



Schlussbericht 28. November 2013

Wärmeverluste von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen

Studie zur Quantifizierung des Wärmeverlustes von Gebäuden über Funktionsöffnungen infolge Einrohrzirkulation

Auftraggeber:

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

Kofinanzierung:

Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Lindenhofstrasse 21, Amtshaus III, 8021 Zürich
Verband Schweizer Hafner- und Plattengeschäfte VHP, Solothurnerstrasse 236, 4603 Olten

Auftragnehmer:

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

Autoren:

Serge Mattli, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, serge.mattli@hslu.ch
Urs-Peter Menti, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, urs-peter.menti@hslu.ch
Roger Waser, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, roger.waser@hslu.ch

Begleitgruppe:

Martin Bürgler, Verband Schweizer Hafner- und Plattengeschäfte VHP, Solothurnerstrasse 236, 4603 Olten
Heinrich Huber, MINERGIE® Agentur Bau, St. Jakobs-Strasse 84, 4132 MuttENZ
Giorgio Morandini, OEKAG WasserTechnik AG, Bodenhof-Terasse 13a, 6005 Luzern
Franz Sprecher, Stadt Zürich Amt für Hochbauten, Lindenhofstrasse 21, 8021 Zürich

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

Die Vorstudie [1] zum Thema „Funktionsöffnungen“ konnte aufzeigen, dass die Wärmeverluste via Funktionsöffnungen mit bis zu 30% am gesamten Heizwärmebedarf einen signifikanten Anteil ausmachen können. Diese auf Abschätzungen beruhenden Aussagen werden in der vorliegenden Hauptstudie überprüft.

Absicht war, mittels detaillierter Berechnung (CFD-Simulation), für die häufigsten Funktionsöffnungen den Wärmeverlust über die Einrohrzirkulation zu bestimmen. Daraus wurde ein Katalog erstellt, mit dem die Fachplaner die Wärmeverluste einfach berücksichtigen können.

Die Resultate aus der Hauptstudie zeigen nun auf, dass die Wärmeverluste über Funktionsöffnungen infolge Einrohrzirkulation nicht so gross sind wie die Vorstudie es vermuten liess. Gemäss der vorliegenden Studie beträgt der Wärmeverlust je nach Gegebenheit aber immer noch bis zu 5% des gesamten Heizwärmebedarfs eines Einfamilienhauses.

Die Wärmeverluste lassen sich durch das Anbringen einer Rohr-Dämmung von 25mm um ca. 50 % verringern. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf den Wärmeverlust ist der Durchmesser der Funktionsöffnung. Der Wärmeverlust nimmt überproportional zu bei grösseren Durchmessern. Eine Überdimensionierung bei der Planung ist dadurch zwingend zu vermeiden.

Mit Hilfe der erarbeiteten Wärmeverlusttabellen können die Wärmeverluste über die Funktionsöffnungen im Berechnungsverfahren nach SIA 380/1:2009 [3] bei Bedarf berücksichtigt und quantifiziert werden.

Summary

The preliminary studies [1] on the subject “function openings” could reveal that heat losses over function openings can represent up to 30% and thus account for a major part of the total heat losses. This statement based on estimations will be verified in the present main study.

The goal was, by means of detailed calculations (CFD simulations), to determine the heat loss of most function openings over one pipe circulation. A catalogue was compiled out of the results in order for the qualified planners to consider these heat losses.

The results of the main study show that the heat losses of function openings due to the one pipe circulation are lower than assumed in the preliminary study. According to the present study, the heat losses still represent up to 5% of the total heat losses of a single family house depending on the structural condition.

The heat losses can be reduced by about 50% with 25mm thick surrounded pipe insulation. Another important parameter that influences the heat losses is the diameter of the function opening. The heat losses increase disproportionately by raising the diameter. An oversizing of the pipes is at planning stage imperatively to be avoided.

With the aid of the heat loss tables, the heat losses of function openings can be considered and quantified if required for the SIA 380/1:2009 calculations.

Résumé

L'étude préalable [1] au sujet des „prises d'air“ des bâtiments a montré que les pertes de chaleur à travers les prises d'air pouvaient constituer jusqu'à 30% du besoin total en chaleur de chauffage. Ces déclarations basées sur des estimations vont être vérifiées dans cette étude approfondie.

A l'aide de calculs détaillés (simulation CFD), le but était de déterminer les pertes de chaleur pour la plupart des prises d'air par circulation monotube. À partir de ces calculs, un catalogue a été dressé, afin que les planificateurs puissent prendre en compte simplement ces pertes de chaleur.

Les résultats de cette étude approfondie démontrent que les pertes de chaleur à travers les prises d'air par circulation monotube ne sont pas si élevées que celles estimées dans l'étude préalable. Selon l'étude présente, les pertes de chaleur s'élèvent au gré des circonstances jusqu'à 5% du besoin en chaleur de chauffage d'une maison individuelle.

Les pertes de chaleur peuvent être diminuées de 50% en appliquant une isolation de tuyau de 25mm. Le diamètre des prises d'air est un autre facteur déterminant pour les pertes de chaleur. Les pertes de chaleur croissent disproportionnellement en augmentant le diamètre. Pour cette raison, il est indispensable durant la planification de ne pas surdimensionner la tuyauterie.

Au moyen du tableau élaboré des pertes de chaleur, il est possible de tenir compte de ces pertes et de les quantifier si nécessaire dans le calcul de la SIA 380/1:2009 [3].

Glossar

Energiebezugsfläche (EBF)	Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist. Diese Fläche ist in der SIA 416/1 [6] im Detail definiert.
Funktionsöffnungen	Funktionsöffnungen sind technische Installationen die den Betrieb eines Gebäudes sicherstellen und welche eine direkte Verbindung zum Aussenklima aufweisen.
Heizwärmebedarf (Q_h)	Wärme, die dem beheizten Raum durch eine Heizungsanlage zugeführt werden muss, um den Sollwert der Raumtemperatur aufrecht zu erhalten.
Infiltration	Mit Infiltration wird der natürliche Luftwechsel über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle bezeichnet.
Schwitzwasser	Das Tau- oder Schwitzwasser ist besser als Kondenswasser bekannt und ist Wasser, welches sich an der Oberfläche von kühlen Gegenständen niederschlägt.
Wärmebrücke	Eine Wärmebrücke ist ein Bereich in Bauteilen eines Gebäudes, durch den die Wärme schneller nach außen transportiert wird, als durch die anderen Bauteile.
Wärmedämmperimeter / Dämmperimeter	Der Wärmedämmperimeter bezeichnet den Verlauf des Hauptwärmewiderstandes durch ein Gebäude oder auch durch eine Konstruktion. Der Wärmedämmperimeter verläuft an der Stelle des geringsten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) an einer Konstruktion.

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage	9
2.	Zielsetzung	9
3.	Wärmeverluste von Funktionsöffnungen	9
3.1.	Berücksichtigte Wärmeverluste	10
3.2.	Nicht berücksichtigte Wärmeverluste.....	10
4.	Untersuchte Funktionsöffnungen	12
4.1.	Kategorisierung der Funktionsöffnungen	12
4.2.	Untersuchte Funktionsöffnungen	13
4.2.1.	Entlüftungsleitungen (Sanitär) – Gruppe 2	13
4.2.2.	Küchenabluftanlagen – Gruppe 1	14
4.2.3.	Einzelraumlüftung – Gruppe 1	14
4.2.4.	Abgasanlagen Cheminées und Schwedenöfen – Gruppe 1	14
4.2.5.	Dachentwässerung innenliegend – Gruppe 2	14
5.	Vorgehen.....	15
6.	Messungen.....	16
6.1.	Messung Abgasanlage Schwedenofen	16
6.1.1.	Resultate Rauchrohr Schwedenofen.....	16
6.2.	Wärmeverlustmessung an der Prüfbox	17
6.2.1.	Resultate Messungen an der Prüfbox	17
7.	Validierung des Simulationsmodelles	19
7.1.	Kontrolle der Strömung im Rohr in der Realität und bei der Simulation	20
8.	Parameterstudie	21
8.1.	Rahmenbedingungen der Simulationen	21
8.2.	Untersuchte Parameter bei den Funktionsöffnungen Gruppe 1	21
8.3.	Untersuchte Parameter bei den Funktionsöffnungen Gruppe 2	22
8.4.	Resultate Parameterstudie Gruppe 1	24
8.5.	Fazit Wärmeverlust über die Funktionsöffnungen der Gruppe 1	29
8.6.	Resultate Parameterstudie Gruppe 2	30
8.7.	Fazit Wärmeverlust über die Funktionsöffnungen der Gruppe 2	34
9.	Wärmeverlusttabellen	35
9.1.	Wärmeverlusttabelle Gruppe 1	35
9.1.1.	Ablesebeispiel der Wärmeverlusttabelle Gruppe 2	35
9.2.	Wärmeverlusttabelle Gruppe 2	36
10.	Untersuchung Einfluss auf den Wärmebedarf eines EFH	38
10.1.	Vergleich mit der Vorstudie.....	39
11.	Fazit und Ausblick	41
11.1.	Fazit	41
11.2.	Ausblick.....	41
12.	Literaturverweise	42
Anhänge		43
A 1.	Messbericht Abgasanlage Schwedenofen.....	44
A 1.1.	Zusammenfassung	44
A 1.2.	Ausgangslage	44
A 1.3.	Messobjekt, Messort, Datum der Messung	45
A 1.4.	Messverfahren	45
A 1.5.	Messresultate.....	45
A 1.5.1.	Temperaturdifferenz über die Klappe	45
A 1.5.2.	Differenz Raumlufttemperatur zur Oberflächentemperatur Rauchrohr	46
A 1.6.	Bilder mit der Infrarotkamera	48
A 1.7.	Fazit	48
A 1.8.	Messeinrichtung	50
A 1.9.	Spezifikationen Messgeräte	51

A 2.	Messbericht Messungen Prüfbox.....	52
A 2.1.	Zusammenfassung	52
A 2.2.	Ausgangslage	52
A 2.3.	Grundlagen zu den Messungen	53
A 2.3.1.	Messobjekt.....	53
A 2.4.	Messort	54
A 2.5.	Datum der Messungen.....	54
A 2.6.	Messverfahren	55
A 2.7.	Messresultate	55
A 2.7.1.	Messung 1 - Prüfbox ohne Funktionsöffnung.....	55
A 2.7.2.	Messung 2 - Prüfbox ohne Funktionsöffnung.....	55
A 2.8.	Verlust über die Funktionsöffnung	56
A 2.9.	Fazit	57
A 2.10.	Messeinrichtung.....	58
A 2.11.	Spezifikationen Messgeräte	59
A 3.	Berechnung der Wärmeverlusttabellen.....	60
A 3.1.	Interpolation der Wärmeverlusttabelle Funktionsöffnungen der Gruppe 1	60
A 3.2.	Interpolation der Wärmeverlusttabelle Funktionsöffnungen der Gruppe 2	61
A 4.	Wärmeverlusttabellen	62
A 4.1.	Gruppe 1, Vertikal	63
A 4.2.	Gruppe 1, Horizontal	64
A 4.3.	Gruppe 2, Länge 5 Meter	65
A 4.4.	Gruppe 2, Länge 10 Meter	66
A 4.5.	Gruppe 2, Länge 15 Meter	67
A 4.6.	Gruppe 2, Länge 20 Meter	68
A 4.7.	Gruppe 2, Länge 25 Meter	69
A 5.	Berechnung Heizenergiebedarf nach SIA 380/1	70
A 5.1.	Einfamilienhaus Heizenergiebedarf nach dem gesetzlichen Standard mit allen Funktionsöffnungen (Gruppe 1 und Gruppe 2).....	70

1. Ausgangslage

Die Vorstudie [1] zum Thema „Funktionsöffnungen“ konnte aufzeigen, dass die Wärmeverluste via Funktionsöffnungen vor allem bei gut gedämmten Neubauten aber auch bei Altbauten einen signifikanten Anteil am gesamten Wärmeverlust ausmachen können. Diese auf Abschätzungen beruhenden Aussagen werden in der vorliegenden Hauptstudie überprüft. Zudem wird für die häufigsten Funktionsöffnungen der Wärmeverlust infolge Einrohrzirkulation und infolge Wärmeleitung quantitativ in ausreichender Präzision ermittelt. Die Ergebnisse werden ähnlich zum bekannten Wärmebrückenkatalog dargestellt. Dieser Funktionsöffnungskatalog ermöglicht es dem Planer, den durch die geplanten Funktionsöffnungen verursachten Wärmeverlust abschätzen zu können, ohne dass er selber aufwändige Berechnungen durchführen muss. Dieses Verfahren kann auch als Basis für eine Berücksichtigung der Wärmeverluste von Funktionsöffnungen im Energiebedarfsnachweis nach Norm SIA 380/1:2009 [3] verwendet werden. Ein Antrag zur Integration der Funktionsöffnungen in die Norm ist bei der entsprechenden Kommission deponiert. Bei der nächsten grösseren Überarbeitung der Norm wird die Integration des Themas „Funktionsöffnungen“ geprüft werden.

Die Vorstudie „Wärmeverluste von Funktionsöffnungen – Vorstudie zur Quantifizierung des Wärmeverlustes von Gebäuden über Funktionsöffnungen infolge Einrohrzirkulation“ erlaubt die Identifizierung der wichtigsten Funktionsöffnungen welche in der Hauptstudie genauer untersucht werden. In erster Linie erfolgt dies mittels CFD-Simulationen, wobei die Simulationsergebnisse durch Messungen im Labor überprüft werden sollen. Gleichzeitig sollen die Resultate mit den Abschätzungen aus der Vorstudie verglichen werden.

Die Ergebnisse (Wärmeverluste von Funktionsöffnungen infolge Konvektion und Leitung) sollen in einem Katalog übersichtlich dargestellt werden.

2. Zielsetzung

Aufgrund der detaillierten Berechnung der Wärmeverluste über die Einrohrzirkulation mittels CFD-Simulationen soll für die häufigsten Funktionsöffnungen ein Katalog erstellt werden. Dieser Funktionsöffnungskatalog soll ähnlich des BFE-Wärmebrückenkatalogs aufgebaut sein und dazu dienen, die Wärmeverluste über die Funktionsöffnungen in den relevanten Normen (vornehmlich SIA 384.201[8] und SIA 380/1:2009 [3]) mit relativ geringem Aufwand berücksichtigen zu können. Neben den durch Konvektion entstehenden Wärmeverlusten werden ergänzend auch die durch Wärmeleitung entstehenden Wärmeverluste („Wärmebrücken“) dieser Funktionsöffnungen quantifiziert.

3. Wärmeverluste von Funktionsöffnungen

Jede Funktionsöffnung führt zu einem Wärmeverlust, da sie in direktem Kontakt mit dem Aussenklima steht. In der vorliegenden Studie werden nur statische Zustände betrachtet. Das heisst die Wärmeverluste bei Stillstand der Anlagen. Der Wärmeverlust kann über drei verschiedene Arten erfolgen.

1. Infiltration / Exfiltration

Durch die direkte Verbindung des Raumklimas mit dem Aussenklima wird infolge Unter-, respektive Überdruck ein Luftaustausch erzeugt (natürliche Konvektion). Eine exemplarische Unterdruck-, respektive Überdrucksituation ist in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt.

2. Wärmebrücken

Bei der Durchdringung der thermischen Gebäudehülle entsteht durch die Funktionsöffnung eine Wärmebrücke.

3. Einrohrzirkulation (Auskühlung durch thermische Auftriebsströmung)

Die Einrohrzirkulation entsteht, wenn keine Infiltration / Exfiltration auftritt. Dies ist dann der Fall, wenn sich Klappen oder Flüssigkeitssäulen in den Funktionsöffnungen befinden.

Bei Stillstand der Anlage kühlt die Luft im Rohr aus und die Wärmeenergie aus dem Raum (Schacht) wird über die Dämmung (falls vorhanden) und die Rohrwand an die Luft im Rohr abgegeben. Die Luft erwärmt sich und steigt aufgrund der geringeren Dichte nach oben.

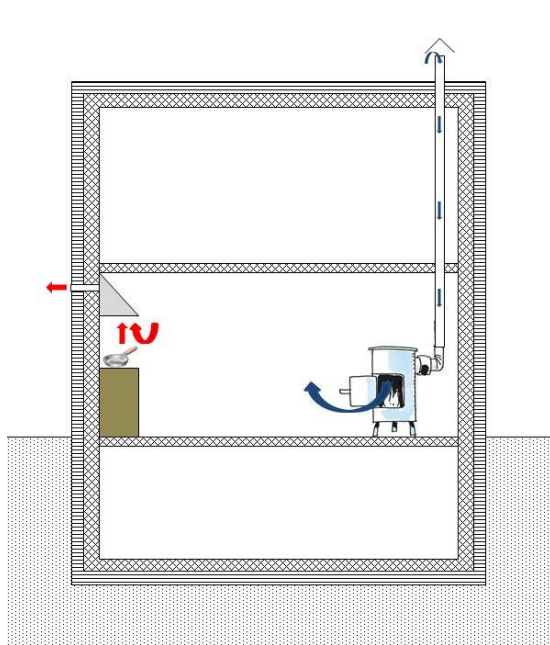


Abbildung 1: Wärmeverlust durch Unterdruck

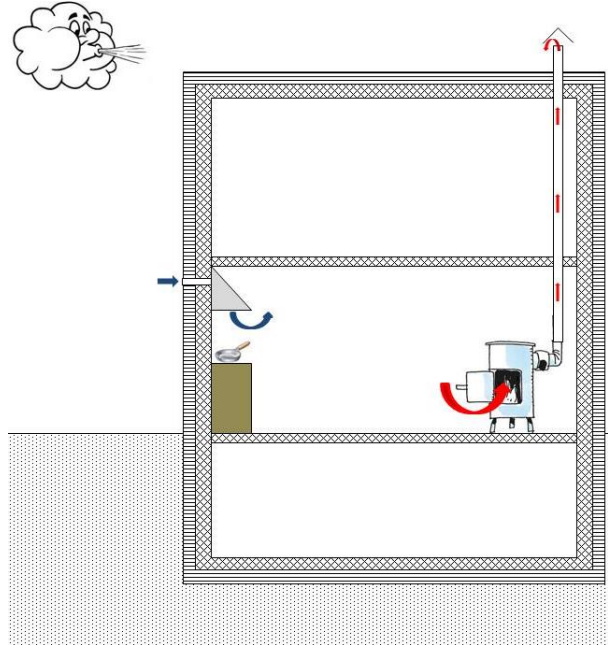


Abbildung 2: Wärmeverlust infolge Überdruck

3.1. Berücksichtigte Wärmeverluste

Für das Thema relevant ist die Norm SIA 380/1 [3] „Thermische Energie im Hochbau“. In dieser werden die Wärmebrücken sowie die Luftleckagen durch Infiltration berücksichtigt. Der Infiltration über die Gebäudehülle wird im Nachweis mittels nutzungsabhängigen Standardwerten Rechnung getragen (siehe SIA 380/1: 2009 [3]). Diese Standardwerte berücksichtigen den durch Abluftanlagen z.B. in Küchen, Badzimmern und WC verursachten Aussenluft-Volumenstrom.

Verluste über Wärmebrücken, welche infolge Funktionsöffnungen entstehen, sind im Wärmebrückenkatalog nicht aufgeführt und werden als solche in der gängigen Praxis auch nicht explizit berücksichtigt.

In der Studie werden die Wärmeverluste infolge Einrohrzirkulation und der durch die Durchdringung des Dämmperrimeters entstehenden Wärmebrücken untersucht. Dabei wird der Wärmeverlust pro Funktionsöffnung als Summe zwischen diesen beiden Verlustarten angegeben.

3.2. Nicht berücksichtigte Wärmeverluste

Nicht berücksichtigt werden die Wärmeverluste, welche durch Infiltration, respektive Exfiltration entstehen. Wie unter 3.1 beschrieben werden die Luftleckagen durch Infiltration bereits heute im Energienachweis berücksichtigt. Ebenfalls nicht untersucht werden die Verluste durch einen Luftaustausch infolge einer Exfiltration, wenn beispielsweise durch eine Windanströmung ein Unterdruck in der Funktionsöffnung entsteht. Die Berücksichtigung dieses Phänomens wäre derart komplex und aufwändig, dass es den Rahmen dieser Studie sprengen würde. Wollte man dies berücksichtigen, müssten diverse, schwierig definierbare Parameter berücksichtigt werden (Windverhältnisse, Lage des Austrittes der Funktionsöffnung, Dachgeometrie etc.).

Funktionsöffnungen welche in der Dämmung geführt werden (was vor allem bei Sanierungen vorkommen kann), werden in der Studie ebenfalls nicht berücksichtigt (siehe Abbildung 3). Diese Anordnung der Funktionsöffnung ist im Wesentlichen eine Schwächung der Dämmung und kann vereinfacht mittels eines gängigen Wärmebrückenprogrammes berechnet werden.



Abbildung 3: Dachabwasser im Dämmperimeter verlegt (Quelle: © OEKAG EnergyStop®)

4. Untersuchte Funktionsöffnungen

In der Vorstudie [1] „Wärmeverluste von Funktionsöffnungen“ wurden folgende bekannten Funktionsöffnungen bei Wohngebäuden aufgeführt:

- Entlüftungsleitungen (Sanitär)
- Aussenluft- und Fortluftleitungen
- Dachentwässerungen innenliegend
- Küchenabluftanlagen
- Einzelraumentlüftungen (Beispielsweise innenliegende Nasszellen)
- Abgasanlagen
- Verbrennungsluftzufuhr
- Nachströmöffnungen
- Elektrische Festinstallationen
- Liftschacht
- Leerrohre
- Technische Geräte (Wäschetrockner u.ä.)
- Mechanische RWA

4.1. Kategorisierung der Funktionsöffnungen

Aufgrund der grossen Anzahl von verschiedenen Funktionsöffnungen wurde festgelegt, dass in der Studie nur eine reduzierte Anzahl Funktionsöffnungen berücksichtigt werden kann. Dabei wurden in Absprache mit den Projektpartnern alle Funktionsöffnungen einer von drei Kategorien zugeteilt.

Kategorie A	Werden zwingend untersucht in der Studie
Kategorie B	Werden bei ausreichender Kapazität untersucht
Kategorie C	Werden nicht untersucht

Tabelle 1: Kategorien von Funktionsöffnungen

Eine Zuteilung in die Kategorie C erfolgte aufgrund der folgenden Überlegungen:

Beschrieb Funktionsöffnung	Begründung für Weglassen
Aussenluft- und Fortluftleitungen einer Komfortlüftung	Annähernd dauernd in Betrieb, dadurch kann fast nie eine Einrohrzirkulation entstehen
Nachströmöffnungen	Werden selten eingebaut, nicht relevant
Liftschächte	Sehr komplexe Zusammenhänge, übersteigt Rahmen dieser Studie (ein Merblatt [2] zu diesem Thema existiert bereits)
Elektrische Festinstallationen	Wärmeverluste können mittels Abdichtungen verhindert werden
Leerrohre	Wärmeverluste können mittels beidseitigem Schliessen vermieden werden

Tabelle 2: Begründung Einteilung der Funktionsöffnungen in die Kategorie C

Kategorie A	Kategorie B
Entlüftungsleitungen	Verbrennungsluftzufuhr
Küchenabluftanlagen	Abgasanlagen von Kesselanlagen
Einzelraumentlüftung	Technische Geräte
Abgasanlagen Cheminées und Schwedenöfen	Mechanische RWA
Dachentwässerungen innenliegend	

Tabelle 3: Zuweisung der Funktionsöffnungen zu den entsprechenden Kategorien für die Untersuchung

Für die Simulationen werden die untersuchten Funktionsöffnungen in zwei Gruppen aufgeteilt. Dies, da mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen gerechnet werden muss. Die beiden Gruppen unterscheiden sich dadurch, dass eine Gruppe eine direkte Verbindung mit der Raumluft aufweist und die andere eine direkte Verbindung mit der Kanalisation aufweist. Aus diesem Grund sind die Rahmenbedingungen für die Simulationen verschieden. In Tabelle 4 sind die beiden Gruppen mit den dazugehörigen Funktionsöffnungen aufgeführt.

Gruppe 1: FÖ mit Verbindung zur Raumluft	Gruppe 2: FÖ mit Verbindung zur Kanalisation
Einzelraumentlüftungen	Entlüftungsleitungen (Sanitär)
Küchenabluftanlagen	Dachentwässerungen innenliegend
Abgasanlagen Cheminées und Schwedenöfen	

Tabelle 4: Gruppierung der Funktionsöffnungen

4.2. Untersuchte Funktionsöffnungen

Nachfolgend werden die den entsprechenden Gruppen zugeteilten Funktionsöffnungen aufgeführt und umschrieben:

4.2.1. Entlüftungsleitungen (Sanitär) – Gruppe 2

Lüftungsleitungen dienen der Luftzirkulation und haben die Aufgabe, die benötigte Luft in kurzer Zeit bis zu den Geruchsverschlüssen zu leiten, so dass das Abwasser aus den Entwässerungsgegenständen störungsfrei abfließen kann. Sie haben aber auch die Aufgabe, die Belüftung und Entlüftung der Gebäude- und Grundstücksentwässerung sowie der Kanalisation sicherzustellen.

Die Entlüftungsleitung hat direkten Kontakt zur Aussenluft. Bei einem Spülvorgang wird daher direkt Aussenluft ins Rohr gesogen. Ansonsten steigen die Kanalgase im Rohr nach oben.

Die Entlüftungsleitungen sind heutzutage meistens mit einer Schwitzwasserdämmung (Armaflex) je nach Dimension zwischen 7 und 12 mm gedämmt.

Die Raumwärme im Gebäudeinneren (Steigschacht) wird über die Rohroberfläche ins Rohr geleitet und nach Aussen geführt.

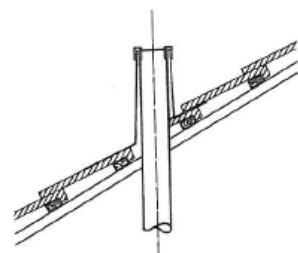


Abbildung 4: Entlüftungsleitung über Dach geführt (Quelle: SN 592000 Liegenschaftsentwässerung)

4.2.2. Küchenabluftanlagen – Gruppe 1

Die Abluftleitungen für Dunstabzugshauben müssen nach geltender Norm im Raum nicht isoliert werden. Es wird lediglich empfohlen, keine Wärmebrücken entstehen zu lassen, sowie Kondenswasserbildung durch Dämmung der Leitung im Kältebereich oder in unbeheizten Zonen zu verhindern.

Durch die fehlende Dämmung erwärmt sich die Luft in der Abluftleitung und gelangt dadurch mittels Einrohrzirkulation ins Freie. Mittels des Einsatzes einer Rückstauklappe am Ende des Luftaustrittes kann der Luftaustausch verringert werden.



Abbildung 5: Küchenablufthaube (Quelle: V-Zug technische Info und Zubehör für Dunstabzüge)

4.2.3. Einzelraumlüftung – Gruppe 1

In Wohnungen mit innenliegenden Räumen oder fensterlosen Nasszellen werden bei nicht vorhandenem Wohnungslüftungsggerät reine Abluftventilatoren eingesetzt.

In Abbildung 6 wird der Abluftventilator direkt in die Aussenwand eingebaut, womit die Leitungslänge auf ein Minimum reduziert wird.

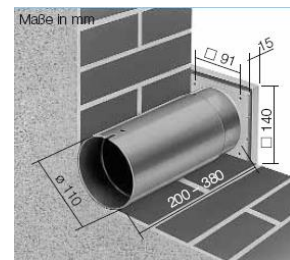


Abbildung 6: WC Abluftventilator (Quelle: Helios Hauptkatalog)

In Mehrfamilienhäusern befinden sich die Nasszellen jedoch häufig in der Kernzone des Gebäudes, wodurch die Abluft in einem Steigschacht über Dach abgeführt wird. Diese Abluftleitungen werden meistens nur minimal (z.B. Durisol 5mm) gegen die Schwitzwasserbildung gedämmt.

4.2.4. Abgasanlagen Cheminées und Schwedenöfen – Gruppe 1

Beim Kamin sind mehrere Faktoren für den Wärmeverlust massgebend. Einerseits trägt der Nutzer eine gewisse Eigenverantwortung bezüglich des Wärmeverlustes über die Abgasanlage, andererseits fallen je nach Standort des Kamins und der entsprechenden Abgasanlage Wärmeverluste an.

Bei den Schwedenöfen ist das Rauchrohr mit einem manuellen Schieber oder einer Klappe ausgerüstet, womit der ungehinderte Luftaustausch durch den natürlichen Luftzug im Stillstand minimiert wird. Hier liegt es am Nutzer, den Wärmeverlust bei Abwesenheit oder Stillstand des Ofens zu minimieren.

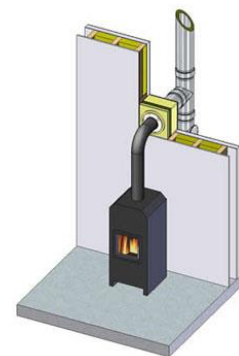


Abbildung 7: Schwedenofen mit Rauchrohr (Quelle: Edelstahlschornstein.nl)

Wird der Luftaustausch durch die Abgasklappe unterbunden, kann die Einrohrzirkulation auftreten.

