für Frostprüfung nach EN 13141-7
 - 2 Bereich der Abluftfeuchte bei z.B. 20°C
 - 3 Aussenluft-Bereich

Variation der Abluftfeuchte bei der Prüfung:

θ_{AUL} [°C]	X_{ABL} [g/kg] bei θ_{ABL} von 20°C			Anz. Messpunkte
-1	4.5	6.2		2
-3	4.0	5.0	6.2	3
-5	3.5	4.2	5.4	3
-8	3.0	4.5		2
-15	3.0	4.2		2

Tabelle 2: Variation der Abluftfeuchte bei der Prüfung (θ_{AUL} = Temp. Aussenluft, X_{ABL} = abs. Feuchte Abluft, θ_{ABL} Temp. Abluft)

Gesamt: 12 MP * 3 Volumenströme = 36 Messpunkte!

Die „Standard-Abluftfeuchte“ für die Berechnung des energetischen Einflusses sollte abhängig vom Prüfergebnis je nach VS-Massnahme festgelegt werden.

Nachfolgendes Beispiel zeigt die Messresultate und das „Messblatt“ bei tAUL -1°C und xABL 6.4 g/kg:

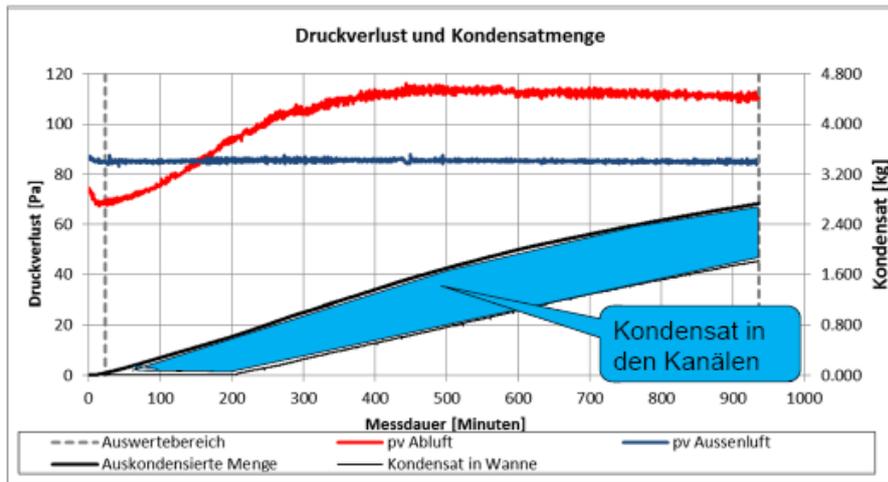


Abbildung 8: Druckverlust und Kondensatmenge

Messblatt		Vereisungsschutz Lüftungsgeräte											
Test		11.03.2014 / Kep											
Datum / Visum		Bfe											
Auftraggeber		Recair Gegenstromplattenwärmetauscher aus Kunststoff											
Prüfung													
Zusammenfassung													
	\dot{V}_v m ³ /h	\dot{Q}_m kg/h	t °C	ϕ % F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	P _v Pa	P _{stat} Pa	t _s °C	ϕ_s % F.	$\dot{Q}_{cond}/\dot{Q}_{air}$ -
Abblüfeintritt 11	211	240	20.1	41	6.4	1.139	1.007	36.35	104.3	96263	22.9	34	0.99
Abblüfaustritt 12			3.4	108	5.5	1.209	1.006	17.08					
Zuluftaustritt 21	194	238	-0.9	77	2.8	1.230	1.006	6.13	85.3				
Zuluftaustritt 22			16.2	24	2.9	1.157	1.006	23.65					

Zeile	Minuten	Temperaturverteilung beim Tauscher-					Kondensation				
Zeile Messbeginn	100	austritt Fortluft					Messdauer	Start	Ende	Differenz	Mess
Zeile Messende	1920	nach 23 Minuten					Messdauer	23	936	913	kg
		6.0	2.9	3.8	3.8	3.8	0.037	2.731	2.69	0.04	kg
		4.3	4.0	3.8	3.8	3.8	0.001	1.812	1.81	0.00	kg
				3.1			0.036	0.919	0.88		kg
				3.6							
		nach 913 Minuten									
		4.2	1.8	2.5	2.5	2.4					
		3.0	2.6	4.3							
				6.4							

Einbaulage horizontal

Abbildung 9: Messblatt Verringerungsschutz Lüftungsgeräte

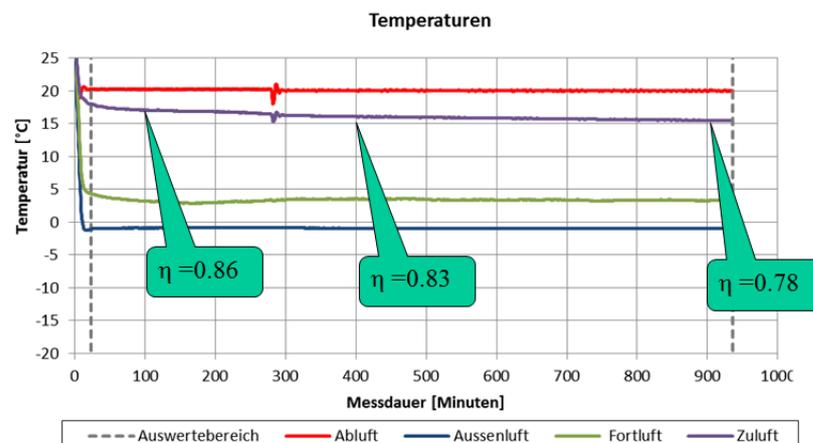


Abbildung 10: Temperaturen

4 Vereisungsgrenztemperatur

4.1 Definition

Definition nach Reglement für die technische Prüfung (2012)

Die Vereisungsgrenze θ_E gibt an, bei welcher Aussenlufttemperatur auf der Abluftseite der WRG die Bildung von Eis und Frost beginnt. Bei einem Dauerbetrieb bei oder unterhalb dieser Aussenlufttemperatur wird üblicherweise der Vereisungsschutz aktiv. Falls der Vereisungsschutz bereits bei einer höheren Aussenlufttemperatur aktiv wird (z.B. Einschalten eines Vorwärmers), dann gilt diese Einschaltgrenze als Vereisungsgrenze. Die Vereisungsgrenze wird bei einer Ablufttemperatur von 20°C und einer Feuchtkugelttemperatur von 12°C ermittelt.

Für die weitere Betrachtung gelten folgende Bezeichnungen:

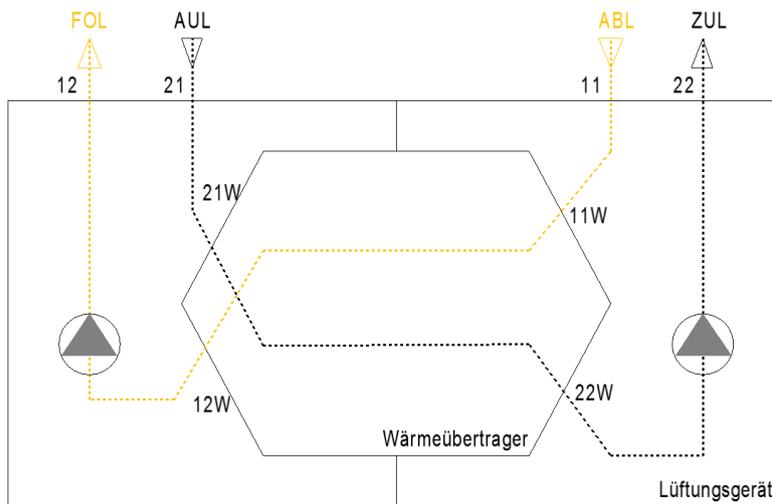


Abbildung 11: Lüftungsggerät

Temperaturverhältnis nach EN 13141-7 (Systemgrenze Lüftungsggerät):

$$\text{Formel 6: } \eta_{\theta, SU} = \frac{q_{m22}}{q_{m11}} * \frac{(\theta_{22} - \theta_{21})}{(\theta_{11} - \theta_{21})} \quad \text{Formel 7: } \eta_{\theta, ex} = \frac{q_{m12}}{q_{m21}} * \frac{(\theta_{11} - \theta_{12})}{(\theta_{11} - \theta_{21})}$$

Temperaturverhältnis (Systemgrenze Wärmeübertrager):

$$\text{Formel 8: } \eta_{ZUL} = \frac{q_{m22}}{q_{m11}} * \frac{(\theta_{22W} - \theta_{21W})}{(\theta_{11W} - \theta_{21W})} \quad \text{Formel 9: } \eta_{FOL} = \frac{q_{m12}}{q_{m21}} * \frac{(\theta_{11W} - \theta_{12W})}{(\theta_{11W} - \theta_{21W})}$$

4.2 Vereisungsverhalten

In der Auswertung der Messungen wurde das physikalische Kriterium für die Vereisungsgrenze vorgeschlagen:

Wenn die Druckverlustzunahme durch das Kondensat in der Abluft nach der Zeit T stagniert, gibt es noch keine relevante Vereisung. Erst wenn die Druckverlustzunahme nach dieser Zeit T weiter ansteigt, liegt Vereisung vor

$$\text{Formel 10: } \theta_{Platte} = \left(\frac{\theta_{21W} + \theta_{12W}}{2} \right) \quad \text{Bedingung: } \theta_{Platte} \geq 0^\circ\text{C}$$

θ_{12W} aus Prüfbericht oder nach Berechnung

4.3 Berechnung

Aus obiger Vorgabe wird die Vereisungsgrenztemperatur bestimmt

Formel 11: $\theta_E = -0.12W$

eingesetzt in die Formel (11) ergibt:

Formel 12:
$$\theta_E = \frac{\theta_{11W} * (\eta_{FOL} * \frac{q_{m21}}{q_{m12}} - 1)}{1 + \eta_{FOL} * \frac{q_{m21}}{q_{m12}}}$$

Beispiel gemäss Messung bei $-1^\circ C / 5.2g/kg$ (m_20140423_HP131307-1):

Formel 13:
$$\theta_E = \frac{20.2 * \left(0.84 * \frac{239}{241} - 1 \right)}{1 + 0.84 * \frac{239}{241}} = -1.8^\circ C$$

Gemäss den Messungen und der Definition muss die Vereisungsgrenztemperatur $-1 < \theta_E > -3$ sein. Somit stimmt die Berechnung recht gut mit der Vorgabe überein.

Ein Problem ist, dass bei einer Prüfung nach EN13141-7 keine Auswertung mit der Systemgrenze Wärmeübertrager, sondern das gesamte Gerät beurteilt wird. Deshalb ist bei der Berechnung mit dem $\eta_{\theta,ex}$ die Änderung der Lufttemperatur auf dem Weg vom Wärmeübertrageraustritt 12W bis zum Fortluftanschluss 12 zu berücksichtigen.

Formel 14: $\Delta 4_{FOL} = \Delta \theta_V + \Delta \theta_{Geh} + \Delta \theta_{leq}$

$\Delta \theta_V$ Temperaturänderung durch den FOL-Ventilator (bei Anordnung z.B. gem. Blockschema)

Formel 15:
$$\Delta \theta_V = \frac{P_{SPI} * 3.6}{2 * \rho * c}$$

Vereisungsgrenztemperatur berechnet mit Temperaturverhältnis $\eta_{\theta,ex}$

Formel 16:
$$\theta_E = \frac{\theta_{11} * (\eta_{\theta,ex} * \frac{q_{m21}}{q_{m12}} - 1) + \Delta \theta_{FOL}}{1 + \eta_{\theta,ex} * \frac{q_{m21}}{q_{m12}}}$$

Beispiel:

$$\Delta \theta_V = \frac{0.28 * 3.6}{2 * 1.142} = 0.4K$$

$$\Delta \theta_{FOL} = 0.4 + 0.2 + 0.1 = 0.7K$$

$$\theta_E = \frac{20.2 * \left(0.81 * \frac{239}{241} - 1 \right) + 0.7}{1 + 0.81 * \frac{239}{241}} = -1.8^\circ C$$

4.4 Einfluss der Abluftfeuchte auf die Vereisungsgrenztemperatur

Die Auswertung der Messungen zeigt, dass sich das Temperaturverhältnis η_{FOL} mit zunehmender Abluftfeuchte und die Vereisungsgrenztemperatur gemäss Definition reduzieren. (siehe Anhang)

Demnach sollte bei der Berechnung der Einfrierungsgrenztemperatur θ_E mit der Formel (18) das Temperaturverhältnis $\eta_{\theta, \text{ex}}$ bei der minimal vorkommenden Abluftfeuchte bei Aussenlufttemperatur von z.B. -1°C angewendet werden. Da in der Prüfnorm EN 13141-7 dieser Messpunkt nicht vorgesehen ist, sollte das Temperaturverhältnis $\eta_{\theta, \text{ex}}$ bei Messpunkt Nr.1 eingesetzt werden.

Dabei ist die Messung bei dem im Winter üblicherweise eingestellten Volumenstrom anzuwenden. Achtung: Bei kleinerem Volumenstrom steigen das Temperaturverhältnis und somit auch die Vereisungsgrenztemperatur!

5 Auswertung der Messungen

5.1 Druckverlustzunahme bei Kondensation (ohne Vereisung)

5.1.1 Messpunkte bei Referenzvolumenstrom 210 m³/h

Horizontaler Einbau , Ventilatoren druckseitig, Datei: m_2010401-...

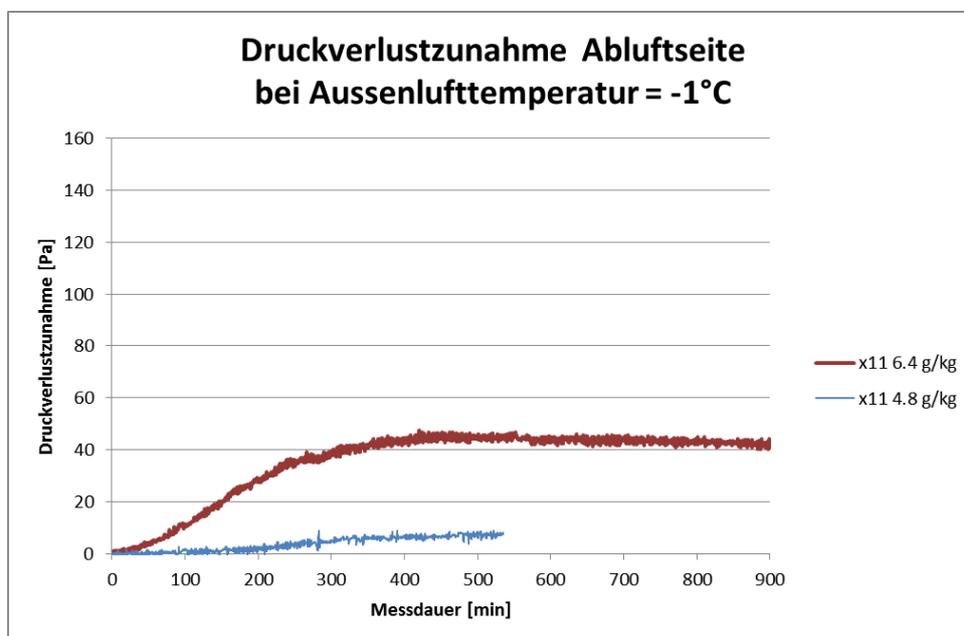


Abbildung 12: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C

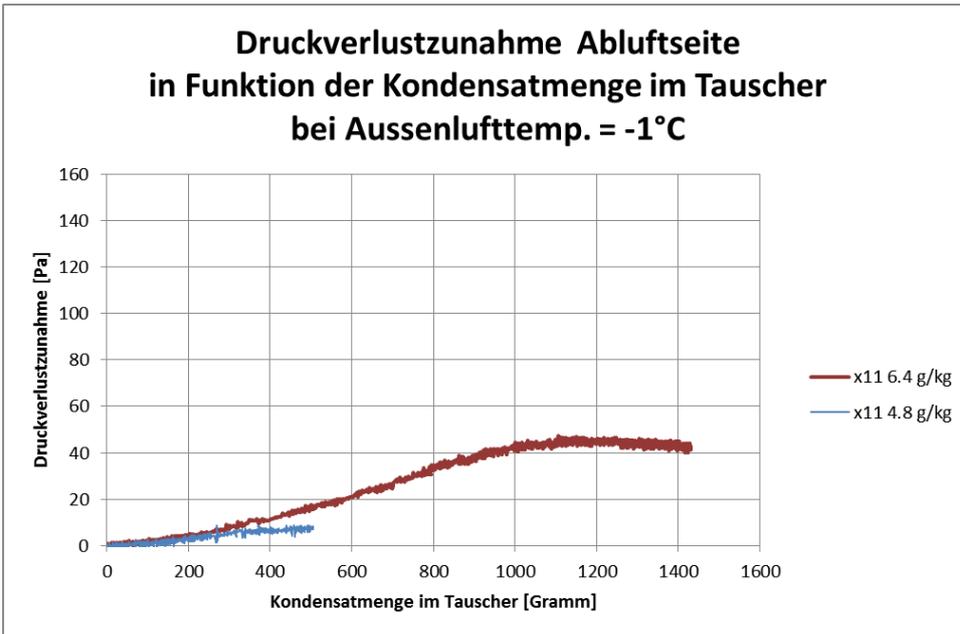


Abbildung 13: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Ablufttemp. = -1°C

Horizontaler Einbau , Ventilatoren saugseitig

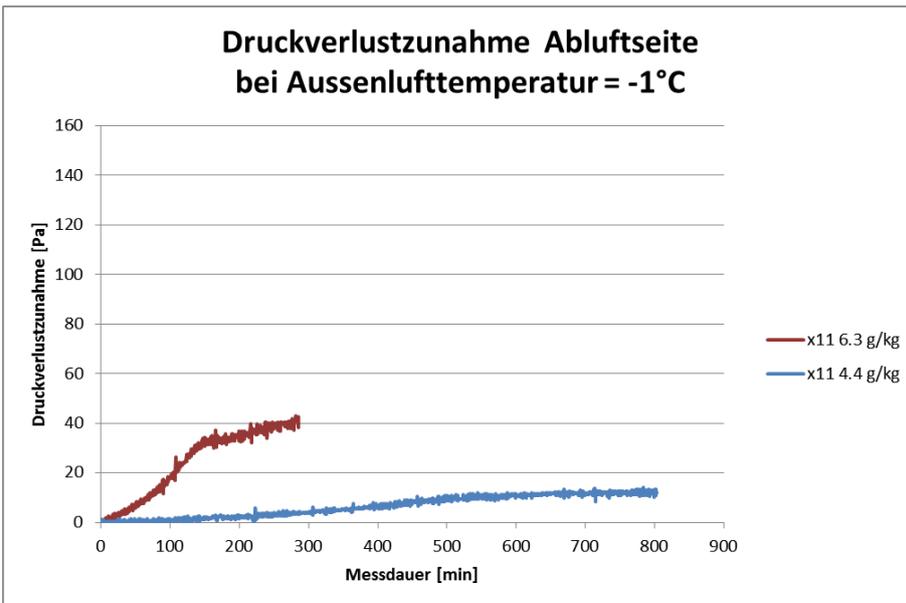


Abbildung 14: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C

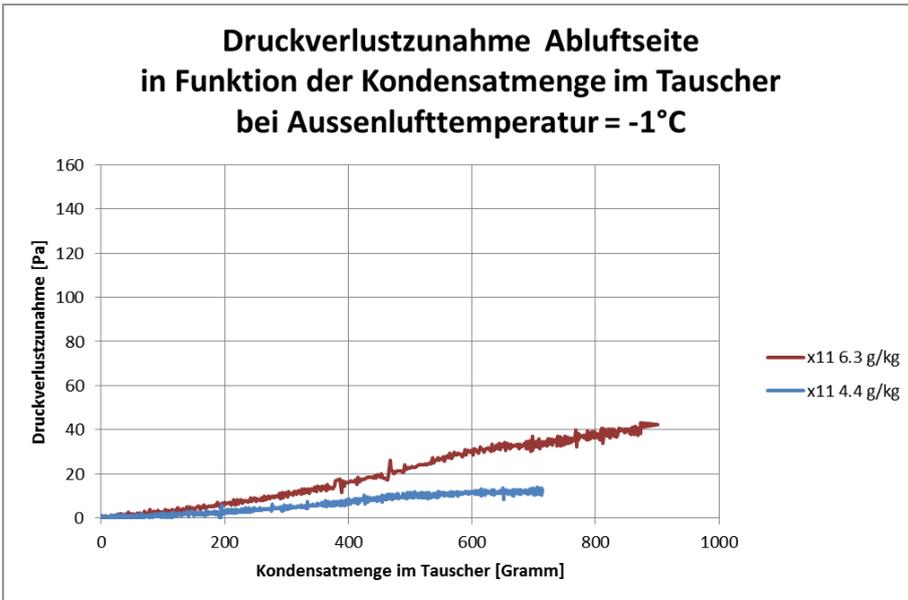


Abbildung 15: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -1°C

Vertikaler Einbau , Ventilatoren saugseitig

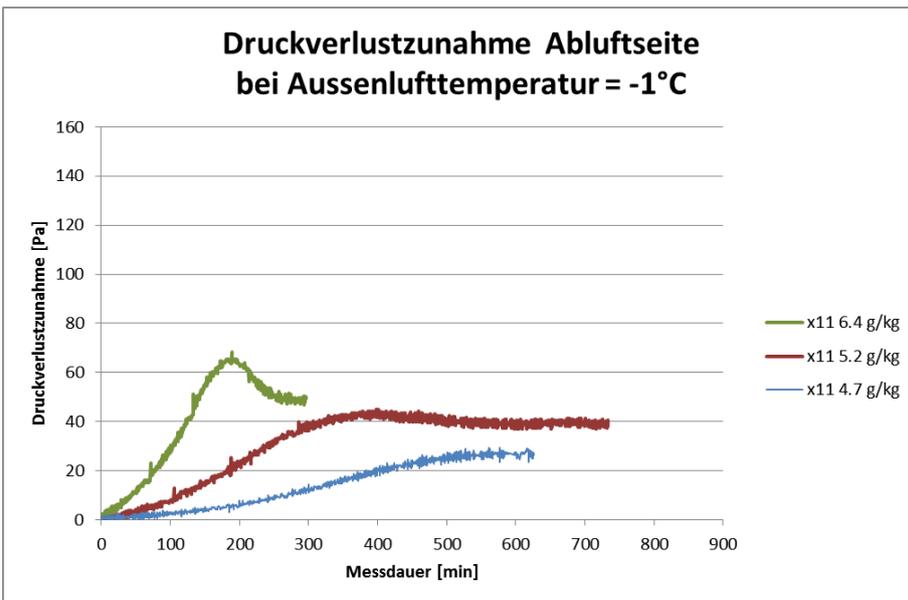


Abbildung 16: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C

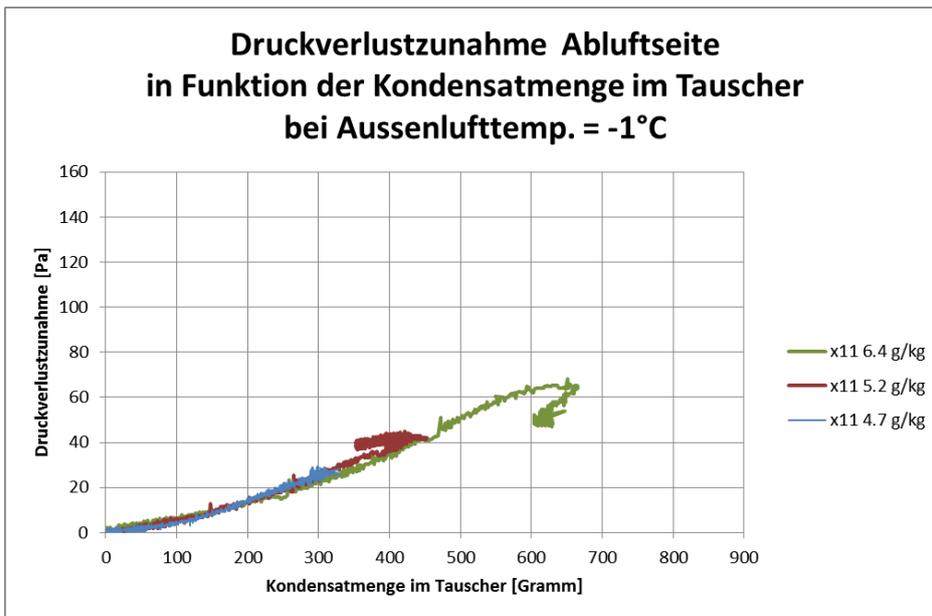


Abbildung 17: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemp. = -1°C

x-ABL	g/kg	6.4			4.7/4.8		
Einbau Luftkanäle		horizontal		vertikal	horizontal		vertikal
Ventilatoranordnung		Druck- seitig	Saug- seitig	Saug- seitig	Druck- seitig	Saug- seitig	Saug- seitig
Druckverlustzunahme	Pa	70 → 110	75 → 115	80 → 140	80 → 90	70 → 90	80 → 110
Max Δp nach	min	400	? <300	180	>500	600	600
Start von Kondensatauslauf	min	200	160	180	150	800	
Kondensatmenge in PWT	g	1'400	900	600	(600)	(800)	500
Druckverlustzunahme bei 400 g Kondensat im PWT	Pa	10	15	35	8	8	30
600g Kondensat im PWT		20	30	60	(10)	10	-

5.2 Interpretation/Diskussion der Messergebnisse

Bei horizontalem Einbau und saugseitiger Ventilatoranordnung ist die theoretische Kondensatmenge, welche im Plattenwärmetauscher (PWT) „hängen“ bleibt, um den Faktor 1.5 grösser als beim vertikalen Einbau. Bei der geringeren Abluftfeuchte von 4.8 g/kg ist nach 500 s Messdauer die maximale Kondensatmenge im PWT noch nicht erreicht.

Die Druckverlustzunahme erfolgt beim vertikalen Einbau und 6.4 g/kg doppelt so schnell als wie beim horizontalen Einbau.

Die Druckverlustzunahme ist im stationären Zustand (Kondensatmenge im PWT) und bei 6.4 g/kg nach ca. 400 min bei beiden Einbaulagen ca. gleich hoch und beträgt ca. $40/70 \cdot 100 = 57\%$! Bei Abluftfeuchte von 4.8 g/kg ist die Druckverlustzunahme beim vertikalen Einbau $30/80 \cdot 100 = 38\%$ und beim horizontalen Einbau nur $10/80 \cdot 100 = 13\%$.

Beim vertikalen Einbau ist die Druckverlustzunahme bei gleicher Kondensatmenge im PWT um den Faktor 3 grösser als bei der horizontalen Einbaulage.

Der Druckverlust stagniert nach einer Zeit T. Beim horizontalen Einbau steigt die theoretische Kondensatmenge im PWT aber weiter an? Beim vertikalen Einbau kann dies nicht beobachtet werden.

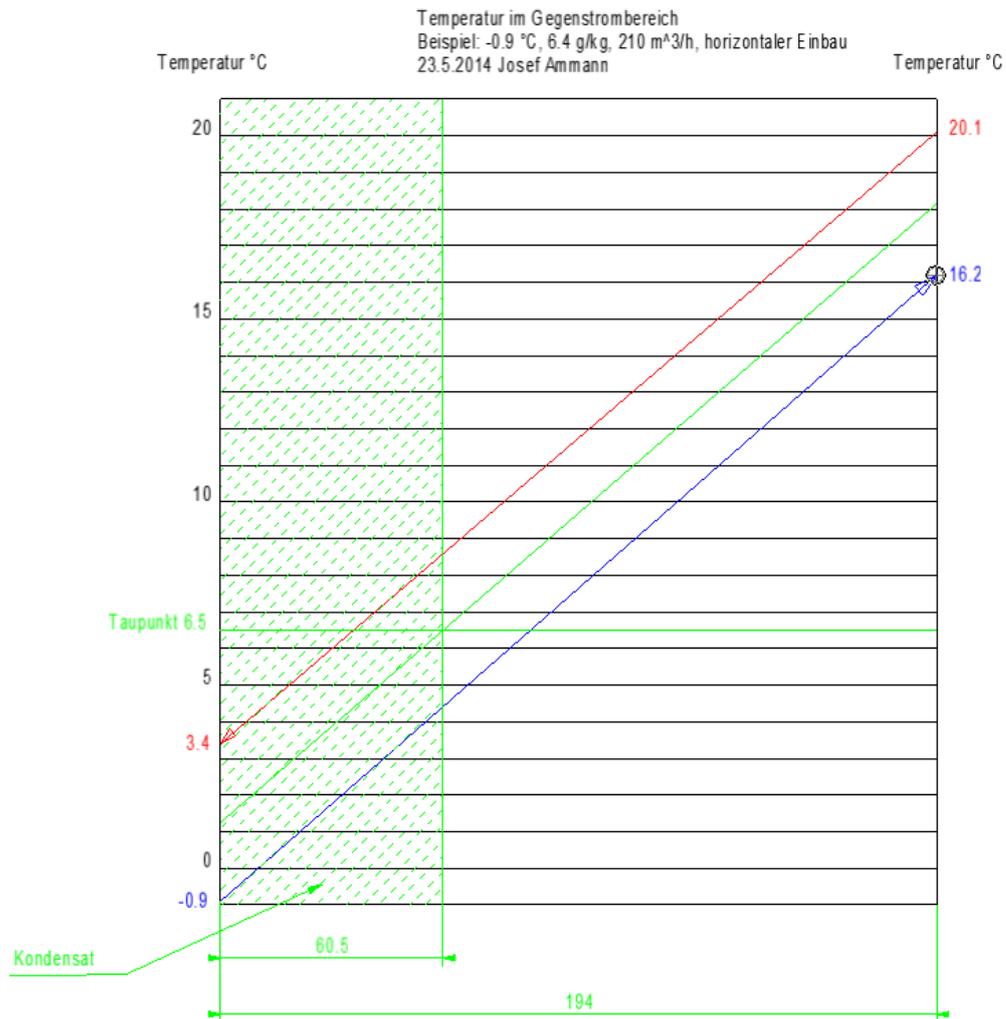


Abbildung 18: Temperatur im Gegenstrombereich

Rund 30 % der Tauscherfläche im Gegenstrombereich ist nass (theoretisch, ohne Berücksichtigung des Kreuzstrombereichs).

Die Plattentemperatur (grüne Linie) ist noch oberhalb von 0°C → theoretisch keine Vereisungsgefahr.

5.3 Vereisungsverhalten

Die Analyse der Diagramme *Druckverlustzunahme in Abhängigkeit der Messdauer* bei unterschiedlichen Aussenlufttemperaturen liefert das Kriterium für die Vereisungsgrenze:

Wenn die Druckverlustzunahme durch das Kondensat in der Abluft nach der Zeit T stagniert, gibt es noch keine relevante Vereisung. Erst wenn der Druckverlust nach dieser Zeit T weiter zunimmt, liegt Vereisung vor und es sind Schutzmassnahmen notwendig.

Begründung am Beispiel bei vertikalem Einbau, Ventilatoren saugseitig:

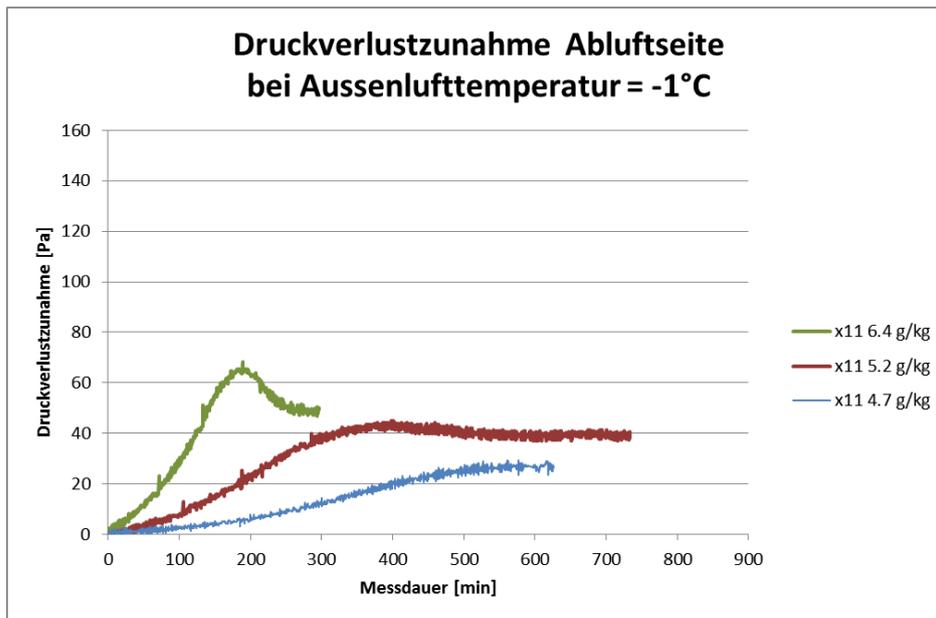


Abbildung 19: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C

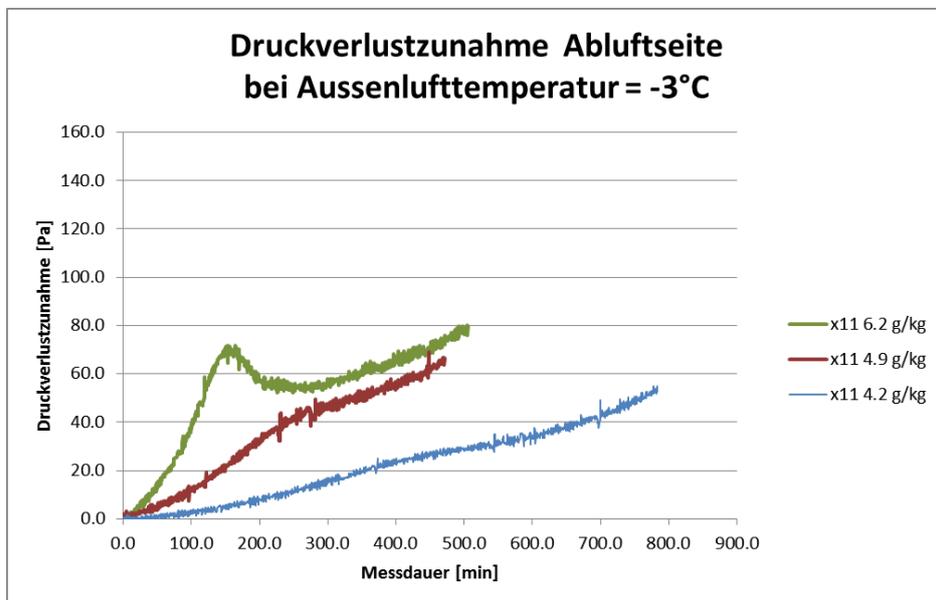


Abbildung 20: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -3°C

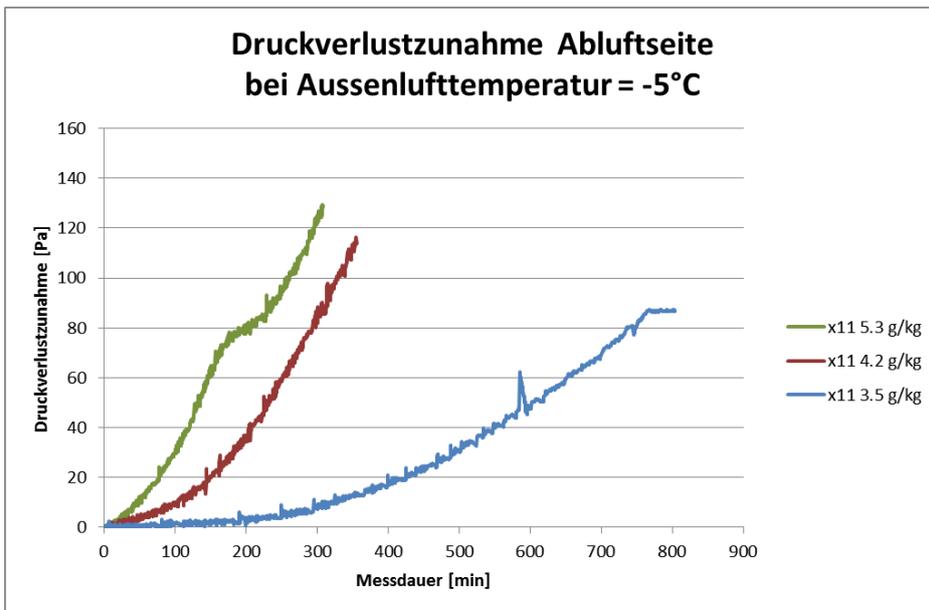


Abbildung 21: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -5°C

Dieses Beispiel zeigt, dass obiges Kriterium für die Vereisung bei Aussentemperatur zwischen -1 und -3°C erfüllt ist. Interessant ist, dass die Abluftfeuchte nur wenig Einfluss auf das Ergebnis hat.

