Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Thermisches Verhalten verschiedener Estrichtypen

Thermal behaviour of different screeds

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des Akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bednar Thomas

Und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hecht Clemens

Institut für Hochbau und Technologie

Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen
von

Kirchmayr Daniel

0125480

Wien, im November 2008

Daniel Kirchmayr

Danksagung

Mit dieser Arbeit endet mein Bauingenieurstudium an der TU-Wien. Für die fortlaufende Unterstützung möchte ich mich besonders bei meinen Eltern bedanken. Ohne sie wäre so eine einmalige Studienzeit nicht möglich gewesen.

Danken möchte ich mich auch bei den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Instituts für Hochbau und Technologie - Zentrum für Bauphysik und Bauakustik, allen voran bei Herrn Ao. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Bednar, Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr. techn. Clemens Hecht, Herrn Dipl.-Ing. Manfred Grüner und Hern Ing. Georg Eger für deren Unterstützung, Hilfestellungen und konstruktive Diskussionen.

An dieser Stelle möchte ich auch den Mitarbeitern von Cemex, Herr Dipl.-Ing. Martin Billes, Herr Dipl.-Ing. Rene Stelzer und Herr Johann Geyer, und von Rehau, Herr Ing. Mag. (FH) Nico Maierhofer, die durch Mitarbeit, Hinweise und Überlassung von Informationsmaterial das Zustandekommen dieser Arbeit mit ermöglicht haben.

Natürlich gebührt mein Dank auch allen Studienkollegen und Kolleginnen für die gegenseitige Unterstützung und vielen schönen Stunden.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner ganz lieben Freundin Yuka.

Weiters möchte ich mich bei meinen Freunden und Freundinnen bedanken, die mich bei meinem Studium unterstütz haben.

Kurzfassung

In der vorliegenden Diplomarbeit werden ein Anhydrit-Fließestrich, ein handgeglätteter Zementestrich und ein maschinengeglätteter Zementestrich in Bezug auf ihr thermisches Verhalten verglichen. Für die Versuche wurde je Estrichtyp ein Probekörper mit einer Messfläche von 1,30m² angefertigt. Die Estriche wurden mit verschiedenen Vorlauftemperaturen beheizt. Die Temperaturen und Wärmeströme wurden bei stationären Zuständen, bei zeitgesteuerten Intervallen und oberflächentemperaturabhängigen Intervallen gemessen. Aus den Messdaten geht hervor, dass der Anhydrit-Fließestrich aufgrund seiner Eigenschaften sich schneller erwärmt und abkühlt als die Zementestriche. Beim Anhydrit-Fließestrich werden höhere Oberflächentemperaturen erreicht. Bei der oberflächentemperaturabhängigen Intervallmessung muss die Heizungspumpe beim Anhydrit-Fließestrich öfter regeln als bei den Zementestrichen. Bei einem Vergleich der eingebrachten Leistung und der an der Estrichoberfläche abgegeben Leistung können keine großen Unterschiede zwischen den Estrichtypen festgestellt werden. Vergleicht man die benötigten Vorlauftemperaturen, um bestimmte Wärmeströme zu erhalten, liegen der handgeglättete Zementestrich um 2% und der maschinegeglättete Zementestrich um 12% über dem Anhydrit-Fließestrich.

Abstract

The present thesis is devoted to compare a Calcium sulfate screed, a cementitious screed with a handmade surface and a cementitious screed with a machine-made surface in regard to the thermal behavior. A sample with a measuring surface of 1,30sqm for every screed type was made for the trial. The screeds were heated with various supply temperatures. The temperature and the heat flow were measured under stationary condition, under intervals which were time operated, and under intervals which were dependent on the temperature of the surface. The measured results indicate that the Calcium sulfate screed heats up faster due to its better heat conductivity and that it cools down faster than the cementitious screed. The Calcium sulfate screed also reaches a higher surface temperature. The heating pump of the Calcium sulfate screed has to adjust more often at the measuring of the intervals, which were dependent on the temperature of the surface than of the cementitious screed.

The energy consumption of the different screed types is nearly the same.

If you compare the flow temperature needed to reach a certain heat flow, the cementitious screed with a handmade surface lies about 2% and the cementitious screed with a machine-made surface about 12% above the Calcium sulfate screed.

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung 1

1.1 Untersuchte Estriche 2

1.2 Daten der verwendeten Estriche 2

1.2.1 Anhydrit-Fließestrich 2

1.2.2 Zementestrich handgeglättet 3

1.2.3 Zementestrich maschinengeglättet: 3

2 Einführung 4

2.1 Kurzer Überblick über die historische Entwicklung 4

2.2 Behaglichkeit 5

2.2.1 Empfundene Raumtemperatur 6

2.2.2 Luftströmung 8

2.2.3 Luftqualität 8

2.2.4 Luftfeuchtigkeit 9

2.3 Definition 10

2.4 Estricharten 11

2.4.1 Zementestrich (Cementitious screed) 11

2.4.2 Anhydritestrich/Calciumsulfatestrich (Calcium sulfate screed) 13

2.4.3 Magnesiaestrich/Steinholzestrich (Magnesite screed) 14

2.4.4 Gussasphaltestrich (Mastic asphalt screed) 15

2.4.5 Bitumenemulsionsestrich (Bitumen emulsion cement screed) 16

2.4.6 Kunstharzestrich (Synthetic resin screed) 16

2.4.7 Trockenestrich 17

2.5 Verlegearten bei Heizestrichen 18

2.5.1 Bauart A 18

2.5.2 Bauart B 19

2.5.3 Bauart C 20

2.5.4 Bauart D 20

3 Versuchsaufbau Mess- und Steuereinrichtungen 21

3.1 Probekörper 22

3.2 Heizanlage 29

3.3 Temperaturmessfühler 32

3.4 Wärmestrom-Messfolie 32

3.5 Datenlogger 33

3.6 Wärmeleitfähigkeit 34

3.7 Durchflussmenge 35

4 Versuchsablauf 37

4.1 Versuchsreihe 1 38

4.2 Versuchsreihe 2 38

4.3 Versuchsreihe 3 39

5 Messergebnisse 40

5.1 Versuchsreihe 1 41

5.1.1 Graphische Darstellung der Messdaten 41

5.1.2 Tabellarische Auswertung der Messdaten 42

5.2 Versuchsreihe 2 44

5.2.1 Graphische Darstellung der Messdaten 44

5.2.1 Tabellarische Auswertung der Messdaten 45

5.3 Versuchsreihe 3 46

5.3.1 Graphische Darstellung der Messdaten 46

6 Auswertung 53

6.1 Versuchsreihe 1 54

6.2 Versuchsreihe 2 60

6.3 Versuchsreihe 3 63

7 Thermographie 64

8 Zusammenfassung 67

9 Literaturverzeichnis 68

10 Anhang 71

10.1 Versuchsreihe 1 71

10.2 Versuchsreihe 2 81

10.3 Versuchsreihe 3 83

1 Aufgabenstellung

Aufgabe war es drei unterschiedliche Heizestricharten, hinsichtlich ihrer thermischen Eigenschaften für eine Fußbodenheizung zu vergleichen. In der Literatur wird zwar auf die Unterschiede der verschiedenen Estriche hingewiesen, aber eine Quantifizierung bzw. nachvollziehbare Ergebnisse werden nicht angegeben.

Um einen qualitativen Vergleich herzustellen, wurden folgende Parameter gemessen:

- Die Wärmeleitfähigkeit wurde vor und nach den Untersuchungen bestimmt.
- Die Durchflussmengen bei einer bestimmten Schieberstellung und Pumpenleistungsstufe wurden gemessen.
- Es wurden die Temperaturverteilungen im Estrich und an der Oberfläche gemessen.
- Der Wärmestrom wurde an der Estrich-Oberfläche und unter der Trittschalldämmung gemessen.
- Die Vorlauf- und Rücklauftemperaturen wurden gemessen.
- Die Aufheiz- und Abkühlzeit wurde gemessen.
- Die Schwankungen und die Reaktionszeit bei einem Heizintervall wurden bestimmt.
- Die Pumpenlaufzeit bei einer vorgeschriebenen Oberflächentemperatur wurde gemessen.

Hinweis: Die Untersuchungen dienen der Charakterisierung der einzelnen Estrichtypen. Aus diesem Grund wurde auf die Einhaltung, der in den Normen vorgegebenen Grenzwerte keine Rücksicht genommen (z.B. maximale Oberflächentemperatur).

1.1 Untersuchte Estriche

Es wurden ein Anhydrit-Fließestrich, ein handgeglätteter Zementestrich und ein maschinengeglätteter Zementestrich miteinander verglichen.

Der Anhydrit-Fließestrich und der handgeglättete Zementestrich wurden im Werk gemischt und mittels Mischfahrzeug auf die Baustelle transportiert. Der maschinengeglättete Zementestrich stammt von einem Baustellensilo.

1.2 Daten der verwendeten Estriche

1.2.1 Anhydrit-Fließestrich

Bezeichnung: AFE CA-C30-F5

Rohdichte: 2190 kg/m³

Druckfestigkeit: 31,8 N/mm²

Wärmeleitfähigkeit: 2,30 W/mK (nach 28 Tagen / vor dem Trockenheizen)

Wärmeleitfähigkeit: 2,28 W/mK (nach Heizversuche)

Estrichdicke: 5,2cm

Estrichüberdeckung: 3,5cm

1.2.2 Zementestrich handgeglättet

Bezeichnung: E225 GK8

Rohdichte: 2240 kg/m³

Druckfestigkeit: 39,9 N/mm²

Wärmeleitfähigkeit: 2,10 W/mK (nach 28 Tagen / vor dem Trockenheizen)

Wärmeleitfähigkeit: 2,00 W/mK (nach Heizversuche)

Estrichdicke: 6,2cm

Estrichüberdeckung: 4,5cm

1.2.3 Zementestrich maschinengeglättet:

Bezeichnung: Siloestrich GK4

Rohdichte: 2000 kg/m³

Druckfestigkeit: 12,1 N/mm²

Wärmeleitfähigkeit: 1,33 W/mK (nach 28 Tagen / vor dem Trockenheizen)

Wärmeleitfähigkeit: 1,15 W/mK (nach Heizversuche)

Estrichdicke: 6,2cm

Estrichüberdeckung: 4,5cm

2 Einführung

2.1 Kurzer Überblick über die historische Entwicklung

Die erste Möglichkeit der Menschheit in der kalten Jahreszeit zu heizen, war das offene Feuer. Die Erkenntnis, dass warme Luft nach oben strömt, nutzen die Römer (ca. 100 v. Chr.) für die erste Fußbodenheizung (Hypokastenheizung). Bei der Hypokastenheizung wurden durch den gemauerten Doppelboden und die Rauchfänge in den Wänden die Heizgase geleitet. Durch die Erwärmung der Fußböden und Wände konnten die Räume beheizt werden. Als Brennmaterial wurde Holz oder Holzkohle verwendet. Die großen Nachteile dieser Methode waren der schlecht geeignete Wärmeträger Luft, die überaus schwierige bautechnische Ausführung (fehlende moderne Rohrtechnik) und die schlechte Wärmeverteilung im Raum (im Bereich der Feuerstelle betrug die Oberflächentemperatur ca. 50°C). Die, zu dieser Zeit verwendeten Baustoffe hatten eine zu hohe Durchlässigkeit gegenüber Rauchgasen und führten dadurch, in den Aufenthaltsräumen, zu erhöhten Rauchgas- und Kohlenmonoxidkonzentrationen. Eine Warmwasserzentralheizung (Wasser als Wärmeträger) wurde 1716 erstmals schriftlich erwähnt [4]. Erst Anfang der 70er Jahre (Auslöser war die Energiekrise) wurde das System der Fußbodenheizung, in Verbindung mit verbesserter Wärmedämmung und Niedertemperaturtechnik, wieder aufgegriffen. Da bei einer modernen Fußbodenheizung große Heizflächen (Fußbodenfläche) zur Verfügung stehen, können niedere Temperaturen verwendet werden. Das System der Fußbodenheizung ist eine gute energetisch-wirtschaftliche Methode, um in den Aufenthaltsräumen ein behagliches Klima zu gewährleisten. Das Prinzip der Fußbodenheizungen hat heute eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten (z.B.: Fußbodenheizungen im Wohnungsbau, Industriebau, öffentliche Gebäuden und Sporthallen, Betonkernaktivierung, Rasenheizung in Sportstadien, Eisfreihaltung von Ein- und Ausfahrten usw.).

2.2 Behaglichkeit

Der Mensch erzeugt durch seine Stoffwechselvorgänge Wärme. Da der menschliche Körper versucht eine gleichmäßige Temperatur zu halten, (37°C±0,8°C) muss er, je nach Umweltsituation, diese Wärme entweder speichern oder abgeben. Um die Wärmeabgabe zu regulieren, hat der Mensch folgende Möglichkeiten der Temperaturregelung:

- Konvektion (Wärmeabgabe von der Hautoberfläche an die Umgebungsluft)
- Wärmestrahlung (Abgabe der Wärme an kältere Umgebungsflächen)
- Wärmeleitung (Abgabe der Wärme an berührte Flächen)
- Schwitzten (Durch das Verdunsten des Wassers an der Hautoberfläche kühlt der menschliche Körper ab)
- Atmung (Abgabe der zuvor erwärmten Atemluft)
- Einnahme und Ausscheidung von Nahrung

Die Aufenthaltsräume sind so zu temperieren, dass der Temperaturhaushalt des Menschen ohne große Anstrengungen ausgeglichen bleibt. Um dies zu gewährleisten, müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Angemessene Raumtemperatur (mit allen Heizungssystemen erfüllbar)
- Oberflächentemperaturen der Umgebungsflächen sollten ca. der Raumtemperatur entsprechen (Vorteil der Fußbodenheizung)
- Begrenzung der Luftbewegung (Vorteil der Fußbodenheizung)
- Gute Luftqualität
- Grenzwerte der relativen Luftfeuchtigkeit

Zusätzlich sind noch folgende Faktoren für das Wohlbefinden des Menschen wichtig:

- Beleuchtung
- Farbgestaltung
- Lärmpegel
- Physiologischer und psychologischer Zustand, Tätigkeit, Geschlecht und Kleidung der Person

2.2.1 Empfundene Raumtemperatur

In guter Näherung kann man sagen, dass die empfundene Temperatur ein Mittelwert aus Luft- und Umgebungstemperatur ist.

$$te = \frac{tl + tu}{2}$$

te : Empfindungstemperatur [°C]

tl : Lufttemperatur [°C]

tu : Umgebungstemperatur [°C]

Die Umgebungstemperatur ist als mittlere Temperatur aller umschließenden Flächen inklusive der Heizungsflächen definiert.

$$tu = \frac{\sum An * tn}{\sum An}$$

tu : Wandtemperatur [°C]

An : umschließende Teilfläche [m²]

tn : Temperatur der umschließenden Teilfläche [°C]

In der folgenden Abbildung ist das Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und der Fußbodenoberflächentemperatur dargestellt. (Praxisnahe Abschätzung für Räume ohne Mischlüftung und kleinen Luftbewegungen)

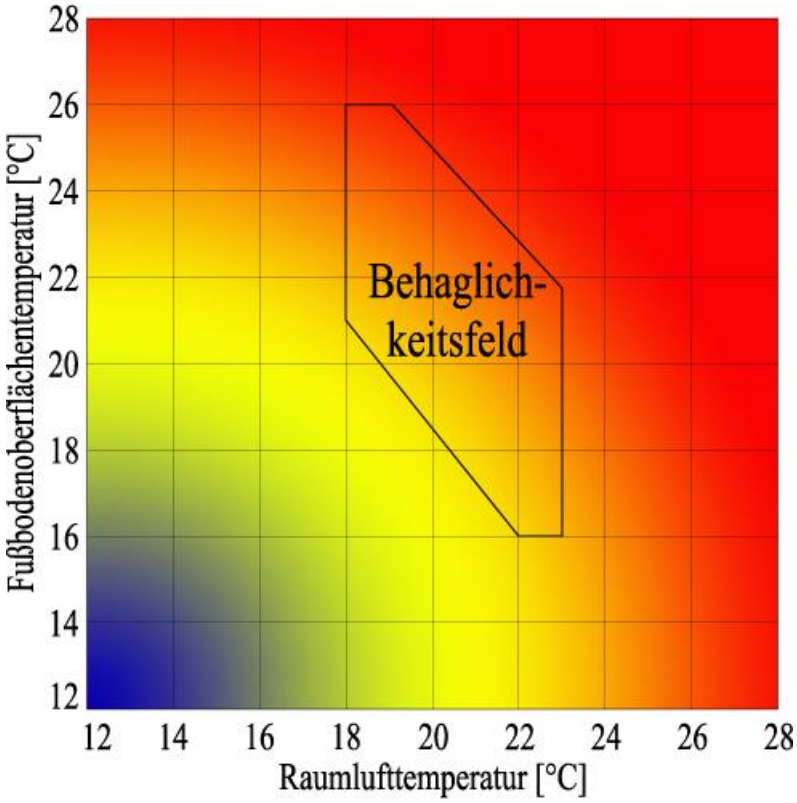

Abbildung 1: Behaglichkeitsfeld nach Fanger

Ein Mensch gibt auch durch Strahlung Wärme an kältere Oberflächen ab. Liegt die Umgebungstemperatur mehr als 3 bis 4°C unter der Raumlufttemperatur, so werden Räume mit 20°C als zu kalt empfunden. Es ist also darauf zu achten, dass eine Mindestwandtemperatur von 16°C auch bei tiefen Außentemperaturen gewährleistet ist. Laut EN 1264-2:1997 ist bei Fußbodenheizungen die Oberflächentemperatur in Aufenthaltsräume nach oben mit 29°C (Randzonen mit 35°C) begrenzt. Eine untere Grenze wird in der Literatur mit 17°C angegeben. [4]

2.2.2 Luftströmung

Im Allgemeinen werden Luftströmungen, wenn sie gleichmäßig sind und eine höhere Temperatur als die Raumluft haben, als nicht unbehaglich wahrgenommen. Bei normalen Raumlufttemperaturen (20 bis 22°C) ist die maximale Geschwindigkeit aus Hygienegründen (Staubaufwirbelung) mit 0,10 bis 0,20 m/s begrenzt. Bei einer Fußbodenheizung kann man diese Grenzen sehr gut einhalten.

2.2.3 Luftqualität

Die Luftqualität ist abhängig von:

- Staubgehalt
- Aerosolen
- Gasen
- Gerüche
- Viren
- Bakterien
- Pilzsporen
- Statische Elektrizität
- Radioaktive Strahlung

Eine Fußbodenheizung erzeugt nur geringe Luftströmungen. Dadurch wird nur wenig Staub aufgewirbelt.

Bei einem Radiator sind die innenliegenden Heizlamellen nur schwer zu erreichen. Dadurch entsteht ein Mehraufwand bei der Reinigung. Der Staub kann dann an heißen Heizungsflächen (Radiator) verschwelen und so unangenehme Gerüche, Ammoniak und andere Gase freisetzen. Bei einer Fußbodenheizung

tritt, auf Grund der niederen Oberflächentemperaturen und der ohnehin regelmäßigen Reinigung des Fußbodens, eine Verschwelung des Staubes nicht auf.

2.2.4 Luftfeuchtigkeit

Um zu verhindern, dass sich an einer Oberfläche Tauwasser bildet, muss die Luftfeuchtigkeit nach oben hin begrenzt werden. Eine zu hohe Luftfeuchtigkeit wird als schwül wahrgenommen und wirkt sich so negativ auf die Behaglichkeit aus. Bei zu geringer Luftfeuchtigkeit trocknen die Schleimhäute der Nase aus und führen so zu einer erhöhten Erkältungsgefahr. Die Austrocknung der Kleidung, Teppiche, Polstermöbel usw. führt zu einer vermehrten Staubentwicklung.

In der folgenden Abbildung ist das Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit dargestellt.

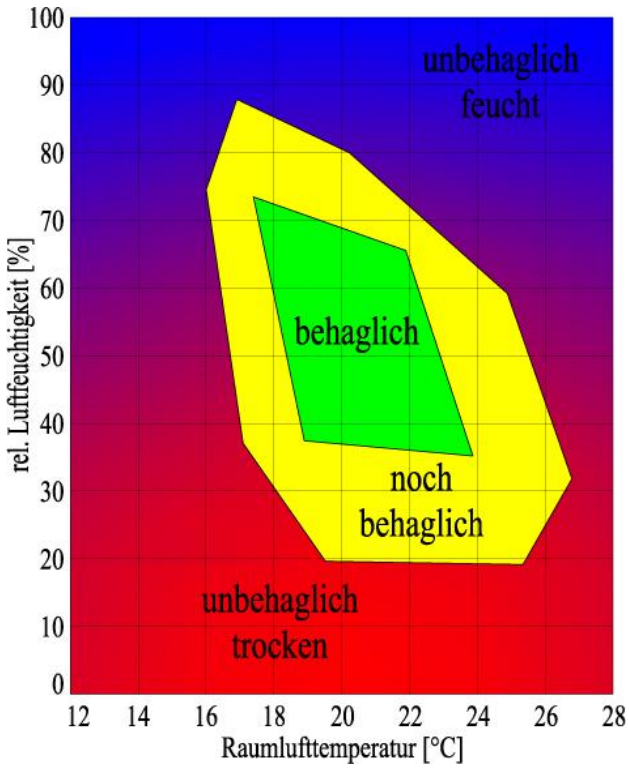

Abbildung 2: Behaglichkeitsfeld nach Leusden und Treymark

2.3 Definition

Ein **Estrich** ist, laut ÖNORM B 2232:2007-05-01, eine Schicht oder Schichten aus Mörtel, die auf der Baustelle mit oder ohne Verbund, oder auf eine zwischenliegende Trenn- oder Dämmschichte direkt auf den Untergrund aufgebracht wird. Der Estrich wird verwendet, um den Bodenbelag aufzunehmen und die vorgegebene Höhenlage zu erreichen. Zusätzlich ist er eine lastaufnehmende und lastverteilende Schicht, die bei entsprechender Ausführung unmittelbar genutzt werden kann.

Die Bauzeit wird wesentlich von der Wartezeit für die Belegreife von Estrichen beeinflusst. Die Austrocknung des Estriches hängt wiederum maßgebend von der Dicke des Estriches ab. Die logische Schlussfolgerung daraus ist, dass der Estrich so dünn wie möglich (Trocknung), aber so dick wie notwendig (Tragfähigkeit) hergestellt werden soll.

Ein **Heizestrich** hat die gleichen Aufgaben wie ein Estrich und dient zusätzlich als Flächenheizkörper. Um als Flächenheizkörper bestmöglich zu funktionieren, muss ein Heizestrich eine gute Wärmeabgabe, hohe Wärmeleitfähigkeit und die Temperaturbeständigkeit gewährleisten.

2.4 Estricharten

2.4.1 Zementestrich (Cementitious screed)

Der Zementestrich besteht aus Zement, Zuschlagsstoffe und Wasser. Bei Bedarf können auch Zusätze beigemengt werden, die dem Estrich besondere Eigenschaften verleihen.