4.2.5. Dachentwässerung innenliegend – Gruppe 2

Die Leitungen der Dachentwässerung sind meistens mit 12 bis 17 mm Armaflex gegen Schwitzwasser gedämmt. In den Leitungsschächten erwärmt sich die Luftsäule in den Rohren, womit die warme Luft nach oben steigt und über den Einlauf nach draussen gelangt.

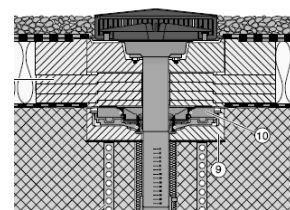


Abbildung 8: Dachentwässerung (Quelle: Geberit Entwässerungssysteme)

5. Vorgehen

Die Wärmeverluste der verschiedenen Funktionsöffnungen und deren verschiedenen Ausführungsarten werden mittels CFD-Simulationen (**C**omputational **F**luid **D**ynamics) ermittelt. Messtechnisch wäre es nahezu unmöglich bzw. sehr aufwändig, den Wärmeverlust „nur“ über die Funktionsöffnung an einem realen Objekt vorzunehmen.

Um möglichst genaue Simulationsergebnisse zu erhalten, wird das Simulationsmodell in einem ersten Schritt mit Hilfe von Messungen validiert. Dafür wird eine Prüfbox erstellt, bei welcher unter Laborbedingungen Wärmeverlustmessungen vorgenommen werden. Anhand der Differenz zwischen dem Wärmeverlust einer ersten Messung ohne eingebaute Funktionsöffnung und einer zweiten Messung mit eingebauter Funktionsöffnung, kann der Wärmeverlust infolge Einrohrzirkulation und infolge Wärmeleitung (Wärmebrücke) über die Funktionsöffnung ermittelt werden.

Anhand der Messresultate wird dann das Simulationsgrundmodell validiert.

Mit Hilfe des validierten Simulationsmodells wird eine Parameterstudie durchgeführt. Dabei werden die wichtigsten Parameter verändert, um in Erfahrung zu bringen, bei welchen Parametern sich der Wärmeverlust signifikant ändert. Für diese Untersuchung werden die Funktionsöffnungen in zwei Gruppen aufgeteilt.

Gruppe 1: Funktionsöffnungen mit Verbindung zur Raumluft

Gruppe 2: Funktionsöffnungen mit Verbindung zur Kanalisation

Die Unterteilung wird vorgenommen, da die Randbedingungen für die Simulationen bei den beiden Gruppen verschieden sind.

Die aus der Parameterstudie gewonnenen Erkenntnisse können dazu beitragen, bestimmte Parameter für die weiteren Untersuchungen auszuschließen. Aufgrund der Resultate aus der Parameterstudie kann durch Interpolieren eine Wärmeverlusttabelle erstellt werden.

Zusätzlich zu den Messungen an der Prüfbox bei Laborbedingungen wird noch eine Messung an einer realen Anlage vorgenommen. Diese Messung wird mit einfachen Mitteln durchgeführt und soll als Plausibilitätskontrolle zu den Messungen und Simulationen dienen.



Abbildung 9: Rauchrohr Schwedenofen - Messobjekt



Abbildung 10: Prüfbox

6. Messungen

Im nachfolgenden Kapitel sind die Resultate der beiden Messungen beschrieben. Detailliertere Angaben zu den Messungen sind im Anhang ersichtlich.

6.1. Messung Abgasanlage Schwedenofen

Um die Plausibilität der Simulationsergebnisse und der Messergebnisse mit der Prüfbox einordnen zu können, wird eine Messung an einem realen Objekt vorgenommen. Hierfür werden die Oberflächentemperaturen des Rauchrohres eines Schwedenofens über den Zeitraum von einer Woche gemessen und ausgewertet. Parallel zu den Oberflächentemperaturen wird die Aussentemperatur erfasst.

Mit Hilfe dieser einfachen Feldmessung ist eine Aussage bezüglich des Wärmeverlustes über die Rauchrohroberflächen möglich – welche für eine allfällige Einrohrzirkulation die treibende Kraft darstellt.

6.1.1. Resultate Rauchrohr Schwedenofen

Die Auswertung der Messergebnisse ergibt im Wesentlichen, dass eine signifikante Temperaturdifferenz zwischen der Raumlufttemperatur und der Oberflächentemperatur des Rauchrohres auftritt. Dies lässt darauf schliessen, dass über das Rauchrohr Wärmeverluste auftreten. Zudem kann aus Diagramm 1 entnommen werden, dass bei kälter werdenden Aussentemperaturen die Differenz zwischen der Raumlufttemperatur und der Oberflächentemperatur zunimmt. Das bedeutet, dass der Wärmeverlust bei einer grösseren Temperaturdifferenz zunimmt.

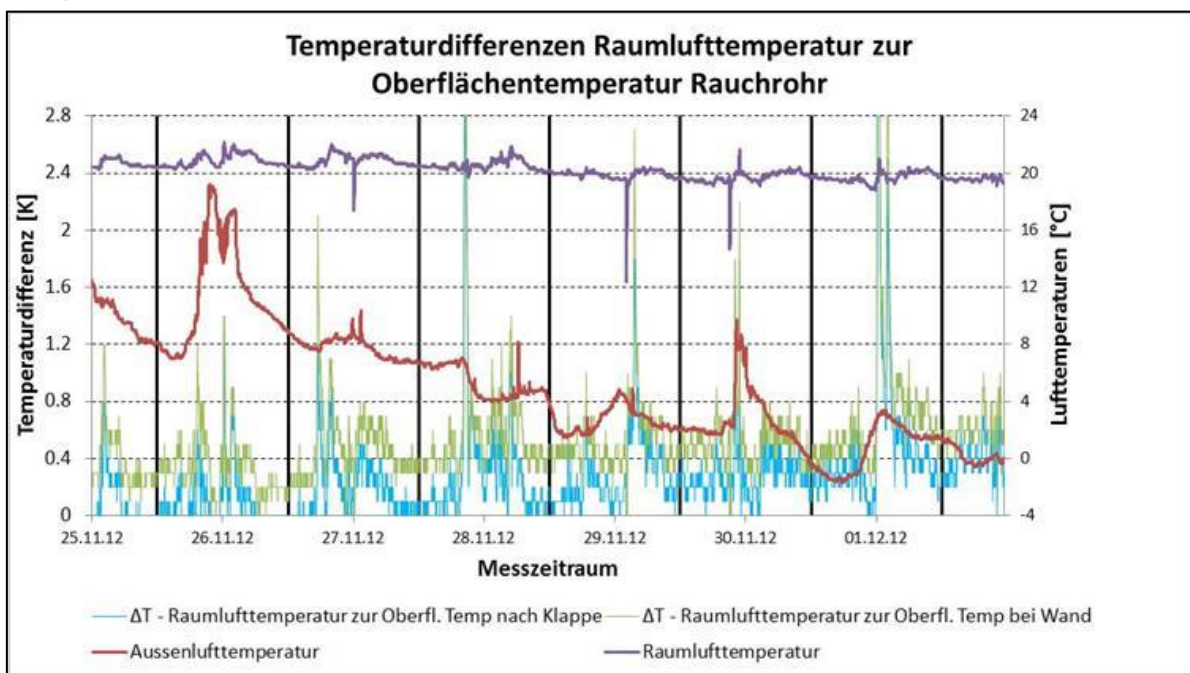


Diagramm 1: Temperaturdifferenzen zwischen der Raumlufttemperatur und der Oberflächentemperatur des Rauchrohres

Um die Messergebnisse als Wärmeverlust auszudrücken, wird mit den gemittelten Daten für die Messdauer vom 30.11.2012, 0:00 Uhr bis 5:00 Uhr ein äquivalenter U-Wert berechnet. Für die Berechnung wird der innere Wärmeübergangskoeffizient gemäss dem Bauteilkatalog [4] verwendet. Die detaillierte Berechnung hierzu ist in Kapitel A 1.5.2 ersichtlich.

Die oben erwähnte vereinfachte Berechnung ergibt einen äquivalenten U-Wert von $0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Um diesen Wert einordnen zu können, wird der Wärmeverlust von Wärmebrücken bei Fensterleibungen zu Hilfe genommen. Unter der Annahme, dass bei einem Objekt 40 Meter Fensterleibungen mit einem ψ -Wert von 0.1 W/mK vorhanden sind, ergibt sich ein absoluter Wärmeverlust von 80 Watt bei einer Temperaturdifferenz von 20 Kelvin. Im

Vergleich dazu ist der Verlust über ein Rauchrohr mit einer Oberfläche von 2 m^2 innerhalb des Dämmperimeters lediglich 6.4 Watt, was 8% des Verlustes über die Fensterleibungen entspricht.

Um das Messresultat mit den Simulationen vergleichen zu können, multiplizieren wir den äquivalenten U-Wert mit der Rauchrohroberfläche innerhalb des Dämmperimeters, was einen spezifischen Verlust von 0.32 W/K ergibt. Vergleicht man diesen Wert mit der Wärmeverlusttabelle (Abbildung 39) aus den Simulationsresultaten, so wird ersichtlich, dass die Werte erstaunlich gut übereinstimmen.

6.2. Wärmeverlustmessung an der Prüfbox

Im Projekt ist vorgesehen, die Wärmeverluste der unterschiedlichen Ausführungen von Funktionsöffnungen mittels CFD-Simulationen zu berechnen. Damit das Simulationsmodell überprüft werden kann, wird eine Prüfbox erstellt, an welcher der Wärmeverlust gemessen wird. Anhand der Differenz zwischen dem Wärmeverlust bei Messung 1 (ohne eingebaute Funktionsöffnung) und Messung 2 (mit eingebaute Funktionsöffnung), kann der Wärmeverlust infolge Einrohrzirkulation und infolge Wärmeleitung (Wärmebrücke) über die Funktionsöffnung ermittelt werden.

Die Messresultate werden anschliessend mit dem Simulationsmodell abgeglichen, um möglichst genaue Simulationsresultate zu erhalten. In Abbildung 11 und Abbildung 12 ist der Aufbau der Prüfbox ersichtlich.



Abbildung 11: Innenansicht Prüfbox



Abbildung 12: Fühlerplatzierung und Wärmequellenposition (Föhn)

6.2.1. Resultate Messungen an der Prüfbox

Temperaturen			Leistung	
Mittelwert T_{innen}	Mittelwert T_{ausen}	$\Delta T_{\text{innen/ausen}}$	Leistungsaufnahme Föhn	Wärmeverlust
[°C]	[°C]	[K]	[W]	[W/K]
37.22	16.59	20.63	31.74	1.54

In

Temperaturen			Leistung	
Mittelwert T_{innen}	Mittelwert T_{ausen}	$\Delta T_{\text{innen/ausen}}$	Leistungsaufnahme Föhn	Wärmeverlust
[°C]	[°C]	[K]	[W]	[W/K]
37.22	16.59	20.63	31.74	1.54

Tabelle 5 und Tabelle 6 sind die Resultate der beiden Messungen zusammengefasst. Der resultierende spezifische Wärmeverlust bei der Messung 1 entspricht 1.54 W/K . Bei der Messung 1 ist die Prüfbox geschlossen und keine Funktionsöffnung eingebaut. Das Resultat des spezifischen Wärmeverlustes bei der Messung 2 ergibt 1.73 W/K , wobei hier die

Funktionsöffnung eingebaut wurde. Bildet man die Differenz der beiden spezifischen Wärmeverluste ergibt sich ein Wert von 0.19 W/K. Dieser zusätzliche Verlust wird durch die Funktionsöffnung verursacht.

Temperaturen			Leistung	
Mittelwert T_{innen}	Mittelwert T_{ausen}	$\Delta T_{\text{innen/ausen}}$	Leistungsaufnahme Föhn	Wärmeverlust
[°C]	[°C]	[K]	[W]	[W/K]
37.22	16.59	20.63	31.74	1.54

Tabelle 5: Auswertung Messung 1 der Prüfbox ohne Funktionsöffnung

Temperaturen				Leistung	
Mittelwert T_{innen}	Mittelwert $T_{\text{im Rohr}}$ (Fühlerposition 77cm im Rohr von oben gemessen)	Mittelwert T_{ausen}	$\Delta T_{\text{innen/ausen}}$	Leistungsaufnahme Föhn	Wärmeverlust
[°C]	[°C]	[°C]	[K]	[W]	[W/K]
35.90	35.36	17.08	18.82	32.56	1.73

Tabelle 6: Auswertung Messung 2 der Prüfbox mit Funktionsöffnung

7. Validierung des Simulationsmodelles

Die ursprünglichen Berechnungen mit dem ersten Simulationsmodell ergaben durchwegs tiefere Verlustwerte verglichen mit dem Resultat aus der Messung mit der Prüfbox. Daraufhin wurde in der Simulation der innere Wärmeübergangskoeffizient aus dem Bauteilkatalog [4] α_{innen} von $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ erhöht. Durch diese Massnahme wird man der Tatsache gerecht, dass in der Messanordnung eine hohe Luftumwälzung durch den Heissluftföhn verursacht wird. Die Ausblasgeschwindigkeit beim Föhn beträgt 2.2 m/s was einem Volumenstrom von $13 \text{ m}^3/\text{h}$ entspricht. Somit wird das Luftvolumen innerhalb der Prüfbox innerhalb einer Stunde 25mal umgewälzt. Durch diese Anpassung konnten die Resultate aus der Messung und aus der Simulation sehr gut angenähert werden. .

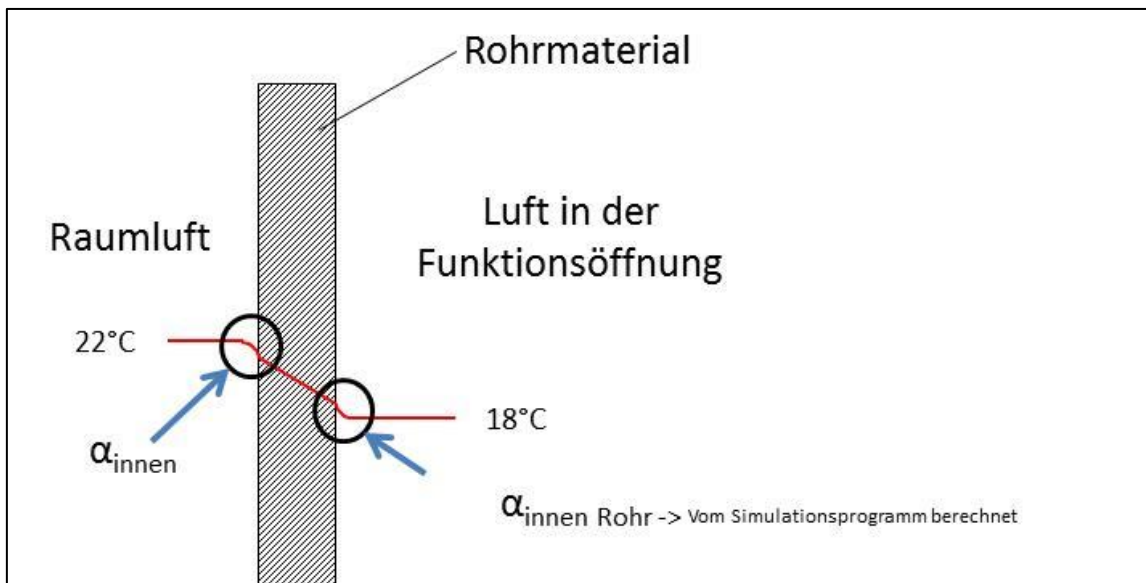


Abbildung 13: Darstellung Temperaturverlauf beim Wärmedurchgang Rohrmaterial

Für die weiteren Berechnungen im Zuge der Studie wird der innere Wärmeübergang wieder auf $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ zurückgesetzt. Dies, da in der Realität keine künstlich hohe Luftumwälzung in den Räumen und in den Schächten stattfindet. Der aus den Simulationen resultierende Wärmeverlust dürfte eher der Realität entsprechen, als der mit der Messung ermittelte Wärmeverlust.

Durch die oben erwähnte Korrektur resultiert ein Verlustwert von 0.16 W/K für unsere Prüfboxanordnung. Oder anders ausgedrückt: Würde die erhöhte Lufttemperatur im inneren der Prüfbox nicht mittels eines Heissluftföhns künstlich erzeugt, sondern könnte die Lufttemperatur ohne grosse Luftumwälzung homogen erzeugt werden, würde ein Wärmeverlust von 0.16 W/K resultieren.

Um den spezifischen Wärmeverlust durch die Funktionsöffnung zu erhalten, wird der Wärmeverlust über das ungestörte Bauteil berechnet und dann durch die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen dividiert. Dieser Wert entspricht dem spezifischen Wärmeverlust ohne den Einbau der Funktionsöffnung. (siehe

Abbildung 14) Der spezifische Wärmeverlust über die inneren Oberflächen bei eingebauter Funktionsöffnung wird durch das Simulationsprogramm berechnet. Die Differenz zwischen den beiden Verlusten ergibt den spezifischen Verlust, welcher durch die Funktionsöffnung entsteht. Dabei sind der Verlust über die Wärmebrücke und der Verlust infolge Einrohrzirkulation in einem einzigen Wert zusammengefasst.

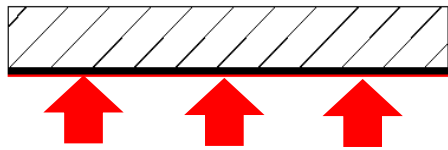


Abbildung 14: Wärmeverlust über das ungestörte Bauteil

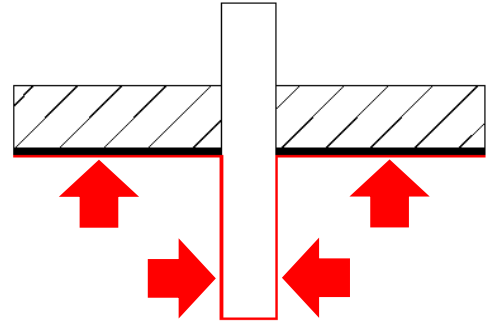


Abbildung 15: Wärmeverlust über die Funktionsöffnung und das Bauteil

7.1. Kontrolle der Strömung im Rohr in der Realität und bei der Simulation

Um die mittels CFD-Simulation ermittelte Luftströmung qualitativ zu überprüfen, wurde die Luftströmung bei der Funktionsöffnung in der Prüfbox mittels Rauch visualisiert. Durch diese Massnahme kann ein Vergleich vorgenommen werden zwischen der realen Luftströmung und der Luftströmung wie Sie in der Simulation berechnet wird.

Wie aus dem Vergleich zwischen Abbildung 16 und Abbildung 16 ersichtlich, liefert die Simulation sehr realistische Resultate.

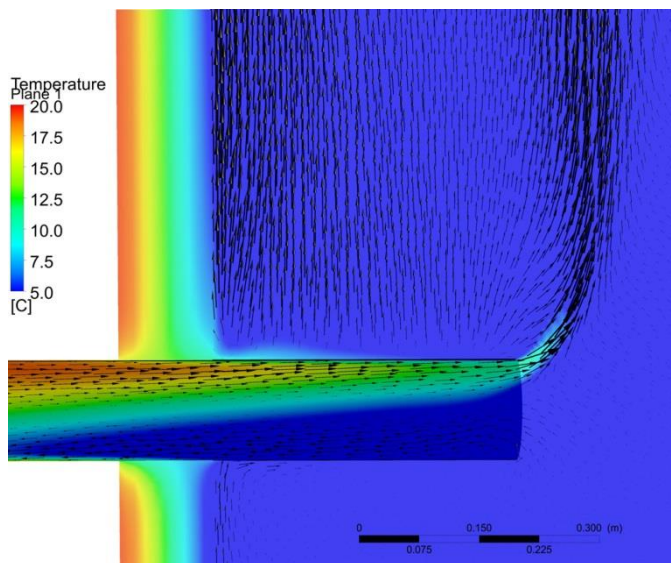


Abbildung 17: Luftströmung Rohr horizontal in der CFD Simulation

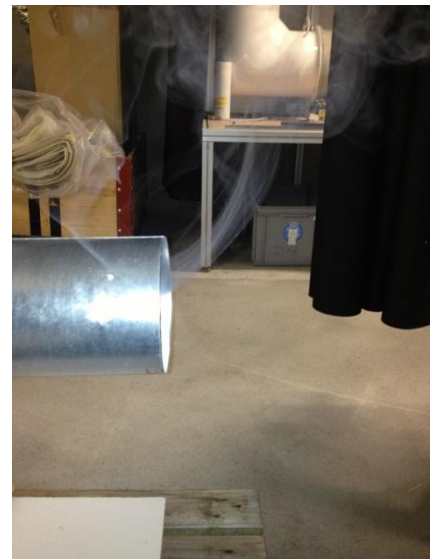


Abbildung 18: Visualisierung der Luftströmung an der Prüfbox

8. Parameterstudie

Um den Einfluss der verschiedenen Parameter wie beispielsweise Temperaturdifferenz, Dämmstärke, Durchmesser und Länge der Funktionsöffnung zu eruieren, wird mit Hilfe der Simulationen eine Parameterstudie durchgeführt. Dabei wird jeweils nur ein Parameter verändert (*ceteris paribus*), um eine Aussage über den Einfluss auf den Wärmeverlust von jeweils einem einzelnen Parameter zu erhalten. Dadurch wird ersichtlich, welche Parameter einen wesentlichen Einfluss haben und in den Verlusttabellen berücksichtigt werden müssen (ähnliche zum Wärmebrückenkatalog [4]). Diese Verlusttabellen können dann als Grundlage für die Berechnung des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1 [3] verwendet werden.

8.1. Rahmenbedingungen der Simulationen

Wo nicht explizit anders erwähnt, werden die Simulationen aufgrund folgender Grundlagen durchgeführt. Die Werte entsprechen dem Aufbau der Prüfbox.

Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Wärmekapazität	Dicke
[-]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]	[m]
Holzspanplatte	0.14	600	1700	0.019
EPS 15	0.04	15	1450	0.1

Tabelle 7: Materialisierung Prüfbox (U-Wert: 0.34 W/m²K)

Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Wärmekapazität	Dicke
[-]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]	[m]
Stahlblech verzinkt	50	7800	450	0.0007

Tabelle 8: Materialisierung Funktionsöffnung

Um den Aufwand für die Berechnungen / Messungen im Rahmen zu halten, konnte nur ein U-Wert berücksichtigt werden, im Wissen, dass die Bandbreite der heute anzutreffenden U-Werte sehr gross ist. Man hat sich für einen U-Wert von 0.34 W/m²K entschieden, der ein Gebäude aus dem heutigen Gebäudebestand repräsentiert. Neubauten weisen deutlich tiefere U-Werte auf.

8.2. Untersuchte Parameter bei den Funktionsöffnungen Gruppe 1¹

In Tabelle 9 sind die Parameter aufgeführt, welche für die Funktionsöffnungen der Gruppe 1 untersucht werden. Die grün hinterlegten Werte zeigen dabei auf, welche Parameter bei der Evaluierung (siehe dazu Kapitel 7) des Simulationsmodelles verwendet wurden.

¹ Gruppe 1: Funktionsöffnungen mit Verbindung zur Raumluft

Parameter	Werte		Einheit
Temperaturdifferenz Innen/ausen	5		[K]
	10		[K]
	15		[K]
	20		[K]
	25		[K]
Dämmstärke Tub-Isol λ : 0.038 W/mK (innen); Steinwolle λ : 0.045 W/mK (ausen)	<i>Dämmung innen</i>	<i>Dämmung aussen</i>	
	keine	keine	[mm]
	keine	30	[mm]
	5	30	[mm]
	10	30	[mm]
	20	30	[mm]
Durchmesser der Funktionsöffnung	Ø 200		[mm]
	Ø 125		[mm]
	Ø 100		[mm]
	Ø 80		[mm]
Länge der Funktionsöffnung im Dämmperimeter	0.5		[m]
	5		[m]
	10		[m]
Länge der FÖ bei einer horizontalen Einbaulage	0.5		[m]
	2.5		[m]
	5		[m]
Bündiger Anschluss an Fassade horizontal	<i>Durchmesser</i>	<i>Länge</i>	
	Ø 125	2.5	[mm] / [m]
	Ø 200	2.5	[mm] / [m]
Material der Funktionsöffnung (λ -Wert)	Stahlblech verz.	60	[W/mK]
	Alu	234	[W/mK]
	PVC Rohr	0.17	[W/mK]

Tabelle 9: Parameter, welche in der Parameterstudie für die Funktionsöffnungen der Gruppe 1 untersucht werden (die grün hinterlegten Werte zeigen auf mit welchen Parametern das Simulationsmodell validiert wurde)

8.3. Untersuchte Parameter bei den Funktionsöffnungen Gruppe 2²

Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Rahmenbedingungen für die Simulationen der Funktionsöffnungen der Gruppe 2 auf. Die Lufttemperatur der Kanalisation wurde dem Bericht „Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen“ [6] entnommen.

	PE Rohr	Guss Rohr	
Dimension	DN100	DN 100	[-]
Øinnen	101.4	103	[mm]
Wanddicke	4.3	3.5	[mm]
Dichte	950	8500	[kg/m³]
Wärmeleitfähigkeit	0.43	80.2	[W/mK]

Tabelle 10: Grundlagen Simulation Funktionsöffnungen Gruppe 2, Materialisierung

² Gruppe 1: Funktionsöffnungen mit Verbindung zur Kanalisation

Lufttemperatur Kanalisation	12.5	[°C]
	285.64	[K]
Aussenlufttemperatur	0	[°C]
	273.14	[K]
Eingesogene Luftmenge	40	[l/s]

Tabelle 11: Grundlagen Simulation Funktionsöffnungen Gruppe 2, Temperatur-Randbedingungen

Untenstehende Tabelle zeigt auf, welche Parameter für die Funktionsöffnungen der Gruppe 2 untersucht wurden. Da in den Abwasserleitsätzen die Dimensionen in DN angegeben sind, wird dies auch hier so gehandhabt.

Parameter	Werte		Einheit
Einfluss Winddruck	-25		[Pa]
	-15		[Pa]
	-5		[Pa]
	5		[Pa]
Länge der Funktionsöffnung im Dämmperimeter	5		[mm]
	10		[mm]
	15		[mm]
	20		[mm]
Innendurchmesser der Funktionsöffnung	Ø 44.0	DN 50	[mm]
	Ø 101.4	DN 100	[mm]
	Ø 115.2	DN 125	[mm]
	Ø 167.6	DN 200	[mm]
Leitungsverzug in der Decke	5		[m]
Material der Funktionsöffnung (λ -Wert)	PE Rohr	0.43	[W/mK]
	Guss	80.2	[W/mK]
Verluste infolge Spülvorgängen	16 Spülungen/T	à 4s	
Dämmstärke Rohr	0		[mm]
	10		[mm]
	20		[mm]

Tabelle 12: Parameter, welche in der Parameterstudie der Funktionsöffnungen der Gruppe 2 untersucht werden

In Abbildung 19 ist dargestellt, was unter dem Parameter „Leitungsverzug in der Decke“ zu verstehen ist. Dabei wurde bei der Simulation mit einer Leitungsverzugslänge von 5 Metern gerechnet. Die vertikale Länge bei dieser Simulation beträgt ebenfalls 5 Meter.

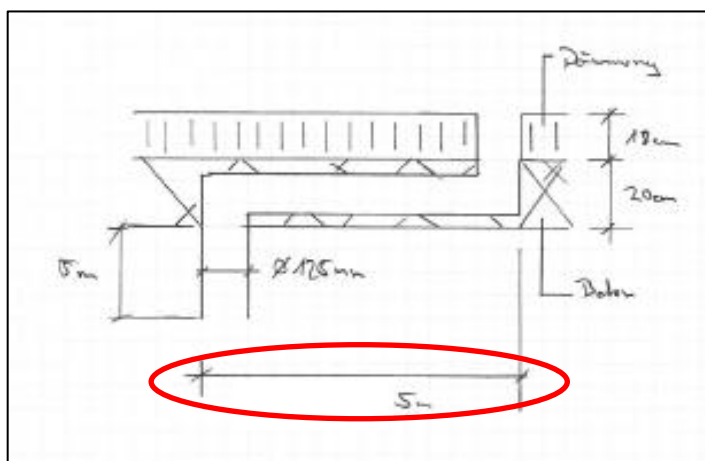


Abbildung 19: Visualisierung Leitungsverzug

Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Wärmekapazität	Dicke
[-]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]	[m]
Beton	2.5	2400	1000	0.2
Dämmung	0.026	30	1400	0.18

Tabelle 13: Materialisierung Decke bei der Untersuchung Leitungsverzug (U-Wert: 0.14 W/m²K)

8.4. Resultate Parameterstudie Gruppe 1

In der Abbildung 20 ist zusammenfassend der Einfluss der einzelnen Parameter dargestellt. Dabei stellt die Balkenhöhe die Differenz des spezifischen Wärmeverlustes zwischen dem maximalen und dem minimalen Wert aus Tabelle 8 dar.

