



Messbericht 10. August 2015

Wärmeverluste von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen

Messung des Wärmeverlustes über Entlüftungsleitungen (Sanitär)¹

¹ Dieses Projekt ergänzt theoretische Untersuchungen im Projekt „Wärmeverluste von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen“ [1] (BFE Projektnummer: SI/400805-01 / 8100050-01, Finanziert durch Bundesamt für Energie BFE, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten und Verband Schweizer Hafner- und Plattengeschäfte VHP)

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Gebäude
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Stadt Zürich
Amt für Hochbauten
Lindenhofstrasse 21 Amtshaus III
8021 Zürich

Auftragnehmer:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG)
Technikumsstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Autoren:

Christoph Stettler, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, christoph.stettler@hslu.ch
Reto von Euw, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, reto.voneuw@hslu.ch
Urs-Peter Menti, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, urs-peter.menti@hslu.ch

BFE-Bereichsleiter: Olivier Meile

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/400805-01 /8100050-01

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

Zusammenfassung

In der Studie „Wärmeverluste von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen“ [1] wurden 2013 die Wärmeverluste von Funktionsöffnungen berechnet und im Labor gemessen. Die Studie ergab, dass der Wärmeverlust aufgrund solcher Funktionsöffnungen bei einem energetisch gut gebauten Einfamilienhaus (Minergie-P®) bis zu 4% des gesamten Heizwärmebedarfes betragen kann (siehe Tabelle 1). Der Bericht quantifizierte unter anderem auch Wärmeverluste über Entlüftungsleitungen², bei denen das Leitungsende über Dach geführt wird und so eine direkte Verbindung zum Aussenklima haben (Funktionsöffnungen Gruppe 2).

Die folgende Abbildung ist ein Auszug (Seite 38) aus der oben erwähnten Studie. Sie zeigt eine Zusammenstellung der Wärmeverluste von Funktionsöffnungen (FÖ) in Gebäudehüllen.

Tabelle 1: Heizwärmebedarf und Wärmeverlust über die FÖ – EFH MINERGIE-P Standard

Funktionsöffnungen		Heizwärmebedarf EFH; MINERGIE-P Standard		Mehrverlust durch die FÖ; MINERGIE-P
		[MJ/m ²]	[kWh/m ²]	[%]
Keine	-	119.9	33.3	-
Mit Funktionsöffnung Gruppe 1	-Küchenabluftanlage à 0.68 W/K -Abgasanlage Schwedenofen à 0.19 W/K	120.9	33.6	0.8
Mit Funktionsöffnung Gruppe 2	-Entlüftungsleitung Sanitär 10m à 3.24	123.7	34.4	3.2
Total		124.8	34.7	4.1

In der Folge wurde ein Anschlussprojekt lanciert. Die Hochschule Luzern – Technik und Architektur wurde vom Bundesamt für Energie und dem Amt für Hochbauten der Stadt Zürich beauftragt, die Wärmeverluste einer bestehenden Entlüftungsleitung (Sanitär) zu messen und mit den berechneten Verlusten der ersten Studie zu vergleichen. Die gleiche Messkampagne soll ebenfalls die Wirksamkeit von Belüftungsventilen der Firma OEKAG Energy-Stop-Ventile bezüglich Minimierung der Wärmeverluste aufzeigen.

Für diese zweite Studie wurden an der Hochschule Luzern – Technik und Architektur in Horw Messungen an einer Entlüftungsleitungen durchgeführt. Die Entlüftungsleitung ist dadurch charakterisiert, dass sie ohne grosse Krümmungen über die gesamte Gebäudehöhe verläuft und lediglich über einen einzigen angeschlossenen Waschtisch verfügt. Diese kommt der in der ersten Studie berechneten Entlüftungsleitung am nächsten.

Die Untersuchungen zeigen Folgendes:

- Die Lufttemperatur in der Kanalisation hat einen grossen Einfluss auf die Wärmeverluste. Diese war bei den Messungen mit 16.6°C merklich höher als bei den Berechnungen, welche mit einer Kanalisationstemperatur von 12.5°C durchgeführt wurden.
- Die Energieverluste sind ebenfalls von der Raumtemperatur abhängig. Die gemessene Temperatur lag 1-2°C über dem in der Hauptstudie angenommenen Wert.
- Der gemessene Energieverlust ist 20-25% höher als der berechnete Verlust.
- Die Windgeschwindigkeiten auf dem Dach haben einen marginalen Einfluss auf die Ergebnisse.
- Durch den Einsatz des Belüftungsventils von OEKAG Energy-Stop-Ventilen konnte der Energieverlust sehr stark (>98%) reduziert werden. Der kleine quantifizierte Verlust ist auf die Spülungen und den dadurch entstehenden Unterdruck im Leitungssystem zurückzuführen und kann nicht verhindert werden.

² Entlüftungsleitung ist eine Leitung, welche die Druckschwankungen innerhalb einer Entwässerungsanlage begrenzt. Sofern kein Belüftungsventil eingesetzt wird, ist das Leitungsende zur Atmosphäre hin offen.

In der Tabelle 2 sind die berechneten Wärmeverluste der Entlüftungsleitung aufgeführt. Die Berechnung erfolgte gemäss Berechnungsverfahren der vorangehenden ersten Studie und stützt sich auf die daraus entstandene Wärmeverlusttabelle. Diese wurde in der Hauptstudie mit den Annahmen einer Kanalisationstemperatur von 12.5°C und Raumlufttemperatur von 20°C ermittelt.

Tabelle 2: vereinfachte statische Berechnung von Wärmeverlusten über die Entlüftungsleitung 1 (angenommene Kanalisationstemperatur: 12.5°C, angenommene Raumlufttemperatur: 20°C)

Entlüftungsleitung	Leitungsdurchmesser	Leitungslänge	Wärmeverlust durch Entlüftungsleitungen	
	DN		[m]	[kWh/a]
1	100	26.6	563	21.2

In der Tabelle 3 sind die gemessenen Wärmeverluste aufgeführt. Die obere Tabelle (Messung A) zeigt die Ergebnisse ohne Belüftungsventile, die untere Tabelle (Messung B) die Ergebnisse mit Belüftungsventilen. Die gemessene Kanalisationslufttemperatur liegt 4°C und die Raumlufttemperatur 1°C bis 2°C höher als in den Berechnungen angenommen.

Tabelle 3: Gemessene Wärmeverluste der Entlüftungsleitungen mit und ohne Belüftungsventil (gemessene Kanalisationstemperatur: 16.6°C)

Entlüftungsleitung ohne Belüftungsventil (Messung A)		Energieverluste von -20°C bis 21°C	Berechneter Energieverluste	Differenz Soll zu IST	
Energieverluste der gesamten Leitung	[kWh/a]			688 ± 15	563
Leitungslänge	[m]	26.6	26.6	-	-
Energieverluste pro Laufmeter	[kWh/m a]	25.9 ± 0.5	21.2	4.2 – 5.2	20 - 25%

Entlüftungsleitung mit Belüftungsventil (Messung B)		Energieverluste von -20°C bis 21°C
Energieverluste der gesamten Leitung	[kWh/a]	
Leitungslänge	[m]	26.6
Energieverluste pro Laufmeter	[kWh/m a]	0.5 ± 0.1

Die Abweichungen der gemessenen Energieverlusten von den berechneten Werten werden auf folgende Gründe zurückgeführt:

- Vereinfachtes Berechnungsmodell (erste Studie)
- lineare Regression des Leistungsverlustes
- Extrapolation des Leistungsverlustes bei Aussentemperaturen von -20°C bis 1°C und 17 °C bis 35 °C.
- Die tatsächliche Raumlufttemperatur liegt 1°C bis 2 °C höher als bei der Berechnung angenommen

Es wird davon ausgegangen, dass der letzte Punkt den grössten Einfluss auf die Abweichung des Energieverlustes hat. Eine grössere Raumlufttemperatur bewirkt eine stärkere Aufwärmung der Luft in der Entlüftungsleitung und somit einen erhöhten Auftrieb.

Summary

Heat losses from function openings were assessed and measured in the lab in 2013 within the framework of the study „Wärmeverluste von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen“ [1]. This study showed that heat losses due to function openings can account for up to 4% (see Tabelle 4) of the total space heating demand in a modern single family house (with standard Minergie®-P). The report quantified also heat losses throughout the venting pipes³, which have a direct connection the outdoor climate at the end of the duct (function openings group 2).

The following table was extracted from the above mentioned study (at page 38) and summarizes heat losses of function openings within the building envelope.

Tabelle 4: Space heating demand and heat losses throughout FO– SFH MINERGIE-P Standard

Function Opening		Space heating demand SFH; MINERGIE-P standard		Heat loss through FO; MINERGIE-P
		[MJ/m ²]	[kWh/m ²]	[%]
no	-	119.9	33.3	-
with function openings group 1	-kitchen exhaust systems à 0.68 W/K -exhaust systems swedish oven à 0.19 W/K	120.9	33.6	0.8
with function openings group 2	-venting pipes plumping 10m à 3.24	123.7	34.4	3.2
total		124.8	34.7	4.1

As a result of this study, a follow-up project was started. The department of Engineering and Architecture of the Lucerne University of Applied Science and Technology (HSLU) has been commissioned from the Swiss Federal Office of Energy and the Building Construction Office of the city of Zürich (AHB) to measure heat losses throughout a venting pipe (sanitary) and compare these losses with the calculated losses from the previous study. The proceeded measurements should also show the effectiveness of ventilation valves of the company OEKAG Energy-Stop-Ventile regarding minimization of heat losses.

In this follow-up project, measurements were made again in the labs of the HSLU for one venting pipe. This venting pipe is characterized by few major curves over the height of the building and is fixed to only one washstand at the venting pipe. This measurement represents closest the calculated heat losses of the venting pipe from the study.

Die analysis showed the following results:

- The air temperatur in the drainage system was measured at 16.6°C and has a big impact on heat losses. This temperature was significantly higher than the calculated temperatures of 12.5°C.
- The energy losses depend on the room temperature, too. The measured temperatures lied 1-2°C above the values that were assumed in the main study.
- The measured energy losses are 20% to 25% higher than the calculated energy losses.
- The velocity of the wind on top of the roof has a marginal impact on the results.
- The energy losses of the venting pipe could be greatly reduced (>98%) by the use of the OEKAG Energy-Stop valves. The few remaining losses were caused by the underpressure created in the pipes during the flushing and cannot be prevented.

The calculated heat losses of the venting pipe 1 are presented in Tabelle 5. The calculations were carried out according to the caculation method of the first study and leaned on the

³ A venting pipe is a conduct that limits pressure fluctuation within a drainage system. As long as no ventilation valve is installed, the end of the pipe is exposed to atmosphere conditions.

resulting heat loss table assessed in the main study according to the following assumptions: drainage temperature at 12.5°C and room temperature at 20°C.

Tabelle 5: simplified calculation of heat losses through venting pipes 1 (assumed drainage temperature: 12.5°C, assumed room temperature: 20°C).

Venting pipe	Pipe diameter	Pipe length	Heat losses through venting pipes	
	DN	[m]	[kWh/a]	[kWh/m a]
1	100	26.6	563	21.2

The measured heat losses are presented in Tabelle 6. The upper table (measurement A) shows the results without ventilation valves, the lower table (measurement B) shows the results with ventilation valves. The measured air temperature in the drainage lies 4°C and the air temperature 1°C to 2°C above the assumptions in the calculations.

Tabelle 6: Gemessene Wärmeverluste der Entlüftungsleitungen mit und ohne Belüftungsventil (gemessene Kanalisationstemperatur: 16.6°C)

Venting pipe without ventilation valve (Measurement A)		Energy losses from -20°C to 21°C	Calculated energy losses	Difference target to actual	
Heat losses of the whole pipe	[kWh/a]	688 ± 15	563	110 - 140	20 - 25%
Length of the pipe	[m]	26.6	26.6	-	-
Specific energy losses per meter	[kWh/m a]	25.9 ± 0.5	21.2	4.2 – 5.2	20 - 25%

Venting pipe without ventilation valve (Measurement B)		Energy losses from -20°C to 21°C
Heat losses of the whole pipe	[kWh/a]	14 ± 2
Length of the pipe	[m]	26.6
Specific energy losses per meter	[kWh/m a]	0.5 ± 0.1

The difference between the measured energy losses and calculated losses are due to the:

- simplified calculation modell (first study)
- linear regression of the performance losses.
- extrapolation of the performance losses at outdoor temperatures from -20°C to 1°C and 17°C to 35 °C.
- the actual room temperature lies 1°C to 2°C higher than assumed for the calculations.

The last point is certainly responsible for the highest discrepancy between the energy losses. A higher room temperature causes a higher warming up in the venting pipe and thus a higher uplift.

Résumé

Les pertes thermiques causées par les ouvertures de fonction ont été mesurées et calculées en laboratoire en 2013 et documentées dans l'étude „Wärmeverluste von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen“ [1]. Cette étude a démontré que les pertes thermiques dues aux ouvertures de fonction pouvaient représenter jusqu'à 4% du besoin énergétique de chauffage pour des bâtiments neufs de standard Minergie-P® (voir Table 7). Cette étude quantifie entre autre les pertes thermiques par conduites de déaération⁴, lesquelles ont une connexion directe sur le toit avec le climat externe (ouvertures de fonction groupe 2). Le tableau suivant montre un extrait de l'étude (page 38) mentionnée ci-dessus et résume les pertes thermiques des ouvertures de fonctions (OF) dans l'enveloppe thermique.

Table 7: Besoin énergétique de chauffage et pertes thermiques par les OF – maison individuelle de standard MINERGIE-P

Ouvertures de fonctions		Besoin énergétique de chauffage MI; MINERGIE-P standard		Pertes thermiques par les OF; MINERGIE-P
		[MJ/m ²]	[kWh/m ²]	[%]
aucune	-	119.9	33.3	-
avec ouvertures de fonctions groupe 1	-extraction d'air cuisine à 0.68 W/K -rejets gaz de cheminée à 0.19 W/K	120.9	33.6	0.8
avec ouvertures de fonctions groupe 2	-extraction d'air sanitaires 10m à 3.24	123.7	34.4	3.2
total		124.8	34.7	4.1

Par la suite, un projet consécutif a été lancé. Le Département Technique et Architecture de l'École d'ingénieur de Lucerne (HSLU) a été mandatée par l'Office Fédéral de l'Énergie (OFEN) et par le Service des bâtiments de la ville de Zürich (AHB) pour déterminer les pertes thermiques d'une conduite de déaération (sanitaire) et comparer les valeurs mesurées avec les valeurs calculées dans la première étude. Cette campagne de mesures sert également à montrer la diminution des pertes thermiques en intégrant des valves de l'entreprise OEKAG Energy-Stop-Ventile.

Pour cette deuxième étude, des mesures ont été faites à la HSLU sur une conduite de déaération qui est caractérisée par peu de courbures sur toute la hauteur du bâtiment et possède seulement un raccordement à un lavabo. Cette constellation représente au mieux la conduite de déaération qui a été calculée dans la première étude.

Les recherches ont démontré les résultats suivants:

- La température dans la canalisation a une grosse influence sur les pertes thermiques. Celles-ci étaient nettement plus grandes lorsque les calculs furent faits avec des températures de 16.6°C plutôt que 12.5°C dans les canalisations.
- Les pertes énergétiques dépendent également de la température ambiante dans la pièce. Les températures mesurées se situaient à 1°C voir 2°C au-dessus des valeurs adoptées dans l'étude.
- Les pertes thermiques mesurées sont supérieures de 20% à 25% par rapport aux valeurs calculées
- La vitesse du vent sur le toit a une influence marginale sur les résultats.
- Les pertes thermiques ont pu être fortement réduites (>98%) dans toutes les conduites grâce à l'utilisation des valves OEKAG Energy-Stop. Les infimes pertes thermiques restantes sont causées par les dépressions causées par les rinçages éparés (dépression) des systèmes de drainage est ne peuvent pas être évitées.

⁴ Une conduite de déaération est une conduite qui limite les fluctuations de pression à l'intérieur du système de drainage. Dans la mesure où aucune valve de ventilation est installée, le bout de la conduite est connectée au climat externe.

Les pertes thermiques de la conduite de déaération 1 sont représentées dans la Table 8. Les calculs sont effectués selon la même méthode que dans l'étude précédente et se basent sur les résultats des pertes thermiques. Les calculs ont été faits avec les hypothèses suivantes : température de canalisation de 12.5°C et la température intérieur de 20°C.

Table 8: calcul statique simplifié des pertes thermiques par conduites de ventilation. (Température estimée dans la canalisation: 12.5°C, température de l'air estimée dans la pièce: 20°C)

Conduite de déaération	Diamètre de la conduite	Longueur de la conduite	Pertes thermiques par conduites de déaération	
	DN		[m]	[kWh/a]
1	100	26.6	563	21.2

Le pertes thermiques mesurées sont représentés dans la Table 9. Le tableau supérieur (mesure A) montre les résultats sans valve de ventilation, le tableau inférieur (mesure B) les résultats avec les valves de ventilation. La température de l'air mesurée dans les canalisations se situe 4°C au-dessus et la température dans les pièces 1°C à 2°C au-dessus des valeurs estimées dans les calculs.

Table 9: Pertes thermiques mesurées avec et sans valve de ventilation (température mesurée dans la canalisation: 16.6°C)

Conduite de déaération sans valve de ventilation (mesure A)		Pertes énergétiques de - 20°C à 21°C	Pertes énergétiques calculées	Écarts prévu - effectif	
Pertes thermiques de toute la conduite	[kWh/a]			688 ± 15	563
Longeur de la conduite	[m]	26.6	26.6	-	-
Pertes thermiques par mètre	[kWh/m a]	25.9 ± 0.5	21.2	4.2 – 5.2	20 - 25%

Conduite de déaération sans valve de ventilation (mesure B)		Pertes énergétiques de - 20°C à 21°C
Pertes thermiques de toute la conduite	[kWh/a]	
Longeur de la conduite	[m]	26.6
Pertes thermiques par mètre	[kWh/m a]	0.5 ± 0.1

Les écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées sont causées par les raisons suivantes:

- le modèle de calcul est simplifié (première étude)
- les pertes de puissance sont déterminées à partir d'une régression linéaire
- les pertes de puissance sont extrapolées à partir de températures extérieures de - 20°C jusqu'à 1°C et 17°C jusqu'à 35°C.
- La température de la pièce se situe 1°C à 2°C au-dessus des températures estimées pour le calcul.

Les analyses laissent supposer que le dernier point est celui qui a le plus d'influence sur les écarts entre les pertes énergétiques. La température dans les pièces provoque une plus forte augmentation de la température de l'air et par conséquent engendre une plus grande force ascensionnelle.

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage	10
2.	Zielsetzung	10
3.	Vorgehensweise / Messgrundlagen	11
3.1.	Messobjekt	11
3.2.	Messort	13
3.3.	Datum der Messung.....	13
3.4.	Messverfahren	13
4.	Resultate	16
4.1.	Temperaturen.....	16
4.2.	Volumenstrom und Temperatur in Entlüftungsleitung 1	17
4.3.	Windgeschwindigkeit	20
4.4.	Abhängigkeiten der gemessenen Werte.....	20
4.4.1.	Messung A (ohne Belüftungsventil).....	21
4.4.2.	Messung B (mit Belüftungsventil).....	22
4.5.	Leistungsberechnungen.....	23
4.6.	Lineare Regression der Leistung	24
4.6.1.	Messung A.....	24
4.6.2.	Messung B.....	25
4.7.	Summenhäufigkeit der Aussenlufttemperaturen von Luzern.....	25
4.8.	Energieverlust	26
4.9.	Fazit	28
5.	Literaturverweise	29
6.	Anhang.....	30

1. Ausgangslage

Die vorausgegangene, erste Studie thematisiert Wärmeverluste von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen. Dabei wurden auch Sanitärerlüftungsleitungen untersucht, bei denen das Leitungsende über Dach geführt wird. Die Resultate zeigten, dass der Wärmeverlust über Entlüftungsleitungen nicht unwesentlich ist. Bei einem Einfamilienhaus kann der Wärmeverlust bis zu 4% des gesamten Heizwärmebedarfes ausmachen. Dabei hat die Entlüftungsleitung mit 3.2% ein grosser Anteil. Die Zusammenstellung des Heizwärmebedarfes ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 10: Heizwärmebedarf und Wärmeverlust über die FÖ – EFH MINERGIE-P Standard

Funktionsöffnungen		Heizwärmebedarf EFH; MINERGIE-P Standard		Mehrverlust durch die FÖ; MINERIGE-P
		[MJ/m ²]	[kWh/m ²]	[%]
Keine	-	119.9	33.3	-
Mit Funktionsöffnung Gruppe 1	-Küchenabluftanlage à 0.68 W/K -Abgasanlage Schwedenofen à 0.19 W/K	120.9	33.6	0.8
Mit Funktionsöffnung Gruppe 2	-Enlüftungsleitung Sanitär 10m à 3.24	123.7	34.4	3.2
Total		124.8	34.7	4.1

Die folgenden Werte für Wärmeverluste von Sanitärerlüftungsleitungen (siehe Tabelle 11) stammen aus der ersten Studie und sind anhand der Verlustwerte aus den Wärmeverlusttabellen im Programm Enerhaus berechnet worden. Die Parameter Anzahl Entwässerungsgegenstände, werden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

Tabelle 11: Wärmeverluste von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen

Funktionsöffnungen		Wärmeverlust durch die Funktionsöffnung	
		[kWh/a]	[kWh/am]
Mit Funktionsöffnung Gruppe 2	-Enlüftungsleitung Sanitär DN 60 10m à 1.71	146	14.6
Mit Funktionsöffnung Gruppe 2	-Enlüftungsleitung Sanitär DN 90 10m à 2.73	236	23.6
Mit Funktionsöffnung Gruppe 2	-Enlüftungsleitung Sanitär DN100 10m à 3.24	278	27.8
Mit Funktionsöffnung Gruppe 2	-Enlüftungsleitung Sanitär DN125 10m à 4.28	368	36.8
Mit Funktionsöffnung Gruppe 2	-Enlüftungsleitung Sanitär DN150 10m à 5.32	458	45.8

2. Zielsetzung

Mit Hilfe von Messungen, an einem realen Objekt sollen die in der ersten Studie berechneten Verluste überprüft werden. Die gleiche Messkampagne soll zugleich die Wirksamkeit von Belüftungsventilen der Firma OEKAG Energy-Stop-Ventile bezüglich der Minimierung der Wärmeverluste zeigen.

3. Vorgehensweise / Messgrundlagen

Im vorliegenden Bericht sind die Messgrundlagen sowie Resultate der Messungen an drei Entlüftungsleitungen dargestellt. Die Entlüftungsleitung 1 hat ideale Bedingungen um die in der ersten Studie berechneten Wärmeverluste zu berechnen. Deswegen wird diese im Bericht detailliert erläutert. Um die Abhängigkeit der Energieverluste von der Leitungsführung, –länge und –durchmesser zu untersuchen, wurden noch zwei weitere Entlüftungsleitungen (2 und 3) gemessen. Die Entlüftungsleitungen 2 und 3 können wegen zu vielen Ausreißern (Spülungen) nicht wie gewünscht ausgewertet werden. Trotzdem wurden die Messgrundlagen dieser Zusatzmessungen sowie die Resultate im Anhang beschrieben

3.1. Messobjekt

Beim Messobjekt handelt es sich um die Entlüftungsleitung 1, die aus Polyethylen besteht und einen Durchmesser vom 110/100mm (Aussen-/Innendurchmesser) aufweist. Wie aus der Abbildung 1 entnommen werden kann, startet die Entlüftungsleitung 1 bei der Kanalisation unter der Bodenplatte des Geschosses B, führt dann über fünf Geschosse und endet auf dem Dach. Mit Ausnahme von den Verfahrungen in der Bodenplatte ist die Entlüftungsleitung gerade und befindet sich zwischen zwei Betonstützen. An der Seite der Stützen sind dünne Blechstreifen angebracht (siehe Abbildung 2, braune Leitung). Wie man auf den Plänen erkennen kann, ist die Entlüftungsleitung nicht gedämmt. Weiter ist – nach etlichen Umbauten – nur noch ein Waschtisch an der Entlüftungsleitung angeschlossen (siehe Tabelle 12).