Normalerweise werden Portlandzemente mit einer Festigkeitsklasse von 32,5 oder 42,5 (Druckfestigkeit in N/mm²) verwendet. Die Zemente müssen der ÖNORM EN 197-1 entsprechen.

Die Gesteinskörnungen für die Zuschlagstoffe werden in der ÖNORM EN 13139 und ÖNORM B 4710-1:2004 geregelt. Grundsätzlich gilt: Bei einer Estrichdicke von ≥45mm sollte das Größtkorn möglichst 6 mm nicht unterschreiten und eine maximale Größe von ¼ der Sollestrichdicke nicht überschreiten.

Es gibt ein umfangreiches Angebot an Zusätzen. Sie sollen unter anderem durch eine Plastifizierung helfen Wasser einzusparen, die Erhärtung beschleunigen, die Austrocknung begünstigen und die Frost- und Tausalzbeständigkeit verbessern.

Die Vorteile des Zementestrichs sind die einfache Herstellung (durch Baustellenmischung, werksgemischte Fahrmischer, Silo oder Sackware), Beständigkeit gegen Wasser, säurefreie Fette und Öle. Eine Frost- und Tausalzbeständigkeit ist durch geeignete Zuschlagstoffe und Zusätze herstellbar. Vorteile bei der Verwendung als Heizestrich: Der Zementestrich besitzt ein gutes Preisniveau, hat gute Wärmeleitfähigkeit und ist auch für hohe Temperaturen einsetzbar (elektrische Speicherheizung).

Ein Nachteil ist, dass bei der Abbindung des Zementes (Hydratation) das Wasser in verschiedenen Phasen chemisch gebunden wird, auch zum Teil trocknet und so eine Volumsverringerung bewirkt. Das sogenannte Schwinden ist dreidimensional und wirkt sich bei Estrichen, die plattenförmige Bauteile sind, als

Verkürzung an den Seiten aus. Da sich bei einer Behinderung der Kürzungen Spannungen aufbauen, sind größere Flächen durch Dehnfugen zu trennen. Solche Dehnfugen sind anzuordnen, wenn die Raumgröße 40m² überschreitet, das Verhältnis Raumlänge:Raumbreite größer als 2 ist oder starke Vor- und Rücksprünge durch aufgehende Bauteile vorhanden sind. Ein weiterer Nachteil ist, dass ein Zementestrich in den Eckbereichen zum schüsseln (Hochziehen der Plattenränder, besonders in den Eckbereichen) neigt.

Zementfließestrich

Ein Zementfließestrich wird wegen seiner hohen Materialkosten (ca. das Vierfache Preisniveau zum Zementestrich) nur in Ausnahmefällen verwendet. Grundsätzlich immer mit dem Hersteller Rücksprache halten, ob der Estrich für den gegebenen Einsatzbereich geeignet ist.

Schnellzementestrich

Um die Bauzeit zu verkürzen, werden spezielle, im Werk hergestellte, Bindemittel-Mischungen verwendet. Schnellzementestriche ermöglichen eine Verlegung des Bodenbelages schon nach wenigen Tagen (frühestens 10 Tage). Es werden zwei grundsätzliche Typen unterschieden.

Beim Typ 1 wird eine Kombination aus Tonerdeschmelzzement mit Calciumsulfat verwendet. Es entstehen zusätzlich kristalline Wasserverbindungen und Verfestigungen durch die Umwandlung von Calciumsulfat in Calciumsulfathydrat. Dieser Schnellzementestrich kann nur in trockenen Bereichen eingesetzt werden.

Eine rasche Abbindung wird beim Typ 2 durch eine Kombination des Tonerdeschmelzzementes mit dem Portlandzement erreicht. Das Tonerdehydrat reagiert schnell mit dem Kalkhydrat des Portlandzementes. Der Typ 2-Schnellzementestrich kann in trockenen sowie feuchten (außen) Bereichen eingesetzt werden.

Bei allen Schnellzementestrichen ist darauf zu achten, dass sie genau nach der Herstellerspezifikation hergestellt werden, da ansonst eine schnelle Belegreife nicht erreicht wird. Die richtige Gesteinskörnung ist hier sehr entscheidend, da bei zu feiner Körnung ein Wasserüberschuss entsteht, der durch Erhöhung der Bindemittelmenge nicht kompensiert werden kann. Das überschüssige Wasser wird nicht mehr chemisch gebunden und führt so zu Festigkeitsverlusten und erhöhten Schwindverhalten.

2.4.2 Anhydritestrich/Calciumsulfatestrich (Calcium sulfate screed)

Der Anhydritestrich besteht aus Anhydritbinder, Zuschlagsstoffen, Wasser und chemischen Zusätzen, die die träge Reaktion des Anhydritbinders beschleunigen. Die Calciumsulfatbinder werden in der ÖNORMEN EN 13454-1 und 2 geregelt.

Als Anhydritbinder werden Naturanhydrit, synthetischer Anhydrit (Abfallprodukt bei der Fluorwasserstoff Produktion), REA-Anhydrit (der REA-Gips, der bei Rauchgas-Entschwefelungsanlagen anfällt, wird zu REA-Anhydrit gebrannt), Alpha-Halbhydrat (wird aus REA-Gips oder Naturgips gebrannt) oder Kombinationen aus den vorher genannten Anhydritbindern. Gips (Calciumsulfatdihydrat) ist immer das Reaktionsprodukt der Anhydritbinder.

Die Vorteile des Anhydritestriches sind die einfache Herstellung (durch Baustellenmischung, werksgemischte Fahrmischer, Silo oder Sackware), die Möglichkeit der Herstellung eines Fließestriches und die gute Raumbeständigkeit. Nach anfänglichen Quellen ist das Schwindmaß sehr klein, sodass sehr große Flächen ohne Dehnungsfugen hergestellt werden können. Bei einem Fließestrich sind die hohen Verlegeleistungen, die hohe Dichte, die geringere Estrichdicke und gute Wärmeleitung vorteilhaft. Ein Anhydrit-Fließestrich hat im Vergleich zu einem Zementfließestrich bei der Trocknungszeit einen Vorteil. Bei einem Anhydrit-Heizestrich kann die Belegreife durch Beheizen, ab dem 5. Tag nach Einbau, früher erreicht werden.

Der Nachteil ist, dass der Anhydritestrich empfindlich gegenüber Feuchte reagiert. Bei einer Durchfeuchtung verliert er einen Großteil seiner Festigkeit und quillt auf. Bei einer anschließenden Trocknung gewinnt er wieder an Festigkeit, aber die Volumsvergrößerung bleibt großteils erhalten. Der Anhydritestrich ist so für Außenbereiche oder Feuchtbereiche nicht geeignet. In häuslichen Bädern oder Duschen kann der Anhydritestrich bedenkenlos eingebaut werden, wenn eine Abdichtungsebene mit Rand-Dichtstreifen den Estrich vor eventueller Feuchtigkeit schützt.

2.4.3 Magnesiaestrich/Steinholzestrich (Magnesite screed)

Der Magnesiaestrich besteht aus Magnesiabinder, Zuschlagstoffe und Wasser. Das Magnesiumoxid (MgO) verbindet sich mit dem Magnesiumchlorid ($MgCL_2$) und Wasser zu einer Masse mit sehr hoher Festigkeit. Die Zuschlagstoffe sind Quarzsande hoher Qualität. Wenn zum Quarzsand auch noch organische Bestandteile (z.B.: Holzsägespäne, -sägemehl) beigemengt werden, entsteht der Steinholzestrich. Die Magnesiabinder müssen der ÖNORM EN 14016-1 entsprechen.

Der Magnesiaestrich wird im Industriebau als Fließestrich im Verbund mit der Tragkonstruktion, auf Grund seiner hohen Festigkeit, guten Verschleißfestigkeit, Raumbeständigkeit und Durchfärbbarkeit eingesetzt.

Der Steinholzestrich wurde nach dem 2. Weltkrieg vermehrt eingesetzt, weil Zement zu dieser Zeit rar war. Heute wird der Steinholzestrich, auf Grund seiner geringen Dichte, im Sanierungsbereich (z.B.: wo Decken mit geringer Tragfähigkeit vorhanden sind) eingesetzt.

Die Nachteile sind, auf der einen Seite der korrosive Angriff von Metallen und Edelstahl und auf der anderen Seite die Feuchtigkeitsempfindlichkeit. Der Steinholzestrich ist, durch seine zusätzlichen organischen Bestandteile, vor jedem Kontakt mit Feuchtigkeit zu schützen. Der Fließmagnesiaestrich kann ohne

Bedenken feucht gereinigt werden, da erst bei einer Dauerdurchfeuchtung mit Schäden zu rechnen ist. Die Magnesiaestrich und vor allem die Steinholzestriche sind durch ihre geringere Wärmeleitfähigkeit nicht für Heizestriche geeignet.

2.4.4 Gussasphaltestrich (Mastic asphalt screed)

Der Gussasphaltestrich besteht aus dem Bindemittel Bitumen (ca. 7- Masse%) und Zuschlagstoffen. Als Bindemittel kommen polymermodifiziertes Bitumen, Hartbitumen und Straßenbaubitumen zum Einsatz. Die am meisten verwendeten Zuschlagstoffe sind Sand (Körnung bis 2mm), Splitt (Körnung bis 11mm) und Kalksteinmehl (<0,09mm). Das Bitumen für den Gussasphalt wird in den ÖNORMEN EN 12591 und 13305 geregelt.

Die Vorteile des Gussasphaltes liegen in der schnellen Begeh- und Belegbarkeit (ca. 8h, nach Erkalten). Durch seine thermoplastische Vorformbarkeit können dünne, dennoch sehr tragfähige Estriche hergestellt werden. Unter Umständen können auch die Dichtheit und der hohe Diffusionswiederstand von Vorteil sein. Dank seiner hohen Dichte hat er eine sehr gute Wärmeleitung (gut für Fußbodenheizung).

Ein Nachteil ist, dass bei der Heißverarbeitung Dämpfe und Aerosole entstehen, die krebserregend sind. Durch den heißen Einbau, bei ca. 220 bis 250°C, sind bei Fußbodenheizungen die Kupferrohre ständig zu kühlen und hitzebeständige Dammplatten zu verwenden. Nachteilig schlägt sich auch das hohe Kostenniveau nieder und die Tatsche, dass der Gussasphalt bei niederen Temperaturen seine Struktur verändert (maximale Heiztemperatur ca. 45°C).

2.4.5 Bitumenemulsionsestrich (Bitumen emulsion cement screed)

Der Bitumenemulsionsestrich hat als Bindemittel Bitumen (in einer Emulsion) und Zement. Die Zuschlagstoffe sind Sand (Körnung bis 2mm), Splitt (Körnung bis 11mm) und Kalksteinmehl (<0,09mm). Der Estrich wird auf einen Vorspritz (Haftbrücke) aufgebracht und verdichtet. Seine Enddichte erhält der Bitumenemulsionsestrich durch die Nachverdichtung des Fahrverkehres. Er wird in Tiefgaragen und Lagerhallen eingesetzt, wo kein besonderer Anspruch an die Festigkeit und Optik gestellt wird. Für die Eisfreihaltung von Ein- und Ausfahrten kann der Bitumenemulsionsestrich auch beheizt werden.

2.4.6 Kunstharzestrich (Synthetic resin screed)

Bei einem Kunstharzestrich besteht das Bindemittel aus einem synthetischen Reaktionsharz, das durch eine chemische Reaktion erhärtet. Als Füllstoffe werden Quarzmehle, Quarzsande und Hartstoffe verwendet. Die verschiedenen Reaktionsharze haben unterschiedliche Eigenschaften und somit auch ihre typischen Einsatzgebiete. Für die Estrichherstellung werden Epoxidharz, Polyurethanharz, Methylmethacrylat/Polymethylmethacrylat und ungesättigtes Polyester verwendet. Die Entscheidungen, welche Kunstharze und Mischungen zur Anwendung kommen, können nur die Fachbetriebe treffen. Es ist besonders auf die genaue Mischung und beim Einbau, auf die Feuchte und Temperatur zu achten.

Der große Vorteil beim Kunstharzestrich liegt in der sehr schnellen Erhärtung und in der optisch hochwertigen Ausführbarkeit.

Die Nachteile sind der Abfall der Festigkeit bei einer Dauertemperatur von ca. 50°C und die Empfindlichkeit gegenüber Kratzern.

2.4.7 Trockenestrich

Zu den Trockenestrichen zählen alle Systeme, bei denen keine überschüssige Feuchtigkeit eingebracht wird. Der Gussasphaltestrich sowie der Kunstharzestrich zählen zu den Trockenestrichen. Unter diesen Punkt werden nur Fertigteil-Estriche behandelt. Zu dieser Gruppe zählen die Gipskartonplatte, Gipsfaserplatte, Holzspanplatte und Estrichplatten.

Die Gipskarton- und Gipsfaserplatten werden, je nach Anforderung, in Zwei- oder Dreischichtsystemen ausgeführt. Die Plattendicken variieren zwischen 10–12,5mm. Die Platten besitzen Nut und Feder oder einen Stufenfalz, mit dem sie untereinander verschraubt oder verklebt werden. Der Estrich ist diffusionstechnisch zu untersuchen, da es zu keiner Feuchtigkeitsanreicherung in den Platten kommen darf. Eine Feuchteanreicherung würde den Fußboden zerstören.

Die Holzspanplatten werden einschichtig im Nut und Feder-System verlegt und untereinander verleimt oder mit einem PUR-Kleber verbunden. Die Plattendicke, in der Regel 19-25mm, hängt von der Belastung und der gewünschten Unterkonstruktion (auf Latten oder Dämmschicht) ab. Da die Holzspanplatten sehr empfindlich auf Feuchtigkeit reagieren, ist darauf zu achten, dass kein nennenswerter Feuchteeintrag stattfindet. Die Konstruktion ist ebenfalls diffusionstechnisch zu untersuchen. Eine Feuchteanreicherung würde den Fußboden aufquellen lassen und zerstören.

Die Estrichplatten haben eine Abmessung von ca. 33x33x2cm. Sie werden im Ein- oder Zweischichtsystem verlegt und miteinander verklebt. Nach ca. 12h erreicht der massive Estrich die Belegreife.

Die großen Vorteile der Fertigteilestriche liegen in der schnellen Belegreife und es tritt kein Schwinden auf. Eine geringe Konstruktionshöhe und das leichte Konstruktionsgewicht sind ebenfalls von Vorteil.

Nachteilig muss erwähnt werden, dass der Untergrund fast immer einen hinreichenden Niveauausgleich braucht. Bei einer Fußbodenheizung liegen die Heizungsrohre unter dem Estrich, also in der Dämmschicht. Das und die schlechte Wärmeleitung der Gipskarton-/Gipsfaserpatten und Holzspanplatten wirken sich nachteilig auf die Konstruktion einer Fußbodenheizung aus. Es sind nur niedrige Dauertemperaturen von ca. 45°C zulässig.

2.5 Verlegearten bei Heizestrichen

Grundsätzlich unterscheidet man drei Heizestrich-Bauarten plus einen Beheizten-Estrich:

2.5.1 Bauart A

Bei dieser Bauart werden die Heizelemente (Heizungsrohre) im Regelfall auf Noppenbahnen oder Trägermatter befestigt und danach direkt mit Estrichmörtel abgedeckt. Der Vorteil bei dieser Variante ist, gegenüber den anderen Bauarten, das günstigere Preisniveau. Nachteilig fällt die größere Estrichdicke ins Gewicht, da das Heizrohr im Estrich liegt und ausreichend überdeckt werden muss (Mindestdicke + Rohrdurchmesser). Da eine Dehnfuge nur durch zwei Heizelemente (Vor- und Rücklauf) gekreuzt werden darf, müssen sich die Heizkreisläufe den Dehnfugen anpassen.

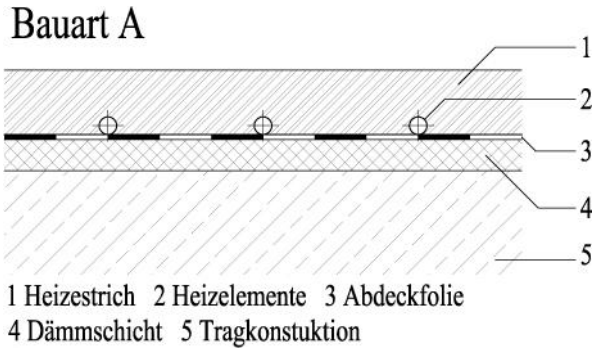

Abbildung 3: Bauart A

Als Ersatz für die Abdeckfolie (3) und Dämmschicht(4), wurde bei den Probekörpern ein Noppenplattensystem (Varionova von Rehau) verwendet.

2.5.2 Bauart B

Bei dieser Variante liegt das Heizelement in speziell profilierten Dämmplatten, die in der Regel nach oben wärmeleitend abgedeckt werden. Der Vorteil bei dieser Bauart ist, dass die Heizkreisläufe unabhängig von der Dehnfugenteilung geplant werden können. Die Estrichdicke beschränkt sich auf das belastungstechnische Mindestmaß und nachträgliche Änderungen der Fugen sind einfach durchzuführen. Als Nachteil können die etwas höheren Preise der speziellen Dämmplattensysteme gewertet werden.

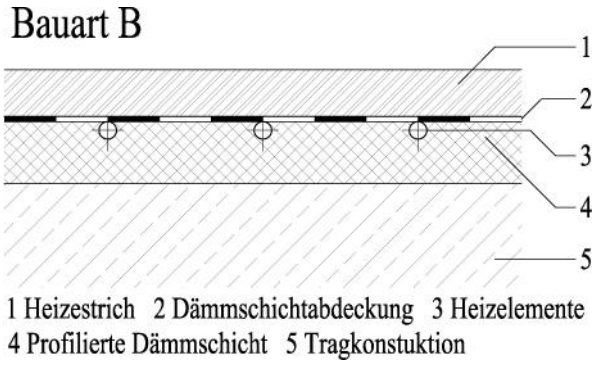

Abbildung 4: Bauart B

2.5.3 Bauart C

Die Heizelemente werden bei dieser Bauweise zuerst in den Ausgleichestrich verlegt. Wenn ein Anhydritestrich verwendet wird, kann die Austrocknung mit der Fußbodenheizung beschleunigt werden. In der Trocknungsfase darf der Ausgleichestrich Risse ausbilden. Nach ausreichender Trocknung wird der Ausgleichestrich mit zwei Lagen Folie (Gleitschicht) abgedeckt. Der Heizestrich wird auf die Gleitschicht in der, aus den Lasten resultierende Dicke verlegt. Wie auch bei der Bauart B können die Heizkreisläufe unabhängig von den Dehnfugen des Heizestriches geplant werden. Diese Variante wird meist im Industriebau angewandt.

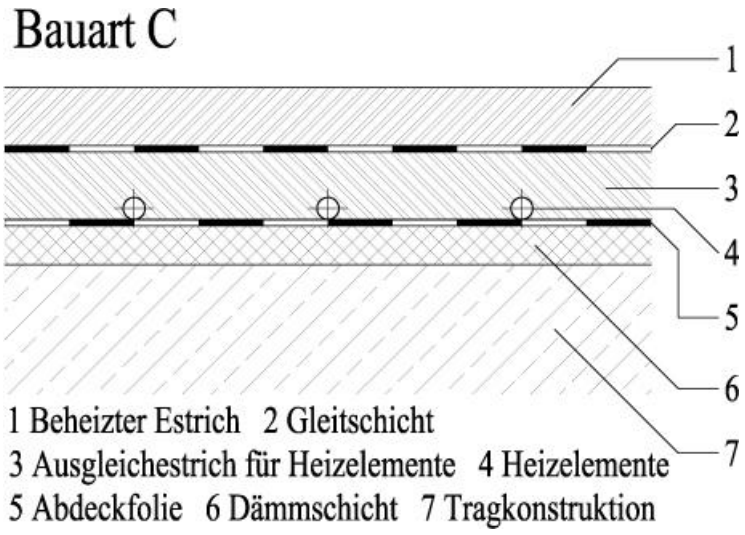

Abbildung 5: Bauart C

2.5.4 Bauart D

Bei dieser Bauart werden die Heizelemente schon bereits bei der Betonierung direkt in die tragende Sohle eingebettet. Die Betonsohle muss auf einer Gleitschicht, die aus zwei Lagen PE-Folie besteht, aufliegen. Hier muss die Sohle,

wie beim Estrich, mit Randdämmstreifen von aufgehenden Bauteilen getrennt werden. Die Dämmschicht wird unter der Betonsohle angeordnet und muss die einwirkenden Lasten aufnehmen können. Da es sich um ein sehr träges Heizungssystem handelt, müssen aufgrund der Beheizung keine Bewegungsfugen in der Sohle eingebaut werden. Die Heizestriche müssen diffusionsoffen oder dauerhaft trocken sein und können, je nach Eignung auf einer Trennschicht oder im Verbund, verlegt werden. Diese Variante wird nur im Industriebau angewandt.

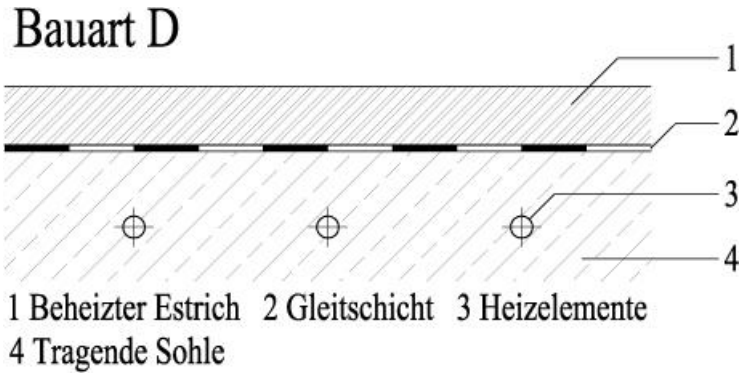

Abbildung 6: Bauart D

3 Versuchsaufbau Mess- und Steuereinrichtungen

Die praxisnahe Herstellung der Estriche war ein großes Anliegen. Um eventuelle Abweichungen, bei einem im Labor gemischten und verarbeiteten Estrich zu vermeiden, wurde der Estrich für alle drei Probekörper auf der Baustelle in die Schalungen eingebracht. Um den Transport von der Baustelle zum Labor zu ermöglichen, wurde die Schalung für den Estrich inklusive Wärmedämmung, Heizrohre und Messfühler auf eine Europallette montiert. Die Abmessungen der Probekörper wurden der Europalette und dem Transport angepasst.