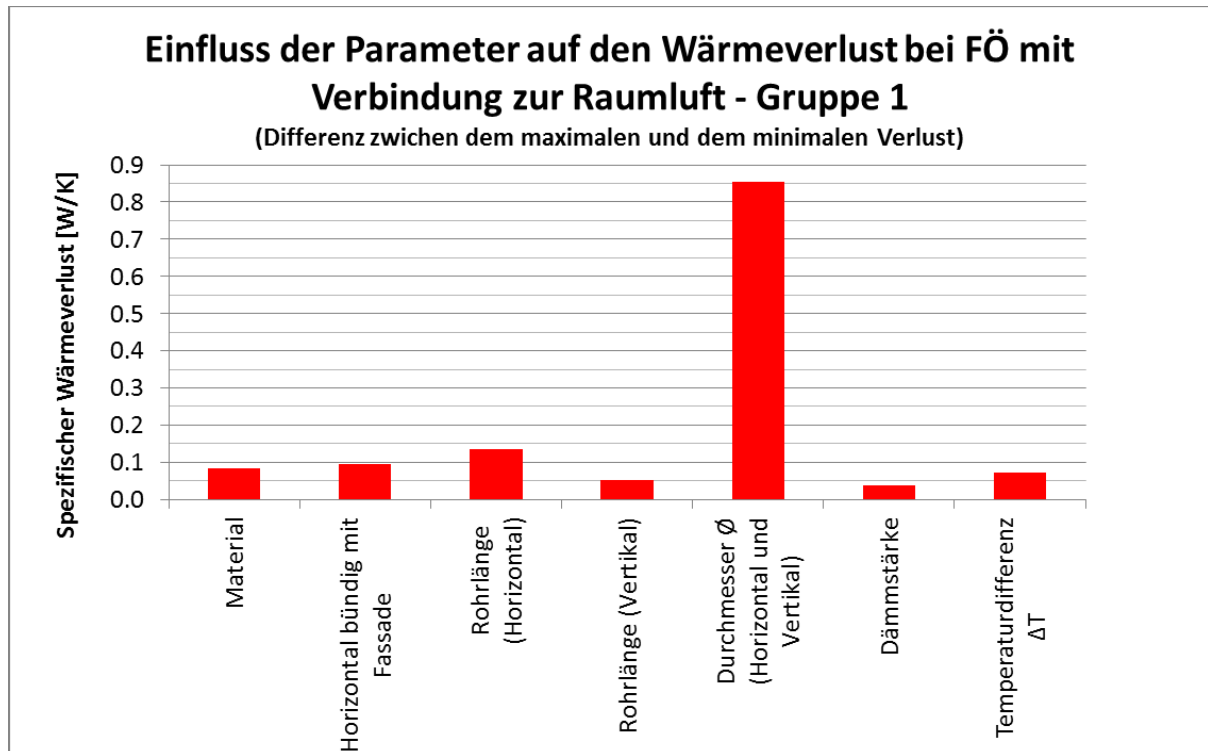


Abbildung 20: Einfluss der Parameter auf den Wärmeverlust – Funktionsöffnungen der Gruppe 1

Die Simulationen zeigen, dass bei den Funktionsöffnungen der Gruppe 1 der Durchmesser den massgebenden Einfluss auf den Wärmeverlust hat. Die restlichen Parameter haben im Vergleich dazu einen wesentlich kleineren Einfluss.

Bei den nachfolgenden Diagrammen (Abbildung 21 bis Abbildung 27) sind die Resultate der einzelnen Parametervariationen aufgeführt. Darin sind die effektiven spezifischen Verluste in [W/K] ersichtlich.

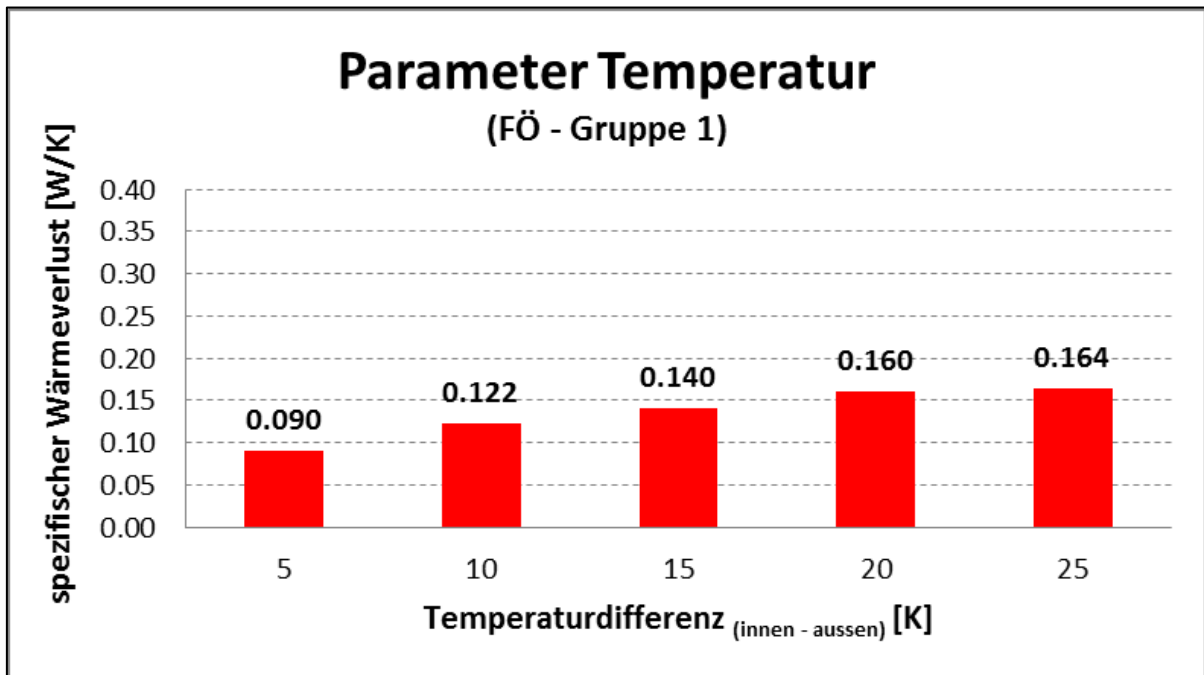


Abbildung 21: Einfluss Parameter Temperatur auf den Wärmeverlust

Die Temperatur hat erwartungsgemäss einen Einfluss auf den Wärmeverlust infolge Einrohrzirkulation, denn Sie ist infolge des Dichteunterschiedes die treibende Kraft für den Auftrieb der Luft.

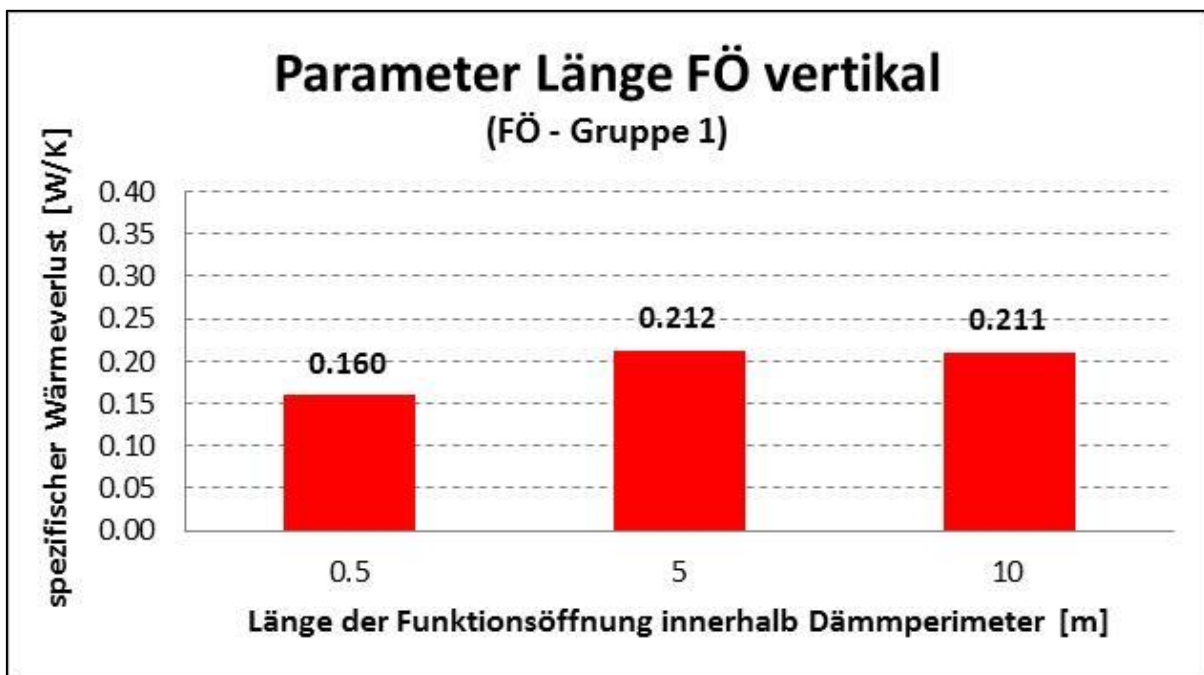


Abbildung 22: Einfluss Parameter Länge vertikal auf den Wärmeverlust

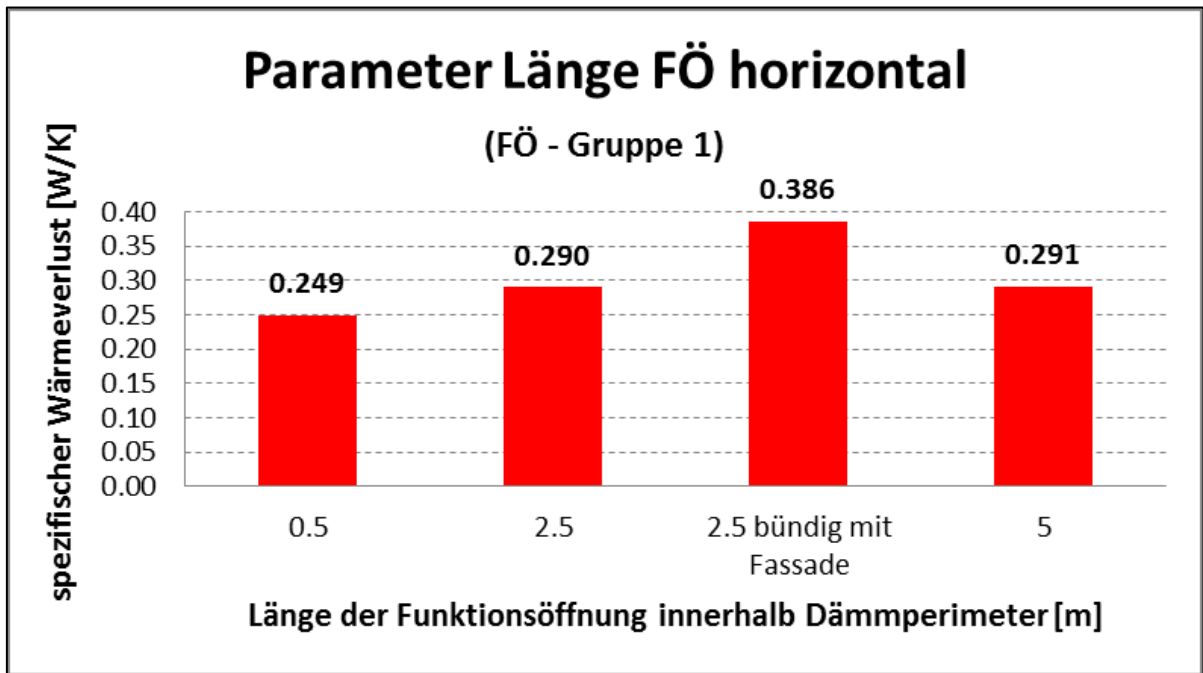


Abbildung 23: Einfluss Parameter Länge horizontal auf den Wärmeverlust

Die Simulationen zeigen, dass der Einfluss der Rohrlänge sowohl vertikal als auch horizontal ab einer Länge von ungefähr 1.5 Metern konstant bleibt. Es erübrigt sich somit, die Länge der Funktionsöffnung innerhalb des Dämmperimeters zu berücksichtigen.

Der Verlust über horizontal verlegte Rohre ist grösser als bei vertikalen Rohren. Dies erstaunt auf den ersten Blick. Die Begründung liegt darin, dass beim vertikalen Rohr der aufsteigenden Luft an der Rohrwand die kalte Luft von Aussen entgegenströmt und diese somit am Aufsteigen hindert. Dieser Effekt ist beim horizontal verlegten Rohr deutlich abgeschwächt.

Bei horizontal verlegten Leitungen wird die Funktionsöffnung bündig zur Fassade geführt und nicht wie bei den vertikalen Leitungen noch über Dach geführt. Diese Anordnung erhöht den Wärmeverlust zusätzlich. Als Begründung kann wiederum aufgeführt werden, dass keine kalte Rohrwand die Luftströmung beim Austreten behindert.

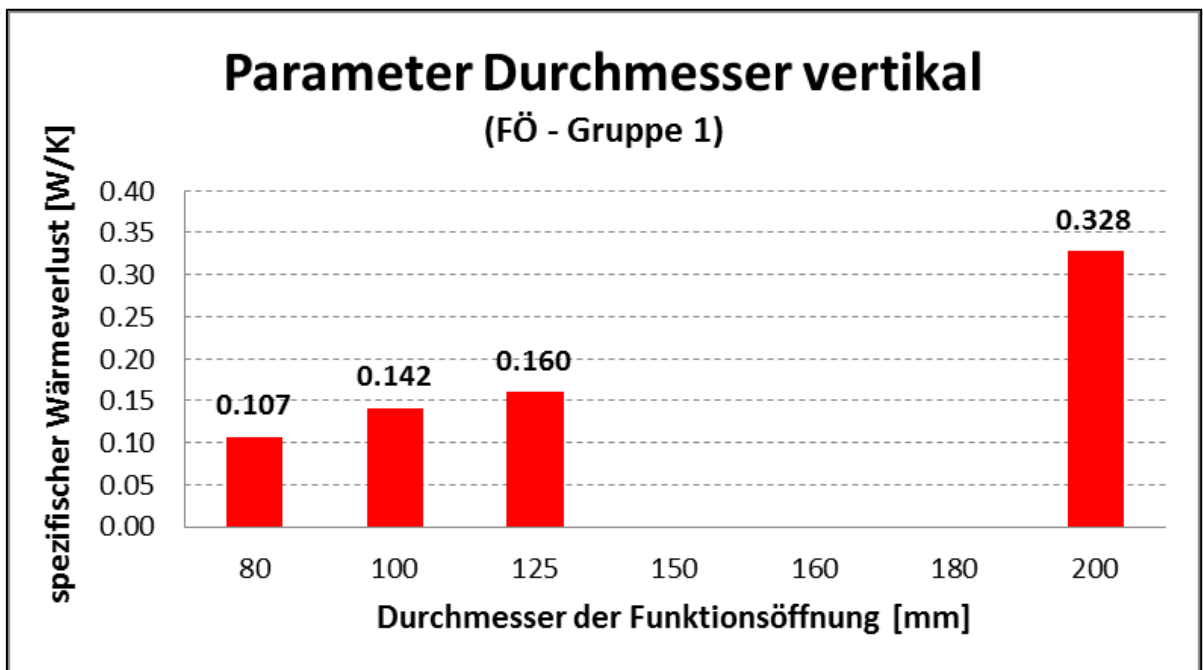


Abbildung 24: Einfluss Parameter Durchmesser vertikal auf den Wärmeverlust

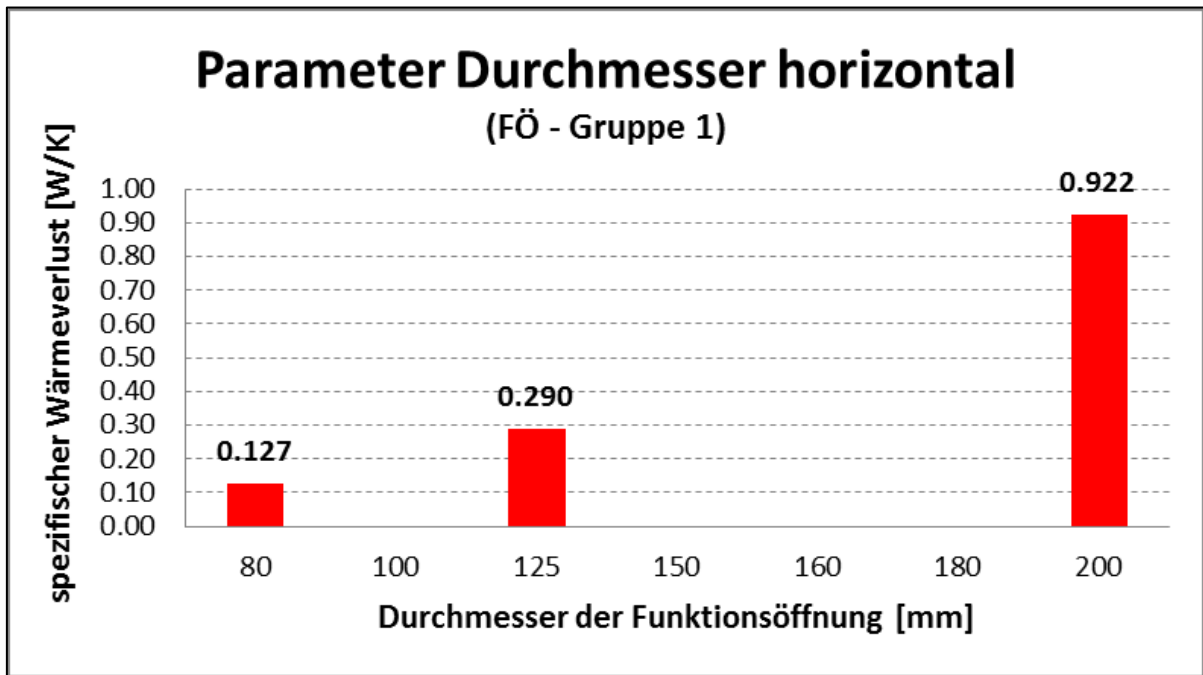


Abbildung 25: Einfluss Parameter Durchmesser horizontal auf den Wärmeverlust

Der Durchmesser hat den grössten Einfluss auf den Wärmeverlust. Wie bereits bei der Länge der Funktionsöffnung erwähnt, ist aufgrund der entgegenwirkenden Luftströmung auch hier der Wärmeverlust beim horizontalen Rohr grösser. Dieser Effekt wird bei grösseren Dimensionen noch ausgeprägter. Die Simulationen „Durchmesser horizontal“ wurden nicht bündig mit der Fassade simuliert, da für die Simulationen das Modell aus der vertikalen Betrachtung gedreht wurde. Damit der Verlustwert für die Berechnung des Wärmebedarfsnachweises richtig berücksichtigt wird, muss für die Wärmeverlusttabelle noch ein Zuschlag vorgenommen werden.

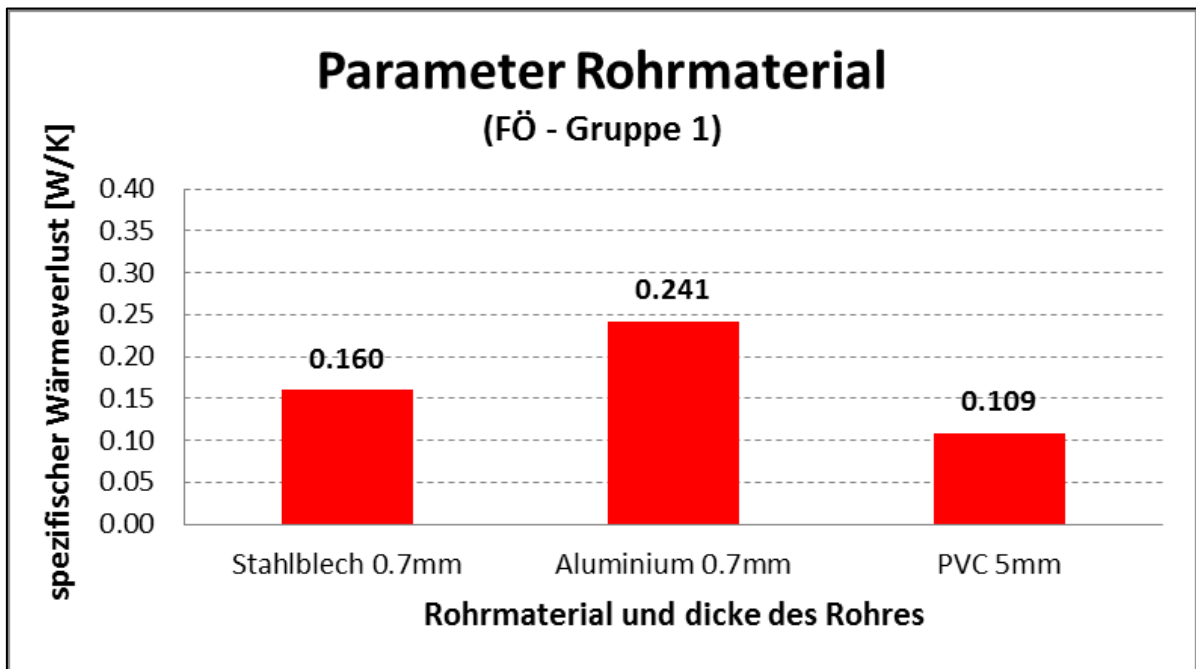


Abbildung 26: Einfluss Parameter Rohrmaterial auf den Wärmeverlust

Erwartungsgemäss ist bei den Rohrmaterialien mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit (Stahl, Alu) der Wärmeverlust grösser als bei Kunststoffrohren. Die Materialdicken beziehen sich auf die Dimension 125mm. Die Änderung der Materialdicke wurde in der Studie nicht untersucht.

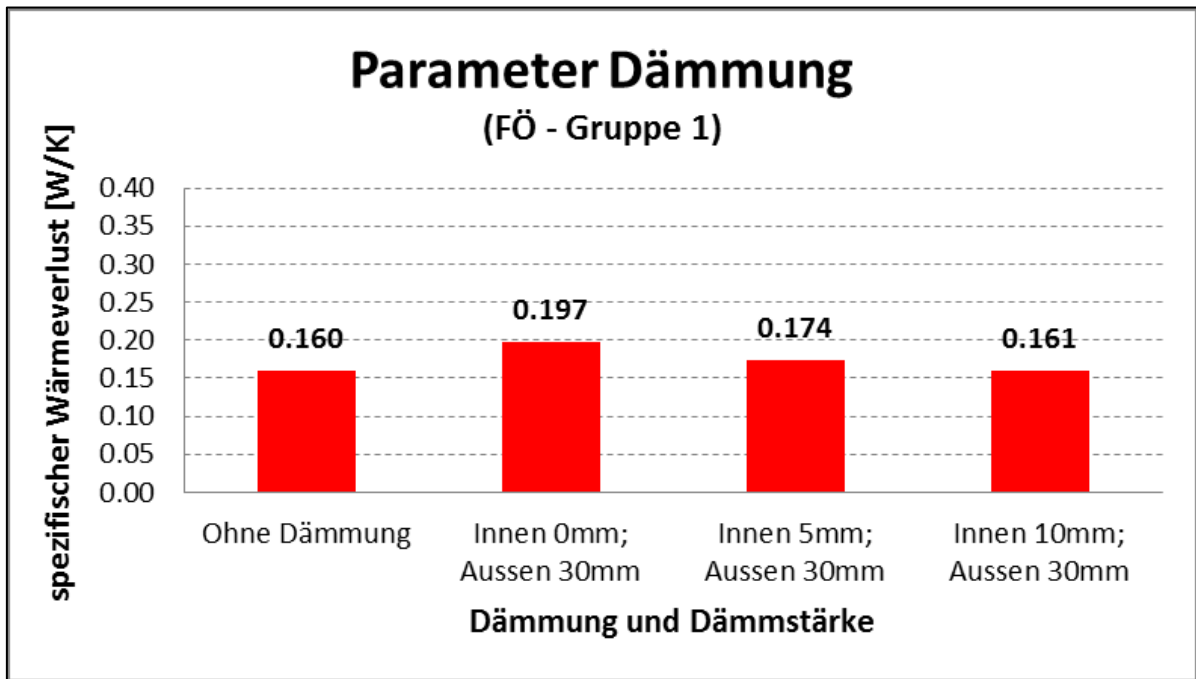


Abbildung 27: Einfluss Parameter Dämmung auf den Wärmeverlust

Die Parameterstudie hat aufgezeigt, dass die Funktionsöffnung ohne Dämmung den kleineren Verlust aufweist als die gedämmten Varianten. Die Erklärung liegt darin, dass durch die äussere Dämmung die Rohrwand weniger kalt wird und somit die Einrohrzirkulation begünstigt wird. Es handelt sich hierbei um das selbe Phänomen wie schon bei der Länge der Funktionsöffnung beschrieben.

In der Realität sind die Rohre im Aussenbereich gedämmt, deshalb wird mit den Werten mit Aussendämmung gerechnet. Zur Veranschaulichung, was unter der Aussendämmung zu verstehen ist, wurde Abbildung 28 eingefügt.

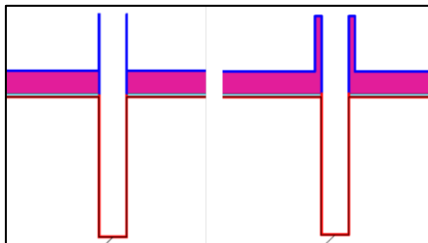


Abbildung 28: Skizze „ohne Dämmung“ und „Innen 0mm; Aussen 30mm“

Standardmässig werden die Funktionsöffnungen im Dämmperimeter gegen Schwitzwasserbildung mit 5mm gedämmt.

In Kapitel 3.2 wird erläutert, dass die Wärmeverluste infolge Winddruck in der Studie nicht berücksichtigt werden. Dies, da man bei einer Unterdrucksituation nicht mehr von einer Einrohrzirkulation sprechen kann. Eine reine Einrohrzirkulation stellt sich nur bei Gleichdruckbedingungen ein.

Um jedoch abschätzen zu können, wie gross der Einfluss durch den Winddruck sein kann, wurde eine vereinfachte Abschätzung des Wärmeverlustes infolge Winddruck vorgenommen. Dabei wurde angenommen, dass die Funktionsöffnung nicht dicht gegen die Raumluft verschlossen ist. Durch den Unterdruck, welcher durch die Windanströmung erzeugt wird, gelangt die warme Raumluft ins Freie. Für die Berechnung wurde angenommen, dass der Unterdruck dem dynamischen Druck durch den undichten Luftspalt der Funktionsöffnung gegen den Raum entspricht. Erwartungsgemäss steigt der Verlust je nach Spalthöhe bis um das 10-fache an. Dies zeigt deutlich, dass die Verluste welche durch einen Druckunterschied entstehen wesentlich grösser sind als die Verluste die infolge der Einrohrzirkulation entstehen.

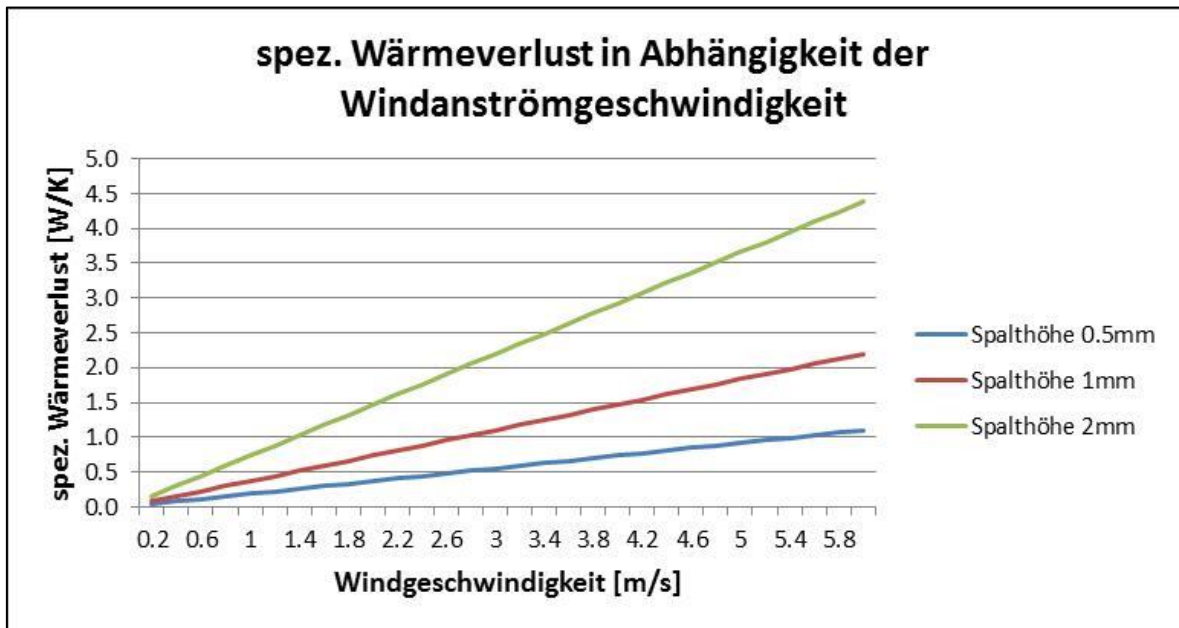


Abbildung 29: Abschätzung Wärmeverlust infolge Winddruck bei Undichtigkeit der Klappe (DN 125)

Zum Thema Lüftungswärmeverluste bei Ablufthauben (durch den Betrieb der Ablufthaube verursachter Wärmeverlust infolge Erwärmung der Ersatzluft) existiert ein Diagramm im Bericht „Küchenabluft in Wohnungen“[7].