Einfluss der Einbaulage: Bei horizontaler Einbaulage zeigt sich das gleiche Verhalten bezüglich der Vereisung. Die Druckverlustzunahme ist jedoch geringer und die Zeit T grösser (siehe Punkt 1. Kondensatverhalten).

Einfluss des Volumenstroms: Messung am Beispiel bei horizontalem Einbau:

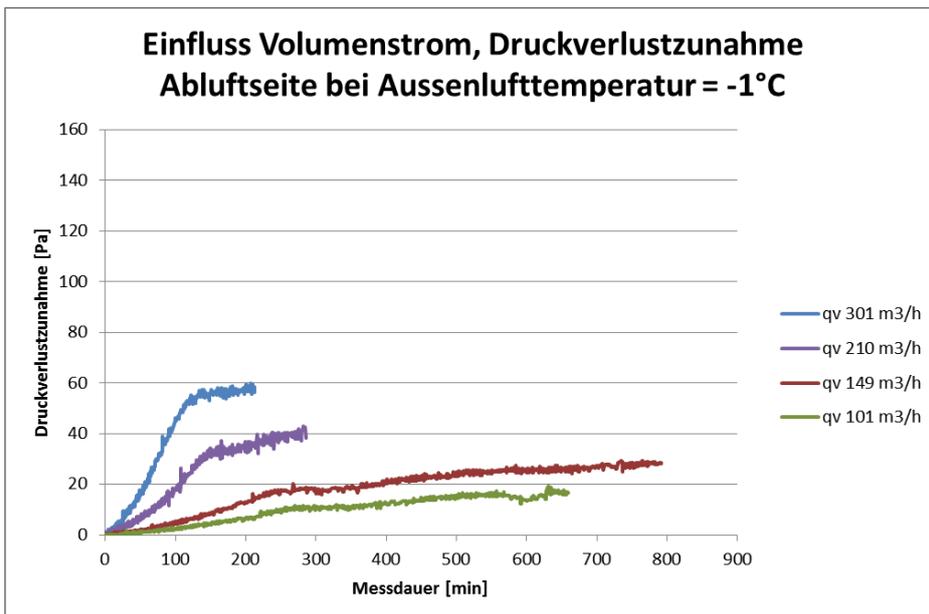


Abbildung 22: Einfluss Volumenstrom, Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C

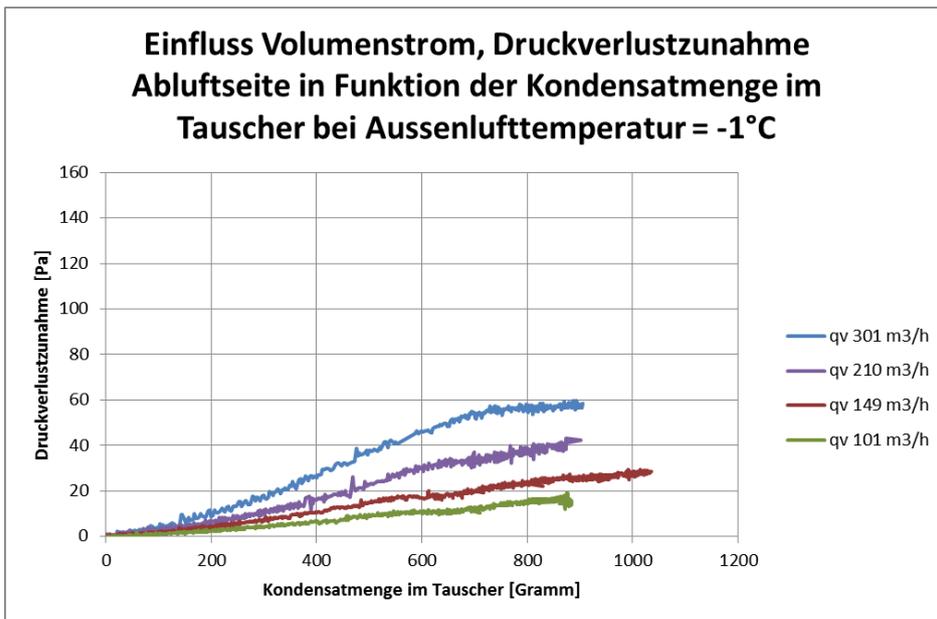


Abbildung 23: Einfluss Volumenstrom, Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -1°C

Die Zeit T ändert sich in Abhängigkeit vom Volumenstrom. Bezüglich der Vereisung ist das sich ändernde Temperaturverhältnis in Funktion vom Volumenstrom zu berücksichtigen

Berechnung der Vereisungsgrenztemperatur:

Die bekannte Berechnung der Plattentemperatur am Austritt ergibt beim Beispiel vertikaler Einbau und bei Referenzvolumenstrom Folgendes:

θ_{21W}	°C	-1			-3		
x_{11W}	g/kg	4.7	5.2	6.4	4.2	4.9	6.25
θ_{12W}^*	°C	1.8	2.5	3.5	0.0	1.0	2.4
θ_{Platte}	°C	0.4	0.75	1.25	-1.5	-1.0	-0.3
Kriterium	Vereisung	nein	nein	nein	Ja	Ja	Ja

Tabelle 3: Berechnung der Plattentemperatur

*Mittelwerte aus relevantem Messbereich

Formel 8:
$$\theta_{Platte} = \left(\frac{\theta_{21W} + \theta_{12W}}{2} \right)$$

θ_{12W} aus Prüfbericht oder nach Berechnung

Die bekannte Berechnung stimmt gut mit dem Kriterium über die Vereisungsgrenze überein.

5.4 Temperaturverhältnis

Welchen Einfluss hat die Kondensation auf das Temperaturverhältnis?

Analyse bei vertikalem Einbau, Ventilatoren saugseitig angeordnet

θ_{21W}	°C	-1								
X_{ABL}	g/kg	4.8			5.2			6.4		
Messbereich		Φ	A	E	Φ	A	E	Φ	A	E
Π_{ZUL}	%	85	86	84	83	89	80	85	88	83
Π_{FOL}	%	88	87	88	84	83	82	79	79	78

θ_{21W}	°C	-3								
X_{ABL}	g/kg	4.2			4.9			6.25		
Messbereich		Φ	A	E	Φ	A	E	Φ	A	E
Π_{ZUL}	%	84	87	81	83	87	79	84	88	83
Π_{FOL}	%	87	84	88	83	81	83	77	77	77

θ_{21W}	°C	-5								
X_{ABL}	g/kg	3.5			4.2			5.3		
Messbereich		Φ	A	E	Φ	A	E	Φ	A	E
Π_{ZUL}	%	85	86	84	84	86	78	84	88	79
Π_{FOL}	%	85	87	82	86	84	88	82	79	?

Tabelle 4: Analyse bei vertikalem Einbau, Ventilatoren saugseitig angeordnet

Analyse bei horizontalem Einbau, Ventilatoren saugseitig angeordnet

θ_{21W}	°C	-1								
XABL	g/kg	4.4			5.2			6.3		
Messbereich		Φ	A	E	Φ	A	E	Φ	A	E
Π_{ZUL}	%	84	87	83				86	88	83
Π_{FOL}	%	88	86	88				82	78	83
θ_{21W}	°C	-3								
XABL	g/kg	4.1			5.0			6.3		
Messbereich		Φ	A	E	Φ	A	E	Φ	A	E
Π_{ZUL}	%	83	87	78	81	88	74	86	88	83
Π_{FOL}	%	89	86	89	87	83	84	83	81	83

θ_{21W}	°C	-5								
XABL	g/kg	3.5			4.2			5.4		
Messbereich		Φ	A	E	Φ	A	E	Φ	A	E
Π_{ZUL}	%	82	86	78	82	87	75	81	88	71
Π_{FOL}	%	90	87	90	92	86	97	86	81	87

Tabelle 5: Analyse bei horizontalem Einbau, Ventilatoren saugseitig angeordnet

Legende: Messbereich Φ = Mittelwert über relevante Messperiode; A = erste 50min, E letzte 50 min. Verwendete Temperatur auf der Fortluftseite = Mittelwert über 9 Messpunkte. Bei der Auswertung wurde der Einfluss der Messabweichungen nicht berücksichtigt.

Diese Temperaturverhältnisse gelten nur für den PWT und entsprechen nicht der Definition in der Prüfnorm für Wohnungslüftungsgeräte EN 13141-7!

Formel 9:
$$\eta_{ZUL} = \frac{q_{m22}}{q_{m11}} * \frac{(\theta_{22W} - \theta_{21W})}{(\theta_{11W} - \theta_{21W})} \quad \eta_{FOL} = \frac{q_{m12}}{q_{m21}} * \frac{(\theta_{11W} - \theta_{12W})}{(\theta_{11W} - \theta_{21W})}$$

Positionen siehe Blockschema:

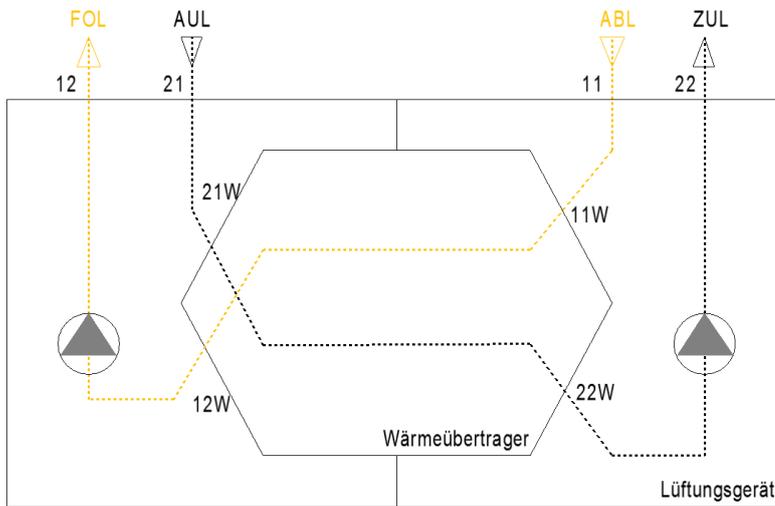


Abbildung 24: Blockschema

Diskussion obiger Auswertung:

- Das Temperaturverhältnis auf der Zuluftseite sinkt mit zunehmender Kondensatmenge im PWT
- Die Abluftfeuchte hat wenig Einfluss auf das Temperaturverhältnis auf der Zuluftseite
- Bei der Fortluftseite hingegen, reduziert sich das Temperaturverhältnis mit zunehmender Abluftfeuchte!
- Bei der Aussenlufttemperatur von -3 und -5°C sinkt das Fortluft FOL bezogene Temperaturverhältnis stärker als bei -1°C. Ursache Vereisung!
- Beim horizontalen Einbau und Ventilatoren saugseitig angeordnet ist das Temperaturverhältnis bezogen auf die FOL grösser als beim vertikalen Einbau und reduziert sich mit zunehmender ABL-Feuchte nur wenig.

Der Volumenstrom hat folgenden Einfluss auf das Temperaturverhältnis:

θ_{21W} / x_{ABL}	°C/g/kg	-1/5.8...6.3											
q_{V11}	m³/h	101			149			210			301		
Messbereich		Φ	A	E	Φ	A	E	Φ	A	E	Φ	A	E
Π_{ZUL}	%	89	93	85	86	90	83	85	88	83	83	85	81
Π_{FOL}	%	88	82	91	87	82	87	79	79	78	79	77	79

Tabelle 6: Analyse bei horizontalem Einbau, Ventilatoren saugseitig angeordnet

6 Zusätzliche Vereisungsschutz-Massnahmen

6.1 VS-Massnahme: Vorheizung mit einem Sole-Heizregister (Erdwärme) VS9

6.1.1 Definition

Die Vorwärmung der Aussenluft erfolgt mit einem Sole-Heizregister. Dabei wird erneuerbare Energie aus einer Erdsonde oder einem Erdregister genutzt.

Diese VS-Massnahme unterscheidet sich von der Variante VS2. Die Lüftungsgrad-Stunden F_h und F_{EL} sind bei dieser Variante 0 Kh

Der Faktor für den zusätzlichen luftseitigen Druckverlust $f_{VS,\Delta p}$ ist nach Tabelle 4 einzusetzen. Dieser Druckverlust setzt sich zusammen aus dem Sole-Luftwärmtauscher und dem zusätzlichen Filter.

Der elektrische Energiebedarf für die Pumpe wird gesondert berechnet. Dabei wird zwischen einer geregelten und nicht geregelten Pumpe unterschieden.

Die Pumpe ist bei Aussentemperaturen kleiner VS-Grenztemperatur in Betrieb

6.1.2 Berechnung von SEC_{CH}

Ergänzung zum Reglement für die technische Prüfung vom 1.1.2012:

Spezifischer Energieaufwand für die Vereisungsschutz-Massnahme in kWh/(m²*a)

Formel 10:
$$q_{VS} = q_{VS,El} + q_{VS,h} + q_{VS,SolPu}$$

Formel 20:
$$q_{VS,El} = \frac{\dot{V}_{su}}{A_E} * F_{El} * \rho * c * \frac{1}{3600} * f_{VS,Ctrl} * f_{P,EL}$$

Formel 21:
$$q_{VS,h} = \frac{\dot{V}_{su}}{A_E} * F_h * \rho * c * \frac{1}{3600} * \frac{f_{P,h}}{\eta_h}$$

Formel 22:
$$q_{VS,SolPu} = \frac{P_{SolPu}}{100 * 1000} * t_{SolPu} * f_{VS,Ctrl} * f_{P,EL}$$

Faktoren je nach Art der VS-Massnahme			VS-Grenztemperatur θ_E [°C]			
Nr.	Art der VS-Massnahme		-2	-3	-4	-5
VS9	Vorheizung mit Sole-Heizregister (Erdwärme)	F_h	0	0	0	0
		F_{el}	0	0	0	0
		t_{SolPu}	517	358	286	233
	Geregelte Pumpendrehzahl <small>(PWM)</small>	$f_{VS,Ctrl}$	0.75	0.75	0.75	0.75
		Einstufige Pumpe (Ein/Aus)	$f_{VS,Ctrl}$	1.0	1.0	1.0

Tabelle 7: Werte für F_h , F_{el} , t_{SolPu} , und $f_{VS,Ctrl}$

F_{El} Lüftungsgradstunden Kh/a für VS-Massnahme (elektrische Heizung), Tabelle 21

$f_{VS,Ctrl}$ Faktor für die Steuerung/Regelung der elektrischen Heizung, Tabelle 21

F_h Lüftungsgradstunden in Kh/a für VS-Massnahme (PWW-Heizung), Tabelle 21

$q_{VS,SolPu}$ spezifischer Energieaufwand für die Solepumpe in kWh/(m².a) gilt für VS9

P_{SolPu} max. Leistungsaufnahme der Pumpe W (Wenn keine Vorgaben Standardwert 60W)

t_{SolPu} Betriebszeit je nach VS-Grenztemperatur θ_E in h (nach Tabelle 21)

6.1.3 Beispiel

Herstellerangaben für VS-Massnahme VS9:

$$P_{\text{SolPu}} = 60 \text{ W}$$

$$\text{VS-Grenztemperatur} = -3^\circ\text{C}$$

Solepumpe Drehzahl geregelt

Berechnung:

$$q_{\text{VS,SolPu}} = \frac{60}{100 \cdot 1000} \cdot 358 \cdot 0.75 \cdot 2.0 = 0.32 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$q_{\text{VS}} = 0 + 0 + 0.32 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

6.2 VS-Massnahme: Abtauschaltung VS10 und VS11

6.2.1 Definition

Bei einer abluftseitigen Druckverlustzunahme über den Wärmeübertrager beim Referenzvolumenstrom von 70 Pa wird der Aussenluft-Bypass geöffnet. Die Aussenluft wird während der Abtauzeit über ein Heizregister auf die Zulufttemperatur von 15°C (Behaglichkeitsgrenze) erwärmt. Wenn sich diese Druckverlustzunahme auf 20 Pa reduziert hat, wird der AUL-Bypass geschlossen und diese Heizung auf AUS gestellt.

Diese VS-Massnahme unterscheidet sich von der VS7 und VS8. Die Aktivierung erfolgt über den zusätzlichen Sensor und nicht über die VS-Grenztemperatur θ_E .

Der ZUL- und ABL-Volumenstrom wird während dem Abtaubetrieb nicht reduziert. Neben dem Druckdifferenzsensor ist eine Messung des ABL-Volumenstroms notwendig

Es ist auf den erhöhten Wartungsaufwand für den robusten Betrieb dieser Abtauschaltung hinzuweisen (Verschmutzung des Wärmeübertragers, Sensoren).

6.2.2 Auswertung der Messungen

Vertikaler Einbau und Referenzvolumenstrom:

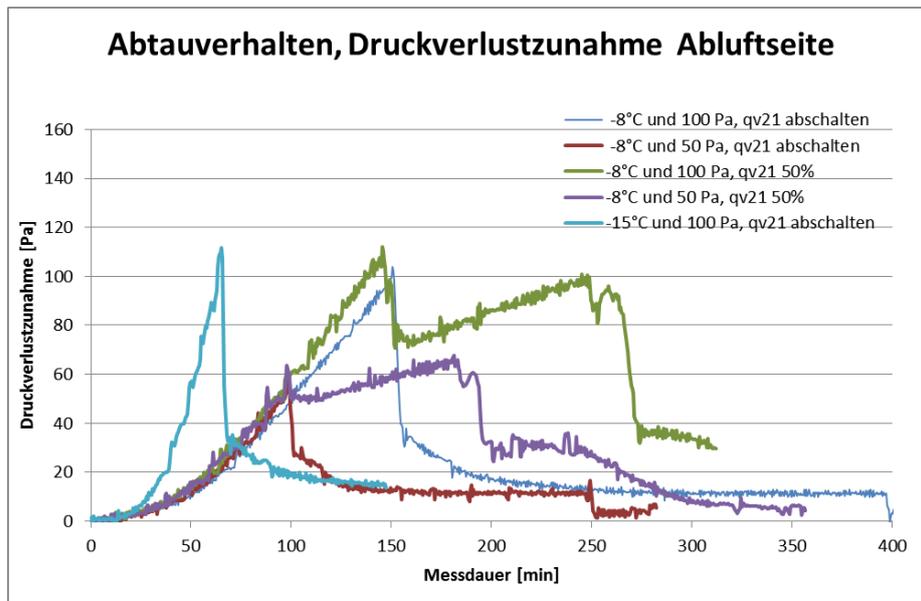


Abbildung 25: Abtauverhalten, Druckverlustzunahme Abluftseite

Bei der Einstellung -8°C und bei $\Delta 100 \text{ Pa}$ die Aussenluft qv21 abschalten, ergibt sich im Bereich von 20 Pa bis 100 Pa Druckverlustzunahme eine Abtauzeit von 35 min und eine Betriebszeit von 82 min. Bei -15°C ist die Betriebszeit nur noch 27 min und die Abtauzeit 30 min.

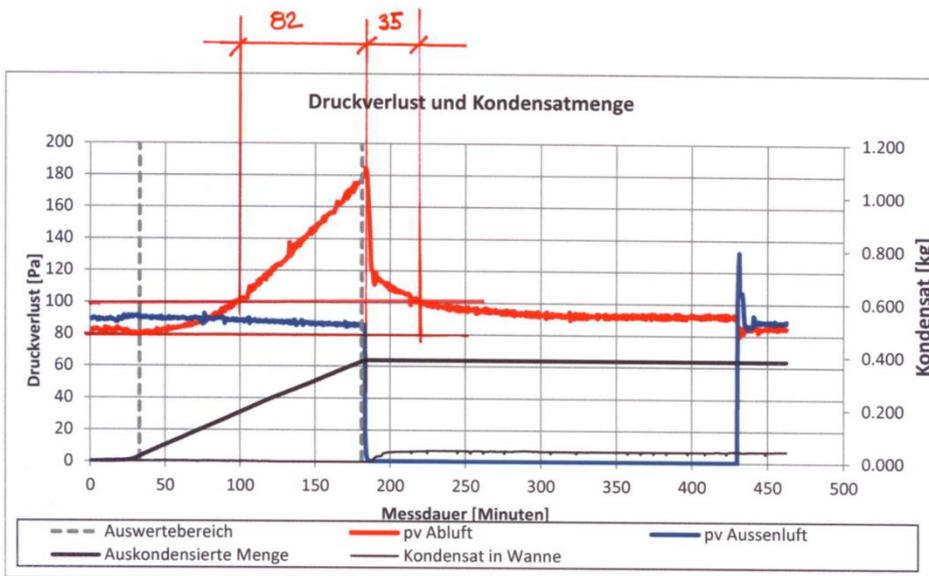


Abbildung 26: Abtauschaltung bei -8°C, 4.3 g H2O/kg

Da bei Wohnungslüftungsgeräten je nach Ventilator Kennlinie wenig Druckerhöhung zur Verfügung steht, wird der Grenzwert auf einen Druckdifferenz von 70 Pa bzw. einen Bereich zwischen 20 und 70 Pa für die Abtauschaltung festgelegt.

Die Änderung des Massenstromverhältnisses, Abluft qv_{21} zu 50% über den Bypass, führt nur kurzzeitig zu einer geringen Druckverlustreduktion. Diese Abtaustrategie ist demnach nicht zweckmässig!

Horizontaler Einbau:

Für diese Einbaulage wurde die Abtauschaltung nicht untersucht.

Energiebedarf

Der Energiebedarf für diese VS-Massnahme setzt sich zusammen aus

Elektrischer Energie infolge des erhöhten Druckverlustes

Energie für die Nachheizung der AUL beim Abtaubetrieb

Dieser Energiebedarf kann vereinfacht nach folgendem Bild berechnet werden.

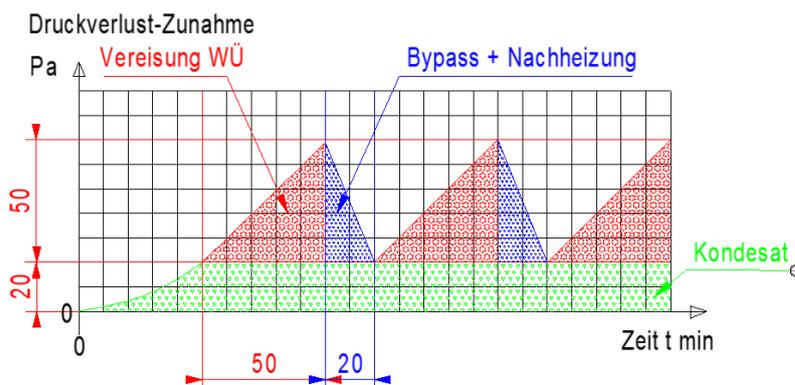


Abbildung 27: vereinfachte Dynamik der Abtauschaltung

Die Steilheit der Vereisung (rote Linie) ändert sich mit der Aussenlufttemperatur und der Abluftfeuchte. Obiges Bild ist eine Vereinfachung und eine mittlere Abbildung für die Berechnung.

Anteilige Einschaltzeit der Nachheizung = $20 \text{ min} / 70 \text{ min} = 0.29$

6.2.3 Berechnung von SEC_{CH}

Ergänzung zum Reglement für die technische Prüfung vom 1.1.2012

Spezifisch elektrischer Energiebedarf für die Lüftung in kWh/(m²*a)

Formel 23:
$$q_{El} = \frac{\dot{V}_{su}}{A_E} * P_{SPI} * 8760 * f_{Ctrl}^{2.5} * f_{VS,\Delta p} * f_{P,EL} / 1000$$

P_{SPI} spez. elektrische Leistung der Lüftung beim Referenzpunkt in W*h/m³ und bei den Prüfbedingungen der thermischen Prüfung (Messpunkt 1 oder 2). Berechnet mit dem Mittelwert aus dem Zuluft- und Abluftvolumenstrom.

f_{VS,Δp} Faktor für zusätzlichen Druckverlust der Vereisungsschutz-Massnahme (siehe Tabelle 8)

f_{P,El} Gewichtung des Energieträgers elektrischer Strom 2.0

Faktor für zusätzlichen Druckverlust der Vereisungsschutz-Massnahme f _{VS,Δp}		Zus. Druckverlust [Pa] bei Referenzvolumenstrom und Ventilatorwirkungsgrad*							
		η _{Vent} = 0.26				η _{Vent} = 0.35			
Nr.	Art der VS-Massnahme	5	10	15	20	5	10	15	20
VS1	Feuchterückgewinnung t _E <-12°C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VS2-VS11	Alle weiteren Varianten von VS-Massnahmen (siehe Tabelle)	1.01	1.02	1.03	1.03	1.01	1.01	1.02	1.02

Tabelle 8: Werte für f_{VS,Δp}

*Standardwerte für Ventilatorwirkungsgrad:

EC-Motor mit Trommelläufer (vorwärtsgekrümmtes Laufrad) η_{Vent} = 0.26

EC-Motor mit rückwärtsgekrümmtem Laufrad η_{Vent} = 0.35

Berechnung von f_{VS,Δp} für abweichende Ventilatorwirkungsgrade siehe Anhang.

Wenn die Vorrichtung für die VS-Massnahme im Lüftungsgerät eingebaut ist und kein zus. Druckverlust entsteht, dann ist f_{VS,Δp} = 1.00.

Bei den VS-Massnahmen VS10 und VS11 setzt sich der Faktor f_{VS,Δp} aus 2 zusätzlichen Druckverlusten zusammen.

Nachheizregister (elektrisch oder PWW)

Wärmeübertrager bei der Abtauschaltung

Beim Druckverlust über den Wärmeübertrager wird ein gewichteter zusätzlicher Druckverlust angewendet.

Formel 24 :
$$\Delta p_{abt} = 45 * \frac{t_{abt}}{8760}$$

Δp_{abt} gewichteter zusätzlicher Druckverlust während der Abtauperiode (Aussenlufttemperatur < VS-Grenztemperatur) in Pa

45 mittlere zusätzliche Druckverluste während der Abtauperiode Pa

t_{abt} Betriebszeit je nach VS-Grenztemperatur (Tabelle 9) in h

6.2.4 Spezifischer Energieaufwand für die Vereisungsschutz-Massnahmen VS10 und VS11

Ergänzung in Tabelle 9:

Faktoren je nach Art der VS-Massnahme		VS-Grenztemperatur θ_E [°C]				
Nr.	Art der VS-Massnahme		-2	-3	-4	-5
VS10	Abtauschtung	F_h	0	0	0	0
	Bypass und Nachheizung mit elektrischem Heizregister, geregelt auf Zulufttemperatur 15°C, Regelung mit zusätzlichem Druckdifferenzsensor	F_{el}	3000	2191	1805	1503
		T_{abt}	517	358	286	233
		$f_{VS,Ctrl}$	1.0	1.0	1.0	1.0
VS11	Abtauschtung	F_h	3000	2191	1805	1503
	Bypass und Nachheizung mit PWW- Heizregister, Festwertregelung auf Zulufttemperatur 15°C, Regelung mit zusätzlichem Druckdifferenzsensor	F_{el}	0	0	0	0
		t_{abt}	517	358	286	233
		$f_{VS,Ctrl}$	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabelle 9: Werte für F_h , F_{el} , t_{SolPu} , t_{abt} , und $f_{VS,Ctrl}$

7 Einfluss der Abluftfeuchte auf den Energiebedarf

7.1 Grundlagen

Im Reglement für die technische Prüfung (2012) werden der Nutzen und der Aufwand bei Kondensation im Wärmeübertrager nicht berücksichtigt. Der Messpunkt 1 für Wärmeübertrager nach Kategorie 1 ist ohne Kondensation.

Bei Kondensation sollte theoretisch einerseits ein höherer Wärmegewinn entstehen, andererseits steigt der SPI-Wert wegen dem grösseren Druckverlust.

Folgende Bewertung und Vorschlag basieren auf die Messreihen →siehe Auswertung der Messungen.

7.2 Kondensation im Wärmeübertrager (ohne Vereisung)

In der Prüfnorm EN 13141-7 ist der Messpunkt Nr. 2 definiert. Dieser Messpunkt liefert die Kennzahlen bei Kondensation: z.B. bei einem Temperaturverhältnis $\eta_{\theta, su}$ von 0.85 ist das Δx in der Abluft 2g/kg.

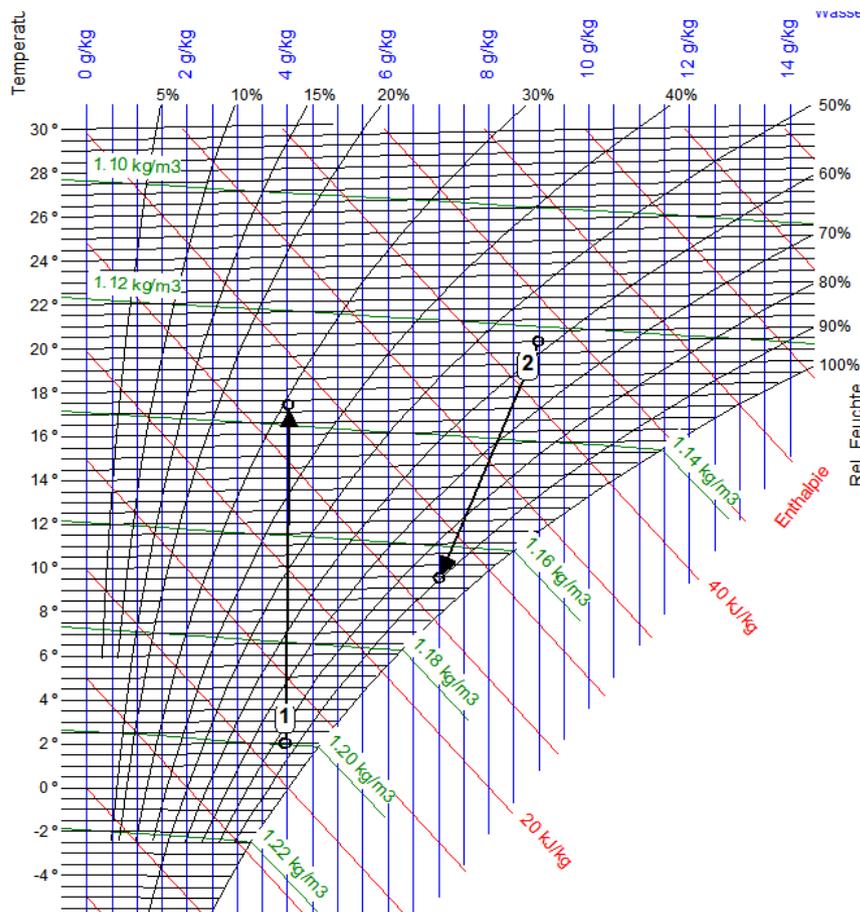


Abbildung 28: Kondensation im Wärmeübertrager (ohne Vereisung)

Für die Beurteilung der Energieeffizienz sollte dieser Messpunkt Nr.2 zusätzlich verpflichtend für alle Kategorien geprüft werden. Das bewertete Temperaturverhältnis und der bewertete Schedule Performance Index (SPI)-Wert kann damit als gewichteter Mittelwert aus den Ergebnissen nach Messpunkt 1 und Messpunkt 2 bestimmt werden.

Die Berechnung nach SMA_dry_Zürich ergibt, dass die 2 °C an 1585 h vorkommen. Wie die Messungen zeigen, hat die bei dem Messpunkt2 hohe Abluftfeuchte wenig Einfluss auf das Ergebnis. Die Druckverlustzunahme stagniert nach einer Einschwingzeit ab einer max. Kondensatmenge.

Gewichtung für das bewertete Temperaturverhältnis:

$$Gew_eta = \frac{t_{MP2}}{t} = \frac{1585}{6437} = 0.24$$

Gewichtung für den bewerteten SPI-Wert:

$$Gew_SPI = \frac{t_{MP2}}{8760} = \frac{1585}{8760} = 0.18$$

Vorschlag für die Gewichtung bei Wärmeübertrager nach Kategorie I:

$$\eta_{\theta,su} = Gew_eta * \eta_{\theta,su,MP2} + (1 - Gew_eta) * \eta_{\theta,su,MP1}$$

$$\eta_{\theta,ex} = Gew_eta * \eta_{\theta,ex,MP2} + (1 - Gew_eta) * \eta_{\theta,ex,MP1}$$

$$SPI = Gew_SPI * SPI_{MP2} + (1 - Gew_SPI) * SPI_{MP1}$$

Damit kann der Einfluss der Kondensation auf das Temperaturverhältnis und den SPI-Wert ohne grossen Rechenaufwand berücksichtigt werden. Die Prüfnorm EN13141-7 und die Klassierungsnorm EN 13142 sollten bei einer Überarbeitung entsprechend ergänzt werden.

7.3 Vereisungsschutz-Massnahme mit variabler Einfriergrenztemperatur

Wie im Dokument Auswertung der Messungen unter Punkt 4. beschrieben, hat die Abluftfeuchte Einfluss auf die Einfriergrenztemperatur θ_E . Die Frage ist, ob mit zusätzlichen Sensoren und einem Steuer-/Regelmodul der Energiebedarf für die Vereisungsschutz-Massnahme reduziert werden kann. Im Reglement für die technische Prüfung 2012 ist diese Massnahme bei der Variante VS3 optional definiert. Dabei wird ein reduzierter Faktor $f_{VS,contr}$ eingesetzt.

Varianten von zusätzlichen Sensoren für die transiente Einschaltung der Vereisungsschutz-Massnahme sind:

- Abluftfeuchte
- Druckdifferenz $\Delta p = p_{12} - p_{11}$
- Temperatur t_{12}

Wie gross ist das Energieeinsparpotential? Ist die Reduktion des spezifischen Energieaufwandes um 20% bei VS3 zutreffend? Kann diese Reduktion auch bei den Varianten VS4 bis VS8 berücksichtigt werden?

Die Antworten können aus den Messungen und der vorgeschlagenen Berechnung abgeleitet werden. Je nach Einbaulage ändert sich das Temperaturverhältnis η_{FOL} in Abhängigkeit der Abluftfeuchte von 4.1 bis 6.3 g/kg und bei Ablufttemperatur -3 bis -5°C um 6 bis 10 %Punkte. Dies in die Berechnung für die Einfriergrenztemperatur θ_E eingesetzt (Formel 9), ergibt eine Verbesserung um 0.8 bis 1.3K.

Damit kann die Änderung

der Lüftungsgradstunden E_{el} ausgehend von der Einfriergrenztemperatur θ_E abgeschätzt werden. Massgebend dazu ist die Zeit in welcher die höhere Abluftfeuchte, bei Aussenlufttemperaturen kleiner der Einfriergrenztemperatur, vorliegt.

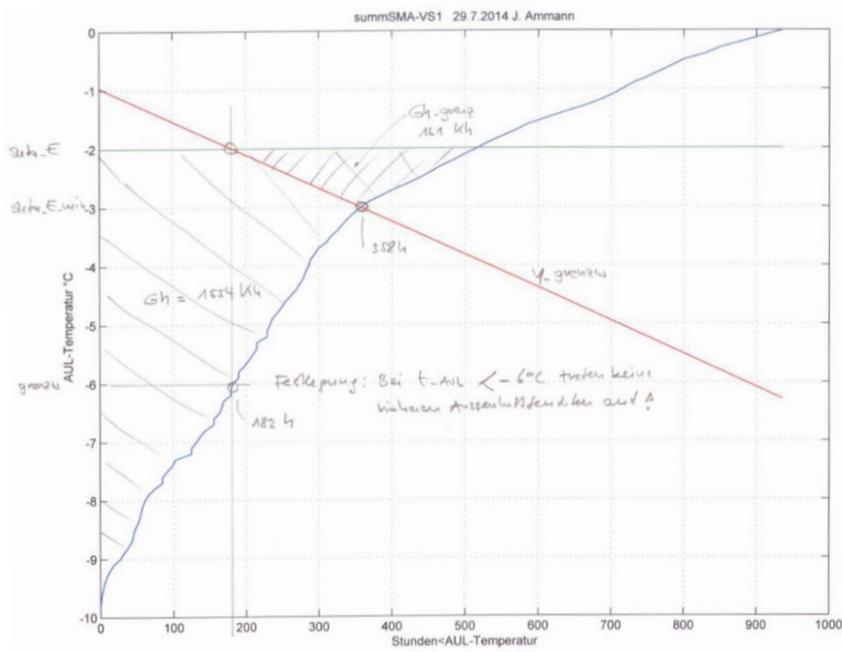


Abbildung 29: Vereisungsschutz-Massnahme mit variabler Einfriergrenztemperatur

Das Energieeinsparpotential ist gemäss diesem Beispiel nur 10%!

$$\text{Formel 25: } \Delta E = \frac{Gh_{\text{grenz}}}{Gh} = \frac{161}{1554} = 0.10$$

Wenn die Einfriergrenztemperatur kleiner ist als -2°C nimmt dieses Potential (gestrichelte Fläche Gh_{grenz}) ab und wenn die Einfriergrenztemperatur grösser ist wird das Potential grösser. Das Energieeinsparpotential kann direkt berechnet werden.