3.1 Probekörper

Als Grundplatte wurden zwei Doka-Schaltafeln (200x50x2,6cm) auf die Europalette (120x80x14,4cm) zentrisch aufgelegt und verschraubt. Die seitlichen Abschalungen wurden aus Doka-Schaltafeln zugeschnitten und mit Spax-Schrauben montiert. Die Höhe der seitlichen Abschalungen ist gleich der Estrichoberkante, dies ermöglicht eine leichte Herstellung der Estriche mit den richtigen Estrichdicken. In den seitlichen Stirnschalungen wurden vorab die, für die Heizungsrohre notwendigen Aussparungen, hergestellt. Um den Einbau der Heizungsrohre zu erleichtern und im Umlenkungsbereich die Lage der Rohre zu fixieren, wurden die beiden seitlichen Stirnschalungen zuerst in der Rohrachse in zwei Teile geschnitten und die obere Hälfte für jeden Rohrauslass entsprechend geteilt. (Siehe Abbildung 11 Details) Da es ein Anliegen war den Wärmeverlust nach unten zu minimieren, wurden zwei Lagen Calziumsilikatplatten (100x62,5x2,5cm) auf der Grundplatte mit einem Montagekleber fixiert. Die Calziumsilikatplatten haben den Vorteil, dass sie sehr feuchtigkeitsanziehend sind und so die feuchteempfindliche Wärmestrom-Messfolie vor eventuellen Feuchteeintrag aus dem Estrich, bei der Herstellung, schützen. Auf die Calziumsilikatplatten wurde zentrisch eine Wärmestrom-Messfolie inklusive einem danebenliegenden Temperaturfühler montiert. Um den primären Feuchteschutz der Wärmestrom-Messfolie herzustellen, einen sauberen Abschluss und ein Anhaften des Estriches an die Schalung zu vermeiden, wurde eine Folie eingebaut. Auf die Folie wurde dann die Noppenplatte (Varionova von Rehau) verlegt. Die Noppenplatte besteht aus der Noppenfolie, die den Heizungsrohren einen sicheren Halt gibt und einer 3,0 cm dicken Trittschalldämmung.

Mit Hilfe einer Umlenkschablone, die den Mindestradius sicherstellte, und der Noppenplatte wurde das Heizungsrohr (Rautherm 17x2mm) verlegt. Um den oberen Stirnabschlungsteilen einen sichern Halt zu geben, wurde eine Steife eingebaut.

Mit einem Gewebeband und Zweikomponentenkleber wurden sieben Temperaturfühler (Siehe Abbildung 11 Details) auf dem Heizungsrohr und der Noppenplatte befestigt. Zum Schutz vor Verunreinigungen und Beschädigungen beim Transport, wurden die Kabelenden und Heizungsrohrenden abgedeckt und fixiert. Die fertigen Schalungen wurden auf die Baustelle transportiert und dort mit Estrich, analog dem Herstellungs-Prozesses auf der Baustelle, befüllt. Nach ca. eineinhalb Wochen waren die Estriche soweit abgebunden, dass ein Rücktransport ins Labor möglich war. Die Probekörper wurden nebeneinander auf dem Fußboden platziert. Nun konnten die zweite Wärmestrom-Messfolie und drei Temperaturfühler, mittels Hilfe eines Gewebebandes, auf der Estrichoberfläche angebracht werden. (Siehe Abbildung 9 Grundriss und Abbildung 10 Schnitt A-A und Schnitt B-B)

Herstellung Anhydrit-Fließestriches

Anlieferung

Einbau

Verteilung

Beginn Abbindung

Abbildung 7 Herstellung Anhydrit-Fließestrich

Herstellung Zementestrich handgeglättet

(Herstellung des maschinengeglätteten Zementestriches ist analog zum handgeglätteten Zementestrich + Maschinenglättung)

Einbau und Verteilung

Abziehen auf die richtige Höhe

Glättung

Beginn Abbindung

Abbildung 8 Herstellung Zementestrich handgeglättet

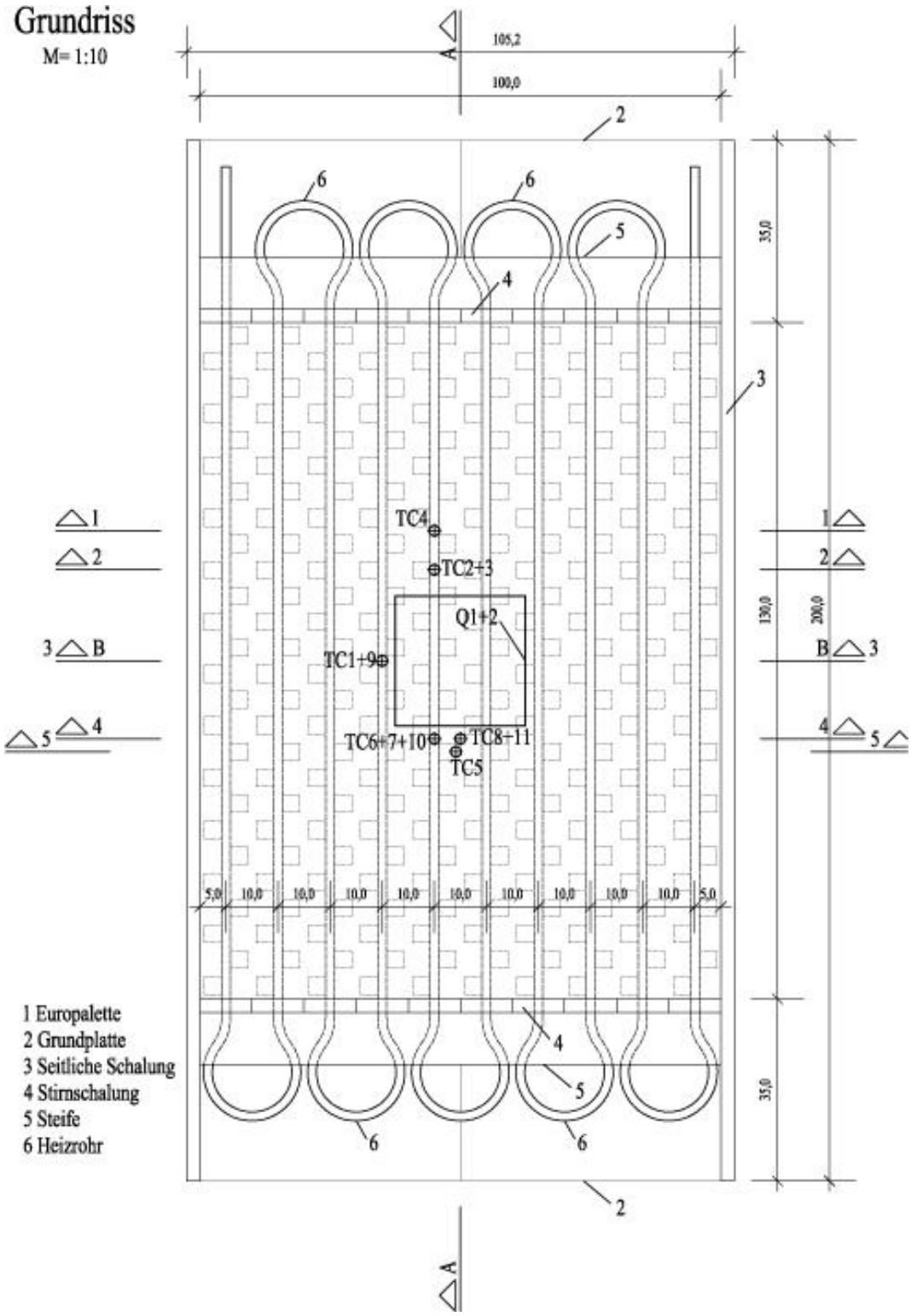

Abbildung 9 Grundriss

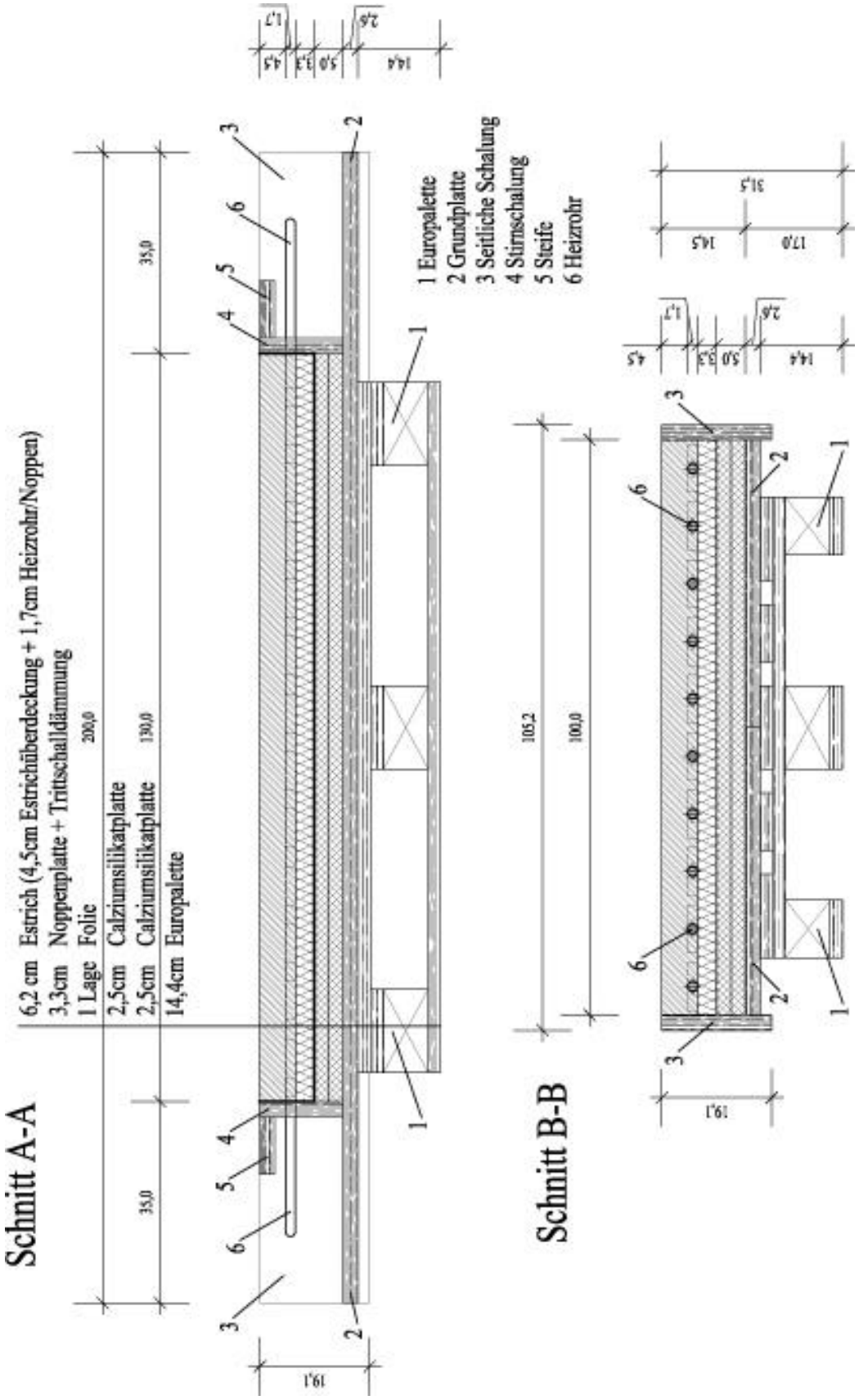

Abbildung 10 Schnitt A-A und Schnitt B-B

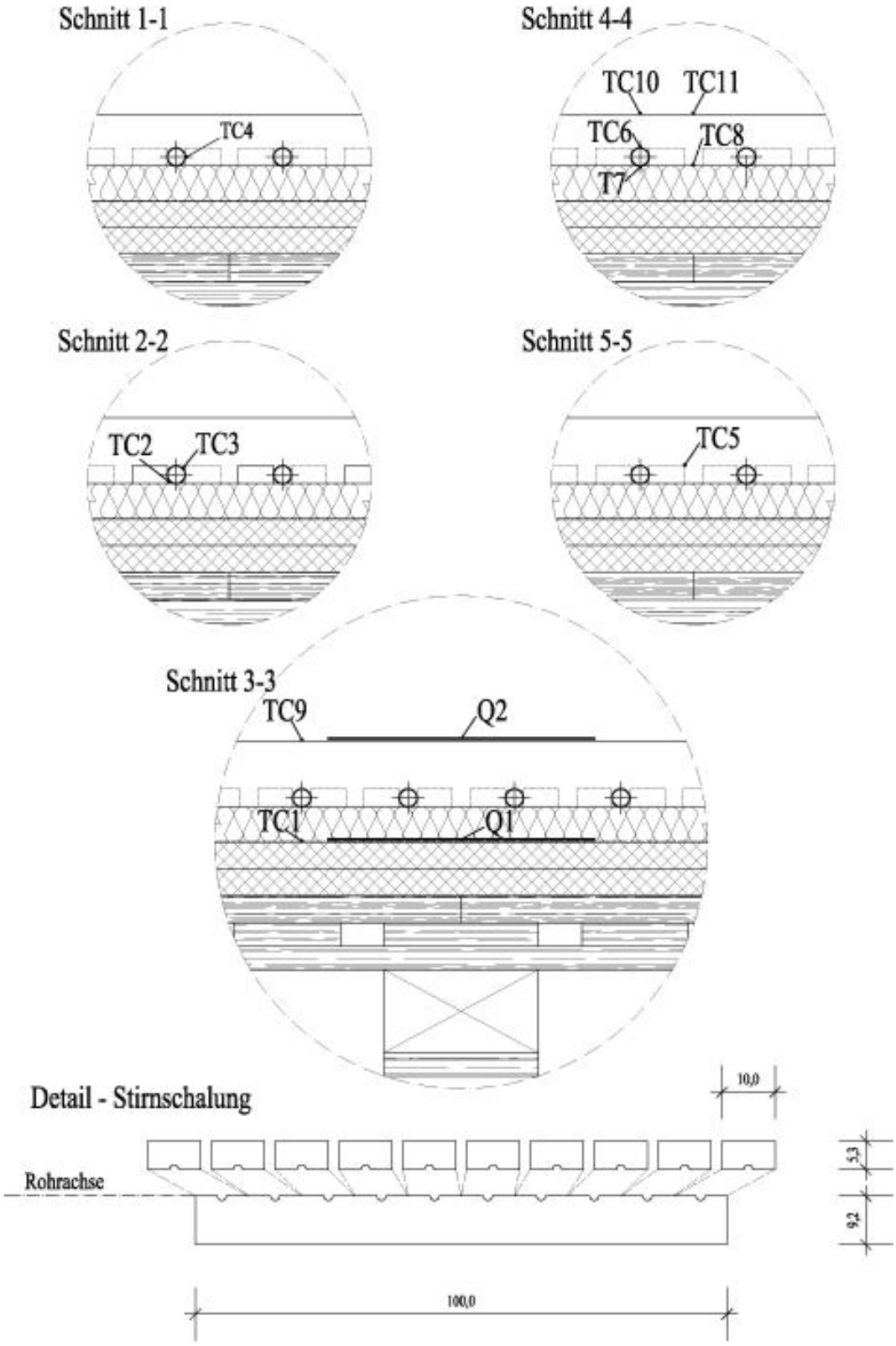

Abbildung 11 Details

3.2 Heizanlage

Für die Warmwasserbereitstellung wurde ein beheizbarer Wasserbehälter mit einem Fassungsvermögen von ca. 50l verwendet. Der Wasserbehälter stand auf einem Tisch, ca. 1,00m über Fußbodenoberkannte. Der Wasserbehälter wird von unten durch eine elektrische Heizplatte betrieben. Durch die Steuereinheit, mit einem Temperaturfühler direkt im Wasser, konnte die Wassertemperatur genau geregelt werden. Von Vorteil war, dass die Steuereinheit sich die Temperaturschwankungen speicherte und danach die Heizplatte automatisch so regelte, dass ein großes Über- und Unterschwingen der Wassertemperatur vermieden wurde.

Der Vorlauf: Vom Wasserbehälter bis zur Pumpe wurde ein ¾“ Saugschlauch angeordnet. Das Metallgewebe im Saugschlauch verhinderte ein Zusammenziehen und so ein Verschließen der Wasserzufuhr (im Saugbereich). Als Pumpe kam eine Heizungsumwälzpumpe der Firma Grundfos (Type UPS 25-30) zum Einsatz. Diese Pumpe besitzt 3 Drehzahlstufen (25/40/55W), einen maximalen Betriebsdruck von 10bar und eine maximale Medientemperatur von 110°C. Da die Heizungspumpe nur bei vollständiger Entlüftung reibungslos arbeitet, wurde die Pumpe in Fußbodennähe am Tischfuß montiert und die Zu- und Abläufe nach oben geführt. Somit wurde sichergestellt, dass keine Luft bei der Probekörper-Wechslung zur Pumpe gelangen konnte. Das Verbindungsstück von der Pumpe bis zum Regelungsventil (STAD MD 60) wurde aus einem handelsüblichen ¾“ Gartenschlauch hergestellt (im Druckbereich). Mit diesem Regelungsventil und den drei Leistungsstufen der Pumpe war es möglich, die Durchflussmenge zu steuern. Die restlichen Verbindungen im Vorlauf wurden mit dem Heizungsrohr (Rautherm 17x2mm) bewerkstelligt. Im Anschluss des Regelungsventils wurde ein T-Stück eingebaut.

Auf dieses T-Stück wurde dann eine Einstechmuffe für den Einstechmessfühler, der direkt die Wassertemperatur im Vorlauf misst, montiert. Nach dem Einstechmessfühler wurde noch ein zusätzliches Absperrventil angeordnet, da ansonsten bei der Probekörper-Wechslung sich der Heizkreislauf im Probekörper, ohne zusätzliche Maßnahmen, entleeren würde. (Siehe Abbildung 12 Heizanlage)

Der Rücklauf: Nach dem Probekörper wurde, wie im Vorlauf ein zusätzliches Absperrventil angeordnet. Im Anschluss des Regelungsventils wurde ein T-Stück eingebaut. Auf dieses T-Stück wurde dann eine Einstechmuffe für den Einstechmessfühler, der direkt die Wassertemperatur im Rücklauf misst, montiert. Nach dem Einstechmessfühler wurde das Absperrventil für den Wasserbehälter eingebaut. Alle Verbindungen, vom Probekörper bis zum Absperrventil für den Wasserbehälter, bestehen aus dem Heizungsrohr (Rautherm 17x2mm). Als Verbindungstück vom Absperrventil zum Wasserbehälter kam ein ¾“ Gartenschlauch zum Einsatz (im Druckbereich). (Siehe Abbildung 12 Heizanlage)

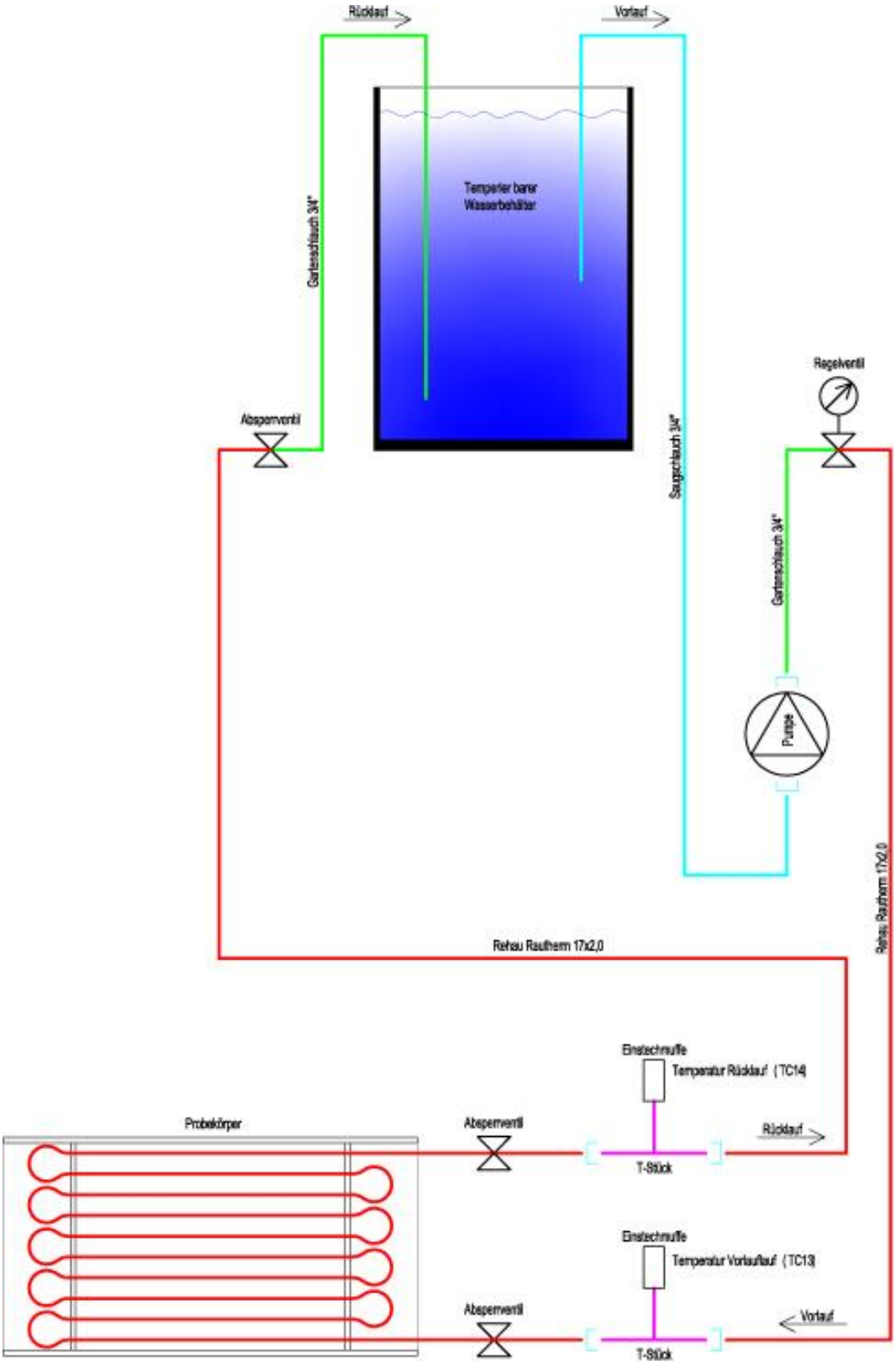

Abbildung 12 Heizanlage

3.3 Temperaturmessfühler

Die verwendeten Temperaturfühler bestehen aus zwei unterschiedlichen Metalldrähten, die an der Messstelle miteinander verbunden sind. Die beiden freien Enden werden am Datenlogger angeschlossen. Die Temperatur am Datenlogger wird gemessen. Bei einer Temperaturdifferenz, zwischen der Messstelle und dem Datenlogger, entsteht eine Spannung (Seebeck-Effekt). Da die Potentialdifferenz annähernd proportional zur Temperaturdifferenz ist, kann so auf die Temperatur an der Messstelle rückgeschlossen werden.