8.5. Fazit Wärmeverlust über die Funktionsöffnungen der Gruppe 1

Durch die Simulationen kann aufgezeigt werden, dass die Länge der Funktionsöffnungen der Gruppe 1 keinen wesentlichen Einfluss auf den Wärmeverlust hat. De Facto ist der maximale Wärmeverlust nach ca. 1.5 Metern innerhalb des Dämmperimeters erreicht bleibt dann konstant. Dies sowohl bei horizontaler als auch bei vertikaler Einbaulage.

Der maximale absolute Verlustwert bei einer üblichen Dimension von 125 mm liegt bei 0.39 W/K. Dieser Wert ist als vergleichsweise sehr klein einzustufen. Vergleicht man diesen Wert mit einer punktuellen Wärmebrücke für Stützen, so entspricht dieser lediglich dem Wert einer einzigen Stütze.

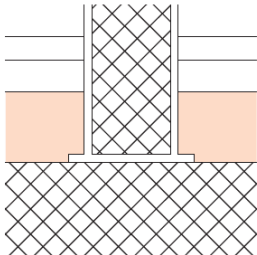
Säulenfuß, Stahl		6.1-U3			
	U-Wert Decke in W/(m² · K)	Durchmesser Stütze in cm			X-Wert in W/K
		10	12	15	
	0.15	0.24	0.27	0.35	
	0.20	0.25	0.30	0.37	
	0.25	0.27	0.32	0.39	
	0.30	0.28	0.32	0.40	
Einschränkungen		Zuschläge			
Stahlummantelungsdicke 8 mm		Stahlummantelungsdicke 5 mm – 0.05 W/K			

Abbildung 30: Ausschnitt aus dem Wärmebrückenkatalog [5], Wärmebrücke Säulenfuß

Es ist anzumerken, dass bei den Simulationen der Wärmeverlust durch Infiltration (warme Luft, welche über die Funktionsöffnungen entweicht oder eingesogen wird) nicht berücksichtigt wurde. Die Begründung ist im Kapitel 3.2 nachzulesen.

8.6. Resultate Parameterstudie Gruppe 2

Analog zu Gruppe 1 ist untenstehend zusammenfassend der Einfluss der einzelnen Parameter auf den Wärmeverlust für die Funktionsöffnungen der Gruppe 2 dargestellt. Die Balkenhöhe widerspiegelt die Differenz des spezifischen Wärmeverlustes zwischen dem maximalen und dem minimalen Wert.

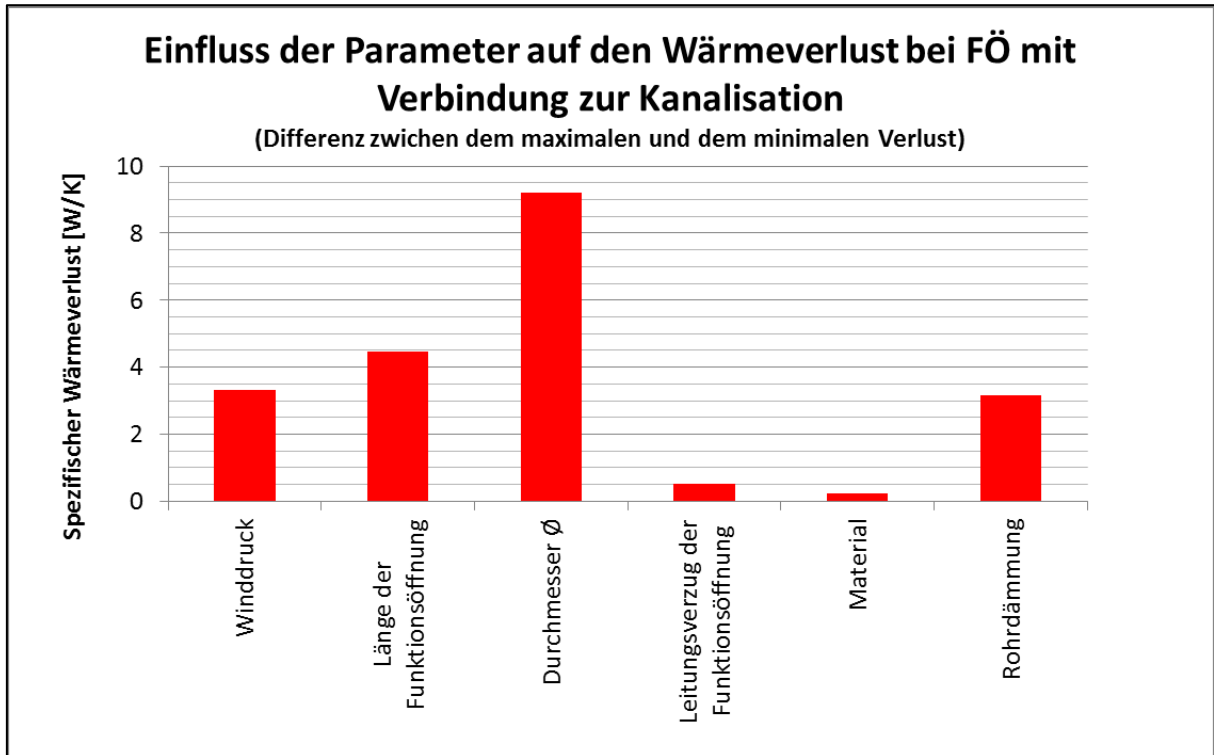


Abbildung 31: Einfluss der Parameter auf den Wärmeverlust – Funktionsöffnungen der Gruppe 2

Auch bei den Funktionsöffnungen mit Verbindung zur Kanalisation ist der einflussreichste Parameter der Rohrdurchmesser. Im Unterschied zu den Verlusten bei den Funktionsöffnungen der Gruppe 1 haben auch die Länge der Funktionsöffnung innerhalb des Dämmperimeters, die Rohrdämmung sowie der Winddruck einen grossen Einfluss auf den Wärmeverlust. Der Winddruck wurde lediglich als informative Grösse mitberechnet, da dieser keinen Einfluss auf die Einrohrzirkulation bei Gleichdruck zwischen Innen und Aussen hat.

Bei den nachfolgenden Diagrammen (Abbildung 33 bis Abbildung 38) sind die Resultate der einzelnen Parameterstudien aufgeführt. Darin sind die effektiven spezifischen Verluste in [W/K] ersichtlich.

Vergleicht man die absoluten Verlustwerte mit den Verlusten der Funktionsöffnungen aus der Gruppe 1, dann sind die Verluste bei den Funktionsöffnungen der Gruppe 2 bis zu zehn Mal höher. Somit weisen diese Funktionsöffnungen eine wesentlich grössere Relevanz auf bezüglich des Wärmeverlustes.

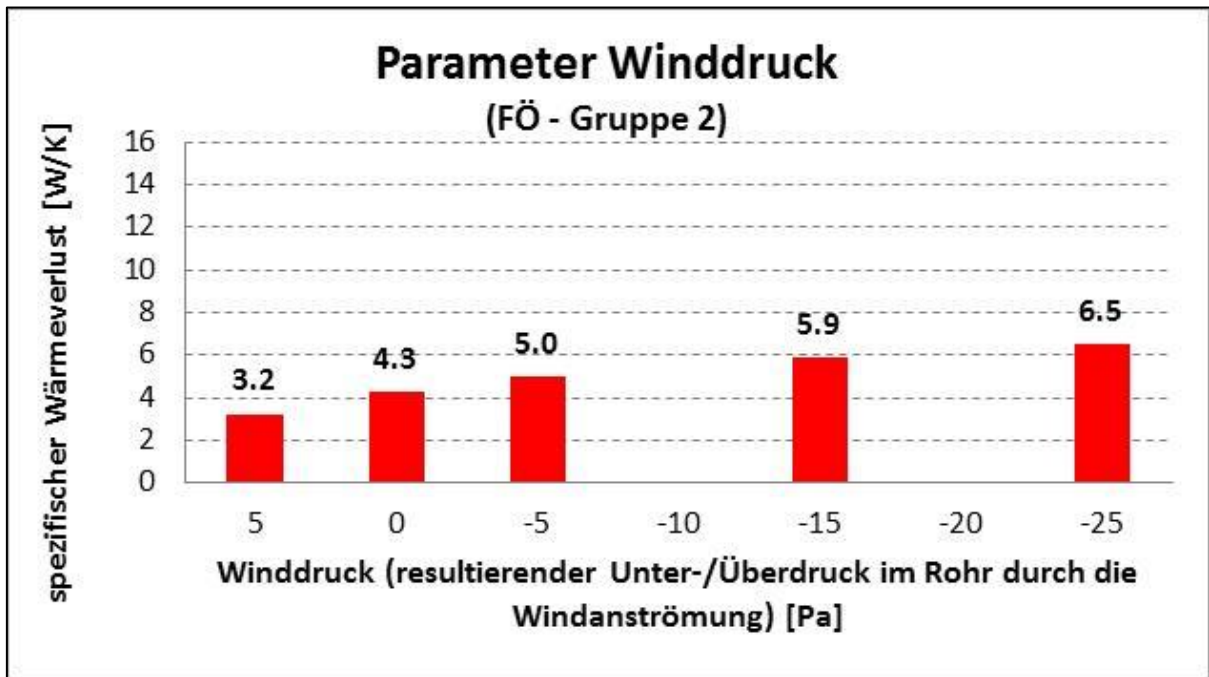


Abbildung 32: Einfluss Parameter Winddruck auf den Wärmeverlust

Aus obiger Abbildung kann entnommen werden, dass der Winddruck erwartungsgemäss einen grossen Einfluss auf den Wärmeverlust hat. Je nach Situation kann dieser zu einer Verdoppelung des Wärmeverlustes beitragen. Da wir in der Studie jedoch die Einrohrzirkulation betrachten, entfallen die Werte für die Wärmeverlusttabelle. Wir haben jedoch weitere Simulationen in Unterdrucksituationen durchgeführt. Dies um zu überprüfen, wie sich der Verlust gegenüber der Situation bei Gleichdruck verhält.

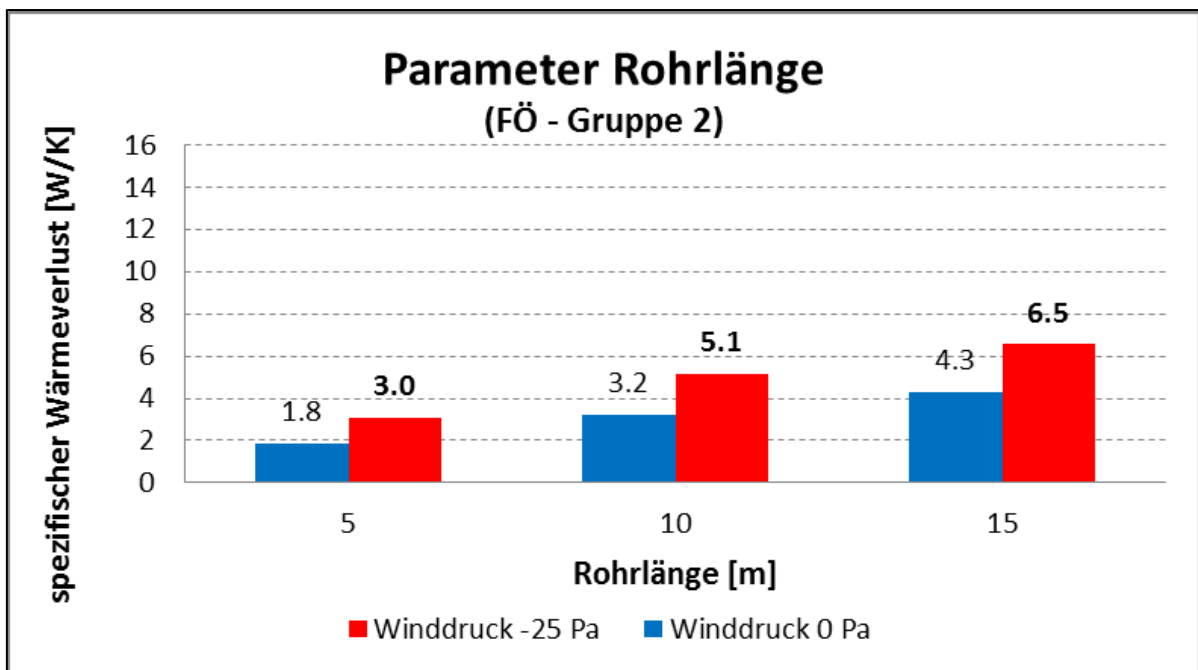


Abbildung 33: Einfluss Parameter Rohrlänge auf den Wärmeverlust

Aufgrund der Situation, dass die Lufttemperatur in der Kanalisation 12.5°C beträgt, hat die Länge der Funktionsöffnung einen Einfluss auf den Wärmeverlust. Im Vergleich dazu hatte die Länge der Funktionsöffnungen bei der Gruppe 1 keinen Einfluss, weil dort keine kalte Luft nachströmt.

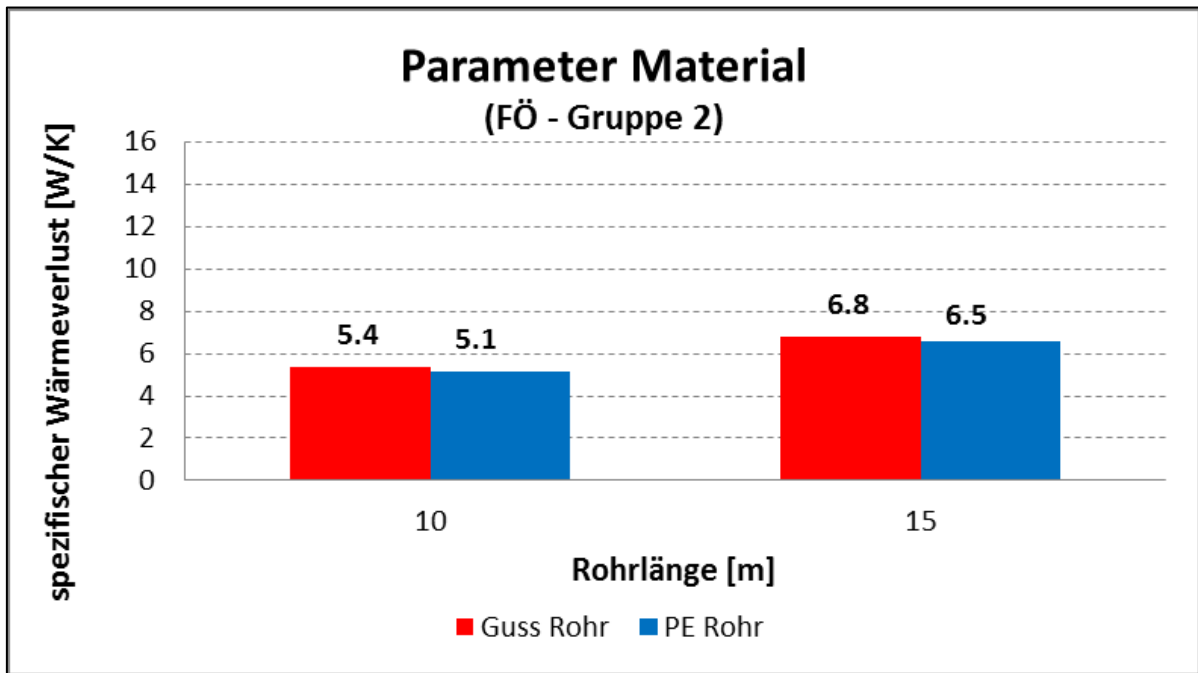


Abbildung 34: Einfluss Parameter Material auf den Wärmeverlust

Das Material hat einen geringen Einfluss auf den Wärmeverlust. Die massgebende Komponente für den Wärmeverlust ist bei ungedämmten Rohren der innere und der äussere Wärmeübergangskoeffizient. Wird das Rohr gedämmt, so ist die Dämmung der massgebende Faktor für die Verminderung des Wärmeverlustes.

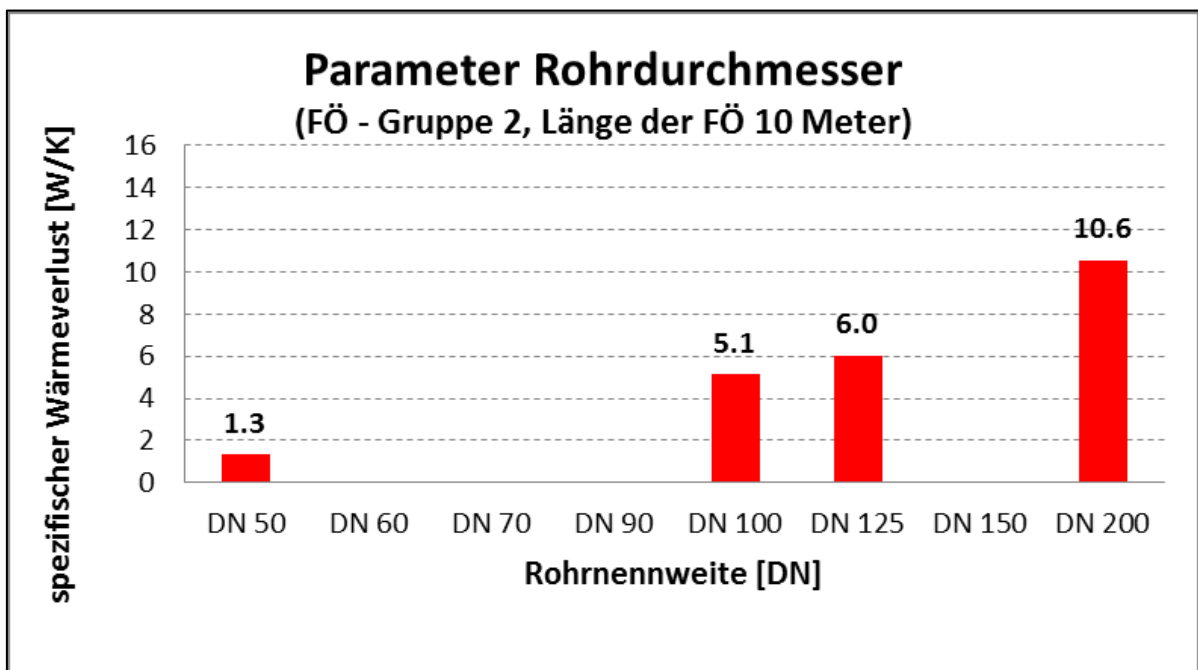


Abbildung 35: Einfluss Parameter Rohrdurchmesser auf den Wärmeverlust

Der Durchmesser der Funktionsöffnung hat auch bei der Gruppe 2 den grössten Einfluss auf den Wärmeverlust. Aufgrund der grösseren Oberfläche entweicht mehr Wärme über die Funktionsöffnung.

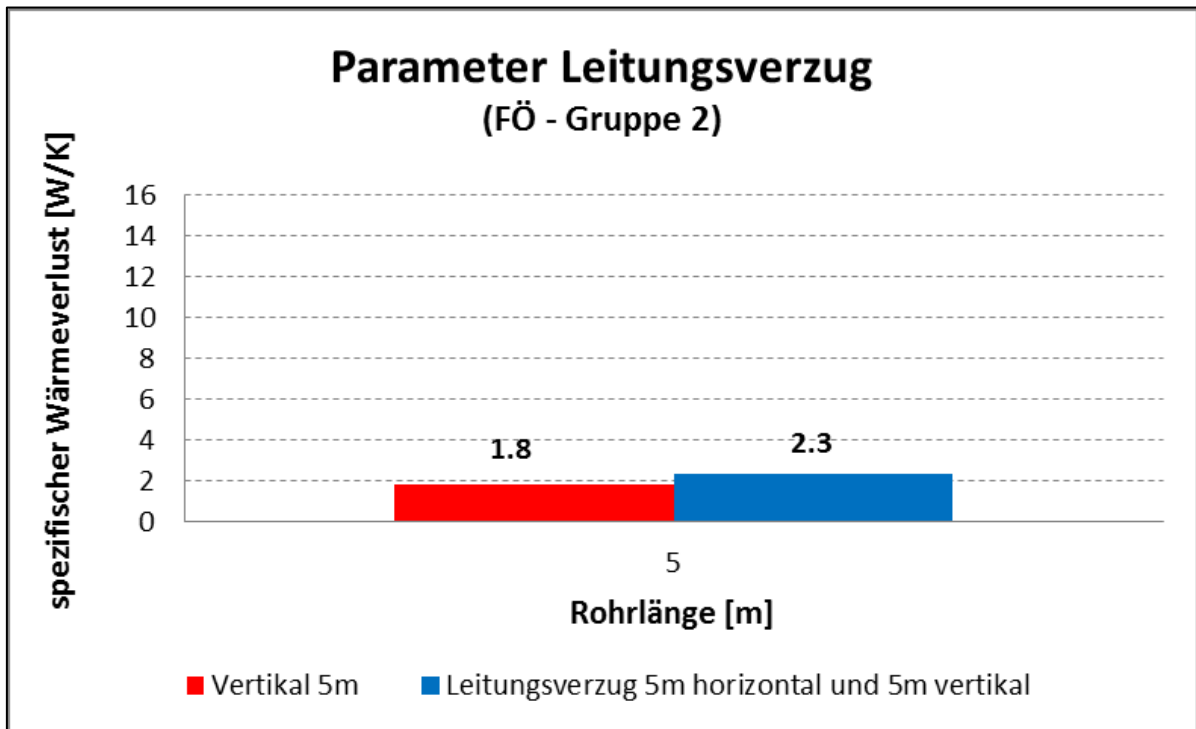


Abbildung 36: Einfluss Parameter Leitungsverzug auf den Wärmeverlust

Wie in Abbildung 19 dargestellt wurde der Einfluss eines Leitungsverzuges in der Decke simuliert. Im Vergleich mit dem Verlust einer Funktionsöffnung, welche über 5 Meter vertikal verläuft, erhöht sich durch den Leitungsverzug der Wärmeverlust um 28%.

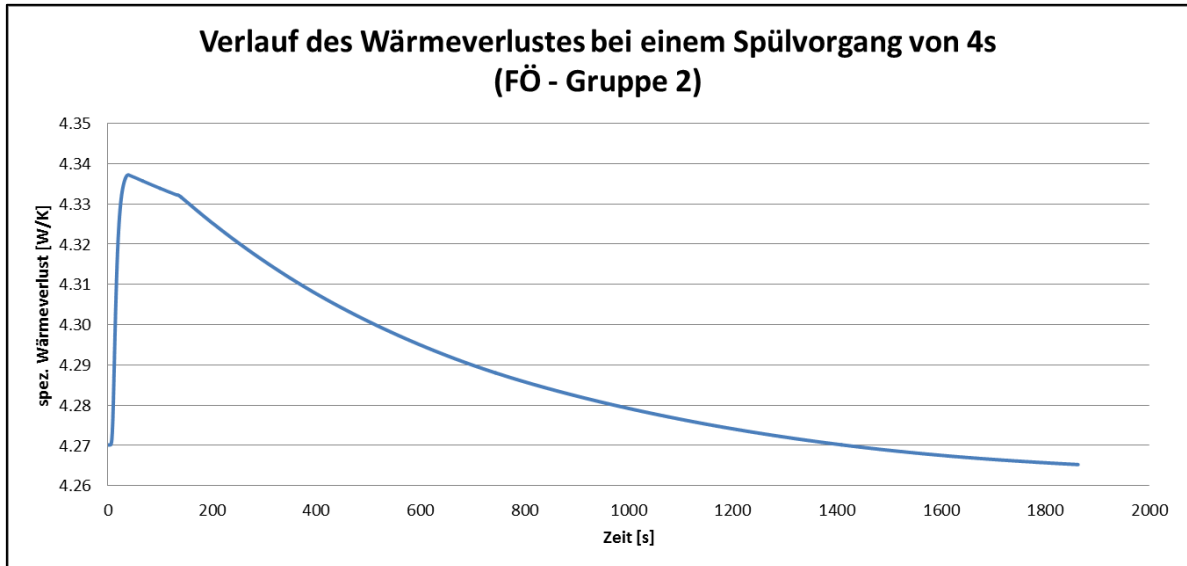


Abbildung 37: Einfluss eines Spülvorganges auf den Wärmeverlust

Die Untersuchung des Einflusses eines Spülvorganges hat ergeben, dass der durch die Spülungen verursachte zusätzliche Verlust im Vergleich zu den Verlusten im Normalzustand vernachlässigbar ist. Diese Aussage wird mit der Abbildung 37 belegt.

Als Grundlage für die Simulation des Wärmeverlustes durch einen Spülvorgang wurde der Wärmeverlust bei Gleichdruck verwendet. Der spezifische Wert des Wärmeverlustes beträgt 4.3^3 W/K (siehe dazu Abbildung 32). Durch die Spülung und somit das Nachreißen der kalten Aussenluft wird der Verlust kurzfristig auf 4.34 W/K erhöht. Auf 24 Stunden betrachtet beträgt der Verlust über diese Funktionsöffnung (bei einer Temperaturdifferenz von 20 K)

³ Exakter Wert 4.27 W/K

2050 Wh. Der Mehrverlust durch den Spülvorgang verursacht bei 16 Spülungen am Tag einen Mehrverlust von 3.8⁴ Wh. Dieser Verlust entspricht gerade mal 0.2% des Verlustes über die Funktionsöffnung während 24h⁵. Aufgrund dieser Tatsache können die Spülvorgänge vernachlässigt werden.

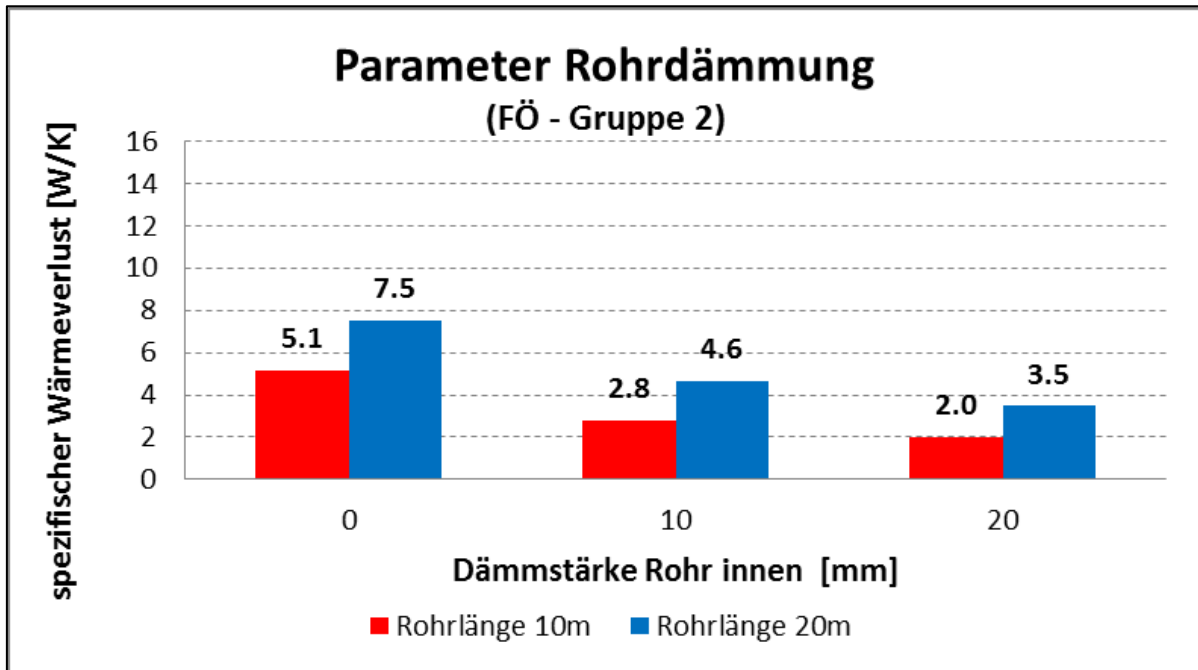


Abbildung 38: Einfluss Parameter Rohrdämmung auf den Wärmeverlust

Durch Dämmen der Leitung wird der Wärmeverlust stark verringert. Heutzutage werden Entlüftungsleitungen üblicherweise je nach Dimension mit 7 bis 12 mm Armaflex gedämmt und die innenliegenden Abwasserleitungen mit 13 bis 17 mm.

8.7. Fazit Wärmeverlust über die Funktionsöffnungen der Gruppe 2

Die Simulationen zeigen auf, dass die Verluste über die Funktionsöffnungen der Gruppe 2 (Entlüftungsleitungen, Dachabwasserleitungen) deutlich höher sind als die Verluste bei den Funktionsöffnungen der Gruppe 1. Vereinfacht kann man ungefähr von Verlusten sprechen, die um einem Faktor 10 höher sind. Dies, da bei den Funktionsöffnungen der Gruppe 2 die „kühle“ Luft aus der Kanalisation im Rohr nach oben steigt und über die Rohroberfläche erwärmt wird. Diese Wärme wird der Raumluft entzogen. Im Vergleich dazu wurden die Funktionsöffnungen der Gruppe 1 als geschlossen simuliert (Einrohrzirkulation), wobei keine „kühle Luft“ nachströmen kann.

Auf den Wärmeverlust haben im Wesentlichen der Durchmesser, die Rohrlänge im Dämmperimeter und die Dämmstärke einen massgebenden Einfluss. Diese Parameter werden für die Berechnung der Wärmeverlusttabelle berücksichtigt. Um den Wärmeverlust wirkungsvoll zu minimieren, ist es wichtig, die Funktionsöffnungen nicht zu überdimensionieren, sowie mit einer Dämmung zu versehen. Schon bei einer Dämmstärke von 25 mm kann der Wärmeverlust um die Hälfte reduziert werden. Ein weiterer Verminderungsfaktor wäre die Länge der Funktionsöffnung diese ist jedoch aus baulichen Gründen meist vorgegeben.