Der Faktor $f_{\text{VS,contr}}$ bei VS3 und der Option zusätzlicher Sensor sollte entsprechend korrigiert werden. Z.B bei θ_E von -2°C sollte $f_{\text{VS,contr}} = 0.90$ und nicht wie bisher 0.80 sein. Diese Reduktion kann sinngemäss bei den Varianten VS4 bis VS8 ebenfalls berücksichtigt werden.

Vorteil dieser Methode ist, dass keine Standard-Abluftfeuchte definiert werden muss. **Frage ist, ob dieses geringe Einsparpotential den Aufwand rechtfertigt.** Zudem ist die Robustheit der Steuerung/Regelung mit zusätzlichen Sensoren zu beachten. Bei der Druckdifferenzüberwachung sind dies die Verschmutzung und die Messung des Betriebspunktes. Die Messungen zeigen zudem, dass die Fortlufttemperatur θ_{12} für diese Aufgabe schlecht geeignet ist.

8 Ranking der Vereisungsschutz-Massnahmen

Auf der Basis der erarbeiteten Standardbetriebsbedingungen kann der SEC_{CH} -Wert der einzelnen VS-Massnahmen berechnet und damit ein Ranking erstellt werden. *kursiv: je nach VS-Massnahme angepasste Werte*

Ranking VS-Massnahmen		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bezeichnung												
V/A_E	$m^3/(h*m^2)$	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
t Std. < 15°C	h	6'437	6'437	6'437	6'437	6'437	6'437	6'437	6'437	6'437	6'437	6'437
$\Delta\theta$ 20°C- θ_e	K	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80
$\rho*c-(0.14*h)/1000$	$kJ/(m^3*K)$	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
$f_{P,H}$	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\eta_{\theta,su}$	-	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
$q_{V,St}$	$kWh/(m^2*a)$	-19.8	-19.8	-19.8	-19.8	-19.8	-19.8	-19.8	-19.8	-19.8	-19.8	-19.8
V_{su}/A_E	$m^3/(h*m^2)$	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
$\eta_{\theta,SU}$	-	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
$f_{Gdämm}$		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
f_{Leck}		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
η_V		0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
f_{Ctrl}	-	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
V_x	-	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
V_{th}/A_E	$m^3/(h*m^2)$	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$q_{V,LG}$	$kWh/(m^2*a)$	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
P_{SPI}	$W/(m^3*h)$	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
t_{abt}	h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	358	358
Δp_{abt}	Pa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
$f_{VS,\Delta P}$	-	1	1.02	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.01	1.02	1.02	1.02
$f_{P,EI}$	-	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
q_{EI}	$kWh/(m^2*a)$	3.08	3.14	3.11	3.11	3.11	3.14	3.14	3.11	3.14	3.14	3.14
F_h	Kh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2'191
F_{EI}	Kh	0	0	1'100	1'100	1'100	1'100	7'554	7'554	0	2'191	0
P_{SolPu}	W	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0
t_{SolPu}	h	0	0	0	0	0	0	0	0	358	0	0
$f_{VC,Ctrl}$	-	1.00	1.00	1.00	1.60	3.13	1.00	1.00	1.06	1.00	1.00	1.00
$q_{VS,EI}$	$kWh/(m^2*a)$	0.0	0.0	0.6	0.9	1.8	0.6	3.9	4.2	0.0	1.1	0.0
$q_{VS,h}$	$kWh/(m^2*a)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
$q_{VS,SolPu}$	$kWh/(m^2*a)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.43	0.00	0.00
q_{VS}	$kWh/(m^2*a)$	0.00	0.00	0.57	0.92	1.80	0.57	3.95	4.18	0.43	1.14	0.67
SEC_{CH}	$kWh/(m^2*a)$	-9.34	-9.28	-8.74	-8.39	-7.51	-8.71	-5.33	-5.13	-8.85	-8.14	-8.61
Effizienzklasse		B	B	B	C	C	B	E	E	B	C	B
Ranking		1	2	4	7	9	5	10	11	3	8	6

Tabelle 10: Ranking VS-Massnahmen

9 Literaturverzeichnis

Hartmann. (2001). Feuchteabgabe in Wohnungen.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Marktentwicklung Komfortlüftungsgeräte Schweiz; energie-cluster.ch	3
Abbildung 2/3:	Skizze „Prüfbox“ und Messanordnung Lüftungslabor HSLU Technik und Architektur (T&A) Horw	7
Abbildung 4:	Prüfaufbau	8
Abbildung 5:	Grundlagen der Messung	8
Abbildung 6:	Summenhäufigkeit der Aussenluftfeuchte bei Grenztemperaturen $\leq 0^{\circ}\text{C}$	8
Abbildung 7:	Abluftfeuchte	10
Abbildung 8:	Druckverlust und Kondensatmenge	11
Abbildung 9:	Messblatt Verringerungsschutz Lüftungsgeräte	11
Abbildung 10:	Temperaturen	11
Abbildung 11:	Lüftungsgerät	12
Abbildung 12:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C	14
Abbildung 13:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Ablufttemp. = -1°C	15
Abbildung 14:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C	15
Abbildung 15:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -1°C	16
Abbildung 16:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C	16
Abbildung 17:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemp. = -1°C	17
Abbildung 18:	Temperatur im Gegenstrombereich	18
Abbildung 19:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C	19
Abbildung 20:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -3°C	19
Abbildung 21:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -5°C	20
Abbildung 22:	Einfluss Volumenstrom, Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -1°C	20
Abbildung 23:	Einfluss Volumenstrom, Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -1°C	21
Abbildung 24:	Blockschema	24
Abbildung 25:	Abtauverhalten, Druckverlustzunahme Abluftseite	26
Abbildung 26:	Abtauschaltung bei -8°C , 4.3 g H ₂ O/kg	27
Abbildung 27:	vereinfachte Dynamik der Abtauschaltung	27
Abbildung 28:	Kondensation im Wärmeübertrager (ohne Vereisung)	30
Abbildung 29:	Vereisungsschutz-Massnahme mit variabler Einfrierungsgrenztemperatur	32

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	„VS-Massnahmen“: Werte für F_h , F_{el} , t_{SolPu} , t_{abt} , und $f_{VS,Ctrl}$	6
Tabelle 2:	Variation der Abluffeuchte bei der Prüfung (θ_{AUL} = Temp. Aussenluft, X_{ABL} = abs. Feuchte Abluft, θ_{ABL} Temp. Abluft)	10
Tabelle 3:	Berechnung der Plattentemperatur	21
Tabelle 4:	Analyse bei vertikalem Einbau, Ventilatoren saugseitig angeordnet	22
Tabelle 5:	Analyse bei horizontalem Einbau, Ventilatoren saugseitig angeordnet	23
Tabelle 6:	Analyse bei horizontalem Einbau, Ventilatoren saugseitig angeordnet	24
Tabelle 7:	Werte für F_h , F_{el} , t_{SolPu} , und $f_{VS,Ctrl}$	25
Tabelle 8:	Werte für $f_{VS,\Delta p}$	28
Tabelle 9:	Werte für F_h , F_{el} , t_{SolPu} , t_{abt} , und $f_{VS,Ctrl}$	29
Tabelle 10:	Ranking VS-Massnahmen	33

12 Abkürzungsverzeichnis

Δp_{abt}	gewichteter zusätzlicher Druckverlust während der Abtauperiode (Aussenlufttemperatur < VS-Grenztemperatur) in Pa	P_{SPI}	spez. elektrische Leistung der Lüftung beim Referenzpunkt in $W \cdot h/m^3$ und bei den Prüfbedingungen der thermischen Prüfung. Berechnet mit dem Mittelwert aus dem Zuluft- und Abluftvolumenstrom
ABL	Abluft, Abluft-Strom	PWM	Pulse Width Modulation
AUL	Aussenluft-Temperatur	PWT	Plattenwärmetauscher
BFE	Bundesamt für Energie	PWW	Pump Warm Wasser
dry	Design Reference Year	q_v	Volumenstrom in m^3/h
F&E	Forschung & Entwicklung	q_{vs}	spezifischer Energiebedarf für die VS-Massnahme
F_{EI}	Lüftungsgradstunden Kh/a für VS-Massnahme (elektrische Heizung), Lüftungsgradstunden Kh/a für VS-Massnahme (elektrische Heizung)	q_{vs}	spez. Energiebedarf für die Vereisungsschutz-Massnahmen
F_h	Lüftungsgradstunden in Kh/a für VS-Massnahme (PWW-Heizung), Lüftungsgradstunden in Kh/a für VS-Massnahme (PWW-Heizung)	$q_{\text{vs, EI}}$	spezifischer Energiebedarf Strom für die VS-Massnahme in $kWh/(m^2 \cdot a)$
FOL	Fortluft	$q_{\text{vs, h}}$	spezifischer Energiebedarf Heizung für die VS-Massnahme in $kWh/(m^2 \cdot a)$
$f_{\text{P, EL}}$	Gewichtung des Energieträgers Strom 2.0	$q_{\text{vs, SolPu}}$	spezifischer Energieaufwand für die Solepumpe in $kWh/(m^2 \cdot a)$ gilt für VS9, spezifischer Energieaufwand für die Solepumpe in $kWh/(m^2 \cdot a)$
$f_{\text{P, h}}$	Gewichtung des Energieträgers Heizung 1.0	rel.	relativ
$f_{\text{P, EI}}$	Gewichtung des Energieträgers elektrischer Strom 2.0	SEC	specific energy consumption
$f_{\text{VS, Ctrl}}$	Faktor für die Steuerung/Regelung der elektrischen Heizung, Faktor für die Steuerung/Regelung der elektrischen Heizung	SPI	Schedule Performance Index, Specific Power Input
$f_{\text{VS, Ap}}$	Faktor für zusätzlichen Druckverlust der Vereisungsschutz-Massnahme	t	Stundenwert
HSLU	Hochschule Luzern	T&A	Technik & Architektur
MuKE n	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich	t_{abt}	Betriebszeit je nach VS-Grenztemperatur in h
MWh	Megawattstunde	T_{abt}	Betriebszeit Abtauung
η_{FOL}	Temperaturänderungsgrad für die Abluft	t_{SolPu}	Betriebszeit je nach VS-Grenztemperatur θ_E in h, Betriebszeit je nach Einfriergrenztemperatur θ_E in h
η_{ZUL}	Temperaturänderungsgrad für die Zuluft	VS	Vereisungsschutz, Vereisungsschutz
$\eta_{\theta, \text{ex}}$	Temperaturverhältnis für die Abluft nach EN 13141-7:2010	$V_{\text{su/AE}}$	spezifischer Volumenstrom in $m^3/(h \cdot m^2)$
$\eta_{\theta, \text{su}}$	Temperaturverhältnis für die Zuluft nach EN 13141-7:2010	WRG	Wärmerückgewinnung
Pa	Pascal	WT	Wärmetauscher
P_{SolPu}	max. Leistungsaufnahme der Pumpe W (Wenn keine Vorgaben Standardwert 60W), max. Leistungsaufnahme der Pumpe W (ohne Vorgaben Standardwert gilt 60 W)	x	absolute Feuchte in kg/kg
		$x_{\text{AB(t)}}$	absolute Feuchte Abluft in kg/kg
		x_{Qu}	Feuchtequellen (Grundlast + nutzerabhängige Last)
		θ_E	Einfriergrenztemperatur in $^{\circ}C$
		θ_{Platte}	Temperatur Wärmetauscherplatte in $^{\circ}C$

13 Anhang: Messbericht

Prüfstelle Gebäudetechnik

Prüfbericht Nr.: HP-131307

Objekt: BFE Projekt Effizienter Vereisungsschutz (VS) bei Lüftungsanlagen, insbesondere Komfortlüftungs-Systemen

Auftraggeber: energie-cluster.ch
Monbijoustrasse 35
3011 Bern

Ort, Datum: Horw, 2014-11-26

Patrick Keller, dipl. Ing. HTL
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Senior

Dr. Tjeerd de Neef, dipl. Masch. Ing. ETH
Leiter Prüfstelle Gebäudetechnik

Dieser Bericht umfasst 33 Seiten und darf ohne die schriftliche Genehmigung der Prüfstelle Gebäudetechnik nur in ungekürzter Form vervielfältigt werden.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Bundesamt für Energie (BFE) - Projektes „Effizienter Vereisungsschutz (VS) bei Lüftungsanlagen, insbesondere Komfortlüftungssystemen“ wurde das Vereisungsverhalten eines handelsüblichen Gegenstromwärmetauschers aus Kunststoff mittels Prüfstandsmessungen aufgezeichnet. Dabei sind Messungen bei verschiedenen Luftkonditionen bei vertikaler und horizontaler Einbaulage durchgeführt worden. Weiter wurde der Einfluss des Volumenstromes und das Abtauverhalten untersucht.

In diesem Bericht sind die wichtigsten Messgrößen in Diagramm- und in Tabellenform dokumentiert

Für die Auswertungen und Analysen stehen die Messdaten als Excelfiles zur Verfügung.

Die Interpretationen und Erkenntnisse der Messungen sind im BFE Schlussbericht dokumentiert.

Inhaltsverzeichnis

1.	Auftrag	1
2	Prüfobjekt, Eingangsdatum, Datum der Prüfung.....	1
3	Prüfverfahren	2
3.1	Prüfaufbau.....	2
3.2	Einbaulagen	3
3.3	Messprogramm	4
3.4	Vorgehen.....	5
4	Messungen	6
4.1	Volumenstrom 210 m ³ /h	6
4.1.1	Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -1°C, Ablufttemperatur 20°C.....	6
4.1.2	Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -3°C, Ablufttemperatur 20°C.....	7
4.1.3	Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -5°C, Ablufttemperatur 20°C.....	8
4.1.4	Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -8°C, Ablufttemperatur 20°C.....	9
4.1.5	Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -15°C, Ablufttemperatur 20°C.....	10
4.1.6	Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -1°C, Ablufttemperatur 20°C.....	11
4.1.7	Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -3°C, Ablufttemperatur 20°C.....	12
4.1.8	Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -5°C, Ablufttemperatur 20°C.....	13
4.1.9	Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -8°C, Ablufttemperatur 20°C.....	14
4.1.10	Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -15°C, Ablufttemperatur 20°C	15
4.2	Einfluss Volumenstrom	16
4.2.1	Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -8°C, Ablufttemperatur 20°C.....	16
4.3	Abtauverhalten, Einbaulage vertikal, Ablufttemperatur 20°C	17
5	Schlussbemerkung	18
6	Anhang 1, Detaillierte Darstellung der Messungen	19
6.1	Einbaulage vertikal.....	19
6.2	Einbaulage horizontal	41
7	Anhang 2, Spezifikationen Messgeräte	53
8	Abbildungsverzeichnis	54
9	Tabellenverzeichnis	56
10	Abkürzungsverzeichnis.....	59

1. Auftrag

Im Rahmen des BFE- Projekts „Effizienter Vereisungsschutz (VS) bei Lüftungsanlagen, insbesondere Komfortlüftungssystemen“ ist das Vereisungsverhalten eines handelsüblichen Gegenstromwärmetauscher aus Kunststoff bei verschiedenen Luftkonditionen und Einbaulagen mittels Prüfstandsmessungen aufzuzeichnen.

Insbesondere folgende Zusammenhänge sollen untersucht werden:

- Vereisungsverhalten bei verschiedenen Aussenlufttemperaturen und Abluftfeuchten beim Referenzvolumenstrom (210 m³/h) bei vertikaler Einbaulage
- Einfluss der Einbaulage, wiederholen der oben aufgeführten Messungen bei horizontalem Einbau
- Einfluss des Volumenstromes, Messungen bei einer Aussenlufttemperatur und Abluftfeuchte bei den Volumenströmen 100, 150, 210 und 300 m³/h
- Abtauverhalten, Messungen bei einer Aussenlufttemperatur und Abluftfeuchte mit Abschalten des Aussenluftventilators bzw. reduzieren des Aussenluft- Volumenstromes um 50% nach einem Druckverlustanstieg über den Tauscher von 100 und 50 Pa.

2 Prüfobjekt, Eingangsdatum, Datum der Prüfung

Prüfobjekt: Gegenstromplattenwärmetauscher aus Kunststoff

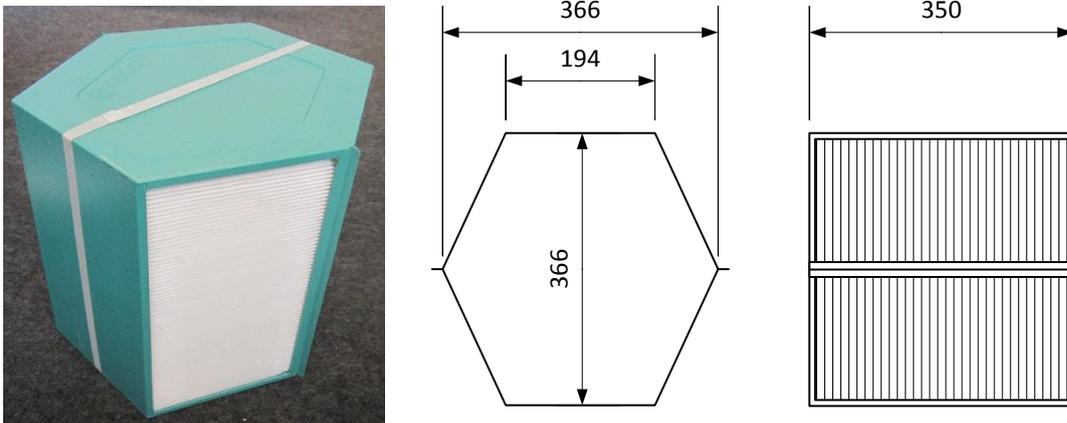


Abbildung 1: Gegenstromplattenwärmetauscher aus Kunststoff

- Fabrikat Recair
- Typ RS160 Recuperator
- Seriennummer 14826.1
- Abmasse

Eingangsdatum: 2014-02-10

Datum der Prüfung: 2014-03-12 bis 2014-05-28

3 Prüfverfahren

3.1 Prüfaufbau

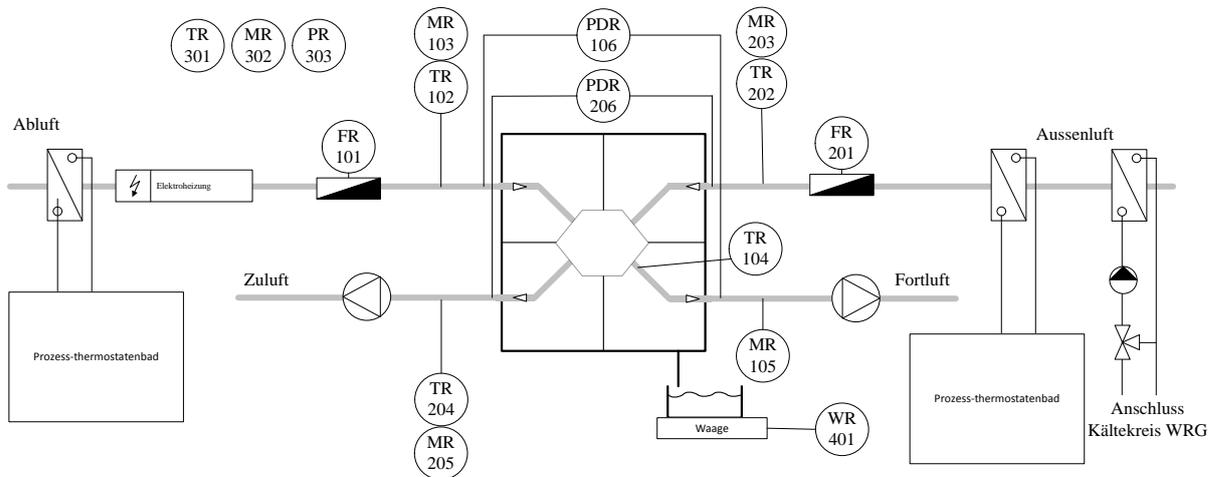
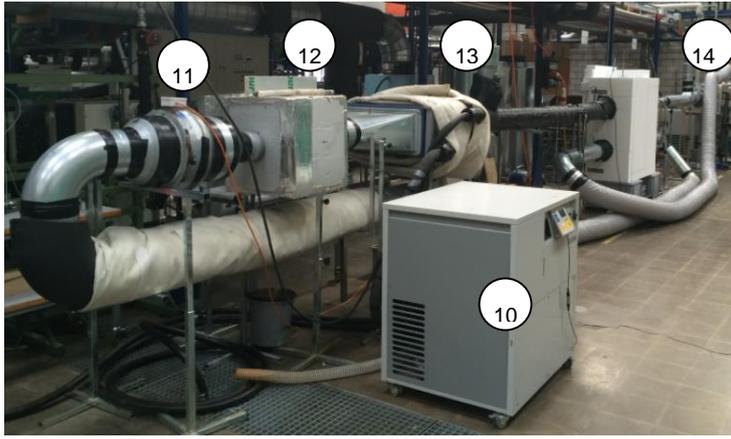


Abbildung 2: Prüfaufbau

Gemessene Größen

FR101	q_{v11}	m^3/h	Abluftvolumenstrom
FR201	q_{v21}	m^3/h	Aussenluftvolumenstrom
TR102	t_{11}	$^{\circ}C$	Ablufttemperatur, arithmetischer Mittelwert aus 3 Fühlern
MR103	φ_{11}	%r.F.	rel. Feuchte Abluft
TR104	t_{12}	$^{\circ}C$	Fortlufttemperatur, arithmetischer Mittelwert aus 9 Fühlern
MR105	φ_{12}	%r.F.	rel. Feuchte Fortluft
TR202	t_{21}	$^{\circ}C$	Aussenlufttemperatur, arithmetischer Mittelwert aus 3 Fühlern
MR203	φ_{21}	%r.F.	rel. Feuchte Aussenluft
TR204	t_{22}	$^{\circ}C$	Zulufttemperatur, arithmetischer Mittelwert aus 3 Fühlern
MR205	φ_{22}	%r.F.	rel. Feuchte Zuluft
PDR106	Δp_1	Pa	Druckverlust Ab-/Fortluftseite
PDR206	Δp_2	Pa	Druckverlust Aussen/Zuluftseite
TR301	t_u	$^{\circ}C$	Umgebungstemperatur
MR302	φ_u	%r.F.	rel. Feuchte Umgebungsluft
PR303	P_{Baro}	Pa	Barometerstand
WR401	m_K	kg	Gewicht Kondensatwanne



- 10: Prozessthermostatenbad
- 11: Ventilator
- 12: Vorkühler
- 13: Nachkühler
- 14: Testbox

Abbildung 3: Prüfaufbau, im Vordergrund die Aussenluft-Luftaufbereitung

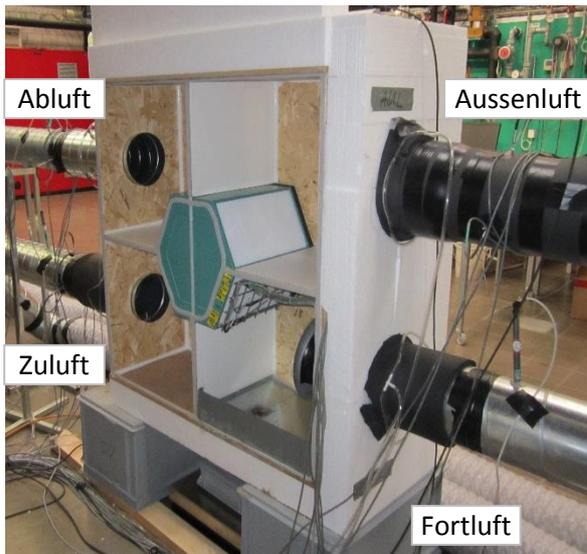


Abbildung 4: Testbox mit horizontal eingebautem Prüfling



Abbildung 5: Temperaturmessstelle auf der Fortluftseite

TR 104, Fortluftaustrittstemperatur

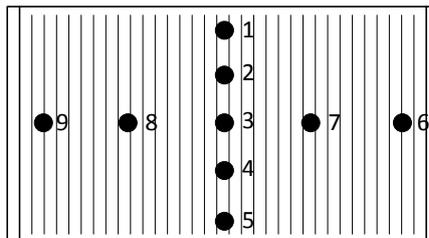


Abbildung 6: Anordnung der Temperaturfühler

3.2 Einbaulagen

Einbau vertikal

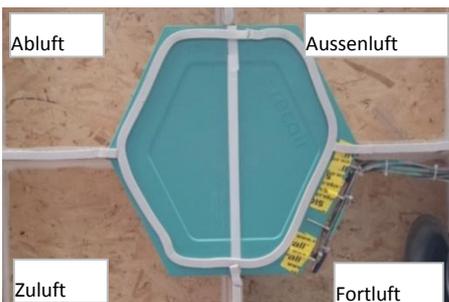


Abbildung 7: Einbau vertikal

Einbau horizontal

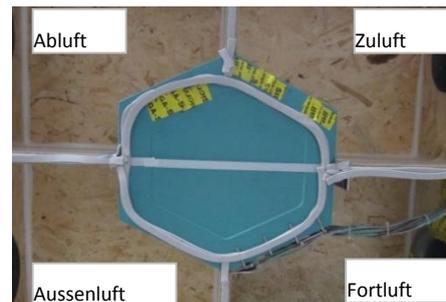


Abbildung 8: Einbau horizontal

3.3 Messprogramm

Nachfolgende Messpunkte wurden untersucht.

Einfluss Vereisungsverhalten bei 210 m³/h in vertikaler und horizontaler Lage

Luftkonditionen	t _{AUL}	t _{ABL}	X _{ABL}		
	°C	°C	g/kg	g/kg	g/kg
	-1	20	4.5	6.2	-
	-3	20	4.0	5.0	6.2
	-5	20	3.5	4.2	5.4
	-8	20	3.0	4.5	-
	-15	20	3.0	4.2	-

Tabelle 1: Einfluss Vereisungsverhalten bei 210 m³/h in vertikaler und horizontaler Lage

- Einfluss Volumenströme bei 100, 150, 210, 300 m³/h, Messungen bei t_{AUL} = -8°C, t_{ABL} = 20°C, X_{ABL} = 4 g/kg und vertikaler Einbaulage
- Untersuchung Abtauverhalten bei 210 m³/h in vertikaler Einbaulage durch Abschalten des Aussenluftventilators bzw. reduzieren des Aussenluft-Volumenstromes um 50% nach einem Druckverlustanstieg über den Tauscher von 100 und 50 Pa.

Luftkonditionen	t _{AUL}	t _{ABL}	X _{ABL}
	°C	°C	g/kg
	-8	20	4.0
	-15	20	3.0

Tabelle 2: Luftkonditionen

3.4 Vorgehen

Die geforderten Aussen- und Abluftkonditionen werden eingestellt. Kommt es während der Messung zu Kondensatbildung oder Vereisung steigt der Druckverlust über den Prüfling an und der Wassergehalt in der Fortluft nimmt gegenüber der dem Wassergehalt in der Abluft ab. Zudem wird ein Teil des Kondensats abfließen. Diese Kondensatmenge wird in einer Auffangwanne gesammelt und gewogen.

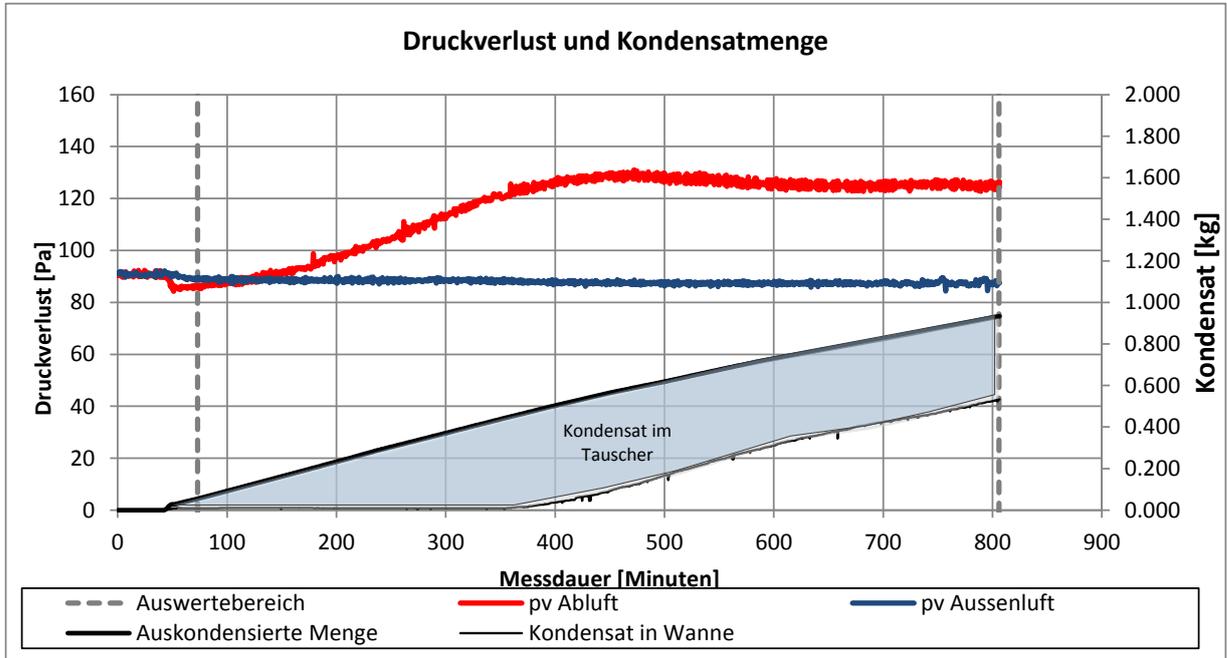


Abbildung 9: Beispiel Messung $t_{AUL} = -1^{\circ}\text{C}$, $x_{ABL} = 5.2 \text{ g/kg}$

Anhand der Druckverlustzunahme über den Prüfling und der ausgeschiedenen Kondensatmenge bzw. der Kondensatmenge im Tauscher kann das Vereisungsverhalten bestimmt werden. Eine Messung wurde beendet, wenn keine signifikanten Änderungen mehr feststellbar waren oder wenn die Druckverlustzunahme über den Tauscher 100 Pa überstieg.

Ursprünglich sollte die Vereisung im Tauscher zusätzlich mit einem Endoskop beobachtet werden. Mit den zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel konnte jedoch kein Endoskop mit einem Kopfdurchmesser $< 1 \text{ mm}$ beschafft werden.

4 Messungen

In diesem Bericht werden jeweils die Verläufe der wichtigsten Messgrößen in Diagrammform und im Anhang zusätzlich die relevantesten Messwerte in Tabellenform dokumentiert. Für die Auswertungen stehen die Messdaten als Excelfiles zur Verfügung.

4.1 Volumenstrom 210 m³/h

4.1.1 Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -1°C, Ablufttemperatur 20°C

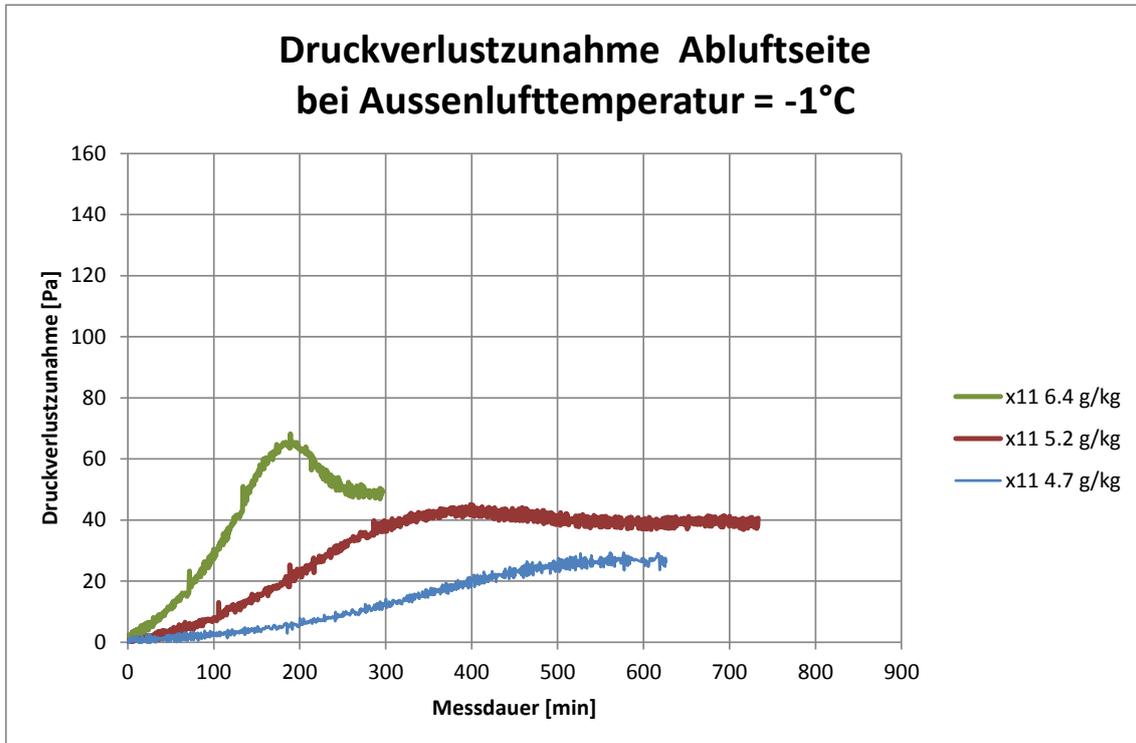


Abbildung 10: Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur = -1°C

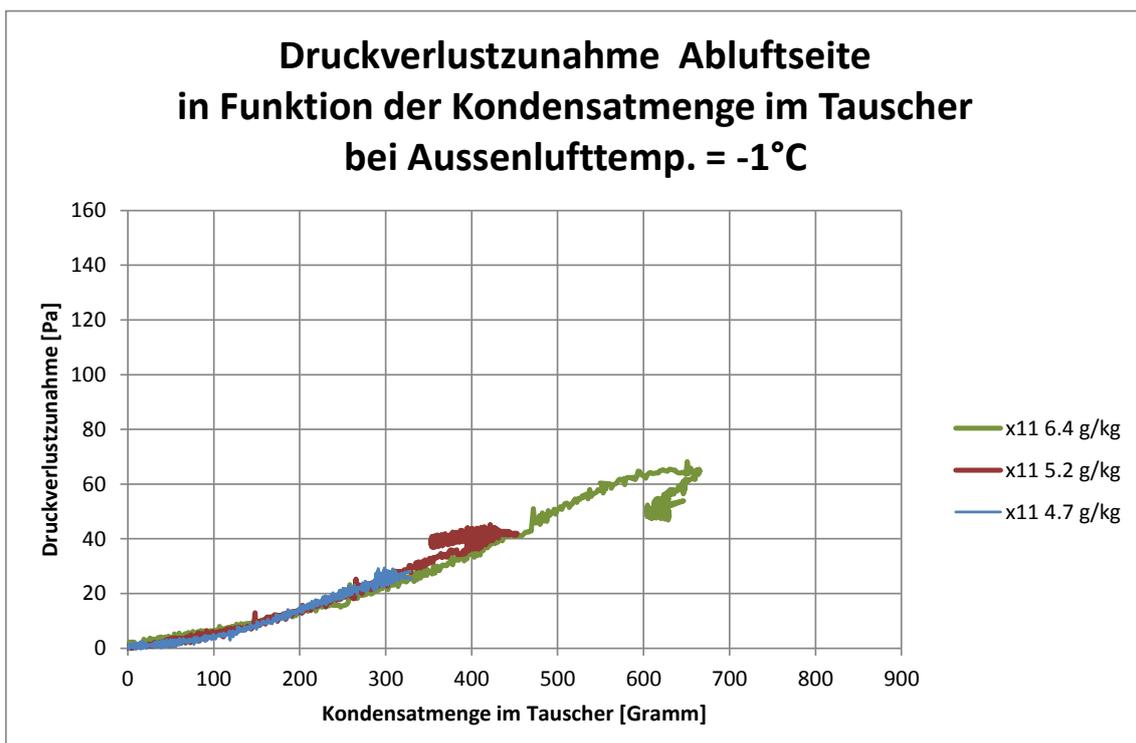


Abbildung 11: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussen-temp. = -1°C

4.1.2 Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -3°C, Ablufttemperatur 20°C