Verwendete Temperaturmessfühler:

- TC1 bis TC12: Thermoelement Typ T
  Metall: Kupfer / Kupfer-Nickel
- TC13 bis TC 14: Thermoelement Typ K (Einstechmessfühler)
  Metall: Nickel-Chrom / Nickel

3.4 Wärmestrom-Messfolie

Bei der Wärmestrom-Messfolie werden die Thermoelemente netzartig in zwei Ebenen angebracht. Die Netze bestehen aus zwei unterschiedlichen Metall-Drähten (Prinzip ähnlich wie bei den Temperaturfühlern). Man erhält eine, über die Fläche gemittelte, Temperaturdifferenz zwischen den Messebenen und somit kann man den Wärmestrom berechnen.

Die bei uns verwendeten Wärmestrom-Messfolien haben eine Abmessung von 250x250mm und eine aktive Messfläche von 180x180mm. Die relative Messunsicherheit beträgt 5%.

3.5 Datenlogger

Mit dem Datenlogger war es uns möglich unsere Messdaten aufzuzeichnen und die Heizungspumpe oberflächentemperatur-abhängig zu steuern (Ein- und Ausschalten der Pumpe).

Der Datenlogger bestand aus:

- Datenlogger-Modul, wo die Thermoelemente angeschlossen wurden
- Computer mit dem Programm LabView
- Relais, mit dem die Pumpe geschaltet wurde

Die Messdaten wurden via LabView aufgezeichnet. Danach konnten die Daten ins Microsoft Excel übertragen und dort mit Diagrammen visuell dargestellt werden. Die Kalibrier-Werte für die Temperaturfühler und die Wärmestrom-Messfolie wurden über Labview eingegeben.

Folgende Messstellen wurden mitgeloggt: (siehe auch Abbildung 9 Grundriss, Abbildung 10 Schnitt A-A und Schnitt B-B und Abbildung 11 Details)

TC1: Temperaturmessfühler unter Trittschalldämmung [°C]
TC2: Temperaturmessfühler am Heizungsrohr/im Estrich [°C]
TC3: Temperaturmessfühler am Heizungsrohr/im Estrich [°C]
TC4: Temperaturmessfühler am Heizungsrohr/im Estrich [°C]
TC5: Temperaturmessfühler zwischen Heizungsrohren/im Estrich [°C]
TC6: Temperaturmessfühler am Heizungsrohr/im Estrich [°C]
TC7: Temperaturmessfühler am Heizungsrohr/im Estrich [°C]
TC8: Temperaturmessfühler zwischen Heizungsrohren/im Estrich [°C]
TC9: Temperaturmessfühler auf Estrichoberfläche/über Heizungsrohr [°C]
TC10: Temperaturmessfühler auf Estrichoberfläche/über Heizungsrohr [°C]
TC11: Temperaturmessfühler auf Estrichoberfläche/zw. Heizungsrohren [°C]
TC12: Temperaturmessfühler für Raumtemperatur ca. 1,50m über FOK [°C]
TC13: Einstechmessfühler für Vorlauftemperatur [°C]
TC14: Einstechmessfühler für Rücklauflauftemperatur [°C]
Q1: Wärmestrom-Messfolie unter Trittschalldämmung [W/m²]
Q2: Wärmestrom-Messfolie auf Estrichoberfläche [W/m²]

3.6 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit wurde mit dem Gerät QTM-500 von Kyoto Elektronics bestimmt (Prinzip Heizdrahtverfahren). Die Messgenauigkeit bei diesem Gerät liegt bei 5%. Es können alle Materialien gemessen werden, die eine Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,023 und 12W/mK haben. Um genaue Werte zu erhalten, sollten die Probekörperabmessungen in der Dicke mindestens 1cm und in der Länge und Breite im Dezimeter-Bereich (je nach Wärmeleitfähigkeit) liegen.

Die untersuchten Wärmeleitfähigkeiten der Estriche

1. nach 28 Tagen, bei trockener Lagerung und
2. nach den Heizversuchen (trockner Zustand).

Der Mittelwert (der Wärmeleitfähigkeit) wurde aus 10 Messstellen über die gesamte Estrich-Oberfläche bestimmt.

Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Anhydrit-Fließestrich	Zementestrich handgeglättet:	Zementestrich maschinengeglättet:
nach 28 Tagen	2,30	2,10	1,33
nach den Heizversuchen	2,28	2,00	1,15

Tabelle 1: Wärmeleitfähigkeit (Prinzip Heizdrahtverfahren)

Abbildung 13: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit

3.7 Durchflussmenge

Die Durchflussmengen wurden mit einem Durchfluss-Ultraschall-Messgerät (Fluxus ADM 7202 von Flexim) bestimmt. Dieses Gerät misst die Ultraschall-Laufzeitdifferenz und berechnet so die Durchflussmenge. Vorab mussten die Rohrdurchmesser (innen und außen), das Rohrmaterial und das durchströmende Medium (Wasser) angegeben werden. Die Messgenauigkeit für den Volumenstrom liegt bei ca.5%. Es können Rohre aus allen Materialien und mit einem Nenndurchmesser von 10 bis 400mm verwendet werden. Das durchfließende Medium muss akustisch leitfähig sein und darf einen Feststoffanteil von 10% des Volumenstromes nicht überschreiten. Bei einem Nenndurchmesser von 15mm wird ein empfohlener Messbereich von 0 bis 15,90m³/h angegeben.

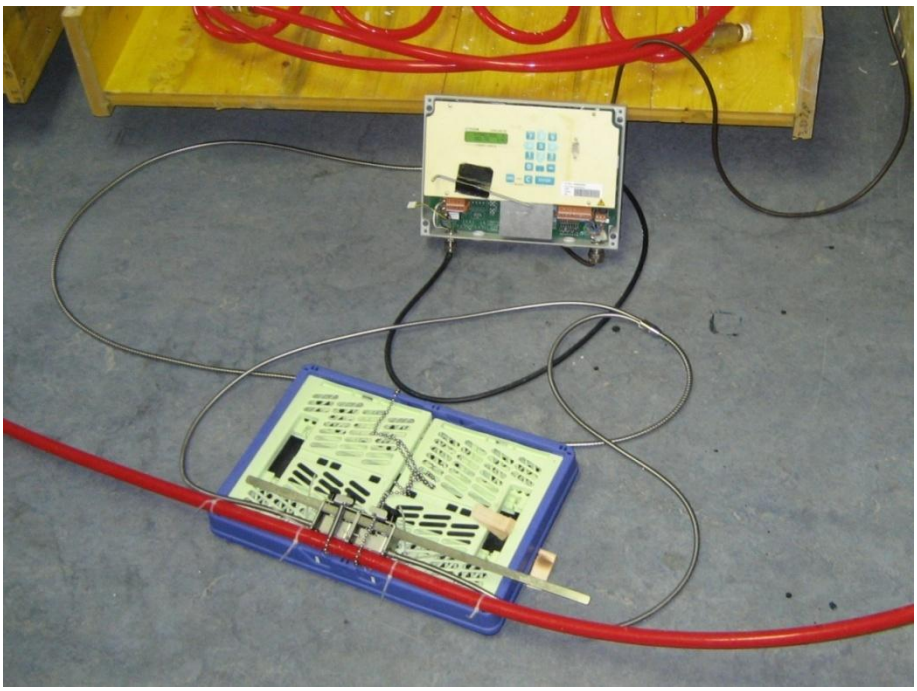

Abbildung 14: Bestimmung der Durchflussmengen

Die Durchflussmengen wurden für verschiedene Regelventil-Stellungen und die drei Leistungsstufen der Pumpe gemessen. Bei allen drei Probekörpern stellte sich, bei gleicher Schieberstellung und gleicher Pumpstufe, eine Durchflussmenge ein, die eine maximale Abweichung von 4,78% und eine durchschnittliche Abweichung von 3,08% aufweist. Diese Abweichungen liegen ca. bei der Messgenauigkeit des Durchfluss-Ultraschall-Messgerätes. Daraus folgt: Keine Differenz bei den Probekörpern.

Ergebnisse siehe Diagramm 1: Durchflussmengen

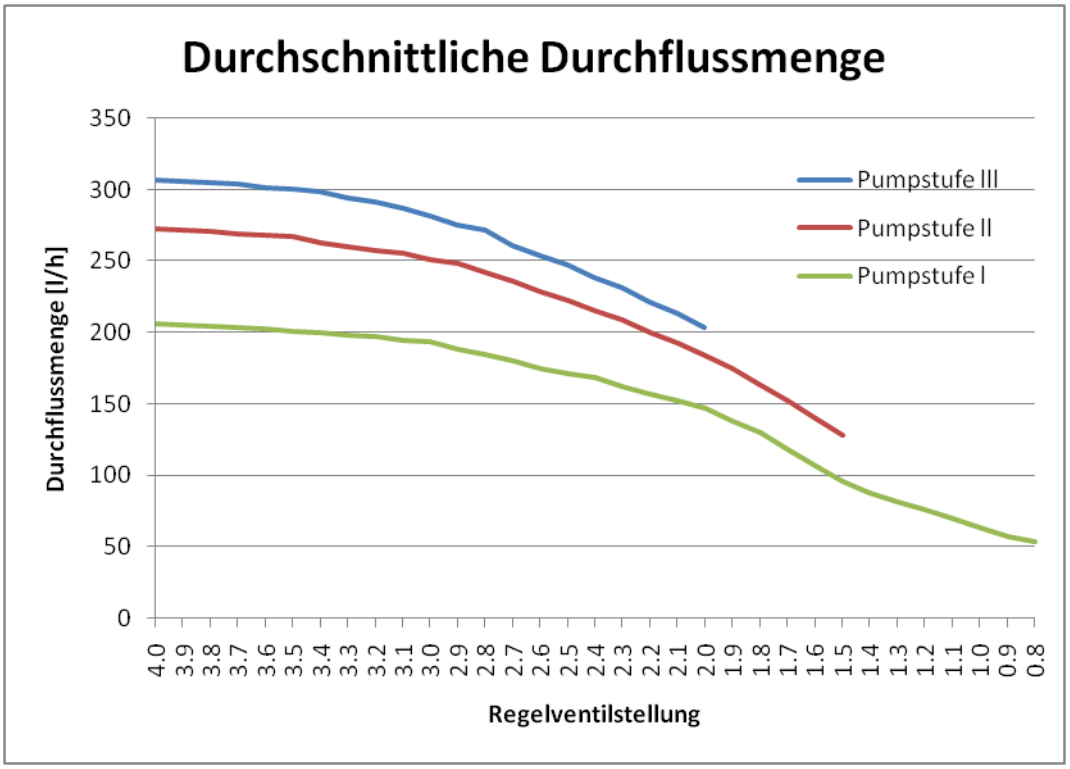

Diagramm 1: Durchflussmengen

4 Versuchsablauf

Es wurden drei Versuchsreihen durchgeführt:

- Versuchsreihe 1: Der Probekörper wurde mit einer konstanten Vorlauftemperatur, mit einem konstanten Durchfluss und über einen festgelegten Zeitraum beheizt.
- Versuchsreihe 2: Mit einer digitalen Zeitschaltuhr wurde ein Heizintervall vorgegeben. In der Heizphase waren der Durchfluss und die Vorlauftemperatur konstant.
- Versuchsreihe 3: Hier wurde die Heizungspumpe so gesteuert, dass die mittlere Oberflächentemperatur in einem vorgegebenen Temperaturbereich schwankt. In der Heizphase waren der Durchfluss und die Vorlauftemperatur konstant.

Die drei Probekörper wurden bei allen Versuchsreihen einzeln untersucht (Messaufwand ca. 24 Stunden pro Probekörper und Versuch). Eine parallele Schaltung der Probekörper (Zeitersparnis bei der Versuchsdauer) war aus mess- und steuerungstechnischen Gründen nicht möglich. Die Raumluft im Labor schwankte zwischen 21°C und 23°C. Das Heizvermögen des Probekörpers war zu gering, um die Raumluft im Labor zu erhöhen. Die Regelung der Raumtemperatur erfolgte ausschließlich über die Zentralheizung im Labor.

4.1 Versuchsreihe 1

Bei der Versuchsreihe 1 wurden die drei Probekörper mit den Vorlauftemperaturen von 42°C, 35°C und 30°C beheizt. Der Heizzeitraum betrug bei der Vorlauftemperatur von 42°C 6 Stunden und bei den Vorlauftemperaturen 35°C und 30°C 10 Stunden. Die Durchflussmenge war konstant mit 306 l/h. Die unter Punkt 3.5 Datenlogger angeführten Messstellen, wurden mitgeloggt.

Das Ziel dieser Versuchsreihe war es,

- die Aufheizzeit / Abkühlzeit,
- die maximal erreichbaren Temperaturen,
- die maximale Wärmeabgabe und
- die benötigte Vorlauftemperaturen bei einem gegebenen Wärmestrom

zu ermitteln.

4.2 Versuchsreihe 2

Die Vorlauftemperaturen bei der Versuchsreihe 2 waren 35°C und 30°C. Mit Hilfe einer digitalen Zeitschaltuhr wurde die Heizungspumpe gesteuert. Aus den Daten der Versuchsreihe 1 wurde ein Zeitintervall so gewählt, dass die mittleren Oberflächentemperaturen zwischen 24°C und 29°C schwankten. Das Zeitintervall bestand aus einer einmaligen Aufheizphase und im Anschluss einer sich abwechselnden Abkühl- und Heizphase (Siehe Tabelle 2 Heizintervall). Die Durchflussmenge war in der Aufheizphase und Heizphase konstant mit 306 l/h. Die unter Punkt 3.5 Datenlogger angeführten Messstellen wurden mit geloggt.

Heizintervall	Aufheizphase	Abkühlphase	Heizphase
Vorlauftemp. 35°C	50min	80min	30min
Vorlauftemp. 30°C	80min	90min	40min

Tabelle 2 Heizintervall

Das Ziel dieser Versuchsreihe war, für ein vorgegebenes Heizintervall (zeitabhängig)

- die maximalen und minimalen gemittelten Oberflächentemperaturen,
- die Temperaturschwankungsbereiche der gemittelten Oberflächentemperatur,
- den Mittelwert für die Oberflächentemperatur (MW TC10/TC11) bezogen auf die Raumlufttemperatur (TC12),
- den Unterschied, des auf eine Referenztemperatur (20°C) bezogenen, Wärmestromes (Q2manip.) und
- einen Vergleich zwischen eingebrachter Energie Qkonv. und nach oben abgegebene Energie Q2 zu erhalten.

4.3 Versuchsreihe 3

Bei der Versuchsreihe 3 wurden die drei Probekörper mit den Vorlauftemperaturen von 35°C und 30°C beheizt. Durch die Steuereinheit am Datenlogger war es möglich die Heizungspumpe so zu steuert, dass die mittlere Oberflächentemperatur (Mittelwert aus TC10 und TC11) in einem vorgegebenen Temperaturbereich schwankte. Bei der Vorlauftemperatur von 35°C war der Temperatur-Schwankungsbereich zwischen 26°C bis 27°C. Mit der Vorlauftemperatur von 30°C wurden die Temperatur-Schwankungsbereiche 25°C bis 26°C und 24°C bis 25°C untersucht.

Da eine Fußbodenheizung ein träges System ist und bei einer Abschaltung der Heizungspumpe die Oberflächentemperatur noch weiter ansteigt bevor sie abfällt, war es notwendig einen Vorversuch durchzuführen, um den Schwankungsbereich abschätzen zu können. Die Durchflussmenge war in der Heizphase konstant mit 306 l/h. Die unter Punkt 3.5 Datenlogger angeführten Messstellen wurden mitgeloggt.

Das Ziel dieser Versuchsreihe war, für einen bestimmten Oberflächentemperaturbereich, die Regelhäufigkeit der verschiedenen Estriche gegenüber zu stellen.

5 Messergebnisse

Hier werden die wichtigsten Messergebnisse in Diagrammen und Tabellen dargestellt. Die restlichen Messdaten befinden sich im Anhang. Der Wärmestrom nach unten wurde gemessen, aber nicht berücksichtigt, da er bezogen auf den nach oben abgegebenen Wärmestrom klein ist und in einer Fußbodenkonstruktion immer Wärme nach unten abgegeben wird.

Zeichenerklärung:

MW TC10/TC11: Mittelwert der Oberflächentemperatur [°C]
MW TC10/TC11 – TC12: MWTC10/TC11 abzüglich der Raumlufttemperatur [°C]
A_FL: Anhydrit-Fließestrich
Z_Ha: Zementestrich handgeglättet
Z_Ma: Zementestrich maschinengeglättet

5.1 Versuchsreihe 1

5.1.1 Graphische Darstellung der Messdaten

Bei einer konstanten Beheizung der Probekörper werden die mittleren Oberflächentemperaturen gegenüber gestellt.

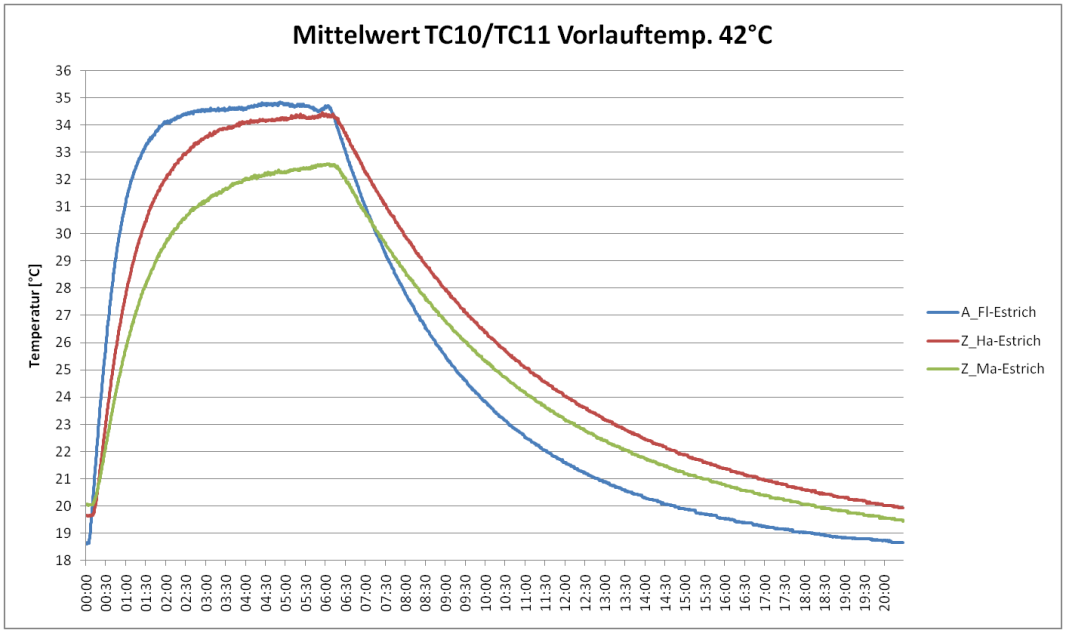

Diagramm 2 Mittlere Oberflächentemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 42°C

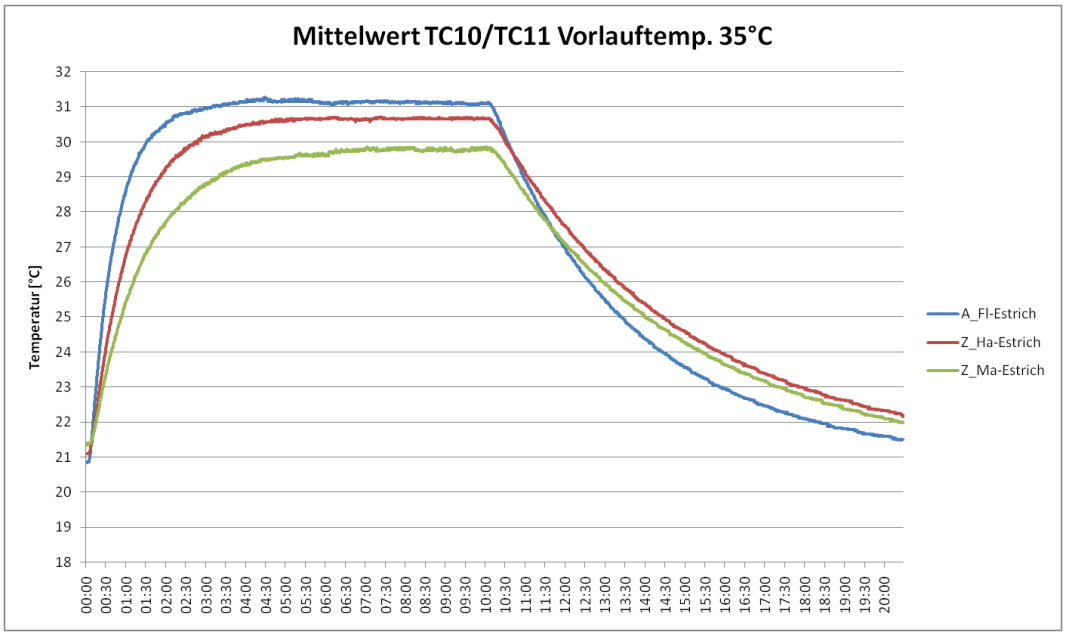

Diagramm 3 Mittlere Oberflächentemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

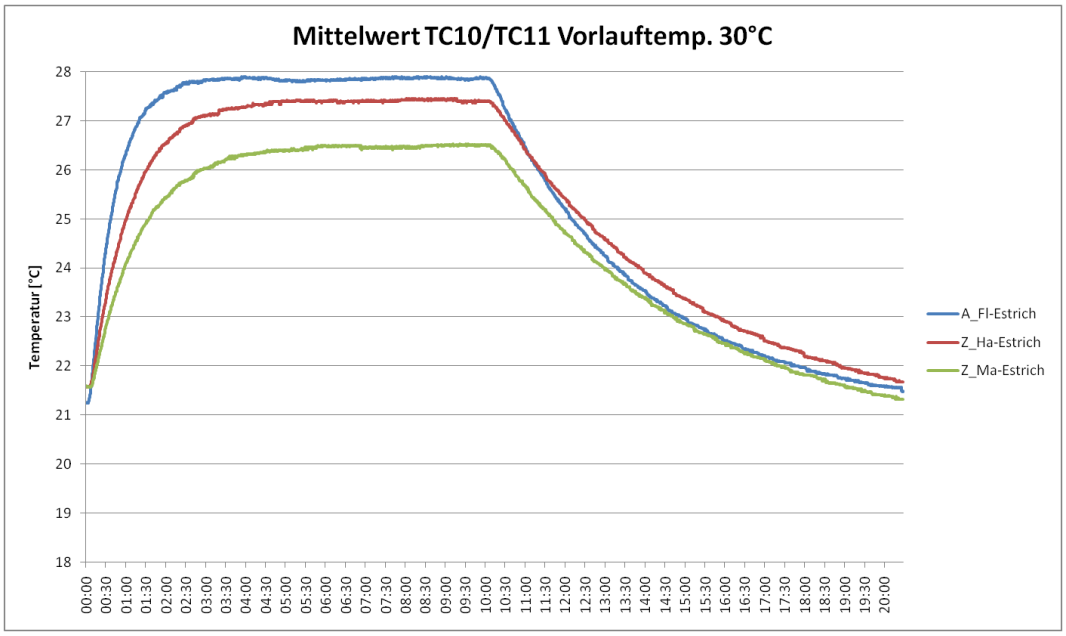

Diagramm 4 Mittlere Oberflächentemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

5.1.2 Tabellarische Auswertung der Messdaten

In den Tabellen 3 bis 5 werden die Aufheizzeiten bei den verschiedenen Vorlauftemperaturen gegenüber gestellt.