Die Relevanz in Bezug auf den gesamten Wärmebedarf eines Gebäudes wird in Kapitel 10 untersucht.

⁴ Entspricht der Fläche unter der Kurve in Abbildung 37

⁵ 2050 Wh

9. Wärmeverlusttabellen

Aus den Simulationsresultaten der Parameterstudie wird eine Wärmeverlusttabelle erstellt. Diese ist in der Darstellung an die Tabellen aus dem Wärmebrückenkatalog [5] angelehnt. Dank dieser Verlusttabellen kann je nach baulicher Situation der Wärmeverlust über die entsprechende Funktionsöffnung in einem Wärmebedarfsnachweis (z.B. nach SIA 380/1:2009 [3]) berechnet werden. Dadurch ist es möglich, die Funktionsöffnungen für den behördlichen Nachweis bei Bedarf zu berücksichtigen.

Da bei den Funktionsöffnungen der Gruppe 1 die Länge keinen Einfluss auf den Wärmeverlust aufweist, werden die Wärmeverluste für beide Gruppen wie punktuelle Wärmebrücken im Nachweis eingerechnet. Für die Funktionsöffnungen der Gruppe 2 wurde der Einfluss der Leitungslänge mit mehreren Wärmeverlusttabellen berücksichtigt.

Sämtliche Wärmeverlusttabellen sind im Anhang A 4 in besser lesbarer Grösse abgebildet.

9.1. Wärmeverlusttabelle Gruppe 1

In Abbildung 39 und Abbildung 40 sind die beiden Wärmeverlusttabellen für die Funktionsöffnungen der Gruppe 1 aufgeführt.

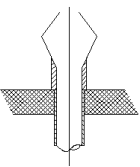
Einzelraumentlüftung, Abgasanlage Ofen, Küchenabluftanlagen, Verbrennungsluftzufuhr χ -Wert [W/K]										
Einbaulage: Vertikal										
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser								
		DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 160	DN 180	DN 200	DN 250	DN 315
	0	0.14	0.18	0.20	0.27	0.29	0.33	0.36	0.46	0.58
	5	0.13	0.16	0.17	0.24	0.26	0.29	0.32	0.41	0.52
	10	0.12	0.15	0.16	0.22	0.24	0.27	0.30	0.38	0.48
	15	0.10	0.13	0.14	0.19	0.21	0.23	0.26	0.33	0.42
	20	0.09	0.11	0.12	0.17	0.18	0.20	0.23	0.29	0.36
	25	0.07	0.09	0.10	0.14	0.15	0.17	0.19	0.24	0.31
Zuschläge										
Alu										51 [%]
Kunststoff										-32 [%]

Abbildung 39: Wärmeverlusttabelle der Funktionsöffnungen der Gruppe 1 mit der Einbaulage vertikal

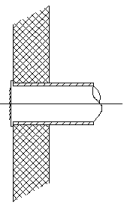
Küchenabluftanlagen, Verbrennungsluftzufuhr χ -Wert [W/K]										
Einbaulage: Horizontal										
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser								
		DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 160	DN 180	DN 200	DN 250	DN 315
	0	0.14	0.23	0.39	0.59	0.68	0.89	1.14	1.91	3.25
	5	0.12	0.21	0.34	0.52	0.61	0.80	1.01	1.70	2.89
	10	0.11	0.19	0.32	0.48	0.56	0.74	0.94	1.57	2.67
	15	0.10	0.17	0.28	0.42	0.49	0.64	0.82	1.36	2.32
	20	0.09	0.14	0.24	0.37	0.43	0.56	0.71	1.19	2.03
	25	0.07	0.12	0.20	0.31	0.36	0.47	0.60	1.00	1.71
Zuschläge										
Alu										51 [%]
Kunststoff										-32 [%]

Abbildung 40: Wärmeverlusttabelle der Funktionsöffnungen der Gruppe 1 mit der Einbaulage horizontal

Für die vollständige Erstellung der Wärmeverlusttabellen wurden Stützwerte aus den Simulationsrechnungen genommen und die dann noch fehlenden Tabellenwerte werden interpoliert. Die Zuschläge für das verwendete Material werden in einer Annäherung prozentual gemäss der einen Untersuchung aus der Parameterstudie vorgenommen. Im Anhang A 3 ist aufgeführt, wie die Verlustwerte interpoliert wurden.

9.1.1. Ablesebeispiel der Wärmeverlusttabelle Gruppe 2

In Abbildung 41 ist anhand des folgenden Beispiels aufgezeigt, wie der richtige Verlustwert herausgelesen werden kann.

Situation:

Einfamilienhaus mit einer Küchenabluftanlage (DN 160; Material Aluminium) an die Fassade geführt. Das Alu-Rohr ist mit 5 mm gegen Schwitzwasser gedämmt.

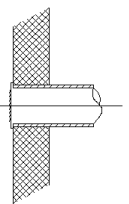
Küchenabluftanlagen, Verbrennungsluftzufuhr χ -Wert [W/K]										
Einbaulage: Horizontal										
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser								
		DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 160	DN 180	DN 200	DN 250	DN 315
	0	0.14	0.23	0.39	0.59	0.68	0.89	1.14	1.91	3.25
	5	0.12	0.21	0.34	0.52	0.61	0.80	1.01	1.70	2.89
	10	0.11	0.19	0.32	0.48	0.56	0.74	0.94	1.57	2.67
	15	0.10	0.17	0.28	0.42	0.49	0.64	0.82	1.36	2.32
	20	0.09	0.14	0.24	0.37	0.43	0.56	0.71	1.19	2.03
	25	0.07	0.12	0.20	0.31	0.36	0.47	0.60	1.00	1.71
Zuschläge										
Alu										51 [%]
Kunststoff										-32 [%]

Abbildung 41: Ablesebeispiel Wärmeverlusttabelle Gruppe 1, Horizontal

Der spezifische Wärmeverlust beträgt somit $0.61 + (0.61 \cdot 0.51) = 0.92 \text{ W/K}$

Die 0.92 W/K können nun als punktuelle Wärmebrücke im Wärmebedarfsnachweis eingesetzt werden um den jährlichen Energieverlust zu erhalten.

9.2. Wärmeverlusttabelle Gruppe 2

Die Parameterstudie hat gezeigt, dass für den Wärmeverlust der Funktionsöffnungen der Gruppe 2 die Rohrlänge einen massgebenden Einfluss hat. Aus diesem Grund haben wir fünf Wärmeverlusttabellen mit verschiedenen Rohrlängen für die Gruppe 2 erstellt. Des Weiteren haben die Dämmstärke und der Durchmesser einen wesentlichen Einfluss auf den Wärmeverlust für diese Gruppe Funktionsöffnungen. Dem wurde Rechnung getragen, indem die Wärmeverlusttabelle auf diesen Parametern aufgebaut wird, wie schon bei den Funktionsöffnungen der Gruppe 1. Die Wärmeverlusttabellen für die Funktionsöffnungen der Gruppe 2 sind in Abbildung 42 bis Abbildung 46 ersichtlich.

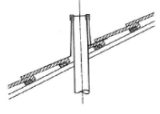
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 5 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	0.39	0.68	0.97	1.54	1.83	2.41	3.00	4.18
	5	0.30	0.51	0.73	1.16	1.37	1.81	2.25	3.13
	10	0.21	0.37	0.52	0.83	0.98	1.30	1.61	2.25
	15	0.18	0.32	0.45	0.71	0.85	1.12	1.39	1.94
	20	0.15	0.26	0.37	0.59	0.70	0.93	1.15	1.61
	25	0.11	0.20	0.28	0.44	0.52	0.69	0.86	1.20
Zuschläge									
Leitungsverzug:									

Abbildung 42: Wärmeverlusttabelle der Funktionsöffnungen der Gruppe 2, Rohrlänge 5 Meter

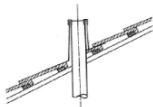
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 10 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	0.70	1.21	1.72	2.73	3.24	4.28	5.32	7.40
	5	0.53	0.91	1.29	2.05	2.43	3.21	3.99	5.55
	10	0.38	0.65	0.92	1.47	1.74	2.53	3.14	4.37
	15	0.32	0.56	0.80	1.27	1.50	2.34	2.91	4.05
	20	0.27	0.46	0.66	1.05	1.25	2.16	2.68	3.73
	25	0.20	0.35	0.49	0.78	0.93	1.94	2.42	3.36
Zuschläge									
Leitungsverzug:								28 [%]	

Abbildung 43: Wärmeverlusttabelle der Funktionsöffnungen der Gruppe 2, Rohrlänge 10 Meter

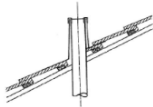
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 15 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	0.92	1.59	2.26	3.60	4.27	5.88	7.49	10.70
	5	0.69	1.20	1.70	2.70	3.21	4.41	5.62	8.03
	10	0.50	0.86	1.22	1.94	2.30	3.47	4.42	6.32
	15	0.43	0.74	1.05	1.67	1.98	3.22	4.10	5.86
	20	0.36	0.61	0.87	1.39	1.64	2.96	3.77	5.39
	25	0.26	0.46	0.65	1.03	1.22	2.67	3.40	4.86
Zuschläge									
Leitungsverzug: 28 [%]									

Abbildung 44: Wärmeverlusttabelle der Funktionsöffnungen der Gruppe 2, Rohrlänge 15 Meter

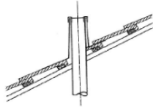
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 20 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	1.09	1.87	2.66	4.24	5.03	6.92	8.81	12.60
	5	0.92	1.59	2.26	3.60	4.27	5.87	7.48	10.69
	10	0.77	1.33	1.89	3.01	3.57	4.91	6.25	8.94
	15	0.69	1.19	1.69	2.69	3.19	4.40	5.60	8.00
	20	0.61	1.06	1.50	2.39	2.83	3.90	4.97	7.10
	25	0.52	0.89	1.27	2.01	2.39	3.29	4.19	5.99
Zuschläge									
Leitungsverzug:								28 [%]	

Abbildung 45: Wärmeverlusttabelle der Funktionsöffnungen der Gruppe 2, Rohrlänge 20 Meter

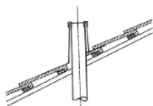
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 25 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	1.32	2.27	3.23	5.14	6.10	8.39	10.69	15.28
	5	1.12	1.93	2.74	4.36	5.18	7.12	9.07	12.97
	10	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 46: Wärmeverlusttabelle der Funktionsöffnungen der Gruppe 2, Rohrlänge 25 Meter

Die Wärmeverlusttabellen der Gruppe 2 werden identisch verwendet wie die der Gruppe 1. (siehe dazu 9.1.1)

10. Untersuchung Einfluss auf den Wärmebedarf eines EFH

Mit den Verlustwerten aus den Wärmeverlusttabellen kann der Wärmeverlust über ein Jahr mit einem Heizwärmebedarfsnachweis (z.B. nach SIA 380/1: 2009 [3]) berechnet werden. Wir haben zur Ermittlung der Relevanz eine exemplarische Berechnung durchgeführt. Für die Berechnung wurde ein fiktives, aber typisches Gebäude im Programm Enerhaus eingegeben. In Tabelle 14 bis Tabelle 16 sind die Resultate aufgelistet.

Für die Berechnung wurden folgende Eckdaten verwendet:

Klimastation: Zürich SMA

Nutzung: EFH

EBF: 250 m²

Funktionsöffnungen: Küchenabluftanlage mit einem χ -Wert von 0.68 W/K

Abgasanlage Schwedenofen; χ -Wert von 0.19 W/K

Entlüftungsleitung Sanitär à 10 Metern Höhe; χ -Wert von 3.24 W/K

(bei Durchmesser DN 100)

		Heizwärmebedarf EFH; Gesetzlicher Standard		Mehrverlust durch die FÖ; Gesetzlicher Standard
Funktionsöffnungen		[MJ/m ²]	[kWh/m ²]	[%]
Keine	-	194.6	54.1	-
Mit Funktionsöffnung Gruppe 1	-Küchenabluftanlage à 0.68 W/K -Abgasanlage Schwedenofen à 0.19 W/K	195.7	54.4	0.6
Mit Funktionsöffnung Gruppe 2	-Entlüftungsleitung Sanitär 10m à 3.24	198.6	55.2	2.1
Total		199.7	55.5	2.6

Tabelle 14: Heizwärmebedarf und Wärmeverlust über die FÖ – EFH gesetzlicher Standard

		Heizwärmebedarf EFH; MINERGIE-P Standard		Mehrverlust durch die FÖ; MINERGIE-P
Funktionsöffnungen		[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

Tabelle 15: Heizwärmebedarf und Wärmeverlust über die FÖ – EFH MINERGIE-P Standard

		Wärmeverlust durch die Funktionsöffnung	
Funktionsöffnungen		[kWh/a]	[kWh/am]
Keine	-		
Mit Funktionsöffnung Gruppe 1	-Küchenabluftanlage à 0.68 W/K -Abgasanlage Schwedenofen à 0.19 W/K	76	-
Mit Funktionsöffnung Gruppe 2	-Entlüftungsleitung Sanitär 10m à 3.24	278	27.8
Total		354	

Tabelle 16: Wärmeverlust über die FÖ während eines Jahres

Für die Funktionsöffnung der Gruppe 2 wurde als informativer Wert in der Tabelle 16 noch der spezifische Wärmeverlust pro Meter Funktionsöffnungslänge berechnet.

		Wärmeverlust durch die Funktionsöffnung	
Funktionsöffnungen		[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

Tabelle 17: Wärmeverluste über FÖ für verschiedene DN während eines Jahres

Für die Funktionsöffnung der Gruppe 2 wurde als informativer Wert in der Tabelle 17 noch der spezifische Wärmeverlust pro Meter Funktionsöffnungslänge für verschieden DN berechnet.

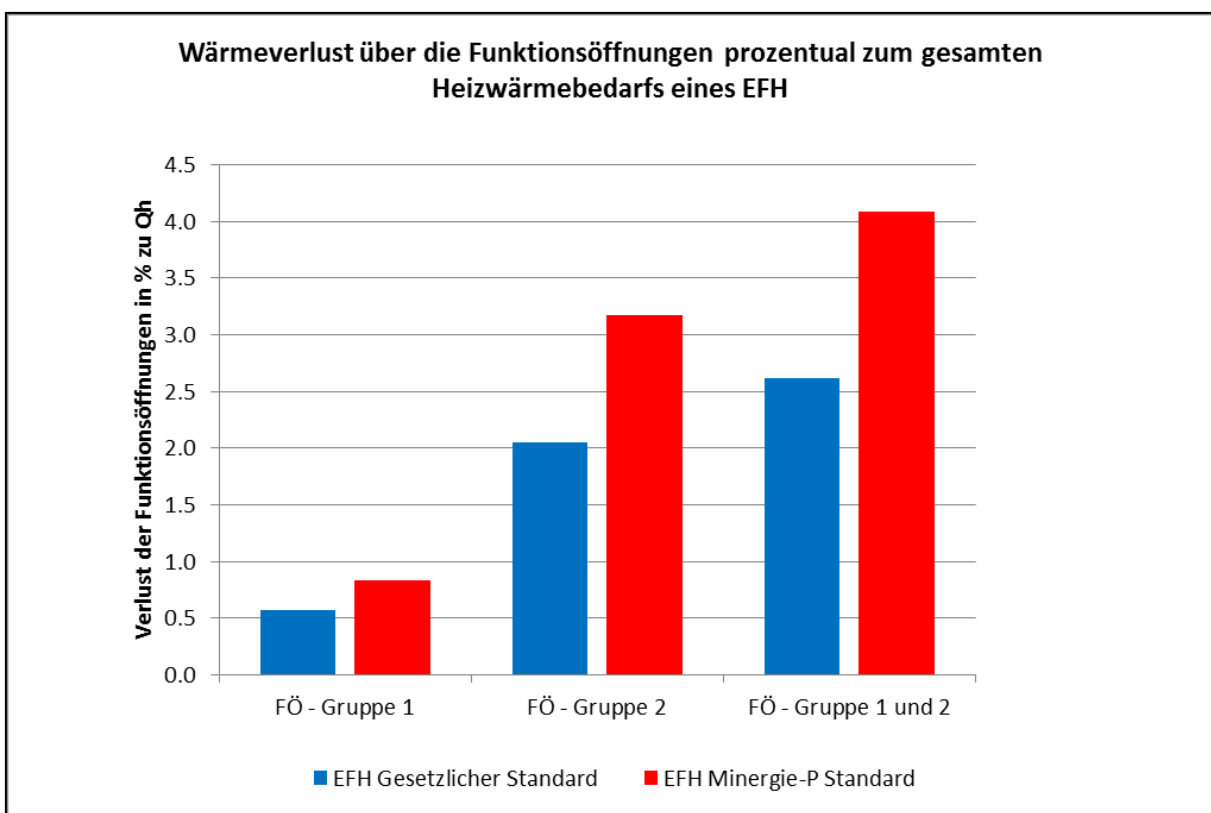


Abbildung 47: Prozentualer Wärmeverlust über die Funktionsöffnungen zum gesamten Heizwärmebedarf

Die Resultate aus den Berechnungen sind in Abbildung 47 zusammengefasst. Die Funktionsöffnungen der Gruppe 1 haben mit 0.6 %, respektive 0.8 % bei MINERGIE-P Gebäuden, einen geringen Einfluss auf den Heizwärmebedarf des Gebäudes. Betrachtet man jedoch den Verlust über die Funktionsöffnungen der Gruppe 2, kann eine gewisse Relevanz nicht mehr von der Hand gewiesen werden (2 %, resp. 3.2 % des gesamten Heizwärmebedarfs). Je nach Anzahl und Gegebenheit der Funktionsöffnung kann dieser Wert noch grösser ausfallen.

Betrachtet man den gesamten Anteil der Funktionsöffnungen (Gruppe 1 und Gruppe 2) am Heizwärmebedarf so liegt dieser bei 4 % in einem nach MINERGIE-P erstellten Gebäude.

10.1. Vergleich mit der Vorstudie

In der Vorstudie [1] ergaben die Berechnungen, dass bei einem Einfamilienhaus, welches nach dem MINERGIE-P Standard erstellt wird der Wärmeverlust über die Funktionsöffnungen bis zu 22 % ausmachen kann. Diese Aussage wird mit der vorliegenden

Hauptstudie revidiert. Die genaueren Untersuchungen ergeben, dass der Verlust wohl eher im Bereich von $< 5\%$ einzuordnen ist. Der Wert ist jedoch stark abhängig von der Anzahl Funktionsöffnungen. Woher kommt diese grosse Abweichung der beiden Untersuchungen? In der Vorstudie mussten viele Vereinfachungen getroffen werden und auch die Berechnungsmethode musste stark vereinfacht werden. Beides führte zu einer zu hohen Einschätzung der Wärmeverluste über die Funktionsöffnungen. Die genaueren Untersuchungen im Zuge dieser Studie haben nun aufgezeigt, dass der prozentuale Anteil des Wärmeverlustes über die Funktionsöffnungen am Heizwärmebedarf des Gebäudes wesentlich kleiner ausfällt. Nichts desto trotz beträgt der Anteil je nach Betrachtung immer noch 5% des gesamten Heizwärmebedarfs.

11. Fazit und Ausblick

11.1. Fazit

Die Resultate aus der Hauptstudie zeigen auf, dass die Wärmeverluste über Funktionsöffnungen infolge Einrohrzirkulation nicht so gross sind, wie sie aufgrund der Vorstudie noch zu vermuten waren. Trotzdem beträgt der Wärmeverlust je nach Gegebenheit bis zu 5 % des gesamten Heizwärmebedarfs eines Einfamilienhauses. Die Wärmeverluste über die Funktionsöffnungen haben also keinen signifikanten Anteil an den gesamten Wärmeverlusten aber doch einen relevanten Anteil, vor allem bei gut gedämmten Gebäuden.

Um die Wärmeverluste zu minimieren, ist es ratsam, die Funktionsöffnungen nicht zu gross zu dimensionieren und die Rohre mit einer Dämmung zu versehen. Mit einer Dämmung von 25 mm Dämmstärke kann der Wärmeverlust über die Funktionsöffnung halbiert werden gegenüber dem Fall ohne Wärmedämmung.

Für die Untersuchung wurden die Funktionsöffnungen in zwei Gruppen unterteilt, worin die Gruppe 1 eine Verbindung zur Raumluft aufweist und die Gruppe 2 eine Verbindung zur Kanalisation. Die Simulationen haben gezeigt, dass die Wärmeverluste bei den Funktionsöffnungen mit einer Verbindung zur Kanalisation ca. dem Zehnfachen gegenüber den Wärmeverlusten der Gruppe 1 entsprechen. Es ist jedoch wichtig hier anzumerken, dass sich die Untersuchungen auf die Einrohrzirkulation beschränken. Wie eingangs des Berichts erwähnt, bedeutet dies, dass die Wärmeverluste über die Infiltration (Luft, welche über die Funktionsöffnungen entweicht oder einströmt) nicht berücksichtigt wurden. Es wurde jedoch eine Abschätzung vorgenommen und dabei festgestellt, dass diese Verluste einem Vielfachen des Verlustes durch die Einrohrzirkulation entsprechen. Eine Quantifizierung dieser Verluste ist jedoch ungleich schwerer vorzunehmen, da die Infiltration vor allem von den Druckverhältnissen im und ums Gebäude abhängig ist.

Durch die Erstellung der Wärmeverlusttabellen ist es möglich, den zusätzlichen Heizenergiebedarf z.B. im Rahmen einer Berechnung nach SIA 380/1:2009 [3] zu berücksichtigen.

11.2. Ausblick

Die Resultate dieser Studie sind zu kommunizieren um damit zu prüfen, ob und in welcher Form sie weiterverwendet werden sollen. Bei der nächsten grösseren Überarbeitung der SIA 380/1:2009 [3] ist zu überprüfen, ob diese Thematik in den Berechnungsgang für den Heizwärmebedarf integriert werden soll. Zudem ist auch bei Minergie oder bei grossen privaten Bauträgern oder bei Planern zu prüfen, inwiefern diese Thematik berücksichtigt und weiterverfolgt werden soll.

Um die Resultate bezüglich der Wärmeverluste über Entlüftungsleitungen (Sanitär) zu überprüfen ist vorgesehen, an einer Entlüftungsleitung Messungen vorzunehmen. Mit Hilfe dieser Messung an einem realen Objekt sollen die Ergebnisse der Simulationen mit realen Messwerten verglichen werden. Da die Entlüftungsleitungen gemäss dieser Studie einen massgebenden Wärmeverlust verursachen, wird die Messung einer solchen Situation als sinnvoll erachtet.

12. Literaturverweise

- [1] Forschungsbericht BfE; „Wärmeverlust von Funktionsöffnungen – Vorstudie zur Quantifizierung des Wärmeverlustes von Gebäuden über Funktionsöffnungen infolge Einrohrzirkulation“; Bundesamt für Energie 2010
- [2] Merkblatt; „Aufzugsanlagen – Wärmeverluste verhindern“; Energiefachstellen der Kantone und des Fürstentums Lichtenstein, Energie Schweiz, Bundesamt für Energie 2004
- [3] Norm SIA 380/1, Thermische Energie im Hochbau, Ausgabe 2009.
- [4] Kurt Marti (2002). *U-Wert Berechnung und Bauteilkatalog – Neubauten*. Bern: Bundesamt für Energie BFE
- [5] Wärmebrückenkatalog, Bundesamt für Energie BFE 2002
- [6] Oskar Wanner (2004). *Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen*. Bern: Bundesamt für Energie BFE
- [7] Heinrich Huber, Iwan Plüss, „Küchenabluft in Wohnungen“; Baudirektion Kanton Zürich, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft 2004
- [8] Norm SIA 384.201, Heizungsanlagen im Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Ausgabe 2003

Anhänge

A 1. Messbericht Abgasanlage Schwedenofen

A 1.1. Zusammenfassung

Die Messresultate am Rauchrohr eines Schwedenofens haben gezeigt, dass der Wärmeverlust als gering zu bezeichnen ist. Rechnet man die Messwerte vereinfacht auf einen äquivalenten U-Wert für die Rauchrohroberfläche um, so erhält man einen Wert von $0.16^6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dies würde bedeuten, dass das Rauchrohr bei einer Aussenlufttemperatur von 0°C und einer ungedämmten Rauchrohroberfläche von 2m^2 , was ca. 5 Metern Rohr entspricht, einen Verlust von 6 Watt aufweist.

Diese Aussage gilt für alle Systeme. Denn ist der Ofen mit einer Frischluftzufuhr ausgestattet, so muss diese eine dicht schliessende Klappe aufweisen womit wir wieder dieselbe Situation wie bei der Messung haben.

Aus diesem Resultat liegt die Schlussfolgerung nahe, dass der Verlust über diese Rauchrohre im Vergleich zum gesamten Wärmeverlust des Gebäudes vernachlässigbar klein ist.

A 1.2. Ausgangslage

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Wärmeverlust von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen“ soll untersucht werden wie viel Wärmeenergie infolge der Einrohrzirkulation an die Aussenluft abfließt. Damit es überhaupt zu einer Einrohrzirkulation kommen kann, dürfen keine signifikanten Luftströme über die Funktionsöffnung zwischen Innen und Aussen auftreten. Ist dies der Fall, so ist der Verlust durch die aus-, respektive einströmende Luft definiert.

Bei Funktionsöffnungen, welche keine luftdichten Klappen aufweisen, kann dies der Fall sein. Eine solche Funktionsöffnung stellt das Rauchrohr bei einem Schwedenofen dar. Schwedenöfen besitzen zwar eine Absperrklappe (für den Fall, wenn der Ofen nicht in Betrieb ist) die jedoch nicht luftdicht ist.

Durch die in diesem Bericht durchgeführten Messungen soll aufgezeigt werden, ob sich bei einem Rauchrohr (Schwedenofen) eine Einrohrzirkulation einstellt. Sollte sich durch die Messungen ergeben, dass sich keine Einrohrzirkulation einstellt, so wird die Funktionsöffnung nicht weiter untersucht im Forschungsprojekt.

⁶ Bezogen auf die Rauchrohroberfläche in der thermischen Gebäudehülle

A 1.3. Messobjekt, Messort, Datum der Messung

Messobjekt: Schwedenofen Oranier
Messort: Altdorf (UR)
Datum der Messung: 12-11-25 bis 12-12-02



Abbildung 48: Messobjekt



Abbildung 49: Standort der Messung (Quelle: Google Earth)

A 1.4. Messverfahren

Um feststellen zu können, ob sich eine Einrohrzirkulation einstellt wird folgendes Verfahren angewendet: Es werden die Raumlufttemperatur, Aussenlufttemperatur, Rauchrohroberflächentemperatur vor der Klappe und nach der Klappe, sowie die Rauchrohrtemperatur vor Austritt aus dem Raum gemessen und während einer Woche aufgezeichnet.

Wenn sich eine Einrohrzirkulation einstellen würde, so könnte man dies anhand der unterschiedlichen Oberflächentemperaturen vor und nach der Absperrklappe ablesen.

A 1.5. Messresultate

A 1.5.1. Temperaturdifferenz über die Klappe

Aus Diagramm 2 ist ersichtlich, dass der Unterschied der Oberflächentemperaturen vor und nach der Absperrklappe im Rauchrohr meistens zwischen 0 K und 0.1 K liegt. Diese kleine Differenz ist unter der Berücksichtigung der Messgenauigkeit von ± 0.16 K nicht aussagekräftig genug. Würde sich jedoch eine markante Einrohrzirkulation einstellen, wäre hier eine messbare Differenz zu erwarten.

Zur Messperiode gilt es anzumerken, dass zu Beginn der Messungen am 25.11. und am 26.11. ein starker Föhn in Altdorf blies. Aus diesem Grund herrschte am 26.11. auch eine maximale Aussenlufttemperatur von nahezu 20°C. Die spitzen Ausschläge der Aussentemperatur sind auf die Lüftungsaktivitäten in der Wohnung und die Sonneneinstrahlung zurückzuführen. Der Aussenluftfühler war oberhalb der Balkontüre unter dem Dachvorsprung angebracht. Hier stieg also die warme, aus dem Raum entweichende Raumluft unter den Dachvorsprung wo sich der Fühler befand. Der Temperaturanstieg am 30.11 kann damit erklärt werden, dass kurz vor Mittag gelüftet wurde, als die Sonne durch die Wolken brach. Durch den Umstand, dass die sich an der roten Fassade erwärmte Luft unter dem Dachvorsprung sammelte, ist der Rückgang der Temperatur so langsam.

