

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Institutsleiter
Prof. Dr. Philip Leistner
Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

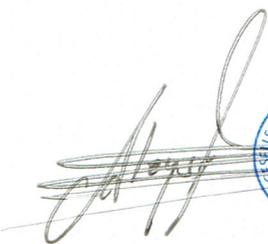
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Dr.-Ing. Mohammad Aleysa
Gruppenleiter
Verbrennungs- und Umweltschutztechnik
Abteilung Umwelt, Hygiene und Sensorik
Telefon +49 711 970-3455 | Fax -970-3385
mohammad.aleysa@ibp.fraunhofer.de
www.ibp.fraunhofer.de

BERICHT ZUR UNTERSUCHUNG DES HEIZVERHALTENS EINES AUF THERMODYNAMISCH ARBEITENDEM FÜLLMITTEL BASIERENDEM WANDHEIZSYSTEM DER FIRMA SOFFIO

Der Bericht umfasst
24 Seiten Text mit
6 Tabellen und
16 Abbildungen

Stuttgart, 30.03.2020




Dr.-Ing. Mohammad Aleysa

Inhaltsverzeichnis

1	Beschreibung des untersuchten Wandheizsystems	3
2	Durchgeführte Untersuchungen	5
2.1	Untersuchung der Wärmeleistung des Heizmoduls in einem nicht verbauten Zustand	6
2.2	Untersuchung des Heizverhaltens und der Wärmeleistung des Heizmoduls im verbauten Zustand	9
2.2.1	Wärmeleistung des Heizmoduls im verbauten Zustand in einer Innenwand	11
2.2.2	Wärmeleistung des Heizmoduls im verbauten Zustand in einer Außenwand	13
2.2.3	Absolute und spezifische Temperaturdifferenzen im untersuchten Heizsystem	14
2.3	Temperaturverteilung in der Probewand	16
2.4	Druckverlust des Wandheizungssystems	20
2.5	Untersuchung der Druckbeständigkeit/Leckage	21
3	Empfehlungen und Kenndaten zur Auslegung des Wandheizsystems	21
3.1	Berechnung der Anzahl der notwendigen Heizpaneele	21
3.2	Berechnung der maximalen Anzahl der Heizpaneele in einer Heizreihe	23
3.3	Berechnung des Druckverlusts im Wandheizungssystem	24

1 Beschreibung des untersuchten Wandheizsystems

Das Wandheizsystem der Firma Soffio wird aus einzelnen Heizpaneelen mit einem entsprechenden druckbeständigen wasserdichten Verbindungssystem zusammengebaut. Jedes Heizpaneel besteht in der Regel aus mehreren stabförmigen Heizelementen (Abbildung 1), die gemäß den Angaben des Auftraggebers mit einem gasförmigen umweltfreundlichen Füllmittel befüllt sind und somit im Inneren ein geringer Überdruck herrscht. Im unteren Teil jedes Heizpaneels befindet sich ein dickwandiger Wasserkanal, in den die Heizelemente gepresst oder angeschraubt werden, wobei die Heizelemente mit dem Warmwasser indirekt in Kontakt kommen. Die für die Aufwärmung des Füllmittels notwendige Wärme wird über das Warmwasser zugeführt. Bei der Durchströmung mit Warmwasser wird das Füllmittel aufgewärmt und steigt innerhalb der Heizelemente nach oben. Durch die Bewegung des Füllmittels verteilt sich die Wärme im gesamten Heizelement und wird entsprechend langsam abgegeben. Dabei gilt, je höher die Wassertemperatur bzw. größer der Warmwasserdurchsatz, desto mehr Wärme kann über die Heizelemente übertragen und zum Heizen bereitgestellt werden.



Abbildung 1: Heizpaneel der Firma Soffio.

Zur Herstellung der Heizelemente bzw. -paneele wird gemäß den Angaben des Herstellers zwecks hoher Druckfestigkeit und hoher Produktqualität reines Aluminium verwendet. Die genauen technischen Daten des verwendeten Füllmittels sowie das Innenleben der Heizstäbe sind nicht bekannt und sind das Knowhow des Herstellers.

Es ist zu erwähnen, dass die oben dargelegten Informationen bzw. die Produktbeschreibung den Angaben sowie den Unterlagen des Herstellers entnommen sind.

2 Durchgeführte Untersuchungen

Für die Ermittlung und Charakterisierung des Heizverhaltens des Wandheizungssystems der Firma Soffio wurde eine spezielle technische Einrichtung (sogenannter Kalorimeterraum) verwendet, welcher sich zur Bestimmung von Energiebilanzen von verschiedenen Heizsystemen und Bauelementen eignet und im Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP entwickelt wurde.



Abbildung 2: Technische Versuchseinrichtung (Kalorimeterraum) zur Bestimmung von Energiebilanzen.

Anhand des Kalorimeterraums können außerdem konstante klimatische Betriebsbedingungen (Druck, relative Feuchte und Temperatur) eingestellt werden, welche in der Regel die Leistung des Heizsystems durch die Wärmeübertragung sowie die Wärmeverteilung im Raum in unterschiedlichem Maß beeinflussen können.

Bei der Untersuchung des Heizverhaltens des Wandheizungssystems der Firma Soffio wurden folgende Einsatzfälle betrachtet.

- ❖ Ermittlung der Wärmeleistung des Heizmoduls in einem nicht verbauten Zustand, um die höchstmögliche Wärmeleistung zu messen bzw. den Einfluss des Einbaus des Systems unter der Putzschicht zu erkennen.
- ❖ Ermittlung der Wärmeleistung des Heizmoduls im verbauten Zustand, wobei eine Probewand gemäß den Angaben des Herstellers verwendet wurde. Bei diesem Einsatzfall wurde der Einsatz des

Heizsystems in Innenwänden sowie in Außenwänden durch eine starke Kühlung der Außenseite der Probewand untersucht.

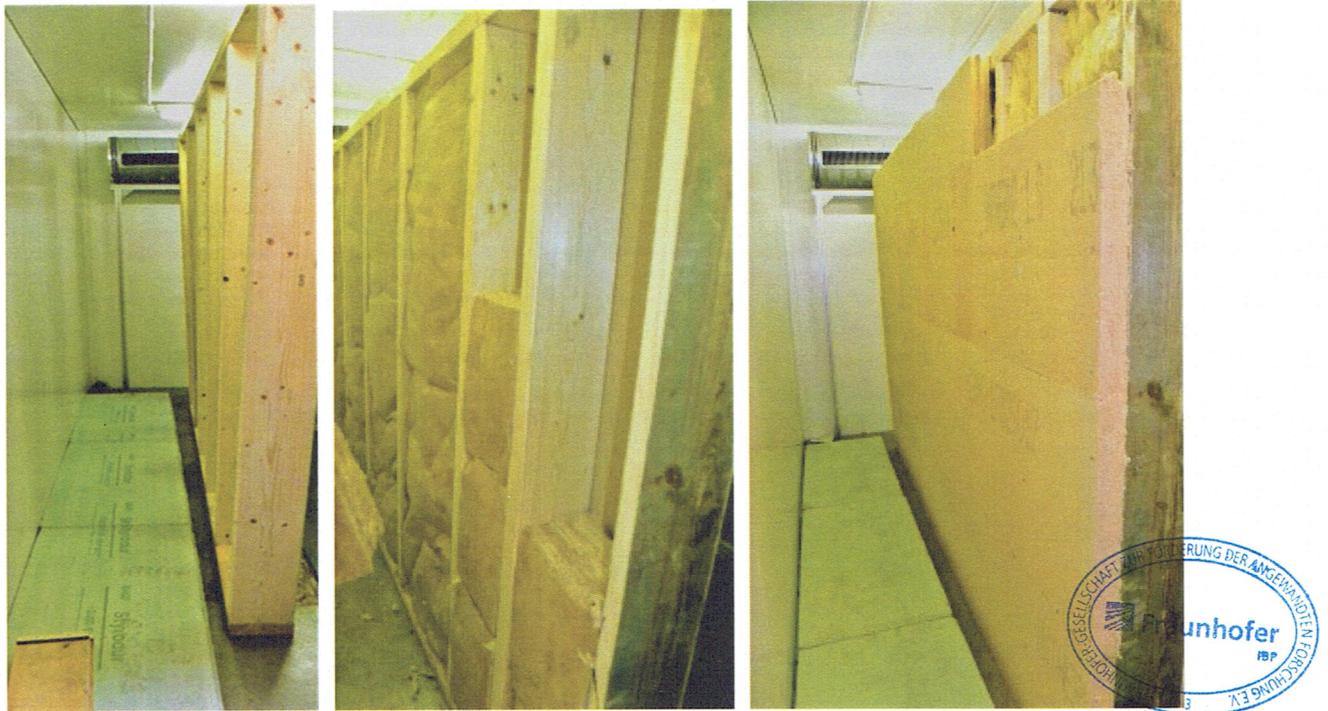


Abbildung 3: Verschiedene Schichten der Probewand.

Die Versorgung des Heizsystems mit Warmwasser bei definierten und konstanten Temperaturen sowie Warmwasserdurchsätzen erfolgt über eine zusätzliche Einrichtung, welche außerhalb des Kalorimeterraums eingesetzt wird. Diese Einrichtung besteht aus drei parallelgeschalteten elektrischen Durchlauferhitzern, welche über eine gesamte elektrische Leistung von ca. $72 \text{ kW}_{\text{elek}}$ verfügen. Außerdem werden mit dieser Einrichtung die Massenströme mit der Vor- und Rücklauftemperatur erfasst und entsprechend eingestellt. Alle verwendeten Wasserrohre und Armaturen außerhalb des Wandheizungssystems werden zwecks Minimierung der direkten Wärmeverluste isoliert.

2.1 Untersuchung der Wärmeleistung des Heizmoduls in einem nicht verbauten Zustand

Das Ziel dieser Untersuchungsvariante ist die Charakterisierung des Heizverhaltens der Heizmodule bzw. des Heizsystems in einem nicht verbauten Zustand, wobei eine minimale Wärmeabgabe bzw. Wärmeleistung aufgrund der ungünstigen Arbeitsbedingungen des Füllmittels zu erwarten ist. Zur Durchführung der Untersuchungen wurde ein Wandheizungssystem aus sechs in Reihe geschalteten Heizmodulen/Heizpaneelen (siehe Abbildung 1) aufgebaut und untersucht. Die Untersuchungen wurden bei einer nicht umströmenden Umgebung bei einer Temperatur von $20 \pm 1 \text{ °C}$ bzw. bei unterschiedlichen Warmwasserdurchsätzen (100 kg/h, 200 kg/h, 300 kg/h und 400 kg/h) und einer Vorlauftemperatur von 40 °C und 60 °C durchgeführt. Die Einstellung einer Umgebungstemperatur von

$20 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ erfolgte durch die Kühlung der Wände des Prüfraums (Kalorimeterraum).