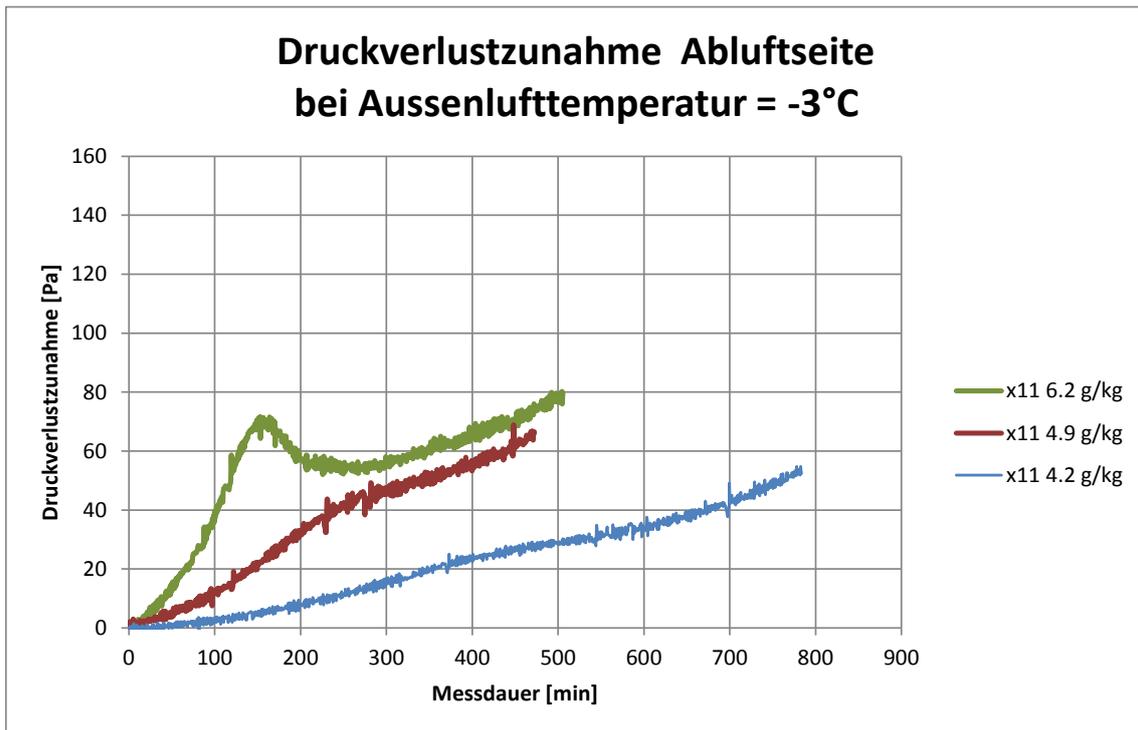


Abbildung 12: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussentemperatur = -3°C

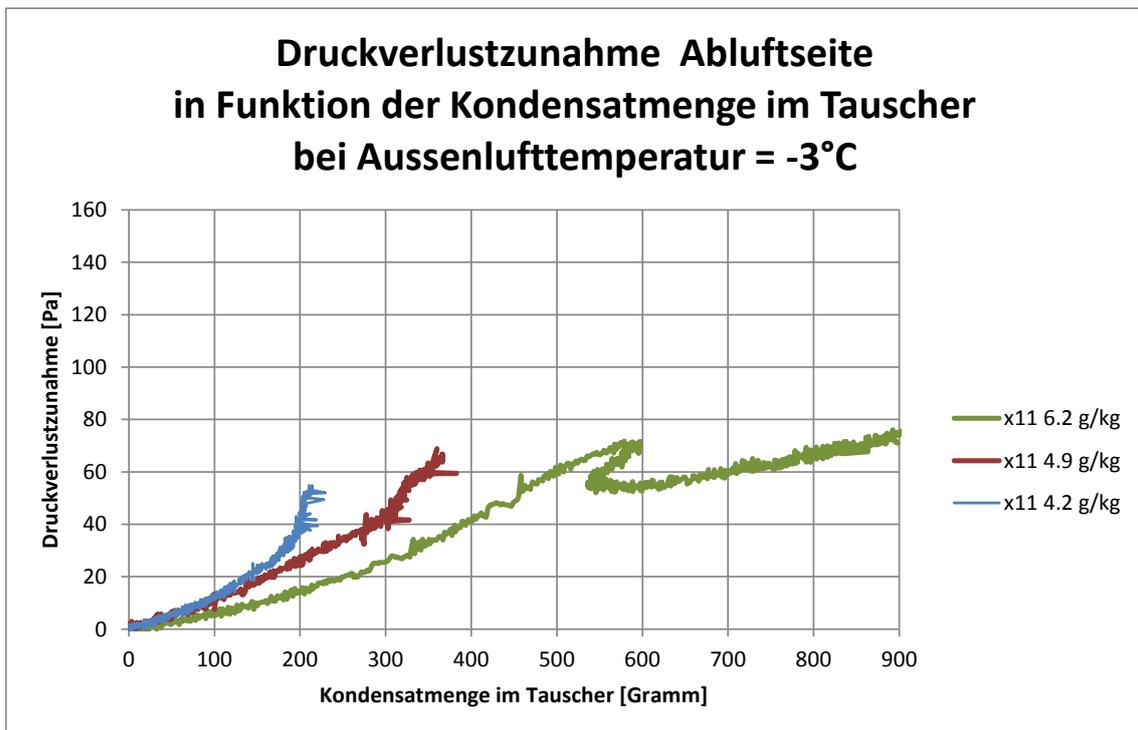


Abbildung 13: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -3°C

4.1.3 Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -5°C, Ablufttemperatur 20°C

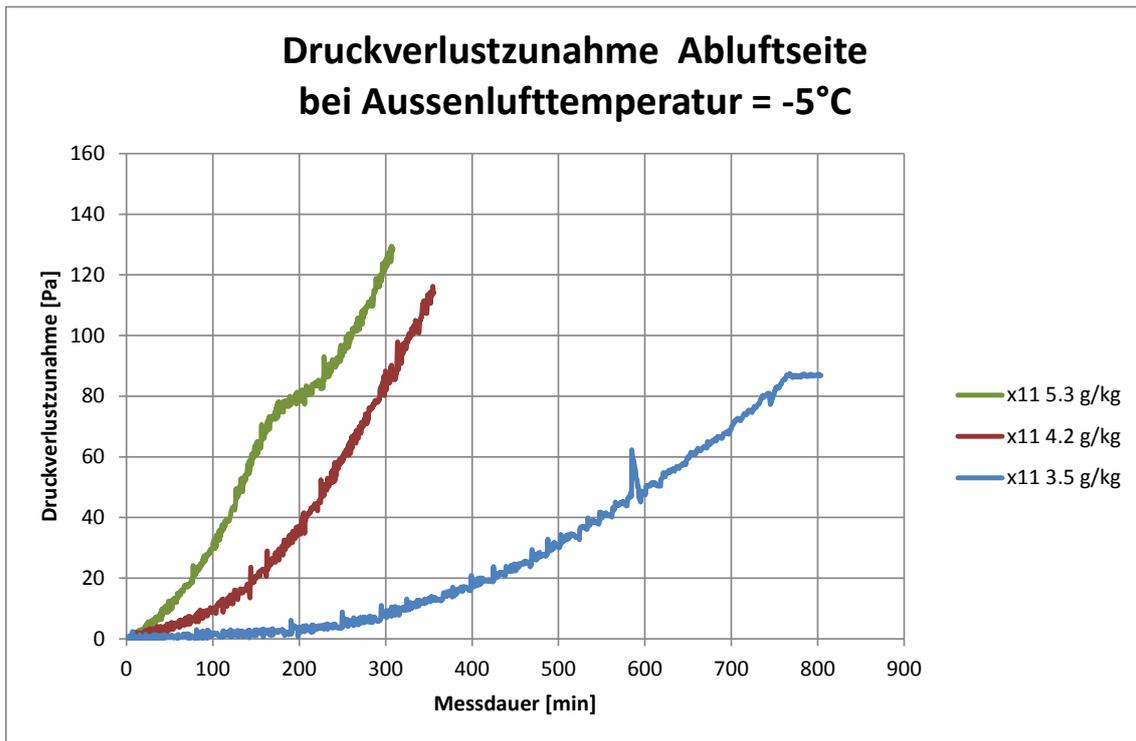


Abbildung 14: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussentemperatur = -5°C

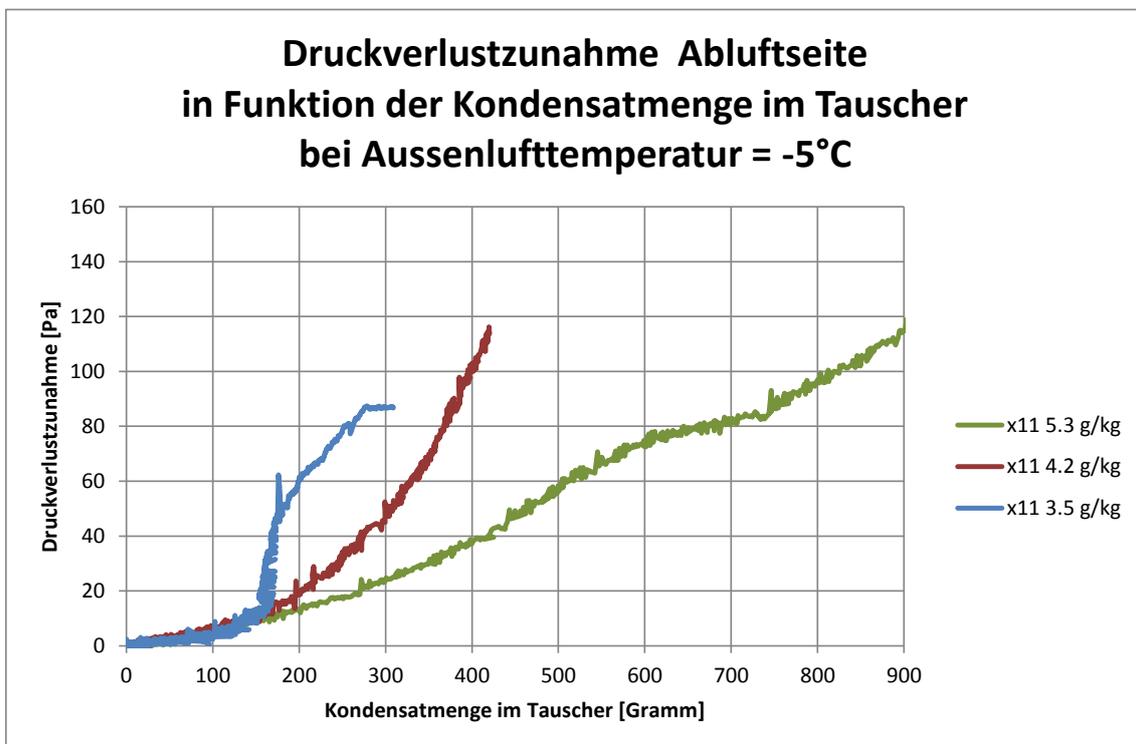


Abbildung 15: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussentemperatur = -5°C

4.1.4 Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -8°C, Ablufttemperatur 20°C

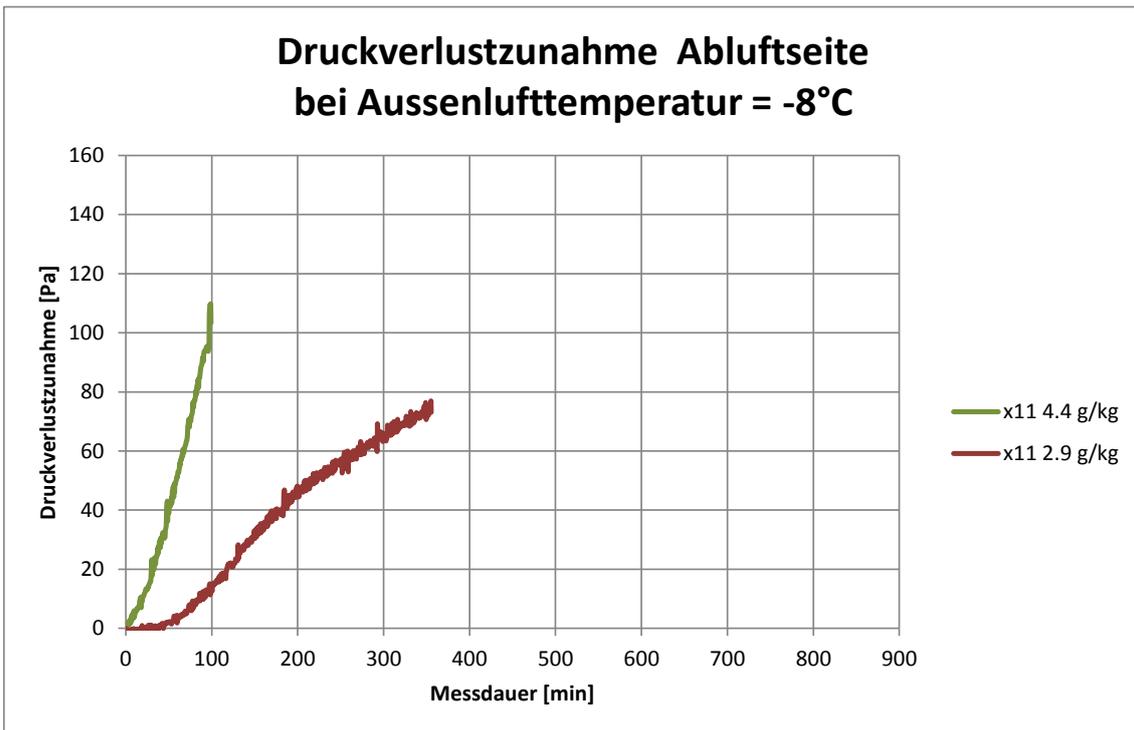


Abbildung 16: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -8°C

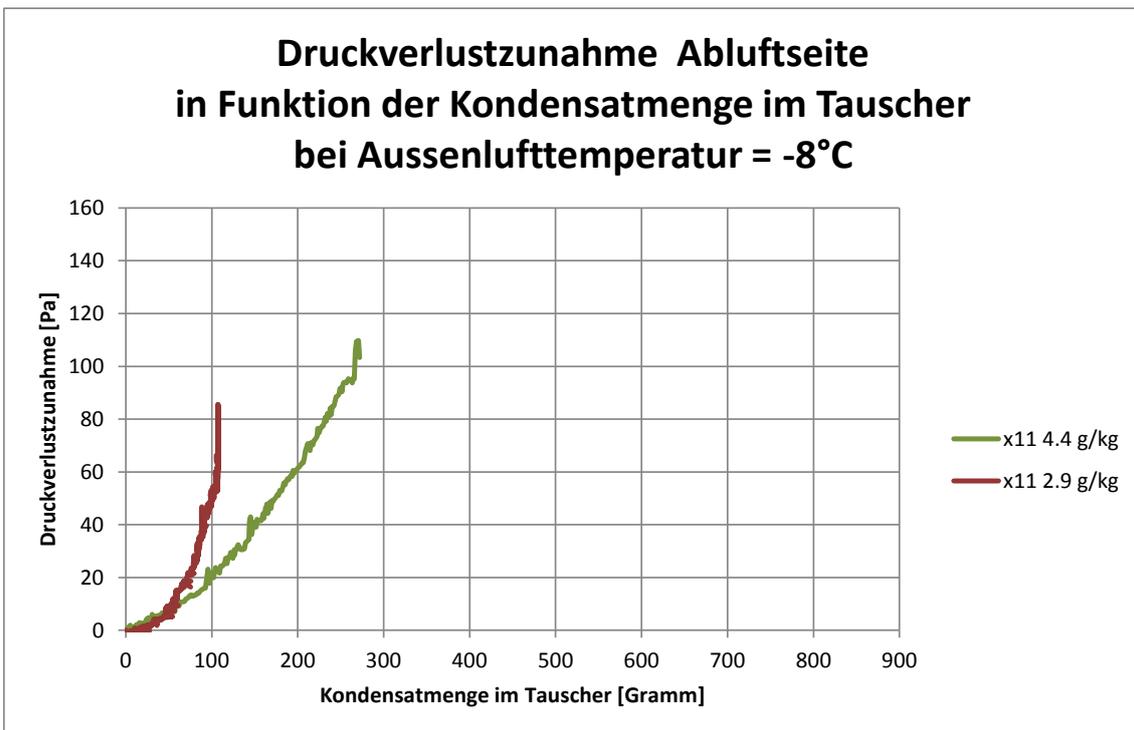


Abbildung 17: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -8°C

4.1.5 Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -15°C, Ablufttemperatur 20°C

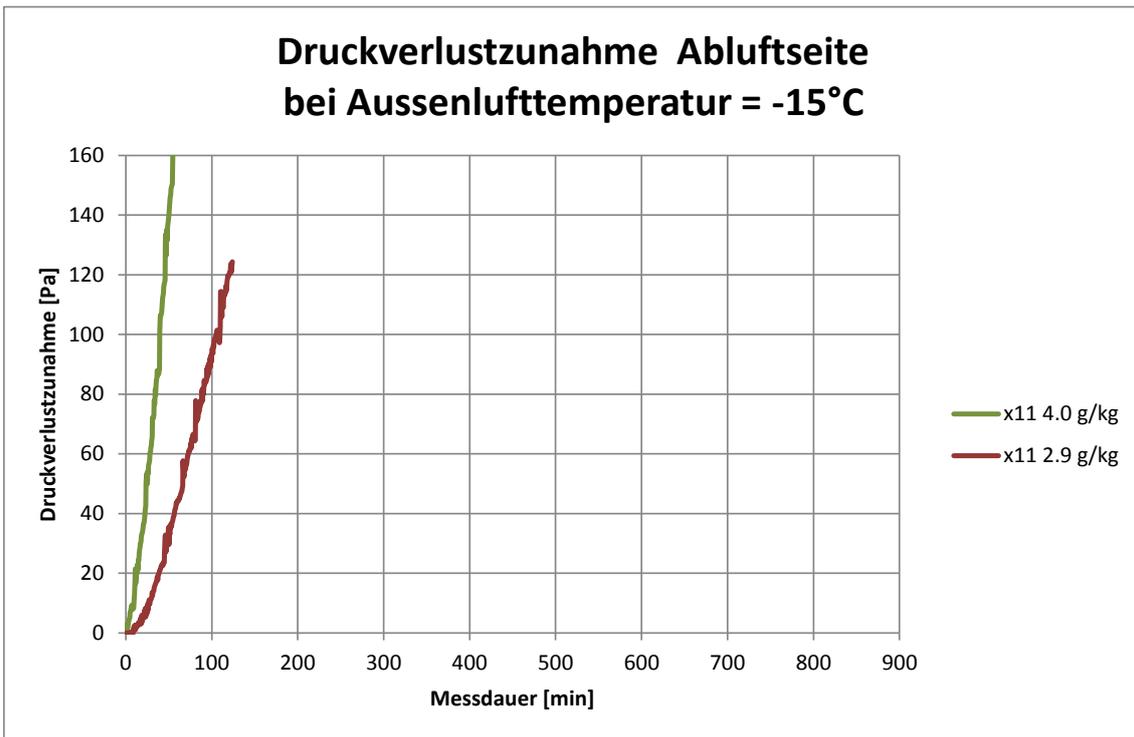


Abbildung 18: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -15°C

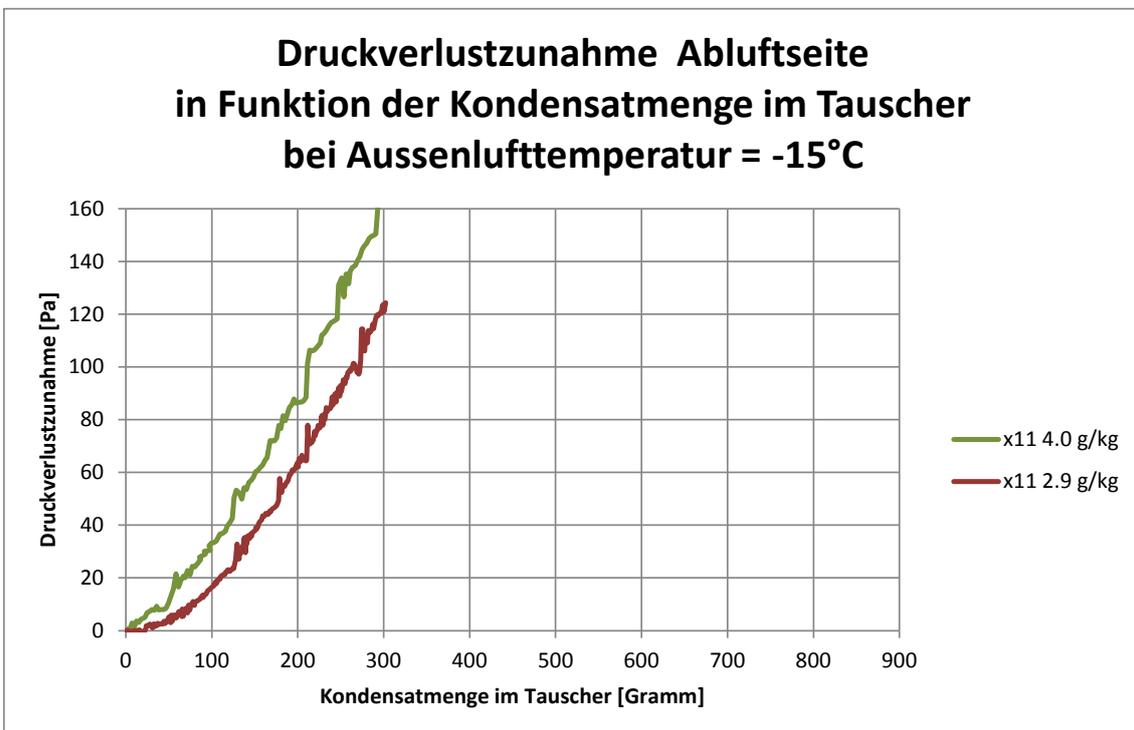


Abbildung 19: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -15°C

4.1.6 Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -1°C, Ablufttemperatur 20°C

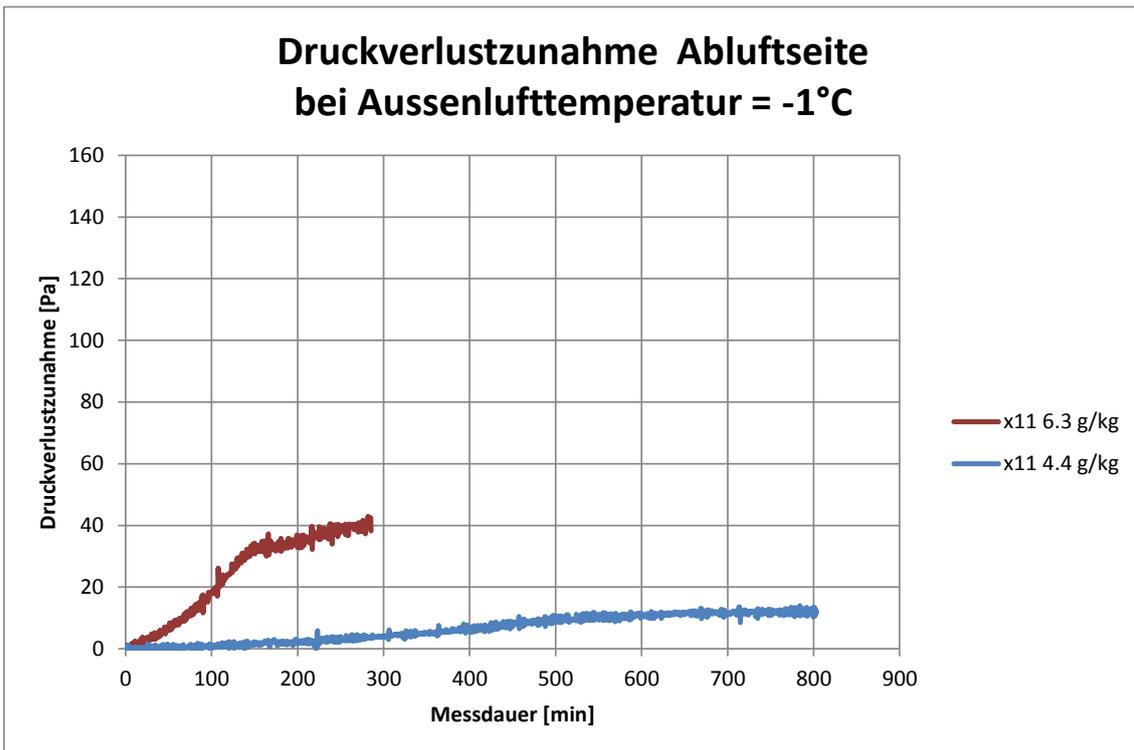


Abbildung 20: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussentemperatur = -1°C

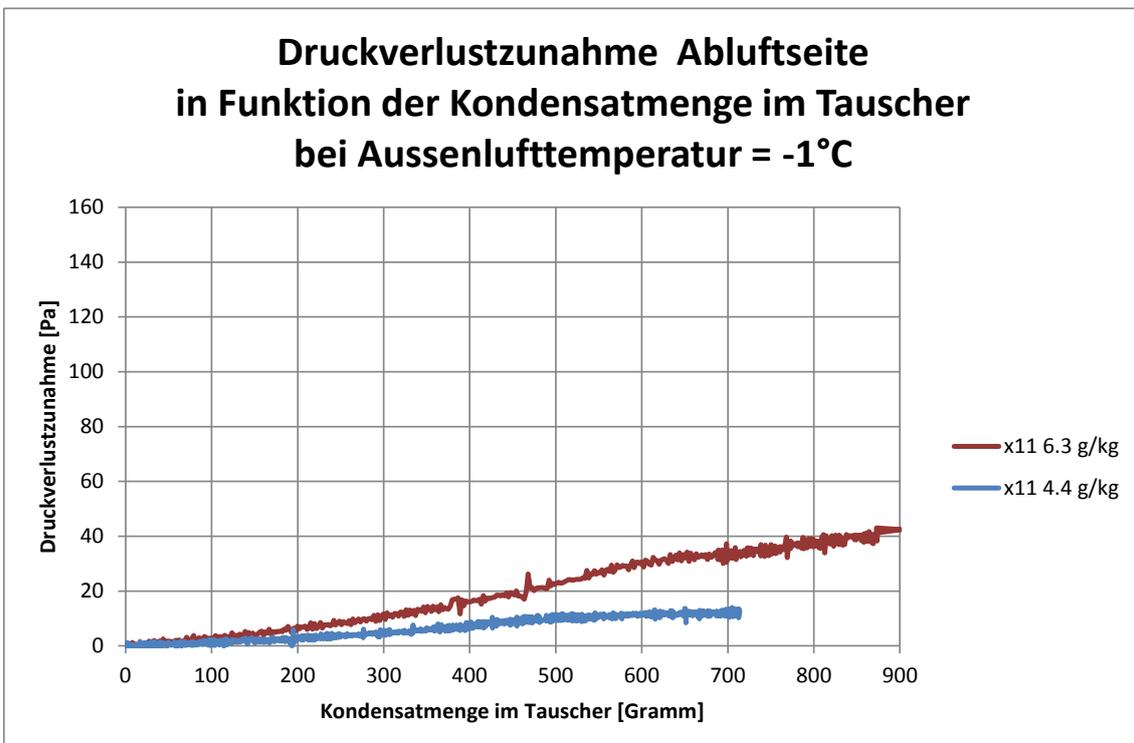


Abbildung 21: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussentemperatur = -1°C

4.1.7 Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -3°C, Ablufttemperatur 20°C

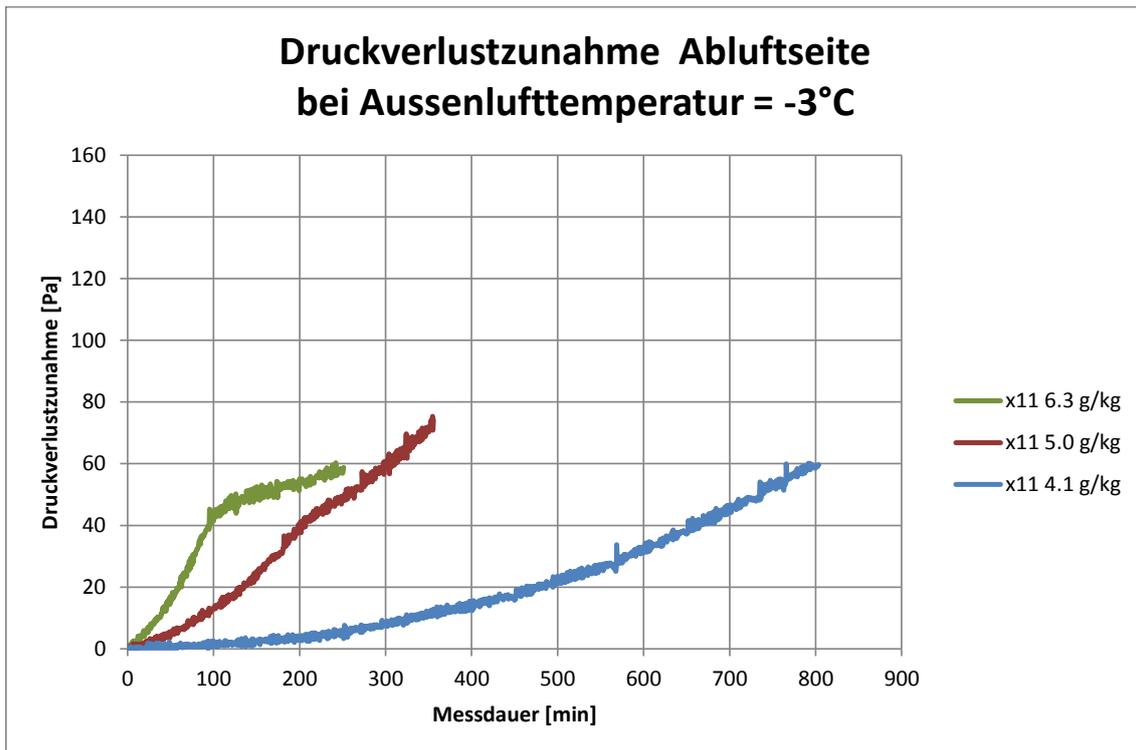


Abbildung 22: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -3°C

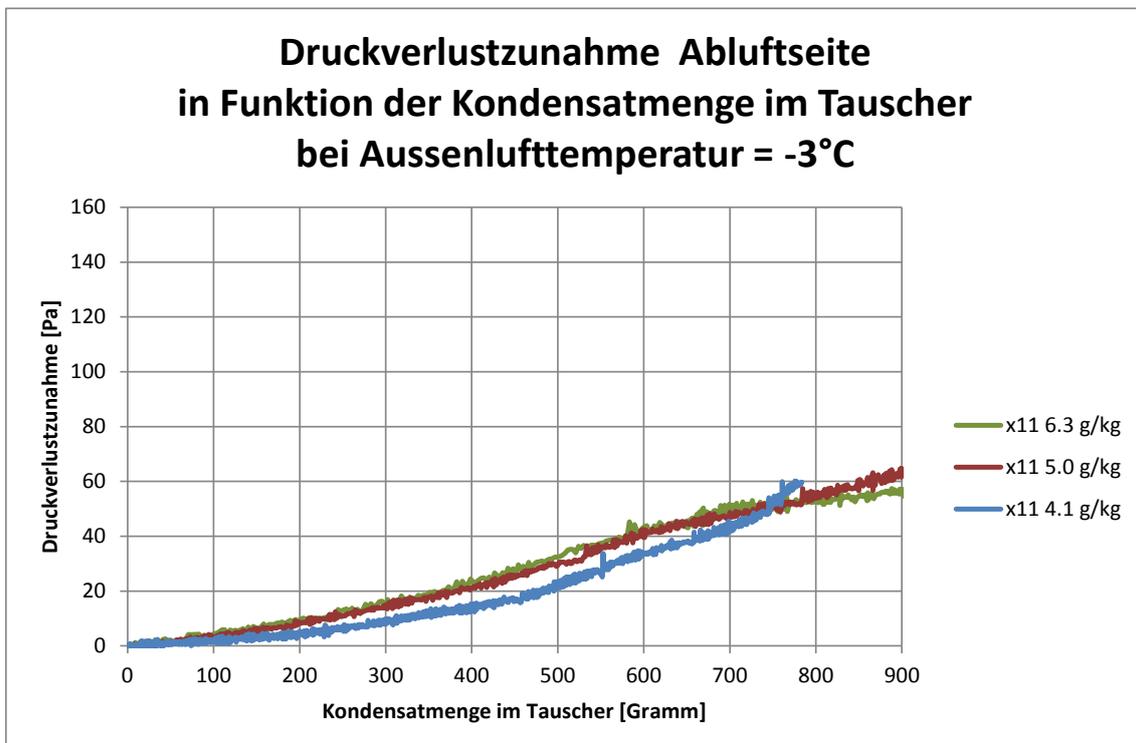


Abbildung 23: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -3°C

4.1.8 Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -5°C, Ablufttemperatur 20°C

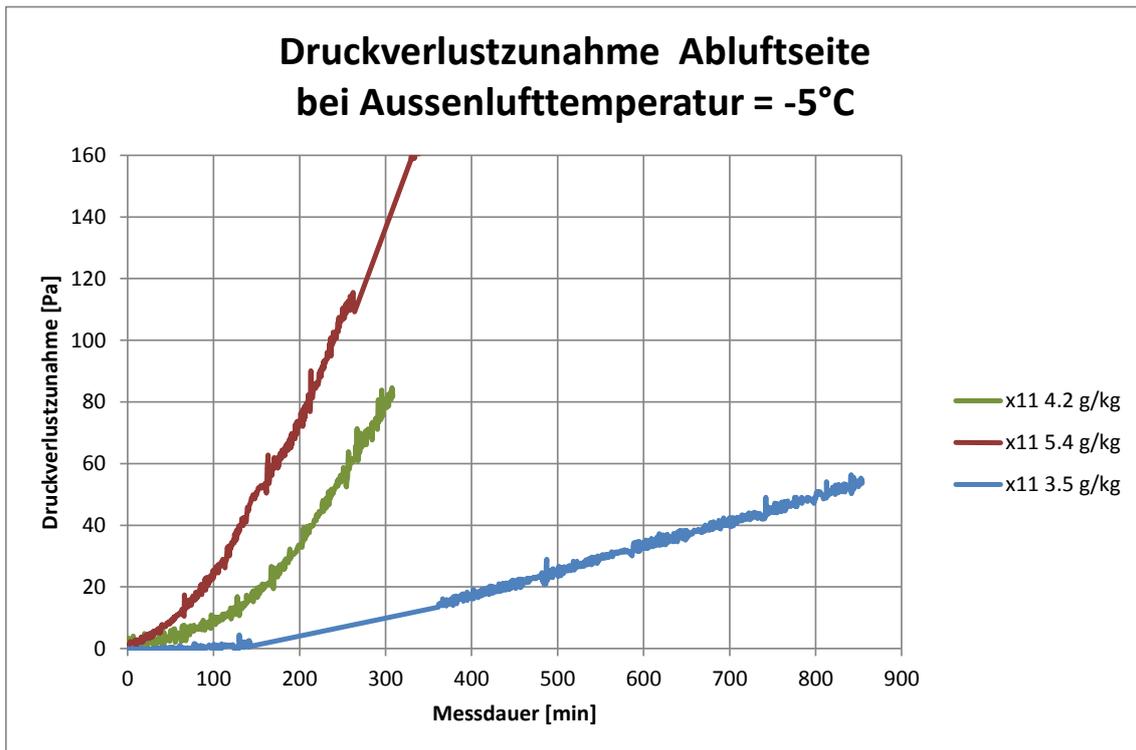


Abbildung 24: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -5°C

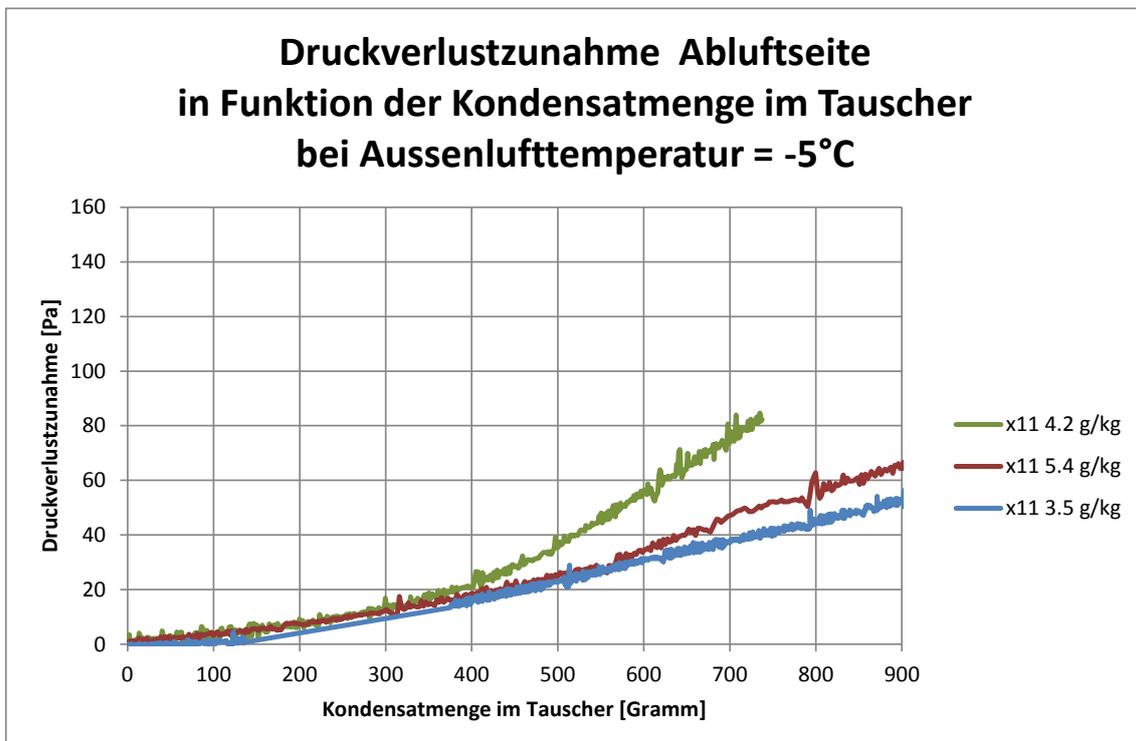


Abbildung 25: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -5°C

4.1.9 Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -8°C, Ablufttemperatur 20°C