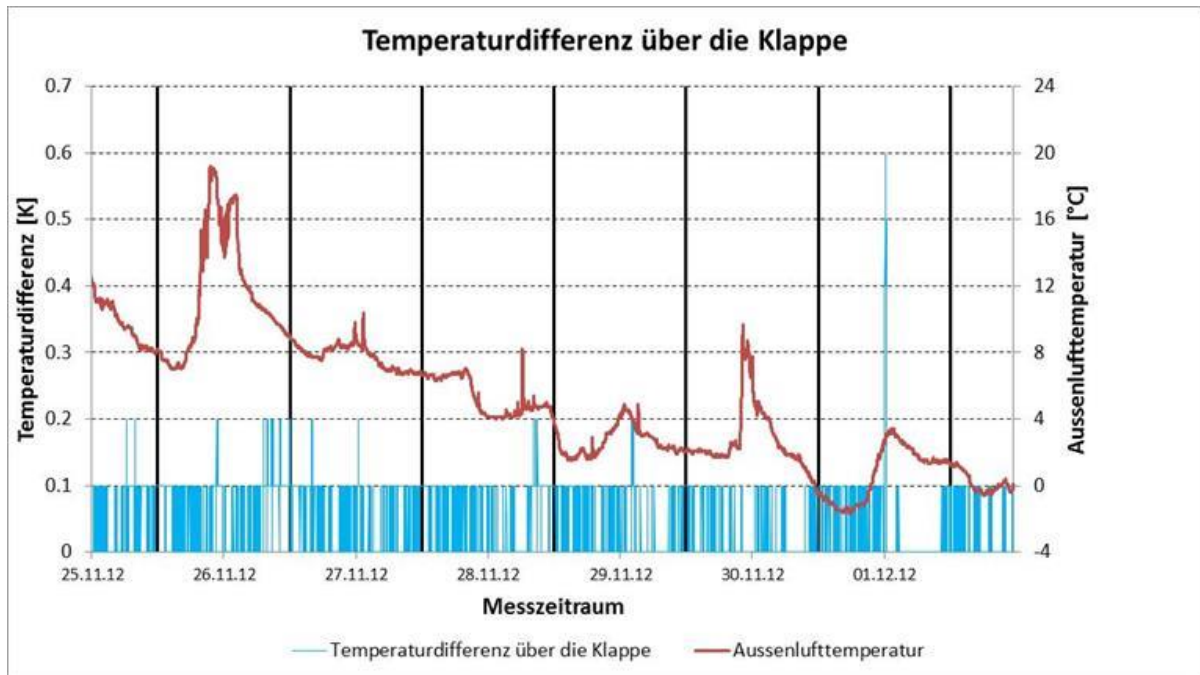


Diagramm 2: Temperaturdifferenz über die Rauchrohrklappe

A 1.5.2. Differenz Raumlufthtemperatur zur Oberflächentemperatur Rauchrohr

Bei der Auswertung der Messresultate haben wir eine Temperaturdifferenz zwischen der Raumlufthtemperatur und den Oberflächentemperaturen des Rauchrohres festgestellt. Dies lässt darauf schliessen, dass über das Rauchrohr trotzdem Wärmeverluste auftreten. Aus dem Diagramm 3 ist ersichtlich, dass bei kälter werdender Aussentemperatur die Differenz zwischen der Raumlufthtemperatur und der Rauchrohroberflächentemperatur zunimmt. Dadurch, dass die Messstelle in der Nähe der Wand (Durchbruch des Rauchrohres) mehr von der Wärmeleitung über die kühle Wandtemperatur betroffen ist, ergibt sich eine grössere Temperaturdifferenz (grüne Kurve) als bei der Messstelle (blaue Kurve) nach der Absperrklappe.

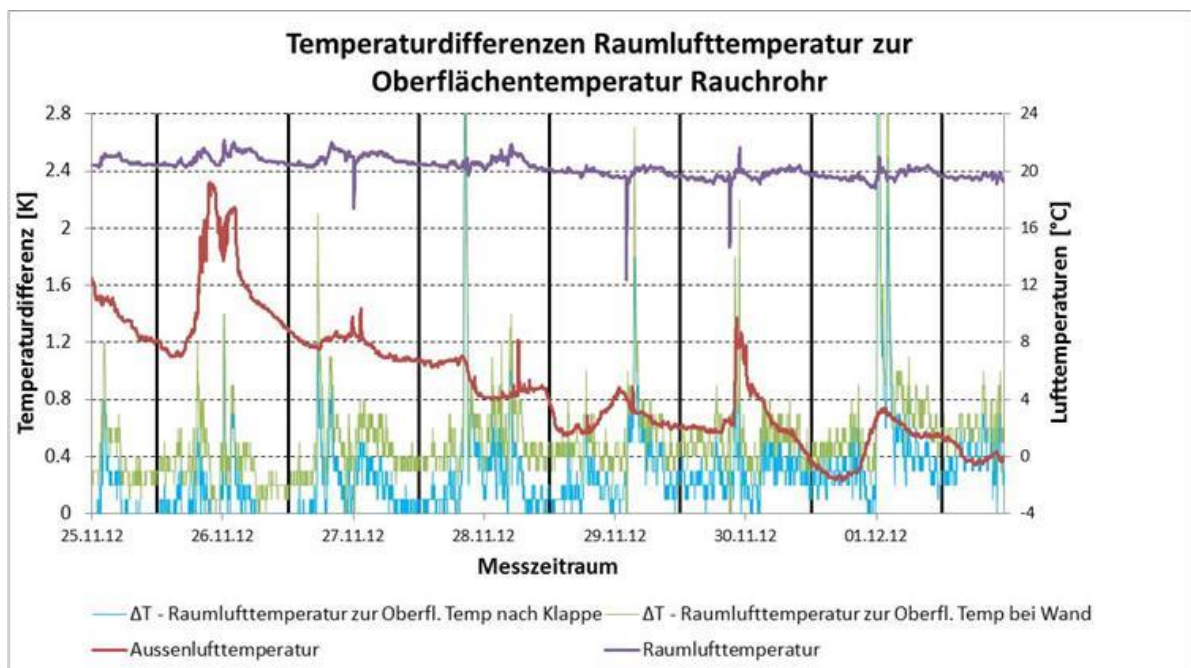


Diagramm 3: Temperaturdifferenzen der Raumlufthtemperatur zur Oberflächentemperatur des Rauchrohres

Die Wärmeverluste setzen sich durch die Wärmeleitung (Wärmebrücke) über das Stahlrohr und eine sich auch dadurch entstehende kleine Einrohrzirkulation zusammen. Die Verluste sind jedoch sehr klein. Um die Grösse des Verlustes abschätzen zu können wurde folgendes Vorgehen angewendet:

- Bestimmung des Zeitraums für die Mittelung der Messdaten

Um eine aussagekräftige Berechnung zu erhalten wurde die kalte Nacht vom 29.11. auf den 30.11 ausgewählt. Die kälteste Nacht wäre zwar die darauffolgende gewesen, da dann aber die Absperrklappe geöffnet war, konnten diese Daten nicht verwendet werden. Als Zeitspanne für die Auswertung wurden die Messdaten zwischen Mitternacht und 5 Uhr morgens gewählt.

- Mittelung der Messwerte

Über die gewählte Zeitspanne wurden die Differenztemperaturen und die Aussenluft-, sowie die Raumlufthtemperaturen gemittelt. Dies ergab folgende gemittelte Werte:

Aussenlufttemperatur:	2.08°C
Raumlufthtemperatur:	19.56°C
ΔT Raumlufth – Oberflächentemperatur ⁷ :	0.36 K

- Berechnung des äquivalenten U-Wertes

Für die Berechnung des Wärmeverlustes wurde vereinfachend der Standardwert aus dem Bauteilkatalog [4] für den inneren Wärmeübergang (8 W/m²K) verwendet. Der spezifische Wärmeverlust pro Quadratmeter Rohroberfläche wird anhand der Formel 1 berechnet.

Mittels der Temperaturdifferenz zwischen der Raumlufthtemperatur und der Aussenlufttemperatur kann der äquivalente U-Wert gemäss Formel 2 berechnet werden. Die Berechnung ergibt einen äquivalenten U-Wert von 0.16 W/m²K. Jedoch ist diese Berechnung noch mit der Unsicherheit durch die Messgenauigkeit behaftet – für eine Abschätzung ist dieser Wert jedoch genügend genau.

$$\dot{Q}_{spez} = \alpha \cdot \Delta T_1$$

Formel 1: Berechnung spezifischer Wärmeverlust

$$U_{\ddot{A}quivalent} = \frac{\dot{Q}_{spez}}{\Delta T_2}$$

Formel 2: Berechnung des äquivalenten U-Wertes

\dot{Q}_{spez}	Spezifischer Wärmeverlust	[W/m ²]	$U_{\ddot{A}quivalent}$	Äquivalenter U-Wert	[W/m ² K]
α	Innerer Wärmeübergangskoeffizient	[W/m ² K]	ΔT_2	Gemittelttes ΔT Raumlufth - Aussenluft	[K]
ΔT_1	Gemittelttes ΔT Raumlufth - Oberflächentemperatur	[K]			

⁷ Für die Mittelung haben wir den Mittelwert der beiden Differenzen aus Diagramm 3 verwendet.

A 1.6. Bilder mit der Infrarotkamera

Während der Messung wurden zusätzlich Aufnahmen mit einer Infrarotkamera gemacht. Die Aufnahmen welche in Abbildung 50 und Abbildung 51 abgebildet sind, wurden am Abend des 30.11.2012 um 21:30 Uhr erstellt. Die Bilder stützen die Aussagen der Messresultate.



Abbildung 50: Oberflächentemperaturen Rauchrohr (Ansicht von Vorne)

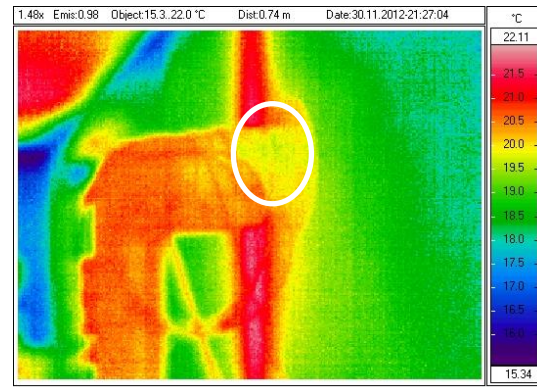


Abbildung 51: Oberflächentemperaturen Rauchrohr (Ansicht seitlich)

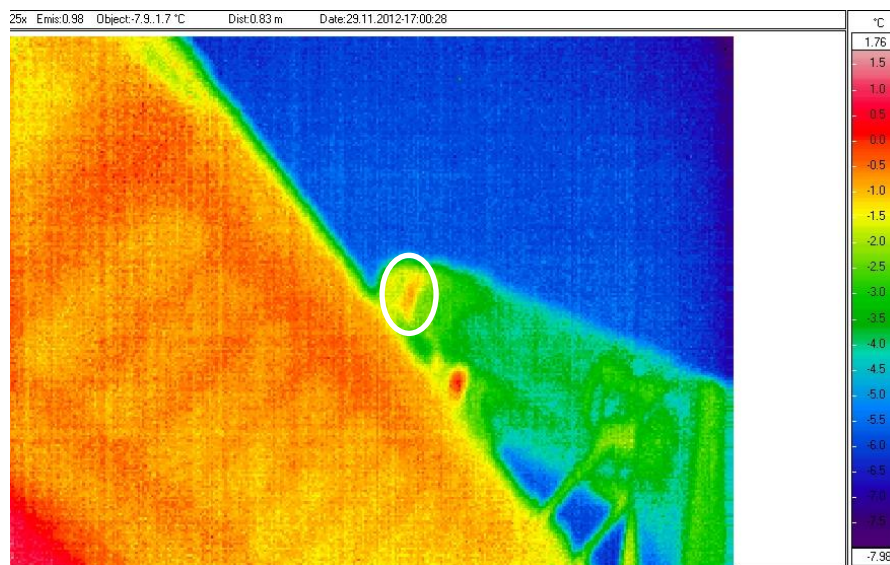


Abbildung 52: Oberflächentemperaturen des gedämmten Rauchrohres im Freien

In Abbildung 51 ist die kühlere Oberflächentemperatur beim Wandaustritt des Rauchrohres gut erkennbar. Auch die im Vergleich zur Raumlufttemperatur kühlere Oberflächentemperatur bei der Absperrklappe ist in Abbildung 50 gut erkennbar. Die Raumlufttemperatur betrug zur Aufnahmezeit 20.0°C.

Dass ein Wärmeverlust stattfindet belegt auch die Abbildung 52 in welcher erkennbar ist, dass die Oberflächen im Bereich der Öffnung wärmer sind.

A 1.7. Fazit

Aufgrund der Messresultate und den Infrarotaufnahmen kann ein Wärmeverlust über das Rauchrohr belegt werden. Dieser Wärmeverlust ist jedoch mit einem äquivalenten U-Wert von 0.16 W/m²K sehr gering. Wie bereits unter dem Punkt Ausgangslage erwähnt, wird in dieser Betrachtung nur der Verlust infolge Einrohrzirkulation berücksichtigt. Dies heisst, dass Wärmeverluste über Luftwechsel (z.B. infolge Unterdrucksituationen) nicht berücksichtigt

werden. Diese Verluste sind mittels des Standardwertes von $0.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ in der SIA 380/1 bereits berücksichtigt.

Vergleicht man dieses Resultat mit der U-Wert-Annahme aus der Vorstudie [2], welche $0.41 \text{ W/m}^2\text{K}$ (inkl. Dämmung) betrug, so liegen wir in der Realität um einen Faktor 2.5 tiefer. Bezug nehmend auf den prozentualen Wärmeverlust über die Abgasanlage (im Vergleich zum gesamten Heizwärmebedarfs) aus der Vorstudie bei einem EFH (Minergie-P Standard) würde sich der Verlust nun von 1.5% auf 0.6% verringern.

Als zusätzlicher Vergleich, kann man den Verlust über das Rauchrohr mit dem Verlust über eine Wärmebrücke betrachten. Nimmt man an, dass bei einem Objekt 40 Meter Fensterleibungen vorhanden sind mit einem ψ -Wert von 0.1 W/mK ergibt dies einen Verlust von 80 Watt über ein ΔT von 20 Kelvin. Im Vergleich dazu ist der Verlust über ein Rauchrohr mit einer Oberfläche von 1 m^2 im Dämmperimeter gerade mal 3.2 Watt.

Auch beim Gebäudebestand mit Baujahr vor 1988 dürften die Verluste einiges geringer ausfallen als in der Vorstudie angenommen. Die gemauerten Abgasanlagen weisen eine geringere Wärmeleitung und einen geringeren Wärmedurchgang als das Stahlrohr bei der Messung auf.

Aufgrund dieser Betrachtung, kann der Wärmeverlust über Abgasanlagen in der Hauptstudie vernachlässigt werden. Denn Abgasanlagen kommen in der Regel nur einmal vor in einem Gebäude im Gegensatz zu den häufiger anzutreffenden Wärmebrücken.

A 1.8. **Messeinrichtung**

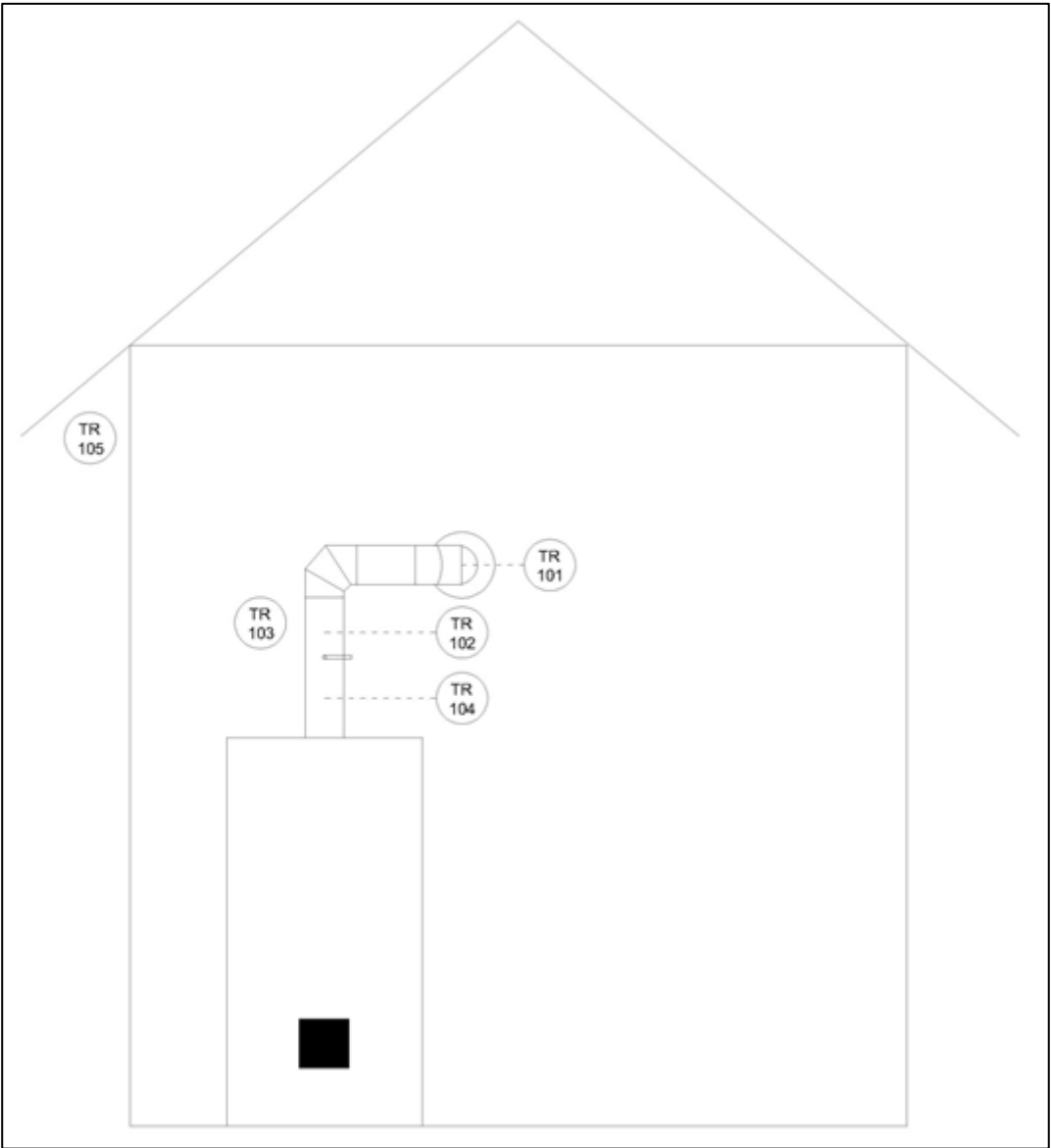


Abbildung 53: Messeinrichtung

Erstbuchstabe		Folgebuchstabe	Ergänzungsbuchstabe
F	Durchfluss	D	Differenz
P	Druck		
T	Temperatur		R Registrierung

Tabelle 18: Legende

TR 101	Oberflächentemperturfühler Abgasrohr kurz vor Austritt aus dem Raum
TR 102	Oberflächentemperturfühler Abgasrohr nach der Absperrklappe
TR 103	Raumlufttemperturfühler
TR 104	Oberflächentemperturfühler Abgasrohr vor der Absperrklappe
TR 105	Aussenlufttemperturfühler

Tabelle 19: Fühlerbeschreibung

A 1.9. Spezifikationen Messgeräte

Raumlufttemperaturfühler

Fabr.	Moser
Typ	Pt 100, DIN 1/5, 4 Leiter
Messbereich	-100°C bis +250°C
Messgenauigkeit	$\pm 0.06 \text{ K} + 0.005 \text{ K je K } \Delta T$ gegenüber 0°C Bei 20°C entspricht dies: $\pm 0.16 \text{ K}$

Oberflächentemperaturfühler

Fabr.	Moser
Typ	Pt 100, DIN 1/5, 4 Leiter
Messbereich	-100°C bis +250°C
Messgenauigkeit	$\pm 0.06 \text{ K} + 0.005 \text{ K je K } \Delta T$ gegenüber 0°C Bei 20°C entspricht dies: $\pm 0.16 \text{ K}$

Aussenlufttemperaturfühler

Fabr.	Mini-Datenlogger
Typ	PCE-MSR 145
Messbereich	-10°C bis +65°C
Messgenauigkeit	$\pm 0.2 \text{ °C}$ (-10°C bis 65°C)

A 2. Messbericht Messungen Prüfbox

A 2.1. Zusammenfassung

An der Prüfbox wurden zwei Messungen durchgeführt. Einmal wurde die Verlustleistung ohne Funktionsöffnung gemessen und einmal die Verlustleistung bei installierter Funktionsöffnung. Die Differenz der beiden Messungen ergibt den zusätzlichen Verlust, welcher über die Funktionsöffnung verursacht wird. Mit Hilfe dieses Wertes wird das CFD-Simulationsmodell validiert. Mit dem validierten Modell werden dann alle weiteren Verluste für die verschiedenen Funktionsöffnungen berechnet.

Die Messungen ergeben, dass der Verlust über die Funktionsöffnung (ein verzinktes Stahlrohr ungedämmt) 0.19 W/K beträgt. Durch die Parameterstudie mittels den CFD-Simulationen wird in der Folge der Einfluss von verschiedenen Parametern (Durchmesser, Dämmung, Material, Länge, etc.) untersucht. Aufgrund dieser Resultate kann das weitere Vorgehen definiert werden.

A 2.2. Ausgangslage

Im Zuge des BFE-Projektes „Wärmeverluste von Funktionsöffnungen infolge Einrohrzirkulation“ soll ein Funktionsöffnungskatalog erstellt werden. Dieser wird ähnlich dem bereits 2002 veröffentlichten Wärmebrückenkatalog [1] aufgebaut sein. Die Wärmeverluste der verschiedenen Funktionsöffnungen und deren verschiedenen Ausführungsarten werden mittels CFD-Simulationen (**C**omputational **F**luid **D**ynamics) ermittelt.

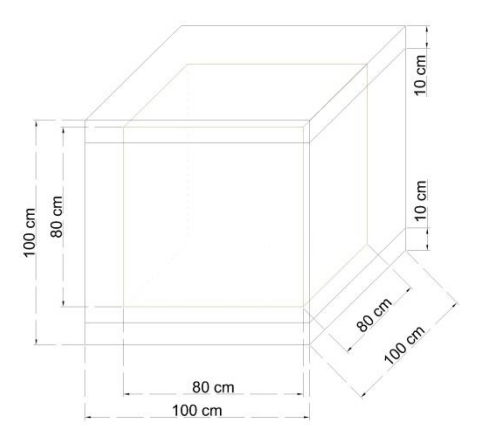
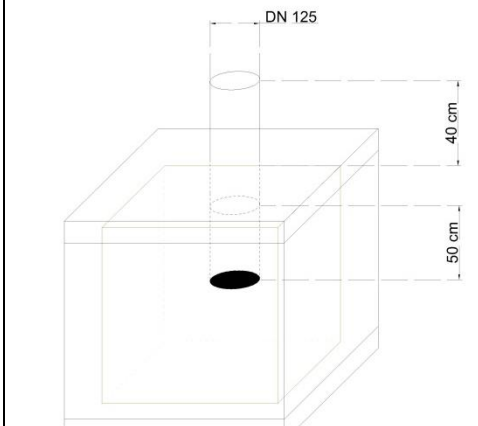
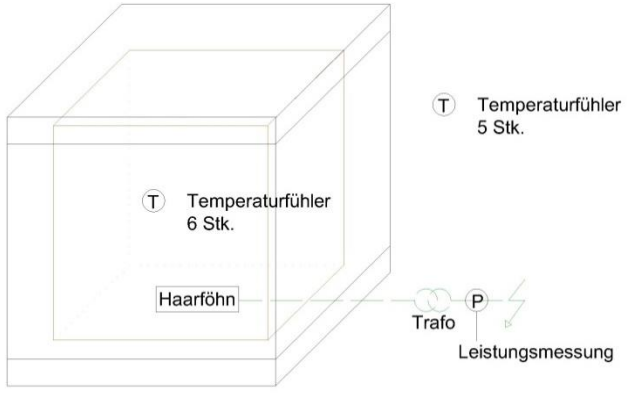
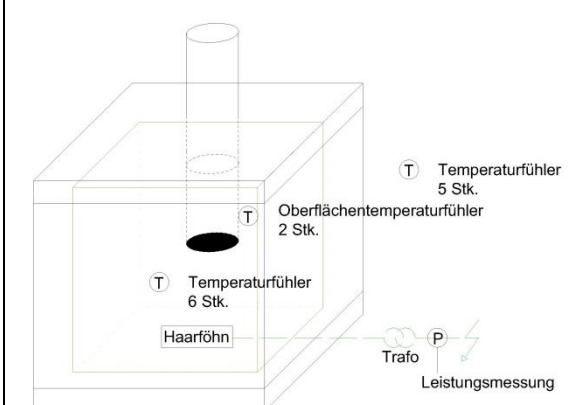
Um möglichst genaue Simulationsresultate zu erhalten, wird das Simulationsmodell im ersten Schritt validiert. Dafür wird eine Prüfbox erstellt, in welcher Messungen zum Wärmeverlust durchgeführt werden. Anhand der Differenz zwischen dem Wärmeverlust bei Messung 1 (ohne eingebaute Funktionsöffnung) und Messung 2 (mit eingebauter Funktionsöffnung) wird der Wärmeverlust infolge Einrohrzirkulation und infolge Wärmeleitung (Wärmebrücke) über die Funktionsöffnung ermittelt.

Anhand der Messresultate wird dann das Simulationsmodell validiert werden.

A 2.3. Grundlagen zu den Messungen

A 2.3.1. Messobjekt

Beim Messobjekt handelt es sich um eine eigens für das Projekt erstellte Prüfbox. Um Messfehler möglichst zu verhindern und um die Nachbildung des dreidimensionalen Modelles für die Simulation zu vereinfachen, wird folgender Messaufbau gewählt.

Messung ohne Funktionsöffnung	Messung mit Funktionsöffnung
	
	

Materialisierung der Box:

Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Wärmekapazität	Dicke
[-]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]	[m]
Holzspanplatte	0.14	600	1700	0.019
EPS 15	0.04	15	1450	0.1

Tabelle 20: Materialisierung Prüfbox

Materialisierung Rohr:

Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Wärmekapazität	Dicke
[-]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]	[m]
Stahlblech verzinkt	50	7800	450	0.0007

Tabelle 21: Materialisierung Rohr

In Abbildung 54 bis Abbildung 56 ist der Aufbau und die Fühlerplatzierung mittels Fotos dokumentiert.

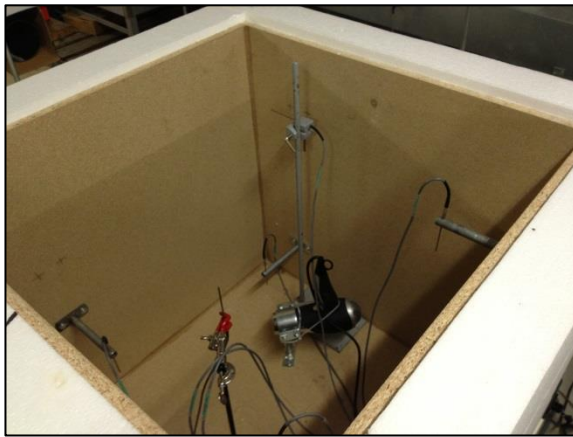


Abbildung 54: Innenansicht Prüfbox



Abbildung 55: Fühlerplatzierung und Wärmequellenposition (Föhn)



Abbildung 56: Ansicht Prüfbox mit eingebauter Funktionsöffnung

A 2.4. **Messort**

Die Messungen fanden an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur Horw statt. Dabei wurde die Prüfbox im Kellerraum Trakt I, A9 aufgestellt. Dies, da im Keller konstante Temperaturen mit Abweichungen von maximal ± 0.4 K auftreten und somit eine Aufstellung in der Klimakammer nicht notwendig war.

A 2.5. **Datum der Messungen**

Die Messungen fanden zwischen dem 20.12.2012 und 25.1.2013 statt.

A 2.6. Messverfahren

Bei der Messung wird mit einem elektrischen Haarföhn eine Leistung in der Box abgegeben, welche mittels eines Trafos eingestellt werden kann. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Temperaturdifferenz zwischen der Luft in der Box und der Luft ausserhalb der Prüfbox ca. 20 K beträgt. In der Folge wurde abgewartet, bis die Temperaturen den Beharrungszustand erreicht haben. Die Leistung, welche dann der Prüfbox zugeführt wird, entspricht der Verlustleistung der Prüfbox.

Die gleiche Messung wird dann bei der Prüfbox, bei welcher das Rohr (Funktionsöffnung) installiert ist, wiederholt. Die Differenz zwischen den beiden Messungen ergibt den Verlust welcher durch die Funktionsöffnung verursacht wird. Um die beiden Messungen miteinander vergleichen zu können, wird der spezifische Verlustwert in W/K ausgerechnet. Für die Auswertung wurde der Mittelwert über 30 Minuten aller gemessenen Werte gebildet.

A 2.7. Messresultate

A 2.7.1. Messung 1 - Prüfbox ohne Funktionsöffnung

In Abbildung 57 ist die Auswertungsperiode der Messung 1 dargestellt. Dabei wurden die Mittelwerte über eine Zeitdauer von 30 Minuten gebildet.

Aus der Tabelle 22 sind die Mittelwerte aus der Messung 1 ersichtlich. Aufgrund der Messresultate ergibt sich über die Prüfbox ein spezifischer Verlust von 1.54 W/K.