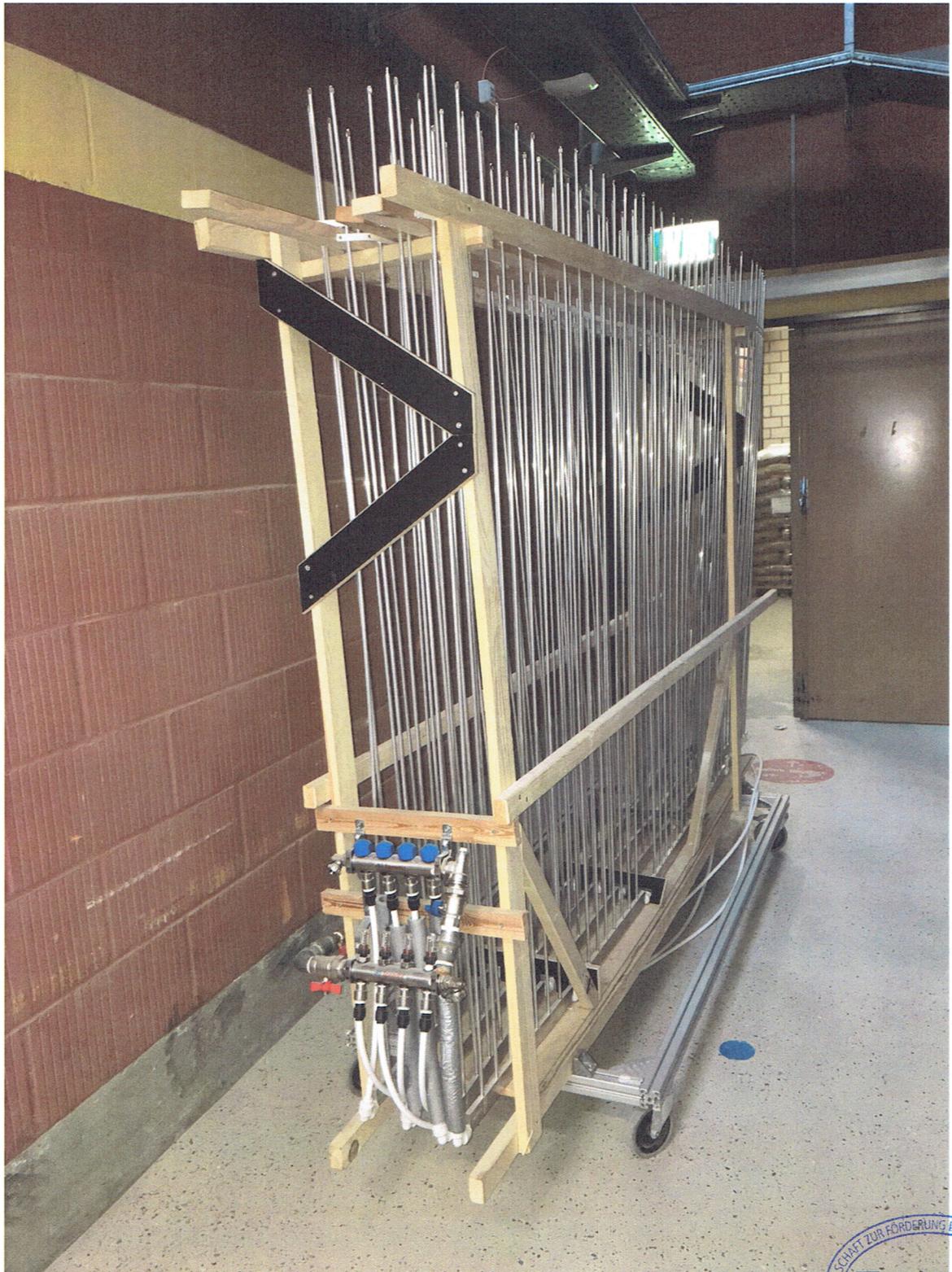


Abbildung 4: Wandheizsystem der Firma Soffio im nicht verbauten Zustand.



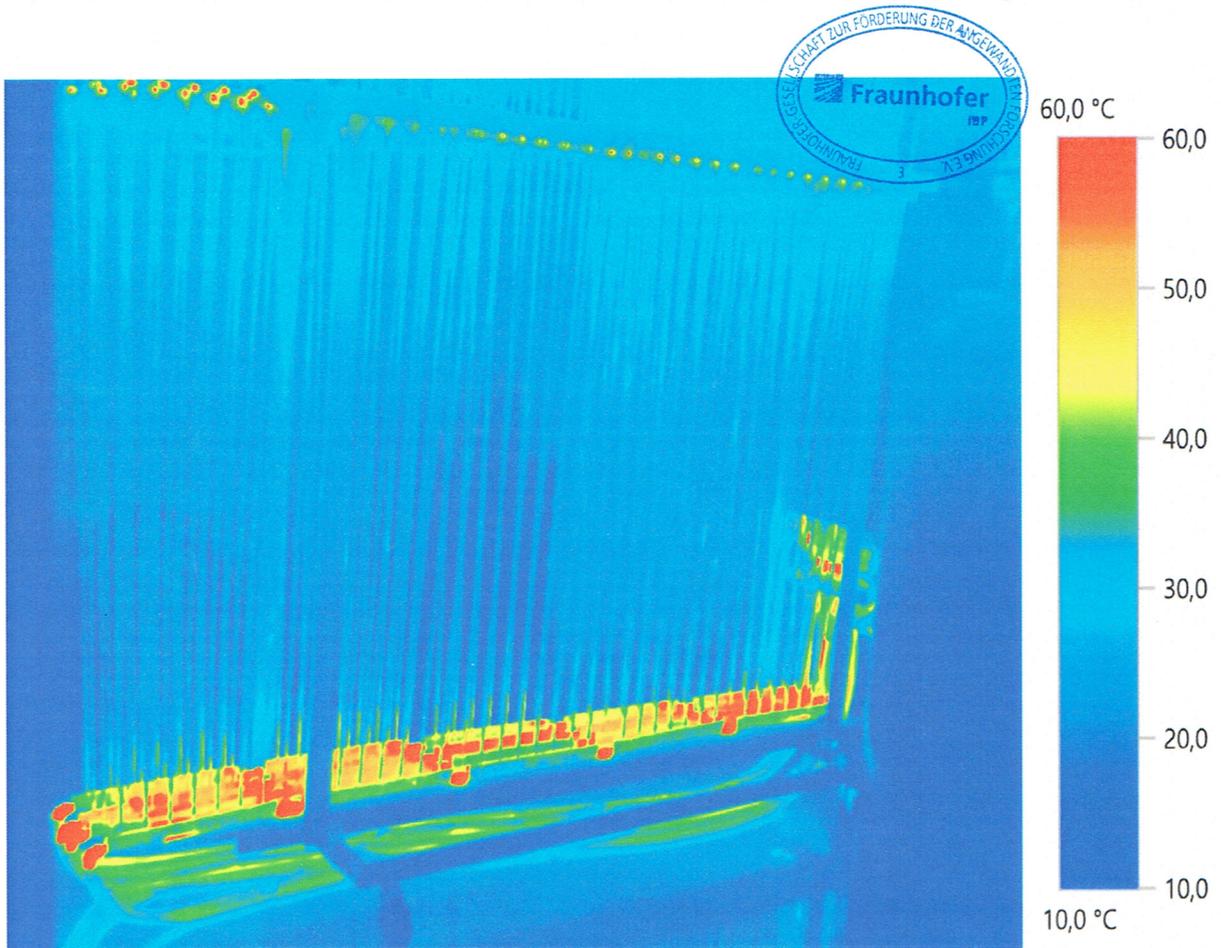


Abbildung 5: Wärmebild des Wandheizsystems der Firma Soffio im nicht verbauten Zustand.

Beim Beginn der Untersuchungen wurde ein Heizsystem aus 20 Modulen zusammgebaut und untersucht. Diese mussten aufgrund der unzureichenden Kühlleistung des Kalorimeterraums sowie für eine direkte Vergleichbarkeit mit der eingebauten Einsatzvariante auf sechs reduziert werden. Sowohl bei den 20 als auch bei den sechs Modulen hat das System ein vergleichbares Heizverhalten aufgewiesen.

Die gesamte Wärmeleistung des untersuchten Heizmoduls, welches aus sechs Heizpaneelen zusammgebaut ist, ist in der Tabelle 1 sowie in der Abbildung 6 dargestellt.

Tabelle 1: Wärmeleistung in Kilowatt [kW] des Heizmoduls im nicht verbauten Zustand.

Vorlauftemperatur [°C]	Warmwasserdurchsatz [kg/h]			
	100	200	300	400
40 [°C]	0,347	0,389	0,412	0,430
60 [°C]	0,852	0,899	0,961	1,024



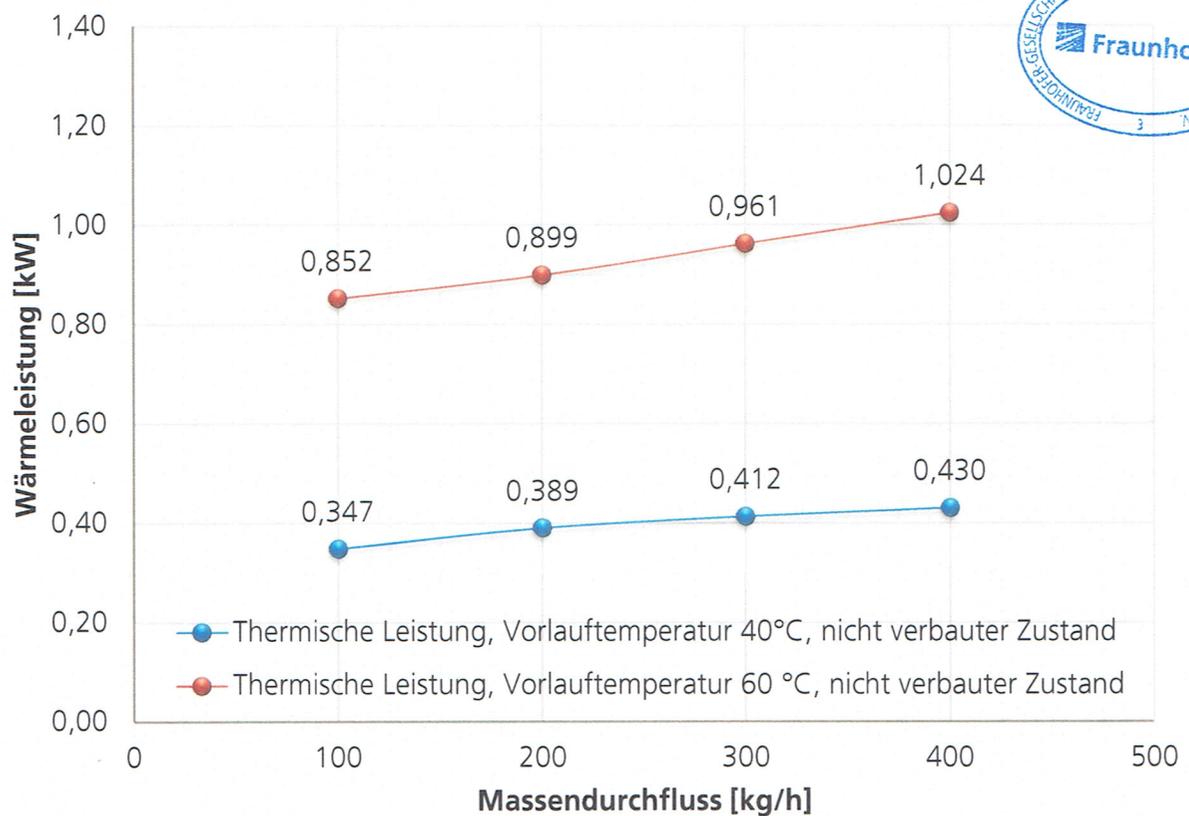


Abbildung 6: Wärmeleistung in Kilowatt [kW] des Heizmoduls im nicht verbauten Zustand.