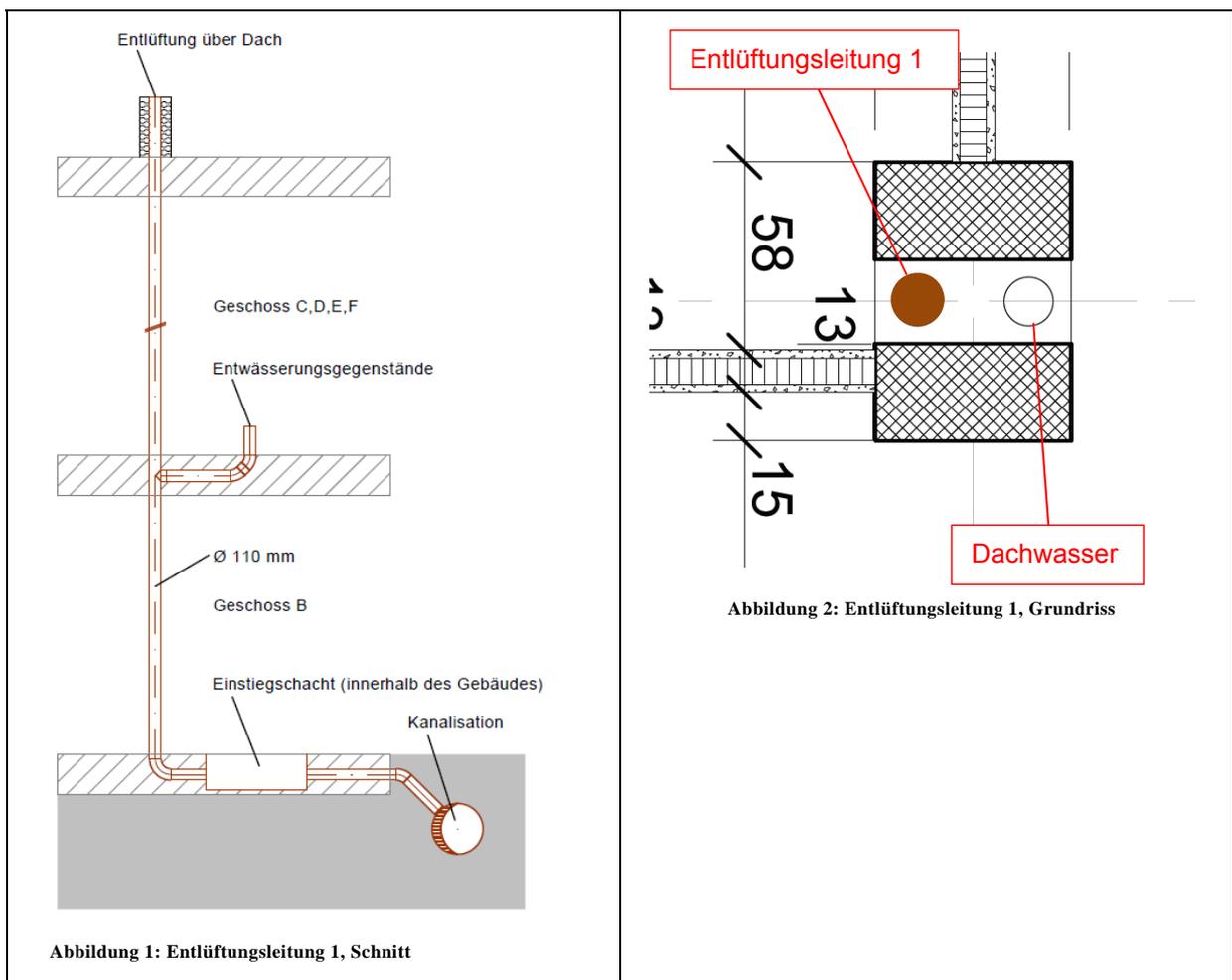


Tabelle 12: Leitungsführung und Entwässerungsgegenstände der Entlüftungsleitung 1

Entlüftungsleitung	Entwässerungsgegenstände			Leitungsverzug
	Waschtisch	Urinal	Klosett	Anzahl
1	1	-	-	0

In der

Tabelle 15 sind die Leitungsabmessungen sowie der zu erwartenden Energieverlust von Entlüftungsleitung 1 aufgeführt. Die Energieverluste sind anhand der χ -Werte (punktbezogene Wärmebrücke) der Tabelle 13 und mit Hilfe des Berechnungstools Enerhaus ermittelt worden. Dazu musste der χ -Werte für eine Rohrlänge von 26.6m extrapoliert werden, weil es den erwähnten Wert nur bis zu einer Rohrlänge von 25m gibt (siehe Abbildung 3 und Tabelle 14).

Tabelle 13: Wärmeverlusttabelle der Funktionsöffnungen der Gruppe 2, Rohrlänge 25 Meter

Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 25 Meter									
Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser								
	DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200	
0	1.32	2.27	3.23	5.14	6.10	8.39	10.69	15.28	
5	1.12	1.93	2.74	4.36	5.18	7.12	9.07	12.97	
10	0.93	1.61	2.29	3.65	4.32	5.95	7.58	10.84	
15	0.84	1.44	2.05	3.27	3.87	5.33	6.79	9.70	
20	0.74	1.28	1.82	2.90	3.44	4.73	6.02	8.61	
25	0.63	1.08	1.54	2.44	2.90	3.99	5.08	7.26	

Zuschläge
Leitungsverzug: 28 [%]

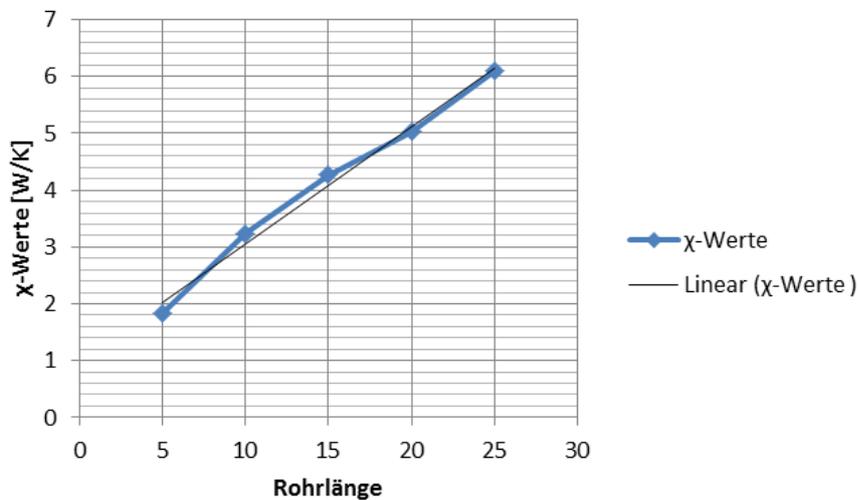


Abbildung 3: χ -Werte für Entlüftungsleitungen, Abwasserleitungen innenliegend, DN 100 ohne Dämmung

Tabelle 14: extrapoliertes χ -Werte für DN 100 Leitung ohne Dämmung

Entlüftungsleitung DN 100 (ohne Dämmung)		
Länge	26.6	m
χ -Wert	6.49	W/K

Tabelle 15: Berechnung der erwartenden Energieverluste der Entlüftungsleitung 1

Entlüftungsleitung	Leitungsdurchmesser	Aussendurchmesser	Innendurchmesser	Leitungslänge	Wärmeverlust durch Funktionsöffnungen	
	DN	[mm]	[mm]	[m]	[kWh/a]	[kWh/m a]

1	100	110	101.4	26.6	563	21.2
---	-----	-----	-------	------	-----	------

3.2. Messort

Alle Messungen wurden, wie in der folgenden Abbildung eingezeichnet, an der Hochschule Luzern – Technik und Architektur (HSLU T&A) in Horw durchgeführt. Die beschriebenen Entlüftungsleitungen befinden sich im östlichen Teil von Trakt III.

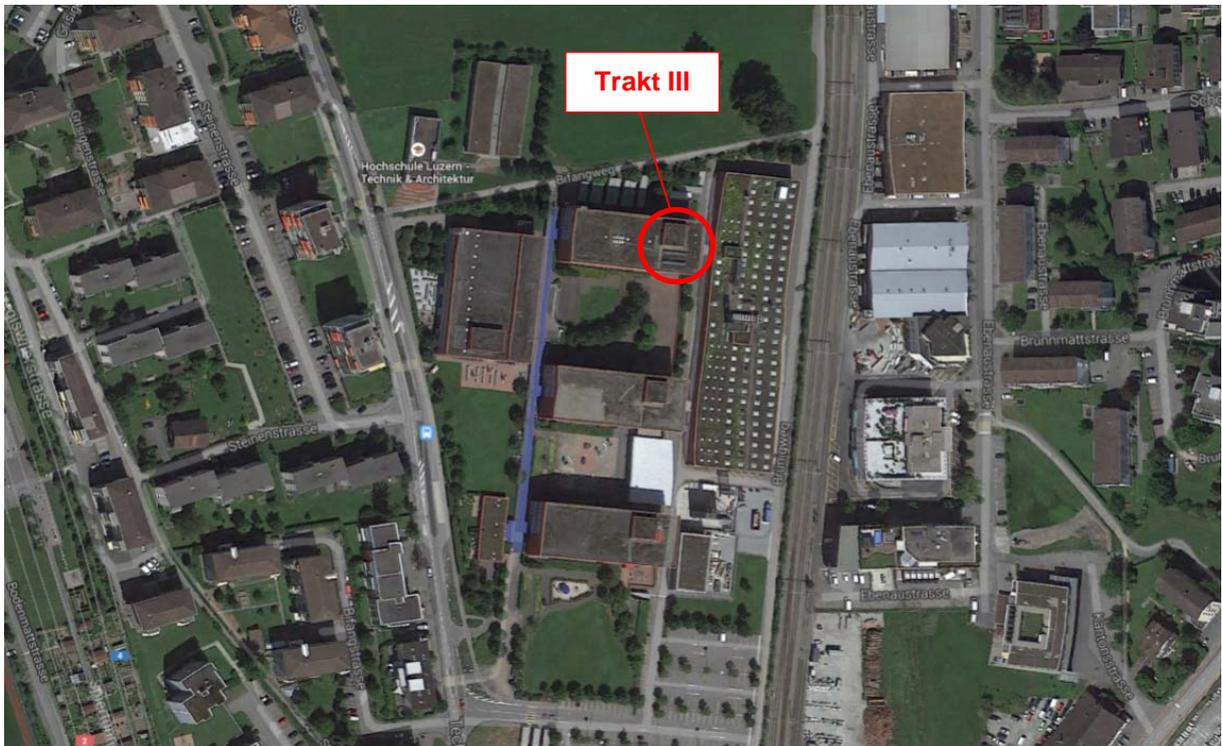


Abbildung 4: Übersichtsplan Hochschule Luzern Trakt III

3.3. Datum der Messung

Die Messungen der Aussen- und Raumlufftemperaturen sowie die Temperaturen in der Kanalisation wurden vom 20.02.2014 bis 02.04.2014 durchgeführt. Ebenfalls wurde die Temperatur und die Luftgeschwindigkeit in der Entlüftungsleitung als auch die Windgeschwindigkeit auf dem Dach wurde drei Tagen (Daten siehe folgende Tabelle) aufgezeichnet.

Tabelle 16: Messzeiten von allen Messungen

Messung		A	B	C	D	E	F
Datum	von	07.03.14	10.03.2014	13.03.2014	17.03.2014	20.03.2014	27.03.2014
	bis	10.03.14	13.03.2014	16.03.2014	20.03.2014	23.03.2014	30.03.2014

3.4. Messverfahren

Damit der Energieverlust der Entlüftungsleitungen bestimmt werden konnte, wurden folgende Werte gemessen:

- Raumlufftemperatur,
- Aussenlufttemperatur und
- Lufttemperatur in der Kanalisation

Die Temperaturen zeichnete man mit Hilfe des Mini-Datenloggers (PCE-MSR 145) auf. Die Lufttemperatur in der Entlüftungsleitung kurz vor dem Austritt wurde mit Widerstandsfühlern PT100 gemessen. Zum Bestimmen der Luftgeschwindigkeit wurde eine Hitzdraht-Sonde (Dantec Sonde) in den Luftstrom eingebaut.

Um die Reduktion der Wärmeverluste durch das Belüftungsventil von OEKAG Energy-Stop-Ventile aufzuzeigen, sind die Messungen A, D und E ohne und die Messungen B, C und F mit den Belüftungsventilen durchgeführt worden.

In der folgenden Abbildung sind die Standorte der Messungen eingezeichnet. Der detaillierte Messaufbau und die eingesetzten Messgeräte werden im Anhang unter Kap. 1 „Messungen“ beschrieben.

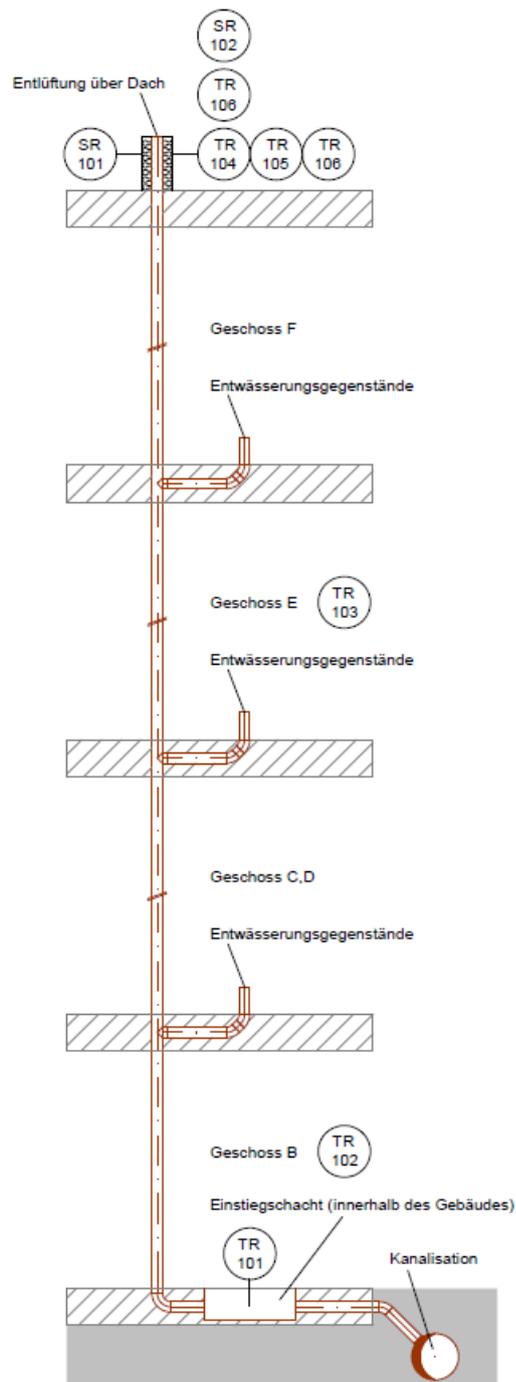


Abbildung 5: Messkonzept – Temperaturmessungen wurden mit TR und Luftgeschwindigkeitsmessungen mit SR bezeichnet

4. Resultate

4.1. Temperaturen

Die vom 20.02.2014 bis 02.04.2014 aufgezeichneten Temperaturen sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Das Maximum, Minimum sowie der Durchschnitt der verschiedenen Temperaturmessungen sind in Tabelle 17 aufgeführt. Bei der Betrachtung der Resultate fällt auf, dass die Lufttemperatur in der Kanalisation nur leicht schwankt. Zur Erinnerung: In der vorausgegangenen Studie wurden zu Ermittlung der Energieverluste eine Temperatur in der Kanalisation von 12°C und eine Raumlufthtemperatur von 20°C angenommen. Vergleicht man diese Werte mit den effektiv gemessenen Werten, so liegen die gemessene Kanalisationslufttemperatur im Schnitt 4K höher und die Raumlufthtemperatur im Schnitt 1 bis 2K höher als die in der Berechnung angenommen. Die Verteilung der gemessenen Temperaturen wird in der Abbildung 6 aufgezeigt. Wie erwartet schwankt die Aussentemperatur sehr stark und die Raumlufthtemperatur nur leicht. Alle drei Temperaturen sind vom Tagesverlauf beeinflusst. Kaum Schwankungen und nicht vom Tagesverlauf abhängig ist die Kanalisationstemperatur.

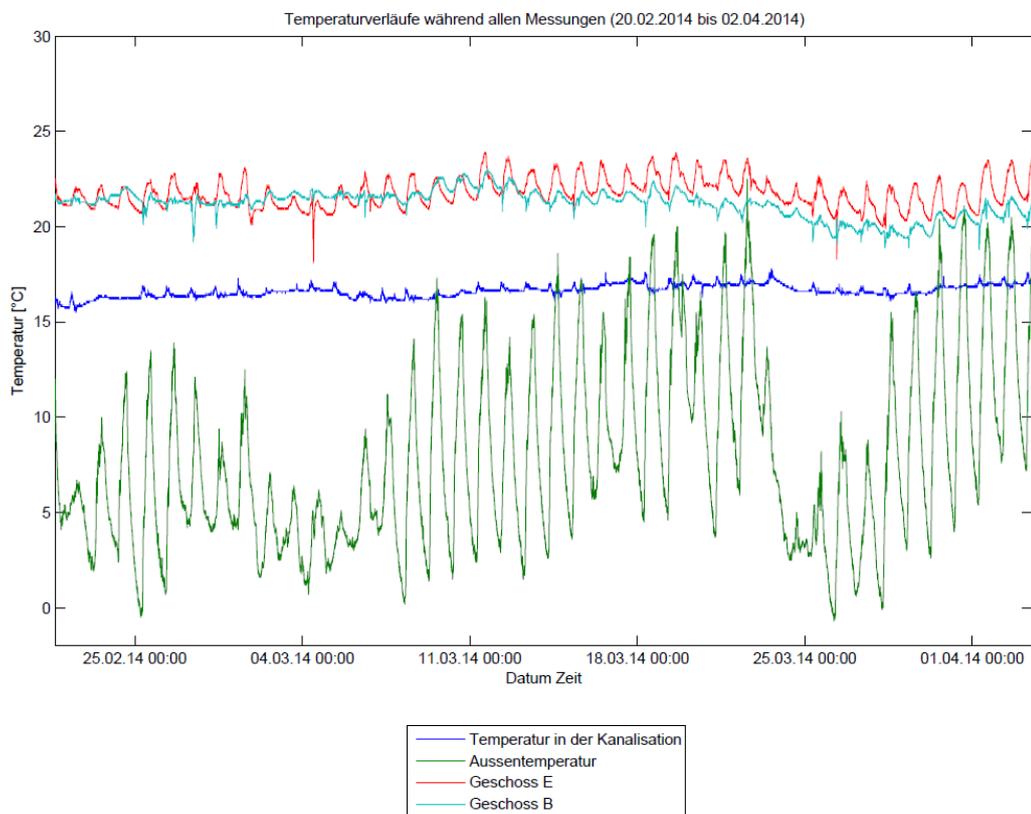


Abbildung 6: Aussen- und Raumlufthtemperatur sowie Temperatur in der Kanalisation bei allen Messungen

Tabelle 17: Maximum, Minimum und Mittelwerte der Aussen- und Raumlufthtemperatur sowie Temperatur in der Kanalisation während der gesamten Messdauer

	Kanalisation	Raumluft Geschoss B		Raumluft Geschoss E		Aussenluft	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Minimum	15.5	29.7	18.8	28.3	18.1	30.0	-0.7
Maximum	17.8	57.4	23.0	38.7	23.9	82.4	22.5
Mittelwert aus der Messreihe	16.6	34.6	21.2	34.0	21.8	65.4	7.8

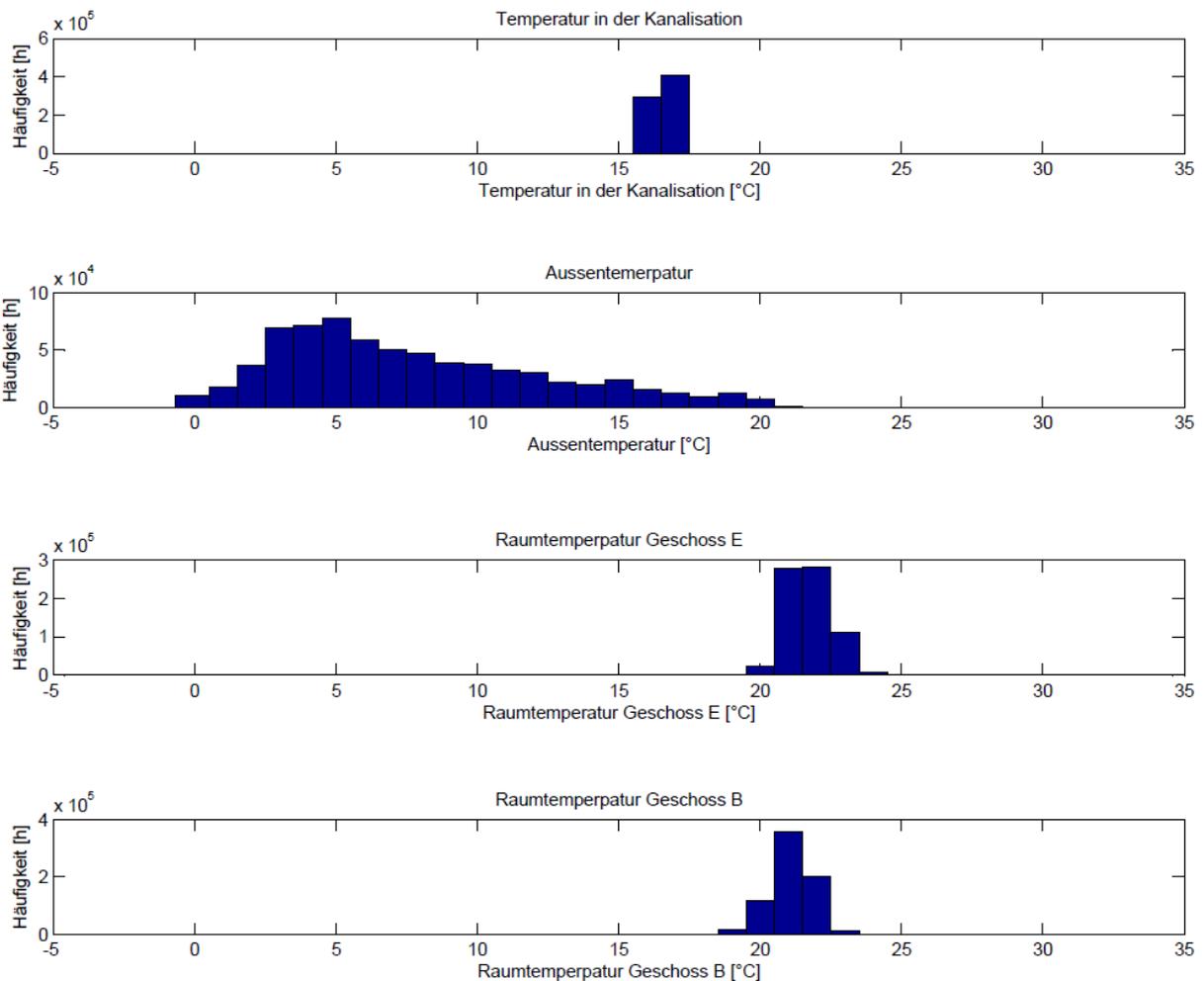


Abbildung 7: Verteilung der Aussen- und Raumlufttemperatur sowie der Temperatur in der Kanalisation