Vorlauftemperatur 42°C

Zeit für die Aufheizung der mittleren Oberflächentemperaturen (MW TC10/TC11) Start 22°C			
[°C]	A_Fl-Estrich	Z_Ha-Estrich	Z_Ma-Estrich
23	00:03	00:05	00:07
24	00:06	00:10	00:15
25	00:10	00:15	00:24
26	00:14	00:22	00:33
27	00:18	00:29	00:45
28	00:23	00:37	00:59
29	00:28	00:46	01:16
30	00:34	00:59	01:39
31	00:43	01:13	02:18
32	00:53	01:35	03:31
33	01:09	02:07	-
34	01:38	03:21	-

Tabelle 3 Aufheizzeit der mittleren Oberflächentemperaturen bei einer Vorlauftemperatur von 42°C

Vorlauftemperatur 35°C

Zeit für die Aufheizung der mittleren Oberflächentemperaturen (MW TC10/TC11) Start 22°C			
[°C]	A_Fl-Estrich	Z_Ha-Estrich	Z_Ma-Estrich
23	00:04	00:07	00:10
24	00:09	00:16	00:23
25	00:15	00:25	00:38
26	00:21	00:36	00:56
27	00:30	00:50	01:21
28	00:41	01:12	01:58
29	00:55	01:38	03:03
30	01:20	02:30	-
31	02:58	-	-

Tabelle 4 Aufheizzeit der mittleren Oberflächentemperaturen bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

Vorlauftemperatur 30°C

Zeit für die Aufheizung der mittleren Oberflächentemperaturen (MW TC10/TC11) Start 22°C			
[°C]	A_Fl-Estrich	Z_Ha-Estrich	Z_Ma-Estrich
23	00:07	00:12	00:18
24	00:15	00:27	00:41
25	00:26	00:47	01:19
26	00:42	01:17	02:35
27	01:09	02:28	-

Tabelle 5 Aufheizzeit der mittleren Oberflächentemperaturen bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

In der Tabelle 6 werden die Abkühlzeiten gegenüber gestellt. Die Abkühlzeiten sind Vorlauftemperatur unabhängig

Zeit für die Aubkühlung der mittleren Oberflächentemperaturen (MW TC10/TC11) Start 22°C			
[°C]	A_Fl-Estrich	Z_Ha-Estrich	Z_Ma-Estrich
31	00:15	00:24	00:23
30	00:16	00:26	00:27
29	00:18	00:29	00:28
28	00:21	00:32	00:31
27	00:22	00:35	00:32
26	00:26	00:43	00:40
25	00:30	00:49	00:44
24	00:36	00:56	00:54
23	00:43	01:12	01:04
22	00:56	01:32	01:22

Tabelle 6 Abkühlzeit der mittleren Oberflächentemperaturen

5.2 Versuchsreihe 2

5.2.1 Graphische Darstellung der Messdaten

Bei einer zeitgesteuerten Intervallheizung der Probekörper werden die mittleren Oberflächentemperaturen abzüglich der Raumtemperatur gegenüber gestellt.

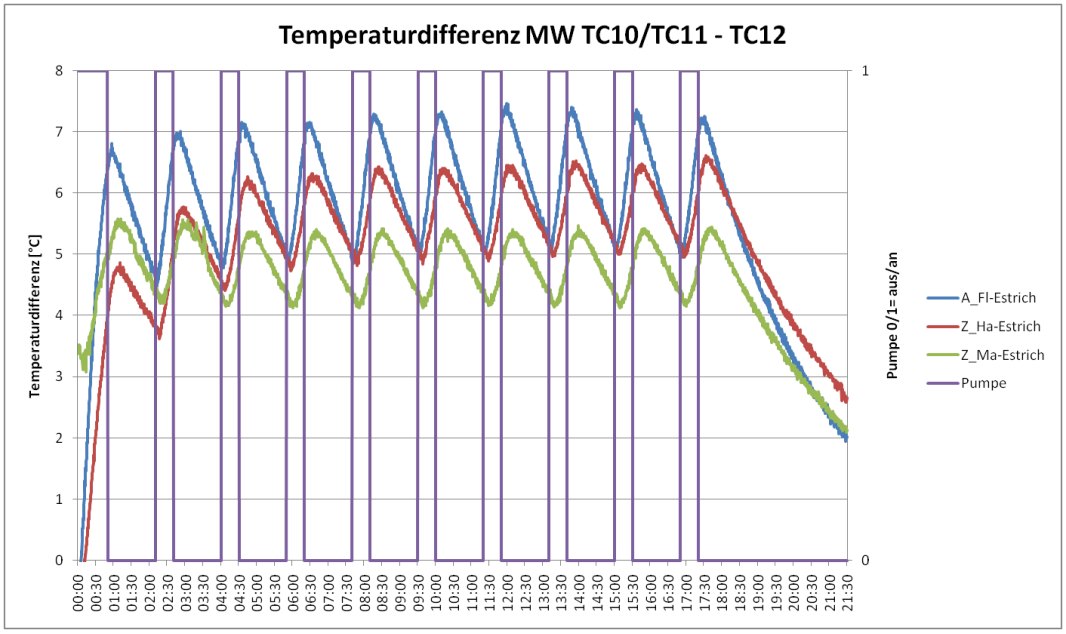

Diagramm 5 Temperaturschwankungen bei Vorlauftemperatur von 35°C

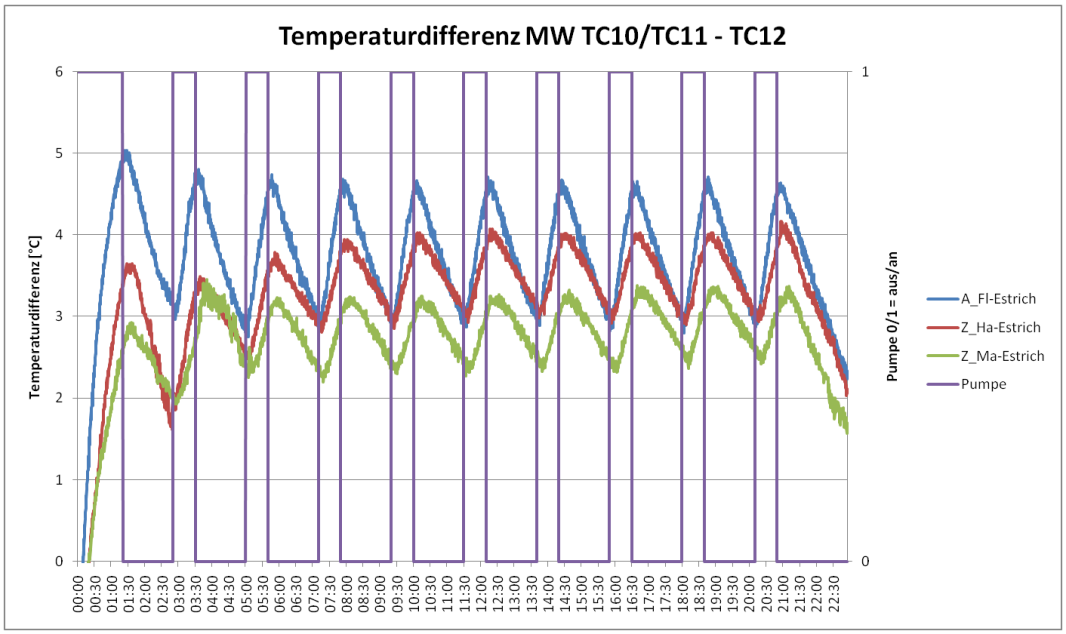

Diagramm 6 Temperaturschwankungen bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

5.2.1 Tabellarische Auswertung der Messdaten

Bei der zeitgesteuerten Intervallheizung werden folgende Punkte betrachtet:

Max. MW TC10/TC11: Erreichter Maximalwert der mittleren Oberflächentemp.
Min. MW TC10/TC11: Erreichter Minimalwert der mittleren Oberflächentemp.
Schwankung: Differenz Max. MW TC10/TC11 zu Min. MW TC10/TC11
MW-TC10/TC11-TC12: Mittelwert von der mittleren Oberflächentemperatur abzüglich der Raumlufttemperatur

Vorlauftemperatur 35°C

	Max. MW TC10/TC11 [°C]	Min. MW TC10/TC11 [°C]	Schwankung [°C]	MW-TC10/11-TC12 [°C]
A_Fl	7.46	4.84	2.63	6.06
Z_Ha	6.53	4.73	1.80	5.59
Z_Ma	5.47	4.13	1.35	4.74

Tabelle 7 Temperaturschwankungen bei einer Vorlauftemperatur 35°C

Vorlauftemperatur 30°C

	Max. MW TC10/TC11 [°C]	Min. MW TC10/TC11 [°C]	Schwankung [°C]	MW-TC10/11-TC12 [°C]
A_Fl	4.81	2.76	2.05	3.81
Z_Ha	4.08	2.86	1.22	3.54
Z_Ma	3.33	2.20	1.14	2.81

Tabelle 8 Temperaturschwankungen bei Vorlauftemperatur 30°C

Bei einem Vergleich der, in den Tabelle 7 und Tabelle 8, angegebenen Werte haben der handgeglättete Zementestrich um 36% und der maschinengeglättete Zementestrich um 46% kleinere Temperaturschwankungen als der Anhydrit-Fließestrich. Bei den mittleren Oberflächentemperaturen, bezogen auf die Raumlufttemperatur, liegt der Zementestrich handgeglättet um 7% und der Zementestrich maschinengeglättet um 24% hinter dem Anhydrit-Fließestrich.

5.3 Versuchsreihe 3

5.3.1 Graphische Darstellung der Messdaten

Für die oberflächentemperaturgesteuerte Intervallheizung werden zuerst die einzelnen Estrichtypen und danach eine direkte Gegenüberstellung dargestellt.

Diagramm	Estrichtyp	Vorlauftemperatur [°C]	Temperaturbereich [°C]
7	A_Fl	35	26 bis 27
8	Z_Ha	35	26 bis 27
9	Z_Ma	35	26 bis 27
10	alle	35	26 bis 27
11	A_Fl	30	24 bis 25
12	Z_Ha	30	24 bis 25
13	Z_Ma	30	24 bis 25
14	alle	30	24 bis 25
15	A_Fl	30	25 bis 26
16	Z_Ha	30	25 bis 26
17	Z_Ma	30	25 bis 26
18	alle	30	25 bis 26

Tabelle 9 Diagrammbeschreibung für oberflächengesteuerte Intervallheizung

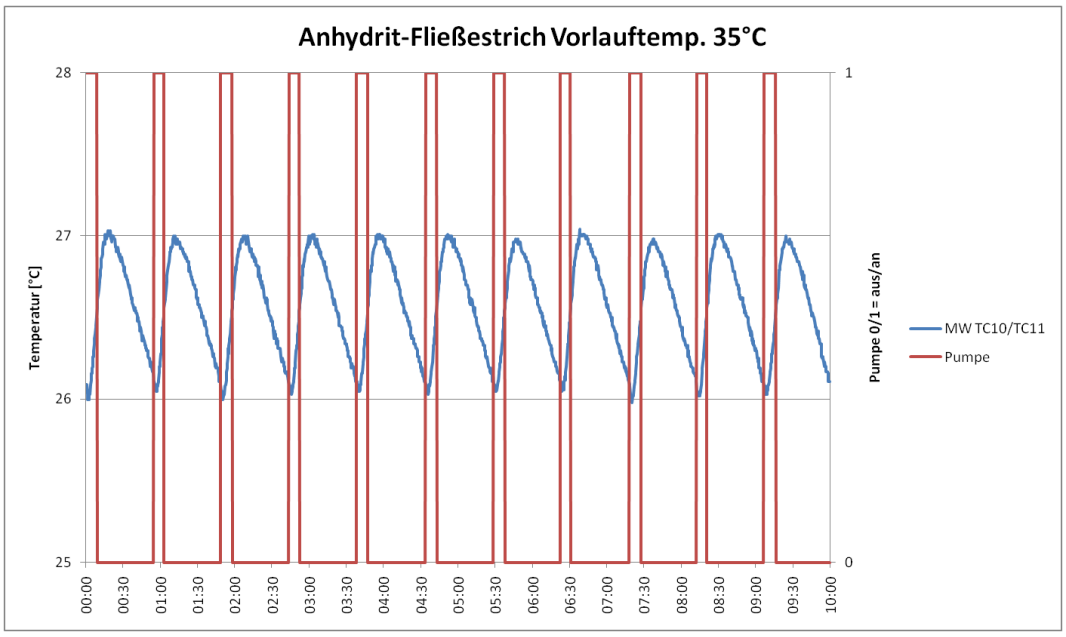

Diagramm 7 Schwankungsbereich 26°C bis 27°C A_Fl bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

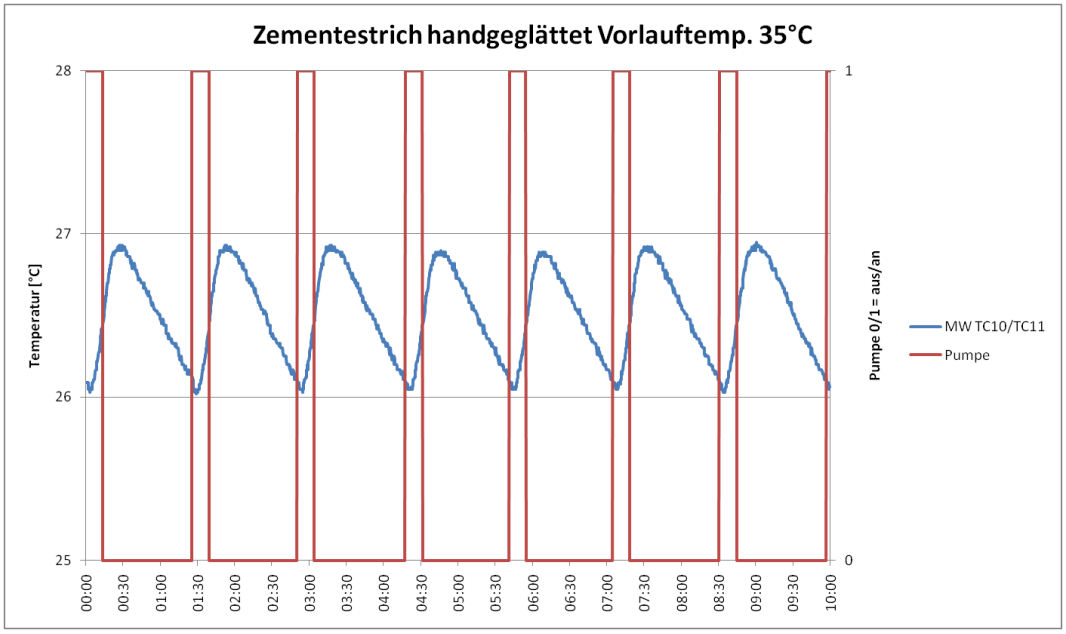

Diagramm 8 Schwankungsbereich 26°C bis 27°C Z_Ha bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

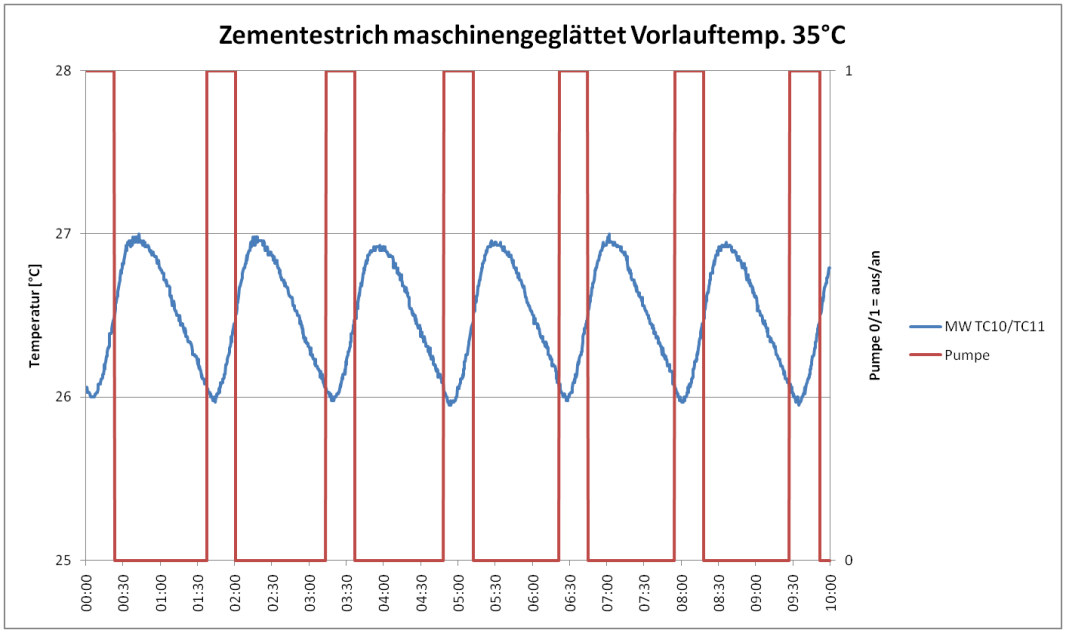

Diagramm 9 Schwankungsbereich 26°C bis 27°C Z_Ma bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

Gegenüberstellung: Vorlauftemp. 35°C und 26°C bis 27°C Schwankungsbereich:

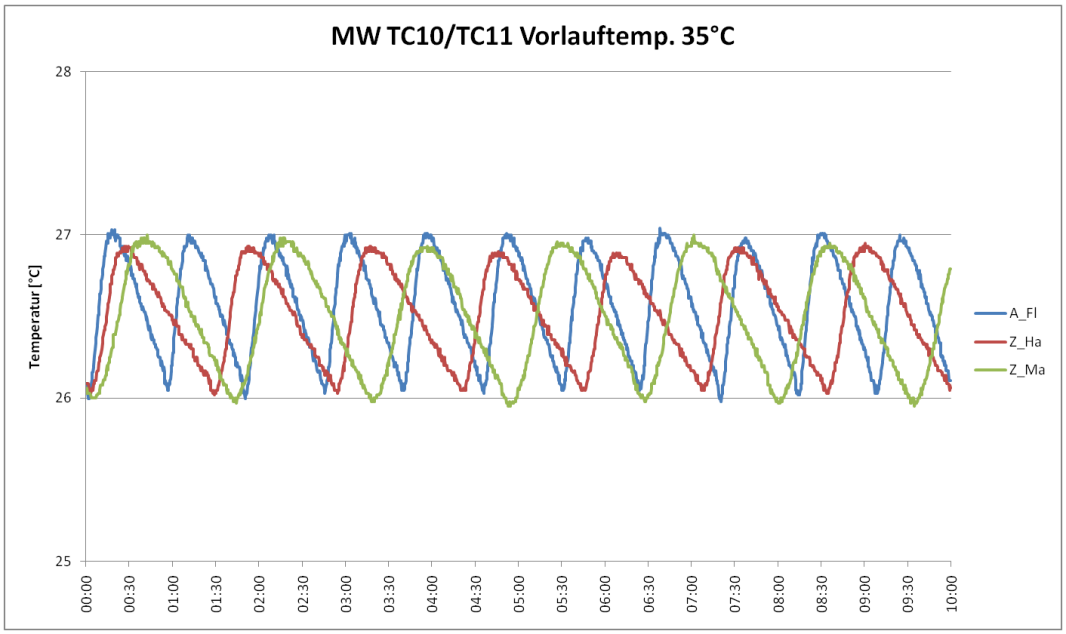

Diagramm 10 Mittlere Oberflächentemperatur 26°C bis 27°C bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

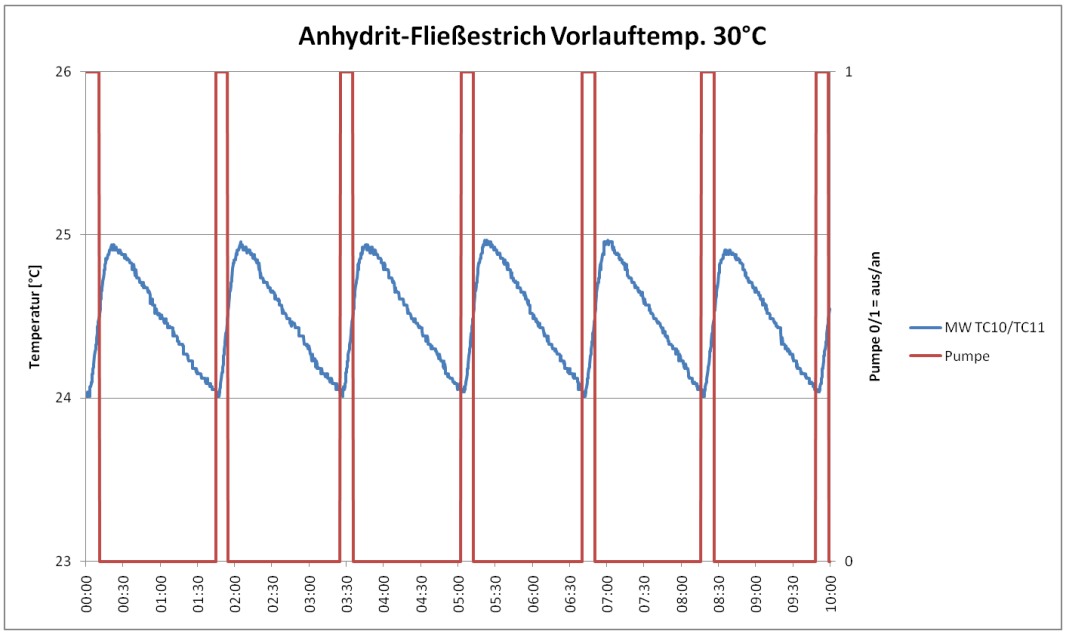

Diagramm 11 Schwankungsbereich 24°C bis 25°C A_Fl bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