Der Tabelle 1 sowie dem Diagramm der Abbildung 6 ist zu entnehmen, dass je höher der Warmwasserdurchsatz und die Vorlauftemperatur sind, umso mehr Wärme kann von den Heizelementen aufgenommen und folglich abgegeben werden. Außerdem ist ersichtlich, dass über 80 % der Wärmeleistung bei einem Warmwasserdurchsatz von 100 kg/h erreicht werden kann. Die Erhöhung der Vorlauftemperatur hat einen deutlich größeren Einfluss auf die Wärmeleistung des Heizsystems als die Erhöhung des Warmwasserdurchsatzes.

Die Wärmeleistung im nicht verbauten Zustand stellt aufgrund der fehlenden Aktivierungsenergie des Füllmittels die minimale Wärmeleistung dar, die das Heizsystem bei den jeweiligen Raumtemperaturen bereitstellen kann. Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass je höher die Umgebungstemperatur der Heizelemente ist, umso schneller und aktiver wird die Wärmeübertragung und Wärmeverteilung durch das Füllmittel. Im verbauten Zustand ist, unabhängig von den verwendeten Putzmitteln, eine höhere Wärmeleistung zu erwarten.

2.2 Untersuchung des Heizverhaltens und der Wärmeleistung des Heizmoduls im verbauten Zustand

In dieser Untersuchungsvariante wurde ein Heizsystem aus sechs Heizelementen mit jeweils sechs in Reihe geschalteten Heizmodulen, in Analogie zu der ersten Untersuchungsvariante aufgebaut und in eine

Probewand gemäß den Angaben des Auftraggebers integriert. Dabei wurde die Leistung des Heizsystems bei einem nicht gekühlten Raum hinter der Probewand ermittelt, wodurch versucht wurde, den Einbau des Heizsystems in den Innenwänden des Gebäudes zu simulieren. Dazu wurde der Einsatzfall einer Außenwand des Gebäudes simuliert, bei welchem ein Raum hinter der im Prüfraum aufgebauten Wand stark (bis -6 °C) gekühlt wurde.

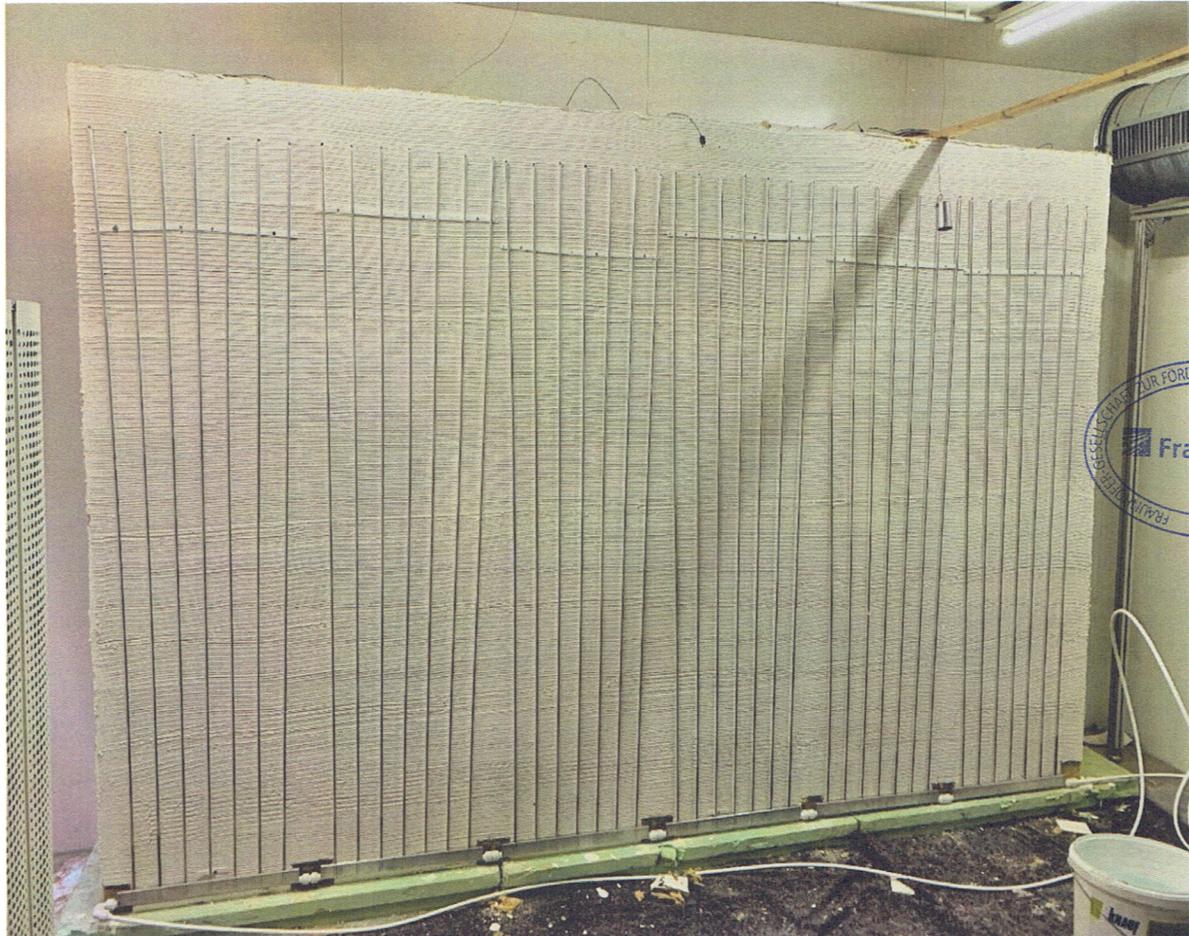


Abbildung 7: Das Wandheizsystem zusammengebaut aus sechs in Reihe geschalteten Heizmodulen, welche an der Musterwand angebracht sind.

Die Untersuchungen bei den Innen- und Außenwandbedingungen wurden bei einer nicht umströmenden Umgebung bei einer Temperatur von $20 \pm 1\text{ °C}$ bzw. bei unterschiedlichen Warmwasserdurchsätzen (100, 200, 300 und 400 kg/h) und einer Vorlauftemperatur von 40 °C und 60 °C durchgeführt. Die Einstellung einer Umgebungstemperatur von $20 \pm 1\text{ °C}$ erfolgt hauptsächlich durch die Kühlung der Wände des Prüfraums (Kalorimeterraum). Zusätzlich zu der Untersuchung der Wärmeleistung wurden bei dieser Untersuchungsvariante die Druckfestigkeit des Heizsystems, der Strömungswiderstand bzw. der Druckverlust bei unterschiedlichen Warmwasserdurchsätzen und die Oberflächentemperaturen gemessen. Die Oberflächentemperaturen wurden sowohl punktuell (Abbildung 8) durch entsprechende Temperaturfühler als auch durch eine Wärmebildkamera gemessen. Dabei wurde die notwendige

Zeit ermittelt, bei der sich die maximalen Temperaturen an der Probewand bei den jeweiligen Einstellungen eingestellt haben.

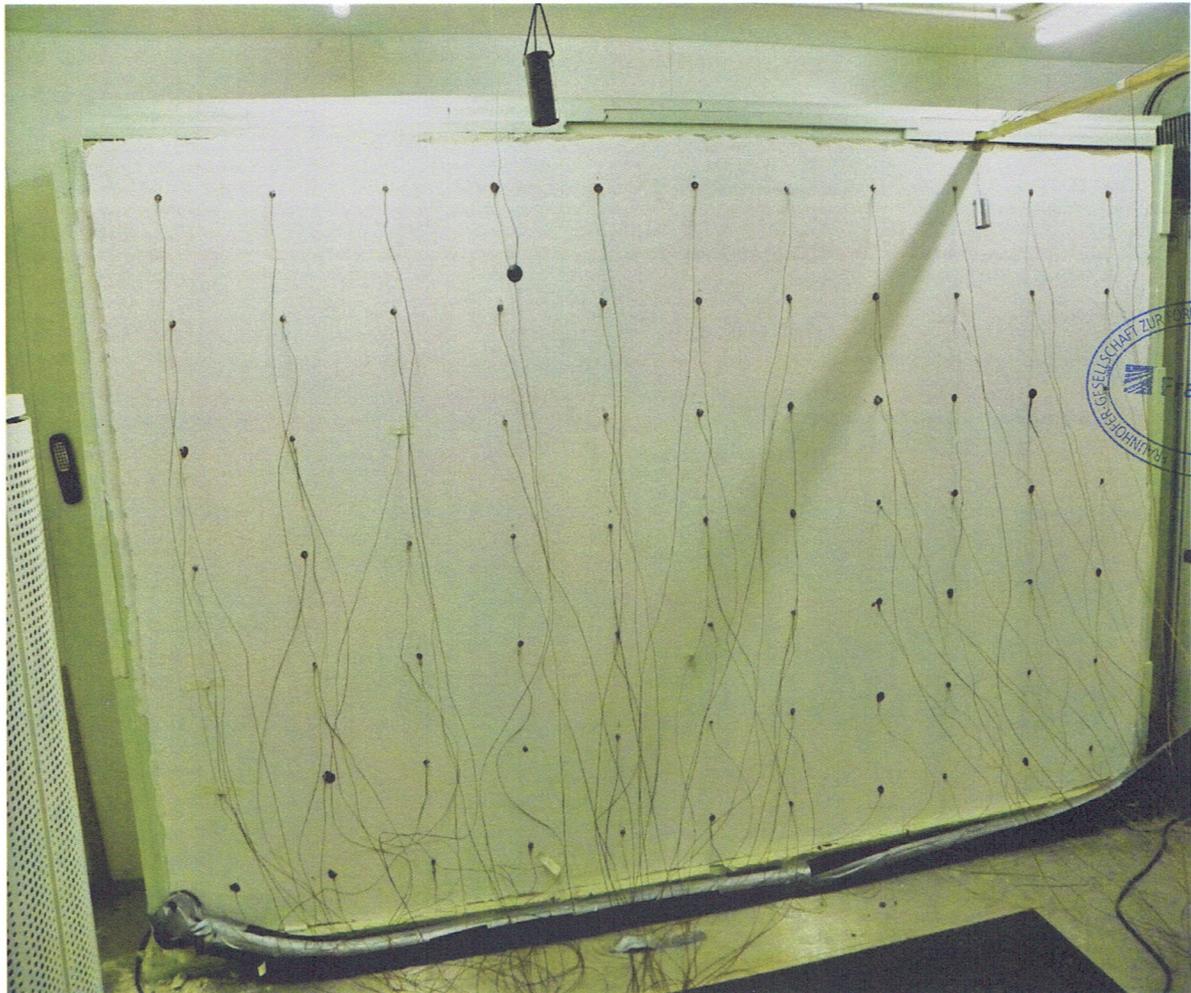


Abbildung 8: Die Messung der Oberflächentemperaturen an der Probewand im eingebauten Zustand des Heizsystems.