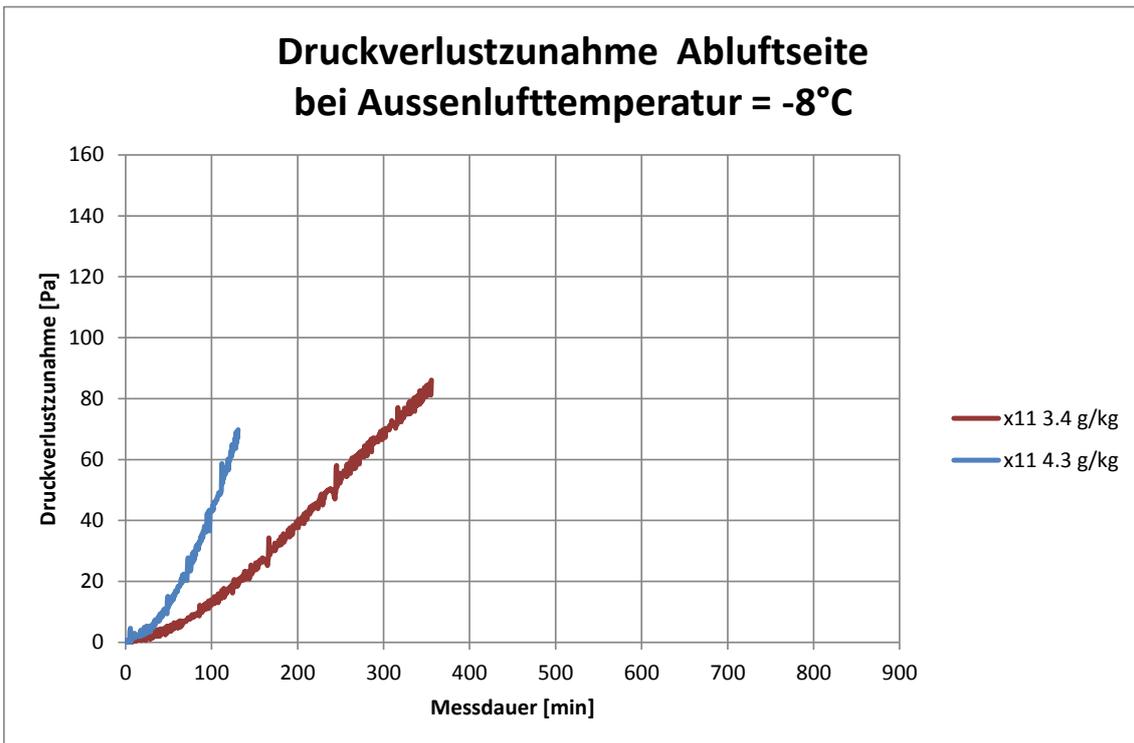


Abbildung 26: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -8°C

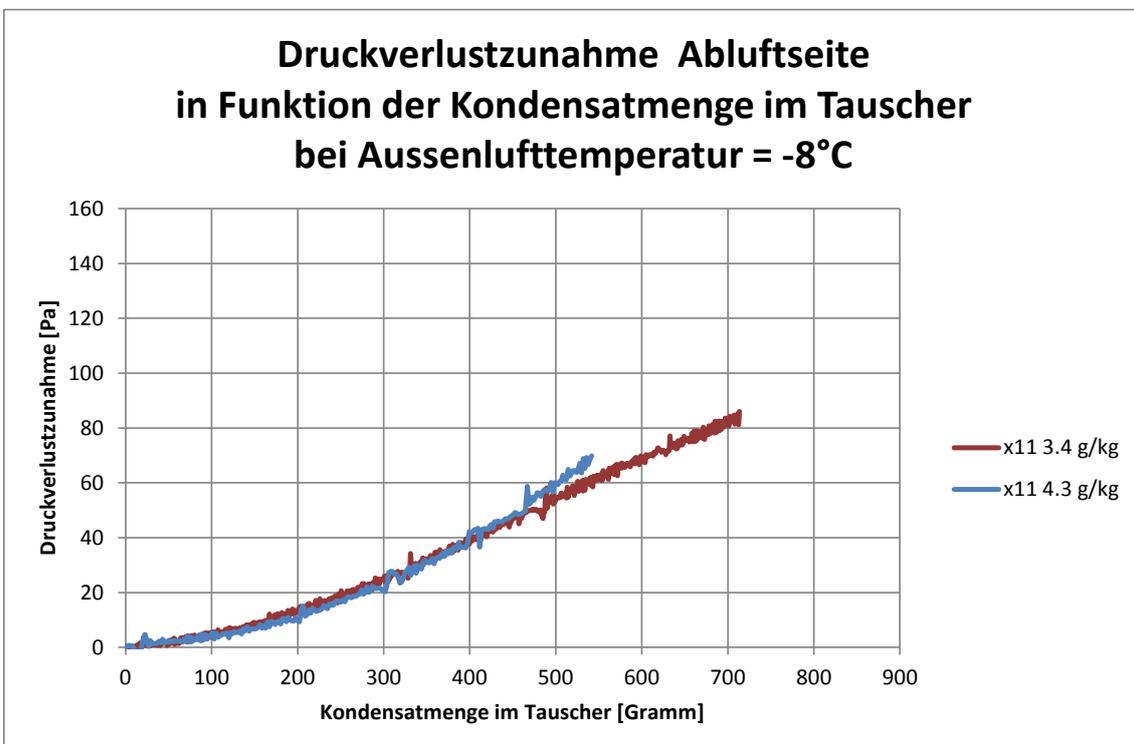


Abbildung 27: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -8°C

4.1.10 Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -15°C, Ablufttemperatur 20°C

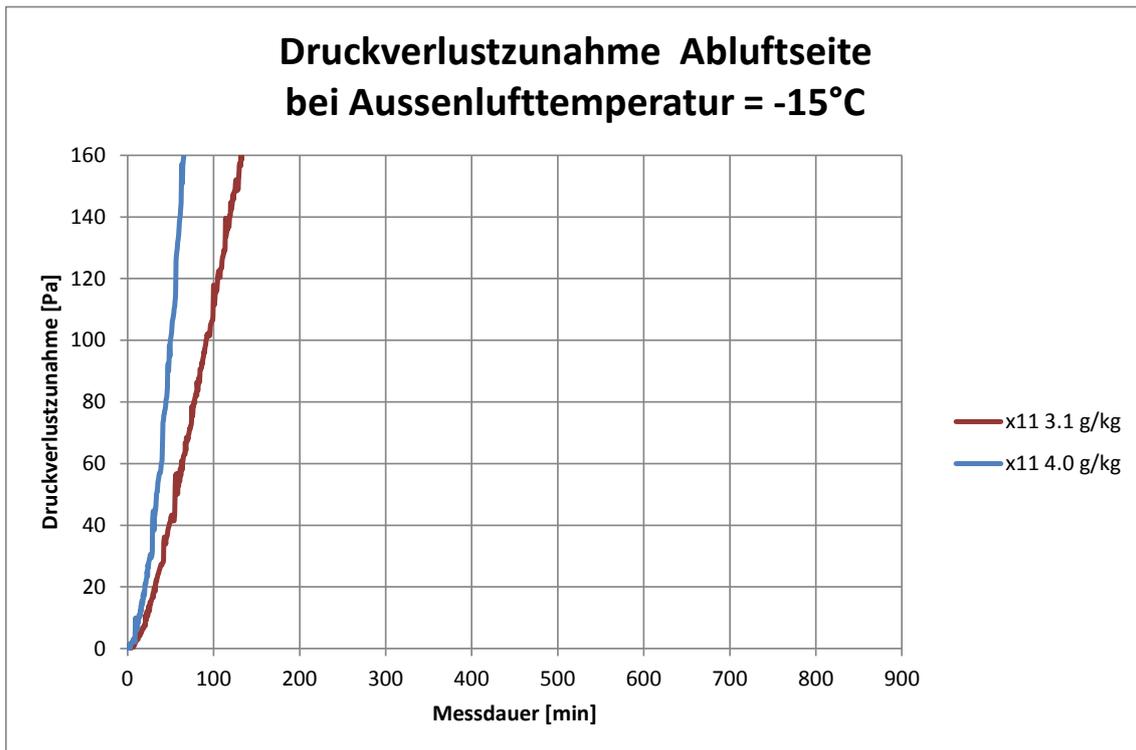


Abbildung 28: Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -15°C

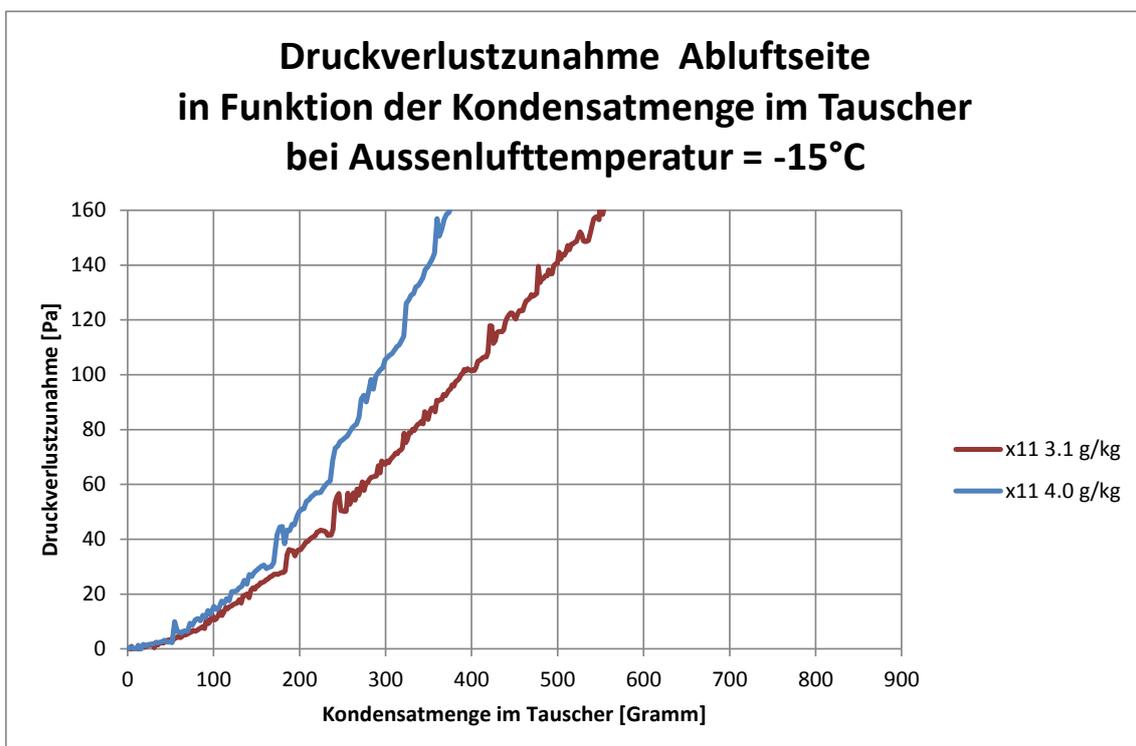


Abbildung 29: Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -15°C

4.2 Einfluss Volumenstrom

4.2.1 Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -8°C, Ablufttemperatur 20°C

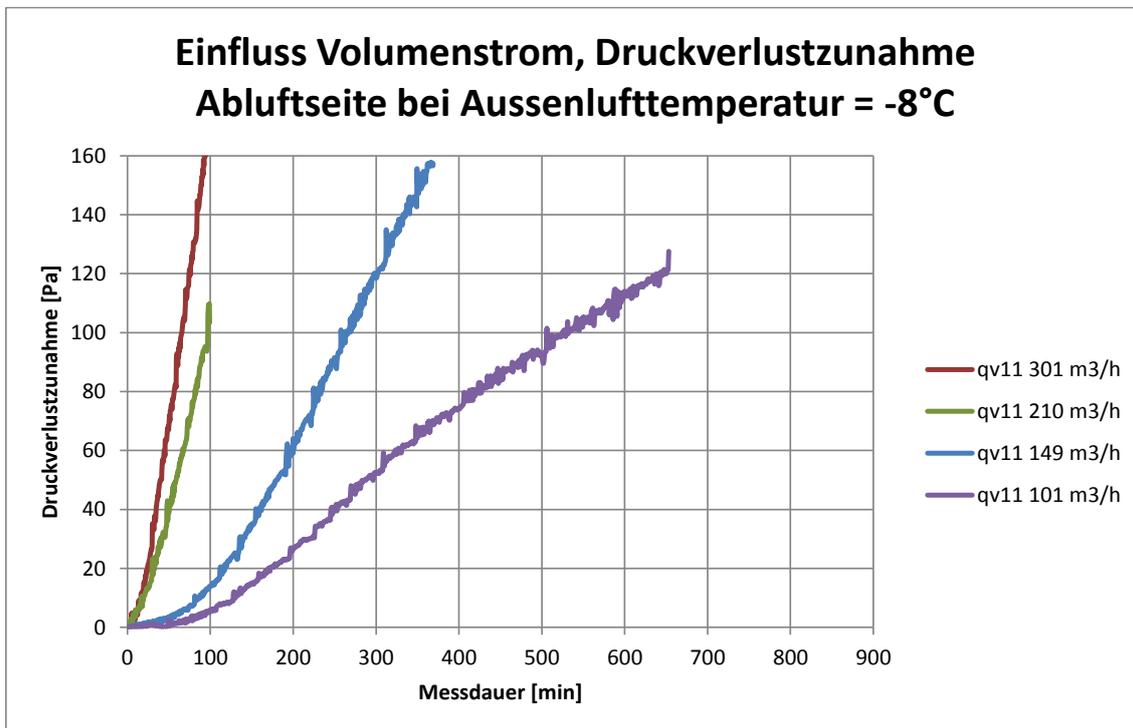


Abbildung 30: Einfluss Volumenstrom, Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -8°C

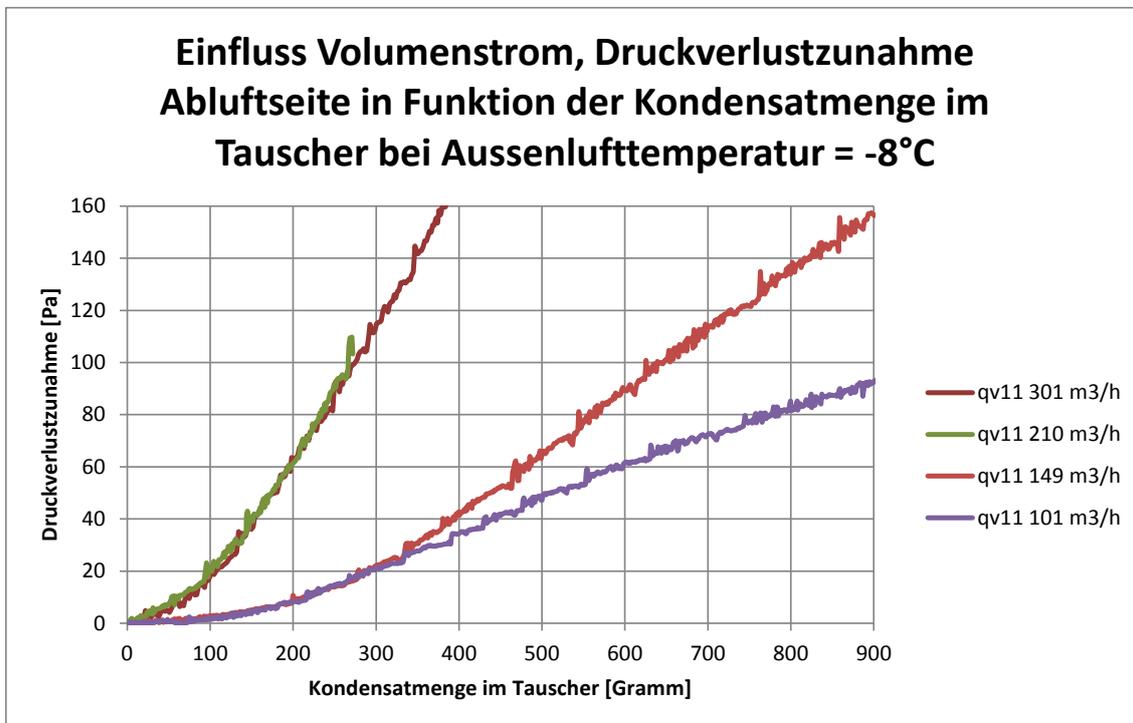


Abbildung 31: Einfluss Volumenstrom, Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -8°C

4.3 Abtauverhalten, Einbaulage vertikal, Ablufttemperatur 20°C

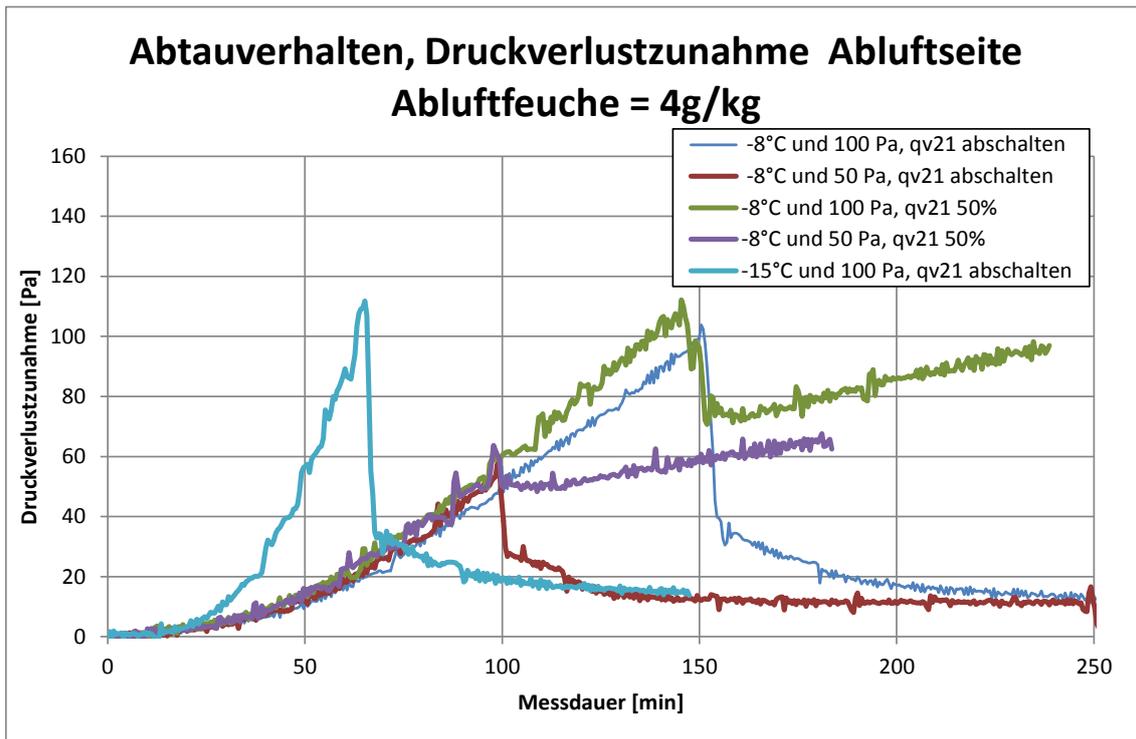


Abbildung 32: Abtauverhalten, Druckverlustzunahme Abluftseite Abluftfeuchte = 4g/kg

5 Schlussbemerkung

Es wurden alle Anforderungen des Messumfanges des Kunden erfüllt.

Die Messresultate gelten ausschliesslich für das gemessene Prüfobjekt.

Die elektronisch erfassten Daten werden während 3 Jahren gespeichert. Der Prüfbericht und die zugehörigen Dokumente werden bei uns an der Prüfstelle während 10 Jahren archiviert.

Der Auftraggeber kann während dieser Zeit die Dokumente einsehen. Der Aufwand beim Erstellen von Kopien wird dem Kunden verrechnet.

6 Anhang 1, Detaillierte Darstellung der Messungen

6.1 Einbaulage vertikal

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -1°C, rel. Feuchte Abluft 4.7 g/kg

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c_p kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_u %r.F.
Abluft eintritt 11	211	241	20.0	31	4.7	1.141	1.007	32.20	96.5	96327	27.0	36
Zuluft eintritt 21	193	238	-1.0	76	2.8	1.231	1.006	6.00	89.5			

Tabelle 3: Luft eintrittskonditionen, Mittelwert über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 113

Messende: Minute 739

Temperaturverteilung beim Tauscher- austritt Fortluft

nach 113 Minuten

			4.6		
			2.7		
1.5	2.1	1.8	1.5	1.5	
		1.5			
		1.8			

nach 739 Minuten

			6.9		
			3.7		
0.5	1.1	1.2	0.7	1.0	
		0.6			
		0.7			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	113	739	626	Minuten
Auskondensierte Menge	0.079	0.461	0.38	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.093	0.09	kg
Kondensat im Tauscher	0.079	0.368	0.29	kg

Tabelle 4: Kondensation

Abbildung 33: Temperaturverteilung bei Tauscherausstritt Fortluft

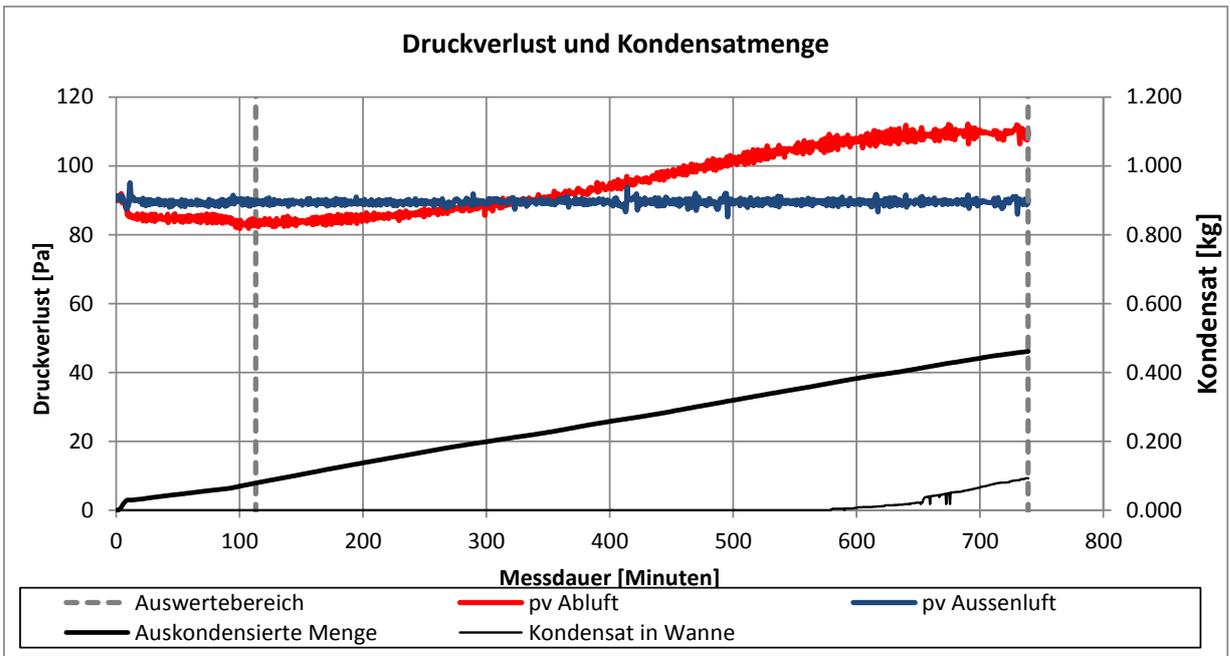


Abbildung 34: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -1°C, rel. Feuchte Abluft 5.2 g/kg

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	p _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	20.0	34	5.2	1.146	1.007	33.31	116.5	96703	24.7	37
Zuluft eintritt 21	193	239	-1.1	61	2.2	1.236	1.006	4.46	87.9			

Tabelle 5: Luft eintrittskonditionen, Mittelwert über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 73

Messende: Minute 806

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 73 Minuten

			5.7		
			3.7		
2.5	3.1	2.9	2.4	2.4	
			2.4		
			2.8		

nach 806 Minuten

			8.1		
			4.5		
1.7	2.4	2.6	1.6	2.3	
			1.5		
			1.7		

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	73	806	733	Minuten
Auskondensierte Menge	0.055	0.933	0.88	kg
Kondensat in Wanne	0.010	0.533	0.52	kg
Kondensat im Tauscher	0.045	0.400	0.36	kg

Tabelle 6: Kondensation

Abbildung 35: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

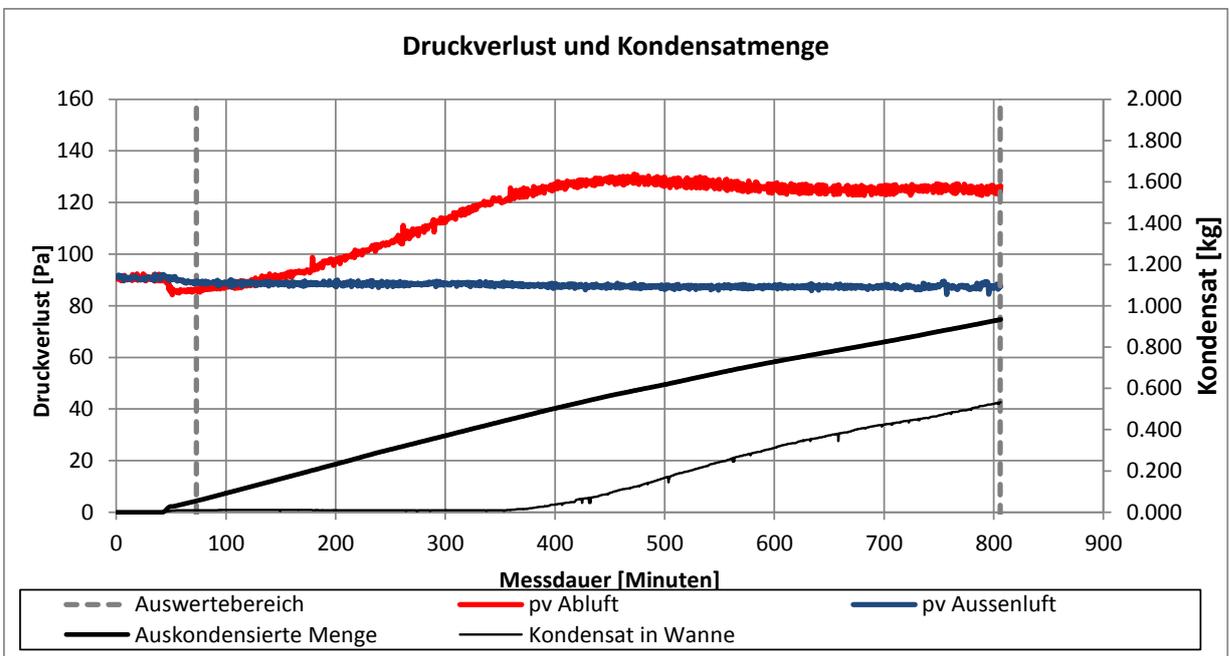


Abbildung 36: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -1°C, rel. Feuchte Abluft 6.4 g/kg

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c _p kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	p _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	211	241	20.2	41	6.4	1.143	1.007	36.40	123.7	96631	26.1	34
Zulufteintritt 21	193	238	-1.0	77	2.8	1.235	1.006	5.96	88.4			

Tabelle 7: Luft eintrittskonditionen, Mittelwert über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 96

Messende: Minute 392

Temperaturverteilung beim Tauscher- austritt Fortluft

nach 96 Minuten

			6.6		
			5.0		
3.2	4.0	3.7	3.2	3.2	
		2.6			
		3.0			

nach 392 Minuten

			8.7		
			5.7		
2.8	3.4	3.6	2.8	3.4	
		2.5			
		2.5			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	96	392	296	Minuten
Auskondensierte Menge	0.117	1.155	1.04	kg
Kondensat in Wanne	0.005	0.414	0.41	kg
Kondensat im Tauscher	0.112	0.741	0.63	kg

Tabelle 8: Kondensation

Abbildung 37: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

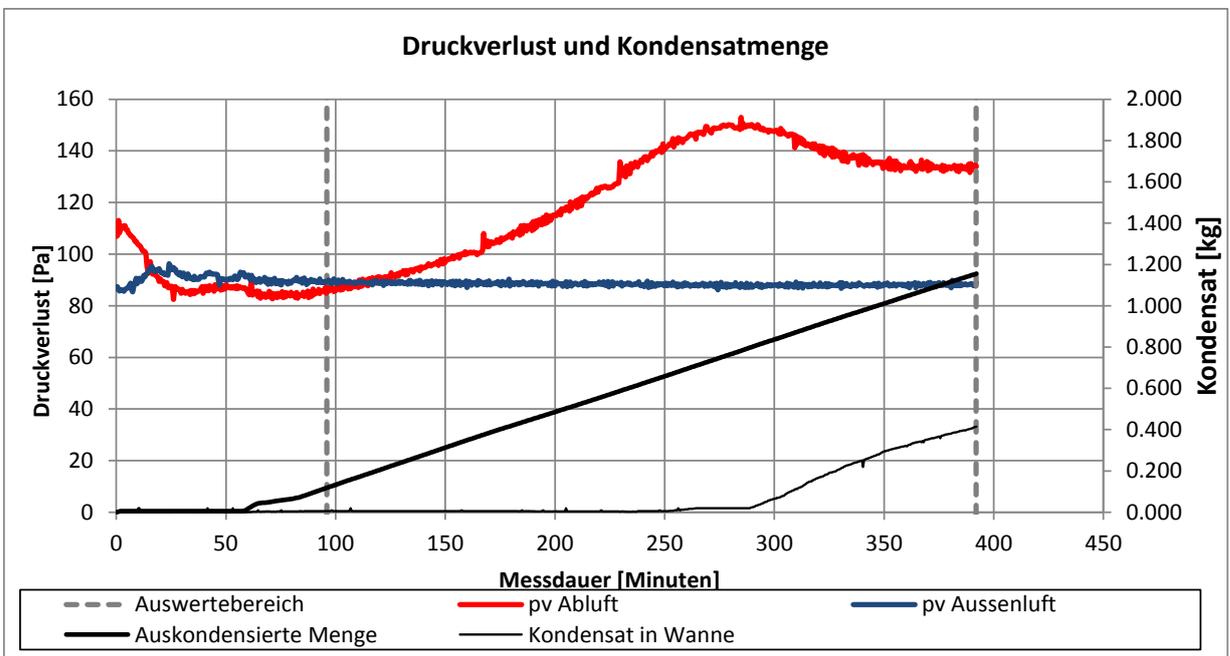


Abbildung 38: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -3°C, rel. Feuchte Abluft 4.2 g/kg

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	p _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	211	240	19.9	28	4.2	1.137	1.007	30.73	106.1	95877	23.5	38
Zulufteintritt 21	193	238	-3.0	70	2.2	1.235	1.006	2.37	89.1			

Tabelle 9: Luft eintrittskonditionen, Mittelwert über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 31

Messende: Minute 814

Temperaturverteilung beim Tauscher- austritt Fortluft nach 31 Minuten

			3.9		
		1.6			
0.4	0.8	0.7	0.3	0.3	
		0.4			
		1.3			

nach 814 Minuten

			7.7		
		2.5			
-2.0	-1.8	-1.3	-1.7	-1.1	
		-1.7			
		-1.7			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	31	814	783	Minuten
Auskondensierte Menge	0.029	0.305	0.28	kg
Kondensat in Wanne	0.011	0.076	0.07	kg
Kondensat im Tauscher	0.018	0.229	0.21	kg

Tabelle 10: Kondensation

Abbildung 39: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

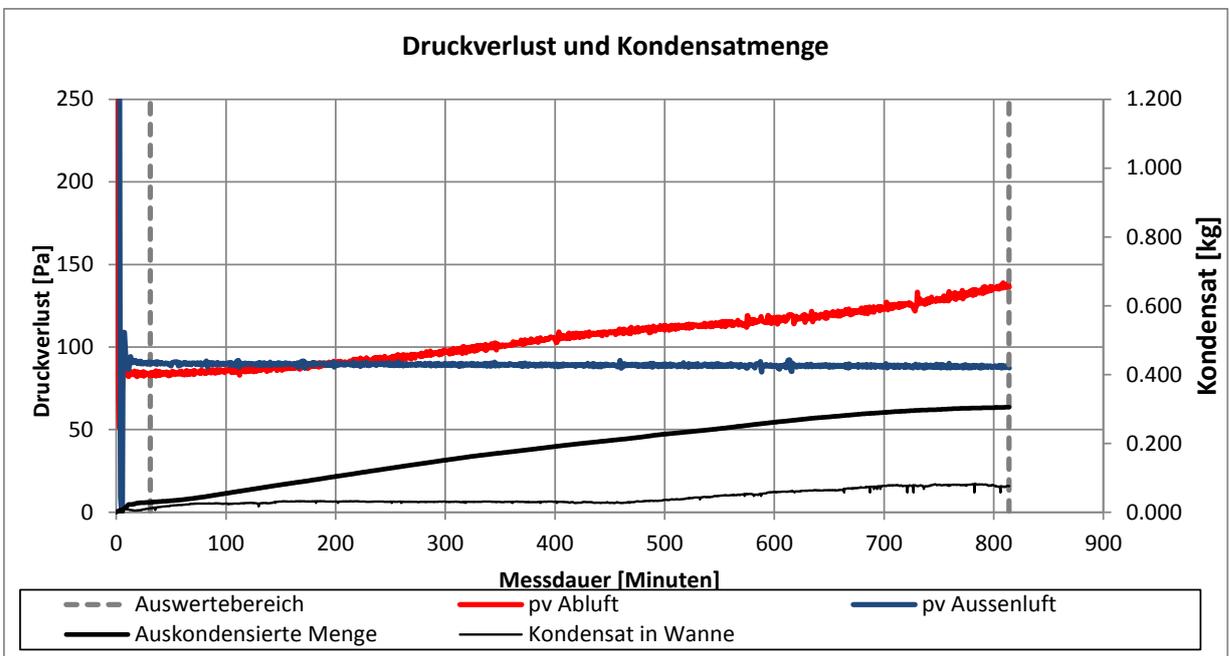


Abbildung 40: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -3°C, rel. Feuchte Abluft 5.2 g/kg

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	211	240	20.0	32	4.9	1.139	1.007	32.69	121.9	96140	24.3	39
Zulufteintritt 21	193	239	-3.0	70	2.1	1.238	1.006	2.33	88.9			

Tabelle 11: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 33

Messende: Minute 505

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 33 Minuten

					4.9
				2.4	
0.8	1.4	1.2	0.7	0.7	
				0.9	
				1.6	

nach 505 Minuten

					8.6
				3.3	
-1.5	-0.8	0.4	-0.5	0.8	
				-0.6	
				-1.5	

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	33	505	472	Minuten
Auskondensierte Menge	0.032	0.566	0.53	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.168	0.17	kg
Kondensat im Tauscher	0.032	0.398	0.37	kg

Tabelle 12: Kondensation

Abbildung 41: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

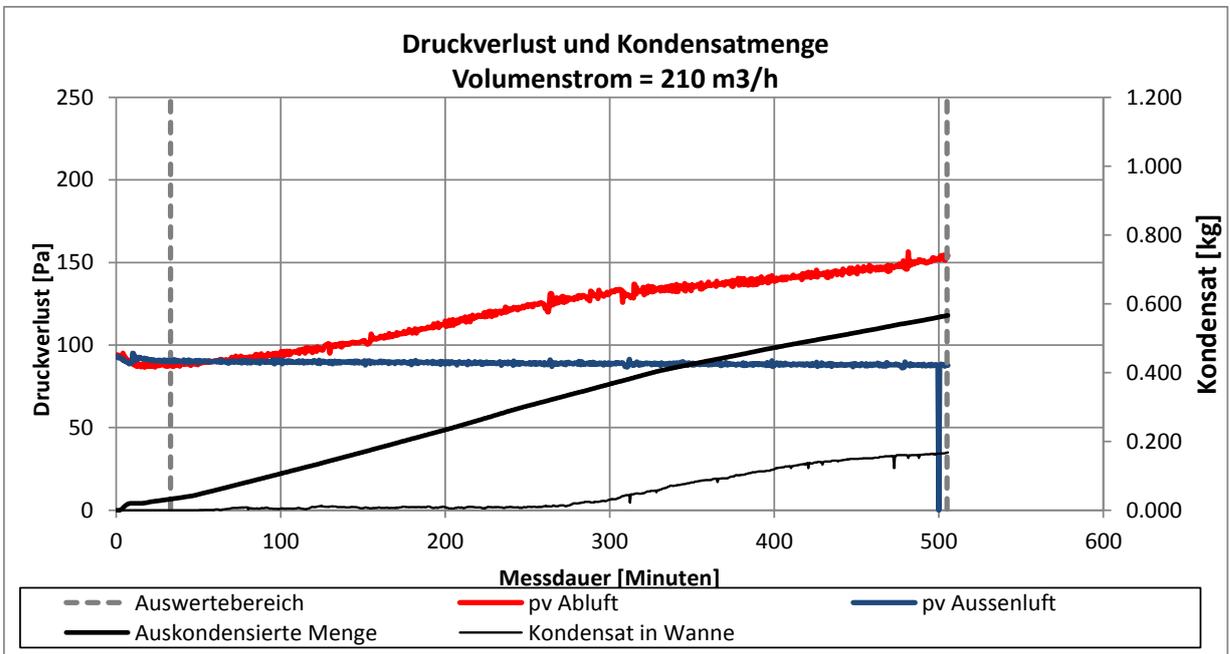


Abbildung 42: Druckverlust und Kondensatmenge Volumenstrom = 210 m³/h

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -5°C, rel. Feuchte Abluft 3.5 g/kg