4.2. Volumenstrom und Temperatur in Entlüftungsleitung 1

Für Abbildung 8 wurde der Volumenstrom aus der gemessenen Geschwindigkeit in Entlüftungsleitung 1 gemäss der untenstehenden Formel (1) berechnet. In der Tabelle 18 sind auf der linken und der rechten Seite die Resultate der Messung A resp. B dargestellt. Man erkennt in der Abbildung 8, dass der aufgrund des thermischen Auftriebs verursachte Volumenstrom mit Hilfe eines Belüftungsventils gestoppt werden kann. Die auf dem Zeit-Volumenstrom-Diagramm sichtbaren Ausreisser – gegen oben und gegen unten – werden von fließendem Wasser in der Rohrleitung (z.B. durch eine WC-Spülung) verursacht. Entgegen der Erwartungen stellt sich auch bei der Messung B ein kleiner Luftstrom ein. Der ist auf eine interne Zirkulation (auch Mikrozirkulation genannt) zurückzuführen. Dabei steigt die warme Luft in der Rohrleitung auf und kühlt sich im Rohrstück und im Belüftungsventil ausserhalb des Dämmperimeters – trotz guter Dämmung – ab. Die abgekühlte Luft sinkt anschliessend wieder. Dieses Verhalten wird in der vorausgegangenen Studie unter dem Begriff Einrohrzirkulation genau beschrieben. Dieser Effekt ist in der Nacht wegen der tieferen Aussenlufttemperatur höher als während des Tages.

$$\dot{V} = A * w \quad (1)$$

- \dot{V} Volumenstrom [m^3/h]
- A Fläche Rohrendurchmesser [m^2]
- w Luftgeschwindigkeit [m/s]

Tabelle 18: Maximum, Minimum und Mittelwerte der Luftgeschwindigkeiten in Entlüftungsleitung 1

	Luftgeschwindigkeit	
	[m/s]	
	Messung A (ohne Belüftungsventil)	Messung B (mit Belüftungsventil)
Minimum	0.25	0.00
Maximum	1.28	0.11
Mittelwert aus der Messreihe	0.70	0.04

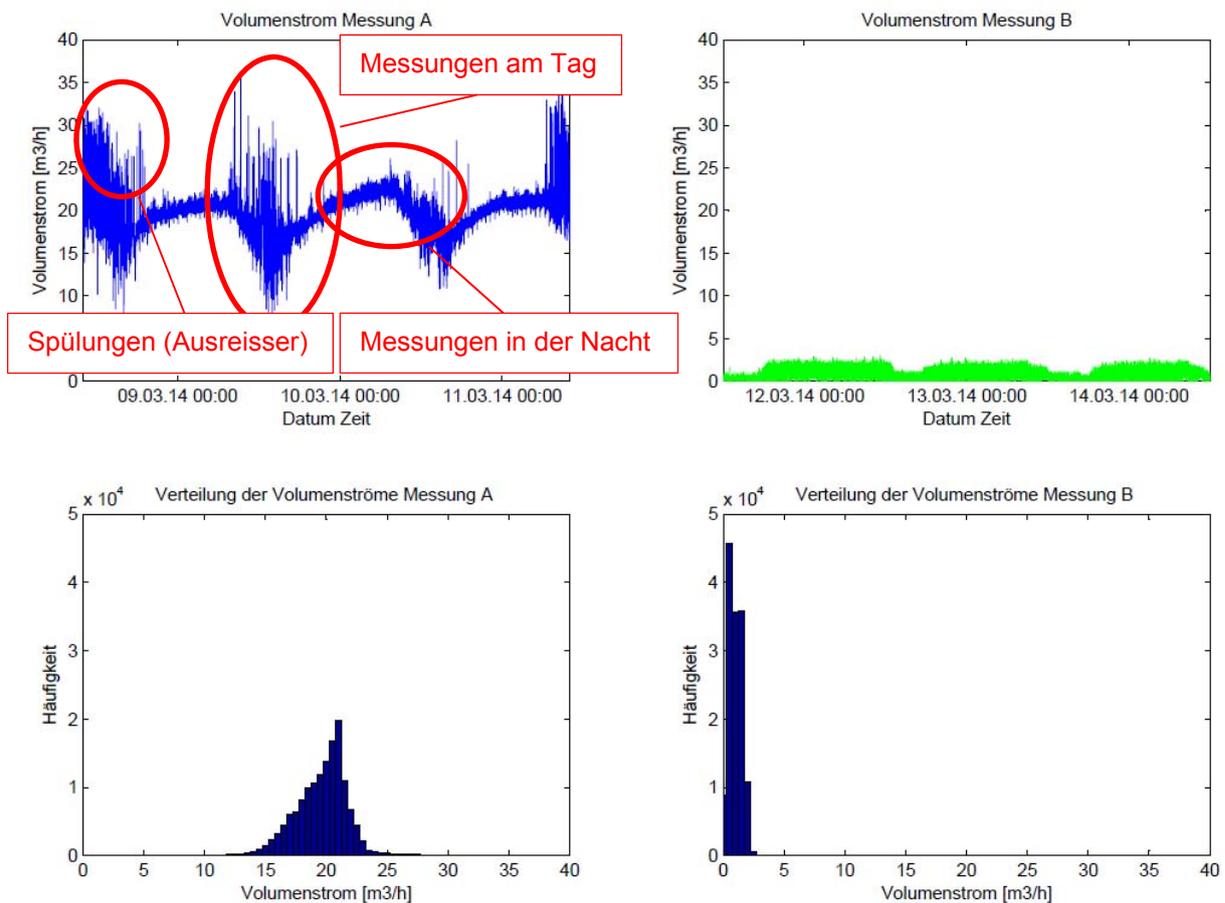


Abbildung 8: Volumenströme in Entlüftungsleitung 1

Die Beziehungen zwischen dem Volumenstrom, der Aussen- und Raumluffttemperatur sowie der Temperatur in der Lüftungsleitung sind in Abbildung 9 dargestellt. Der Anstieg des Volumenstroms bei fallender Aussenlufttemperatur wird bei der Darstellung der Messung A sichtbar.

Beim Einsatz eines Belüftungsventils passt sich die Temperatur in der Entlüftungsleitung der Aussenlufttemperatur an (siehe Messung B).

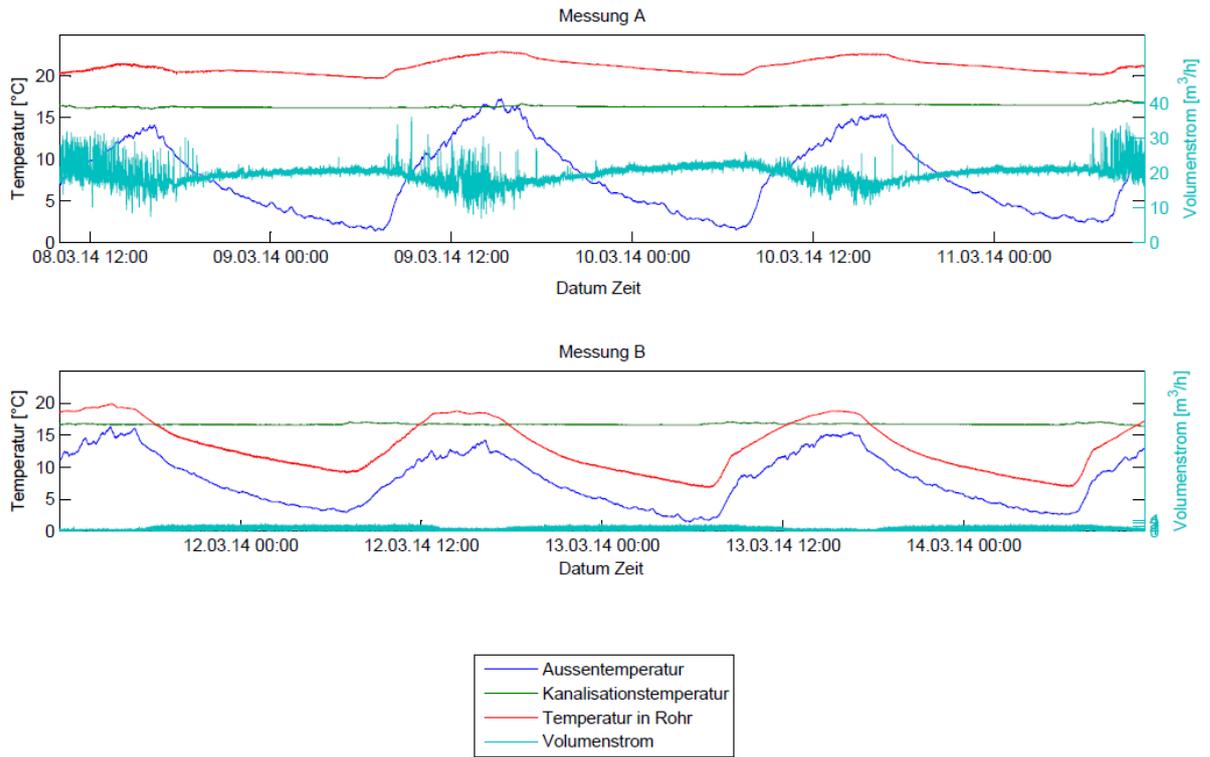


Abbildung 9: Aussen- und Raumlufttemperatur, Temperatur in der Kanalisation und der Volumenströme in Entlüftungsleitung 1

4.3. Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit auf dem Dach von Trakt III war in der Messperiode vernachlässigbar tief (siehe Abbildung 10).

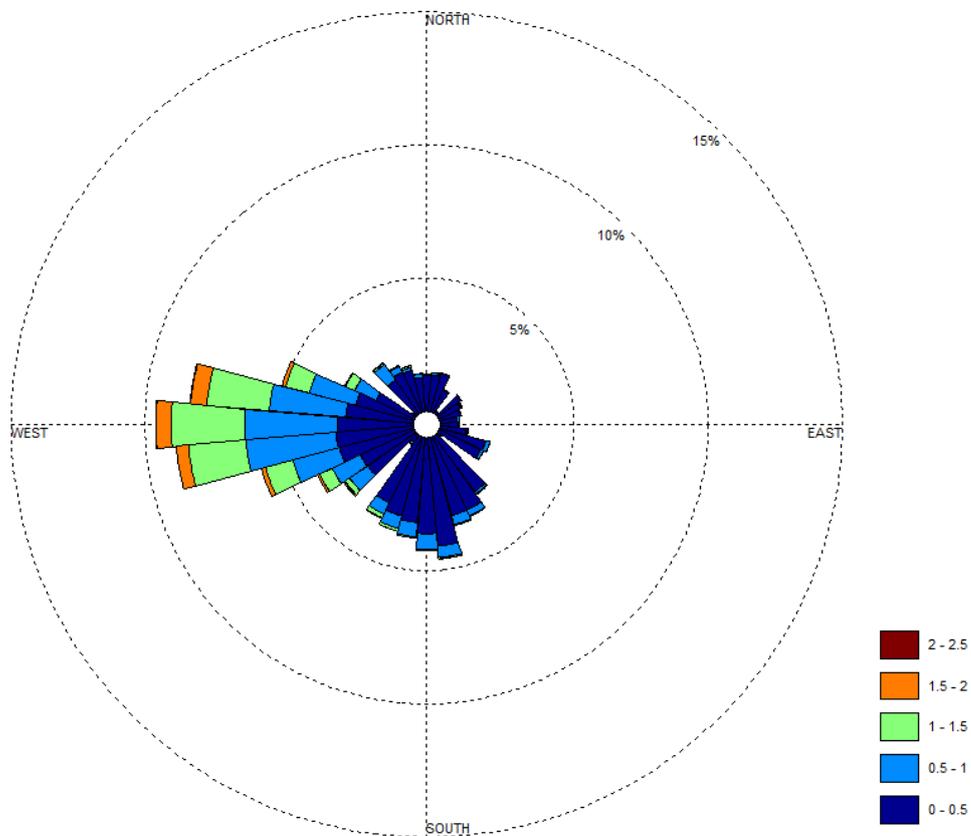


Abbildung 10: Windrose während den Messungen an Entlüftungsleitung 1

4.4. Abhängigkeiten der gemessenen Werte

Um die Beziehungen zwischen den Parametern aufzeigen zu können, werden diese miteinander verglichen. Ebenfalls ist deren Häufigkeit berechnet und dargestellt. Die Resultate der Messung A und B sind in den Abbildung 11 resp. Abbildung 12 zu finden. Diese zeigen, dass alle Parameter mit Ausnahme der Temperatur der Kanalisation voneinander abhängig sind. Grundsätzlich gilt: Wenn die Aussenluft kälter wird, verringert sich auch die Temperatur in der Entlüftungsleitung und die Raumlufttemperatur. Gleichzeitig steigen die Luftgeschwindigkeit und somit auch der Volumenstrom in der Entlüftungsleitung an.

4.4.1. Messung A (ohne Belüftungsventil)

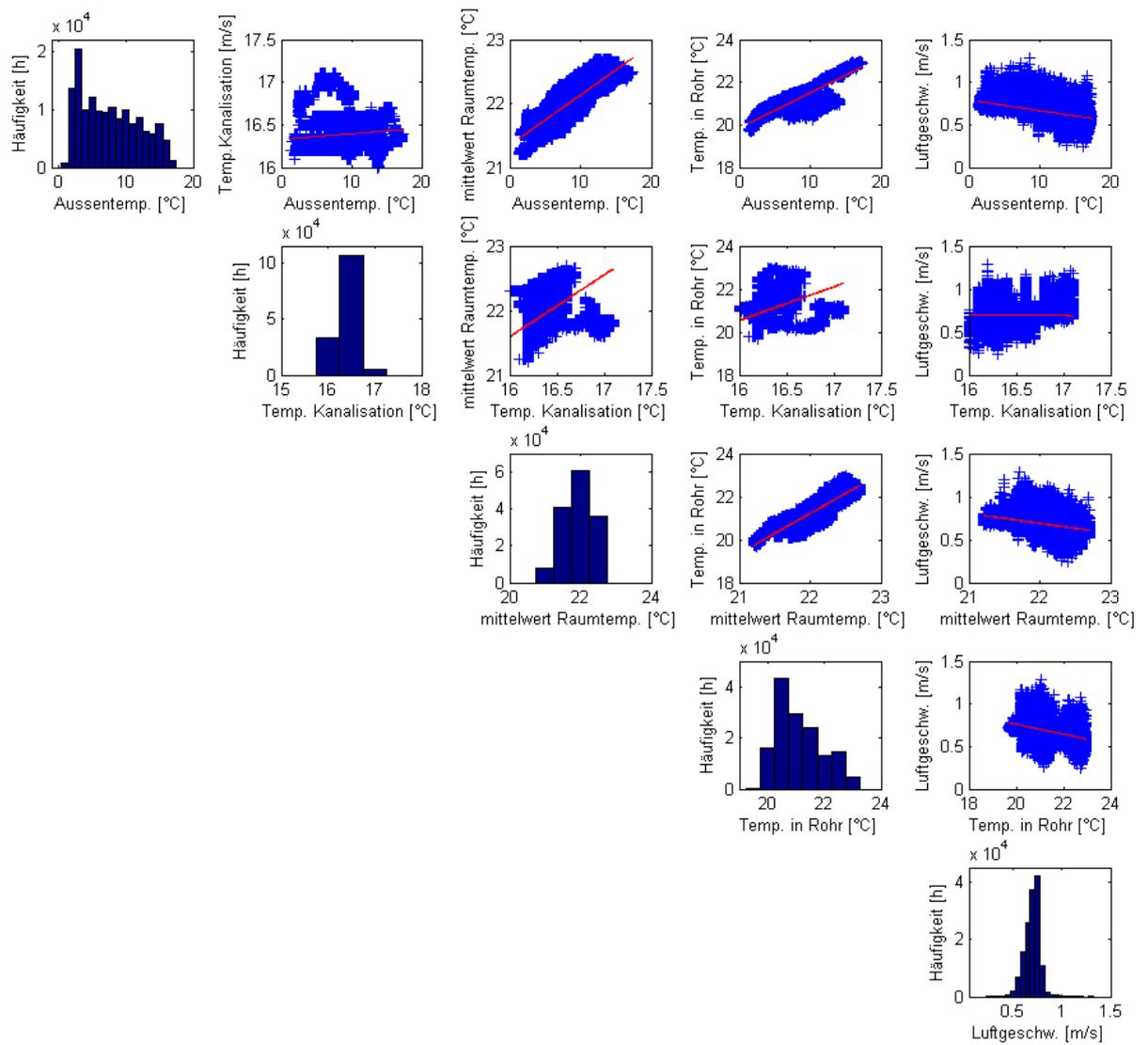


Abbildung 11: Abhängigkeiten der verschiedenen Parameter sowie die jeweiligen Histogramme (Messung A)

4.4.2. Messung B (mit Belüftungsventil)

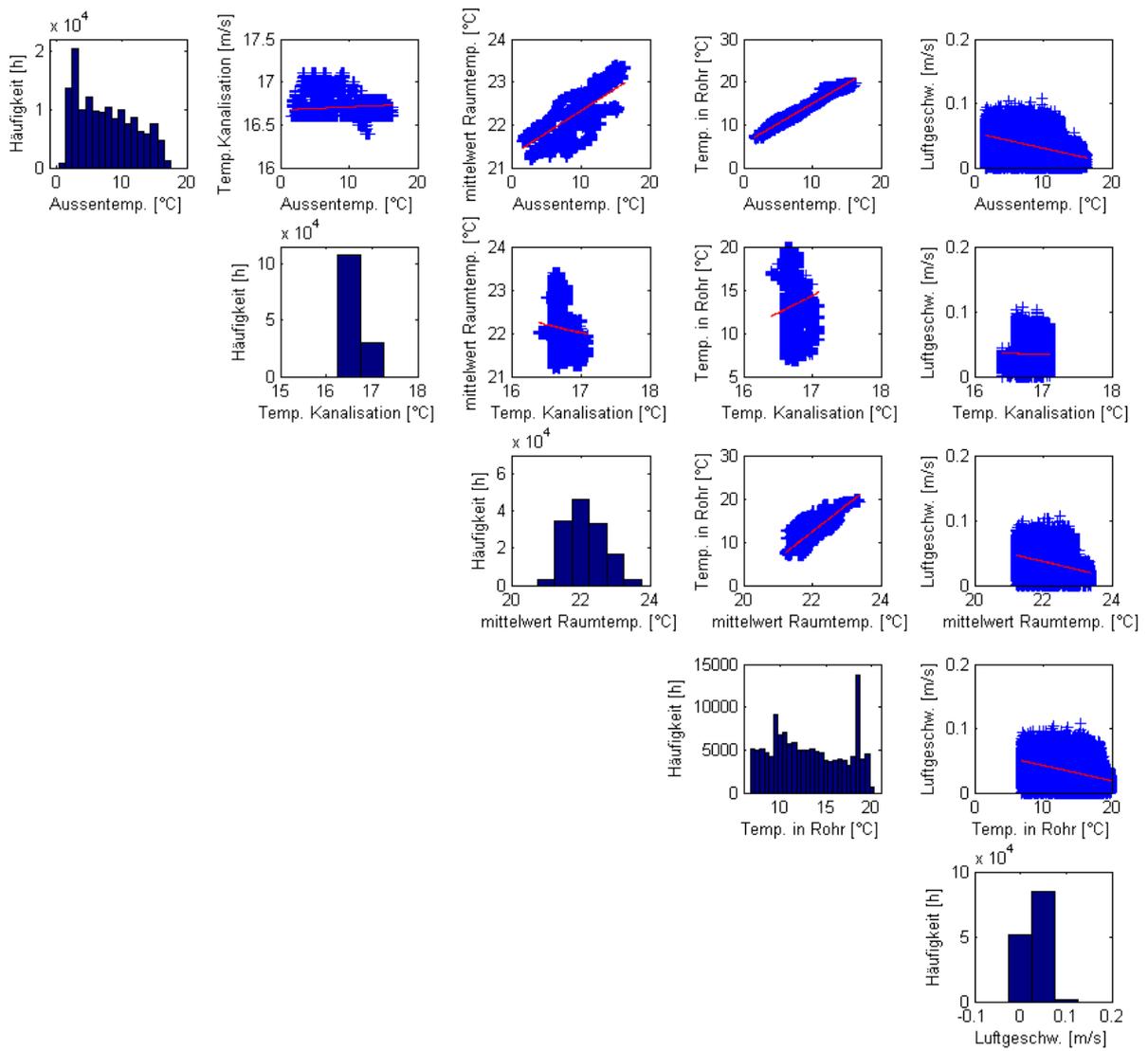


Abbildung 12: Abhängigkeiten der verschiedenen Parameter sowie die jeweiligen Histogramme (Messung B)

4.5. Leistungsberechnungen

Mit den gemessenen Werten wurde die Leistung ermittelt (siehe Formeln 2, 3 und 4) welche durch die Thermik in der Entlüftungsleitung verloren geht. Deren Verlauf über die drei Tage ist in der Abbildung 13 ersichtlich. Auch beim Einsatz eines Belüftungsventils auf der Entlüftungsleitung sind Leistungsverluste sichtbar. Diese sind durch den erzeugten Luftstrom der Spülung verursacht. Somit hat die Häufigkeit der Spülvorgänge ebenfalls einen Einfluss auf die Energieverluste.

$$\dot{Q} = \dot{m} * c * \Delta t \quad (2)$$

$$\dot{m} = \dot{V} * \rho \quad (3)$$

$$\Delta t = t_L - t_K \quad (4)$$

\dot{Q}	Leistung [W]
\dot{m}	Massenstrom [kg/h]
c	Wärmekapazität [J/kg K]
Δt	Temperaturdifferenz [K]
ρ	Dichte [kg/m ³]
t_L	Temperatur in der Entlüftungsleitung [°C]
t_K	Temperatur in der Kanalisation [°C]

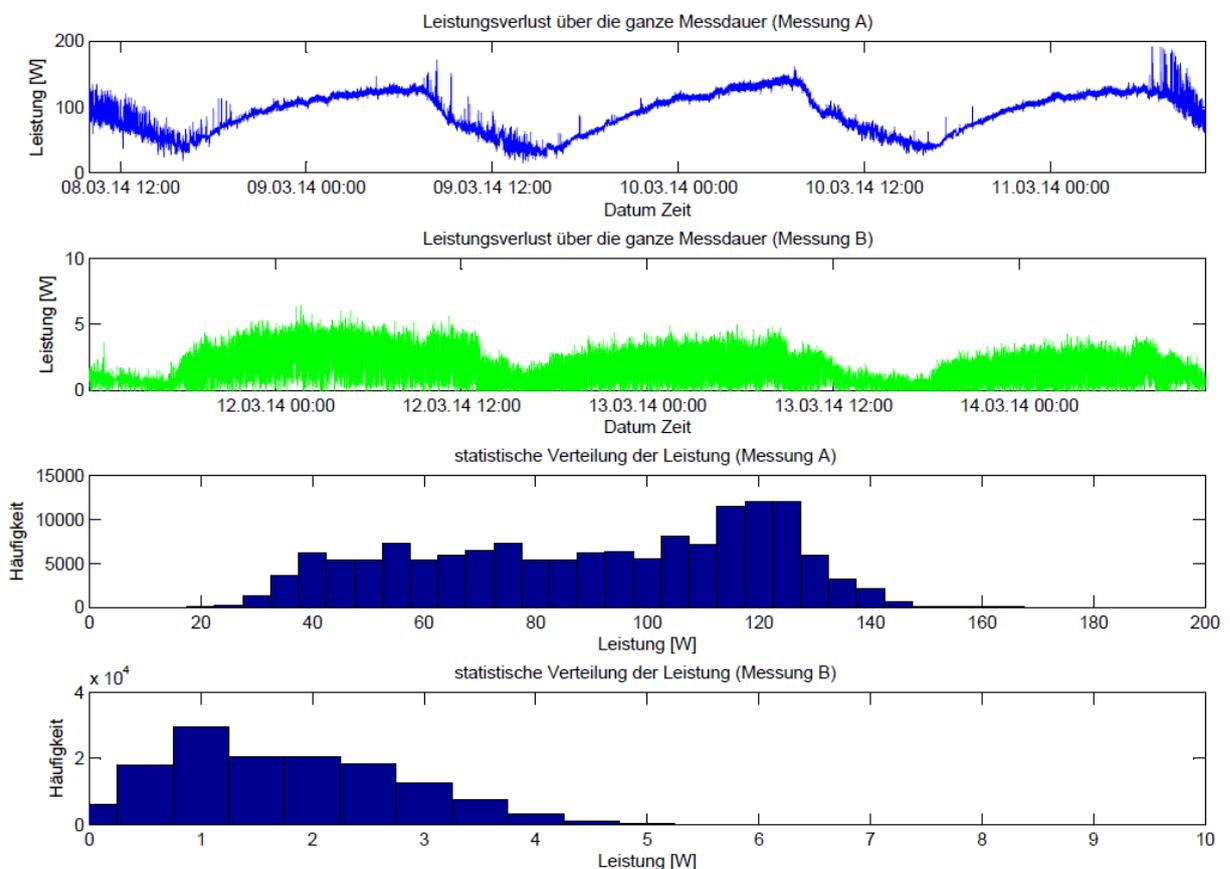


Abbildung 13: Die Leistungen und Histogramme der Messungen A und B

4.6. Lineare Regression der Leistung

Um den Energieverlust über ein ganzes Jahr zu ermitteln, wurde zuerst mit Hilfe der linearen Regression die durchschnittliche Leistung des Temperaturbereichs zwischen 1°C und 17°C berechnet und damit die Bereiche von -20°C bis 1°C und von 17°C bis 35°C extrapoliert. Die Resultate der Berechnungen sind in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt. Es wird deutlich, dass bei tieferer Aussenlufttemperatur der Leistungsverlust bei beiden Messungen zunimmt. Wie erwartet ist der Verlust bei Messung B (mit Belüftungsventil) deutlich geringer als bei der Messung A (ohne Belüftungsventil). Beide Messungen zeigen erwartungsgemäss, dass bei 21°C Aussenlufttemperatur keine Energie verloren geht.