Die Abbildung 7 stellt das untersuchte, aus sechs Heizmodulen zusammengebaute Heizsystem dar, welches in der aufgebauten Probewand in dem Untersuchungsraum installiert wurde.

2.2.1 Wärmeleistung des Heizmoduls im verbauten Zustand in einer Innenwand

In der Tabelle 2 sowie im Diagramm der Abbildung 9 sind die Werte bzw. Verläufe der Wärmeleistung des Wandheizsystems (bestehend aus sechs in Reihe geschalteten Heizpaneelen) dargestellt. Der Tabelle 2 bzw. der Abbildung 9 ist zu entnehmen, dass das Wandheizsystem bei den gleichen Vorlauftemperaturen bzw. Warmwasserdurchsätzen eine höhere Wärmeleistung bereitstellt als im nicht verbauten Zustand. Das ist damit zu begründen, dass die Aktivierungsenergie für das Füllmittel effektiver bereitgestellt werden und das Wandheizsystem damit den günstigen Arbeitspunkt schneller erreichen kann. Entsprechend der Untersuchung im nicht verbauten Zustand weist das Heizsystem ein vergleichbares Heizverhalten bzw. einen ähnlichen Kurvenverlauf auf.

Tabelle 2: Wärmeleistung in Kilowatt [kW] des Heizmoduls im verbauten Zustand in einer Innenwand (der Raum hinter der Probewand ist nicht gekühlt).

Vorlauftemperatur [°C]	Warmwasserdurchsatz [kg/h]			
	100	200	300	400
40 [°C]	0,386	0,412	0,433	0,445
60 [°C]	0,944	1,084	1,120	1,121

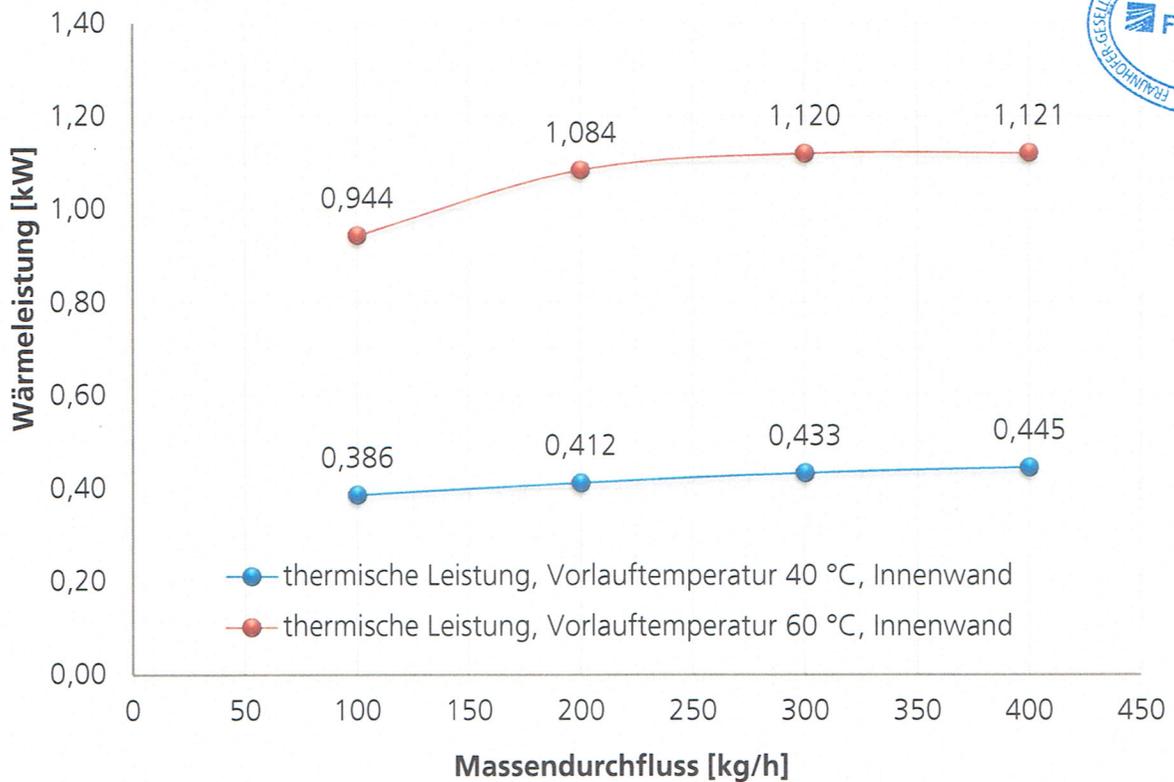


Abbildung 9: Wärmeleistung in Kilowatt [kW] des Heizmoduls im verbauten Zustand in einer Innenwand (der Raum hinter der Probewand ist nicht gekühlt).

Dabei ist zu sehen, dass je höher der Warmwasserdurchsatz und die Vorlauftemperatur sind, umso mehr Wärme kann von den Heizelementen aufgenommen und folglich abgegeben werden. Außerdem ist ersichtlich, dass über 85 % der Wärmeleistung bei einem Warmwasserdurchsatz von 100 kg/h erreicht werden kann. Die Erhöhung der Vorlauftemperatur hat dabei deutlich größeren Einfluss auf die Wärmeleistung des Wandheizsystems als die Erhöhung des Warmwasserdurchsatzes. Aus diesem Grund ist der Parameter Vorlauftemperatur für die Regelung der Wärmeleistung des Wandheizungssystems technisch sinnvoller als der Parameter Massendurchfluss des Warmwassers. Die Erhöhung des Warmwasserdurchsatzes auf über 200 kg/h ist nicht zielführend, da dadurch lediglich eine begrenzte Steigerung der Wärmeleistung sowie eine exorbitante Erhöhung des Druckverlusts erreicht werden können.

2.2.2 Wärmeleistung des Heizmoduls im verbauten Zustand in einer Außenwand

Bei dem Einsatz des Wandheizungssystems in einer Außenwand kann die Funktion des Füllmittels aufgrund der niedrigen Temperaturen auf der Außenseite negativ beeinflusst werden. Je tiefer die Temperatur auf der Außenseite der Wand bzw. des Heizmoduls sind, um so höhere Vorlauftemperaturen und Warmwasserdurchsätze müssen eingestellt werden, um die notwendige Wärmeenergie zur Aktivierung des Füllmittels bereitstellen zu können.

Tabelle 3: Wärmeleistung in Kilowatt [kW] des Heizmoduls im verbauten Zustand in einer Außenwand (der Raum hinter der Probewand ist bis - 8 °C gekühlt).

Vorlauftemperatur [°C]	Warmwasserdurchsatz [kg/h]			
	100	200	300	400
40 [°C]	0,311	0,375	0,406	0,421
60 [°C]	0,900	0,985	1,017	1,018

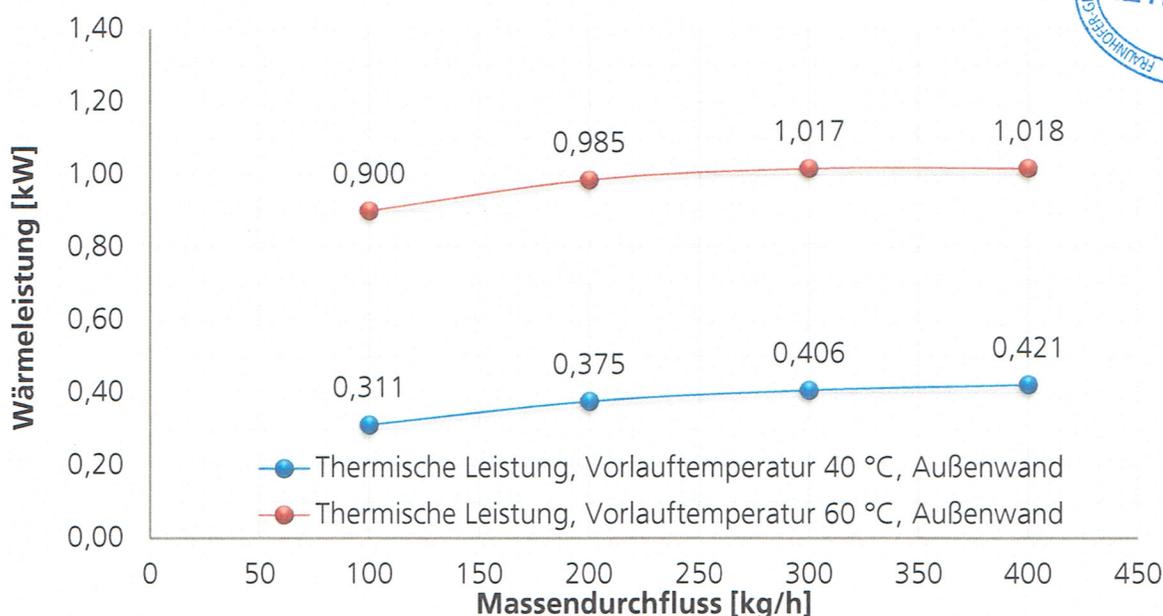


Abbildung 10: Wärmeleistungsverteilung im verbauten Zustand mit simulierter Außenwand (der Raum hinter der Probewand ist bis - 8 °C gekühlt).