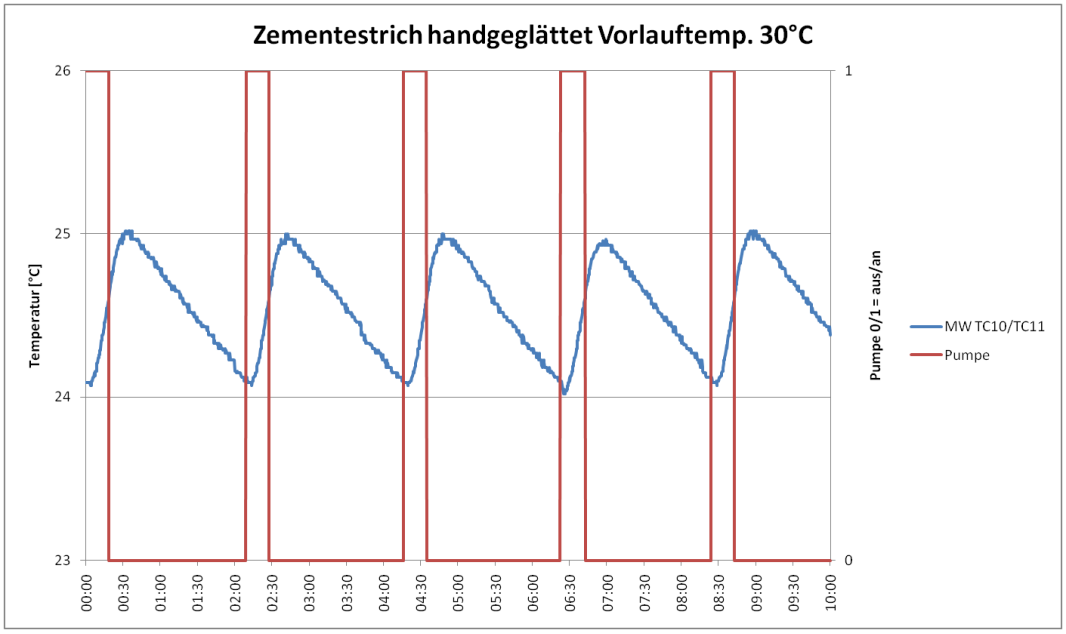

Diagramm 12 Schwankungsbereich 24°C bis 25°C Z_Ha bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

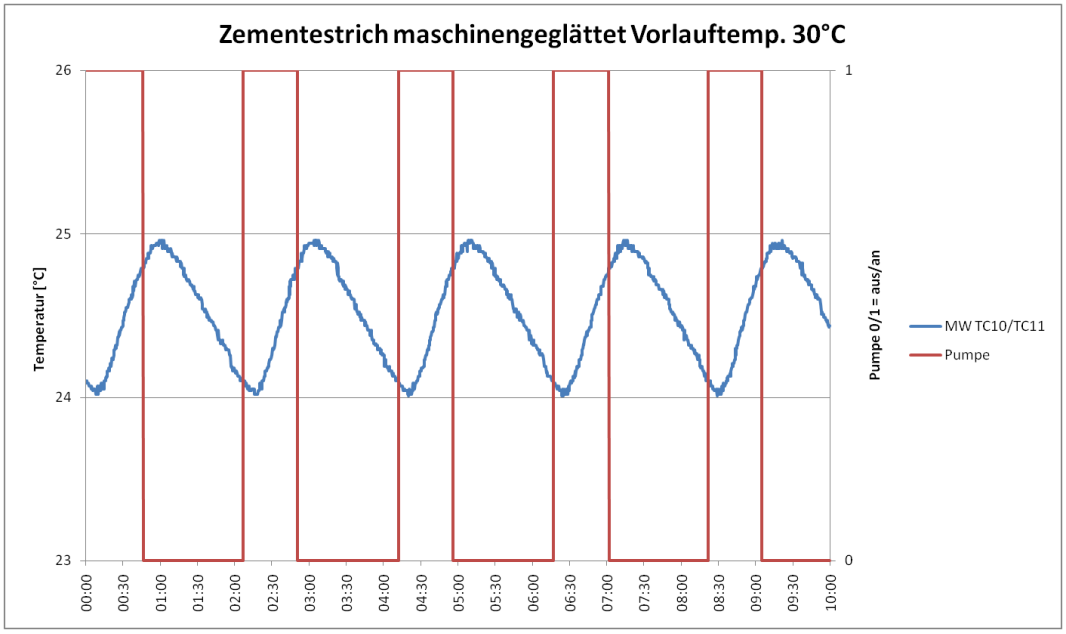

Diagramm 13 Schwankungsbereich 24°C bis 25°C Z_Ma bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

Gegenüberstellung: Vorlauftemp. 30°C und 24°C bis 25°C Schwankungsbereich:

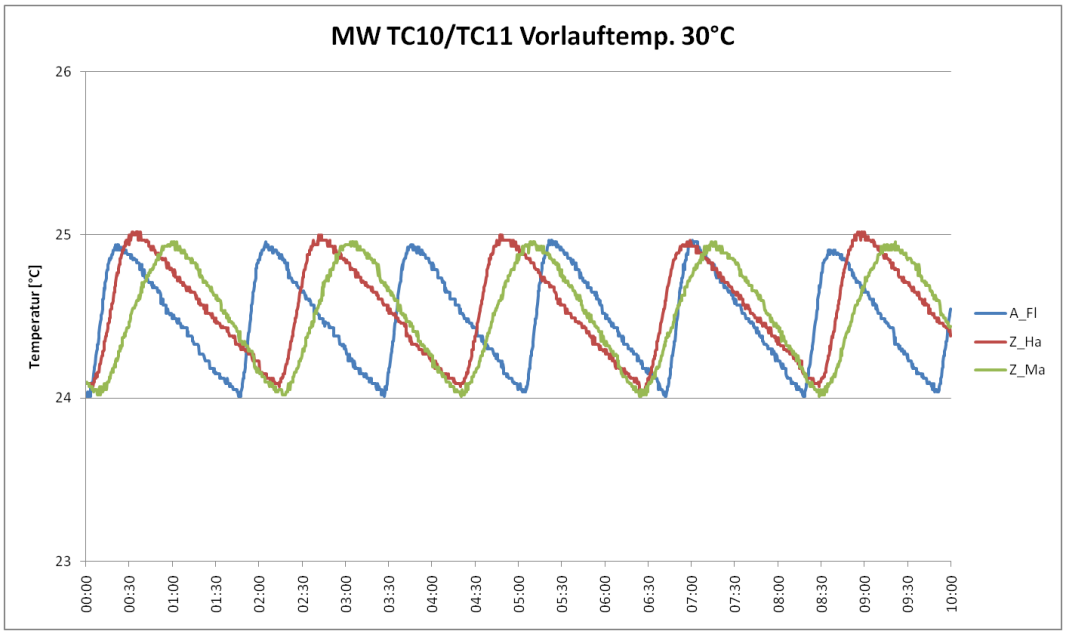

Diagramm 14 Mittlere Oberflächentemperatur 24°C bis 25°C bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

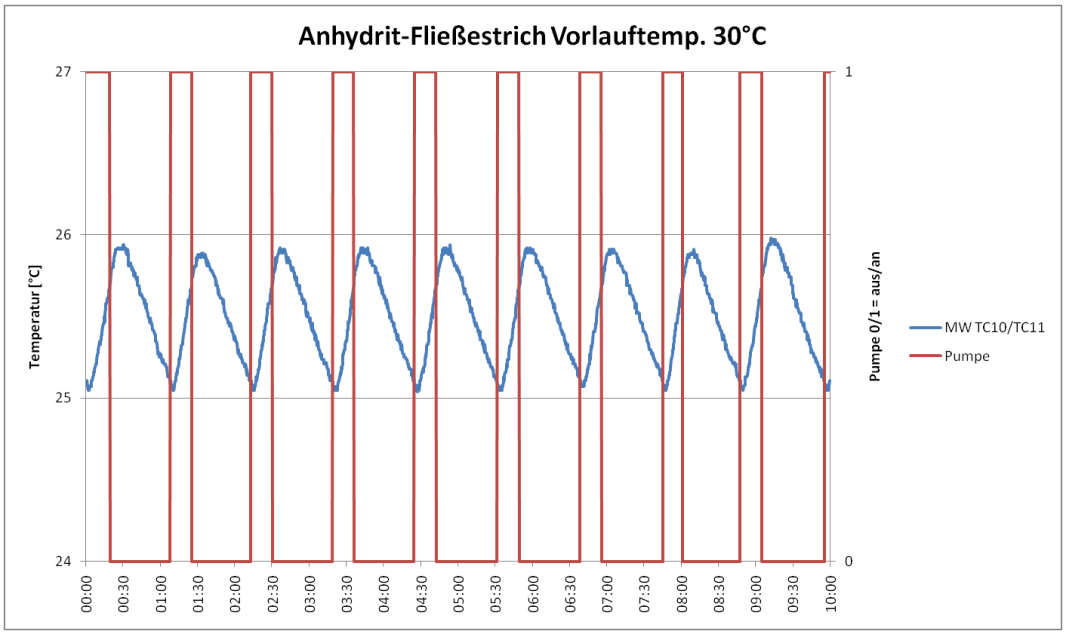

Diagramm 15 Schwankungsbereich 25°C bis 26°C A_Fl bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

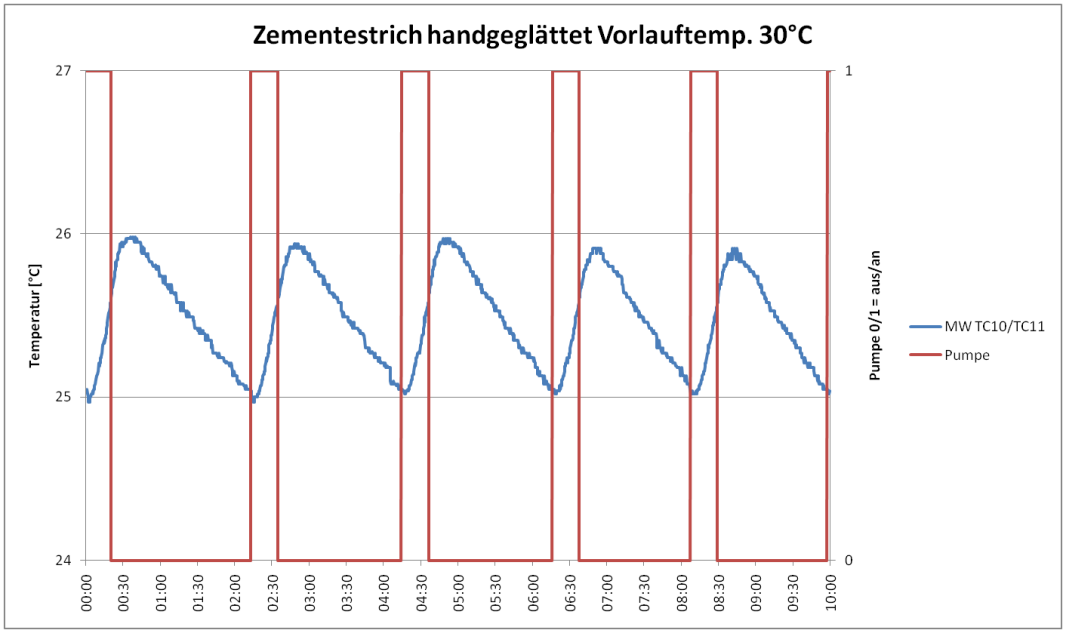

Diagramm 16 Schwankungsbereich 25°C bis 26°C Z_Ha bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

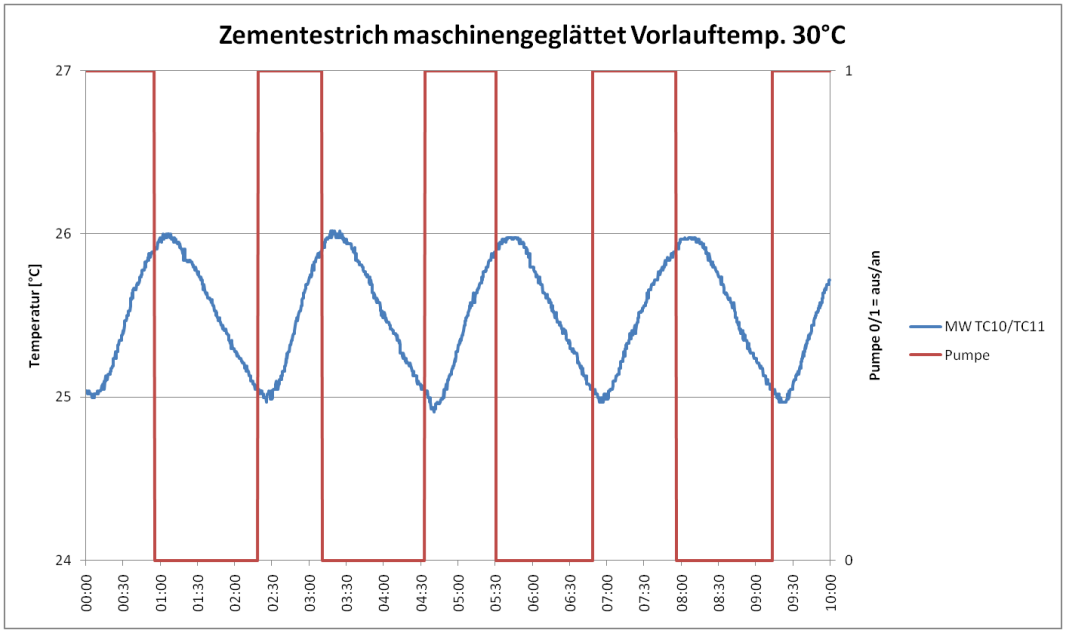

Diagramm 17 Schwankungsbereich 25°C bis 26°C Z_Ma bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

Gegenüberstellung: Vorlauftemp. 30°C und 25°C bis 26°C Schwankungsbereich:

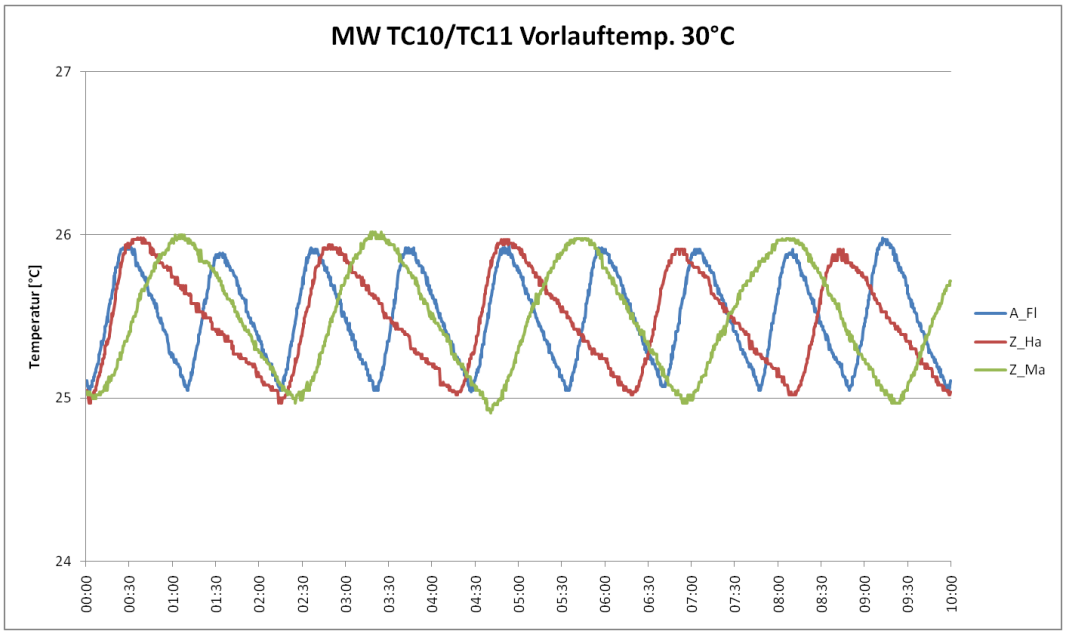

Diagramm 18 Mittlere Oberflächentemperatur 25°C bis 26°C bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

6 Auswertung

Da, über den gesamten Versuchszeitraum, die Raumlufttemperatur zwischen 21°C und 23°C schwankte und um einen Raumlufttemperatur unabhängigen Vergleich zu ermöglichen, wurden der Wärmedurchgang $Q2$ [W/m²] auf eine Referenztemperatur (20°C) bezogen. Der, aus dieser Manipulation entstandene, Wert wurde mit $Q2manip.$ bezeichnet.

Erläuterung der Manipulation von $Q2$ auf $Q2manip.$:

Als erstens wurde $Q2rechn.$ ermittelt.

$$Q2rechn. = \frac{t1 - t2}{Rs}$$

$Q2rechn.$: Wärmestrom [W/m²]

$t1$: Mittelwert aus TC10 und TC11 [°C]

$t2$: Raumlufttemperatur TC12 [°C]

Rs : Wärmeübergangswiderstand [m²K / W]

Für eine erste Abschätzung wurde der im Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik angegebene Wert Rs=0,13m²K / W (für Fußböden Decken Wärmestrom nach oben) verwendet. In der ÖNORM EN ISO 6946 wird der Wert für den Wärmeübergangswiderstand mit Rs=0,10m²K / W angegeben. Danach wurde Rs so variiert, dass sich die $Q2$-Kurve und die $Q2rechn.$-Kurve best möglich annähern.

Bei allen Versuchsreihen liegen die Rs-Werte zwischen 0,120 und 0,133m²K / W.

Als zweiten Schritt wurde $Q2manip.$ berechnet.

$$Q2manip. = \frac{t1 - tref.}{Rs}$$

$Q2manip.$: Wärmestrom [W/m²]

$t1$: Mittelwert aus TC10 und TC11 [°C]

$tref.$: Referenztemperatur 20°C

Rs : Wärmeübergangswiderstand [m²K / W]

6.1 Versuchsreihe 1

Bei einer konstanten Beheizung der Probekörper werden die Wärmeströme gegenüber gestellt.

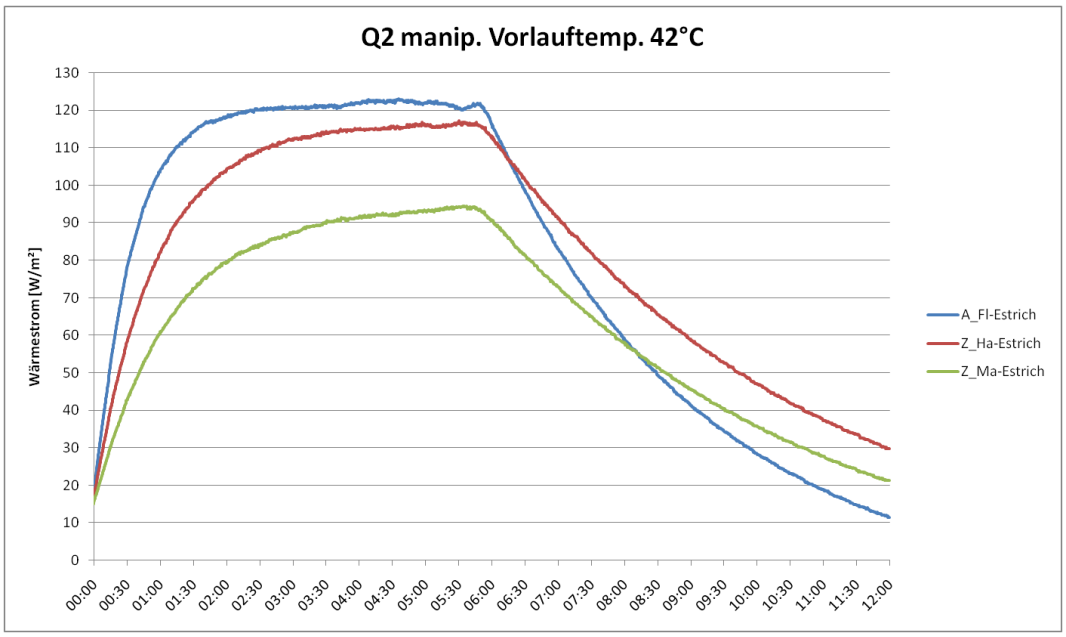

Diagramm 19 Wärmestrom bei einer Vorlauftemperatur von 42°C

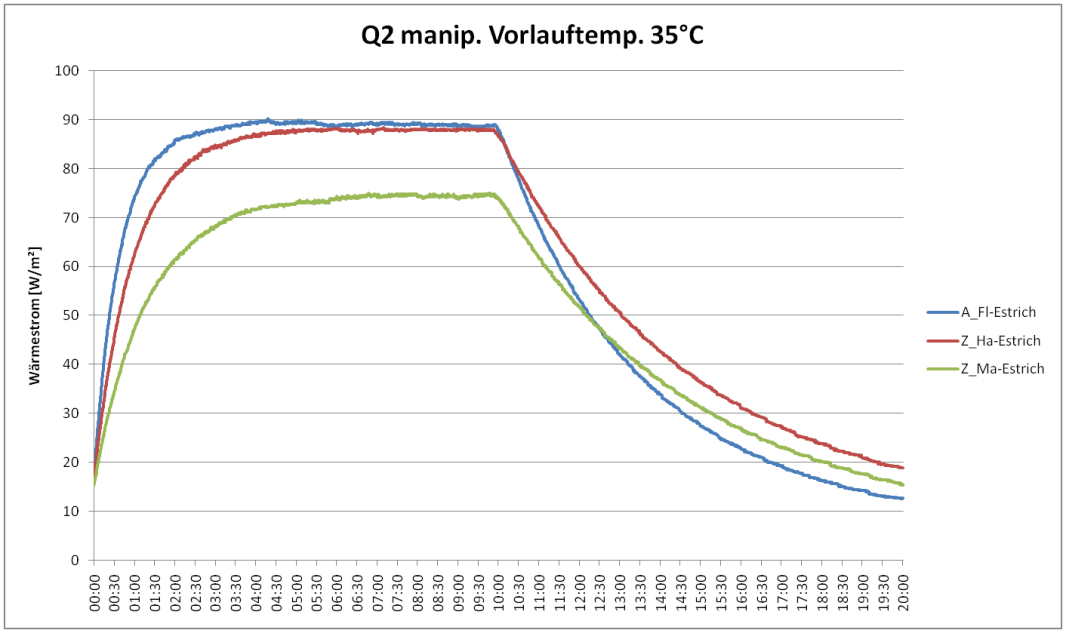

Diagramm 20 Wärmestrom bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

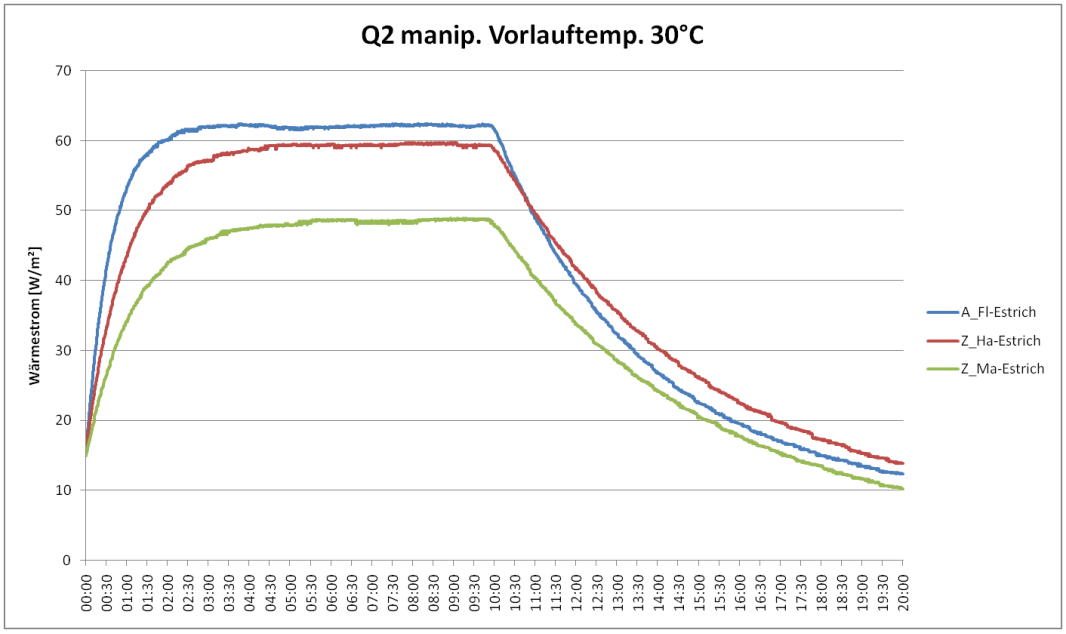

Diagramm 21 Wärmestrom bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

Mit den Q2manip. Werten wurden die Vorlauftemperaturen interpoliert, bei denen nicht gemessen wurde.