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	p _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	240	19.9	23	3.5	1.147	1.007	28.89	108.4	96706	23.4	36
Zuluftentritt 21	192	240	-4.9	65	1.7	1.255	1.006	-0.71	82.4			

Tabelle 15: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 88

Messende: Minute 892

Temperaturverteilung beim Tauscher- austritt Fortluft

nach 88 Minuten

			1.9		
			-0.7		
-2.0	-1.7	-1.8	-2.0	-2.0	
			-2.0		
			-0.9		

nach 892 Minuten

			8.2		
			1.6		
-1.9	-3.3	-1.9	-3.8	-4.1	
			-2.2		
			-1.9		

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	88	892	804	Minuten
Auskondensierte Menge	0.082	0.379	0.30	kg
Kondensat in Wanne	0.012	0.000	-0.01	kg
Kondensat im Tauscher	0.070	0.379	0.31	kg

Tabelle 16: Kondensation

Abbildung 45: Temperaturverteilung bei m Tauscheraustritt Fortluft

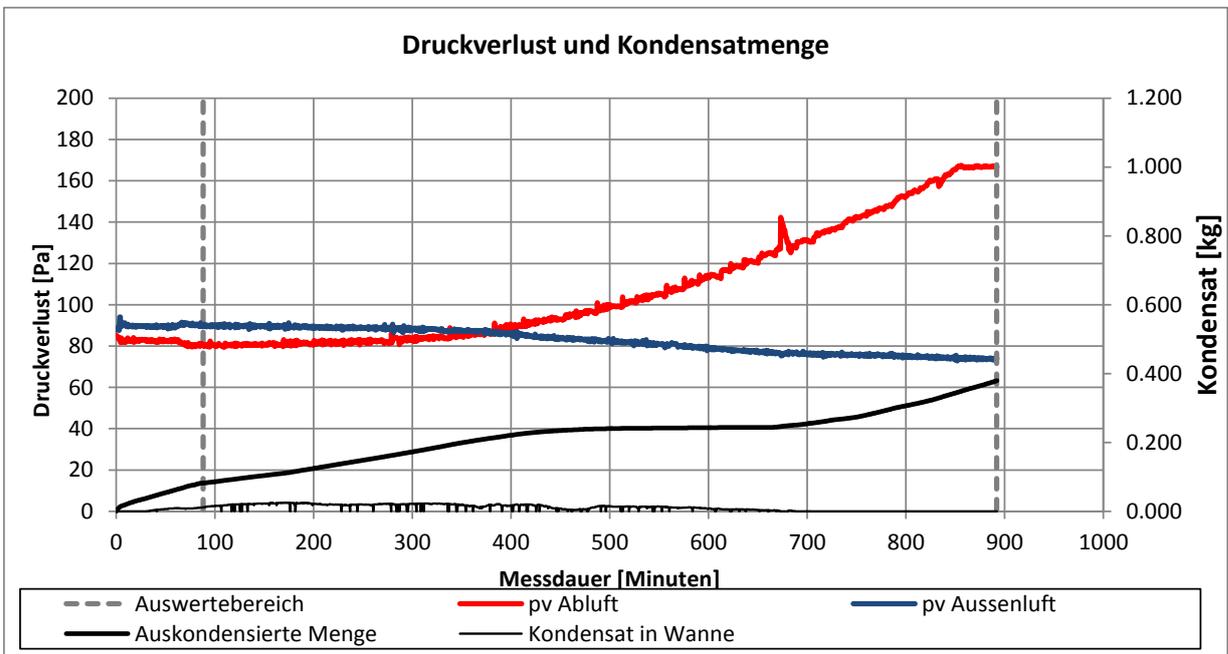


Abbildung 46: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -5°C, rel. Feuchte Abluft 4.2 g/kg

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	p _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	211	241	20.1	28	4.2	1.143	1.007	30.82	121.0	96480	25.8	34
Zuluft eintritt 21	192	240	-4.9	64	1.7	1.251	1.006	-0.68	88.2			

Tabelle 17: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 33

Messende: Minute 389

Temperaturverteilung beim Tauscher- austritt Fortluft

nach 33 Minuten

			2.5		
		0.0			
-1.5	-1.1	-1.1	-1.5	-1.5	
		-1.6			
		-0.8			

nach 389 Minuten

			8.8		
		0.3			
-4.3	-4.3	-3.3	-4.2	-4.4	
		-2.9			
		-1.8			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	33	389	356	Minuten
Auskondensierte Menge	0.034	0.454	0.42	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.001	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.034	0.453	0.42	kg

Tabelle 18: Kondensation

Abbildung 47: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

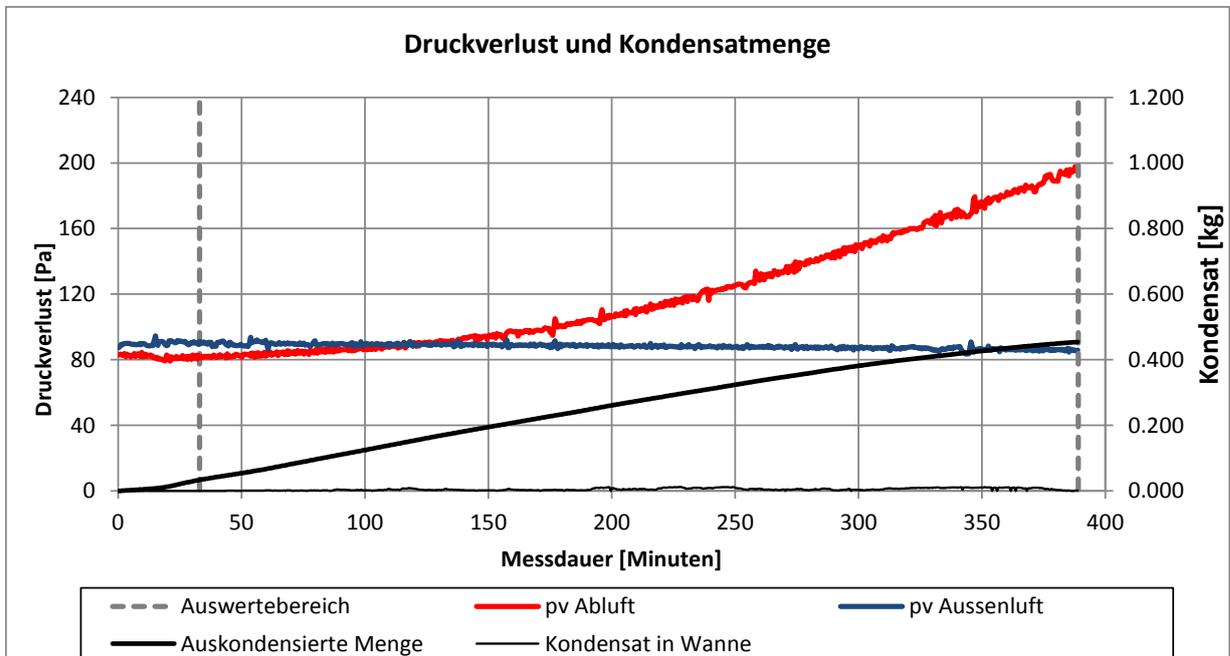


Abbildung 48: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -5°C, rel. Feuchte Abluft 5.3 g/kg, Volumenstrom 210 m³/h

Luftetrtrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	p _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	20.0	35	5.3	1.146	1.007	33.67	142.3	96767	23.5	41
Zulufteintritt 21	192	240	-4.9	65	1.7	1.255	1.006	-0.73	88.0			

Tabelle 19: Luftetrtrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 29

Messende: Minute 337

**Temperaturverteilung beim Tauscher-
austritt Fortluft**

nach 29 Minuten

		4.1			
		1.9			
-0.1	0.5	0.3	-0.1	-0.1	
		-0.6			
		0.3			

nach 337 Minuten

		8.3			
		0.5			
-3.5	-2.6	-2.5	-3.1	-3.9	
		-4.2			
		-3.7			

Abbildung 49: Temperaturverteilung bei Tauscheraustritt Fortluft

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	29	337	308	Minuten
Auskondensierte Menge	0.070	1.116	1.05	kg
Kondensat in Wanne	0.007	0.096	0.09	kg
Kondensat im Tauscher	0.063	1.020	0.96	kg

Tabelle 20: Kondensation

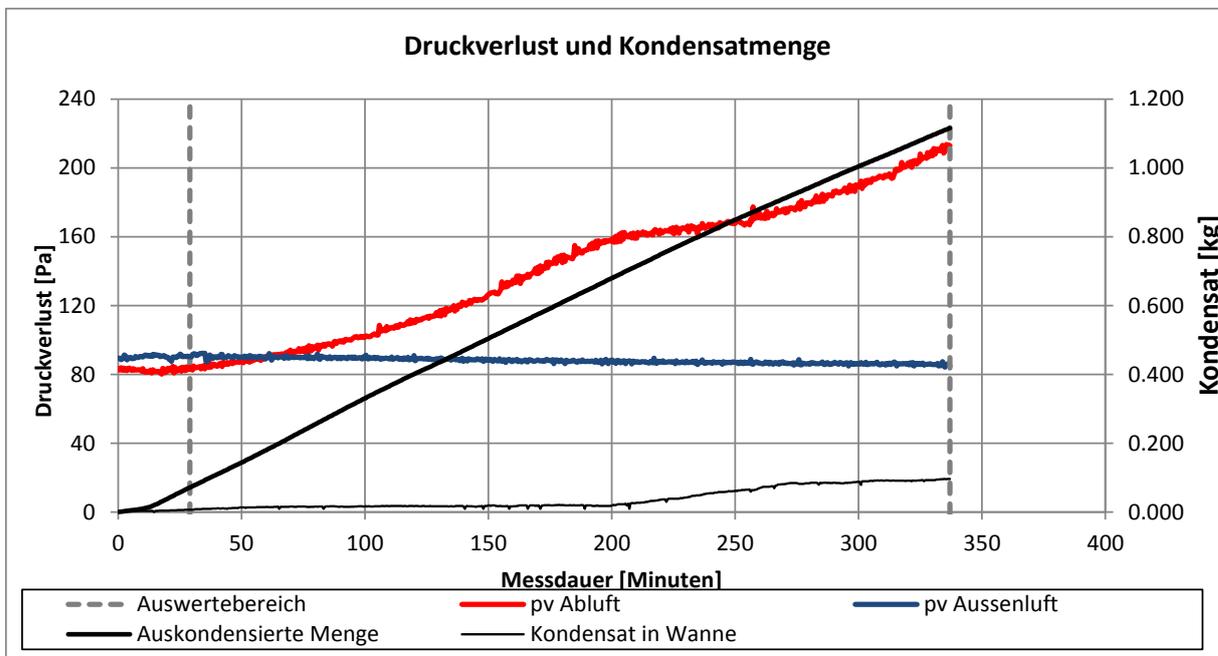


Abbildung 50: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -5°C, rel. Feuchte Abluft 5.0 g/kg, Volumenstrom 130 m³/h

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	130	149	20.2	32	5.0	1.143	1.007	32.91	111.4	96524	23.9	33
Zulufteintritt 21	121	152	-4.7	60	1.6	1.251	1.006	-0.73	45.9			

Tabelle 21: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 68

Messende: Minute 756

**Temperaturverteilung beim Tauscher-
austritt Fortluft**

nach 1 Minuten

		2.4			
		0.6			
-1.0	-0.5	-0.6	-1.1	-1.1	
		-1.4			
		-1.1			

nach 1 Minuten

		9.0			
		-2.2			
-3.9	-4.1	-4.2	-4.6	-4.5	
		-3.4			
		-3.0			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	68	756	688	Minuten
Auskondensierte Menge	0.058	1.430	1.37	kg
Kondensat in Wanne	0.001	0.010	0.01	kg
Kondensat im Tauscher	0.057	1.420	1.36	kg

Tabelle 22: Kondensation

Abbildung 51: Temperaturverteilung bei Tauscherausstritt Fortluft

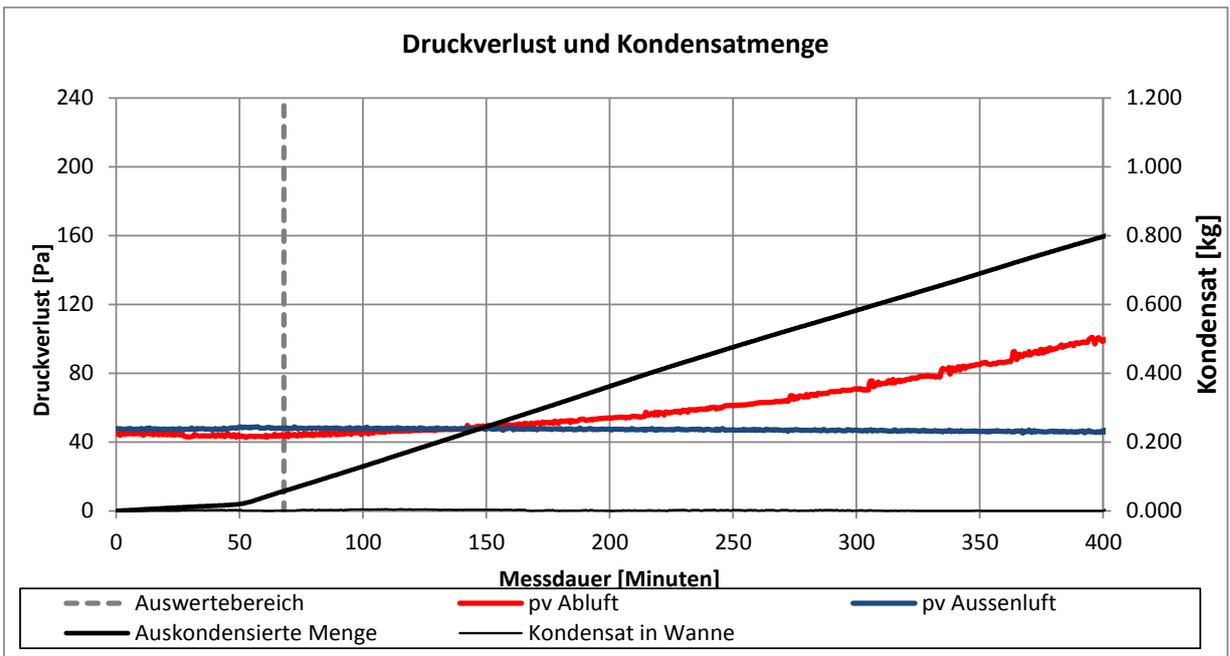


Abbildung 52: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -8°C, rel. Feuchte Abluft 2.9 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c _p kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	19.8	20	2.9	1.146	1.007	27.41	124.2	96534	25.2	40
Zulufteintritt 21	191	241	-7.9	62	1.2	1.267	1.006	-4.90	87.1			

Tabelle 23: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 148

Messende: Minute 566

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 148 Minuten

			-0.5	
		-3.4		
-4.9	-4.6	-4.6	-5.0	-5.0
		-4.8		
		-4.0		

nach 566 Minuten

			7.6	
		0.5		
-7.4	-7.7	-3.9	-6.4	-7.7
		-4.7		
		-4.6		

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	148	566	418	Minuten
Auskondensierte Menge	0.238	0.337	0.10	kg
Kondensat in Wanne	0.008	0.000	-0.01	kg
Kondensat im Tauscher	0.230	0.337	0.11	kg

Tabelle 24: Kondensation

Abbildung 53: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

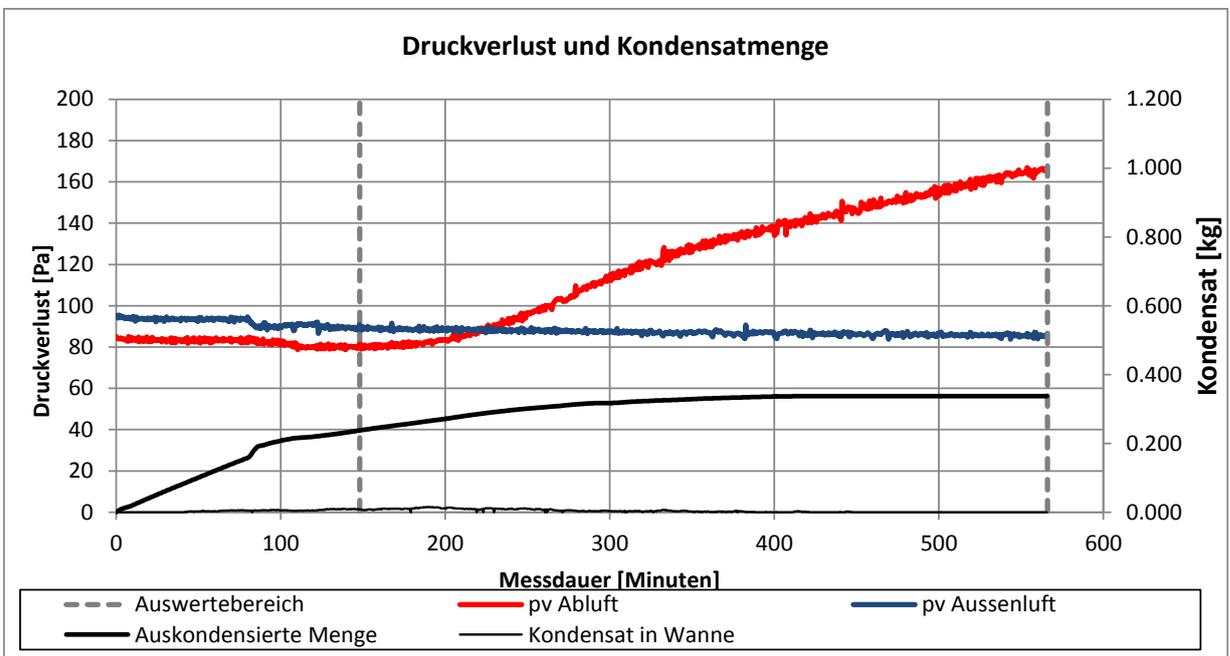


Abbildung 54: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -8°C, rel. Feuchte Abluft 4.4 g/kg

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	20.1	29	4.4	1.146	1.007	31.35	131.1	96765	25.3	38
Zulufteintritt 21	190	242	-7.9	60	1.2	1.270	1.006	-5.02	90.0			

Tabelle 25: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 28

Messende: Minute 127

Temperaturverteilung beim Tauscher- austritt Fortluft

nach 28 Minuten

			2.0		
		-1.2			
-4.0	-3.4	-3.4	-4.1	-4.1	
		-4.2			
		-3.6			

nach 127 Minuten

			6.4		
		-4.3			
-7.2	-6.9	-6.9	-7.2	-6.7	
		-6.8			
		-5.4			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	28	127	99	Minuten
Auskondensierte Menge	0.069	0.339	0.27	kg
Kondensat in Wanne	0.002	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.067	0.339	0.27	kg

Tabelle 26: Kondensation

Abbildung 55: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

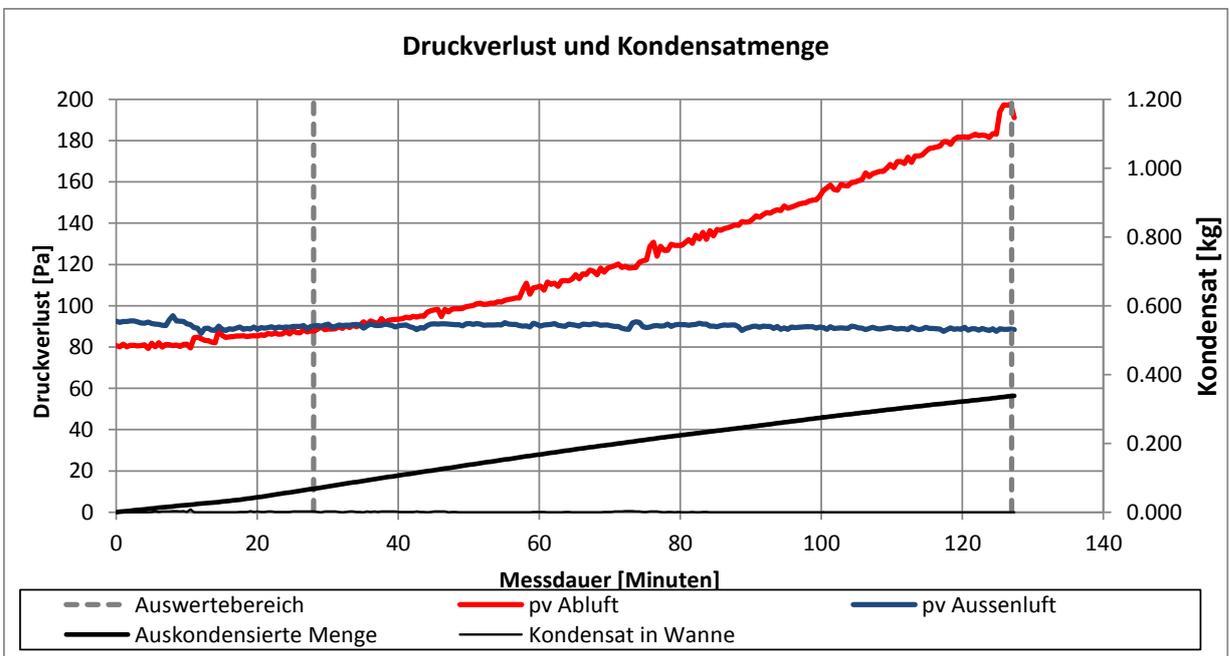


Abbildung 56: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -15°C, rel. Feuchte Abluft 2.9 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	19.8	19	2.9	1.148	1.007	27.23	131.7	96686	25.5	32
Zuluftentritt 21	188	245	-14.8	59	0.6	1.303	1.006	-13.33	87.3			

Tabelle 27: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 60

Messende: Minute 190

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 66 Minuten

			-3.9	
		-6.9		
-8.9	-8.4	-8.5	-9.1	-9.1
		-9.0		
		-7.9		

nach 190 Minuten

			3.9	
		-8.0		
-12.4	-11.6	-11.6	-11.9	-10.8
		-12.3		
		-10.6		

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	66	190	124	Minuten
Auskondensierte Menge	0.019	0.321	0.30	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.019	0.321	0.30	kg

Tabelle 28: Kondensation

Abbildung 57: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

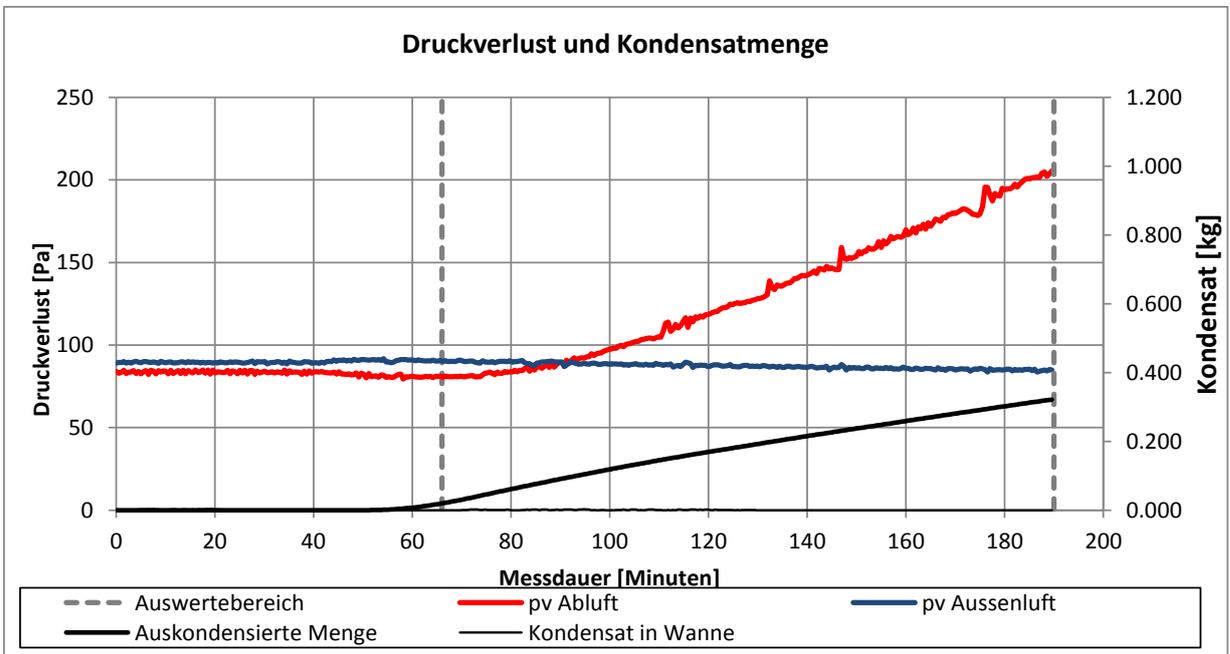


Abbildung 58: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -15°C, rel. Feuchte Abluft 4.0 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	p _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	240	20.0	26	4.0	1.142	1.007	30.19	144.8	96377	24.0	27
Zulufteintritt 21	188	244	-14.7	56	0.6	1.298	1.006	-13.23	88.8			

Tabelle 29: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 43

Messende: Minute 115

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 43 Minuten

		-1.3			
		-4.2			
-6.8	-6.1	-6.2	-7.0	-7.0	
		-7.0			
		-5.5			

nach 115 Minuten

		6.0			
		-8.2			
-10.9	-10.6	-10.8	-11.5	-10.5	
		-11.7			
		-10.1			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	43	115	72	Minuten
Auskondensierte Menge	0.043	0.430	0.39	kg
Kondensat in Wanne	0.001	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.042	0.430	0.39	kg

Tabelle 30: Kondensation

Abbildung 59: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

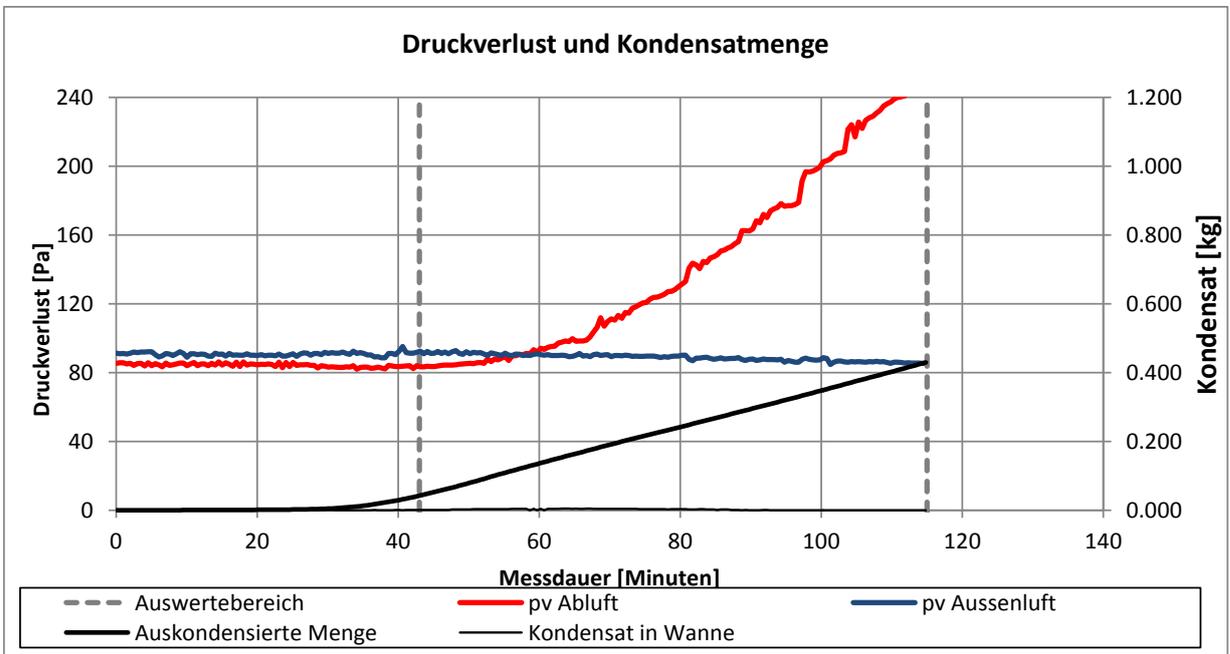


Abbildung 60: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -8°C, rel. Feuchte Abluft 4.1 g/kg, Volumenstrom 300 m³/h

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m³/h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	301	344	19.8	28	4.1	1.142	1.007	30.38	281.9	96285	24.8	42
Zulufteintritt 21	273	345	-8.3	72	1.4	1.265	1.006	-4.80	149.9			

Tabelle 31: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 33

Messende: Minute 199

**Temperaturverteilung beim Tauscher-
austritt Fortluft**

nach 33 Minuten

			0.1		
		-2.5			
-4.4	-4.0	-4.0	-4.5	-4.5	
		-4.3			
		-2.9			

nach 199 Minuten

			7.0		
		-5.8			
-7.2	-7.1	-7.1	-7.2	-7.4	
		-4.9			
		-4.1			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	33	199	166	Minuten
Auskondensierte Menge	0.048	0.726	0.68	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.048	0.726	0.68	kg

Tabelle 32: Kondensation

Abbildung 61: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

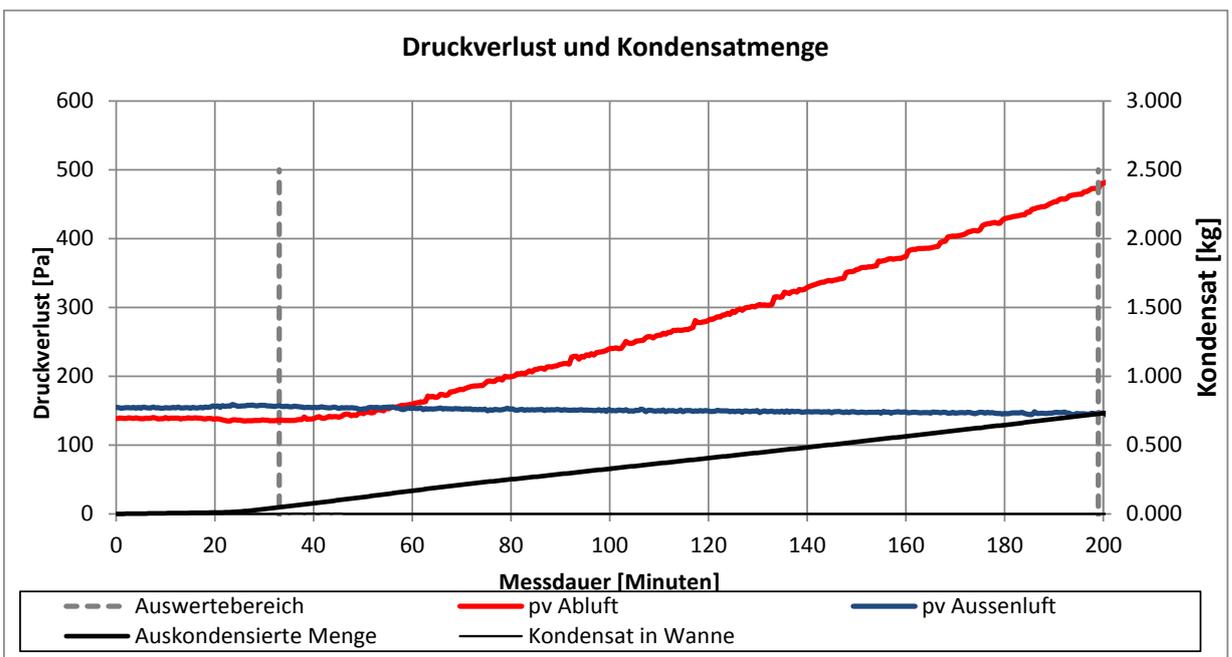


Abbildung 62: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -8°C, rel. Feuchte Abluft 4.2 g/kg, Volumenstrom 150 m³/h

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m³/h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	149	170	20.1	27	4.2	1.139	1.007	30.84	107.1	96165	24.4	43
Zulufteintritt 21	134	168	-7.3	48	1.0	1.259	1.006	-4.74	54.4			

Tabelle 33: Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 773

Messende: Minute 424

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 73 Minuten

		0.1			
		-1.6			
-3.1	-2.6	-2.8	-3.3	-3.3	
		-3.7			
		-2.3			

nach 424 Minuten

		8.4			
		-4.7			
-7.2	-6.9	-7.1	-7.3	-6.8	
		-6.3			
		-5.0			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	73	424	351	Minuten
Auskondensierte Menge	0.039	0.902	0.86	kg
Kondensat in Wanne	0.007	0.007	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.032	0.895	0.86	kg

Tabelle 34: Kondensation

Abbildung 63: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

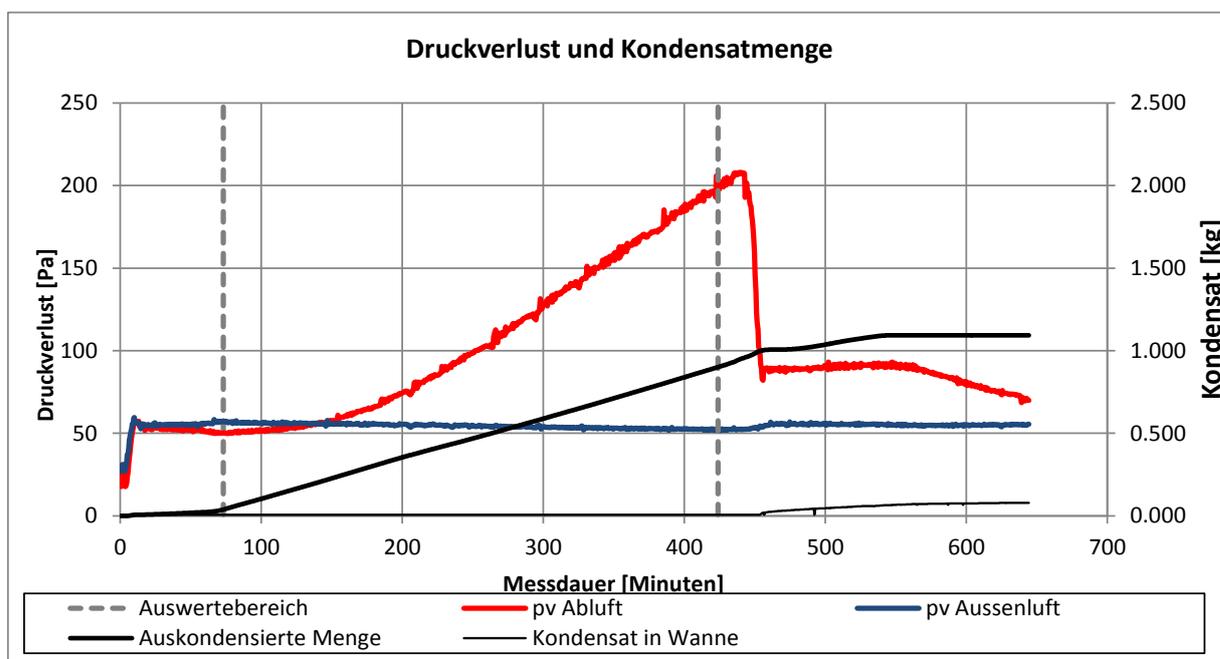


Abbildung 64: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur -8°C, rel. Feuchte Abluft 4.2 g/kg, Volumenstrom 100 m³/h

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m³/h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	101	115	20.3	26	4.0	1.141	1.007	30.66	80.7	96386	24.7	43
Zulufteintritt 21	91	116	-7.9	50	1.0	1.265	1.006	-5.44	33.2			

Tabelle 35: Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 23

Messende: Minute 666

**Temperaturverteilung beim Tauscher-
austritt Fortluft**

nach 23 Minuten



nach 666 Minuten



Abbildung 65: Temperaturverteilung bei Tauscheraustritt Fortluft

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	23	666	643	Minuten
Auskondensierte Menge	0.010	1.214	1.20	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.010	1.214	1.20	kg