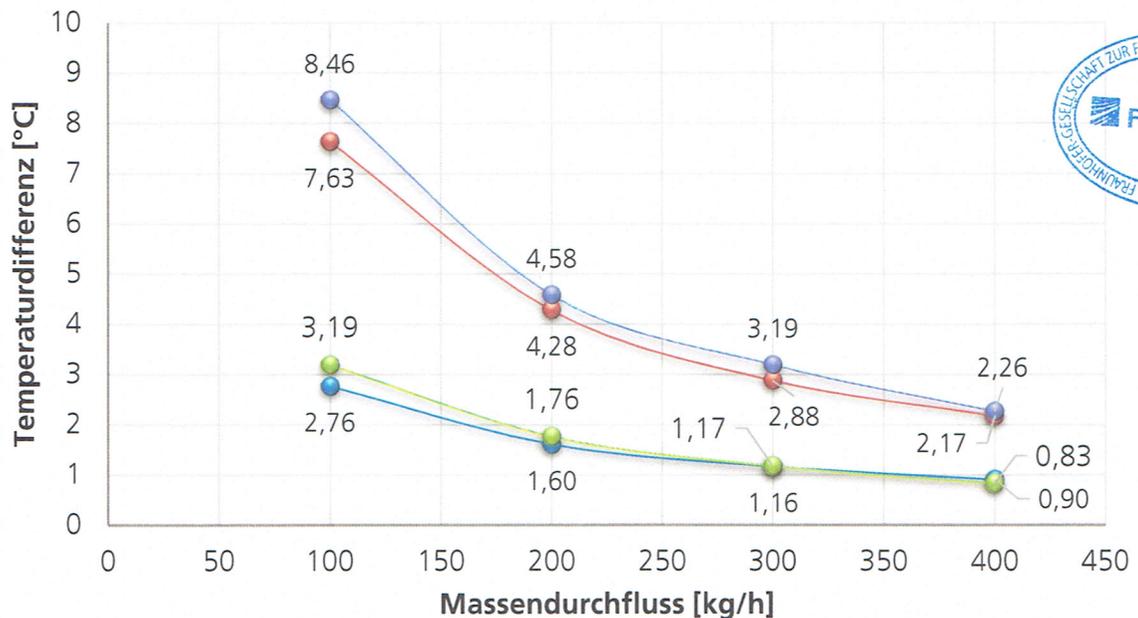
Bei dem Vergleich der Kurven der Wärmeleistungen von der Innen- und Außenwand lässt sich feststellen, dass die Kurvenverläufe identisch sind, wobei die Wärmeleistung des verwendeten Wandheizungssystems bei dem Einsatz in der Innenwand um ca. 10 %, wie z. B. bei einer Vorlauftemperatur von 60 °C, höher ist als beim Einsatz in der Außenwand. Bei den Untersuchungen wurde außerdem beobachtet, dass das Wandheizungssystem bei dem Einsatz in der Innenwand und bei hohen Vorlauftemperaturen schneller den günstigen Arbeitspunkt und somit den Beharrungszustand

oder die maximal möglichen Oberflächentemperaturen erreichen kann als bei dem Einsatz in der Außenwand.

Für den Betrieb des Wandheizungssystems vor allem bei dem Einsatz in einer Außenwand ist zu empfehlen, die Vorlauftemperatur zum Beginn maximal einzustellen und diese, sobald eine günstige Betriebstemperatur erreicht wurde, wieder auf ein niedrigeres bzw. entsprechendes Temperaturniveau in Abhängigkeit des bestehenden Wärmebedarfs zurückzustellen.

2.2.3 Absolute und spezifische Temperaturdifferenzen im untersuchten Heizsystem

Beim Fließen des Warmwassers durch die Heizpaneele bzw. durch das Heizsystem nimmt die Wassertemperatur von Heizpaneel zu Heizpaneel aufgrund der Wärmeübertragung an das Füllmittel ab. Die Temperaturabnahme entlang der Probewand bzw. des Heizsystems ist nicht linear und verhält sich proportional zu der Fließstrecke. Bei hohen Temperaturen ist die Abnahme höher als bei niedrigeren Temperaturen.



- Temperaturunterschied, 40 °C Vorlauftemperatur, Außenwand
- Temperaturunterschied, 60 °C Vorlauftemperatur, Außenwand
- Temperaturunterschied, 40 °C Vorlauftemperatur, Innenwand
- Temperaturunterschied, 60 °C Vorlauftemperatur, Innenwand

Abbildung 11: Temperaturdifferenz bzw. –unterschied zwischen dem Ein- und Austritt des untersuchten Heizsystems (Probewand aus sechs eingebauten Heizmodulen) (Abbildung 7, Abbildung 8) bei unterschiedlichen Warmwasserdurchflüssen und Vorlauf- bzw. Eintrittstemperaturen von 40 °C und 60 °C.

Tabelle 4: Spezifische und absolute Temperaturdifferenz beim Einsatz des Wandheizungssystems in einer Außenwand bei unterschiedlichen

Warmwasserdurchsätzen und Vorlauftemperaturen (Eintrittstemperaturen) von 40 °C und 60 °C.

Vorlauftemperatur [°C]	Warmwasserdurchsatz [kg/h]			
	100	200	300	400
Absolute Temperaturdifferenz [°C]				
40 [°C]	1,86	1,61	1,16	0,90
60 [°C]	7,63	4,28	2,88	2,17
Spezifische Temperaturdifferenz [°C/Heizpaneel]				
40 [°C]	0,31	0,27	0,19	0,15
60 [°C]	1,27	0,71	0,48	0,36



Tabelle 5: Spezifische und absolute Temperaturdifferenz beim Einsatz des Wandheizungssystems in einer Innenwand bei unterschiedlichen Warmwasserdurchsätzen und Vorlauftemperaturen (Eintrittstemperaturen) von 40 °C und 60 °C.

Vorlauftemperatur [°C]	Warmwasserdurchsatz [kg/h]			
	100	200	300	400
Absolute Temperaturdifferenz [°C]				
40 [°C]	3,19	1,77	1,17	0,84
60 [°C]	8,46	4,58	3,19	2,26
Durchschnittliche spezifische Temperaturdifferenz ΔT_{spz} [°C/Heizpaneel]				
40 [°C]	0,53	0,30	0,20	0,14
60 [°C]	1,41	0,76	0,53	0,38



Die absolute und die spezifische Temperaturdifferenz beim Einsatz des Wandheizungssystems in einer Außenwand sowie einer Innenwand bei unterschiedlichen Warmwasserdurchsätzen und Vorlauftemperaturen (Eintrittstemperaturen) von 40 °C und 60 °C sind im Diagramm der Abbildung 11 sowie in der Tabelle 4 und der Tabelle 5 dargestellt. Dem Diagramm der Abbildung 11 sowie der Tabelle 4 und der Tabelle 5 ist zu entnehmen, dass je höher die Vor- bzw. Eintrittstemperatur und je geringer der Warmwasserdurchsatz ist, umso höher ist die absolute und folglich die spezifische Temperaturdifferenz zwischen dem Eintritt und dem Austritt des Heizsystems. Die an das Füllmittel übertragene Wärme verhält sich dabei proportional zu der Temperaturabnahme. Die Ermittlung der Temperaturabnahme beim Fließen des Warmwassers in das Heizungssystem bzw. in der eingesetzten Probewand ist notwendig, um die maximale Anzahl der Heizpaneele zu berechnen, die in einer Reihe ohne Beeinträchtigung der Funktion angeschlossen werden dürfen.

2.3 Temperaturverteilung in der Probewand

Abbildung 12 zeigt eine Aufnahme einer Wärmebildkamera bei dem Betrieb des Wandheizsystems bei einer Vorlauftemperatur von 40 °C bzw. einem Warmwasserdurchsatz von 200 kg/h. Dabei ist zu erkennen, dass die Heizelemente, die näher an dem Warmwassereintritt angeordnet sind, schneller agieren und entsprechend wärmer werden als die Heizelemente, die sich näher am Warmwasseraustritt befinden. Nach einer gewissen Zeit von ca. 100 Minuten erreichen alle Heizelemente sowie die Oberfläche der Probewand die maximalen Temperaturen.

Bei dem Betrieb des Wandheizsystems wurde mit Hilfe der Wärmebildkameraaufnahmen festgestellt, dass sich relativ hohe Temperaturen an der Wandoberfläche einstellen, welche im direkten Kontakt mit den Heizelementen ist. Je höher die Vorlauftemperatur bzw. der Durchsatz des Warmwassers sind, umso höhere und gleichmäßigere Temperaturen können an der Oberfläche der Probewand erreicht werden.

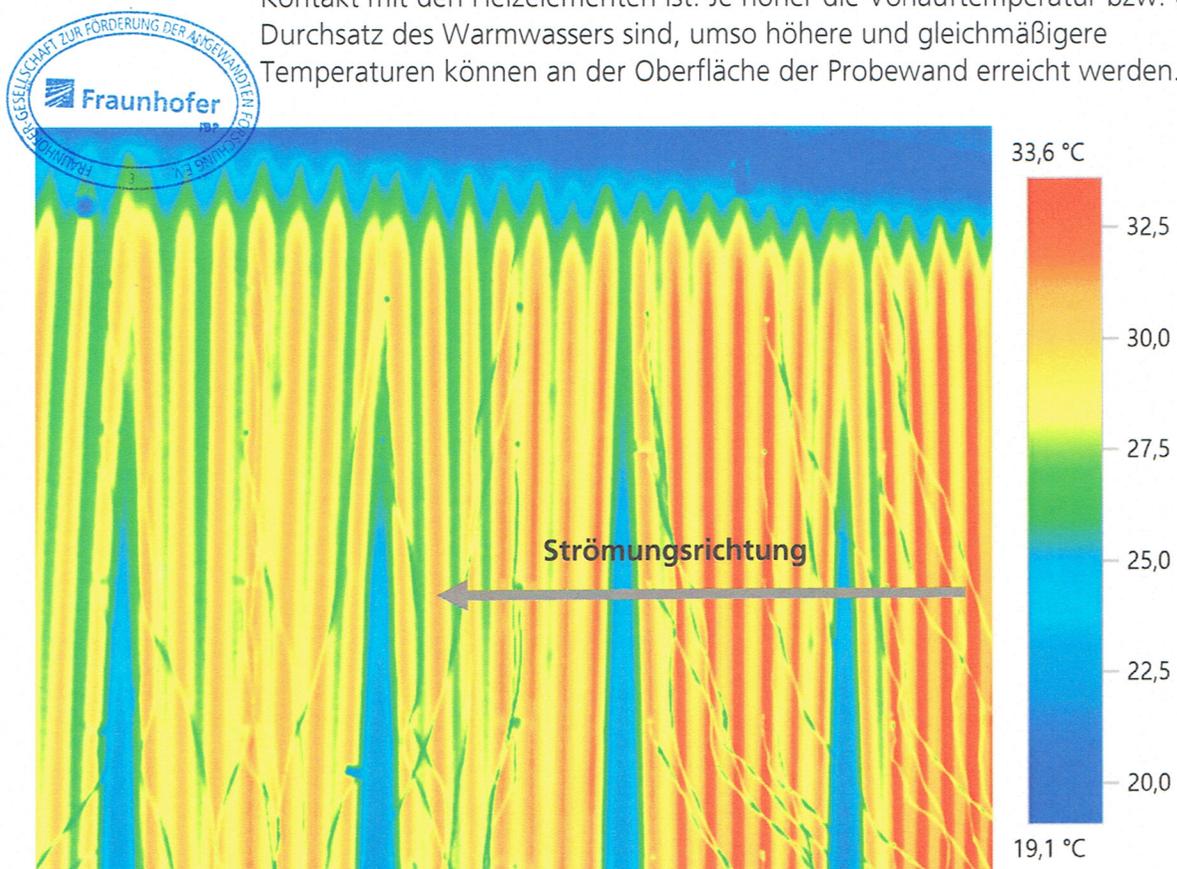
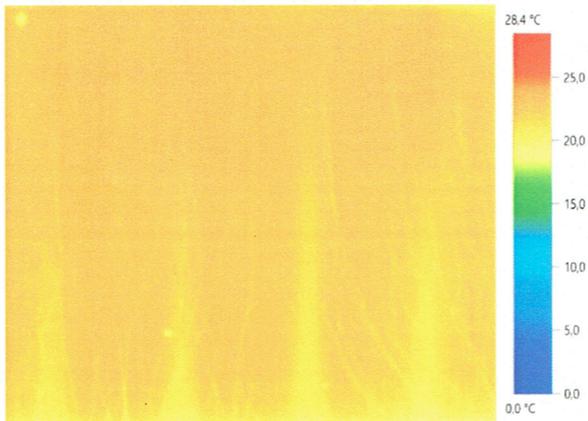