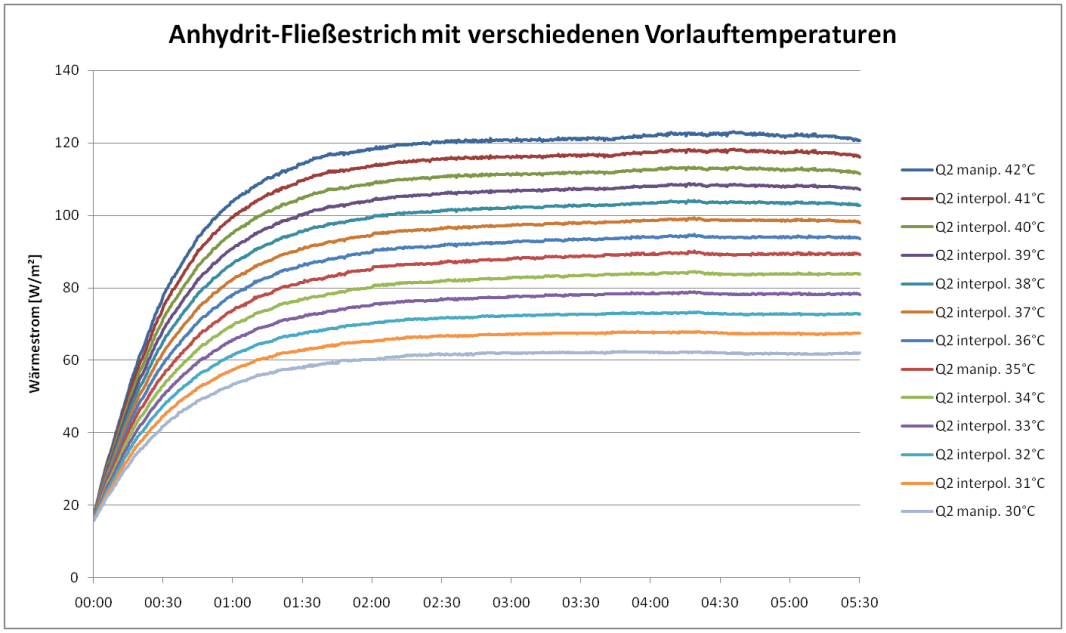

Diagramm 22 Anhydrit-Fließestrich mit verschiedenen Vorlauftemperaturen

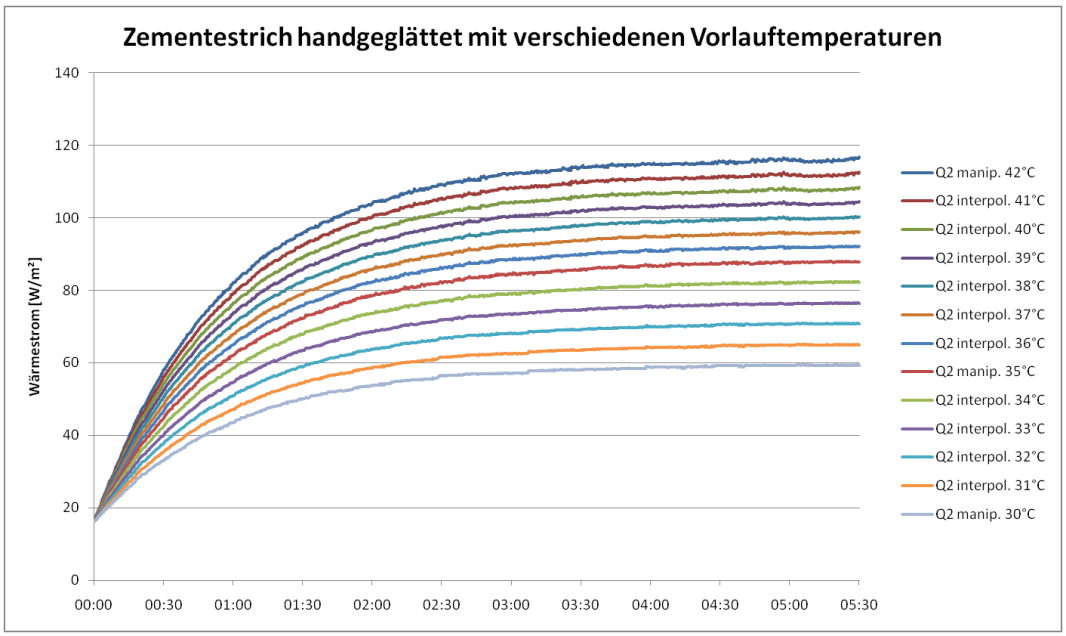

Diagramm 23 Zementestrich handgeglättet mit verschiedenen Vorlauftemperaturen

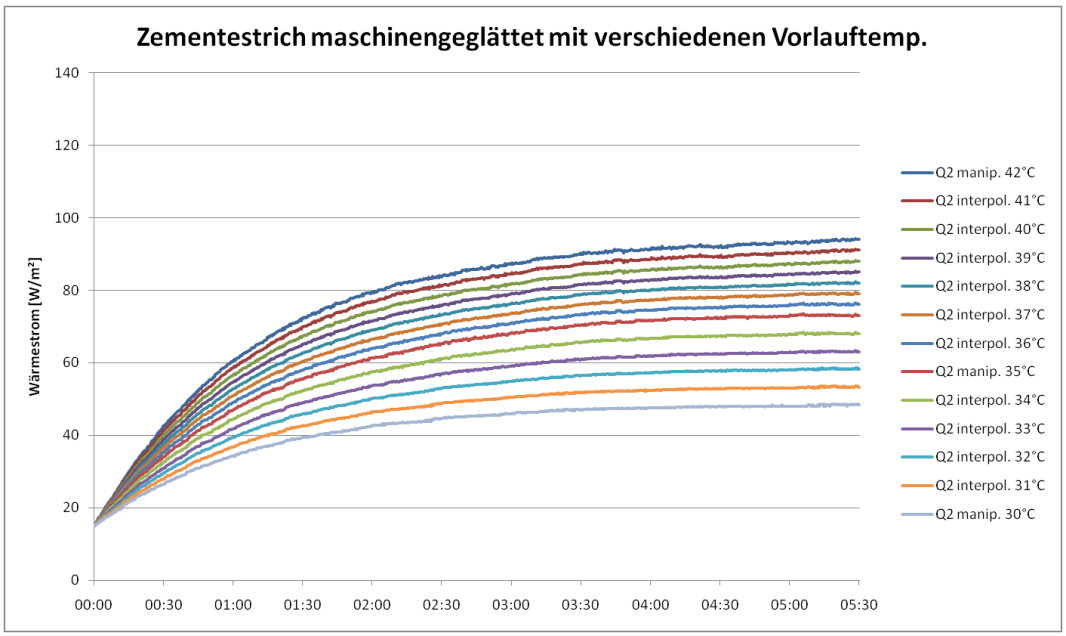

Diagramm 24 Zementestrich maschinengeglättet mit verschiedenen Vorlauftemperaturen

Q2manip. bei verschiedenen Vorlauftemperaturen [W/m²]													
	manip.	interpoliert						manip.	interpoliert				manip.
[°C]	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30
A_Fl	122	117	112	108	103	99	94	89	84	78	73	67	62
Z_Ha	116	112	108	104	100	96	92	88	82	76	71	65	59
Z_Ma	94	91	88	85	82	79	76	73	68	63	58	53	48

Tabelle 10 Stationäre Wärmeströme bei verschiedenen Vorlauftemperaturen

Bei einem Vergleich des Wärmestroms über alle Vorlauftemperaturen, liegen der handgeglättete Zementestrich um 3% und der maschinengeglättete Zementestrich um 21% unter dem Anhydrit-Fließestrich.

Für einen erforderlichen Wärmestrom wurde die dazu benötigte Vorlauftemperatur interpoliert.

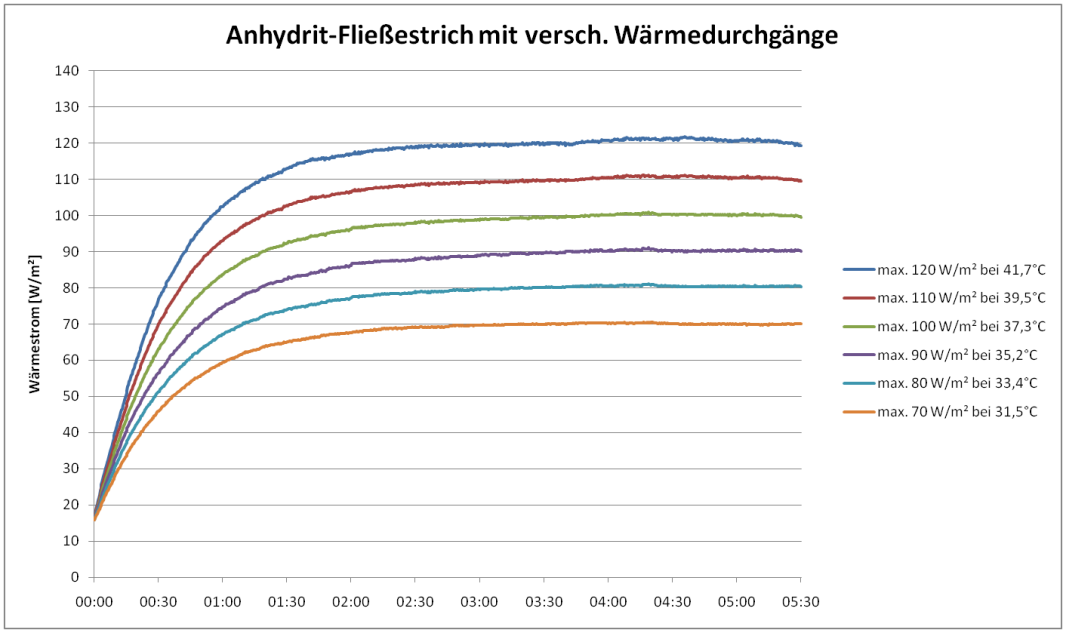

Diagramm 25 Benötigte Vorlauftemperatur bei einem festgelegten Wärmestrom

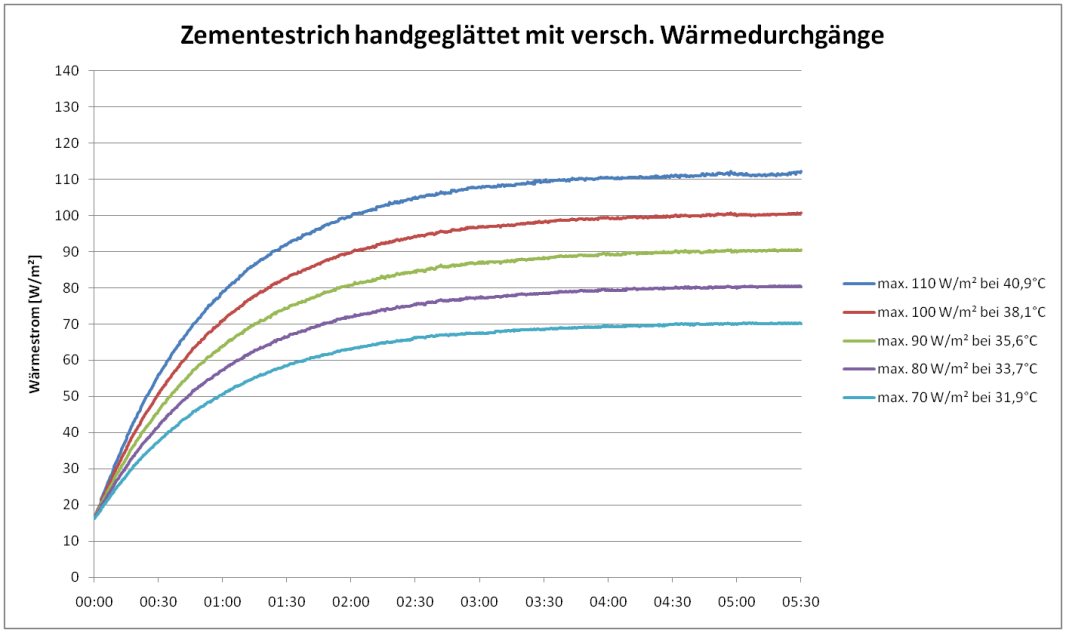

Diagramm 26 Benötigte Vorlauftemperatur bei einem festgelegten Wärmestrom

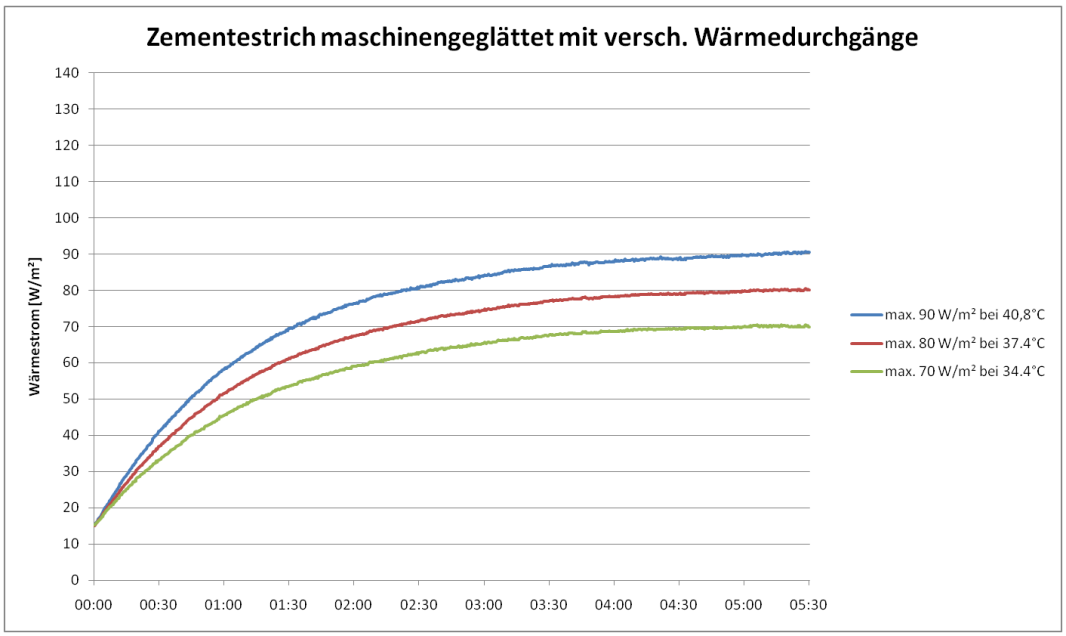

Diagramm 27 Benötigte Vorlauftemperatur bei einem festgelegten Wärmestrom

Bei einem Vergleich der erforderlichen Vorlauftemperatur über alle Wärmeströme, liegen der handgeglättete Zementestrich um 2% und der maschinegeglättete Zementestrich um 12% über dem Anhydrit-Fließestrich.

6.2 Versuchsreihe 2

Bei einer zeitgesteuerten Intervallheizung der Probekörper werden die manipulierten Wärmeströme gegenüber gestellt.

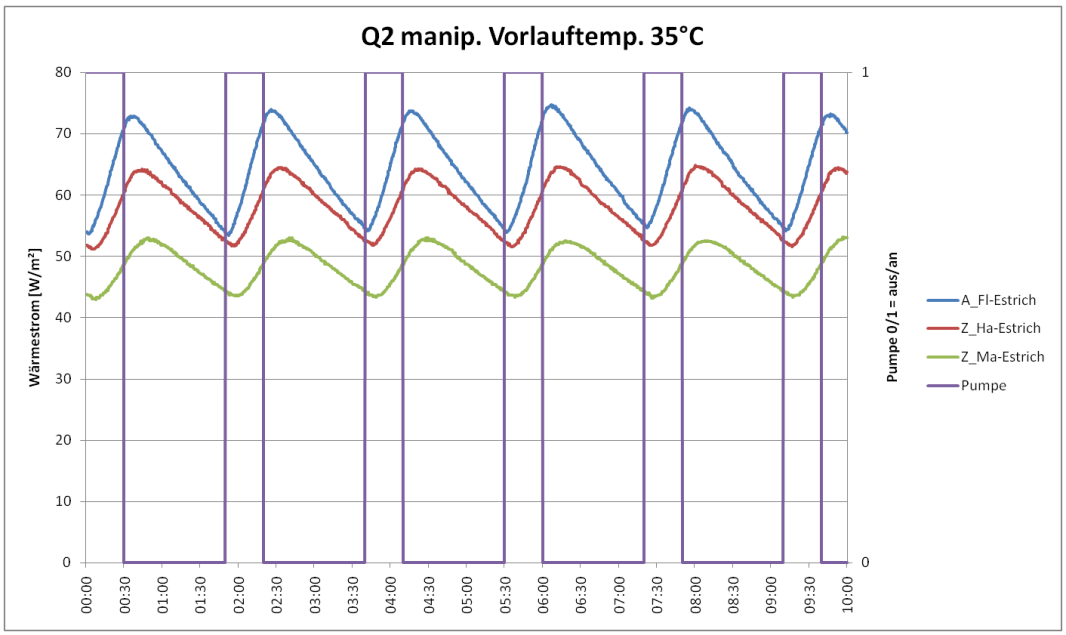

Tabelle 11 Manipulierte Wärmeströme bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

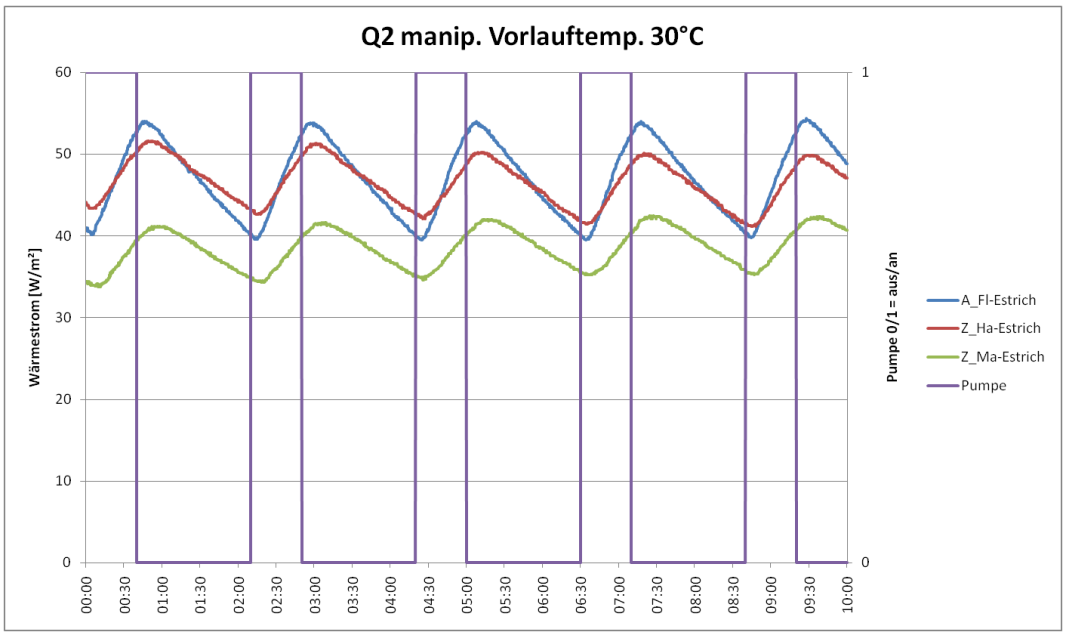

Tabelle 12 Manipulierte Wärmeströme bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

Um einen Vergleich von eingebrachter Leistung $Qkonv.$ zu, nach oben abgegebener Leistung $Q2$ herzustellen, wurde $Qkonv$ berechnet. Für $Qkonv$ wurden die Zeiten, wo die Pumpe eingeschaltet war, berücksichtigt. Die Durchflussmenge war konstant mit 306 l/h. Die Vor- und Rücklauftemperaturen wurden mit geloggt.

Erläuterung der Berechnung von $Qkonv.$

$$Qkonv. = c * \rho * \frac{V}{t} * (tv - tr) * \frac{1}{U * A}$$

$Qkonv$: Eingebrachte Leistung [W/m²]

c : Spezifische Wärmekapazität von Wasser 4,19 kJ / kgK

ρ : Dichte von Wasser 1000kg/m³

$\frac{V}{t}$: Durchflussmenge 0,306 m³/h

tv : Vorlauftemperatur [°C]

tr : Rücklauftemperatur [°C]

U : Umrechnungsfaktor von kJ/h auf W = 3,6 (1kJ = 1kWs)

A : Estrichfläche 1,3 m²

MW-Q2: Mittelwert des gemessenen Wärmestroms
MW-Q2konv.: Mittelwert der eingebrachten Leistung (berechnet)
Wärmestrom nach oben: Prozentsatz von MW-Q2 / MW-Q2konv.
MW-Q2manip.: Mittelwert des manipulierten Wärmestromes

Vorlauftemperatur 35°C

	MW-Q2 [W/m²]	MW-Q2konv. [W/m²]	Wärmestrom nach oben [%]	MW-Q2 manip. [W/m²]
A_Fl	31.13	159.50	16	63.42
Z_Ha	27.80	134.67	18	57.76
Z_Ma	21.52	117.71	15	47.88

Tabelle 13 Leistungsvergleich bei Vorlauftemperatur 35°C

Vorlauftemperatur 30°C

	MW-Q2 [W/m²]	MW-Qkonv. [W/m²]	Wärmestrom nach oben [%]	MW-Q2 manip. [W/m²]
A_Fl	31.13	159.50	20	47.14
Z_Ha	27.80	134.67	21	46.51
Z_Ma	21.52	117.71	18	38.53

Tabelle 14 Leistungsvergleich bei Vorlauftemperatur 305°C

Bei einer Auswertung des Prozentsatzes von der eingebrachten Leistung zu, nach oben abgegebener Leistung, beträgt der Unterschied zwischen den einzelnen Estrichtypen 3%.