Tabelle 36: Kondensation

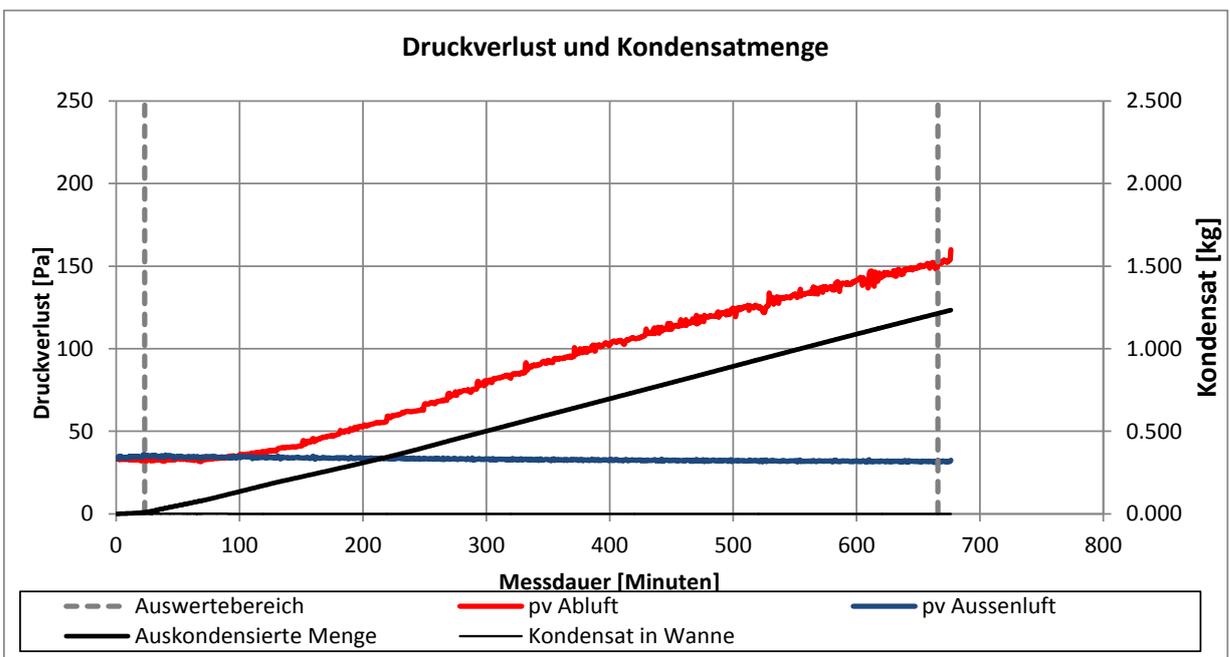


Abbildung 66: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Abtauverhalten - q_{v21} abschalten nach einer Druckverlustzunahme von 100 Pa

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	p _{Baro} Pa	t _u °C	φ_U %r.F.
Abluft eintritt 11	209	242	19.9	27	4.0	1.156	1.007	30.28	115.3	97504	23.6	35
Zuluft eintritt 21	190	243	-7.8	66	1.3	1.279	1.006	-4.55	88.3			

Tabelle 37: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

- q_m Massenstrom in kg/h
- x absolute Feuchte in kg/kg

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 33

Messende: Minute 181

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 33 Minuten

		0.6			
		-1.8			
-3.5	-3.1	-3.2	-3.7	-3.7	
		-3.9			
		-2.4			

nach 181 Minuten

		6.2			
		-4.0			
-7.2	-6.9	-7.0	-7.2	-6.7	
		-6.9			
		-6.1			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	33	181	148	Minuten
Auskondensierte Menge	0.019	0.377	0.36	kg
Kondensat in Wanne	0.001	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.018	0.377	0.36	kg

Tabelle 38: Kondensation

Abbildung 67: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

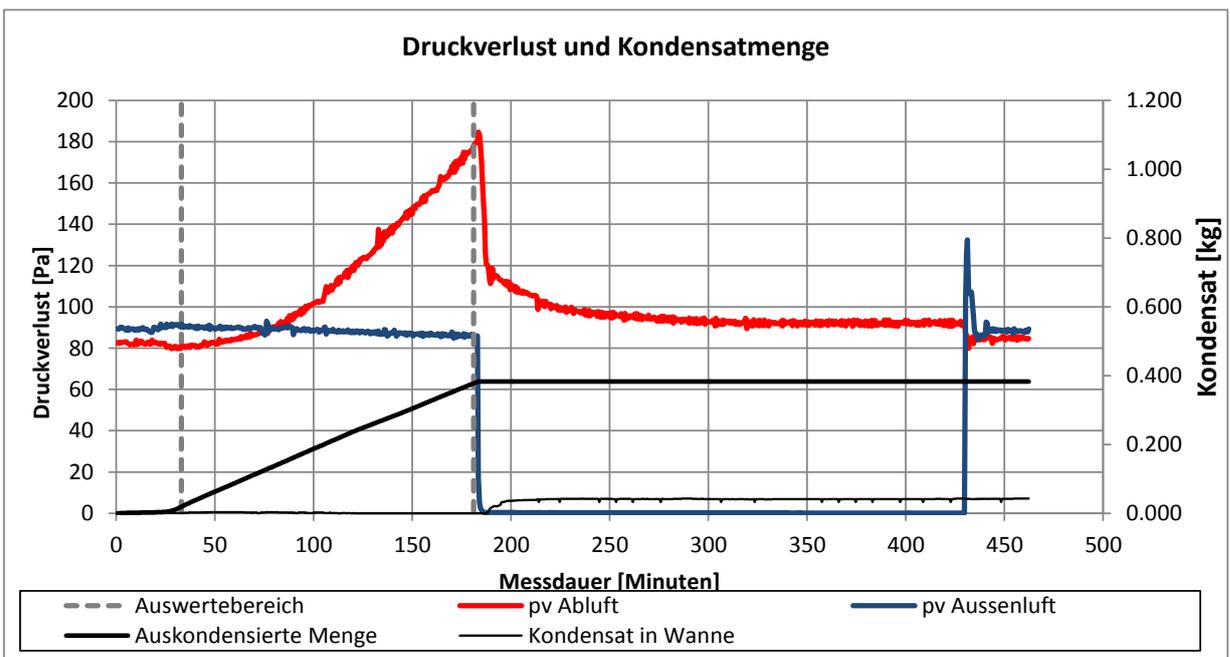


Abbildung 68: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Abtauverhalten - q_{v21} abschalten nach einer Druckverlustzunahme von 50 Pa

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_U %r.F.
Abluft eintritt 11	210	240	19.9	27	4.1	1.141	1.007	30.54	97.5	96258	24.5	32
Zuluft eintritt 21	189	238	-7.9	67	1.3	1.263	1.006	-4.57	88.0			

Tabelle 39: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 43

Messende: Minute 141

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 43 Minuten

		0.7			
		-1.7			
-3.4	-3.0	-3.1	-3.6	-3.6	
		-3.8			
		-2.2			

nach 141 Minuten

		4.6			
		-2.7			
-6.6	-6.3	-6.1	-6.4	-6.1	
		-6.2			
		-5.3			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	43	141	98	Minuten
Auskondensierte Menge	0.039	0.350	0.31	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.039	0.350	0.31	kg

Tabelle 40: Kondensation

Abbildung 69: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

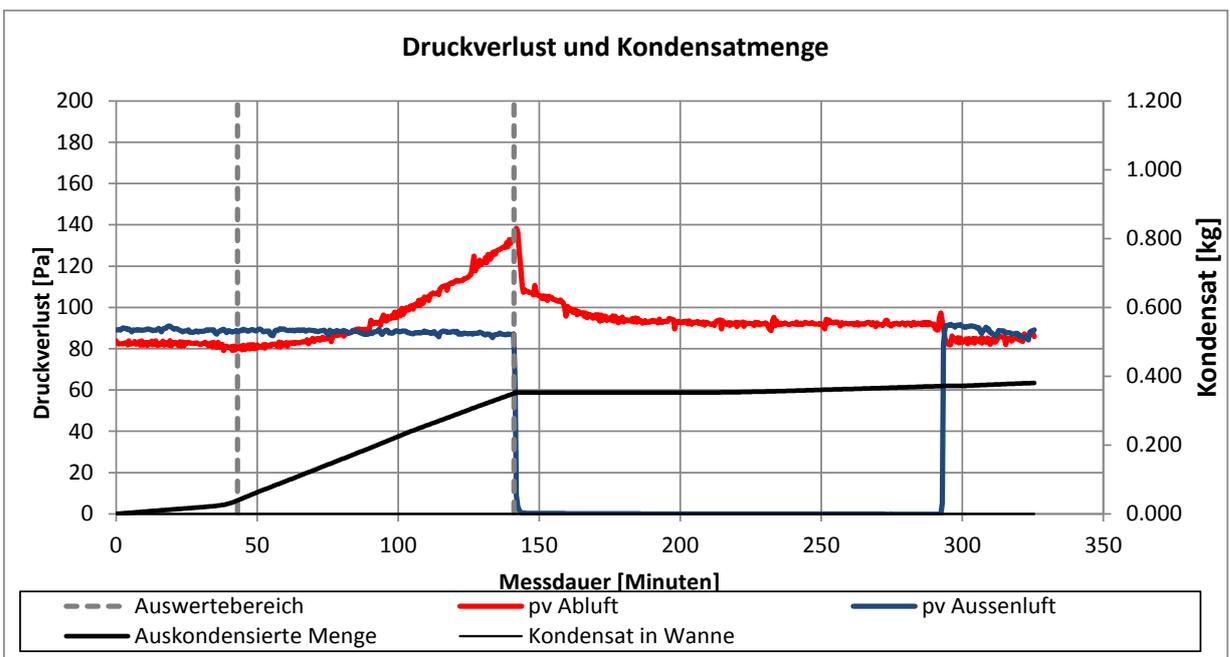


Abbildung 70: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Abtauverhalten - q_{v21} um 50% reduzieren nach einer Druckverlustzunahme von 100 Pa

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_U %r.F.
Ablufteintritt 11	211	240	20.0	27	4.2	1.140	1.007	30.72	139.3	96203	26.0	32
Zuluft eintritt 21	149	188	-7.6	60	1.3	1.261	1.006	-4.49	64.8			

Tabelle 41: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 23

Messende: Minute 269

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 23 Minuten

			0.5		
		-1.8			
-3.5	-3.2	-3.2	-3.7	-3.7	
		-3.6			
		-2.1			

nach 269 Minuten

			14.4		
		4.3			
-0.5	-0.8	-1.4	-2.5	-1.5	
		-3.1			
		-1.4			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	23	269	246	Minuten
Auskondensierte Menge	0.019	0.556	0.54	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.019	0.556	0.54	kg

Tabelle 42: Kondensation

Abbildung 71: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

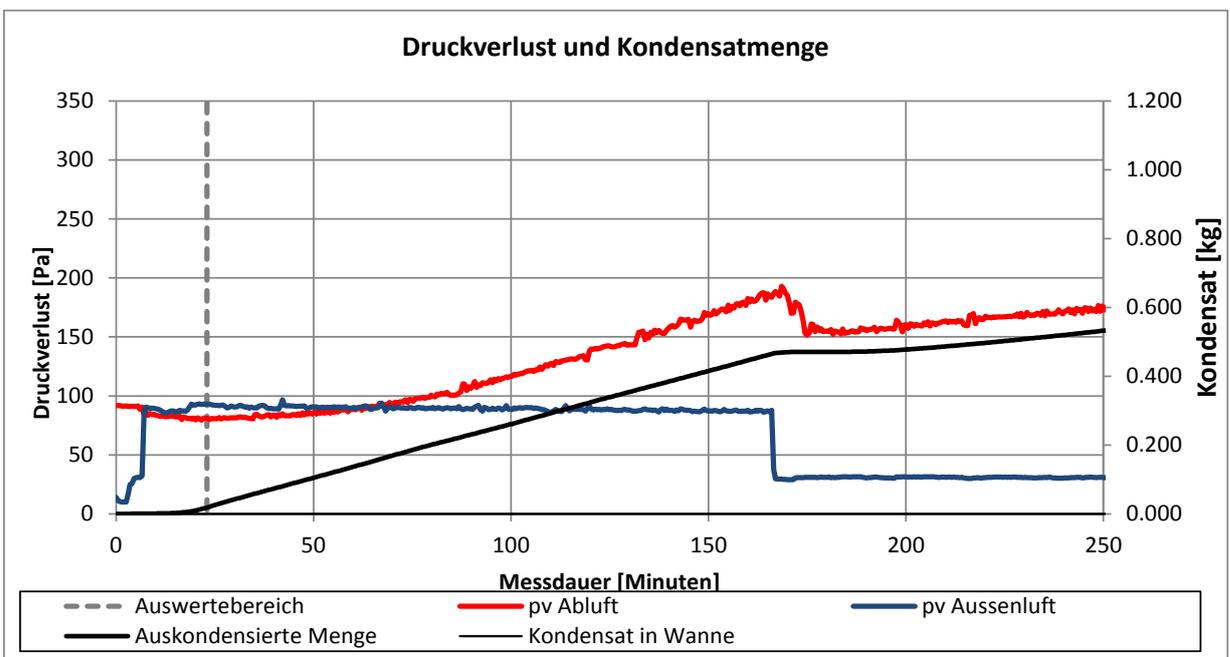


Abbildung 72: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage vertikal, Abtauverhalten - q_{v21} um 50% reduzieren nach einer Druckverlustzunahme von 50 Pa

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_U %r.F.
Abluft eintritt 11	211	240	20.1	27	4.1	1.138	1.007	30.63	116.6	96027	27.8	31
Zuluft eintritt 21	144	181	-7.5	58	1.2	1.258	1.006	-4.49	62.5			

Tabelle 43: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 23

Messende: Minute 204

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 23 Minuten

		-0.0			
		-2.2			
-4.0	-3.5	-3.6	-4.0	-4.0	
		-4.2			
		-2.8			

nach 204 Minuten

		14.9			
		6.8			
-1.0	-0.6	-1.3	-2.3	-0.3	
		-3.1			
		-0.4			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	23	204	181	Minuten
Auskondensierte Menge	0.032	0.371	0.34	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.032	0.371	0.34	kg

Tabelle 44: Kondensation

Abbildung 73: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

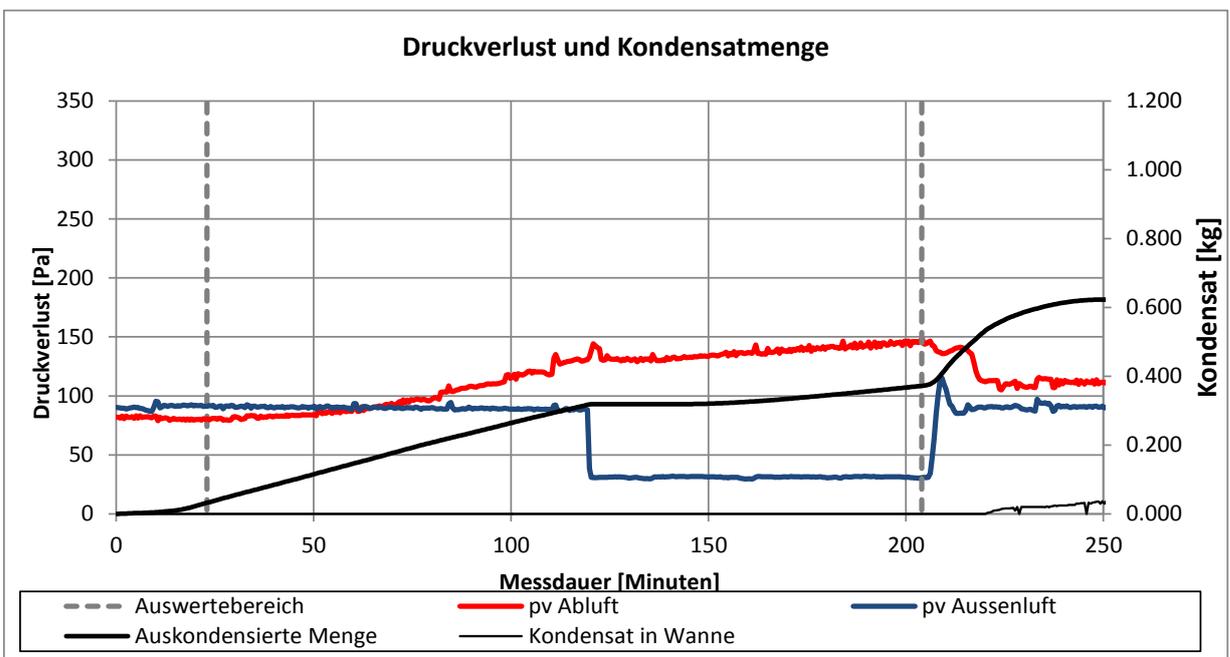


Abbildung 74: Druckverlust und Kondensatmenge

6.2 Einbaulage horizontal

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -1°C, rel. Feuchte Abluft 4.4 g/kg

Luft Eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c _p kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	19.9	30	4.4	1.146	1.007	31.30	81.2	96692	25.0	50
Zulufteintritt 21	193	239	-1.1	79	2.8	1.236	1.006	5.91	75.7			

Tabelle 47: Luft eintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

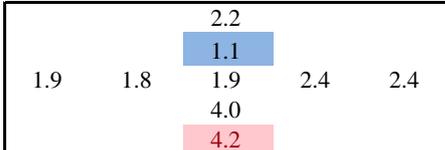
Auswertebereich

Messbeginn: Minute 28

Messende: Minute 1026

Temperaturverteilung beim Tauscher- austritt Fortluft

nach 28 Minuten



nach 1026 Minuten



Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	28	1026	998	Minuten
Auskondensierte Menge	0.007	0.876	0.87	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.055	0.05	kg
Kondensat im Tauscher	0.007	0.821	0.81	kg

Tabelle 48: Kondensation

Abbildung 77: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

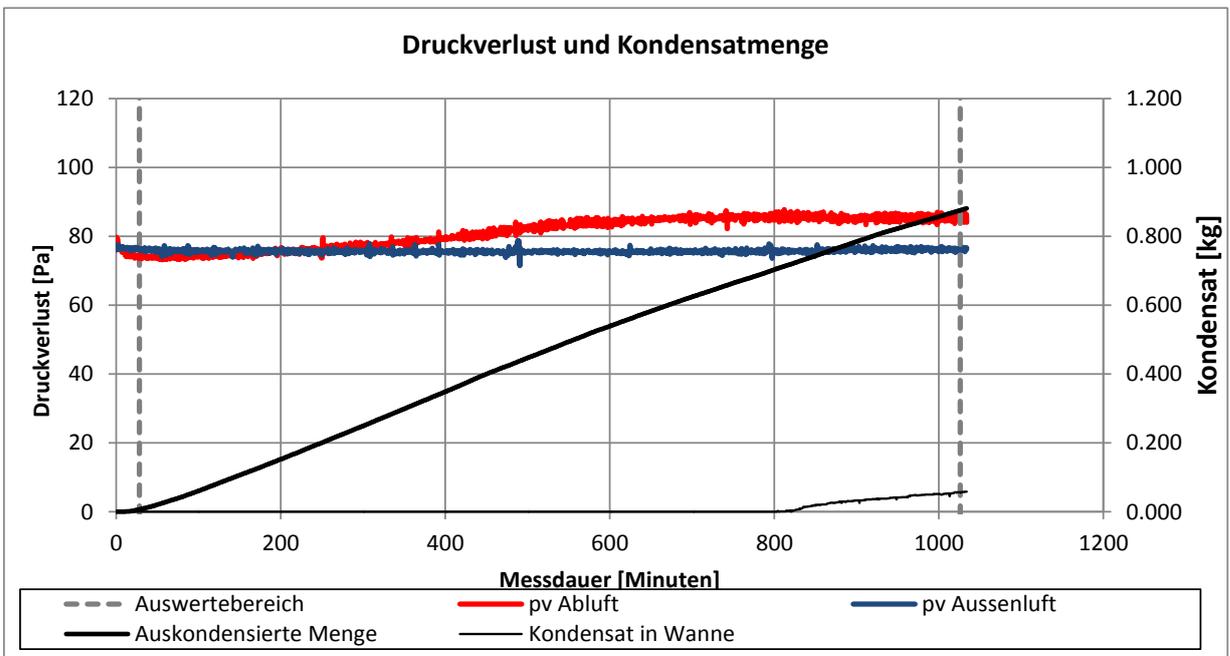


Abbildung 78: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -1°C, rel. Feuchte Abluft 6.3 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c_p kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	20.1	41	6.3	1.144	1.007	36.11	98.7	96692	25.5	48
Zulufteintritt 21	193	239	-1.1	81	2.9	1.236	1.006	6.21	75.6			

Tabelle 49: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 38

Messende: Minute 314

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 38 Minuten

			3.7		
			2.3		
3.7	3.5	3.6	4.0	4.0	
		5.6			
		5.8			

nach 314 Minuten

			2.6		
			1.3		
2.2	1.5	1.5	1.8	2.0	
		4.7			
		5.9			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	38	314	276	Minuten
Auskondensierte Menge	0.028	1.166	1.14	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.274	0.27	kg
Kondensat im Tauscher	0.028	0.892	0.86	kg

Tabelle 50: Kondensation

Abbildung 79: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

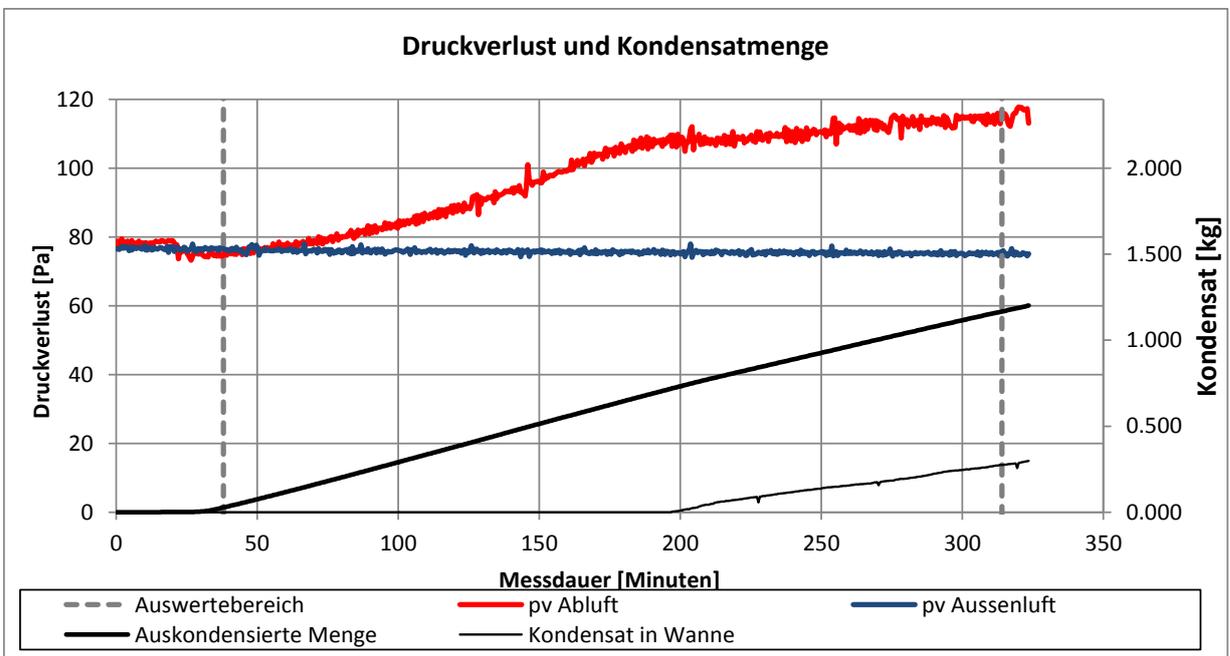


Abbildung 80: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -3°C, rel. Feuchte Abluft 4.1 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c_p kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	20.3	27	4.1	1.145	1.007	30.74	98.7	96692	25.3	53
Zulufteintritt 21	192	239	-3.0	77	2.4	1.245	1.006	2.92	72.6			

Tabelle 51: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 48

Messende: Minute 976

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 48 Minuten

			0.1		
			-0.9		
0.2	0.0	0.0	0.4	0.4	
			1.9		
			2.3		

nach 976 Minuten

			-1.0		
			-1.9		
-1.6	-2.8	-1.9	-0.3	-0.3	
			1.2		
			4.3		

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	48	976	928	Minuten
Auskondensierte Menge	0.024	0.901	0.88	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.024	0.901	0.88	kg

Tabelle 52: Kondensation

Abbildung 81: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

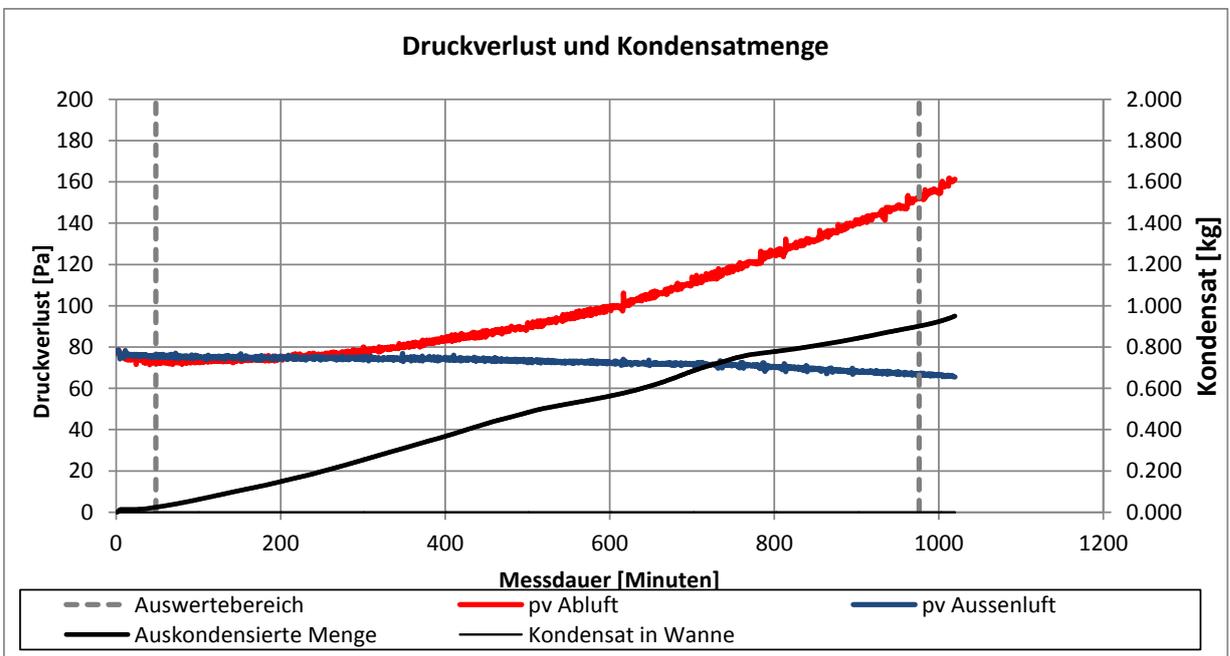


Abbildung 82: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -3°C, rel. Feuchte Abluft 5.0 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c_p kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	19.9	33	5.0	1.146	1.007	32.74	127.6	96692	23.8	40
Zulufteintritt 21	192	239	-3.0	78	2.4	1.245	1.006	2.89	73.5			

Tabelle 53: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 113

Messende: Minute 739

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 53 Minuten

			0.1		
			-0.8		
1.1	0.8	0.7	0.8	0.8	
		2.6			
		3.1			

nach 575 Minuten

			-1.0		
			-1.3		
3.5	2.1	-0.2	-1.3	-0.7	
		1.2			
		3.8			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	53	575	522	Minuten
Auskondensierte Menge	0.159	1.523	1.36	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.005	0.01	kg
Kondensat im Tauscher	0.159	1.518	1.36	kg

Tabelle 54: Kondensation

Abbildung 83: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

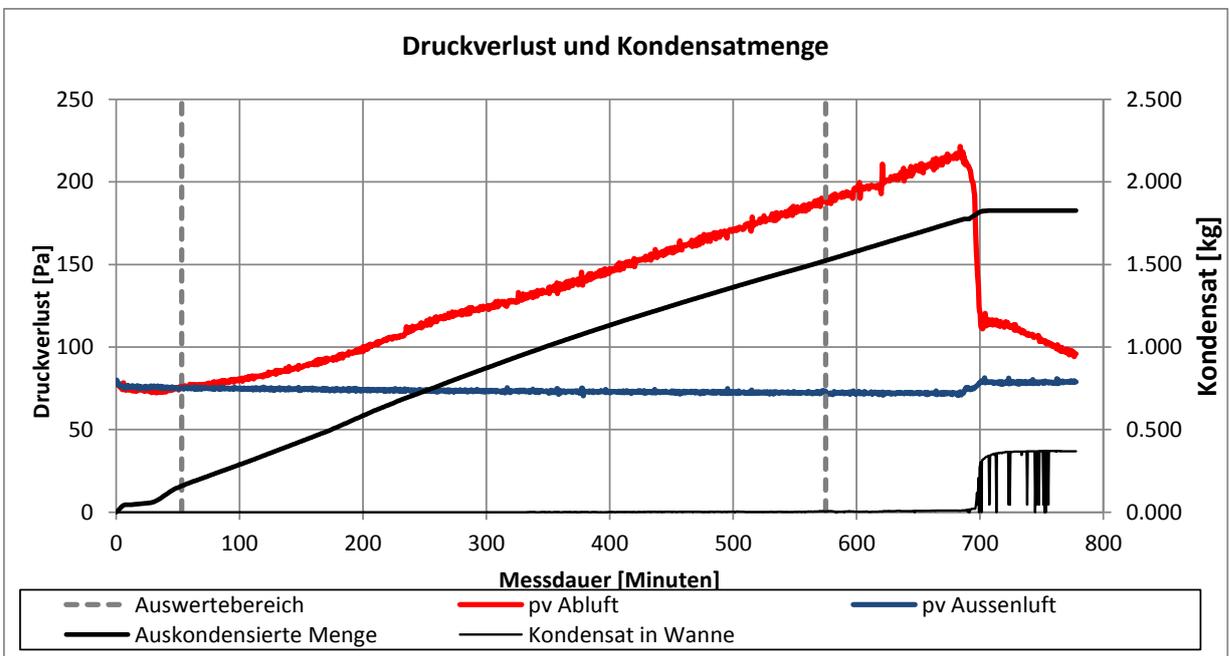


Abbildung 84: Druckverluste und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -3°C, rel. Feuchte Abluft 6.3 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	240	20.3	41	6.3	1.143	1.007	36.32	114.1	96692	28.0	49
Zulufteintritt 21	192	239	-3.0	71	2.2	1.245	1.006	2.49	74.3			

Tabelle 55: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 48

Messende: Minute 274

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 48 Minuten

			0.6		
			-0.5		
2.1	1.5	1.4	1.6	1.6	
		4.0			
		4.6			

nach 274 Minuten

			0.3		
			-1.0		
0.7	0.5	0.2	-0.1	-0.3	
		3.4			
		5.2			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	48	274	226	Minuten
Auskondensierte Menge	0.159	1.476	1.32	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.422	0.42	kg
Kondensat im Tauscher	0.159	1.054	0.89	kg

Tabelle 56: Kondensation

Abbildung 85: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

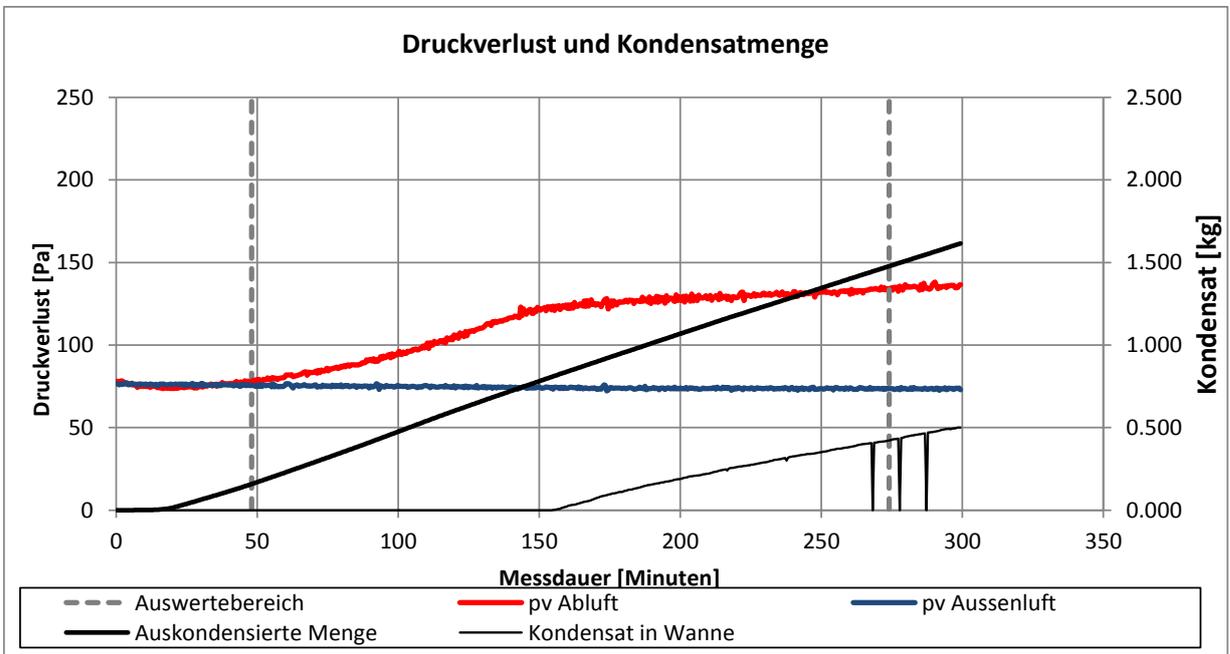


Abbildung 86: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -5°C, rel. Feuchte Abluft 3.5 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c_p kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	240	19.8	23	3.5	1.142	1.007	28.81	101.0	96296	23.1	46
Zulufteintritt 21	192	239	-4.9	74	2.0	1.249	1.006	-0.04	72.2			

Tabelle 57: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 43

Messende: Minute 897

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 43 Minuten

			-1.8		
			-3.1		
-1.6	-1.9	-2.1	-1.9	-1.9	
		0.1			
		0.5			

nach 897 Minuten

			-3.0		
			-4.1		
-3.2	-3.8	-3.3	-2.7	-2.9	
		-0.7			
		2.5			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	43	897	854	Minuten
Auskondensierte Menge	0.025	0.942	0.92	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.025	0.942	0.92	kg

Tabelle 58: Kondensation

Abbildung 87: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

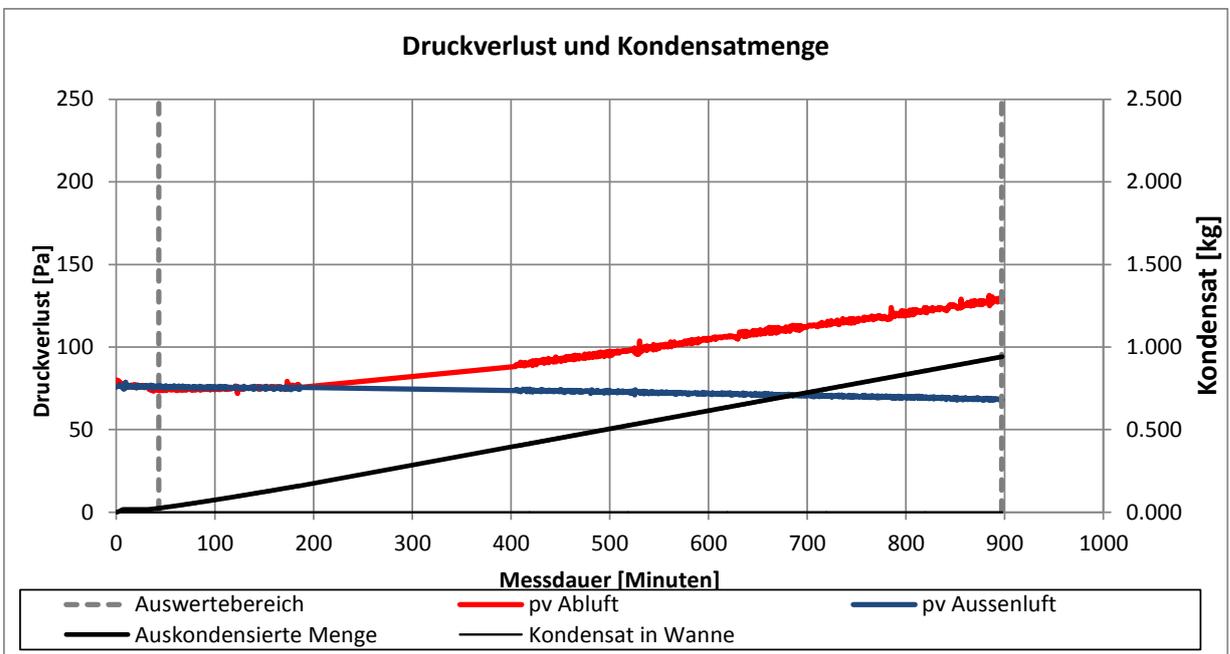


Abbildung 88: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -5°C, rel. Feuchte Abluft 4.2 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c_p kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	20.2	28	4.2	1.145	1.007	31.03	118.9	96706	29.7	39
Zulufteintritt 21	192	240	-5.0	70	1.8	1.255	1.006	-0.48	73.5			