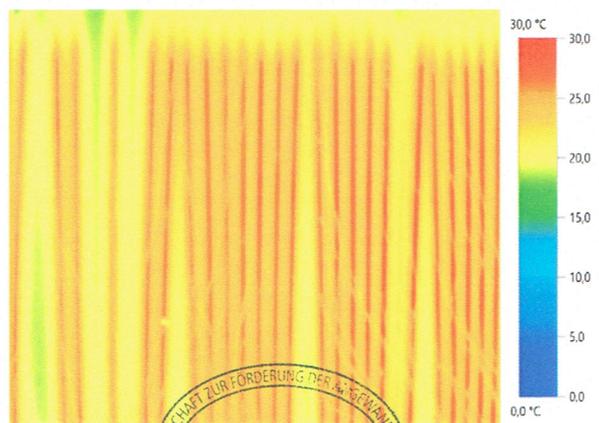
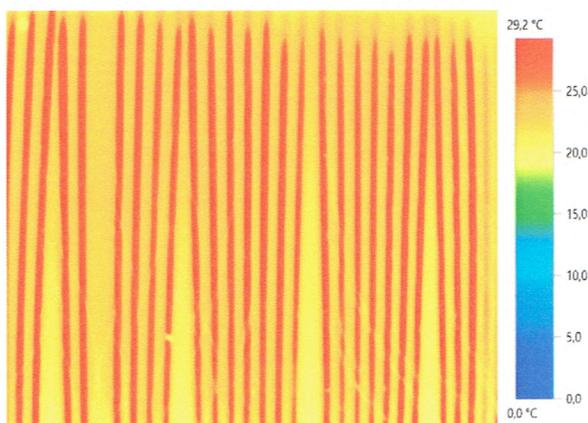
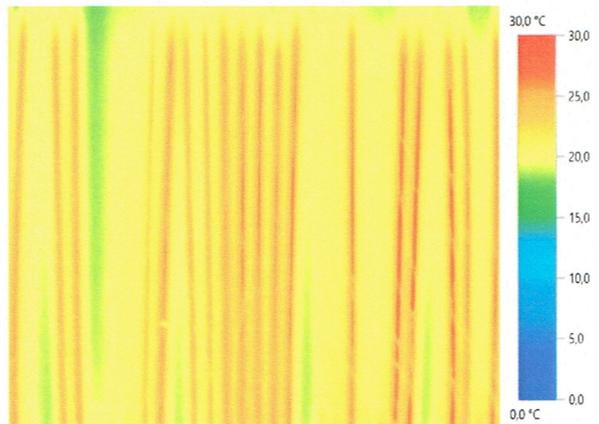
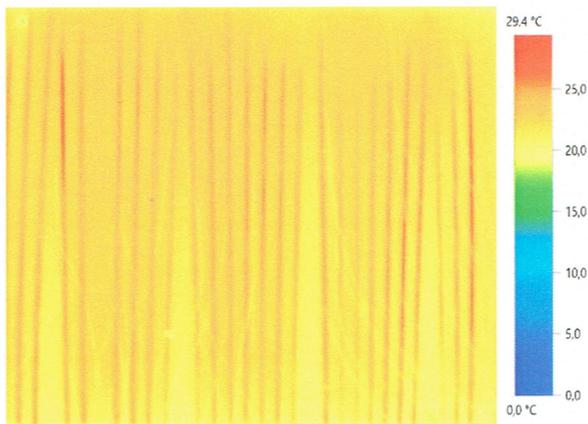
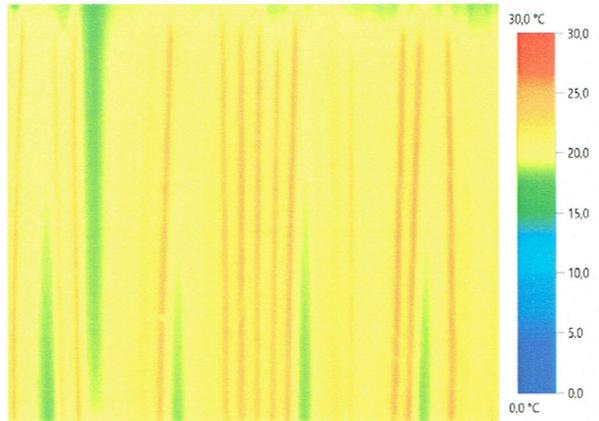
Abbildung 12: Wärmeverteilung innerhalb der Probewand beim Einsatz des Wandheizungssystems (sechs Heizpaneele bzw. Heizmodule) der Firma Soffio.

Die Abbildung 13 zeigt die Entwicklung der Oberflächentemperaturen bei dem Betrieb des Wandheizsystems bei einer Vorlauftemperatur von 40 °C (rechte Bilderreihe) und 60 °C (linke Bilderreihe) bei einem Warmwasserdurchsatz von 200 kg/h. Dabei ist zu erkennen, dass sich bei einer Vorlauftemperatur von 60 °C höhere und gleichmäßigere Temperaturen an der Oberfläche der Probewand im Beharrungszustand einstellen können als bei einer Vorlauftemperatur von 40 °C.

Vorlauftemperatur 60 [°C],
Warmwasserdurchsatz 200 [kg/h]



Vorlauftemperatur 40 [°C],
Warmwasserdurchsatz 200 [kg/h]



Vorlauftemperatur 60 [°C],
Warmwasserdurchsatz 200 [kg/h]

Vorlauftemperatur 40 [°C],
Warmwasserdurchsatz 200 [kg/h]

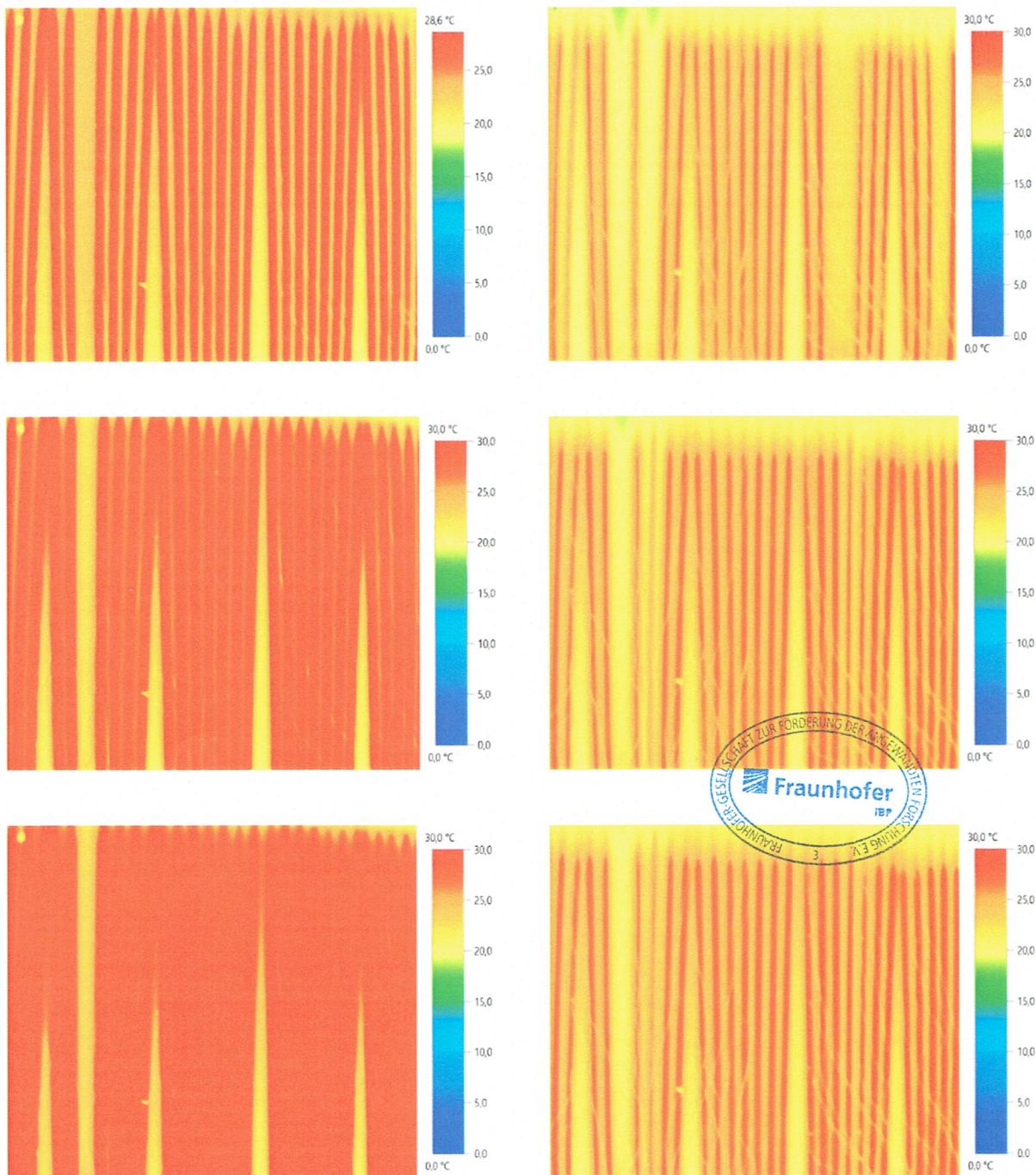


Abbildung 13: Entwicklung der Oberflächentemperaturen bei dem Betrieb des Wandheizsystems bei einer Vorlauftemperatur von 40 °C (rechte Bilderreihe) und 60 °C (linke Bilderreihe) bei einem Warmwasserdurchsatz von 200 kg/h.

Die Abbildung 14 sowie die Abbildung 15 zeigen die punktuell gemessenen Oberflächentemperaturen zum Beginn des Betriebs bei einer Temperatur von 20 °C bis zum Erreichen des Beharrungszustands bzw. eines konstanten Temperaturverhaltens.