Im jeweils unteren Diagramm der Abbildung 14 und Abbildung 15, ist zusätzlich zur linearen Regression ebenfalls die Messunsicherheit mit rot eingezeichnet. Die Messunsicherheit beträgt bei Vertrauensniveau von 95% bei der Messung A und B $\pm 1.66\text{W}$ resp. $\pm 0.30\text{W}$. Die Berechnungen sind im Anhang ausgewiesen.

4.6.1. Messung A

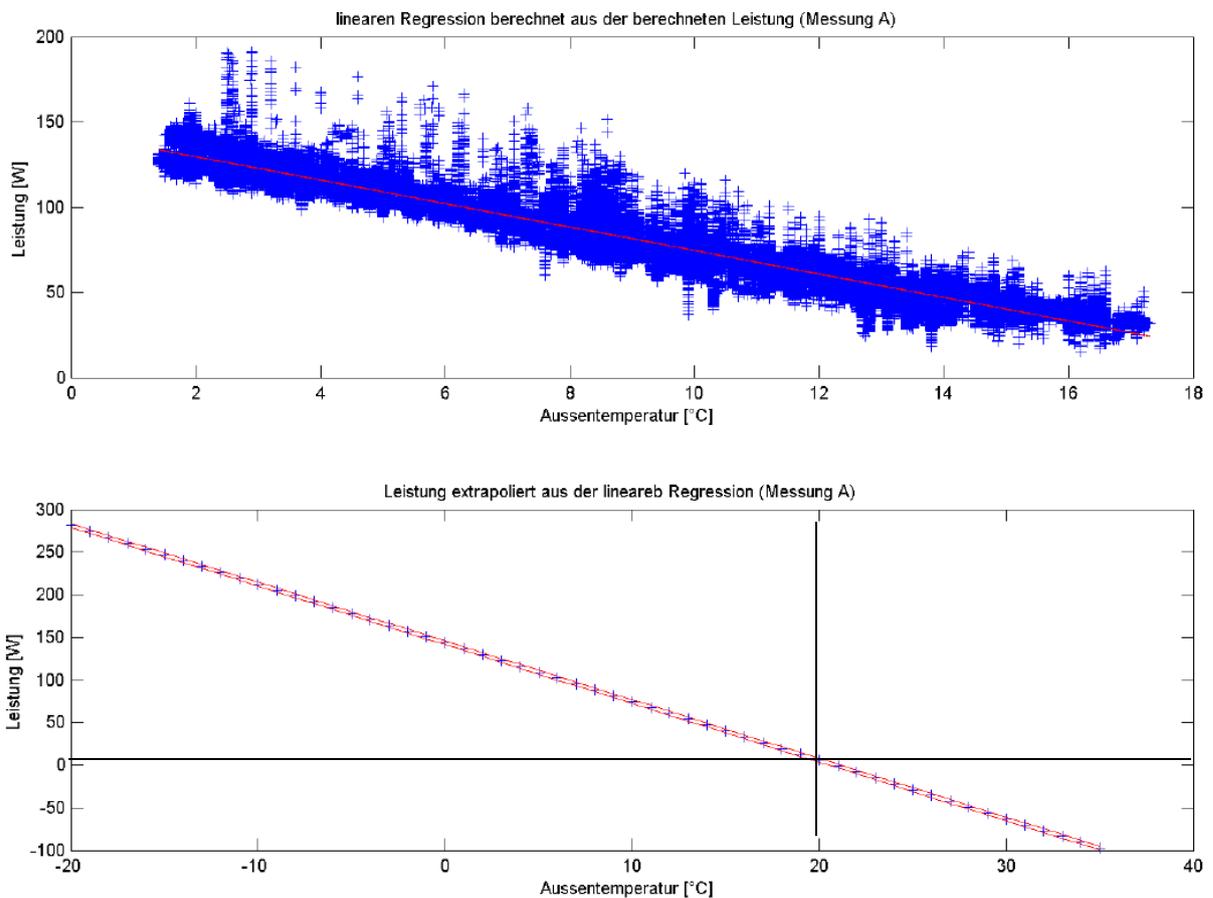


Abbildung 14: Oben: lineare Regression der berechneten Leistungen. Unten: Verlauf der Leistung über den ganzen Temperaturbereich der Messung A

4.6.2. Messung B

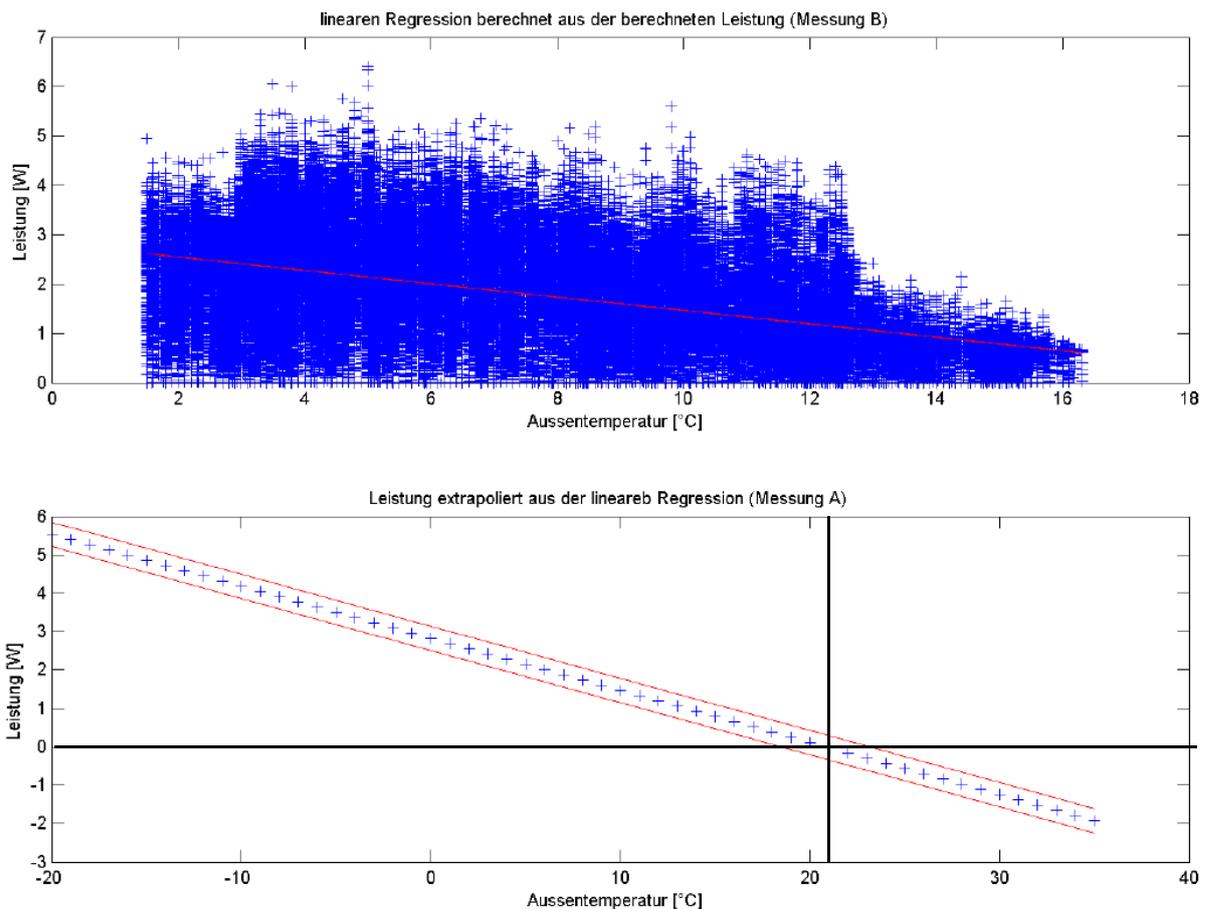


Abbildung 15: Oben die lineare Regression der berechneten Leistungen und unten der Verlauf der Leistung über den ganzen Temperaturbereich der Messung B

4.7. Summenhäufigkeit der Aussenlufttemperaturen von Luzern

Um die Energieverlust zu berechnen wurde das Summenhäufigkeitsdiagramm Luzern aus der SIA Merkblatt 2028 [2] zu Hilfe genommen. Der Fehler, der durch das Extrapolieren der Leistungen bei einer Aussenlufttemperatur unter 1°C und über 17°C entstanden ist, fällt bei der Energieberechnung nicht stark ins Gewicht. Das liegt an der Gegebenheit, dass nur wenige Stunden im Jahr unter 1°C sind (siehe Abbildung 16), resp. der Leistungsverlust über 17°C sehr klein ist (siehe Tabelle 25).

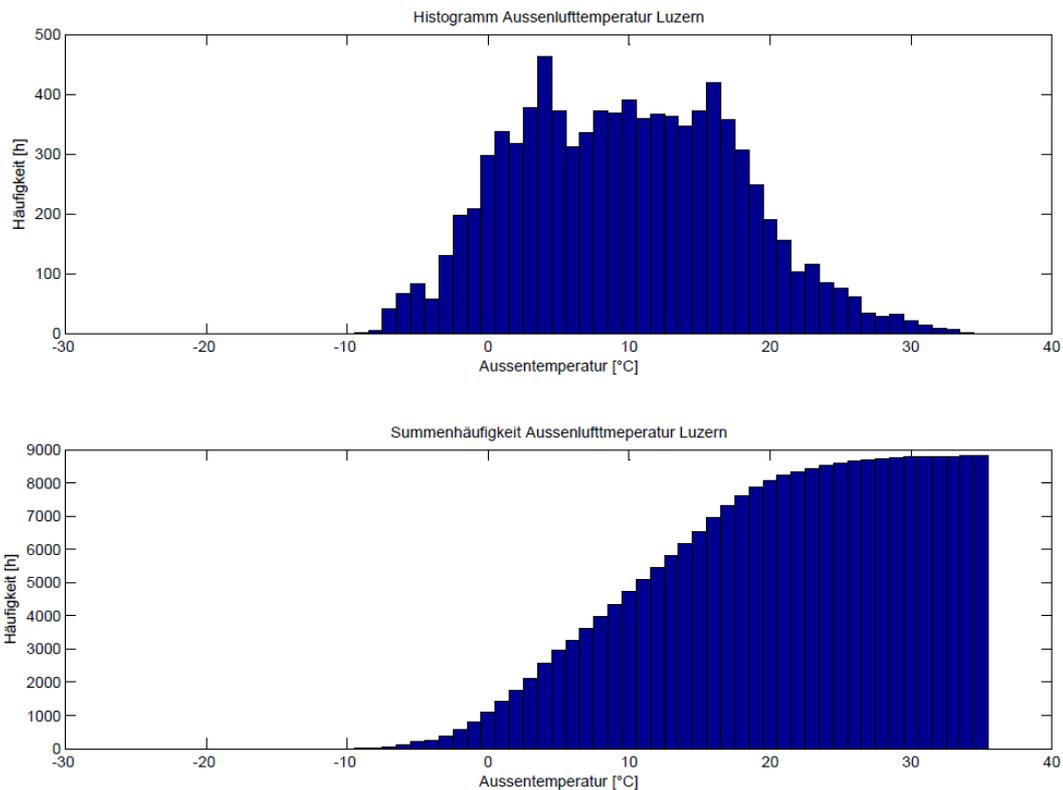


Abbildung 16: Oben: Histogramm der Aussenlufttemperatur in Luzern während eines Jahres. Unten: Deren Summenhäufigkeit

4.8. Energieverlust

Die zwei unten aufgeführten Diagramme zeigen den berechneten Energieverlust bei den jeweiligen Aussenlufttemperaturen. Die anschliessende Tabelle führt den totalen Energieverlust von -20°C bis 14°C , 18°C und 21°C auf. Zum Vergleich: Der im Abschnitt 3.1 ermittelte Energieverlust für eine DN 100 Entlüftungsleitung beträgt $21.2\text{kWh/m}^{\ast}\text{a}$. Der mit Hilfe der gemessenen Daten berechnete Energieverlust für ein Jahr (bis und mit 21°C) liegt bei $25.9 \pm 0.5 \text{kWh/m}^{\ast}\text{a}$. Der gemessene Verlust für die erwähnte Leitung liegt 20 - 25% über dem berechneten Verlust.

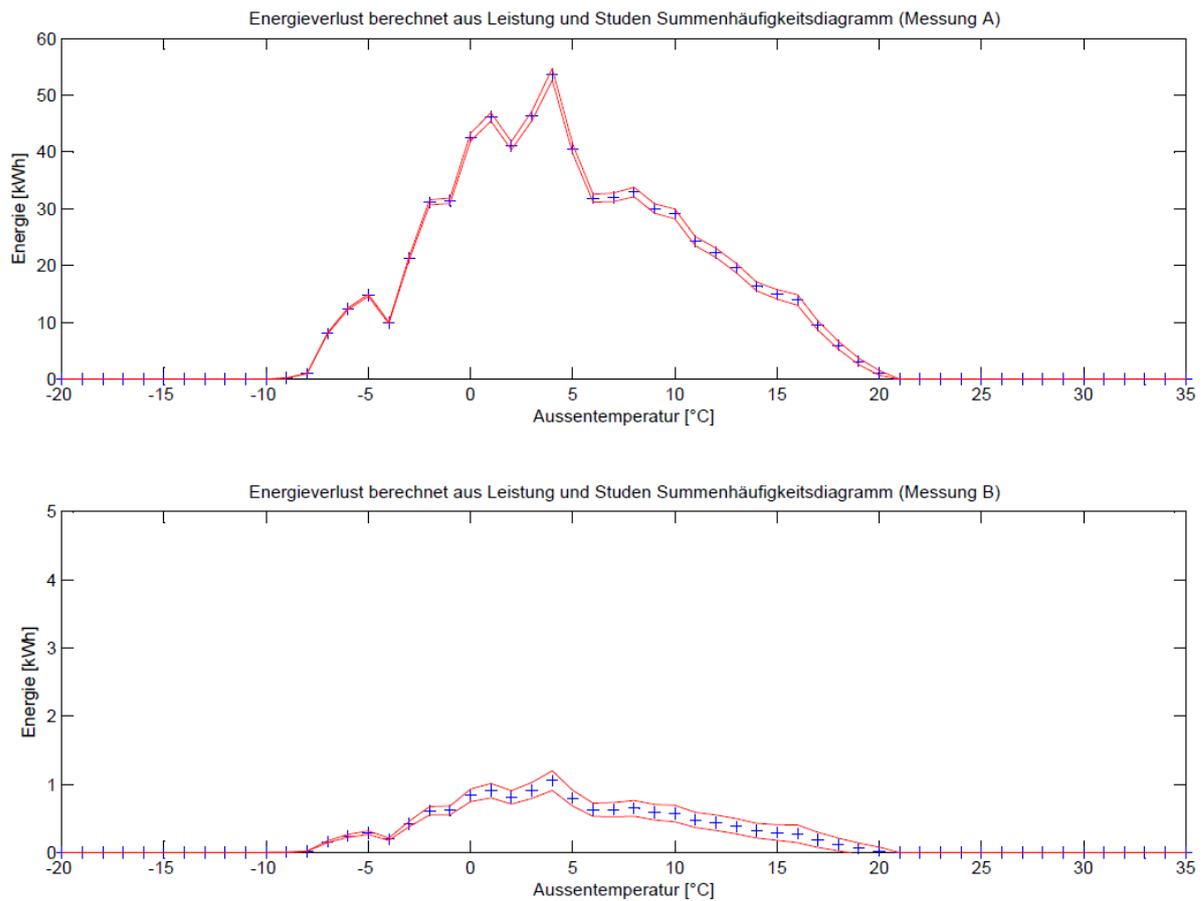


Abbildung 17: Energieverluste in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur. Oben: Messung A Unten: Messung B

Tabelle 19: Totaler Energieverlust von -20°C bis 14°C, 18°C und 21°C für Messungen A und B

Messung A (ohne Belüftungsventil)		Energieverlust von -20 bis 14°C	Energieverlust von -20 bis 18°C	Energieverlust von -20 bis 21°C
Energieverluste der gesamten Leitung	[kWh/a]	622 ± 10	677 ± 12	688 ± 14
Leitungslänge	[m]	26.6	26.6	26.6
Energieverluste pro Laufmeter	[kWh/am]	23.4 ± 0.5	25.5 ± 0.5	25.9 ± 0.5

Messung B (mit Belüftungsventil)		Energieverlust von -20 bis 14°C	Energieverlust von -20 bis 18°C	Energieverlust von -20 bis 21°C
Energieverluste der gesamten Leitung	[kWh]	12 ± 2	13 ± 2	14 ± 2
Leitungslänge	[m]	26.6	26.6	26.6
Energieverluste pro Laufmeter	[kWh/am]	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1

4.9. Fazit

Die Messresultate zeigen, dass die bei der Berechnung angenommenen Raumluf- und Kanallufttemperaturen für das gemessene Objekt zu tief waren. Eine grosse Abweichung hat die Kanallufttemperatur welche 4K höher ist als angenommen.

Mit Ausnahme der Kanallufttemperatur sind alle gemessenen Parameter voneinander abhängig. Das bedeutet z.B.: Mit steigender Aussenlufttemperatur erhöht sich die Raumlufttemperatur und die Temperatur in der Entlüftungsleitung bis zu 2K. Dieser Effekt ist auf die schlechte gedämmte Fassade zurückzuführen. Die Luftgeschwindigkeit in der Entlüftungsleitung verhält sich proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Aussen und Innen(Rohrleitung). Wenn die Aussenlufttemperatur ansteigt und somit die Temperaturdifferenz kleiner wird, verringert sich die Luftgeschwindigkeit.

Der Wärmeverlust ist über 21°C Aussenlufttemperatur gleich null.

Die Eigenschaft der Entlüftungsleitung 1 kommt der in den Berechnungen der ersten Studie verwendeten Situation am nächsten. Die Gründe liegen erstens in der von oben bis unten geraden Leitungsführung und zweitens bei der geringen Anzahl der angeschlossenen Apparate (nur ein Waschtisch). Beides sind Voraussetzungen für eine optimale Thermik.

Mit Hilfe der Messung A (ohne Belüftungsventil) wurde aufgezeigt, dass die in der ersten Studie ermittelten Werte von der Grössenordnung her stimmen sollten, obwohl die angenommenen Werte nicht ganz den gemessenen Werten entsprechen. Die Messung A liegt 20-25% höher als die Berechnung.

Die Abweichungen der gemessenen Energieverlusten von den berechneten Werten werden auf folgende Gründe zurückgeführt:

- Vereinfachtes Berechnungsmodell (erste Studie)
- lineare Regression des Leistungsverlustes
- Extrapolation des Leistungsverlustes bei Aussentemperaturen von -20°C bis 1°C und 17 °C bis 35 °C.
- Die tatsächliche Raumlufttemperatur liegt 1 bis 2 °C höher als bei der Berechnung angenommen

Es wird davon ausgegangen, dass der letzte Punkt den grössten Einfluss auf die Abweichung des Energieverlustes hat. Eine grössere Raumlufttemperatur bewirkt eine stärkere Aufwärmung der Luft in der Entlüftungsleitung und somit einen erhöhten Auftrieb.

Die Messung B zeigt, dass mit dem Einsatz eines OEKAG Energy-Stop-Ventils der Energieverlust über die Entlüftungsleitung fast auf null reduziert werden kann.

5. Literaturverweise

- [1] Forschungsbericht BFE; „Wärmeverlust von Funktionsöffnungen – Schlussbericht zur Quantifizierung des Wärmeverlustes von Gebäuden über Funktionsöffnungen infolge Einrohrzirkulation“; Bundesamt für Energie 2013
- [2] SIA Merkblatt 2028, Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2008

6. Anhang

A1. Messungen.....	31
A1.1. Messeinrichtung	31
A1.2. Spezifikationen Messgeräte	34
A1.3. Berechnung der Messunsicherheit	35
A2. Grundlagen zu den Messungen C-F	36
A2.1. Messobjekt	36
A2.1.1. Entlüftungsleitung 2	36
A2.1.2. Entlüftungsleitung 3	36
A3. Resultate	38
A3.1. Volumenstrom und Temperatur in der Entlüftungsleitung	38
A3.2. Windgeschwindigkeit.....	40
A3.3. Abhängigkeiten der gemessenen Werte.....	41
A3.3.1. Messung E (ohne Belüftungsventil).....	41
A3.3.2. Messung F (ohne Belüftungsventil).....	42
A3.4. Leistungsberechnung.....	43
A3.5. Lineare Regression der Leistungen	43
A3.5.1. Messung E	44
A3.5.2. Messung F	45
A3.6. Energieverlust	45
A3.7. Fazit.....	47
A3.8. Volumenstrom und Temperatur in der Entlüftungsleitung	48
A3.9. Windgeschwindigkeiten.....	50
A3.10. Abhängigkeiten der gemessenen Werte.....	50
A3.10.1. Messung D (ohne Belüftungsventil)	51
A3.10.2. Messung C (mit Belüftungsventil).....	52
A3.11. Leistungsberechnung.....	53
A3.12. Lineare Regression der Leistungen	53
A3.12.1. Messung D	54
A3.12.2. Messung C	55
A3.13. Energieverlust	55
A3.14. Fazit.....	57

1. Messungen

1.1. Messeinrichtung

Die Messeinrichtung ist gemäss den unten aufgeführten Darstellungen angebracht worden.