Abbildung 57: Messwerte während der Auswertungsperiode bei der Messung ohne Funktionsöffnung

Temperaturen			Leistung	
Mittelwert T_{innen}	Mittelwert T_{ausen}	$\Delta T_{\text{innen/aussen}}$	Leistungsaufnahme Föhn	Wärmeverlust
[°C]	[°C]	[K]	[W]	[W/K]
37.22	16.59	20.63	31.74	1.54

Tabelle 22: Auswertung Messung der Prüfbox ohne Funktionsöffnung

A 2.7.2. Messung 2 - Prüfbox ohne Funktionsöffnung

Analog zu Abschnitt A 2.7.1 wurde die Auswertung für die Messung 2 durchgeführt. Zusätzlich zur Messung 1 ist in der Tabelle 23 noch die Temperatur im Rohrinne (77cm im Rohr, von aussen gemessen) aufgeführt. Durch die Messung kann gezeigt werden, dass im Rohr nahezu die Raumlufttemperatur herrscht, was eine Einrohrzirkulation antreibt.

Durch den Einbau der Funktionsöffnung hat sich der spezifische Verlust der Prüfbox auf 1.73 W/K erhöht. Dies gegenüber den 1.54 W/K aus Messung 1. Es gilt zu beachten, dass bei

diesem Verlustwert sowohl der Einfluss der Einrohrzirkulation als auch der Einfluss der Wärmebrücke durch die Durchdringung des Dämmperimeters enthalten sind.

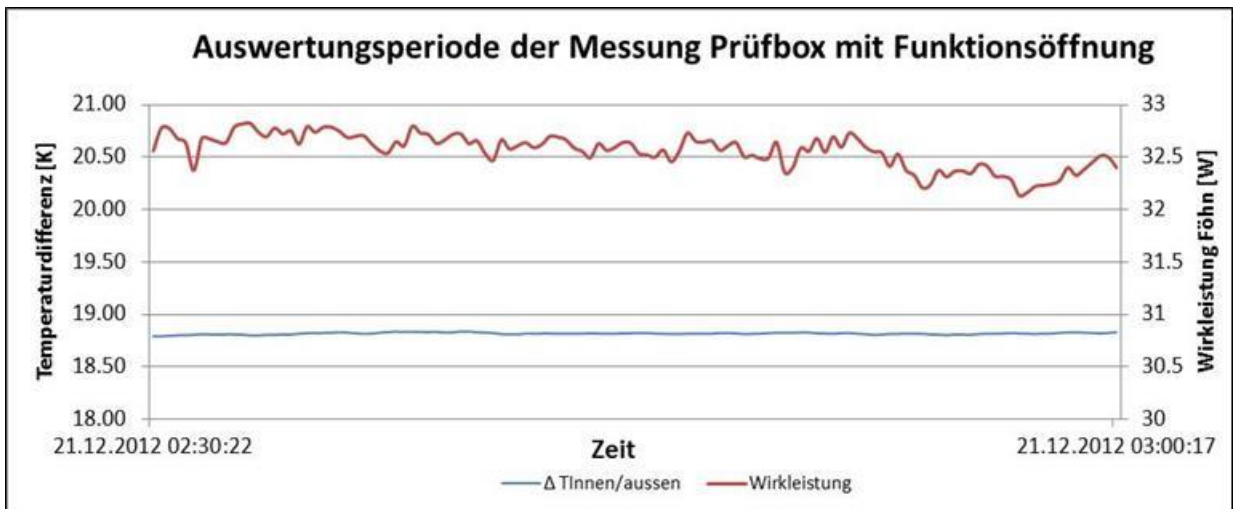


Abbildung 58: Messwerte während der Auswertungsperiode bei der Messung mit Funktionsöffnung

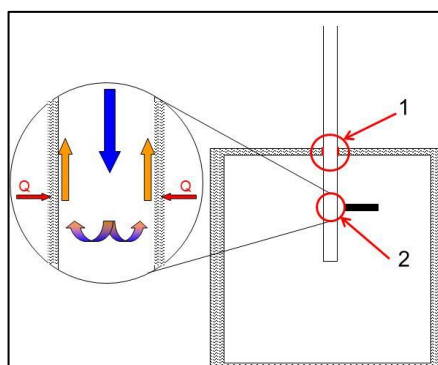
Temperaturen				Leistung	
Mittelwert T_{innen}	Mittelwert $T_{\text{im Rohr}}$ (Fühlerposition 77 cm im Rohr von oben gemessen)	Mittelwert T_{ausen}	$\Delta T_{\text{innen/ausen}}$	Leistungsaufnahme Föhn	Wärmeverlust
[°C]	[°C]	[°C]	[K]	[W]	[W/K]
35.90	35.36	17.08	18.82	32.56	1.73

Tabelle 23: Auswertung Messung der Prüfbox mit Funktionsöffnung

A 2.8. Verlust über die Funktionsöffnung

Infolge der Wärmeverluste durch die sich einstellende Einrohrzirkulation und der Wärmebrücke ergibt sich ein spezifischer Verlustwert von **0.19 W/K** über die Funktionsöffnung. Bezogen auf die Länge der Funktionsöffnung im Dämmperimeter ergibt das ein Verlust von 0.1 W/mK. Ob diese Betrachtung zulässig ist, wird sich dann durch die Parameterstudie mittels den CFD-Simulationen zeigen.

Mit diesem Wert kann nun das CFD-Modell validiert werden, welches anschliessend für alle weiteren Berechnungen verwendet wird.



1: Wärmebrücke

2: Einrohrzirkulation

Abbildung 59: Vereinfachte Darstellung der Verluste über die Funktionsöffnung

A 2.9. **Fazit**

Die Messungen an der Prüfbox ergeben, dass durch den Einbau der Funktionsöffnung ein Wärmeverlust von 0.19 W/K entsteht. Dieser Wert umfasst sowohl den Verlust über die Einrohrzirkulation sowie den Verlust über die durch den Einbau entstandene Wärmebrücke. Mit obigem Verlustwert von 0.19 W/K wird in der Folge das CFD-Simulationsmodell validiert.

Aus den Simulationen können Rückschlüsse über die Angaben des Verlustkoeffizienten gezogen werden. Es stellt sich die Frage, ob der Verlust signifikant höher wird bei einer grösseren Leitungslänge innerhalb des Dämmperimeters oder ob der Einfluss vernachlässigbar ist. Diese Erkenntnis wird dann in die Angabe des Verlustbeiwertes einfließen, d.h. können die Verluste in W/K als punktueller Verlust angegeben werden oder ist die Länge der Funktionsöffnung mittels W/mK im Verlustbeiwert zu berücksichtigen?

A 2.10. **Messeinrichtung**

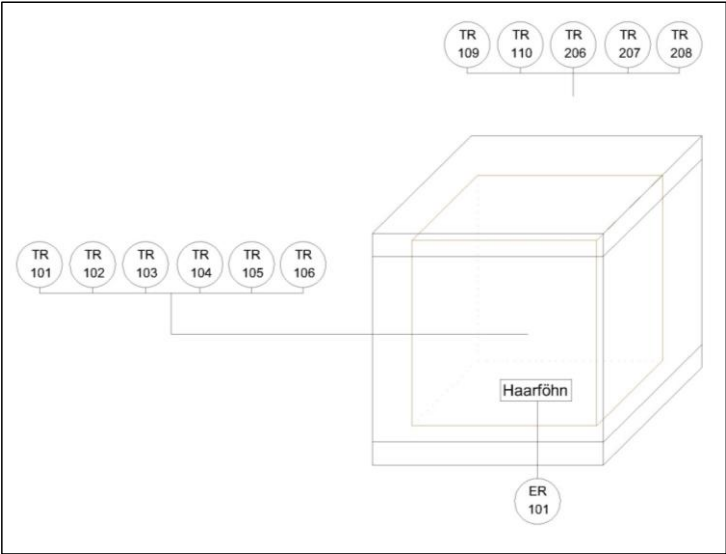


Abbildung 61: Messeinrichtung Box ohne Funktionsöffnung

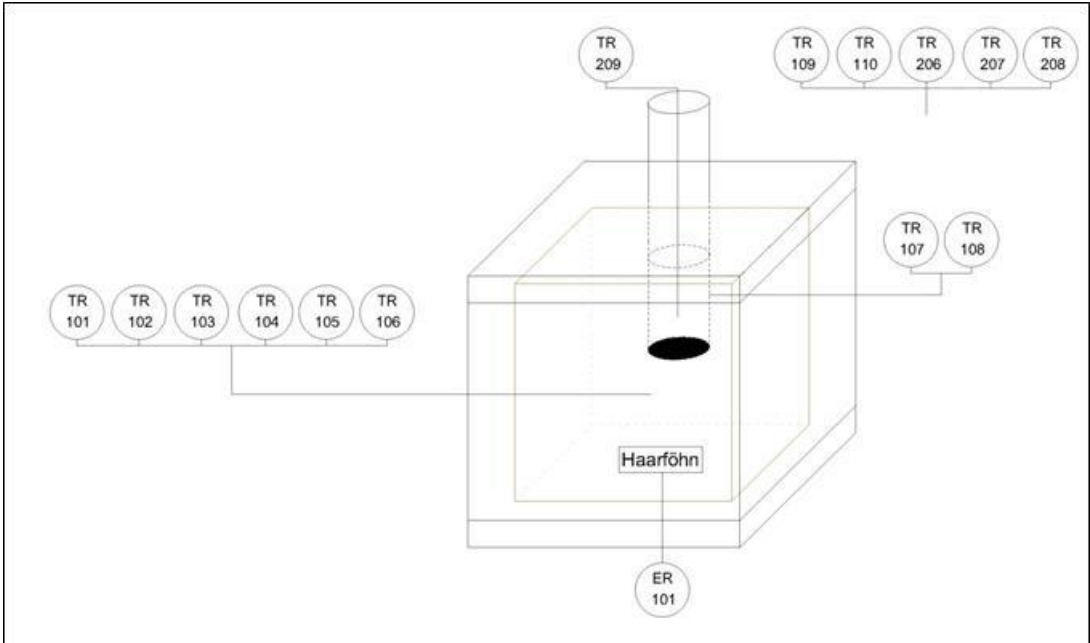


Abbildung 60: Messeinrichtung Box mit Funktionsöffnung

Erstbuchstabe		Folgebuchstabe		Ergänzungsbuchstabe	
F	Durchfluss	D	Differenz	R	Registrierung
P	Druck				
T	Temperatur				

Tabelle 24: Legende

TR 101	Temperaturfühler in der Box 15cm über Boden und 15cm von der Wand entfernt
TR 102	Temperaturfühler in der Box 30cm über Boden und 15cm von der Wand entfernt
TR 103	Temperaturfühler in der Box 45cm über Boden und 15cm von der Wand entfernt
TR 104	Temperaturfühler in der Box 60cm über Boden und 15cm von der Wand entfernt
TR 105	Temperaturfühler in der Box 45cm über Boden und 28cm und 37cm von der Wand entfernt
TR 106	Temperaturfühler in der Box 60cm über Boden und 5cm von der Wand entfernt

TR 107	Oberflächentemperaturfühler Rohr kurz vor Austritt aus der Box (5cm)
TR 108	Oberflächentemperaturfühler Rohr in der Mitte des Rohres in der Box (25cm)
TR 109	Aussenlufttemperaturfühler 25cm von der Box entfernt und 70cm über Boden Seite 1
TR 110	Aussenlufttemperaturfühler 25cm von der Box entfernt und 70cm über Boden Seite 2
TR 206	Aussenlufttemperaturfühler 25cm von der Box entfernt und 70cm über Boden Seite 3
TR 207	Aussenlufttemperaturfühler 25cm von der Box entfernt und 70cm über Boden Seite 4
TR 208	Aussenlufttemperaturfühler 25cm von der Box über dem Deckel
TR 209	Temperatur im Rohr 70cm von Oberkante aussen
ER 101	Leistungsmessung elektrischer Haar Föhn

Tabelle 25: Fühlerbeschreibung

A 2.11. Spezifikationen Messgeräte

Raumlufttemperaturfühler

Fabr.	Moser
Typ	Pt 100, DIN 1/5, 4 Leiter
Messbereich	-100°C bis +250°C
Messgenauigkeit	$\pm 0.06 \text{ K} + 0.005 \text{ K je K } \Delta T$ gegenüber 0°C Bei 20°C entspricht dies: $\pm 0.16 \text{ K}$

Oberflächentemperaturfühler

Fabr.	Moser
Typ	Pt 100, DIN 1/5, 4 Leiter
Messbereich	-100°C bis +250°C
Messgenauigkeit	$\pm 0.06 \text{ K} + 0.005 \text{ K je K } \Delta T$ gegenüber 0°C Bei 20°C entspricht dies: $\pm 0.16 \text{ K}$

Energiemessgerät

Fabr.	Infratek
Typ	304B

A 3. Berechnung der Wärmeverlusttabellen

A 3.1. Interpolation der Wärmeverlusttabelle Funktionsöffnungen der Gruppe 1

Die Wärmeverlusttabellen sind basierend auf den Simulationsresultaten der Parameterstudie erstellt worden. Zusätzlich wurden vereinzelte Simulationen durchgeführt, um bestimmte Werte mittels Simulationen zu belegen. Anhand der so erhaltenen Werte wurden die Werte für die Wärmeverlusttabellen interpoliert.

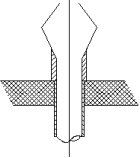
Einzelraumentlüftung, Abgasanlage Ofen, Küchenabluftanlagen, Verbrennungsluftzufuhr χ -Wert [W/K]										
Einbaulage: Vertikal										
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser								
		DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 160	DN 180	DN 200	DN 250	DN 315
	0	0.14	0.18	0.20	0.27	0.29	0.33	0.36	0.46	0.58
	5	0.13	0.16	0.17	0.24	0.26	0.29	0.32	0.41	0.52
	10	0.12	0.15	0.16	0.22	0.24	0.27	0.30	0.38	0.48
	15	0.10	0.13	0.14	0.19	0.21	0.23	0.26	0.33	0.42
	20	0.09	0.11	0.12	0.17	0.18	0.20	0.23	0.29	0.36
	25	0.07	0.09	0.10	0.14	0.15	0.17	0.19	0.24	0.31
Zuschläge										
Alu								51 [%]		
Kunststoff								-32 [%]		

Abbildung 62: Wärmeverlusttabelle Gruppe 1, Einbaulage vertikal – mit Markierung der Simulationswerte

Die meisten Simulationen für die Parameterstudie wurden ohne äussere Dämmung durchgeführt. In der Realität sind diese Funktionsöffnungen jedoch aussen gedämmt. Aus diesem Grund, wurden als Ausgangslage die Werte verwendet, welche mit einer Aussendämmung von 30mm gerechnet wurden (grün hinterlegte Werte in Abbildung 62).

Um den Einfluss des Durchmessers zu berücksichtigen, wurden die Simulationsresultate aus der Parameterstudie Durchmesser verwendet⁸. Mit den Resultaten wurde eine lineare Funktion berechnet, um die Verlustwerte für die restlichen Dimensionen zu erhalten. Die jeweilige Differenz zwischen den Dimensionen wurde für die Wärmeverlusttabelle bei Dämmstärke 0 mm verwendet. Die restlichen Werte bezogen auf die Dämmstärke wurden prozentual anhand der Spalte DN 125 interpoliert.

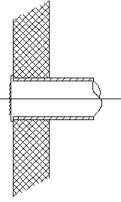
Küchenabluftanlagen, Verbrennungsluftzufuhr χ -Wert [W/K]										
Einbaulage: Horizontal										
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser								
		DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 160	DN 180	DN 200	DN 250	DN 315
	0	0.14	0.23	0.39	0.59	0.68	0.89	1.14	1.91	3.25
	5	0.12	0.21	0.34	0.52	0.61	0.80	1.01	1.70	2.89
	10	0.11	0.19	0.32	0.48	0.56	0.74	0.94	1.57	2.67
	15	0.10	0.17	0.28	0.42	0.49	0.64	0.82	1.36	2.32
	20	0.09	0.14	0.24	0.37	0.43	0.56	0.71	1.19	2.03
	25	0.07	0.12	0.20	0.31	0.36	0.47	0.60	1.00	1.71
Zuschläge										
Alu								51 [%]		
Kunststoff								-32 [%]		

Abbildung 63: Wärmeverlusttabelle Gruppe 1, Einbaulage horizontal - mit Markierung der Simulationswerte

Das Vorgehen bei der Einbaulage war ähnlich dem Vorgehen bei der vertikalen Einbaulage. Da auch hier die Funktionsöffnungen in der Realität an der Fassade bündig geführt sind, wurde noch eine zusätzliche Simulation erstellt mit DN 200. Mit dem Wissen aus der Parameterstudie, dass sich der Wärmeverlust nahezu quadratisch zum Durchmesser ändert, wurden die Werte bei Dämmstärke 0mm mit einer potenziellen Trendlinie berechnet. Die Werte bei der Zunahme der Dämmstärke wurden wiederum prozentual⁹ berechnet.

⁸ Mit 0mm Dämmung gerechnet

⁹ Mit den Werten aus der Gruppe 1

A 3.2. Interpolation der Wärmeverlusttabelle Funktionsöffnungen der Gruppe 2

Exemplarisch für alle Wärmeverlusttabellen der Gruppe 2 wird die Tabelle mit der Rohrlänge 10 Meter für die Erklärung verwendet.

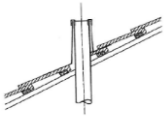
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 10 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	0.7	1.2	1.7	2.7	3.2	4.3	5.3	7.4
	5	0.5	0.9	1.3	2.0	2.4	3.2	4.0	5.6
	10	0.4	0.6	0.9	1.5	1.7	2.5	3.1	4.4
	15	0.3	0.6	0.8	1.3	1.5	2.3	2.9	4.0
	20	0.3	0.5	0.7	1.1	1.2	2.2	2.7	3.7
	25	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.9	2.4	3.4
Zuschläge									
Leitungsverzug:								28 [%]	

Abbildung 64: Wärmeverlusttabelle Gruppe 2, Länge 10m - mit Markierung der Simulationswerte

Aufgrund der grünen Werte (simuliert) wurde eine lineare Verteilung über alle Dimensionen vorgenommen. Da bei den grösseren Dimensionen jedoch der Verlust nicht linear zunimmt, wurde aufgrund der Simulationsergebnisse (Differenz DN 200 zu DN 100) die Steigung der linearen Kurve erhöht, um diesem Phänomen gerecht zu werden.

Die Reduktion des Wärmeverlustes infolge der Dämmstärke wurde wiederum prozentual vorgenommen. Hierfür konnte auf die Simulationen des Parameters Dämmstärke zurückgegriffen werden.

A 4. Wärmeverlusttabellen

Auf den nachfolgenden Seiten sind die Wärmeverlusttabellen zur besseren Anschaulichkeit in besserer Lesbarkeit als im Bericht abgebildet.

A 4.1. Gruppe 1, Vertikal

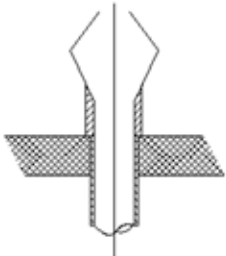
Einzelraumentlüftung, Abgasanlage Ofen, Küchenabluftanlagen, Verbrennungsluftzufuhr χ -Wert [W/K]										
Einbaulage: Vertikal										
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser								
		DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 160	DN 180	DN 200	DN 250	DN 315
	0	0.14	0.18	0.20	0.27	0.29	0.33	0.36	0.46	0.58
	5	0.13	0.16	0.17	0.24	0.26	0.29	0.32	0.41	0.52
	10	0.12	0.15	0.16	0.22	0.24	0.27	0.30	0.38	0.48
	15	0.10	0.13	0.14	0.19	0.21	0.23	0.26	0.33	0.42
	20	0.09	0.11	0.12	0.17	0.18	0.20	0.23	0.29	0.36
	25	0.07	0.09	0.10	0.14	0.15	0.17	0.19	0.24	0.31
Zuschläge										
Alu									51 [%]	
Kunststoff									-32 [%]	

Abbildung 65: Wärmeverlusttabelle Gruppe 1, Einbaulage vertikal

A 4.2. Gruppe 1, Horizontal

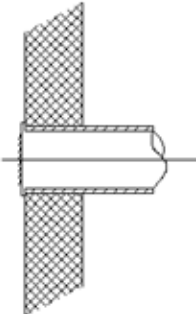
Küchenabluftanlagen, Verbrennungsluftzufuhr χ -Wert [W/K]										
Einbaulage: Horizontal										
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser								
		DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 160	DN 180	DN 200	DN 250	DN 315
	0	0.14	0.23	0.39	0.59	0.68	0.89	1.14	1.91	3.25
	5	0.12	0.21	0.34	0.52	0.61	0.80	1.01	1.70	2.89
	10	0.11	0.19	0.32	0.48	0.56	0.74	0.94	1.57	2.67
	15	0.10	0.17	0.28	0.42	0.49	0.64	0.82	1.36	2.32
	20	0.09	0.14	0.24	0.37	0.43	0.56	0.71	1.19	2.03
	25	0.07	0.12	0.20	0.31	0.36	0.47	0.60	1.00	1.71
Zuschläge										
Alu									51 [%]	
Kunststoff									-32 [%]	

Abbildung 66: Wärmeverlusttabelle Gruppe 1, Einbaulage horizontal

A 4.3. Gruppe 2, Länge 5 Meter

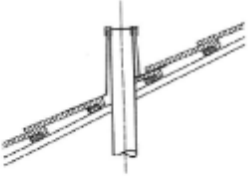
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 5 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	0.39	0.68	0.97	1.54	1.83	2.41	3.00	4.18
	5	0.30	0.51	0.73	1.16	1.37	1.81	2.25	3.13
	10	0.21	0.37	0.52	0.83	0.98	1.30	1.61	2.25
	15	0.18	0.32	0.45	0.71	0.85	1.12	1.39	1.94
	20	0.15	0.26	0.37	0.59	0.70	0.93	1.15	1.61
	25	0.11	0.20	0.28	0.44	0.52	0.69	0.86	1.20
Zuschläge									
Leitungsverzug:								28 [%]	

Abbildung 67: Wärmeverlusttabelle Gruppe 2, 5 Meter Länge

A 4.4. Gruppe 2, Länge 10 Meter

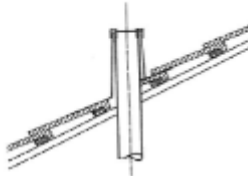
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 10 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	0.70	1.21	1.72	2.73	3.24	4.28	5.32	7.40
	5	0.53	0.91	1.29	2.05	2.43	3.21	3.99	5.55
	10	0.38	0.65	0.92	1.47	1.74	2.53	3.14	4.37
	15	0.32	0.56	0.80	1.27	1.50	2.34	2.91	4.05
	20	0.27	0.46	0.66	1.05	1.25	2.16	2.68	3.73
	25	0.20	0.35	0.49	0.78	0.93	1.94	2.42	3.36
Zuschläge									
Leitungsverzug:								28 [%]	

Abbildung 68: Wärmeverlusttabelle Gruppe 2, 10 Meter Länge

A 4.5. Gruppe 2, Länge 15 Meter

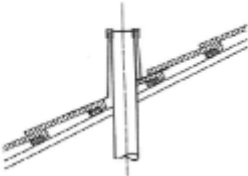
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 15 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	0.92	1.59	2.26	3.60	4.27	5.88	7.49	10.70
	5	0.69	1.20	1.70	2.70	3.21	4.41	5.62	8.03
	10	0.50	0.86	1.22	1.94	2.30	3.47	4.42	6.32
	15	0.43	0.74	1.05	1.67	1.98	3.22	4.10	5.86
	20	0.36	0.61	0.87	1.39	1.64	2.96	3.77	5.39
	25	0.26	0.46	0.65	1.03	1.22	2.67	3.40	4.86
Zuschläge									
Leitungsverzug:								28 [%]	

Abbildung 69: Wärmeverlusttabelle Gruppe 2, 15 Meter Länge

A 4.6. Gruppe 2, Länge 20 Meter

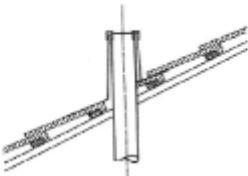
Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 20 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	1.09	1.87	2.66	4.24	5.03	6.92	8.81	12.60
	5	0.92	1.59	2.26	3.60	4.27	5.87	7.48	10.69
	10	0.77	1.33	1.89	3.01	3.57	4.91	6.25	8.94
	15	0.69	1.19	1.69	2.69	3.19	4.40	5.60	8.00
	20	0.61	1.06	1.50	2.39	2.83	3.90	4.97	7.10
	25	0.52	0.89	1.27	2.01	2.39	3.29	4.19	5.99
Zuschläge									
Leitungsverzug:								28 [%]	

Abbildung 70: Wärmeverlusttabelle Gruppe 2, 20 Meter Länge

A 4.7. Gruppe 2, Länge 25 Meter

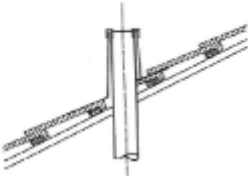

Entlüftungsleitung, Abwasserleitung innenliegend χ -Wert [W/K]									
Rohrlänge: 25 Meter									
	Dämmstärke Funktionsöffnung [mm]	Durchmesser							
		DN 50	DN 60	DN 70	DN 90	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
	0	1.32	2.27	3.23	5.14	6.10	8.39	10.69	15.28
	5	1.12	1.93	2.74	4.36	5.18	7.12	9.07	12.97
	10	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 71: Wärmeverlusttabelle Gruppe 2, 25 Meter Länge

A 5. Berechnung Heizenergiebedarf nach SIA 380/1

Der Heizwärmebedarf für die Untersuchung des prozentualen Anteils des Wärmeverlustes wurde mit dem Programm Enerhaus berechnet. Für die Untersuchung wurden 8 Varianten gerechnet. Exemplarisch wird hier die Berechnungsvariante nach dem gesetzlichen Standard mit allen Funktionsöffnungen dargestellt.