Tabelle 59: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

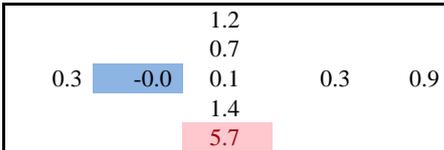
Messbeginn: Minute 48

Messende: Minute 440

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 48 Minuten



nach 440 Minuten



Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	48	440	392	Minuten
Auskondensierte Menge	0.019	0.968	0.95	kg
Kondensat in Wanne	0.012	0.012	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.007	0.956	0.95	kg

Tabelle 60: Kondensation

Abbildung 89: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

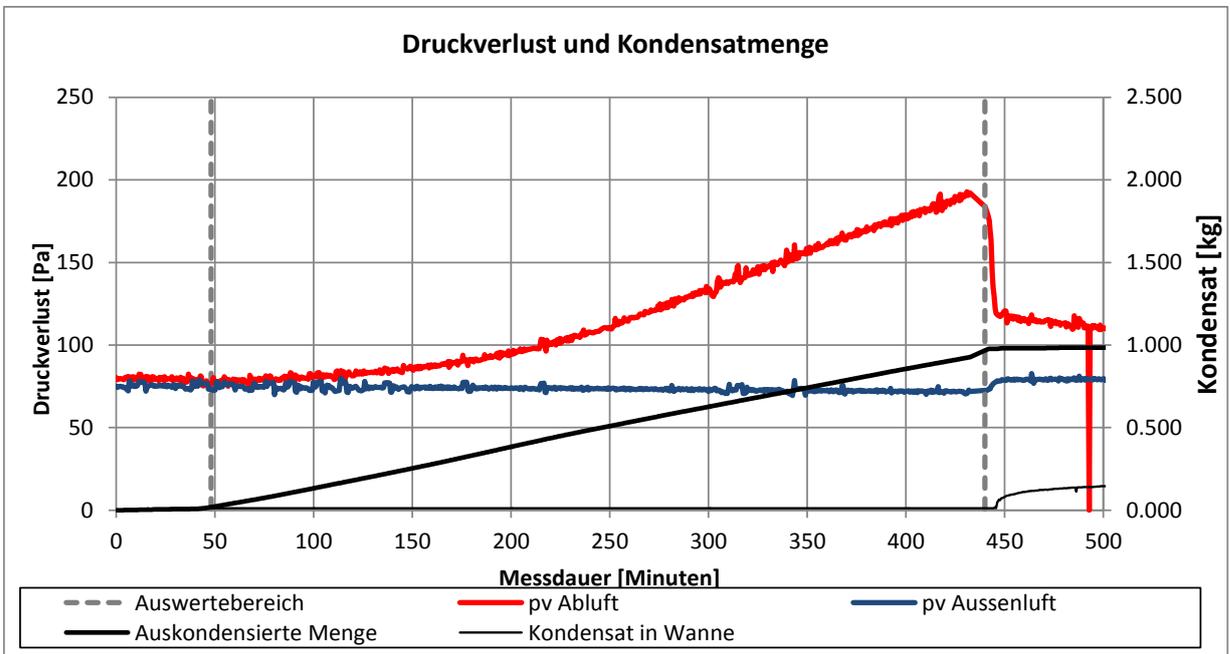


Abbildung 90: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -5°C, rel. Feuchte Abluft 5.4 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	240	19.9	36	5.4	1.143	1.007	33.60	160.3	96430	23.8	37
Zulufteintritt 21	192	240	-4.8	73	1.9	1.250	1.006	-0.11	74.0			

Tabelle 61: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 13

Messende: Minute 438

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 13 Minuten

			-0.3		
			-1.6		
0.7	0.2	0.0	0.2	0.2	
		2.5			
		2.9			

nach 438 Minuten

			-1.1		
			-2.0		
-1.2	-1.5	-2.0	-2.8	-1.9	
		-3.1			
		-0.9			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	13	438	425	Minuten
Auskondensierte Menge	0.028	1.715	1.69	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.083	0.08	kg
Kondensat im Tauscher	0.028	1.632	1.60	kg

Tabelle 62: Kondensation

Abbildung 91: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

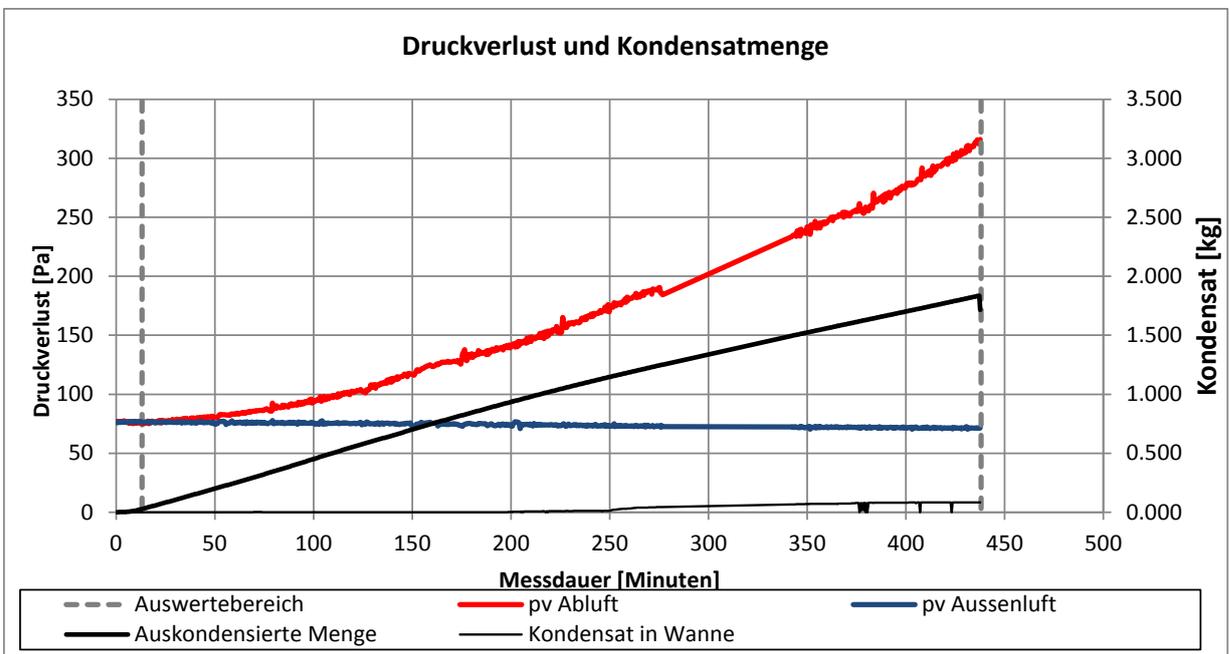


Abbildung 92: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -8°C, rel. Feuchte Abluft 4.3 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	p _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	240	19.7	29	4.3	1.144	1.007	30.76	97.9	96486	24.6	35
Zulufteintritt 21	191	241	-7.8	70	1.4	1.265	1.006	-4.28	74.1			

Tabelle 63: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 48

Messende: Minute 178

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 48 Minuten

			-3.6		
			-5.1		
-2.8	-3.3	-3.4	-3.2	-3.2	
		-1.2			
		-0.4			

nach 178 Minuten

			-6.8		
			-7.5		
-6.6	-7.5	-7.5	-7.3	-7.4	
		-4.6			
		0.7			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	48	178	130	Minuten
Auskondensierte Menge	0.066	0.605	0.54	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.066	0.605	0.54	kg

Tabelle 64: Kondensation

Abbildung 93: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

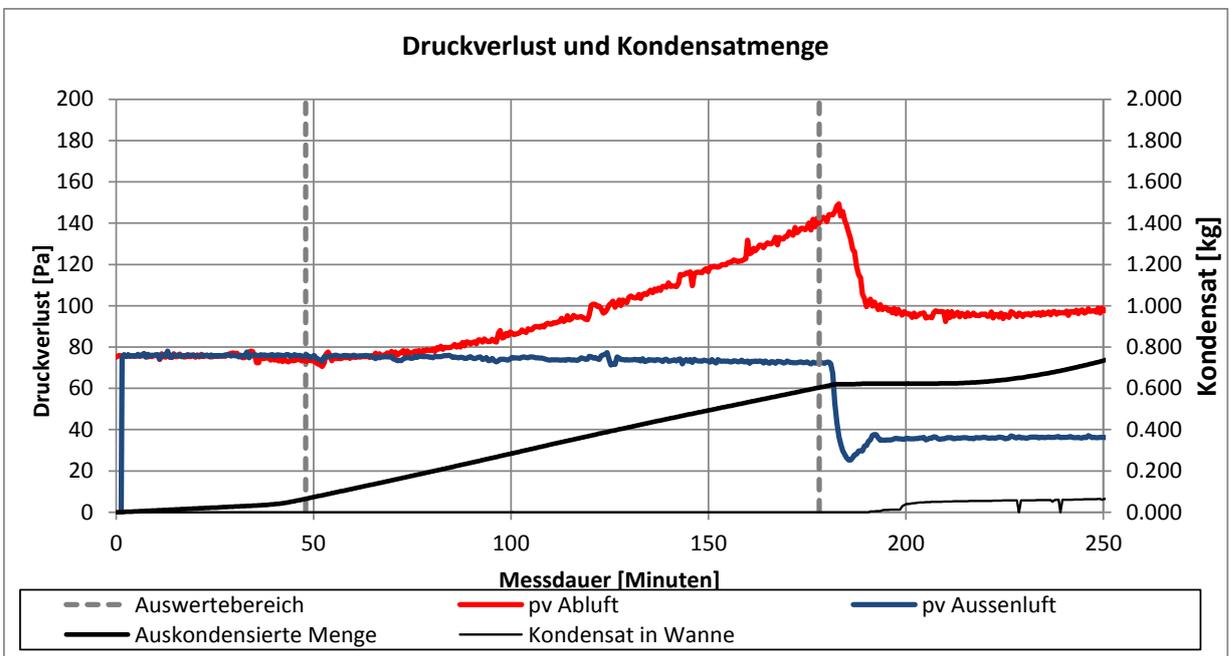


Abbildung 94: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -8°C, rel. Feuchte Abluft 3.4 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q_v m ³ /h	q_m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	c_p kJ/kgK	h kJ/kg	p_v Pa	p_{Baro} Pa	t_u °C	φ_U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	241	19.5	23	3.4	1.147	1.007	28.20	134.2	96594	21.7	50
Zulufteintritt 21	191	241	-7.9	75	1.5	1.267	1.006	-4.17	71.5			

Tabelle 65: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 36

Messende: Minute 554

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft nach 36 Minuten

			-2.3		
			-4.7		
-2.9	-3.4	-3.6	-3.4	-3.4	
		-1.5			
		-0.6			

nach 554 Minuten

			-4.1		
			-6.7		
-7.4	-7.9	-7.6	-7.5	-6.7	
		-6.2			
		0.0			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	36	554	518	Minuten
Auskondensierte Menge	0.018	1.063	1.04	kg
Kondensat in Wanne	0.001	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.017	1.063	1.05	kg

Tabelle 66: Kondensation

Abbildung 95: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

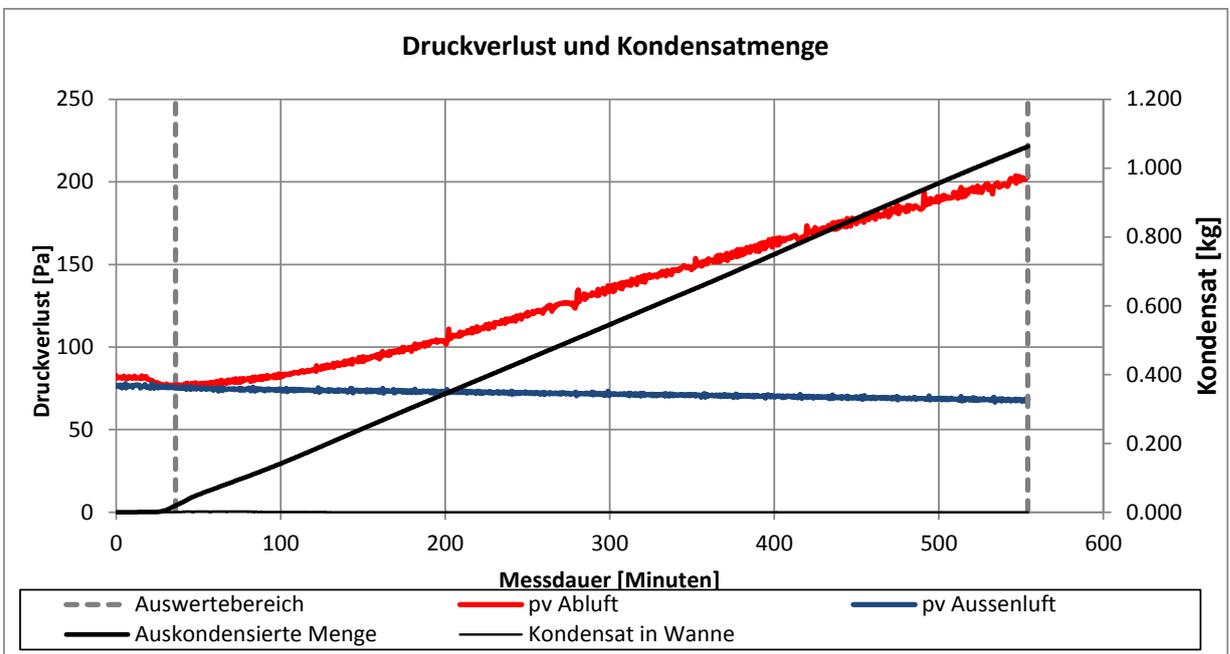


Abbildung 96: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -15°C, rel. Feuchte Abluft 3.1 g/kg

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	240	20.0	20	3.1	1.147	1.007	27.89	141.8	96692	27.5	47
Zuluftentritt 21	188	245	-14.4	71	0.8	1.301	1.006	-12.54	71.8			

Tabelle 67: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 31

Messende: Minute 164

**Temperaturverteilung beim Tauscher-
austritt Fortluft
nach 31 Minuten**

		-10.5			
		-12.2			
-9.1	-9.8	-9.9	-9.6	-9.6	
		-6.9			
		-6.0			

nach 164 Minuten

		-11.0			
		-13.3			
-13.3	-14.4	-14.3	-14.9	-14.6	
		-13.0			
		-6.8			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	31	164	133	Minuten
Auskondensierte Menge	0.049	0.604	0.55	kg
Kondensat in Wanne	0.000	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.049	0.604	0.55	kg

Tabelle 68: Kondensation

Abbildung 97: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

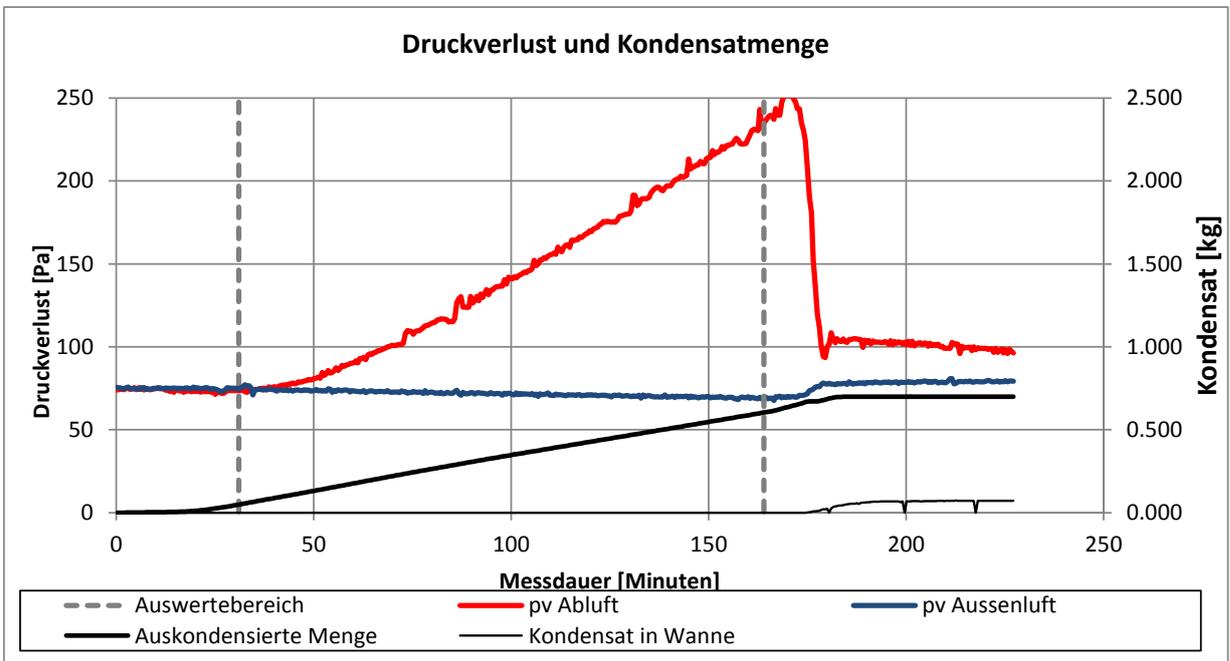


Abbildung 98: Druckverlust und Kondensatmenge

Einbaulage horizontal, Aussenlufttemperatur -15°C, rel. Feuchte Abluft 4.0 g/kg

Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

	q _v m ³ /h	q _m kg/h	t °C	φ %r.F.	x g/kg	ρ kg/m ³	cp kJ/kgK	h kJ/kg	p _v Pa	P _{Baro} Pa	t _u °C	φ _U %r.F.
Ablufteintritt 11	210	240	19.7	27	4.0	1.144	1.007	30.00	140.4	96431	24.0	42
Zulufteintritt 21	188	244	-14.5	73	0.8	1.298	1.006	-12.62	73.4			

Tabelle 69: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer

Auswertebereich

Messbeginn: Minute 41

Messende: Minute 106

Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

nach 41 Minuten

		-8.4			
			-11.0		
-7.2	-8.3	-8.2	-8.3	-8.3	
		-4.7			
		-3.3			

nach 106 Minuten

		-9.8			
		-13.6			
-12.9	-13.9	-13.9	-13.8	-13.6	
		-11.9			
		-5.5			

Kondensation

	Start	Ende	Differenz	
Messdauer	41	106	65	Minuten
Auskondensierte Menge	0.069	0.443	0.37	kg
Kondensat in Wanne	0.002	0.000	0.00	kg
Kondensat im Tauscher	0.067	0.443	0.38	kg

Tabelle 70: Kondensation

Abbildung 99: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft

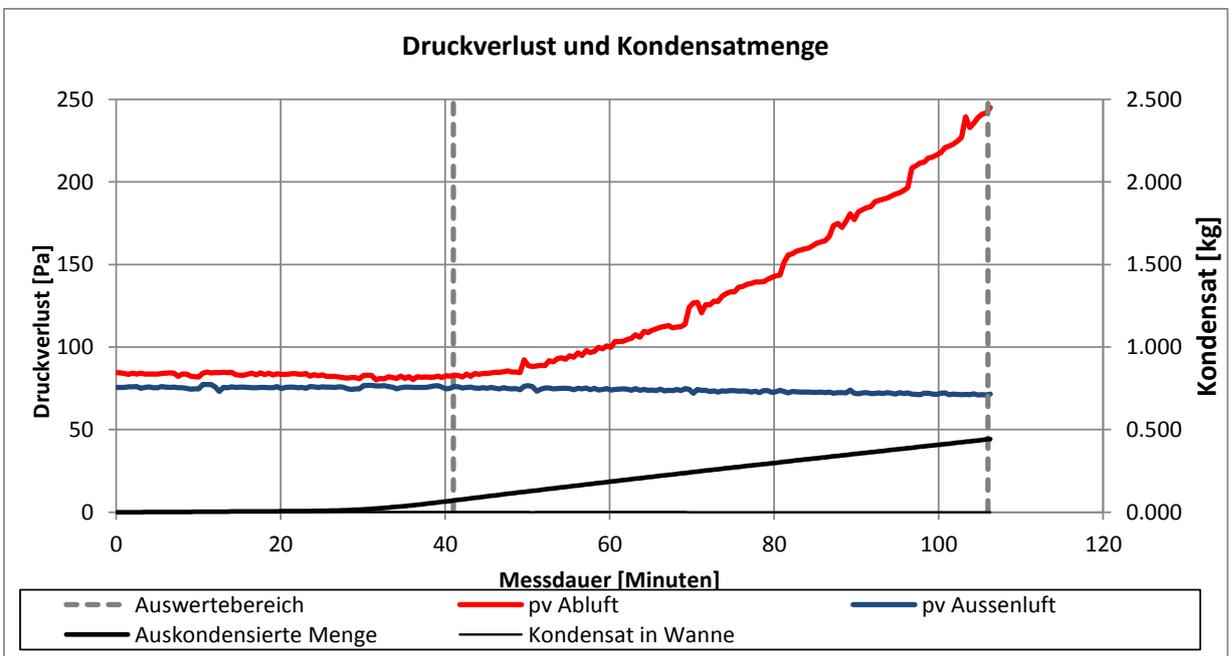


Abbildung 100: Druckverlust und Kondensatmenge

7 Anhang 2, Spezifikationen Messgeräte

Die angegebenen Messunsicherheiten beziehen sich auf ein Vertrauensniveau von 95%.

Position	Log Nr.	Messunsicherheit	Datum der Kalibration	Messgerät
TR102	1.16 HP 042, Kanal 106 bis 108	0.15 K	05.07.2013	PT100, 1/5 DIN, 4-Leiter
TR104	1.16 HP 042, Kanal 201 bis 209	0.11 K	08.08.2013	PT100, 1/5 DIN, 4-Leiter
TR202	1.16 HP 042, Kanal 101, 104, 105	0.16 K	05.07.2013	PT100, 1/5 DIN, 4-Leiter
TR204	1.16 HP 042, Kanal 109, 110, 210	0.17 K	05.07.2013	PT100, 1/5 DIN, 4-Leiter
FR101	1.08 HP 049	2.72 % vMW	30.08.2013	Hesco, V-Control CRNS DN 125
	1.07 HP 197	1.21 Pa	12.12.2013	Endress+Hauser, Deltabar S PMD 075
FR201	1.08 HP 050	2.68 % vMW	02.09.2013	Hesco, V-Control CRNS DN 125
	1.07 HP 196	1.45 Pa	12.12.2013	Endress+Hauser, Deltabar S PMD 075
PDR106	1.07 HP 198	1.67 Pa	12.12.2013	Endress+Hauser, Deltabar S PMD 075
PDR206	1.07 HP 225	0.54 Pa	04.04.2013	Endress+Hauser, Deltabar S PMD 075
MR103	1.09 HP 038	1.70 %r.F.	21.05.2013	Rotronic, Hygroclip S
MR105	1.09 HP 031	1.62 %r.F.	21.05.2013	Rotronic, Hygroclip S
MR203	1.09 HP 039	3.15 %r.F.	16.02.2012	Rotronic, Hygroclip S
MR205	1.09 HP 036	1.38 %r.F.	16.02.2012	Rotronic, Hygroclip S
TR301	1.09 HP 110	0.25 °C	14.08.2013	Rotronic, Hygroclip S
MR302	1.09 HP 110	1.25 %r.F.	14.08.2013	Rotronic, Hygroclip S
PR303	1.07 HP 201	14 Pa	02.07.2007	Endress+Hauser, Cerabar S PMC71
WR401	1.05 HP 001	< 0.01 % vMW	04.12.2013	Mettler, KB 60.2

Tabelle 71: Spezifikationen Messgeräte

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gegenstromplattenwärmetauscher aus Kunststoff	1
Abbildung 2:	Prüfaufbau	2
Abbildung 3:	Prüfaufbau, im Vordergrund die Aussenluft-Luftaufbereitung	3
Abbildung 4:	Testbox mit horizontal eingebautem Prüfling	3
Abbildung 5/6:	Temperaturmessstelle auf der Fortluftseite Anordnung der Temperaturfühler	3
Abbildung 7/8:	Einbau vertikal Einbau horizontal	3
Abbildung 9:	Beispiel Messung $t_{AUL} = -1^{\circ}\text{C}$, $x_{ABL} = 5.2 \text{ g/kg}$	5
Abbildung 10:	Einbaulage vertikal, Aussenlufttemperatur = -1°C	6
Abbildung 11:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussentemp. = -1°C	6
Abbildung 12:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussentemperatur = -3°C	7
Abbildung 13:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -3°C	7
Abbildung 14:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussentemperatur = -5°C	8
Abbildung 15:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussentemperatur = -5°C	8
Abbildung 16:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussentemperatur = -8°C	9
Abbildung 17:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -8°C	9
Abbildung 18:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -15°C	10
Abbildung 19:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -15°C	10
Abbildung 20:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussentemperatur = -1°C	11
Abbildung 21:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussentemperatur = -1°C	11
Abbildung 22:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -3°C	12
Abbildung 23:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -3°C	12
Abbildung 24:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -5°C	13
Abbildung 25:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -5°C	13
Abbildung 26:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -8°C	14
Abbildung 27:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -8°C	14
Abbildung 28:	Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -15°C	15
Abbildung 29:	Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -15°C	15
Abbildung 30:	Einfluss Volumenstrom, Druckverlustzunahme Abluftseite bei Aussenlufttemperatur = -8°C	16
Abbildung 31:	Einfluss Volumenstrom, Druckverlustzunahme Abluftseite in Funktion der Kondensatmenge im Tauscher bei Aussenlufttemperatur = -8°C	16
Abbildung 32:	Abtauverhalten, Druckverlustzunahme Abluftseite Abluffeuchte = 4g/kg	17
Abbildung 33:	Temperaturverteilung bei Tauscheraustritt Fortluft	19
Abbildung 34:	Druckverlust und Kondensatmenge	19

Abbildung 35:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	20
Abbildung 36:	Druckverlust und Kondensatmenge	20
Abbildung 37:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	21
Abbildung 38:	Druckverlust und Kondensatmenge	21
Abbildung 39:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	22
Abbildung 40:	Druckverlust und Kondensatmenge	22
Abbildung 41:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	23
Abbildung 42:	Druckverlust und Kondensatmenge Volumenstrom = 210 m ³ /h.....	23
Abbildung 43:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	24
Abbildung 44:	Druckverlust und Kondensatmenge	24
Abbildung 45:	Temperaturverteilung bei m Tauscheraustritt Fortluft	25
Abbildung 46:	Druckverlust und Kondensatmenge	25
Abbildung 47:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	26
Abbildung 48:	Druckverlust und Kondensatmenge	26
Abbildung 49:	Temperaturverteilung bei Tauscheraustritt Fortluft	27
Abbildung 50:	Druckverlust und Kondensatmenge	27
Abbildung 51:	Temperaturverteilung bei Tauscheraustritt Fortluft	28
Abbildung 52:	Druckverlust und Kondensatmenge	28
Abbildung 53:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	29
Abbildung 54:	Druckverlust und Kondensatmenge	29
Abbildung 55:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	30
Abbildung 56:	Druckverlust und Kondensatmenge	30
Abbildung 57:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	31
Abbildung 58:	Druckverlust und Kondensatmenge	31
Abbildung 59:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	32
Abbildung 60:	Druckverlust und Kondensatmenge	32
Abbildung 61:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	33
Abbildung 62:	Druckverlust und Kondensatmenge	33
Abbildung 63:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	34
Abbildung 64:	Druckverlust und Kondensatmenge	34
Abbildung 65:	Temperaturverteilung bei Tauscheraustritt Fortluft	35
Abbildung 66:	Druckverlust und Kondensatmenge	35
Abbildung 67:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	36
Abbildung 68:	Druckverlust und Kondensatmenge	36
Abbildung 69:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	37
Abbildung 70:	Druckverlust und Kondensatmenge	37
Abbildung 71:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	38
Abbildung 72:	Druckverlust und Kondensatmenge	38
Abbildung 73:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	39
Abbildung 74:	Druckverlust und Kondensatmenge	39
Abbildung 75:	Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	40
Abbildung 76:	Druckverlust und Kondensatmenge	40

Abbildung 77: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	41
Abbildung 78: Druckverlust und Kondensatmenge	41
Abbildung 79: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	42
Abbildung 80: Druckverlust und Kondensatmenge	42
Abbildung 81: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	43
Abbildung 82: Druckverlust und Kondensatmenge	43
Abbildung 83: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	44
Abbildung 84: Druckverluste und Kondensatmenge	44
Abbildung 85: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	45
Abbildung 86: Druckverlust und Kondensatmenge	45
Abbildung 87: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	46
Abbildung 88: Druckverlust und Kondensatmenge	46
Abbildung 89: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	47
Abbildung 90: Druckverlust und Kondensatmenge	47
Abbildung 91: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	48
Abbildung 92: Druckverlust und Kondensatmenge	48
Abbildung 93: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	49
Abbildung 94: Druckverlust und Kondensatmenge	49
Abbildung 95: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	50
Abbildung 96: Druckverlust und Kondensatmenge	50
Abbildung 97: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	51
Abbildung 98: Druckverlust und Kondensatmenge	51
Abbildung 99: Temperaturverteilung beim Tauscheraustritt Fortluft	52
Abbildung 100: Druckverlust und Kondensatmenge	52

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einfluss Vereisungsverhalten bei 210 m ³ /h in vertikaler und horizontaler Lage.....	4
Tabelle 2: Luftkonditionen.....	4
Tabelle 3: Lufteintrittskonditionen, Mittelwert über gesamte Messdauer	19
Tabelle 4: Kondensation	19
Tabelle 5: Lufteintrittskonditionen, Mittelwert über gesamte Messdauer	20
Tabelle 6: Kondensation	20
Tabelle 7: Lufteintrittskonditionen, Mittelwert über gesamte Messdauer	21
Tabelle 8: Kondensation	21
Tabelle 9: Lufteintrittskonditionen, Mittelwert über gesamte Messdauer	22
Tabelle 10: Kondensation	22
Tabelle 11: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	23
Tabelle 12: Kondensation	23
Tabelle 13: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	24
Tabelle 14: Kondensation	24
Tabelle 15: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	25
Tabelle 16: Kondensation	25

Tabelle 17: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	26
Tabelle 18: Kondensation	26
Tabelle 19: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	27
Tabelle 20: Kondensation	27
Tabelle 21: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	28
Tabelle 22: Kondensation	28
Tabelle 23: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	29
Tabelle 24: Kondensation	29
Tabelle 25: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	30
Tabelle 26: Kondensation	30
Tabelle 27: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	31
Tabelle 28: Kondensation	31
Tabelle 29: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	32
Tabelle 30: Kondensation	32
Tabelle 31: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	33
Tabelle 32: Kondensation	33
Tabelle 33: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	34
Tabelle 34: Kondensation	34
Tabelle 35: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	35
Tabelle 36: Kondensation	35
Tabelle 37: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	36
Tabelle 38: Kondensation	36
Tabelle 39: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	37
Tabelle 40: Kondensation	37
Tabelle 41: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	38
Tabelle 42: Kondensation	38
Tabelle 43: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	39
Tabelle 44: Kondensation	39
Tabelle 45: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	40
Tabelle 46: Kondensation	40
Tabelle 47: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	41
Tabelle 48: Kondensation	41
Tabelle 49: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	42
Tabelle 50: Kondensation	42
Tabelle 51: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	43
Tabelle 52: Kondensation	43
Tabelle 53: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	44
Tabelle 54: Kondensation	44
Tabelle 55: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	45
Tabelle 56: Kondensation	45
Tabelle 57: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	46
Tabelle 58: Kondensation	46

Tabelle 59: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte übergesamte Messdauer	47
Tabelle 60: Kondensation	47
Tabelle 61: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	48
Tabelle 62: Kondensation	48
Tabelle 63: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	49
Tabelle 64: Kondensation	49
Tabelle 65: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	50
Tabelle 66: Kondensation	50
Tabelle 67: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	51
Tabelle 68: Kondensation	51
Tabelle 69: Lufteintrittskonditionen, Mittelwerte über gesamte Messdauer	52
Tabelle 70: Kondensation	52
Tabelle 71: Spezifikationen Messgeräte.....	53

10 Abkürzungsverzeichnis

Δp_{abt}	gewichteter zusätzlicher Druckverlust während der Abtauperiode (Aussenlufttemperatur < VS-Grenztemperatur) in Pa	P_{SPI}	spez. elektrische Leistung der Lüftung beim Referenzpunkt in $W \cdot h/m^3$ und bei den Prüfbedingungen der thermischen Prüfung. Berechnet mit dem Mittelwert aus dem Zuluft- und Abluftvolumenstrom
ABL	Abluft, Abluft-Strom	PWM	Pulse Width Modulation
AUL	Aussenluft-Temperatur	PWT	Plattenwärmetauscher
BFE	Bundesamt für Energie	PWW	Pump Warm Wasser
dry	Design Reference Year	q_v	Volumenstrom in m^3/h
F&E	Forschung & Entwicklung	q_{vs}	spezifischer Energiebedarf für die VS-Massnahme
F_{El}	Lüftungsgradstunden Kh/a für VS-Massnahme (elektrische Heizung), Lüftungsgradstunden Kh/a für VS-Massnahme (elektrische Heizung)	q_{vs}	spez. Energiebedarf für die Vereisungsschutz-Massnahmen
F_h	Lüftungsgradstunden in Kh/a für VS-Massnahme (PWW-Heizung), Lüftungsgradstunden in Kh/a für VS-Massnahme (PWW-Heizung)	$q_{\text{vs, El}}$	spezifischer Energiebedarf Strom für die VS-Massnahme in $kWh/(m^2 \cdot a)$
FOL	Fortluft	$q_{\text{vs, h}}$	spezifischer Energiebedarf Heizung für die VS-Massnahme in $kWh/(m^2 \cdot a)$
$f_{\text{P, EL}}$	Gewichtung des Energieträgers Strom 2.0	$q_{\text{vs, SolPu}}$	spezifischer Energieaufwand für die Solepumpe in $kWh/(m^2 \cdot a)$ gilt für VS9, spezifischer Energieaufwand für die Solepumpe in $kWh/(m^2 \cdot a)$
$f_{\text{P, h}}$	Gewichtung des Energieträgers Heizung 1.0	rel.	relativ
$f_{\text{P, El}}$	Gewichtung des Energieträgers elektrischer Strom 2.0	SEC	specific energy consumption
$f_{\text{VS, Ctrl}}$	Faktor für die Steuerung/Regelung der elektrischen Heizung, Faktor für die Steuerung/Regelung der elektrischen Heizung	SPI	Schedule Performance Index, Specific Power Input
$f_{\text{VS, Ap}}$	Faktor für zusätzlichen Druckverlust der Vereisungsschutz-Massnahme	t	Stundenwert
HSLU	Hochschule Luzern	T&A	Technik & Architektur
MuKE n	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich	t_{abt}	Betriebszeit je nach VS-Grenztemperatur in h
MWh	Megawattstunde	T_{abt}	Betriebszeit Abtauung
η_{FOL}	Temperaturänderungsgrad für die Abluft	t_{SolPu}	Betriebszeit je nach VS-Grenztemperatur θ_E in h, Betriebszeit je nach Einfriergrenztemperatur θ_E in h
η_{ZUL}	Temperaturänderungsgrad für die Zuluft	VS	Vereisungsschutz, Vereisungsschutz
$\eta_{\theta, \text{ex}}$	Temperaturverhältnis für die Abluft nach EN 13141-7:2010	$V_{\text{su/AE}}$	spezifischer Volumenstrom in $m^3/(h \cdot m^2)$
$\eta_{\theta, \text{su}}$	Temperaturverhältnis für die Zuluft nach EN 13141-7:2010	WRG	Wärmerückgewinnung
Pa	Pascal	WT	Wärmetauscher
P_{SolPu}	max. Leistungsaufnahme der Pumpe W (Wenn keine Vorgaben Standardwert 60W), max. Leistungsaufnahme der Pumpe W (ohne Vorgaben Standardwert gilt 60 W)	x	absolute Feuchte in kg/kg
		$x_{\text{AB(t)}}$	absolute Feuchte Abluft in kg/kg
		x_{Qu}	Feuchtequellen (Grundlast + nutzerabhängige Last)
		θ_E	Einfriergrenztemperatur in $^{\circ}C$
		θ_{Platte}	Temperatur Wärmetauscherplatte in $^{\circ}C$