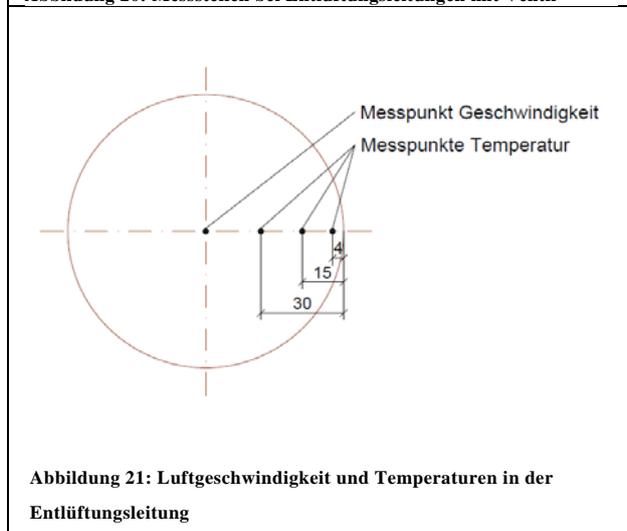
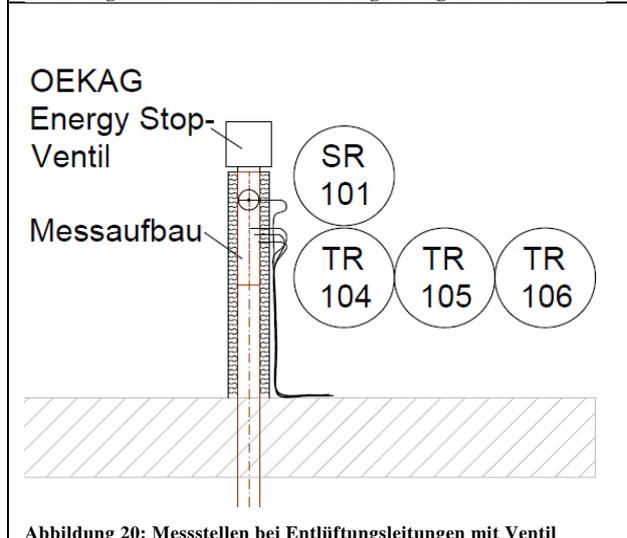
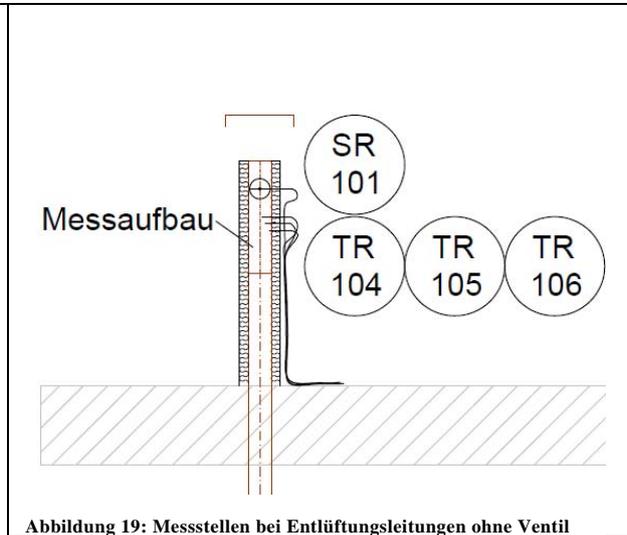
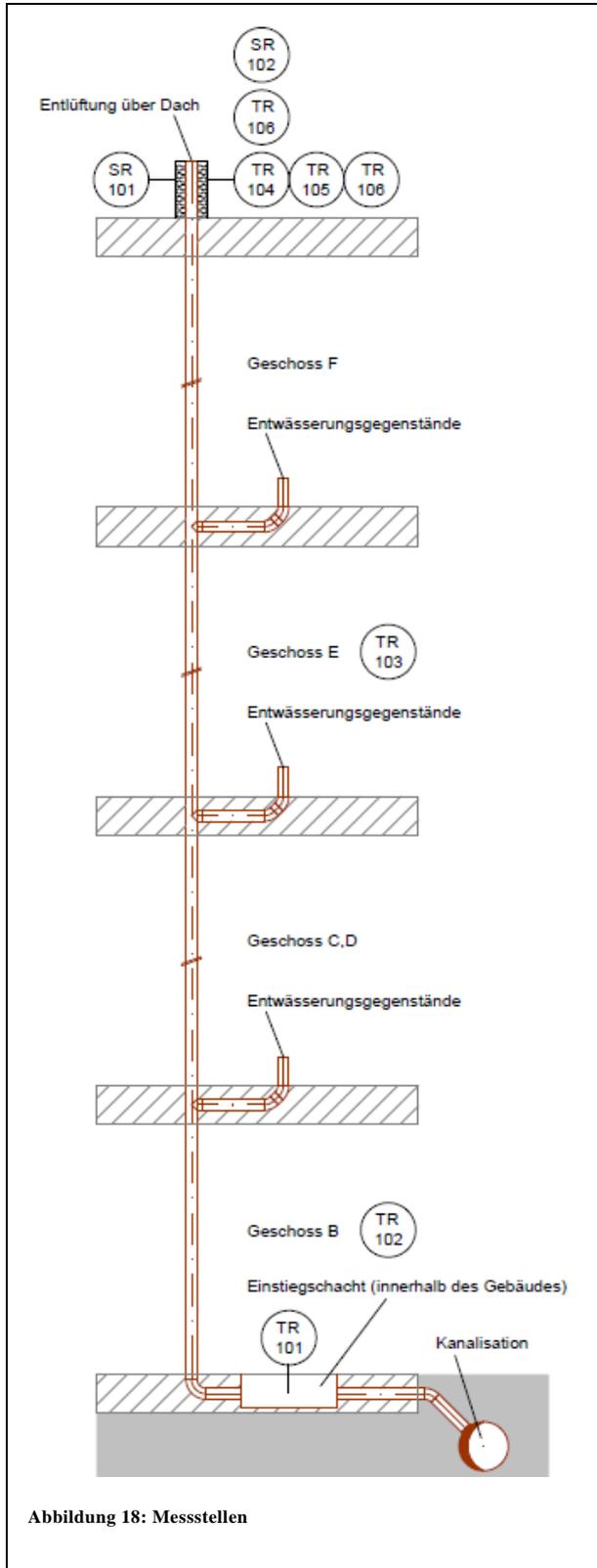


Tabelle 20: Legende der Bezeichnung

Erstbuchstabe	Ergänzungsbuchstabe
S Geschwindigkeit	R Registrierung
T Temperatur	

Tabelle 21: Benennung der Messstellen

TR 101	Kanalisationslufttemperaturfühler
TR 102	Raumlufttemperaturfühler Geschoss B
TR 103	Raumlufttemperaturfühler Geschoss E
TR 104	Lufttemperaturfühler in der Entlüftungsleitung kurz vor dem Ausströmen
TR 105	Lufttemperaturfühler in der Entlüftungsleitung kurz vor dem Ausströmen
TR 106	Lufttemperaturfühler in der Entlüftungsleitung kurz vor dem Ausströmen
TR 107	Aussenlufttemperaturfühler
SR 101	Luftgeschwindigkeit in der Entlüftungsleitung kurz vor dem Ausströmen
SR 102	Windgeschwindigkeit

Die folgenden Fotos zeigen die Entlüftungsleitungen, die eingebauten Messgeräte und der auf die Messeinrichtungen.



Abbildung 22: Entlüftungsleitung 1



Abbildung 23: Entlüftungsleitung 2 (rechts), Entlüftungsleitung 3 (links),

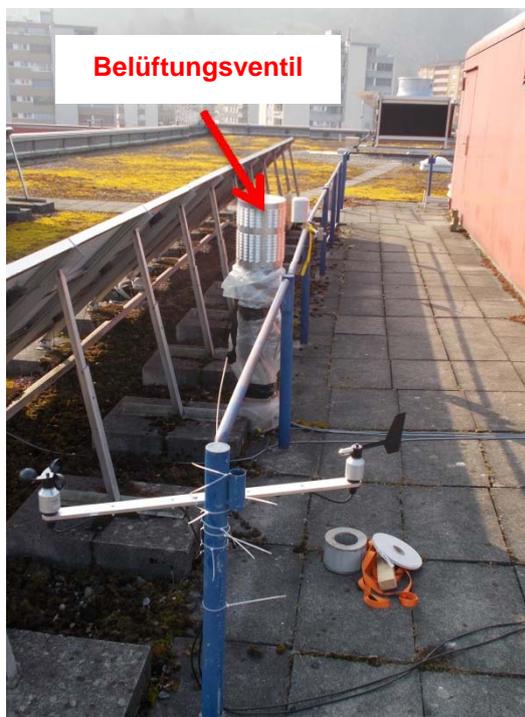


Abbildung 24: Wind- und Aussenlufttemperaturmessung bei der Entlüftungsleitung 1

Luftgeschwindigkeitsmessungen



Abbildung 25: Messaufbau in der Entlüftungsleitung



Abbildung 26: Messung der Luftgeschwindigkeit



Abbildung 27: Speicherung der Daten

1.2. Spezifikationen Messgeräte

Lufttemperaturfühler in der Entlüftungsleitung

Fabr. Moser
Typ Pt 100, DIN 1/5, 4 Leiter
Messbereich -100°C bis +250°C
Genauigkeit : +/-0.06 K + 0.005 K je K ΔT gegenüber 0°C
Bei 20°C entspricht dies: +/- 0.16 K

Aussen- und Raumlufttemperaturfühler sowie Lufttemperaturfühler in der Kanalisation

Fabr. PCE Instruments
Typ PCE-MSR 145
Messbereich -10°C bis +65°C
Genauigkeit : +/-0.2 °C (-10°C bis 65°C)

Windgeschwindigkeit

Fabr. Ahlborn
Typ Almemo MA2590-2
Messbereich 0.5-20m/s
Genauigkeit:

Luftgeschwindigkeit in der Entlüftungsleitung

Fabr. Dantec Dynamics
Typ Dantec 54N10
Messbereich 0-100cm/s
Genauigkeit : 0.007m/s

1.3. Berechnung der Messunsicherheit

Messunsicherheitsbudget nach GUM

Messgrösse	Schätzwert	Komponente der Standardunsicherheiten	Relative Standardunsicherheit	Empfindlichkeitskoeffizient	Freiheitsgrade	Beitrag zur Standardunsicherheit
X_i	x_i	$\pm u(x_i)$	$\pm w(x_i)$	$c_i = \Delta f / \Delta x$	ν_i	$u_i()$
w	0.70	0.01	1.00%	53.62	0	0.38
A	0.10	0.00	0.10%	366.52	0	0.04
roh	1.15	0.00	0.01%	32.64	0	0.00
cp	1.01	0.00	0.01%	37.31	0	0.00
t rohr	21.10	0.17	0.78%	7.99	137	1.32
t k	16.40	0.20	1.22%	7.99	200	0.92
Prüfverfahren	37.54	0.00	0.00%	1.00	500000	0.00
Total	37.54				52	1.66

Resultat: Leistung = (37.5 ± 1.66) W

Die erweiterte Messunsicherheit U errechnet sich aus einer kombinierten Standardunsicherheit $u_c = 1.66$ und einem Erweiterungsfaktor $k = 2.01$, der auf einer t-Verteilung für $\nu = 52$ Freiheitsgrade beruht und ein Intervall angibt, das einen geschätzten Grad des Vertrauens von 95% hat.

Abbildung 28: Messunsicherheit Messung A

Messunsicherheitsbudget nach GUM

Messgrösse	Schätzwert	Komponente der Standardunsicherheiten	Relative Standardunsicherheit	Empfindlichkeitskoeffizient	Freiheitsgrade	Beitrag zur Standardunsicherheit
X_i	x_i	$\pm u(x_i)$	$\pm w(x_i)$	$c_i = \Delta f / \Delta x$	ν_i	$u_i()$
w	0.04	0.01	17.50%	41.07	0	0.29
A	0.10	0.00	0.10%	16.04	0	0.00
roh	1.15	0.00	0.01%	1.43	0	0.00
cp	1.01	0.00	0.01%	1.63	0	0.00
t rohr	13.10	0.13	0.96%	0.46	79	0.06
t k	16.70	0.20	1.20%	0.46	200	0.05
Prüfverfahren	-1.64	0.00	0.00%	1.00	1	0.00
Total	-1.64				0	0.30

Resultat: Leistung = (-1.6 ± 0.30) W

Abbildung 29: Messunsicherheit Messung B

2. Grundlagen zu den Messungen C-F

Im Laufe dieser Untersuchungen wurden zwei weitere Entlüftungsleitungen (2 und 3) gemessen. Eine grosse Anzahl Spülungen der Entwässerungsgegenstände (Ausreisser in den Messdaten) hat eine plausible Berechnung der Energieverluste verhindert. Eine Selektionieren der Ausreisser war nicht möglich. Trotzdem sind die Messgrundlagen und -resultate für Interessierte in den folgenden Abschnitten beschrieben worden.

2.1. Messobjekt

2.1.1. Entlüftungsleitung 2

Bei Entlüftungsleitung 2 (siehe Abbildung 31) handelt es sich um ein Rohr aus Polyethylen mit einem Aussendurchmesser im Geschoss B von 140mm und in den übrigen Geschossen von 90mm. Die Leitung ist gemeinsam mit Entlüftungsleitung 3 an der Kanalisation angeschlossen und verläuft gemeinsam durch Geschoss B. Unter der Decke von Geschoss B trennen sich die Leitungen. Danach wird die Leitung 2 auf Durchmesser 90mm reduziert. Anschliessend steigt die, über die restlichen Geschosse, senkrecht bis zum Dach. Die horizontalen Segmente der Leitungsführung verlaufen oberhalb der heruntergehängten Decke. Alle senkrecht geführten Segmente der Leitungen sind in der Steigzone zwischen Vorwand und Betonwand eingebaut. Wie auf den Plänen erkennbar ist die Entlüftungsleitung nicht gedämmt. Die daran angeschlossenen Apparate sind in Tabelle 22 aufgeführt. Dort ebenfalls aufgelistet sind die berechneten Wärmeverluste mit den Grundlagen aus dem Absatz 1.

2.1.2. Entlüftungsleitung 3

Die Entlüftungsleitung 3 ist aus demselben Material hergestellt wie die Leitungen 1 und 2. Wie erwähnt, beginnt sie gemeinsam mit Falleitung 2 an der Kanalisation. Nach der Trennung von der Entlüftungsleitung 2 trennt sie sich im Geschoss B und wird im Geschoss F wieder zusammengeführt. Vor der Trennung und nach der Zusammenführung beträgt der Durchmesser 140mm. Dazwischen werden beide Leitungen auf Durchmesser 110mm reduziert. Der Einbau der horizontalen und vertikalen Leitungssegmente ist gleich wie bei Leitung 2. Die Entlüftungsleitungen sind ebenfalls nicht gedämmt. In der Tabelle 22 sind die angeschlossenen Apparate aufgeführt.

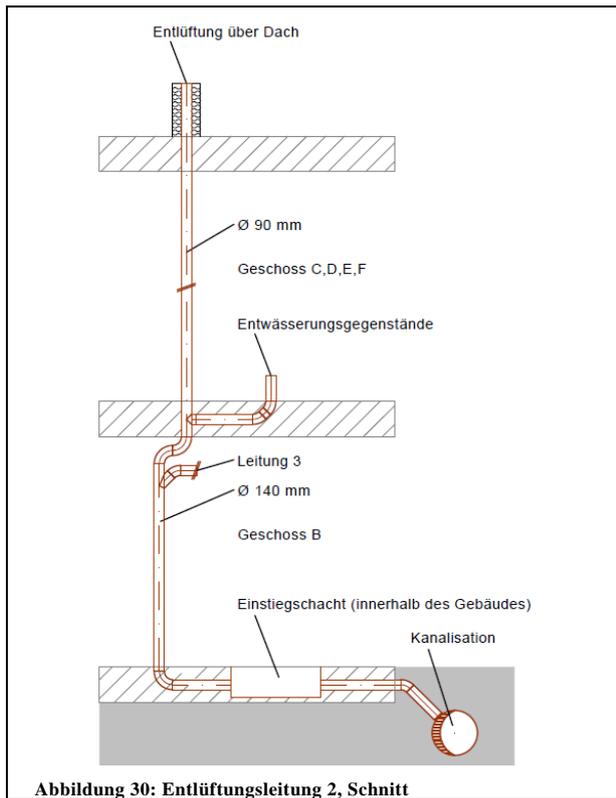


Abbildung 30: Entlüftungsleitung 2, Schnitt

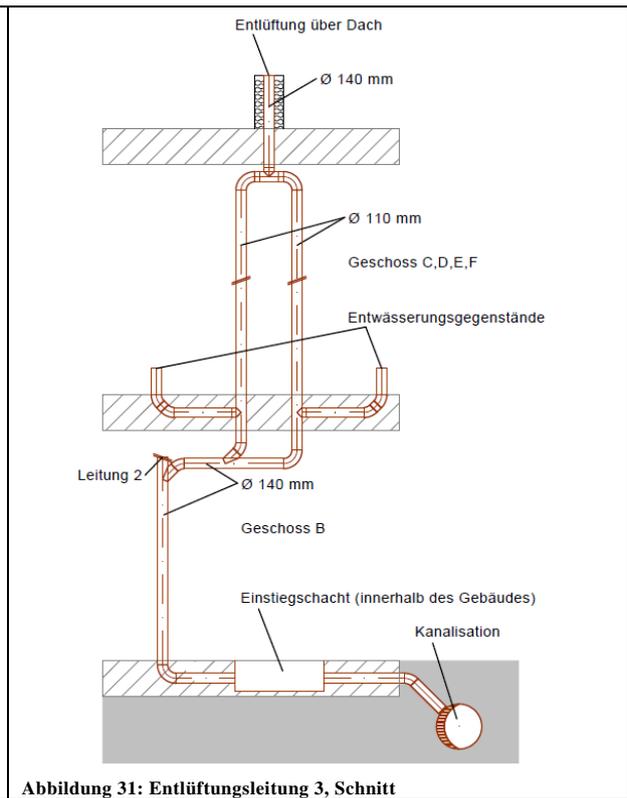


Abbildung 31: Entlüftungsleitung 3, Schnitt

In den unten aufgeführten Tabellen sind die χ -Wert sowie die Wärmeverluste der Entlüftungsleitung 2 und 3 aufgeführt. Diese wurden wie im Abschnitt 3.1 beschrieben berechnet.

Tabelle 22: Leitungsführung und Entwässerungsgegenstände der Entlüftungsleitungen 2 und 3

Entlüftungsleitung	Entwässerungsgegenstände			Leitungsverzug
	Waschtisch	Urinal	Klosett	Anzahl
2	1	15	-	1
3	15	-	15	2

Entlüftungsleitung DN 90 (ohne Dämmung)		
Länge	25.5	m
x-Wert	5.28	W/K
Leitungsverzug	28	%
Anzahl	0	-
x-Wert	5.28	W/K

Entlüftungsleitung DN 140 (ohne Dämmung)		
Länge	12	m
x-Wert	5.93	W/K
Leitungsverzug	28	%
Anzahl	1	-
x-Wert	7.59	W/K

Entlüftungsleitung DN 100 (ohne Dämmung)		
Länge	41.6	m
x-Wert	9.59	W/K
Leitungsverzug	28	%
Anzahl	1	-
x-Wert	12.27	W/K

Entlüftungsleitung DN 140 (ohne Dämmung)		
Länge	17.5	m
x-Wert	8.01	W/K
Leitungsverzug	28	%
Anzahl	1	-
x-Wert	10.25	W/K

Tabelle 23: Berechnung des Energieverlustes der Entlüftungsleitungen 2 und 3

Entlüftungsleitung	Leitungsdurchmesser	Aussendurchmesser	Innendurchmesser	Leitungslänge	Wärmeverlust durch Funktionsöffnungen	
	DN	[mm]	[mm]	[m]	[kWh/a]	[kWh/m a]
2	90	90	83	25.5	458	18.0
	140			12	660	55.0
				37.5	1118	29.8
3	100	110	101.4	41.6	1069	25.7
	140			17.5	896	51.2
				59.1	1965	33.2

3. Resultate

Entlüftungsleitung 2

3.1. Volumenstrom und Temperatur in der Entlüftungsleitung

Der Volumenstrom wird gemäss Formel 1 ermittelt. Maxima, Minima und Mittelwerte der Luftgeschwindigkeiten werden in Tabelle 24 aufgelistet. Der Verlauf der Volumenströme aus Messungen E und F sind in den folgenden Abbildungen auf der rechten bzw. linken Seite dargestellt. Die Ausreisser im Zeit – Volumenstrom Diagramm wurden während der Spülung der Toilette und anderen Apparaten gemessen. Wenn die Luftgeschwindigkeiten der Entlüftungsleitung 1 und 2 miteinander verglichen werden, fällt auf, dass die Geschwindigkeit im Rohr bei der Messung E (ohne Belüftungsventil) kleiner ist als bei der Messung A (ohne Belüftungsventil). Hingegen beim Einsatz von einem Belüftungsventil, ist die Luftgeschwindigkeit bei der Entlüftungsleitung 2 (Messung F) höher als bei der Leitung 1 (Messung B). Die höhere Luftgeschwindigkeit und somit der höhere Volumenstrom, beim Einsatz von einem Belüftungsventil, in der Entlüftungsleitung 2 ist durch die höher Frequenz der Spülungen zurückzuführen.

Tabelle 24: Volumenströme in Entlüftungsleitung 2

	Luftgeschwindigkeit	
	[m/s]	
	Messung E (ohne Belüftungsventil)	Messung F (mit Belüftungsventil)
Minimum	0.00	0.00
Maximum	1.28	1.04
Mittelwert aus der Messreihe	0.20	0.06

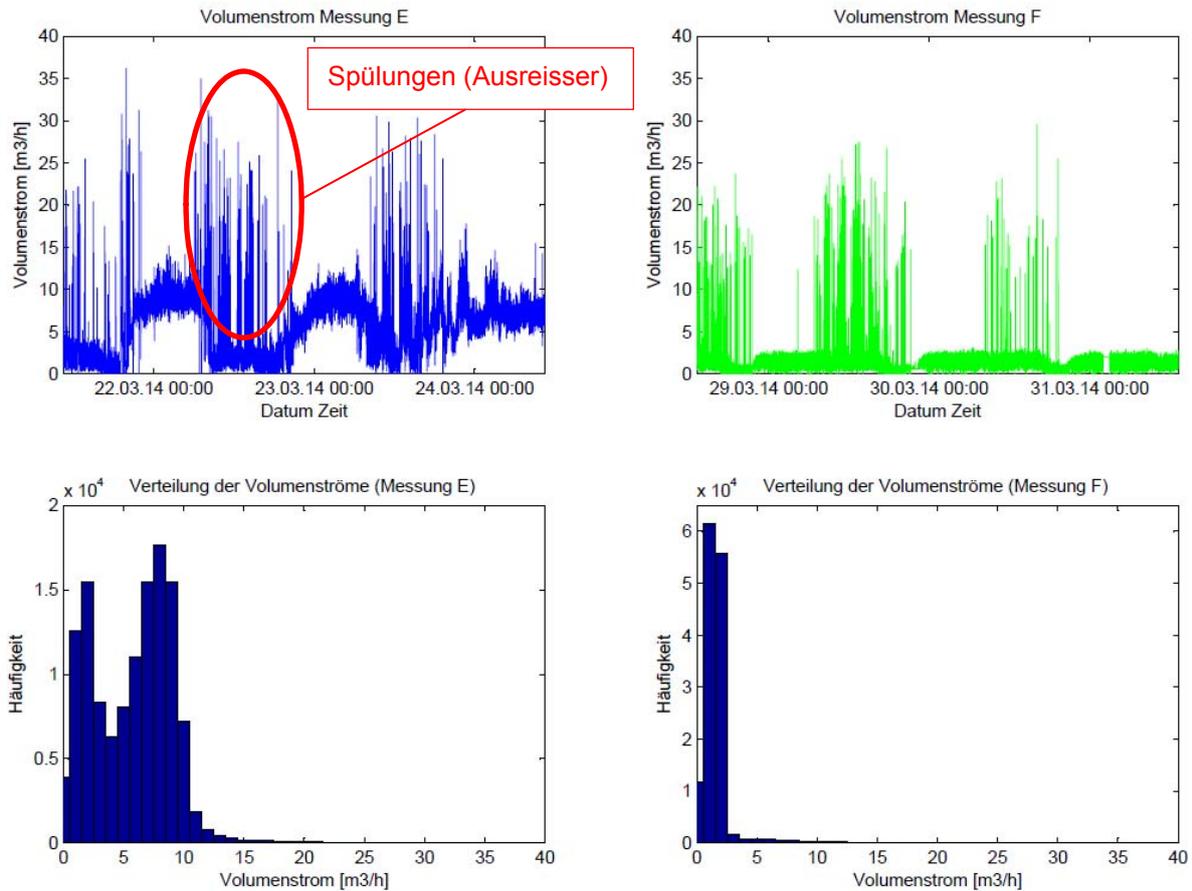


Abbildung 32: Maximum, Minimum und Mittelwerte der Luftgeschwindigkeiten der Entlüftungsleitung 2

Das Verhalten des Volumenstroms, der Aussen- und der Raumlufttemperatur sowie die Temperatur in der Lüftungsleitung sind in der folgenden Abbildung 9 dargestellt. In den ersten zwei Tagen liegt die Temperatur im Rohr, bei der Messung E (ohne Belüftungsventil), in der Nacht nahe an der Aussenlufttemperatur. Dieser Effekt tritt in Messung A (Entlüftungsleitung 1) nicht auf. Am dritten Tag ist die Temperatur stabil. Wie in Entlüftungsleitung 1 (Messung A) nimmt auch in der Entlüftungsleitung 2 (Messung E) der Volumenstrom bei tieferen Aussenlufttemperaturen zu.