A 5.1. Einfamilienhaus Heizenergiebedarf nach dem gesetzlichen Standard mit allen Funktionsöffnungen (Gruppe 1 und Gruppe 2)

Lizenziert für Anonymer Nutzer - 14476476 by www.enerhaus.ch Seite 1/14		Enerhaus 380/1 - Version 4.2 - BFE/EnFK-Zert.-Nr. 0958 10.19.08.10.2013 380/1-Nachweis Projektwert = 200 MJ/m ²																																																																																							
Akten-Nr.: Projekt: Wärmeverlust von Funktionsöffnungen in Gebäudehüllen Haus: Projektadresse: PLZ.: Ort: KT: Zürich																																																																																									
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Bauherrschaft: Adresse: Tel.: evt. BauherrschaftvertreterIn: Adresse: Tel.: Verfasser Wärmedämmprojekt: Adresse: Tel.: Verfasser Nachweis: Adresse: Tel.: </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> Kontaktperson: Fax.: e-mail: Kontaktperson: Fax.: e-mail: Kontaktperson: Fax.: e-mail: Kontaktperson: Fax.: e-mail: </td> </tr> </table>						Bauherrschaft: Adresse: Tel.: evt. BauherrschaftvertreterIn: Adresse: Tel.: Verfasser Wärmedämmprojekt: Adresse: Tel.: Verfasser Nachweis: Adresse: Tel.:	Kontaktperson: Fax.: e-mail: Kontaktperson: Fax.: e-mail: Kontaktperson: Fax.: e-mail: Kontaktperson: Fax.: e-mail:																																																																																		
Bauherrschaft: Adresse: Tel.: evt. BauherrschaftvertreterIn: Adresse: Tel.: Verfasser Wärmedämmprojekt: Adresse: Tel.: Verfasser Nachweis: Adresse: Tel.:	Kontaktperson: Fax.: e-mail: Kontaktperson: Fax.: e-mail: Kontaktperson: Fax.: e-mail: Kontaktperson: Fax.: e-mail:																																																																																								
Nachweisinformationen Nachweisart: 380/1 Art des Bauvorhabens: Neubau Gebäude Kategorie: Wohnen EFH Anforderung gemäss: SIA 380/1:2009 Kanton: Zürich Klimastation (SIA 2028): Zürich MeteorSchweiz Höhe des Gebäudes: 523 m ü.M.																																																																																									
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td colspan="2">Systemnachweis</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Energiebezugsfläche A_E</td> <td>249.6 m²</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Gebäudehüllzahl A_{H}/A_E</td> <td>2.40 [-]</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Grenzwert Heizwärmebedarf 380/1</td> <td>205 MJ/m²</td> <td>57 kWh/m²</td> <td>100%</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Projektwert Heizwärmebedarf 380/1 ($Q_H - V_{th}/AE = 0.7m^3/m^2$)</td> <td>200 MJ/m²</td> <td>55 kWh/m²</td> <td>97%</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Verschattungsfaktor der Fassade mit der grössten verglasten Fläche (F_s)</td> <td>0.73</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Summe der Länge aller Wärmebrücken: (18.7 % von QT)</td> <td>138 m</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gebäude mit Bodenheizung</td> <td>Nein</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Regelungszuschlag</td> <td>0.0 °K</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">System</td> <td>Manuelle Eingabe</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Systemanforderung</td> <td colspan="4">erfüllt</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="font-size: small;">Die Unterzeichnenden bestätigen hiermit mit ihrer Unterschrift die Richtigkeit und Vollständigkeit der in diesem Nachweis gemachten Angaben:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Verfasser des Wärmedämmprojekts:</td> <td colspan="4">Datum: 08.10.2013</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Verfasser des Nachweises:</td> <td colspan="4">Datum: 08.10.2013</td> </tr> </table>						Systemnachweis						Energiebezugsfläche A_E	249.6 m ²					Gebäudehüllzahl A_{H}/A_E	2.40 [-]					Grenzwert Heizwärmebedarf 380/1	205 MJ/m ²	57 kWh/m ²	100%			Projektwert Heizwärmebedarf 380/1 ($Q_H - V_{th}/AE = 0.7m^3/m^2$)	200 MJ/m ²	55 kWh/m ²	97%			Verschattungsfaktor der Fassade mit der grössten verglasten Fläche (F_s)		0.73				Summe der Länge aller Wärmebrücken: (18.7 % von QT)		138 m				Gebäude mit Bodenheizung		Nein				Regelungszuschlag		0.0 °K				System		Manuelle Eingabe				Systemanforderung		erfüllt				Die Unterzeichnenden bestätigen hiermit mit ihrer Unterschrift die Richtigkeit und Vollständigkeit der in diesem Nachweis gemachten Angaben:						Verfasser des Wärmedämmprojekts:		Datum: 08.10.2013				Verfasser des Nachweises:		Datum: 08.10.2013			
Systemnachweis																																																																																									
Energiebezugsfläche A_E	249.6 m ²																																																																																								
Gebäudehüllzahl A_{H}/A_E	2.40 [-]																																																																																								
Grenzwert Heizwärmebedarf 380/1	205 MJ/m ²	57 kWh/m ²	100%																																																																																						
Projektwert Heizwärmebedarf 380/1 ($Q_H - V_{th}/AE = 0.7m^3/m^2$)	200 MJ/m ²	55 kWh/m ²	97%																																																																																						
Verschattungsfaktor der Fassade mit der grössten verglasten Fläche (F_s)		0.73																																																																																							
Summe der Länge aller Wärmebrücken: (18.7 % von QT)		138 m																																																																																							
Gebäude mit Bodenheizung		Nein																																																																																							
Regelungszuschlag		0.0 °K																																																																																							
System		Manuelle Eingabe																																																																																							
Systemanforderung		erfüllt																																																																																							
Die Unterzeichnenden bestätigen hiermit mit ihrer Unterschrift die Richtigkeit und Vollständigkeit der in diesem Nachweis gemachten Angaben:																																																																																									
Verfasser des Wärmedämmprojekts:		Datum: 08.10.2013																																																																																							
Verfasser des Nachweises:		Datum: 08.10.2013																																																																																							

1. Energiebezugsfläche und Grenzwert

Gebäude-Kategorie	A_E	A_{H}/A_E	$Q_{H,i}$
	m ²	-	MJ/m ²
Wohnen EFH	249.6	2.40	205

Temperaturkorrektur: -7 %
Grenzwert ohne Temperaturkorrektur: 221 MJ/m²

2. Gebäudehüllfläche für die Zone Wohnen EFH

Flächen [m ²]	Aussen	Unbeheizt		Erdreich		Beheizt	Total Fläche	
		ohne Reduktionsfaktor	mit Reduktionsfaktor	ohne Reduktionsfaktor	mit Reduktionsfaktor		ohne Reduktionsfaktor	mit Reduktionsfaktor
Dach	139.7						139.7	139.7
Wand	291.6			118.6	84.6		410.3	376.2
Boden				116.0	82.3		116.0	82.3
Total	431.3			234.6	166.9		665.9	598.2

Gebäudenhüllzahl $A_{H}/A_E = 2.40$

3. Aufteilung der Fenster/Türen-Flächen auf Fassaden/Dach/Boden

Flächen [m ²]	Dach/Decke	Wand								Boden	Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW		
Opake Teile	139.7		77.3		109.1		76.2		99.8	116.0	618.0
Fenster/Türen			6.3		8.2		15.9		17.5		47.9
Total	139.7		83.6		117.3		92.0		117.3	116.0	665.9
Anteil Fenster/Türen an Hüllfläche			0.08		0.07		0.17		0.15		0.07

Verschattungsfaktoren F_s (Flächengewichtete Mittelwerte)

F_{s1} (Horizont)			0.95		0.74		0.81		0.88		0.86
F_{s2} (Überhang)			0.77		0.67		0.54		0.80		0.69
F_{s3} (Seitenblende)			0.96		0.74		0.91		0.94		0.92
F_s (Produkt Verschattungen)			0.71		0.44		0.40		0.73		0.59

Verhältnis von Fenster- und Türflächen ($U > 1.0$) zu $A_E = 0.02$

4. Bauteile

Die Zusammenstellung der Bauteile sowie Wärmebrücken findet sich ab Seite 4

5. Spezielle Eingabedaten

Thermische Zone	Wärmespeicherfähigkeit pro A_E MJ/m ² K	Zuschlag für Regulierung K	Vorlauftemperatur für Flächenheizung °C	Vorlauftemperatur für Heizkörper °C	Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom m ³ /m ² h
Wohnen EFH	0.1	0.00	--	--	0.70

6. Energiebilanz

Thermische Zone	Q_T MJ/m ²	Q_V MJ/m ²	Q_i MJ/m ²	Q_s MJ/m ²	η_g [-]	Q_h MJ/m ²	$Q_{H,i}$ MJ/m ²	H WK
Wohnen EFH	232	74	74	67	0.75	200	205	228.4

7. Minergie

Thermische Zone	Q_T MJ/m ²	Q_V MJ/m ²	Q_i MJ/m ²	Q_s MJ/m ²	η_g [-]	$Q_{h,eff}$ MJ/m ²	$V_{h,eff}$ m ³ /m ² h	H_{eff} WK

Bauteile									
Flächige Bauteile									
Nr	Bezeichnung	Art	Typ	BTH °C	U-Wert W/m ² K	Fläche m ²	MJ/m ²	Verlust kWh/m ²	%
11	AW Beton UG gegen Aussenklima	Wand	aussen		0.598	6.5	5.2	1.5	2
12	AW UG gegen Erdreich (Beton)	Wand	Erdreich		0.280	118.6	31.7	8.8	10
13									
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	Wand	aussen		0.149	237.2	47.4	13.2	15
15									
16									
17									
18	Boden gegen Erdreich	Boden	Erdreich		0.193	116.0	21.3	5.9	7
19									
20									
21									
22	Steildach "Sparrenvollämmung"	Dach/Decke	aussen		0.131	139.7	24.6	6.8	8
23				50					
24				50					
25				50					
26				50					
27				50					
28				50					
29				50					
30				50					
31				50					
32				50					
33				50					
34				50					
35				50					
36				50					
37				50					
38				50					
39				50					
40				50					
					Total:	618.0	130.1	36.1	43
Fenster / Türen									
Nr	Bezeichnung	Art	Typ	BTH °C	U-Wert W/m ² K	Fläche m ²	MJ/m ²	Verlust kWh/m ²	%
F	Fensterzusammenstellung	Fenster	aussen		0.859	43.5	50.0	13.9	16
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58	Türe UG Technik	Türe	aussen		1.400	1.6	3.0	0.8	1
59	Türe EG Eingang	Türe	aussen		1.400	2.8	5.2	1.5	2
60									
					Total:	47.9	58.3	16.2	19

Pauschaler Wärmebrückenzuschlag

Bezeichnung	Anteil von Transmissionsverlusten %	MJ/m ²	Verlust kWh/m ²	%
Div. Wärmebrücken				

Linienbezogene Wärmebrücken

Nr	Bezeichnung	Typ	BTH °C	Psi-Wert W/mK	Länge m	MJ/m ²	Verlust kWh/m ²	%
61	Fenster Leibung	aussen		0.20	50.6	13.6	3.8	4
62	Fenster Brüstung	aussen		0.20	37.5	10.0	2.8	3
63	Fenster Sturz	aussen		0.25	37.5	12.6	3.5	4
64								
65	Türen aussen	aussen		0.10	12.4	1.7	0.5	1
66	Türe	unbeheizt		0.10				
67								
68	Wärmebrücke Sockel Perimeter	aussen						
69								
70								
71								
72								
73								
74								
75								
76								
77								
78								
79								
80								
81								
82								
83								
84								
85								
Total:					138.0	37.8	10.5	12

Punktbezogene Wärmebrücken

Nr	Bezeichnung	Typ	BTH	Chi-Wert W/K	Anzahl Stk	MJ/m ²	Verlust kWh/m ²	%
86	Funktionsoffnung	aussen						
87	Funktionsoffnung mit Kanalisationsverbindung	aussen		4.11	1.0	5.5	1.5	2
88								
89								
90								
91								
92								
93								
94								
95								
Total:					1.0	5.5	1.5	2

Nutzungsdaten der Zone Wohnen EFH

Regelungsfaktor	Vorauswahl: Einzelraum/VL<30°C	Berechnung:	[K]
Wärmespeicherfähigkeit pro A _E	mittel	0.1	[MJ/m ² K]

	Standard
Innentemperatur	°C
Personenfläche	m ² /P
Wärmeabgabe Personen	W/P
Präsenzzeit pro Tag	h
Elektrizitätsverbrauch pro Jahr	MJ/m ²
Reduktionsfaktor Elektrizitätsverbrauch	-
Aussenluft-Volumenstrom V'/A _E	m ³ /m ² h
thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom V'/A _E	m ³ /m ² h
Wärmebedarf für Warmwasser pro Jahr und A _E	MJ/m ²
numerischer Parameter für Ausnutzungsgrad	-
Referenzzeitkonstante für Ausnutzungsgrad	h
Regelungsfaktor	K
Wärmespeicherfähigkeit pro A _E	MJ/m ² K

Bauteile der Zone Wohnen EFH Teil I

Nr.	Bauteil	Etage/Bereich	Orient.	Länge m	Höhe/ Breite m	Anzahl Stk	Fläche/Länge Anz. (Brutto) m ² /m/Stk	Abzug	Fläche (Netto) m ²	U-Wert W/m ² K	b- Wert °C [-]	VL- Temp °C
12	AW UG gegen Erdreich (Beton)	UG	NW	12.87	2.80	1.0	36.0	6.3	29.7	0.280	0.71	
11	AW Beton UG gegen Aussenklima	UG	NW	1.40	1.50	3.0	6.3	2.9	3.4	0.598	1.00	
F	F15 - Fensterzusammenstellung	UG Bastelraum	NW	1.20	0.80	1.0	1.0		1.0	0.912	1.00	
F	F16 - Fensterzusammenstellung	UG Technik links	NW	1.20	0.80	1.0	1.0		1.0	0.912	1.00	
F	F17 - Fensterzusammenstellung	UG Technik recht	NW	1.20	0.80	1.0	1.0		1.0	0.912	1.00	
12	AW UG gegen Erdreich (Beton)	UG	SW	10.37	2.80	1.0	29.0		29.0	0.280	0.71	
12	AW UG gegen Erdreich (Beton)	UG	SE	12.87	2.80	1.0	36.0	4.0	32.0	0.280	0.71	
11	AW Beton UG gegen Aussenklima	UG	SE	0.80	1.50	2.0	2.4	0.5	1.9	0.598	1.00	
F	F19 - Fensterzusammenstellung	UG Keller	SE	0.60	0.80	1.0	0.5		0.5	1.000	1.00	
58	Türe UG Technik	UG	SE	0.80	2.00	1.0	1.6		1.6	1.400	1.00	
12	AW UG gegen Erdreich (Beton)	UG	NE	10.37	2.80	1.0	29.0	1.2	27.8	0.280	0.71	
11	AW Beton UG gegen Aussenklima	UG	NE	0.80	1.50	1.0	1.2		1.2	0.598	1.00	
18	Boden gegen Erdreich	UG	Hor	116.00	1.00	1.0	116.0	155.0	116.0	0.193	0.71	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	EG	NW	13.00	3.00	1.0	39.0	10.5	28.5	0.149	1.00	
F	F1 - Fensterzusammenstellung	EG Büro	NW	2.10	1.00	1.0	2.1	4.2	2.1	0.887	1.00	
F	F2 - Fensterzusammenstellung	EG Wohnen recht	NW	2.80	1.50	1.0	4.2		4.2	0.764	1.00	
F	F3 - Fensterzusammenstellung	EG Wohnen links	NW	2.80	1.50	1.0	4.2		4.2	0.764	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	EG	SW	10.50	3.00	1.0	31.5	9.9	21.6	0.149	1.00	
F	F5 - Fensterzusammenstellung	Wohnen Schiebe	SW	2.90	2.00	1.0	5.8		5.8	0.857	1.00	
F	F6 - Fensterzusammenstellung	EG Kochen	SW	1.80	1.15	1.0	2.1		2.1	0.821	1.00	
F	F7 - Fensterzusammenstellung	EG Vorrat	SW	1.80	1.15	1.0	2.1		2.1	0.886	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	EG	SE	13.00	3.00	1.0	39.0	3.6	35.4	0.149	1.00	
F	F9 - Fensterzusammenstellung	EG Garderobe	SE	0.70	1.20	1.0	0.8		0.8	0.918	1.00	
59	Türe EG Eingang	EG	SE	1.40	2.00	1.0	2.8		2.8	1.400	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	EG	NE	10.50	3.00	1.0	31.5	2.9	28.6	0.149	1.00	
F	F11 - Fensterzusammenstellung	EG WC	NE	1.40	0.70	1.0	1.0		1.0	0.928	1.00	
F	F12 - Fensterzusammenstellung	EG Treppenhaus	NE	1.40	0.70	1.0	1.0		1.0	0.928	1.00	
F	F13 - Fensterzusammenstellung	EG Büro	NE	1.40	0.70	1.0	1.0		1.0	0.928	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	NW	8.10	2.20	1.0	17.8	4.1	13.7	0.149	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	NW	8.10	1.80	0.5	7.3		7.3	0.149	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	NW	4.90	3.00	1.0	14.7		14.7	0.149	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	NW	4.90	1.00	0.5	2.5		2.5	0.149	1.00	
F	F21 - Fensterzusammenstellung	OG Eltern	NW	2.10	1.00	1.0	2.1		2.1	0.887	1.00	
F	F22 - Fensterzusammenstellung	OG Diele	NW	1.00	2.00	1.0	2.0		2.0	0.879	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	SW	10.50	3.00	1.0	31.5	5.9	25.6	0.149	1.00	
F	F24 - Fensterzusammenstellung	OG Z11	SW	1.80	1.10	1.0	2.0		2.0	0.892	1.00	
F	F25 - Fensterzusammenstellung	OG Z12	SW	1.80	1.10	1.0	2.0		2.0	0.892	1.00	
F	F26 - Fensterzusammenstellung	OG Z13	SW	1.80	1.10	1.0	2.0		2.0	0.892	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	SE	8.10	2.20	1.0	17.8	2.5	15.3	0.149	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	SE	8.10	1.80	0.5	7.3		7.3	0.149	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	SE	4.90	3.00	1.0	14.7		14.7	0.149	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	SE	4.90	1.00	0.5	2.5		2.5	0.149	1.00	
F	F28 - Fensterzusammenstellung	OG Z11 SE	SE	1.80	0.70	1.0	1.3		1.3	0.912	1.00	
F	F29 - Fensterzusammenstellung	OG Bad	SE	1.80	0.70	1.0	1.3		1.3	0.912	1.00	
14	AW 1 gegen aussen über Terrain	OG	NE	10.50	2.20	1.0	23.1	3.4	19.7	0.149	1.00	
F	F31 - Fensterzusammenstellung	OG Treppe	NE	1.40	2.00	1.0	2.8		2.8	0.782	1.00	
F	F32 - Fensterzusammenstellung	OG Bad	NE	0.70	0.80	1.0	0.6		0.6	0.975	1.00	
22	Steildach "Sparrenwölddämmung"	OG	Hor	10.50	8.40	1.0	88.2		88.2	0.131	1.00	
22	Steildach "Sparrenwölddämmung"	OG	Hor	10.50	4.90	1.0	51.5		51.5	0.131	1.00	
65	Türen aussen	UG,EG	N	12.40		1.0	12.4			0.100	1.00	
61	Fenster Leibung	UG,EG,OG	N	50.60		1.0	50.6			0.200	1.00	
62	Fenster Brüstung	UG,EG,OG	N	37.50		1.0	37.5			0.200	1.00	
63	Fenster Sturz	UG,EG,OG	N	37.50		1.0	37.5			0.250	1.00	
86	Funktionsöffnung		N								1.00	
87	Funktionsöffnung mit Kanalisat		N			1.0	1.0			4.110	1.00	

[illegible]

Energie nach Monaten

Bezeichnung		Einheit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sum	Anteil
Tage		d	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	[%]
Aussentemperatur		°C	0.4	1.6	5.5	8.4	13.4	16.2	18.4	18.4	14.0	9.9	4.2	1.8	9.4	
Strahlung Horizontal		MJ/m²	104	165	311	417	536	570	595	522	355	214	109	80		
Strahlung Nord		MJ/m²	43	63	94	111	150	166	166	134	91	62	39	32		
Strahlung Ost		MJ/m²	67	109	185	233	281	295	311	287	192	112	62	51		
Strahlung Süd		MJ/m²	177	235	313	290	284	270	297	332	311	254	158	137		
Strahlung West		MJ/m²	80	123	198	231	287	303	327	295	218	142	75	59		
Transmissionswärmeverlust ...																
... Bauteile (Aussen, ohne BTH)	Q	MJ/m²	12.1	10.3	9.0	6.9	4.1	2.3	1.0	1.0	3.6	6.2	9.5	11.3	77.2	25.2
... Bauteile (Aussen, mit BTH)	Q	MJ/m²														
... Bauteile (Erdreich, ohne BTH)	Q	MJ/m²	8.3	7.0	6.1	4.8	2.8	1.6	0.7	0.7	2.5	4.3	6.5	7.7	52.9	17.3
... Bauteile (Erdreich, mit BTH)	Q	MJ/m²														
... Bauteile (Unbeh., ohne BTH)	Q	MJ/m²														
... Bauteile (Unbeheizt, mit BTH)	Q	MJ/m²														
... Bauteile (Beheizt, ohne BTH)	Q	MJ/m²														
... Bauteile (Beheizt, mit BTH)	Q	MJ/m²														
... Fenster/Türen (ohne HK)	Q	MJ/m²	9.1	7.8	6.8	5.2	3.1	1.7	0.7	0.7	2.7	4.7	7.1	8.5	58.3	19.0
... Fenster/Türen (mit HK)	Q	MJ/m²														
... Wärmebrücken	Q	MJ/m²	6.8	5.8	5.0	3.9	2.3	1.3	0.6	0.6	2.0	3.5	5.3	6.3	43.3	14.2
... gesamt	Q _T	MJ/m²	36.4	30.8	26.9	20.8	12.2	6.8	3.0	3.0	10.8	18.7	28.4	33.8	231.7	75.7
Lüftungswärmeverluste	Q _V	MJ/m²	11.7	9.9	8.6	6.7	3.9	2.2	1.0	1.0	3.5	6.0	9.1	10.8	74.2	24.3
Gesamtwärmeverlust	Q _{tot}	MJ/m²	48.0	40.7	35.5	27.5	16.2	9.0	3.9	3.9	14.2	24.8	37.5	44.6	305.9	100
Gewinn Glas Horizontal	Q _{GH}	MJ/m²														
Gewinn Glas Norden	Q _{GN}	MJ/m²														
Gewinn Glas Nordost	Q _{NE}	MJ/m²	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.4	1.4	1.2	0.8	0.5	0.3	0.2	9.7	6.8
Gewinn Glas Osten	Q _{OE}	MJ/m²														
Gewinn Glas Südost	Q _{SE}	MJ/m²	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.5	0.4	0.2	0.2	5.5	3.9
Gewinn Glas Süden	Q _{SE}	MJ/m²														
Gewinn Glas Südwest	Q _{SW}	MJ/m²	1.0	1.4	2.1	2.2	2.4	2.4	2.7	2.7	2.2	1.6	0.9	0.8	22.5	15.9
Gewinn Glas Westen	Q _{WW}	MJ/m²														
Gewinn Glas Nordwest	Q _{NW}	MJ/m²	1.1	1.6	2.5	2.9	3.8	4.1	4.2	3.6	2.6	1.7	1.0	0.8	29.7	21.0
Gewinn Solar	Q _S	MJ/m²	2.6	3.9	5.9	6.6	8.0	8.5	8.9	8.1	6.1	4.2	2.4	2.0	67.3	47.5
Wärmegewinn Elektrizität	Q _{IE}	MJ/m²	4.8	4.3	4.8	4.6	4.8	4.6	4.8	4.6	4.8	4.6	4.8	4.8	56.0	39.5
Wärmegewinn Personen	Q _{IP}	MJ/m²	1.6	1.4	1.6	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6	1.5	1.6	18.4	13.0
Wärmegewinne intern	Q _I	MJ/m²	6.3	5.7	6.3	6.1	6.3	6.1	6.3	6.3	6.1	6.3	6.1	6.3	74.4	52.5
Wärmegewinn total	Q _g	MJ/m²	9.0	9.6	12.2	12.8	14.4	14.6	15.2	14.4	12.2	10.5	8.5	8.3	141.7	100
Wärmegewinn /-verlust Verhältnis		[-]	0.19	0.24	0.34	0.46	0.89	1.62	3.88	3.68	0.86	0.42	0.23	0.19		
Zeitkonstante		h	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4		
Parameter für Ausnutzungsgrad	a	[-]	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
Wärmegewinn	n _g	[-]	0.99	0.99	0.97	0.94	0.79	0.55	0.25	0.27	0.81	0.96	0.99	0.99	0.75	
Genutzte Wärmegewinne	Q _{ug}	MJ/m²	8.9	9.5	11.9	12.1	11.4	8.1	3.9	3.9	9.8	10.0	8.5	8.3	106.2	
Heizwärmebedarf	Q _h	MJ/m²	39.1	31.2	23.6	15.5	4.8	0.9	0.0	0.1	4.4	14.7	29.0	36.4	199.7	

Ergänzung für Minergie-Berechnung

Lüftungswärmeverluste	Q _V	MJ/m ²														
Gesamtwärmeverlust	Q _{tot}	MJ/m ²														
Wärmegewinn /-verlust Verhältnis	[-]															
Zeitkonstante	h															
Parameter für Ausnutzungsgrad	a	[-]														
Wärmegewinn	n _g	[-]														
Genutzte Wärmegewinne	Q _{ug}	MJ/m ²														
Heizwärmebedarf	Q _h	MJ/m ²														

Spezifische Leistung nach MINERGIE-P

Auslegungstemperatur und Strahlungsdaten nach SIA 2028

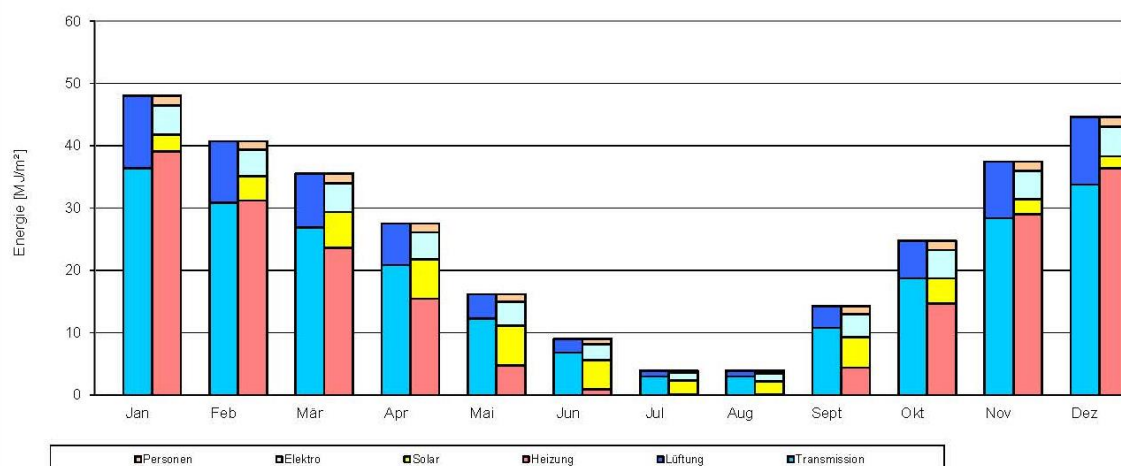
Wetter	A	B
t _{a,min}	°C	-8 -3
i _{s,H}	W/m ²	53 21
i _{s,N}	W/m ²	27 21
i _{s,E}	W/m ²	40 14
i _{s,S}	W/m ²	101 11
i _{s,W}	W/m ²	50 13
Innentemperatur	°C	20
Leichtbauschlag	K	-1
Ausnutzungsgrad	-	1.00

Meteostation Zürich MeteoSchweiz (Meteodaten SIA 2028)

Wetter A = klarer Tag / Wetter B = trüber Tag

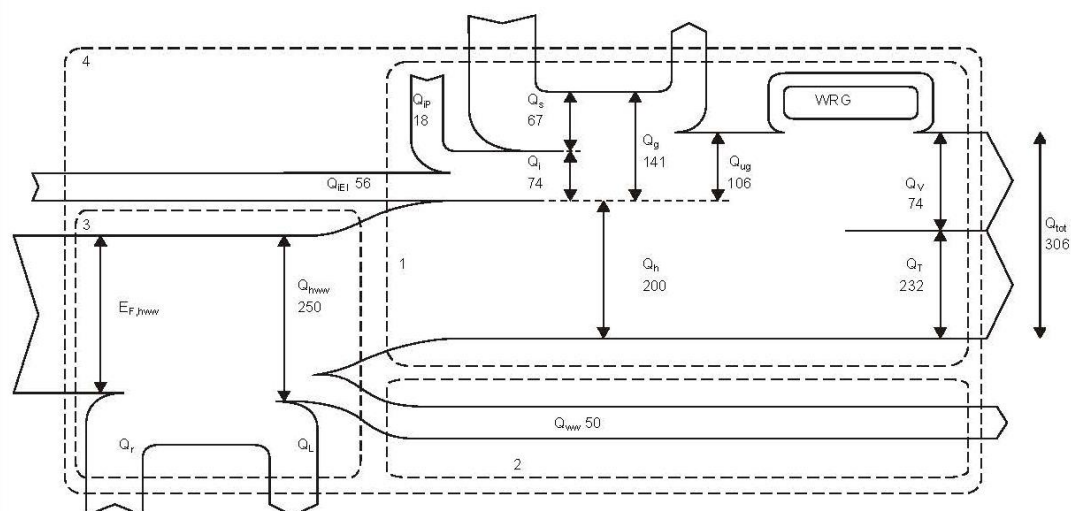
Solarer Gewinn			
Wetter		A	B
Q _{s,H}	W/m ²		
Q _{s,N} + Q _{s,NE}	W/m ²	0.2	0.1
Q _{s,E} + Q _{s,SE}	W/m ²	0.1	0.0
Q _{s,S} + Q _{s,SW}	W/m ²	0.6	0.1
Q _{s,W} + Q _{s,NW}	W/m ²	0.7	0.3
Solarer Gewinn total			
Q _s	W/m ²	1.6	0.5
Genutzter Gewinn			
Q _{ug}	W/m ²	2.5	1.4
Massgebende spez. Heizlast - MINERGIE-P			
Q _{h,MP}	W/m ²	17.6	15.2

Monatsverteilung Energie



Energieflussdiagramm [MJ/m²]

380/1 -Nachweis



- | | | | |
|------------|--|-----------|--|
| 1 | Systemgrenze Heizwärmebedarf | 3 | Systemgrenze Heiz- und Warmwasserbedarf |
| 2 | Systemgrenze Wärmebedarf Warmwasser | 4 | Systemgrenze Gebäude |
| $E_{F,HW}$ | Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser (nach Energieträger) | Q_L | Wärmeverluste des Heiz- und Warmwassersystems (Erzeugungs-, Speicher- und Verteilverluste) |
| Q_g | Wärmegewinne | Q_r | durch das Heiz- und Warmwassersystem gewonnene Umweltwärme |
| Q_{ug} | genutzte Wärmegewinne | Q_{Tr} | Transmissionswärmeverlust |
| Q_h | Heizwärmebedarf | Q_v | Lüftungswärmeverlust |
| Q_{HW} | Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser | Q_{tot} | Gesamtwärmeverlust |
| Q_i | interne Wärmegewinne | Q_{ww} | Wärmebedarf für Warmwasser |
| Q_{Ei} | interne Wärmegewinne Elektrizität | WR_G | Wärmerückgewinnung |
| Q_{pP} | interne Wärmegewinne Personen | | |
| Q_s | solare Wärmegewinne | | |

Zusammenstellung Heizleistung

(Achtung: Die Zusammenstellung der Heizleistung ist in Anlehnung an die SIA 384.201 erstellt, ersetzt diese Berechnung aber nicht!)

Zone 1		
Norm-Aussentemperatur (SIA 2028)	°C	-8.0
Diff. Gebäude (523m.ü.M.) - Klimast. (556m.ü.M.)	m	-33.0
Korrektur durch Höhendifferenz (gerundet)	°K	0.0
Zeitkonstante	h	35.2
Korrektur durch Zeitkonstante	°K	-3.0
Korrigierte Norm-Aussentemperatur	°C	-11.0
Nutzungstemperatur der Zone		20.0
Spezifische und absolute Verluste der Bauteile (ohne Berücksichtigung Bauteilh. oder Flächen gegen beheizt)	spez. W/K	absol. Leistung kW
Dach/Decke	18.3	0.6
Wand	62.9	2.0
Boden	15.9	0.5
Fenster/Türe	43.5	1.3
Wärmebrücken	32.3	1.0
Lüftungsverluste		
thermisch wirksame Luftmenge	m ³ /h	174.7
Lüftungsverlust	55.4	1.7
Heizleistung Total	228.4	7.1