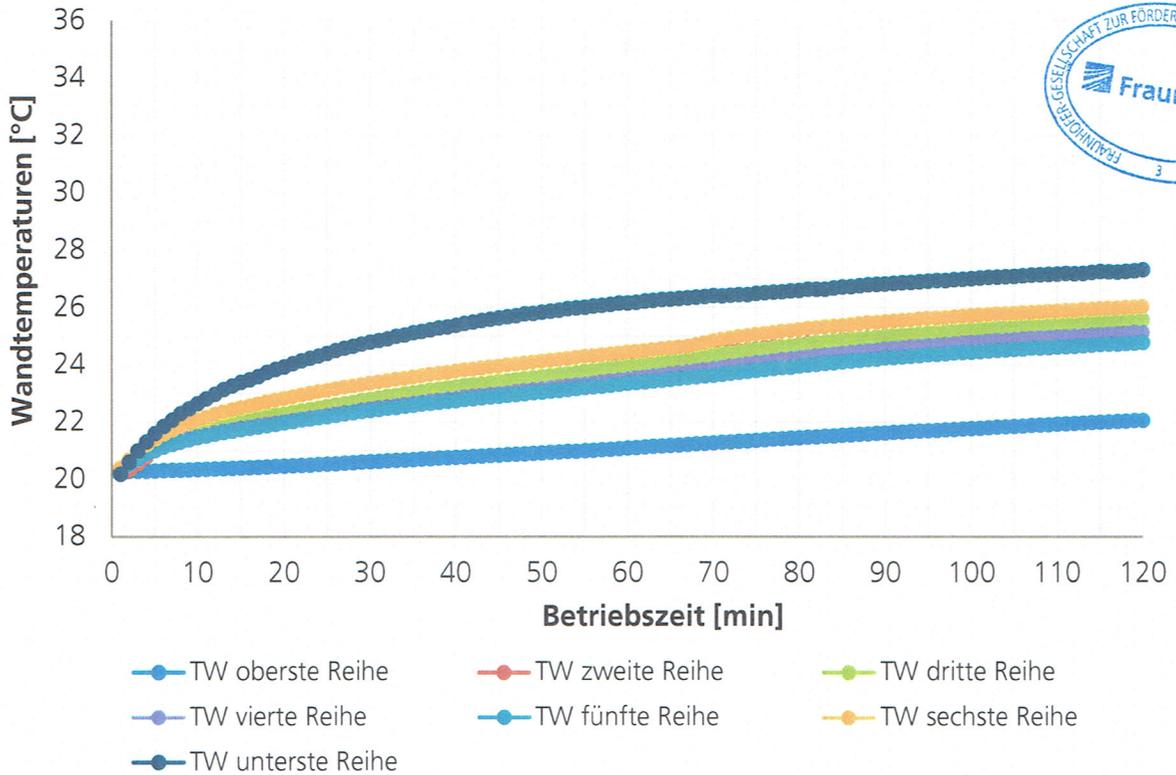


Abbildung 14: Verläufe der Oberflächentemperaturen beim Betrieb bei einer Vorlauftemperatur von 40 °C sowie einem Warmwasserdurchsatz von 400 kg/h.

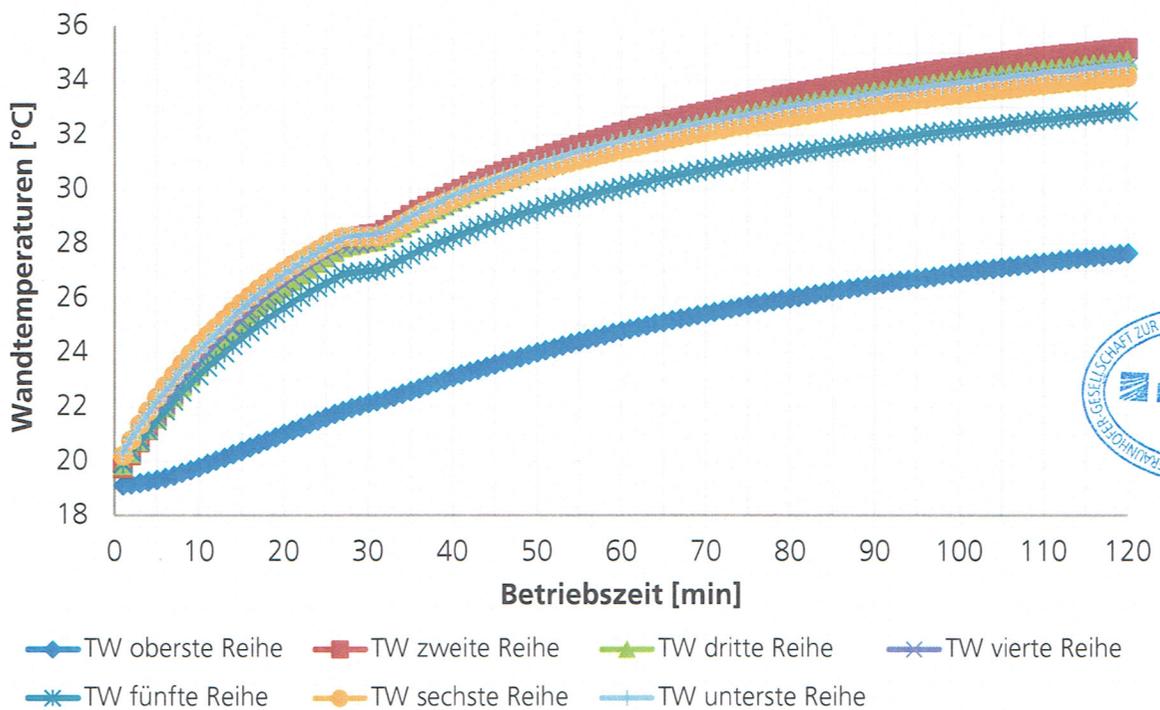


Abbildung 15: Verläufe der Oberflächentemperaturen beim Betrieb bei einer Vorlauftemperatur von 60 °C sowie einem Warmwasserdurchsatz von 400 kg/h.

Wie den beiden Diagrammen bzw. Abbildung 14 sowie Abbildung 15 zu entnehmen ist, liegen die Oberflächentemperaturen in den jeweiligen Messpunkten bei einer Vorlauftemperatur von 60 °C um ca. 10 °C höher und dichter beieinander als bei einer Vorlauftemperatur von 40 °C. Es konnten homogene Oberflächentemperaturen von ca. 35 °C über die gesamte Probewand gemessen werden.

2.4 Druckverlust des Wandheizungssystems

Zur Auswahl geeigneter Wasserpumpen und der allgemeinen Auslegung des Wandheizungssystems sind Angaben zur erforderlichen Gesamtwärmeleistung bzw. der Anzahl der erforderlichen Heizpaneele zur Deckung des Wärmebedarfs des Gebäudes sowie zum daraus resultierenden Gesamtdruckverlust notwendig.

In der Abbildung 16 ist der Druckverlust des Wandheizungssystems dargestellt, welches aus sechs Heizmodulen bzw. Heizpaneelen zusammengesetzt ist. Diese Kurven der Abbildung 16 stellen den gesamten Druckverlust im Wandheizungssystem mit allen dazugehörigen Verbindungsstücken dar.

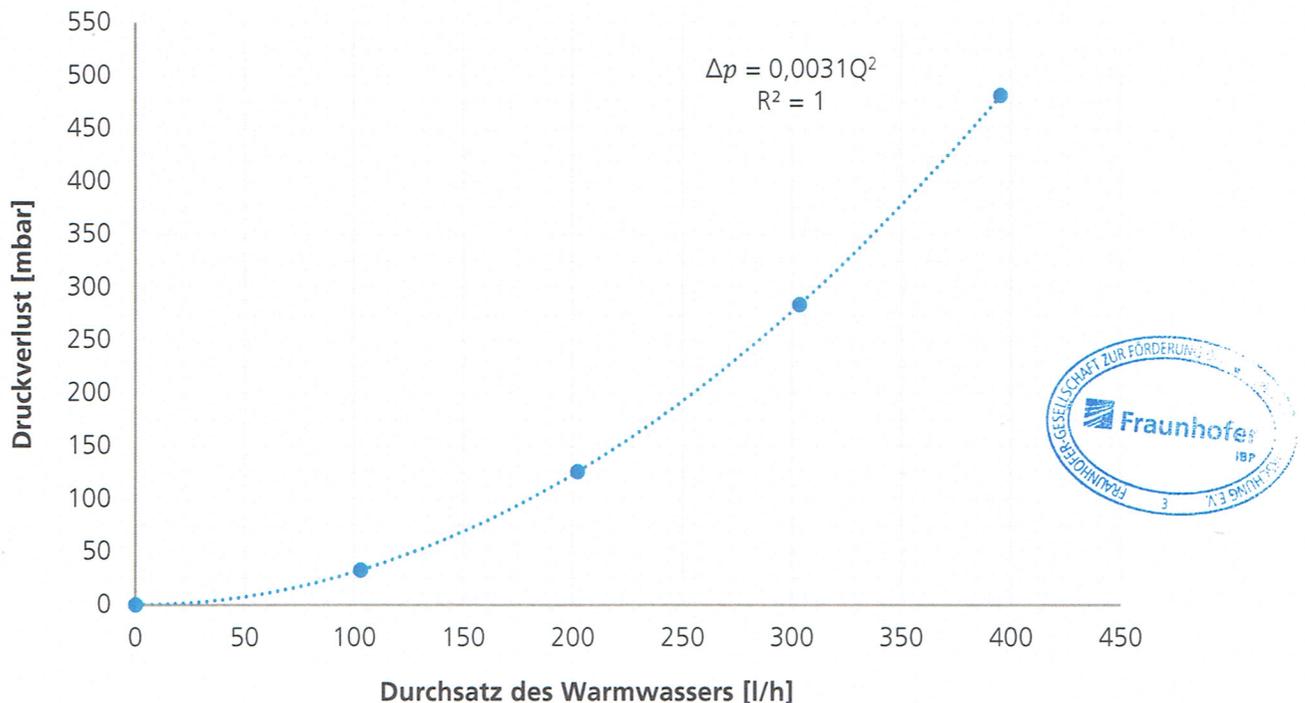


Abbildung 16: Druckverlust bei dem untersuchten Wandheizungssystem.

Dem Diagramm der Abbildung 16 ist zu entnehmen, dass der Druckverlust mit einem ansteigenden Durchsatz des Warmwassers ansteigt. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde festgestellt, dass bei einem Warmwasserdurchsatz von 200 l/h über 90 % der gesamten Wärmeleistung erreicht wird. Bei diesem Warmwasserdurchsatz wurde ein spezifischer Druckverlust von ca. 21 mbar in jedem verwendeten Heizmodul bzw. Heizpaneel ermittelt.

Die Berechnung des Druckverlustes dient zur Auslegung der notwendigen Wasserpumpen des Heizsystems. Der Druckverlust hängt in der Regel nicht nur von der Anzahl der verwendeten Heizmodule, sondern auch von dem Verbindungssystem, dem Warmwasserverteilungssystem, den Wasserventilen und von der Rohrleitung (das Material, die Form, die Länge und der Durchmesser) ab. Dazu spielt die hydraulische Schaltung der Heizmodule eine große Rolle. Die genaue Berechnung des Druckverlusts sollte individuell und unter Berücksichtigung aller verbauten Systembestandteile erfolgen.