Des Weiteren verhalten sich die beiden Lüftungsleitungen beim Einsatz vom Belüftungsventil genau gleich. Die Resultate der Messung F zeigen auf, dass die Thermik durch den Einsatz von Belüftungsventil gestoppt werden kann.

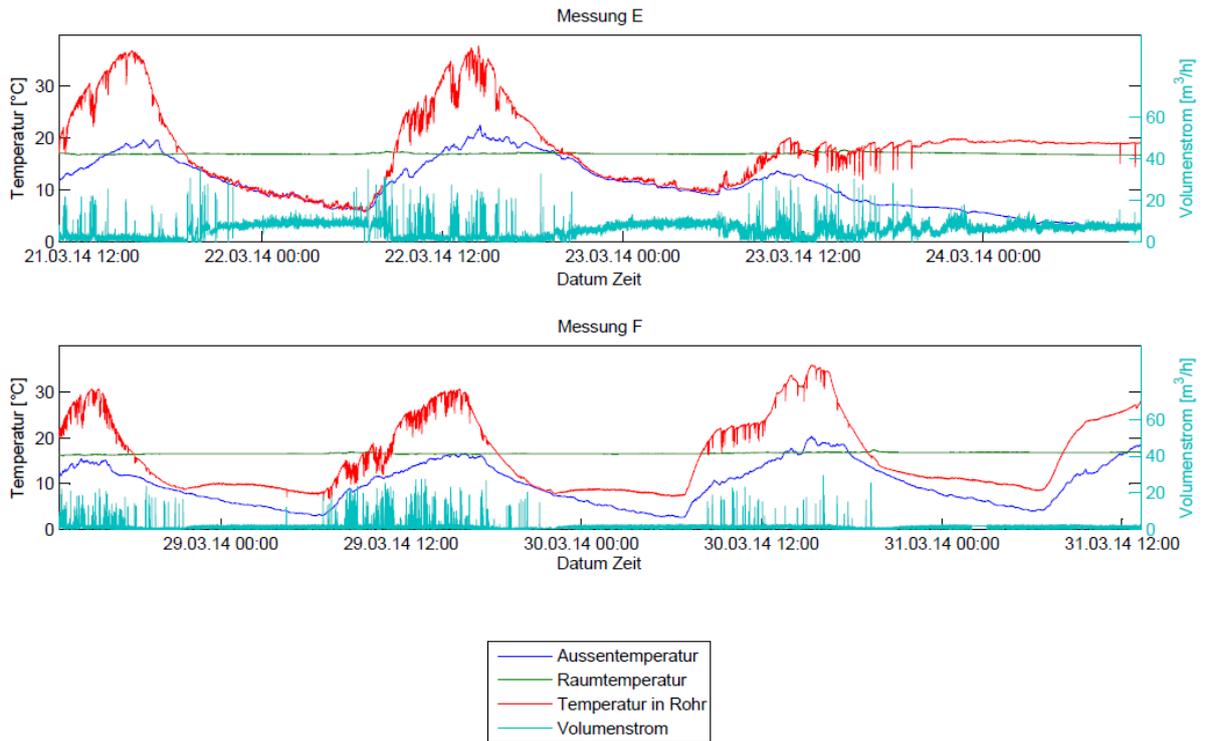


Abbildung 33: Aussen- und Raumlufthemperatur, Temperatur in der Kanalisation und der Volumenströme in Entlüftungsleitung 2

3.2. Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit auf dem Dach vom Trakt III war während der Messungsdauer vernachlässigbar.

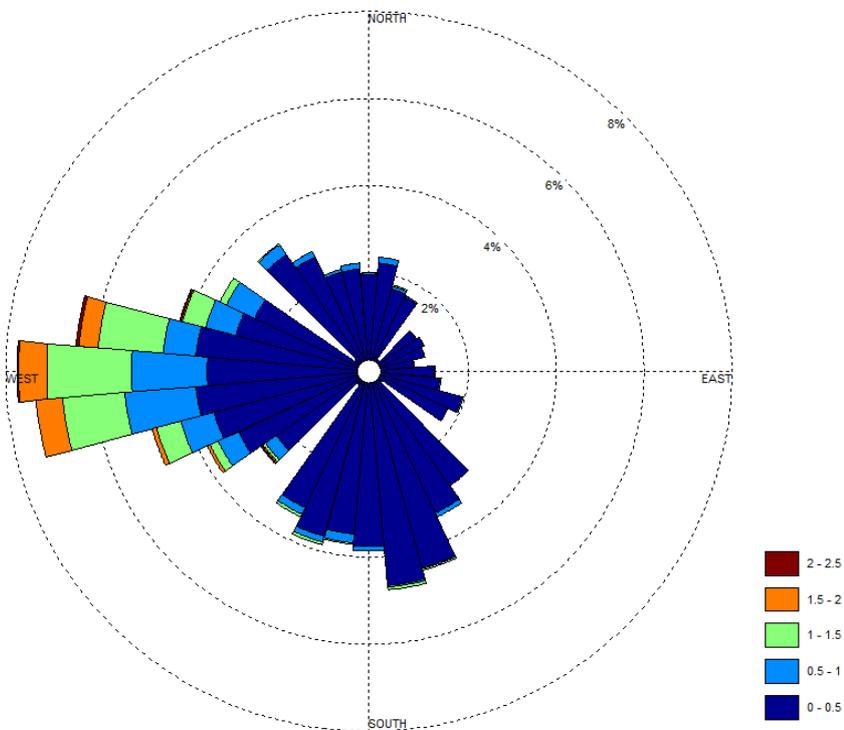


Abbildung 34: Windrose während den Messungen an Entlüftungsleitung 2

3.3. Abhängigkeiten der gemessenen Werte

Die Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Parametern ist -wie bei Entlüftungsleitung 1 (siehe Abschnitt 4.4) in den folgenden Abbildung 35 und Abbildung 36 dargestellt. Die Parameter, welche voneinander abhängig sind, bleiben dieselben wie bei der Entlüftungsleitung 1.

3.3.1. Messung E (ohne Belüftungsventil)

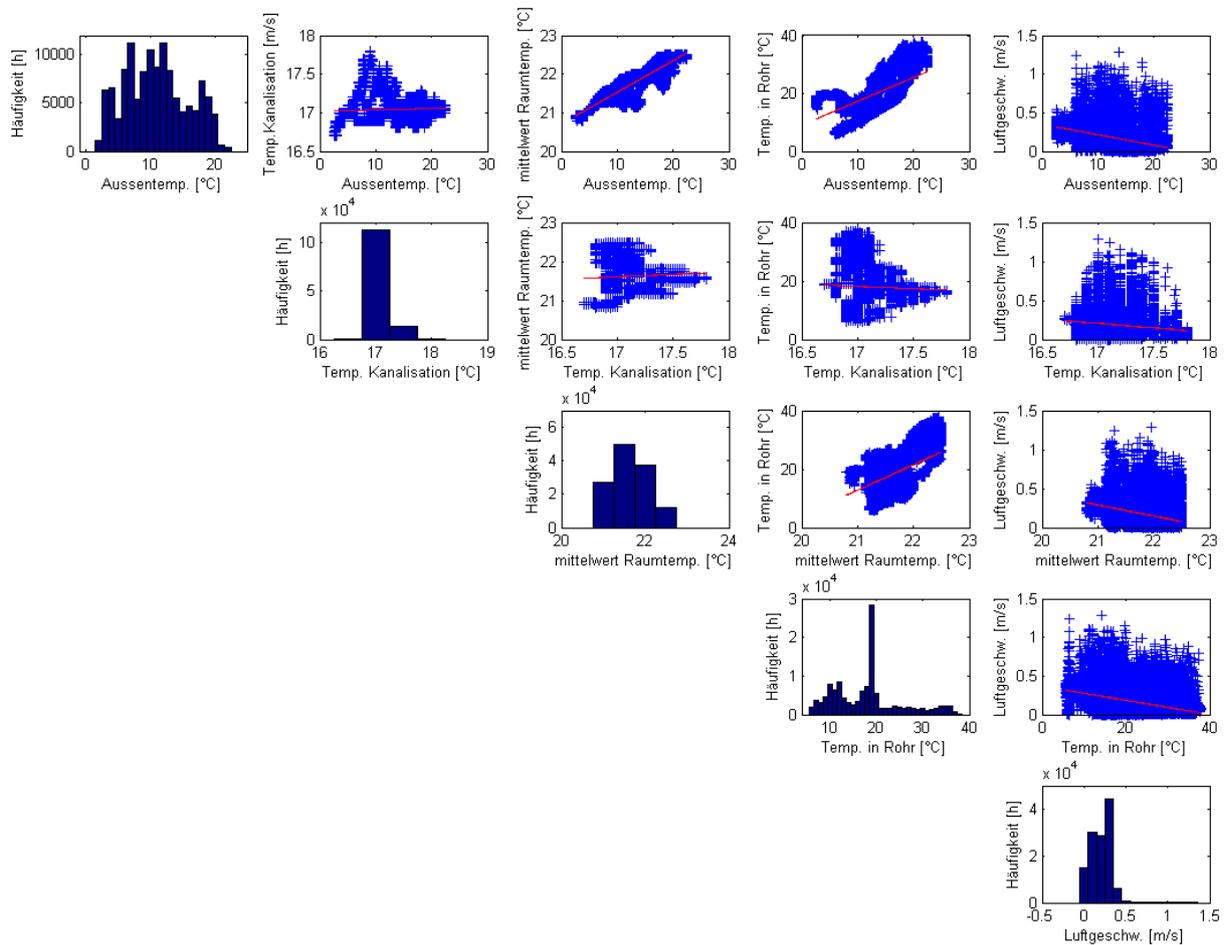


Abbildung 35: Abhängigkeiten der verschiedenen Parameter sowie die jeweiligen Histogramme (Messung E)

3.3.2. Messung F (ohne Belüftungsventil)

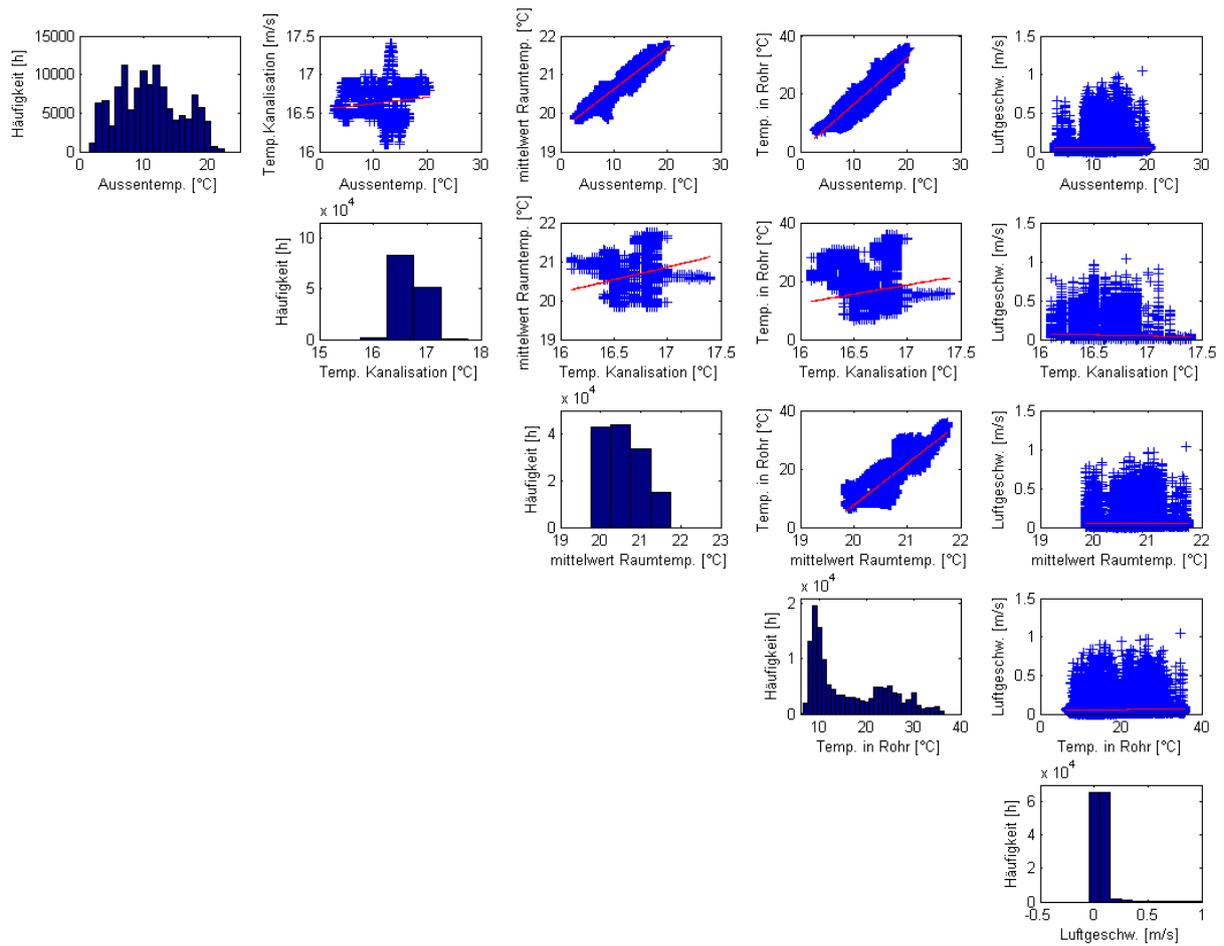


Abbildung 36: Abhängigkeiten der verschiedenen Parameter sowie die jeweiligen Histogramme (Messung F)

3.4. Leistungsberechnung

Die in der Abbildung 37 präsentierten Leistungen wurden gemäss den Formeln in Absatz 4.5 berechnet.

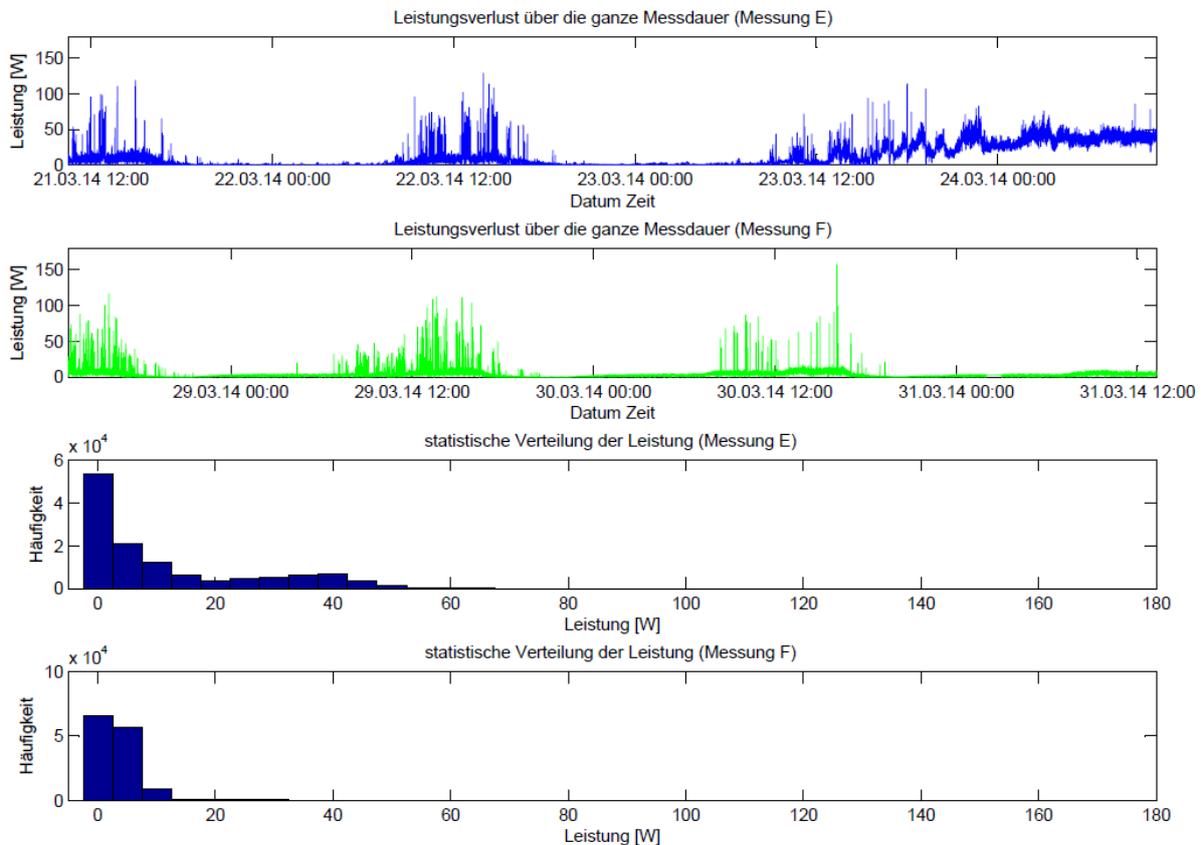


Abbildung 37: Leistungen und Histogramme der Messung E und F

3.5. Lineare Regression der Leistungen

Mit Hilfe der linearen Regression wird (wie unter Abschnitt 4.6 beschrieben) die durchschnittliche Leistung berechnet. Die Resultate sind in den unten aufgeführten Abbildung 38 und Abbildung 39 abgebildet. Messung E zeigt bei tiefer Aussenlufttemperatur einen sprunghaften Anstieg der Leistung. Dieses Verhalten verursacht eine grössere Steigung der Geraden. Dadurch geht schon bei 19°C Aussenlufttemperatur keine Energie mehr verloren. Das Verhalten der Leistung verglichen mit der Aussenlufttemperatur ist identisch wie bei Entlüftungsleitung 1. Wie erwartet ist der Verlust beim Verwenden eines Belüftungsventiles (Messung F) deutlich geringer als ohne Belüftungsventil (Messung E). Interessant ist das Verhalten der Messung F: Die Steigung der Geraden der linearen Regression ist im Gegensatz zu den vorherigen Messungen positiv. Verursacht wird dies durch die Ausreisser der erwähnten Spülungen. Vergleicht man den Verlust bei -20°C der Entlüftungsleitung 1 und 2 ohne aufgesetztes Belüftungsventil, fällt sofort auf, dass die Leistung bei Entlüftungsleitung 2 ungefähr 80% kleiner ist.

3.5.1. Messung E

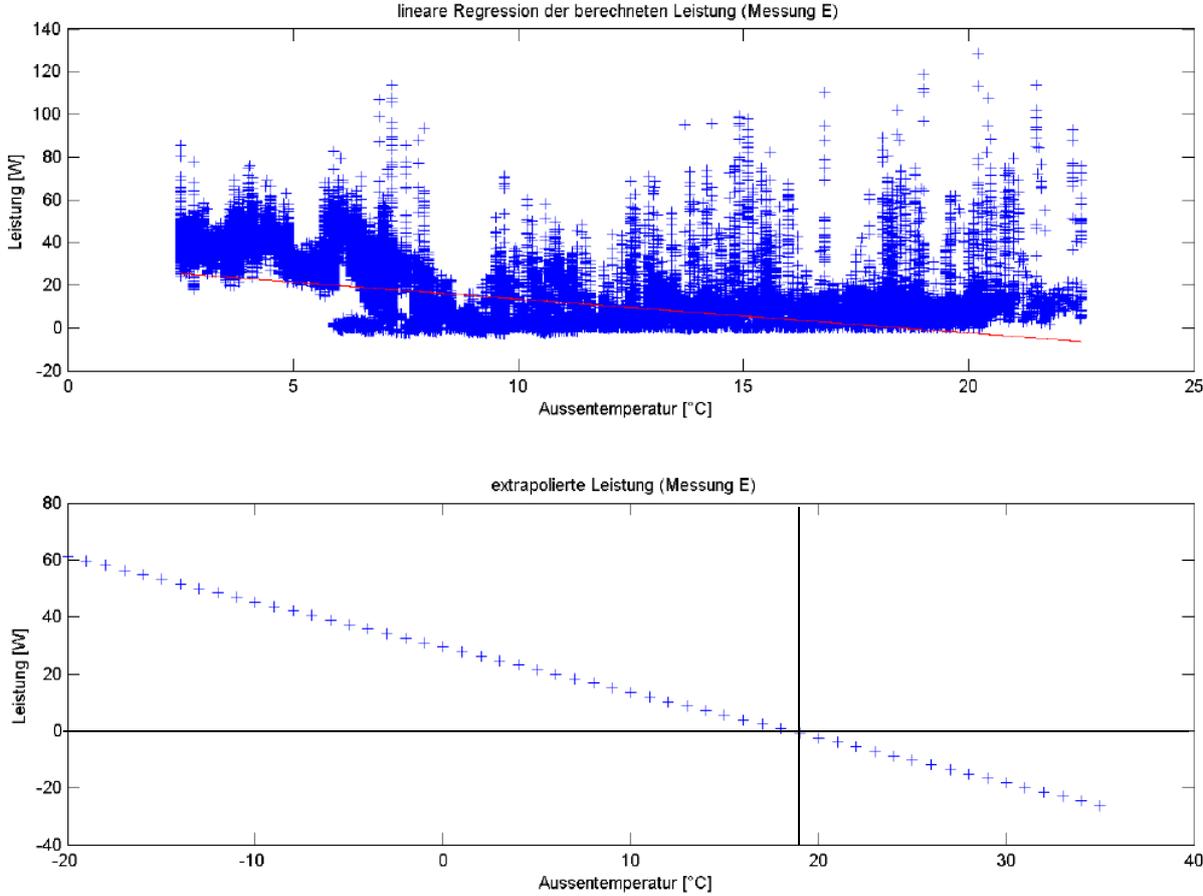


Abbildung 38: Oben: lineare Regression der berechneten Leistungen. Unten: Verlauf der Leistung über den ganzen Temperaturbereich von Messung E

3.5.2. Messung F

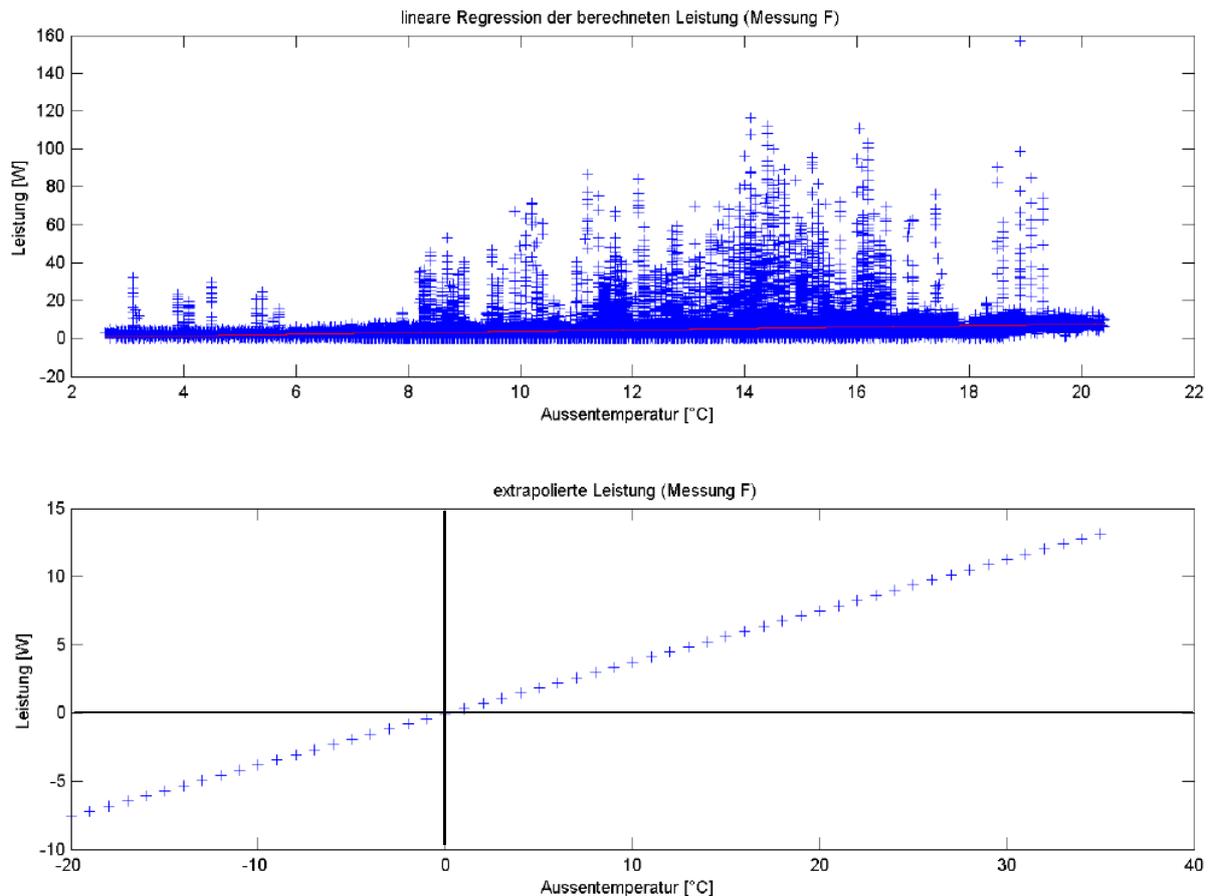


Abbildung 39: Oben: lineare Regression der berechneten Leistungen. Unten: Verlauf der Leistung über den ganzen Temperaturbereich von Messung F

3.6. Energieverlust

Der Berechnung des Energieverlustes erfolgt wie im Abschnitt 4.7 und 4.8 beschrieben. Die unten aufgeführten Diagramme (Abbildung 40) zeigen den berechneten Energieverlust bei den jeweiligen Aussenlufttemperaturen. Die Tabelle 25 enthält die Werte des aufsummierten Energieverlustes von -20°C bis 14°C , 18°C , 19°C und 21°C . Zum Vergleich: Der im Abschnitt 2.1 ermittelte Energieverlust für Entlüftungsleitung 2 beträgt 29.8kWh/a m (Tabelle 23). Der gemessene und auf ein Jahr hochgerechnete Energieverlust (-20 bis und mit 19°C) liegt bei 3.5kWh/a.m . Die Abweichung zwischen Berechnung und Messung liegt bei 88%. Diese Abweichung ist auf die grössere Steigung der Gerade, welche im Abschnitt 3.5 beschrieben wird, zurück zu führen. Die Abweichung wird durch die Energieberechnung verwendete Summenhäufigkeit verstärkt, da im Bereich zwischen 0 und 20°C viel mehr Stunden gemessen werden als zwischen -20 und 0°C . Auch die Berechnung der Energieverluste der Messung F (ohne Belüftungsventil) wird durch die Gerade beeinflusst. Trotzdem zeigen die Resultate auf, dass der Verlust nahe bei 0kWh/a.m ist.

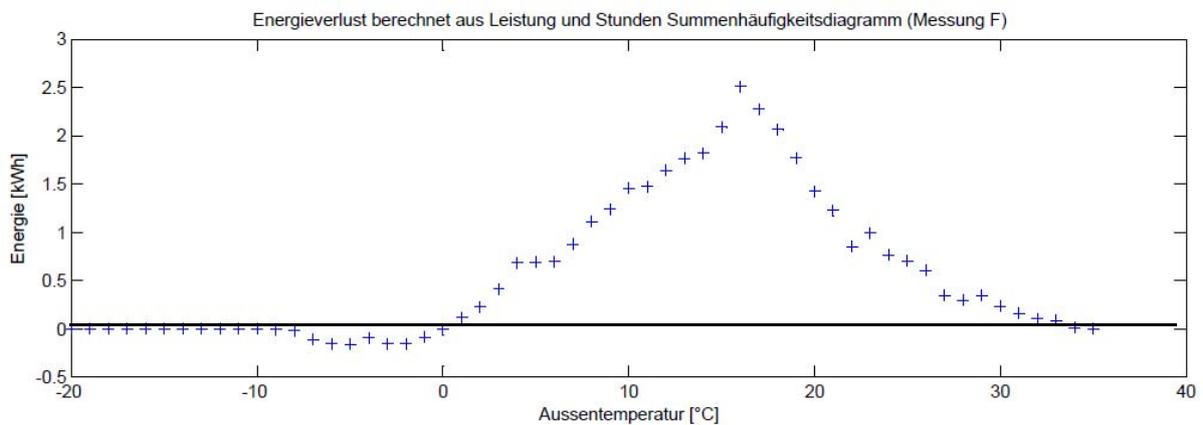
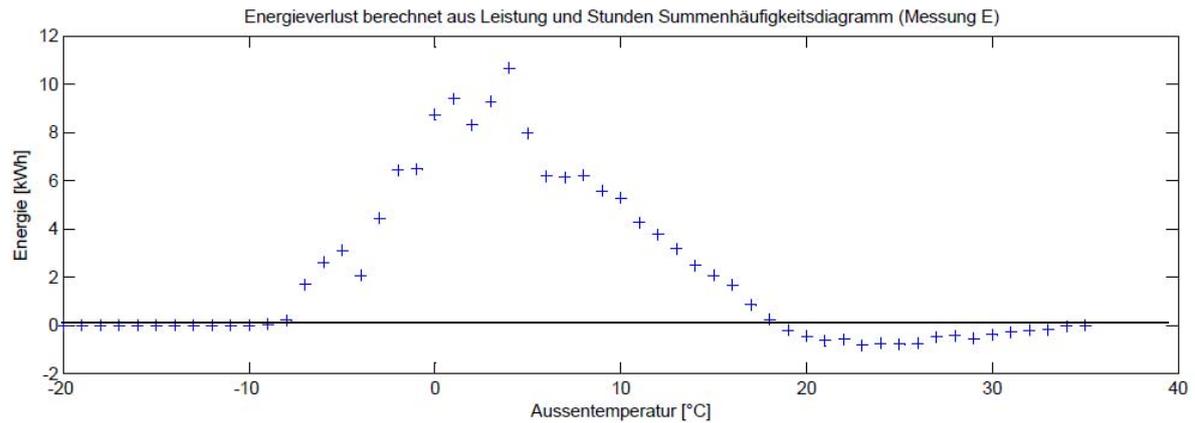


Abbildung 40: Energieverluste in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur. Oben: Messung E. Unten: Messung F

Tabelle 25: Energieverlust von -20°C bis 14°C, 18°C, 19°C und 21°C für Messungen E und F

Messung E (ohne Belüftungsventil)		Energieverlust von -20 bis 14°C	Energieverlust von -20 bis 18°C	Energieverlust von -20 bis 19°C
Energieverluste der gesamten Leitung	[kWh/a]	125	129	129
Leitungslänge	[m]	37.5	37.5	37.5
Energieverluste pro Laufmeter	[kWh/am]	3.3	3.5	3.5

Messung F (mit Belüftungsventil)		Energieverlust von -20 bis 14°C	Energieverlust von -20 bis 18°C	Energieverlust von -20 bis 21°C
Energieverluste der gesamten Leitung	[kWh]	13	22	27
Leitungslänge	[m]	37.5	37.5	37.5
Energieverluste pro Laufmeter	[kWh/am]	0.4	0.6	0.7

3.7. Fazit

Das Resultat der Entlüftungsleitung 2, ohne Verwendung des Belüftungsventils (Messung E), weichen sehr stark von der Berechnung ab. Einen grossen Einfluss auf die Energieverluste haben die an der Leitung angeschlossenen Entwässerungsgegenstände und dessen häufige Benutzung (Spülungen). Diese Spülungen haben auch einen grossen Einfluss auf die Verluste bei der Messung F (mit Belüftungsventil). Die Steigung der Gerade im Aussenluft-Leistungs-Diagramm ist im Gegensatz zur Entlüftungsleitung 1 positiv. Nicht zu vergessen ist der Einfluss, dass die Leitungsführung, -länge und -dimensionierung nicht mehr genau mit den Annahmen der Berechnungen in der ersten Studie übereinstimmt.

Trotzdem können einige Aussagen über die Entlüftungsleitung gemacht werden. Erstens, das Verhalten der gemessenen Temperaturen und Volumenstrom sind identisch zu der Entlüftungsleitung 1. Zweitens, wie bei der Entlüftungsleitung 1, verringert sich bei der Entlüftungsleitung 2 der Energieverlust durch den Einsatz von einem Belüftungsventil nahezu auf 0kWh/a.m.

Entlüftungsleitung 3

3.8. Volumenstrom und Temperatur in der Entlüftungsleitung

Mit den gemessenen Luftgeschwindigkeiten in der Entlüftungsleitung 3, werden gemäss Abschnitt 4.2 die Volumenströme berechnet. Maxima, Minima und Mittelwerte der Luftgeschwindigkeiten werden in der Tabelle 26 zusammengefasst. Der Verlauf der Luftgeschwindigkeit aus Messungen C und D sind in den folgenden Abbildungen auf der rechten resp. linken Seite aufgeführt. Dabei sind die Spülungen wiederum gut sichtbar. Die durchschnittliche Luftgeschwindigkeit (Messung D: 0.94m/s) bei Entlüftungsleitung 3 ohne Belüftungsventil ist verglichen mit den anderen zwei Messungen (Messung A: 0.7m/s, Messung E: 0.2 m/s) am höchsten. Bei Versuchen mit Belüftungsventil liegt die Luftgeschwindigkeit (Messung C: 0.05m/s) in der Entlüftungsleitung 3 zwischen der der Entlüftungsleitung 1 und 2 (0.04m/s und 0.06m/s).

Tabelle 26: Volumenströme in der Entlüftungsleitung 3

	Mittlere Luftgeschwindigkeit	
	[m/s]	
	Messung D (ohne Belüftungsventil)	Messung C (mit Belüftungsventil)
Maximum	4.90	3.28
Minimum	0.00	0.00
Mittelwert aus der Messreihe	0.94	0.05

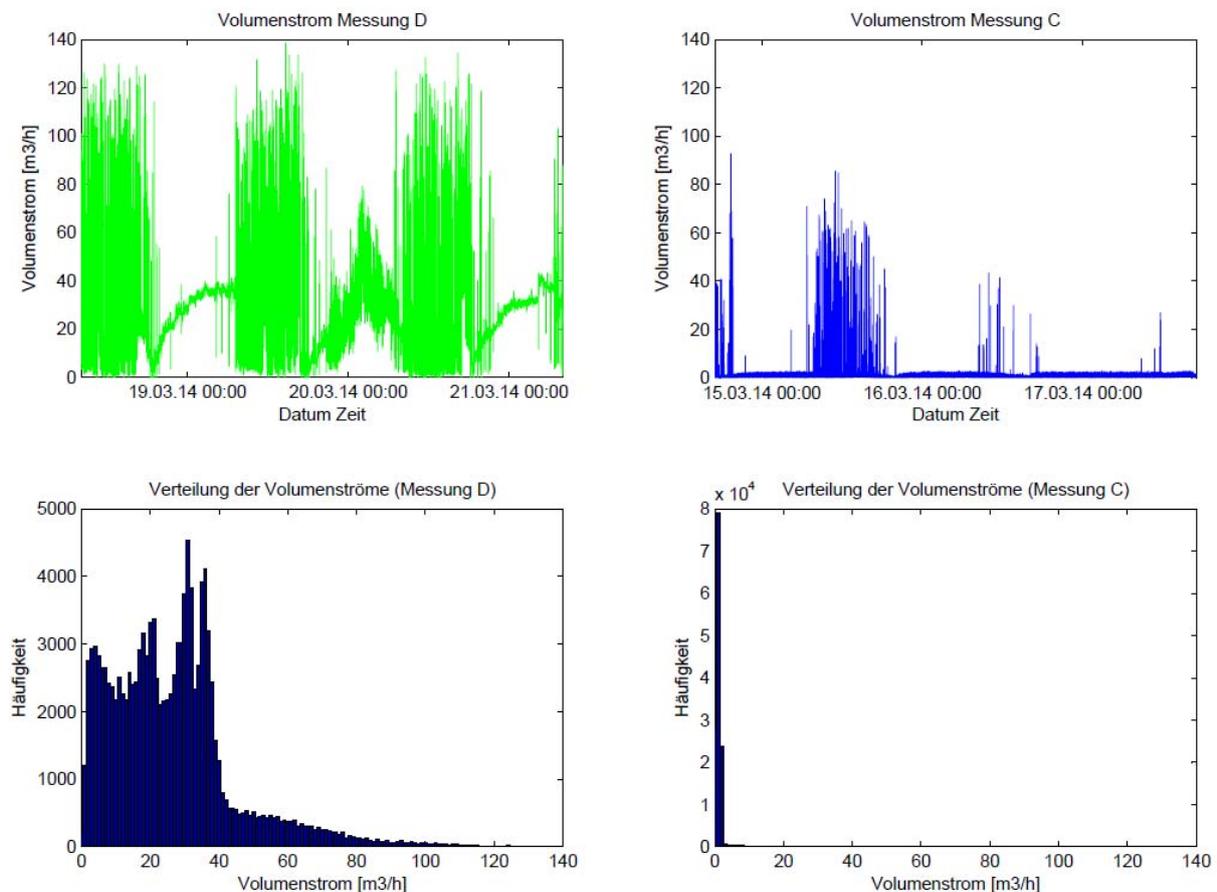


Abbildung 41: Maxima, Minima und Mittelwerte der Luftgeschwindigkeiten der Entlüftungsleitung 3

Die Entwicklungen des Volumenstroms, der Aussen- und Raumlufftemperatur sowie die Temperatur in der Lüftungsleitung werden in der folgenden Abbildungen aufgezeigt. Das Verhalten der Temperatur in Entlüftungsleitung 3 (Messung D, ohne Belüftungsventil) entspricht dem in Entlüftungsleitung 1. Solange nicht gespült wird bleibt die Temperatur konstant.

Grundsätzlich entspricht auch Messung C den vorausgegangenen Messungen der Entlüftungsleitungen mit Belüftungsventil. Jedoch kann der Verlauf der Temperatur am Nachmittag vom 15.03.2014 nicht mehr nachvollzogen werden. Die Verhaltensweise des Volumenstroms in der Rohrleitung entspricht den beiden zuvor beschriebenen Entlüftungsleitungen mit Einsatz eines Belüftungsventiles.

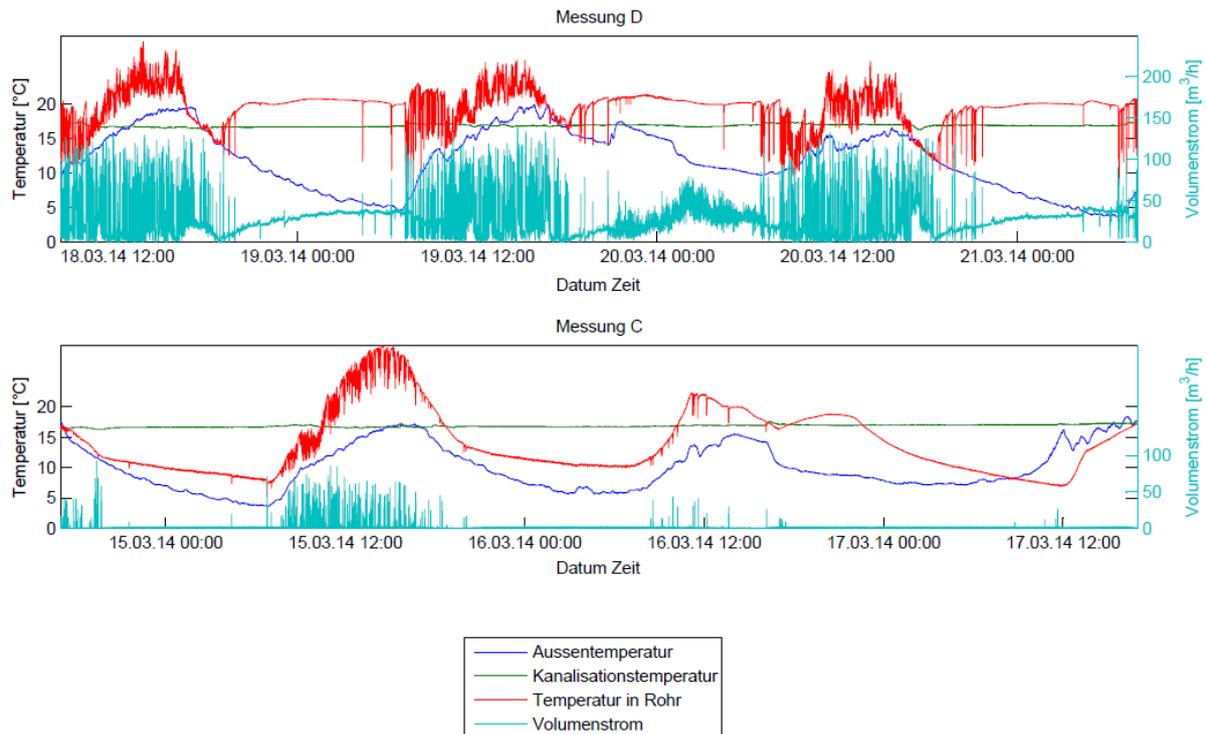


Abbildung 42: Aussen- und Raumlufftemperatur, Temperatur in der Kanalisation und der Volumenströme in Entlüftungsleitung 3

3.9. Windgeschwindigkeiten

Die Windgeschwindigkeit auf dem Dach vom Trakt III war vernachlässigbar tief (siehe Abbildung 43).

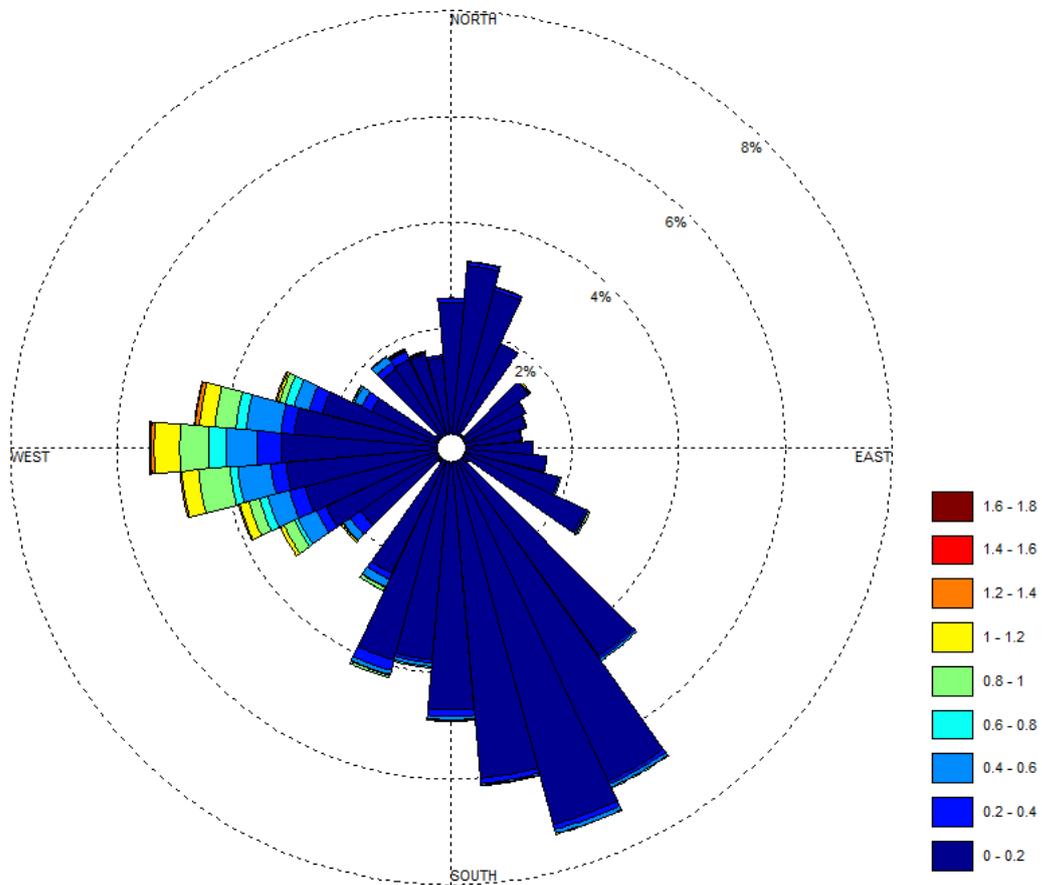


Abbildung 43: Windrose während den zwei Messungen an Entlüftungsleitung 3

3.10. Abhängigkeiten der gemessenen Werte

Die Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Parameter ist wie bei Entlüftungsleitung 1 (siehe Abschnitt 4.4) in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die Parameter, welche voneinander abhängig sind, bleiben dieselben wie schon in den vorher beschriebenen Entlüftungsleitungen 1 und 2.