2.5 Untersuchung der Druckbeständigkeit/Leckage

Die Druckbeständigkeit des Wandheizsystems wurde bei einem Wasserdruck von 30 bar im Neuzustand sowie nach der Untersuchung des Wandheizsystems im verbauten und nicht verbauten Zustand durchgeführt. Dabei wurden weder eine Wasserleckage noch eine Verformung der Systembestandteile festgestellt. Der Vorteil des Wandheizsystems der Firma Soffio besteht in der geringen notwendigen Wassermenge (< 30 ml/Heizpaneel) sowie in der kurzen Strömungstrecke für die Verteilung der für die Aktivierung des Füllmittels erforderlichen Wärmemenge.

3 Empfehlungen und Kenndaten zur Auslegung des Wandheizsystems

Zur Auslegung des Wandheizungssystems sollen unter anderem die Anzahl der notwendigen Heizpaneele sowie der Druckverlust im gesamten Wandheizungssystem berechnet werden. Im Folgenden wird eine vereinfachte Grundlage dargelegt, welche auf Basis der durchgeführten Untersuchungen erstellt wurde. Eine genauere verfahrenstechnische Grundlage für eine präzise Auslegung des Wandheizungssystems lässt sich nur anhand von weiteren ausführlichen Untersuchungen an unterschiedlichen Konstellationen (Wandtypen, Betriebsparameter, Systemtypen usw.) erstellen und entsprechend validieren.

3.1 Berechnung der Anzahl der notwendigen Heizpaneele

Die Wärmeleistung des Wandheizungssystems kann approximativ anhand der Formel 1 berechnet werden, welche auf Basis der durchgeführten Untersuchungen (siehe Abschnitt 2.2.1 und Abschnitt 2.2.2) abgeleitet wurde. Die Formel 1 soll für den Aufbau des Wandheizsystems in Innen- sowie Außenwänden gelten. Der Einfluss des Warmwasserdurchsatzes sowie der Einsatz des Wandheizsystems in der Außenwand auf die Wärmeleistung werden durch den Faktor k_D sowie den Faktor k_U berücksichtigt.

$$P = k_s \cdot k_U \cdot (1 + k_Q) \cdot 2 \cdot n \cdot 10^{-5} \cdot T_m^{(2,2056)} \quad \text{Formel 1}$$

Oder:

$$n = \frac{P}{k_s \cdot k_U \cdot (1 + k_Q) \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot T_m^{(2,2056)}} \quad \text{Formel 2}$$

Wobei:



- P : Die notwendige Wärmeleistung des Wandheizsystems in kW, welche dem erforderlichen gesamten Wärmebedarf des Gebäudes bzw. Wohnobjekts entspricht.
- k_U : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Einsatzes des Wandheizsystems in Außenwänden.
- k_Q : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Warmwasserdurchsatzes.
- k_S : Sicherheitsfaktor für die Berücksichtigung von Funktionsstörungen in Heizelementen, von tiefen Wintertemperaturen und von den Änderungen in der Art der Nutzung des Wohnobjekts.
- n : Anzahl der Heizpaneele bzw. der Heizmodule im gesamten Wandheizsystem.
- T_m : Die mittlere Temperatur des in das Heizsystem zugeführte Warmwassers in °C.

Der Gesamtwärmebedarf des Gebäudes bzw. des Wohnobjekts hängt von dem Bautyp (Passivhaus, Neubau mit Standardwärmedämmung, Sanierter Altbau mit oder Neubau ohne Wärmedämmung, Altbau ohne Wärmedämmung usw.) ab. Er errechnet sich approximativ aus der Multiplikation des spezifischen Wärmebedarfs (kW/m²) mit der gesamten zu beheizenden Wohnfläche. Der spezifische Wärmebedarf von unterschiedlichen Gebäudetypen ist in der Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Spezifischer Wärmebedarf bei unterschiedlichen Gebäudetypen.

Gebäude/Wohnobjekttyp	spez. Wärmebedarf [kW/m ²]
Passivhaus	0,015
Neubau nach EnEV	0,04
Neubau mit Standardwärmedämmung	0,06
Sanierter Altbau mit oder Neubau ohne Wärmedämmung	0,08
Altbau ohne Wärmedämmung	0,12



Der Faktor k_Q lässt sich aus der folgenden Formel 3 approximativ berechnen, wobei ein Warmwasserdurchsatz Q_W von größer als 100 kg/h einzusetzen ist.

$$k_Q = 0,1481 * \ln(Q_W) - 0,6803 \quad \text{Formel 3}$$

Der Faktor k_U ist ein Korrekturfaktor, der den Einsatz des Wandheizungssystems in Innen- oder Außenwänden berücksichtigt. Beim Einsatz des Wandheizungssystems in einer Innenwand nimmt der Faktor k_U einen Wert von eins an, wobei sein Wert beim Einsatz in einer Außenwand zwischen 0 und 1 variiert. Ein Wert von 0 wird theoretisch angenommen, wenn die Kühlung des Heizelements durch die Außenseite die Aktivierung des Füllmittels verhindert und infolgedessen die Wärme von dem Warmwasser nicht übertragen und entsprechend genutzt werden kann. In diesem Fall ist die Wärmeleistung des Wandheizsystems gleich null. Je besser die Außenwand isoliert ist, umso höher kann der Wert des Faktors k_U angesetzt werden. Bei der verwendeten Probewand ist ein Wert für den Faktor k_U von 0,85 anzunehmen. Dieser Wert gilt bei einer Außentemperatur

von bis - 8 °C. Bei niedrigeren Außentemperaturen sollten für diesen Faktor k_U niedrigere Werte angenommen werden.

Der Faktor k_s ist ein Sicherheitsfaktor und nimmt einen Wert von kleiner als eins bzw. größer als 0,90 an. Mit diesem Faktor sollen tiefere Wintertemperaturen berücksichtigt werden, bei denen der Heizwärmebedarf entsprechend ansteigt. Außerdem werden durch diesen Faktor nicht vorherrschende technische Mängel oder Funktionsstörungen in manchen Heizelementen sowie Änderungen in der Nutzung der Gebäuderäume bzw. der Wände des Wohnobjekts betrachtet.

Die mittlere Temperatur T_m des dem Heizsystem zugeführten Warmwassers soll größer als 40 °C bzw. größer als die Temperatur sein, bei der die nötige Wärmeenergie zur Aktivierung des Füllmittels der Heizelemente bereitgestellt werden kann. Es ist zu erwähnen, dass die Formel 1 sowie die Formel 3 nur für einen Bereich des Warmwassers zwischen 40 °C und 65 °C bzw. für einen Warmwasserdurchsatz zwischen 100 kg/h und 400 kg/h gelten, wobei eine einfache Validierung anhand der Messwerte durchgeführt wurde.

Es ist zu erwähnen, dass die oben geschilderte vereinfachte verfahrenstechnische Grundlage anhand von weiteren Messungen validiert werden sollte. Diese dient nur für die erste Berechnung bzw. vereinfachte Auslegung des Wandheizungssystems der Firma Soffio in der untersuchten Konstellation.

3.2 Berechnung der maximalen Anzahl der Heizpaneele in einer Heizreihe

Wie im Abschnitt 2.2.3 erwähnt wurde, hängt die maximale Anzahl der Heizpaneele, die in einer Heizreihe des Wandheizsystems ohne Beeinträchtigung der Funktion angeschlossen werden, von der Vorlauf- bzw. der Eingangstemperatur sowie von dem Durchsatz des Warmwassers ab. Je höher die Vorlauftemperatur und geringer der Warmwasserdurchsatz sind, umso höher stellt sich die absolute und folglich die spezifische Temperaturdifferenz zwischen dem Eingang und Ausgang des Heizsystems ein bzw. mehr Wärme wird an die Heizelemente bzw. das Füllmittel übertragen. Die maximale Anzahl der Heizpaneele errechnet sich approximativ gemäß der Formel 4:

$$n_R = \frac{T_{vor} - T_{min}}{\Delta T_{spz.}} \quad \text{Formel 4}$$

Wobei:

- T_{vor} : Die Temperatur beim Eintritt des Warmwassers in das Heizsystem [°C].
- T_{min} : Die minimale notwendige Wassertemperatur für die Aktivierung des Füllmittels bzw. für eine effektive Übertragung der Wärme oder für die Deckung des Wärmebedarfs in dem Wohnraum bzw. in den jeweiligen Wandsegmenten [°C].
- $\Delta T_{spz.}$: Durchschnittliche spezifische Temperaturdifferenz zwischen Temperatureingang und -ausgang des Heizsystems [°C/Heizpaneel].

Die minimale notwendige Wassertemperatur für die Aktivierung des Füllmittels lag bei dem untersuchten Heizsystem bei ca. 38 °C. Die spezifische Temperaturdifferenz $\Delta T_{spz.}$ beschreibt die Temperaturabnahme von einem Heizmodul zum darauffolgend angeströmten Heizmodul. Diese hängt, wie bereits dargestellt wurde, von vielen Faktoren ab, vor allem jedoch von dem Warmwasserdurchsatz und der Vorlauf- bzw. Eintrittstemperatur. Die ermittelten absoluten sowie die durchschnittlichen spezifischen Temperaturen sind im Diagramm der Abbildung 11 sowie in der Tabelle 4 sowie der Tabelle 5 dargestellt.

3.3 Berechnung des Druckverlusts im Wandheizungssystem

Der Druckverlust im Wandheizungssystem kann gemäß der Formel 5 berechnet werden, welche in der Regel beim Einsatz von Rohrleitungen verwendet wird. Die Rohrleitung setzt sich sowohl aus dem Rohrsystem zur Verbindung der Heizmodule, als auch aus den rohrförmigen Kanälen der Heizpaneele zusammen.

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_w \cdot \vartheta^2}{2 \cdot d} \quad \text{Formel 5}$$

Wobei:

Δp : Druckverlust in der Rohrleitung in Pa.

ϑ : Strömungsgeschwindigkeit des Warmwassers in der Rohrleitung in m/s.

λ : Reibungskoeffizient der verwendeten Rohrleitung.

l : Länge der Rohrleitung in m.

ρ_w : Die Dichte des Warmwassers in kg/m³.

d : Der Durchmesser der Rohrleitung in m.

Die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr errechnet sich gemäß der Formel 6:

$$\vartheta = \frac{4 \cdot Q_w}{\pi \cdot d^2} \quad \text{Formel 6}$$

Q_w stellt den Durchsatz des Warmwassers (m³/s) beim Betrieb des Wandheizsystems dar. Für die Anwendung der Formel 5 wird der Reibungskoeffizient benötigt, welcher in der Regel empirisch ermittelt wird. Bei dem untersuchten Wandheizsystem wurde ein durchschnittlicher Wert für den Reibungskoeffizienten von $\lambda = 0,0485$ ermittelt. Zusätzlich zu dem Druckverlust in der Rohrleitung soll der Druckverlust in den sonstigen Bestandteilen des Wandheizsystems wie z. B. in den Ventilen, Wasserverteiler, Rohrverbindungsstücken usw. berücksichtigt werden.