3.10.1. Messung D (ohne Belüftungsventil)

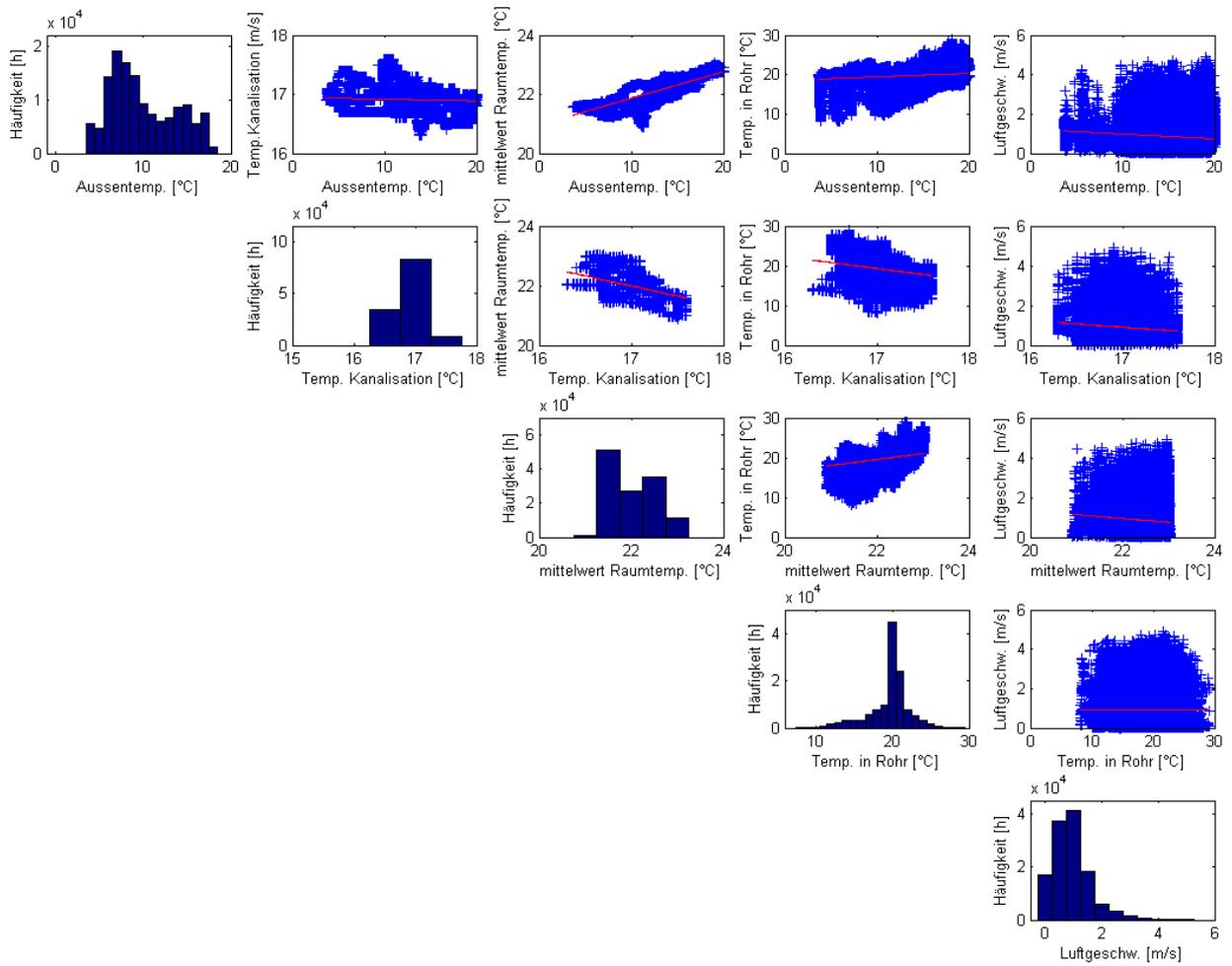


Abbildung 44: Abhängigkeiten der verschiedenen Parameter sowie die jeweiligen Histogramme (Messung D)

3.10.2. Messung C (mit Belüftungsventil)

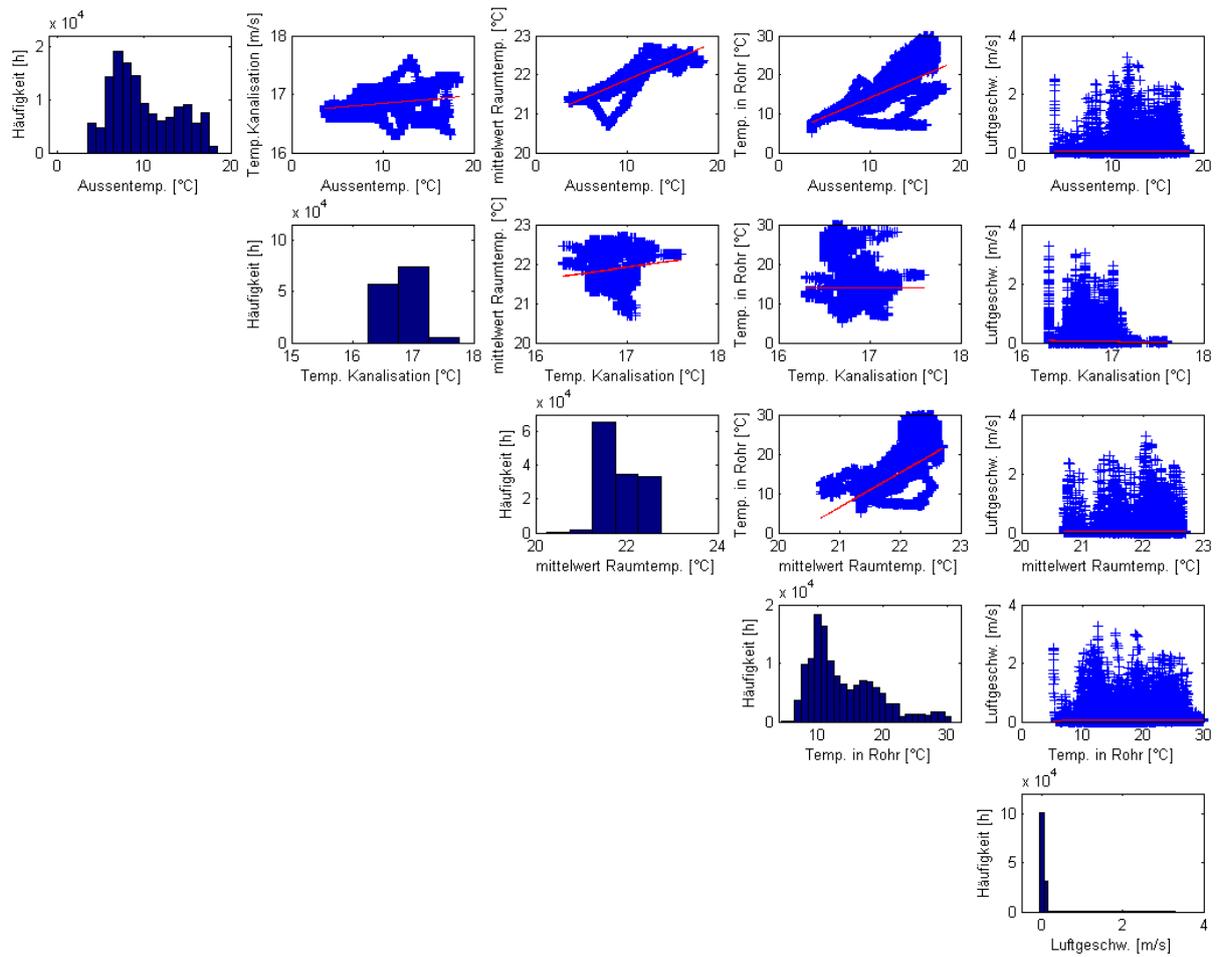


Abbildung 45: Abhängigkeiten der verschiedenen Parameter sowie die jeweiligen Histogramme (Messung C)

3.11. Leistungsberechnung

Die in der Abbildung 46 präsentierten Leistungen wurden gemäss Absatz 4.5 berechnet. Die Wirkung des Belüftungsventils wird mit diesen Messungen noch einmal nachgewiesen.

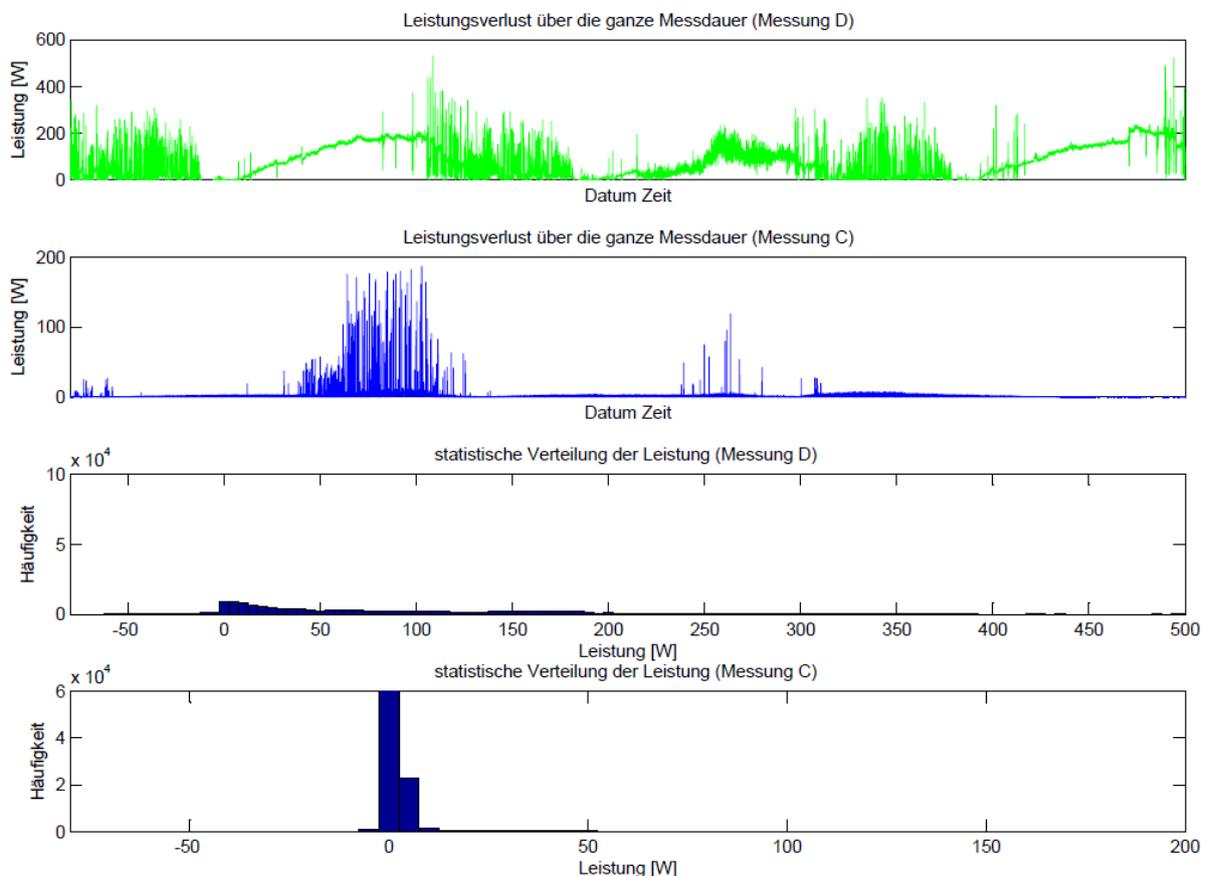


Abbildung 46: Leistungen und Histogramme der Messung D und C

3.12. Lineare Regression der Leistungen

Die Berechnungen wurden schon im Abschnitt 4.6 beschrieben. Die daraus folgenden Resultate sind in den Abbildung 47 und Abbildung 48 abgebildet. Entlüftungsleitung 3 verhält sich, ohne Belüftungsventileinbau, gleich wie bei den zuvor beschriebenen Leitungen. Die Steigung der Gerade wird, wie zuvor in der Entlüftungsleitung 2 (siehe Abschnitt 3.5) beschrieben, von den Spülungen der Entwässerungsgegenstände beeinflusst. Bei der Leitung 2 geht schon mit 18°C Aussenlufttemperatur keine Energie mehr verloren.

Beim Einsatz von einem Belüftungsventil, ist wie bei der Entlüftungsleitung 2 (Messung F) auch bei der Leitung 3 (Messung C) die Steigung der Gerade der positiv. Die Spülungen (siehe Abschnitt 3.5) verursachen die positive Steigung. Wenn die Messungen ohne Belüftungsventil verglichen werden, hat Entlüftungsleitung 3 bei -20 °C mit Abstand der grösste Leistungsverlust.

3.12.1. Messung D

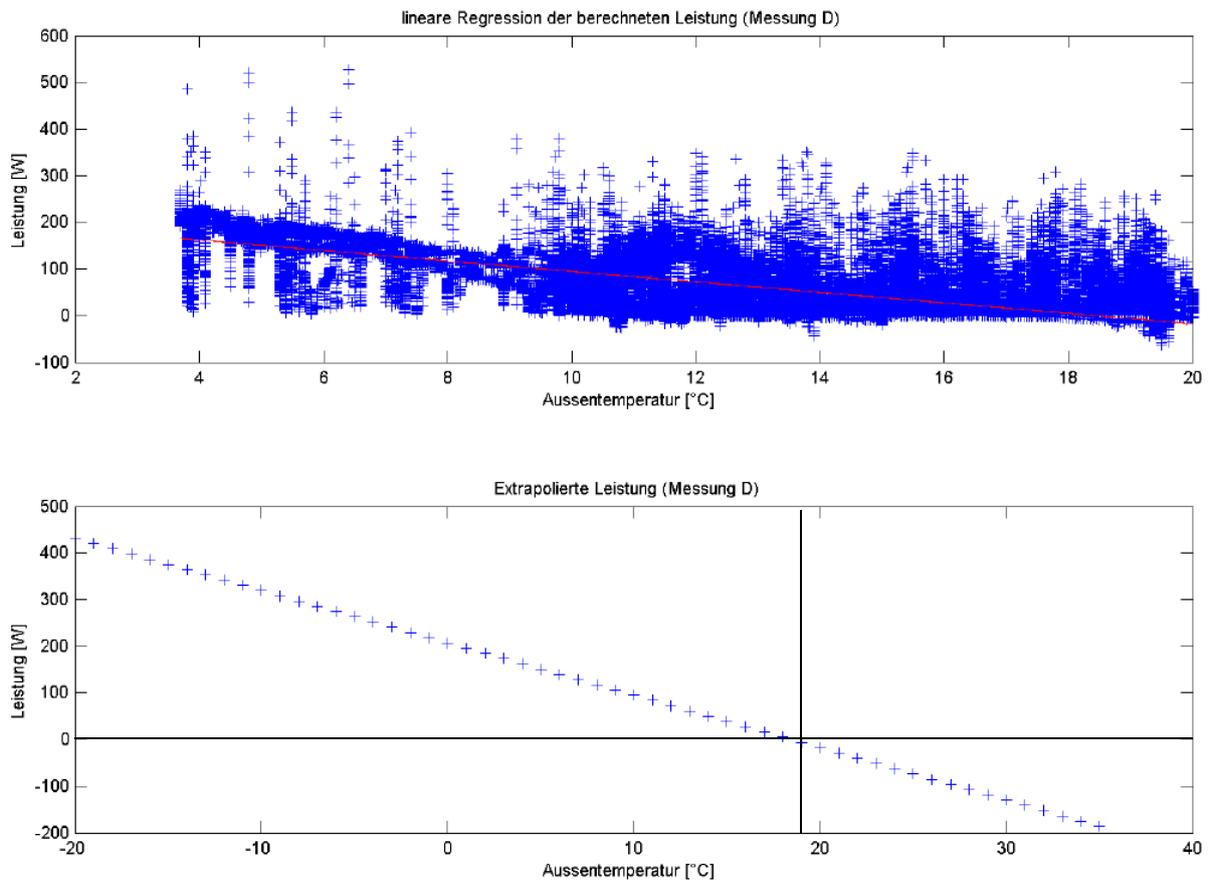


Abbildung 47: Oben: lineare Regression der berechneten Leistungen. Unten: Verlauf der Leistung über den ganzen Temperaturbereich von Messung D

3.12.2. Messung C

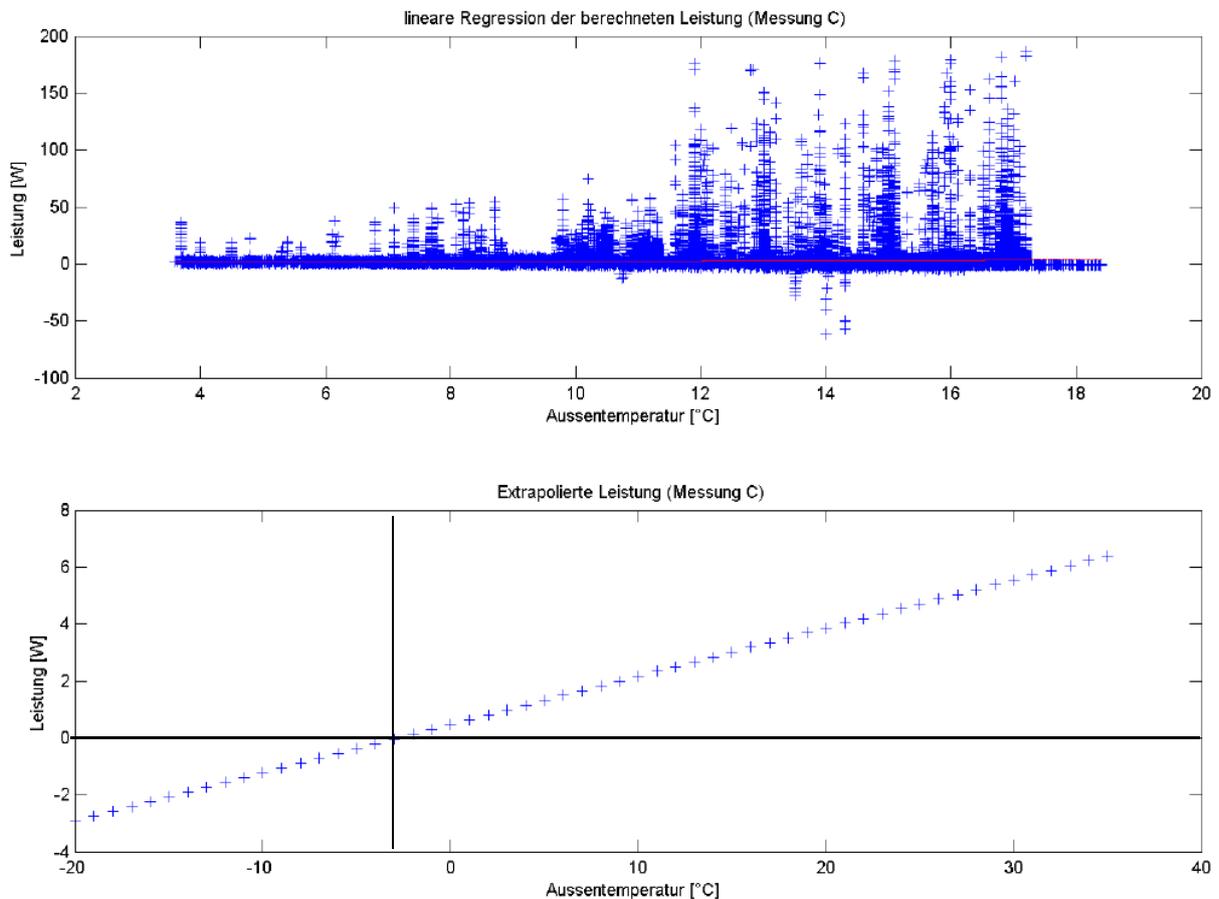


Abbildung 48: Oben: lineare Regression der berechneten Leistungen. Unten: Verlauf der Leistung über den ganzen Temperaturbereich von Messung C

3.13. Energieverlust

Der Berechnungen wurden gemäss Abschnitt 4.7 und 4.8 ausgeführt und dargestellt. Zum Vergleich: Der aus dem vorausgegangenem Bericht ermittelte Energieverlust für Entlüftungsleitung 3 beträgt 33.2kWh/a-m (Tabelle 23). Der gemessene und auf ein Jahr hochgerechnete Energieverlust (-20 bis und mit 18°C) liegt bei 15.4kWh/a-m. Die Abweichung zwischen Berechnung und Messung liegt bei 46%. Diese Abweichung ist auf die grössere Steigung der Gerade, welche im Abschnitt 3.5 beschrieben wird, zurück zu führen. Die Energieverluste mit Belüftungsventil verhalten sich bei der hier beschriebenen Entlüftungsleitung 3 gleich wie bei der Leitung 2 (siehe Abschnitt 3.6).

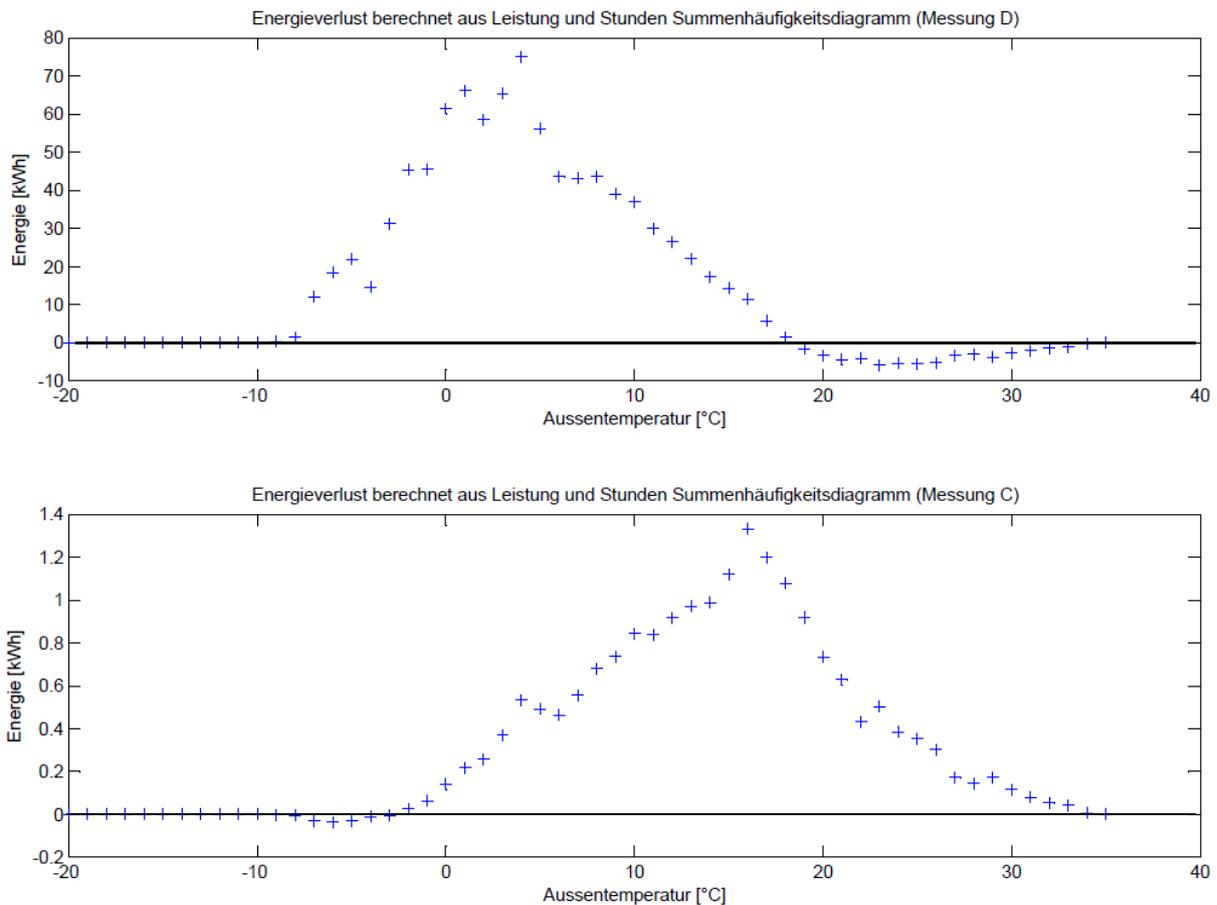


Abbildung 49: Energieverluste in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur. Oben: Messung D. Unten: Messung C

Tabelle 27: Totaler Energieverlust von -20°C bis 14°C, 18°C und 21°C für die Messung D und C

Messung D (ohne Belüftungsventil)		Energieverlust von -20 bis 14°C	Energieverlust von -20 bis 18°C
Energieverluste der gesamten Leitung	[kWh/a]	876	909
Leitungslänge	[m]	59.1	59.1
Energieverluste pro Laufmeter	[kWh/am]	14.8	15.4

Messung C (mit Belüftungsventil)		Energieverlust von -20 bis 14°C	Energieverlust von -20 bis 18°C	Energieverlust von -20 bis 21°C
Energieverluste der gesamten Leitung	[kWh]	9	14	16
Leitungslänge	[m]	59.1	59.1	59.1
Energieverluste pro Laufmeter	[kWh/m a]	0.2	0.2	0.3

3.14. Fazit

Der Energieverlust (15.4kWh/a·m) der Entlüftungsleitung 3, ohne Belüftungsventileinbau, weicht von der Berechnung (33.1kWh/a·m) ab. Auch das ist der Einfluss der Spülung extrem gross und verhindert eine plausible Berechnung der Energieverluste.

Der Einsatz von einem Belüftungsventil reduziert auch bei der Entlüftungsleitung 3 den Energieverlust nahezu auf 0kWh/a·m.