Bei einem Vergleich der Mittelwerte Q2manip. über die Vorlauftemperaturen 30°C und 35°C, liegen der handgeglättete Zementestrich um 5% und der maschinegeglättete Zementestrich um 21% unter dem Anhydrit-Fließestrich.

6.3 Versuchsreihe 3

In der Tabelle 15 Regelhäufigkeit werden die Ein- und Ausschaltanzahl der Heizungspumpe für die einzelnen Estrichtypen, bei verschiedenen Vorlauftemperaturen und Schwankungsbereiche, gegenübergestellt.

Regelhäufigkeit pro 10 Stunden			
	Vorlauftemp. 35°C Bereich 26°C bis 27°C [Anzahl]	Vorlauftemp. 30°C Bereich 24°C bis 25°C [Anzahl]	Vorlauftemp. 30°C Bereich 25°C bis 26°C [Anzahl]
A_Fl	11	7	9
Z_Ha	7	5	5
Z_Ma	7	5	5

Tabelle 15 Regelhäufigkeit

7 Thermographie

Im Vorfeld der Thermographie wurden die drei Probekörper in Serie geschaltet und mit einer Vorlauftemperatur von 35°C 24 Stunden beheizt.

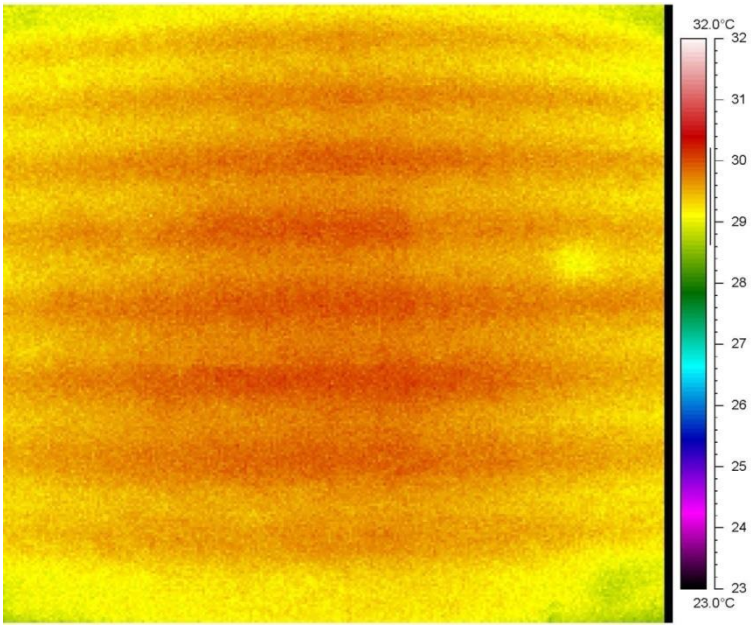

Abbildung 15 Thermographie Anhydrit-Fließestrich

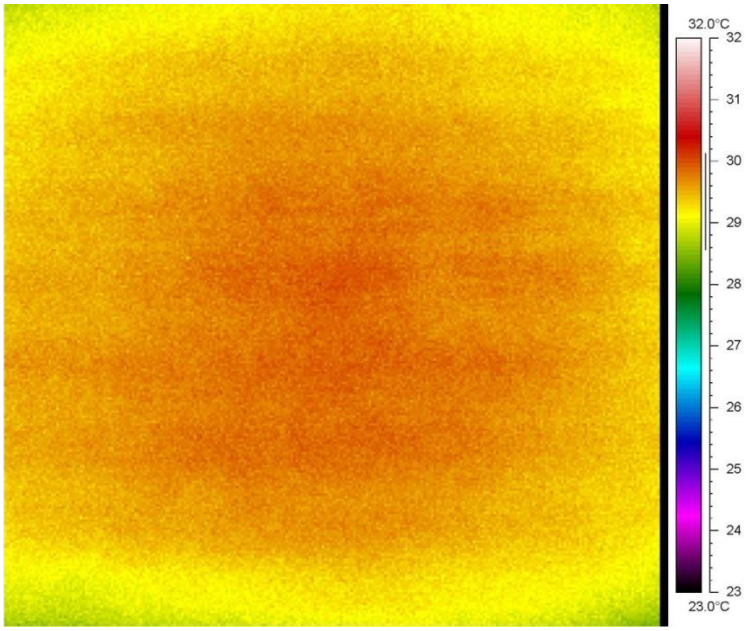

Abbildung 16 Thermographie Zementestrich handgeglättet

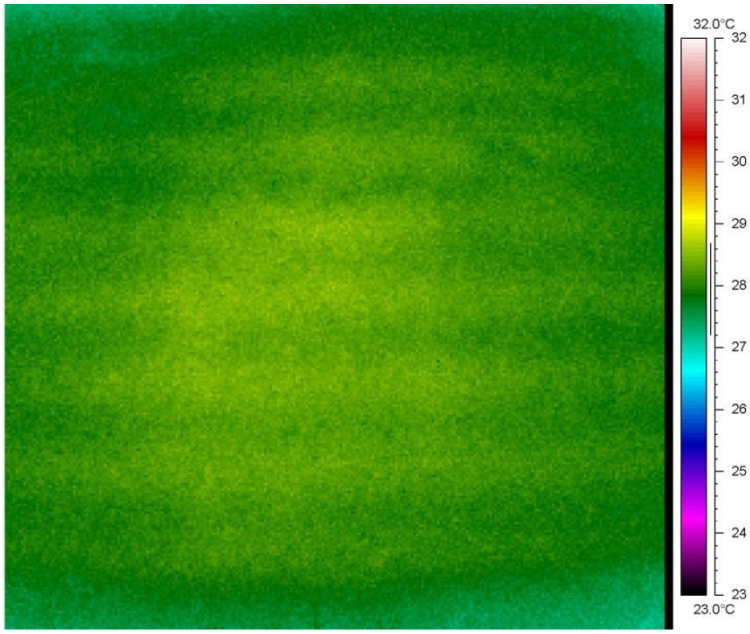

Abbildung 17 Thermographie Zementestrich maschinengeglättet

Bei der Thermographie ist gut zu erkennen, dass der Anhydrit-Fließestrich die Wärme an der Oberfläche am besten abgibt.

Der handgeglättete Zementestrich hat die gleichmäßigste Wärmeverteilung. Dies kann auf die höhere Überdeckung und die geringere Oberflächentemperaturen im Vergleich zum Anhydrit-Fließestrich zurückgeführt werden.

Der maschinengeglättete Zementestrich hat die geringste Wärmeabgabe an der Oberfläche.

Der Temperaturunterschied an der Oberfläche (Gleichmäßigkeit) beträgt bei allen Estrichtypen weniger als 1°C.

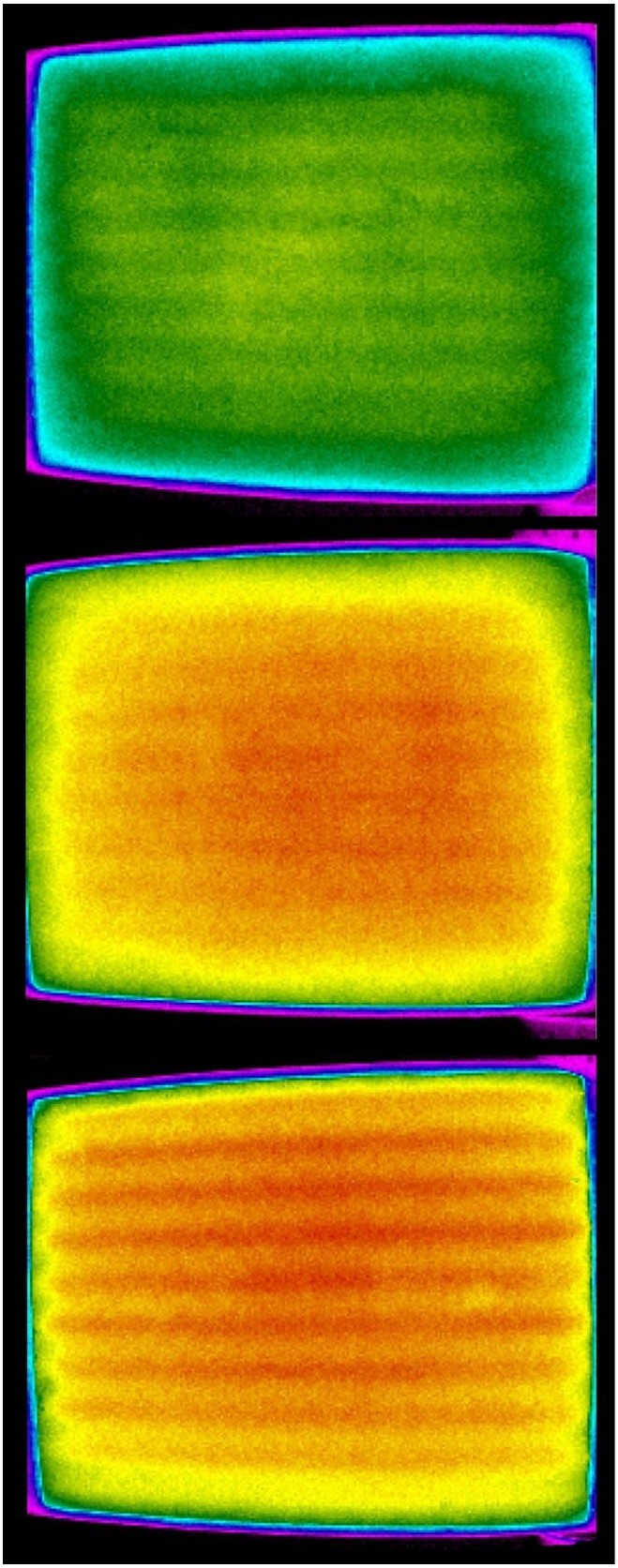

Abbildung 18 Thermographie Gegenüberstellung der Estrichtypen

8 Zusammenfassung

Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass sich der Anhydrit-Fließestrich, auf Grund seiner spezifischen Eigenschaften, schneller erwärmt und wieder abkühlt. Da Fußbodenheizungen im Allgemeinen sehr träge Heizsysteme sind, kann der Anhydrit-Fließestrich die Aufheizzeiten verringern. Im Umkehrschluss muss die Heizungspumpe bei einem Anhydrit-Fließestrich öfter regeln als bei den Zementestrichen. Der maschinengeglättete Zementestrich verhält sich am trägsten.

Bei einer Betrachtung der maximal erreichten Oberflächentemperaturen bei den Versuchsreihen 1 und 2 sieht man, dass der Anhydrit-Fließestrich die höchsten Temperaturen erreicht, knapp dahinter der handgeglättete Zementestrich und der maschinengeglättete Zementestrich erreicht die geringsten Oberflächentemperaturen. Bei einem Vergleich der abgegebenen Wärmeströme liegen der handgeglättete Zementestrich um 3% und der maschinengeglättete Zementestrich um 21% unter dem Anhydrit-Fließestrich.

Bei einer Auswertung des Prozentsatzes von der eingebrachten Leistung zu nach oben abgegebener Leistung, beiträgt der Unterschied zwischen den einzelnen Estrichtypen 3%.

Die benötigten Vorlauftemperaturen bei gleichen Wärmeströmen liegen beim handgeglättete Zementestrich um 2% und beim maschinegeglätteten Zementestrich um 12% über dem Anhydrit-Fließestrich.

Hinweis: Alle Resultate beziehen sich nur auf den Estrich selbst. Bei einer Berücksichtigung von Bodenbelägen können die Unterschiede der hier in der Diplomarbeit genannten Daten abweichen.

9 Literaturverzeichnis

[1] Harry Timm: Estriche: Arbeitshilfen für Planung und Qualitätssicherung 3. Auflage, vieweg Verlag, 2004, ISBN: 3-528-11700-1

[2] G. Grasser / H.Timm: Estriche im Wohnungs- und Industriebau, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1984, ISBN: 3-7625-2220-0

[3] G. Grasser / H.Timm: Beheizte Fußbodn-Konstruktionen:Planung Konstruktionsarten Ausführung, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1985, ISBN: 3-7625-2289-8

[4] Reif Hermann: Moderne Flächenheizsysteme: Heizen und Kühlen unter Einsatz polymerer Werkstoffe, Verlag Moderne Industrie, 1999, ISBN: 3-478-93209-2

[5] Unger Alexander: Fußbodenatlas, Quo-Vado Verlag, 2008, ISBN: 978-3-00-067469-3

[6] Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenburg Verlag, 2007; CD-ROM

[7] Rudolf Hans Schwed: Fussbodenheizungssysteme, Verlegt und herausgegeben vom Institut für Technologie und Warenwirtschaftslehre der WU-Wien und der Österreichischen Gesellschaft für Warenkunde und Technologie, 1987

[8] ÖNORM B2232 Ausgabe: 2007-05-01 Estricharbeiten-Werkvertragsnorm

[9] ÖNORM B2242-4 Ausgabe: 2007-05-01 Herstellen von Warmwasser-Fußbodenheizungen – Werkvertragsnorm Teil 4: Vertragsbestimmungen für Estrich

[10] ÖNORM EN 1264-1 Ausgabe: 1998-05-01 Fußboden-Heizung Systeme und Komponenten Teil 1: Definitionen und Symbole

[11] ÖNORM EN 1264-2 Ausgabe: 1998-05-01 Fußboden-Heizung Systeme und Komponenten Teil 2: Bestimmung der Wärmeleistung

[12] ÖNORM EN 13318 Ausgabe: 2001-01-01 Estrichmörtel und Estriche Begriffe

[13] ÖMORM B8110-1 Ausgabe: 2008-01-01 Wärmeschutz im Hochbau Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschuzes von Gebäuden/Gebäudeteilen – Heizbedarf und Kühlbedarf

[14] ÖNORM EN ISO 6946 Ausgabe: 2008-04-01 Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren

[15] DIN 18560-2 Ausgabe: April 2004 Estriche im Bauwesen – Teil 2: Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten (schwimmende Estriche)

[16] Folder Cemex incl. Präsentation Herr Johann Geyer: Anhydrit-Fließestrich

[17] Präsentation Firma Readymix: Anhydrit-Fließestrich

Internet:

(zum Zeitpunkt 11.2008 gültig)

[18] http://www.rehau.de/files/Technische_Information_Flaechenheizung-kuehlung_05_2008.pdf

Gesichtete Quellen:

[19] ÖMORM B8110-2 Ausgabe: 2003-07-01 Wärmeschutz im Hochbau Teil 2: Wasserdampfdiffusionen und Kondensationsschutz

[20] ÖMORM B8110-3 Ausgabe: 1999-12-01 Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse

[21] ÖMORM EN197-1 Ausgabe: 2008-10-01 Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement

[22] ÖMORM EN13139 Ausgabe: 2004-11-01 Gesteinskörnung für Mörtel

[23] ÖMORM B4710-1 Ausgabe: 2007-10-01 Beton – Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis

[24] ÖMORM EN12591 Ausgabe: 2000-04-01 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Anforderungen an Straßenbau

[25] ÖMORM EN13305 Ausgabe: 2003-07-01 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Spezifikationsrahen für Hartbitumen für industrielle Anwendungen

[26] ÖMORM EN14016-1 Ausgabe: 2004-04-01 Bindemittel für Magnesiaestriche – Kautische und Magnesiumchlorid – Teil 1: Begriffe und Anforderungen

[27] ÖMORM EN13454-1 Ausgabe: 2005-01-01 Calciumsulfat-Binder, Calziumsulfat-Compositbinder und Calciumsulfat-Werkmörtel für Estriche – Teil 1: Begriffe und Anforderungen

[28] DIN EN 12831Ausgabe: August 2003 Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast

Internet:

(zum Zeitpunkt 11.2008 gültig)

[29] http://www.estrichverband.at/

[30] http://www.estrich.cc/

[31] http://www.rehau.at/bau/gebaeudetechnik/flaechenheizung.-kuehlung/flaechenheizung.-kuehlung.shtml

[32] http://www.flaechenheizung.de/Planer/PDF/Richtlinie_03.pdf

[33] http://www.flaechenheizung.de/Planer/PDF/R01-Herst-FB01.pdf

[34] http://www.flaechenheizung.de/Planer/PDF/R06-Herst-FB-Gew01.pdf

10 Anhang

10.1 Versuchsreihe 1

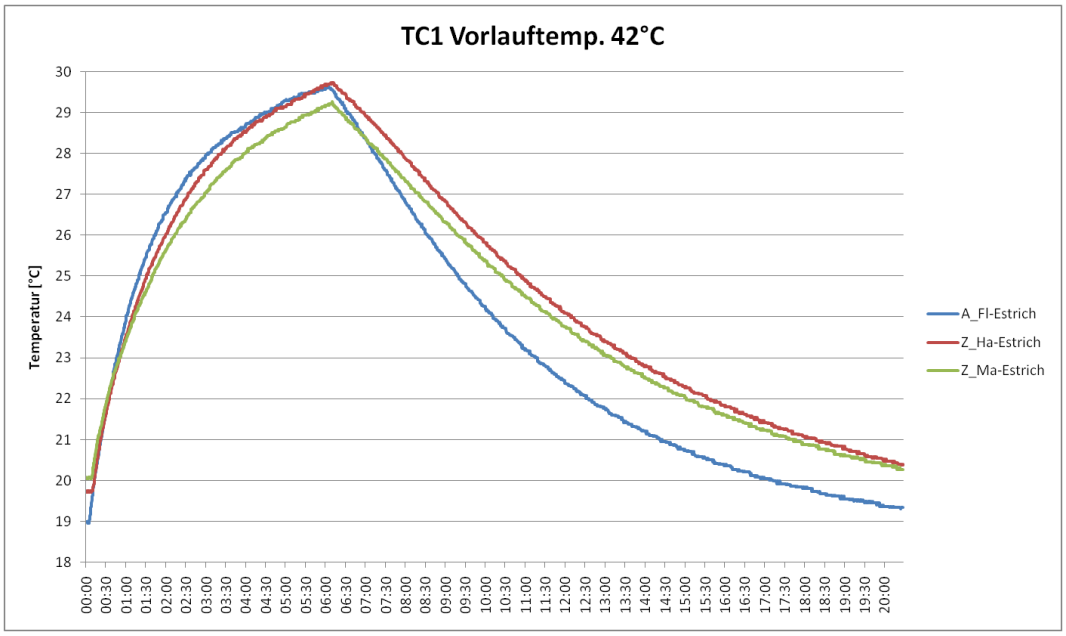

Diagramm 28 Temperatur unter der Trittschalldämmung bei einer Vorlauftemperatur von 42°C

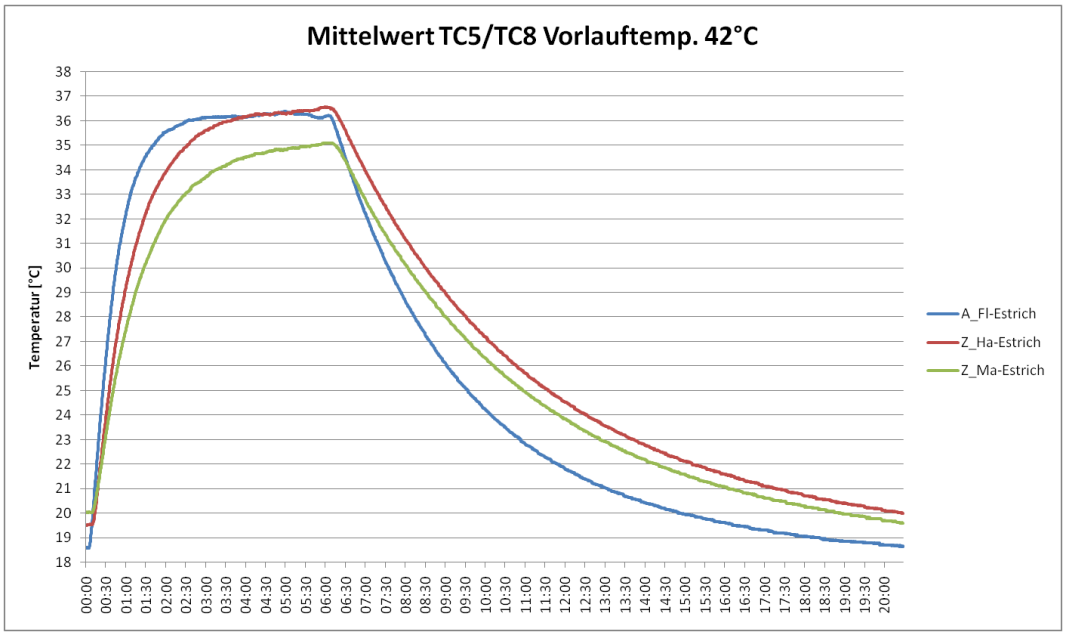

Diagramm 29 Mittelwert der Temperaturen im Estrich zwischen den Heizungsrohren bei einer Vorlauftemperatur von 42°C

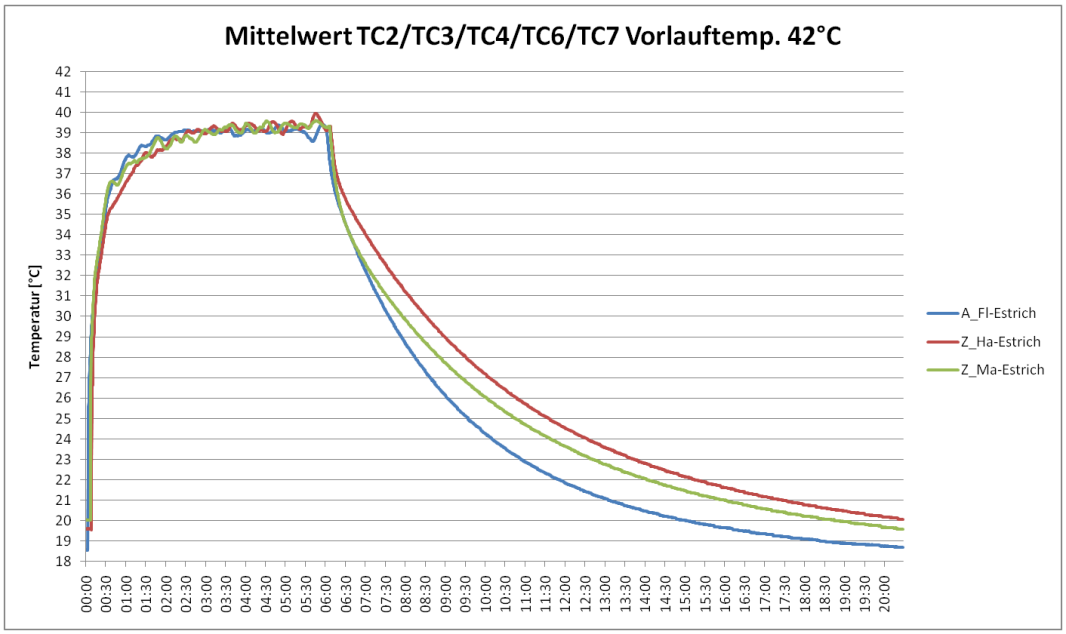

Diagramm 30 Mittelwert der Temperaturen im Estrich am Heizungsrohr bei einer Vorlauftemperatur von 42°C

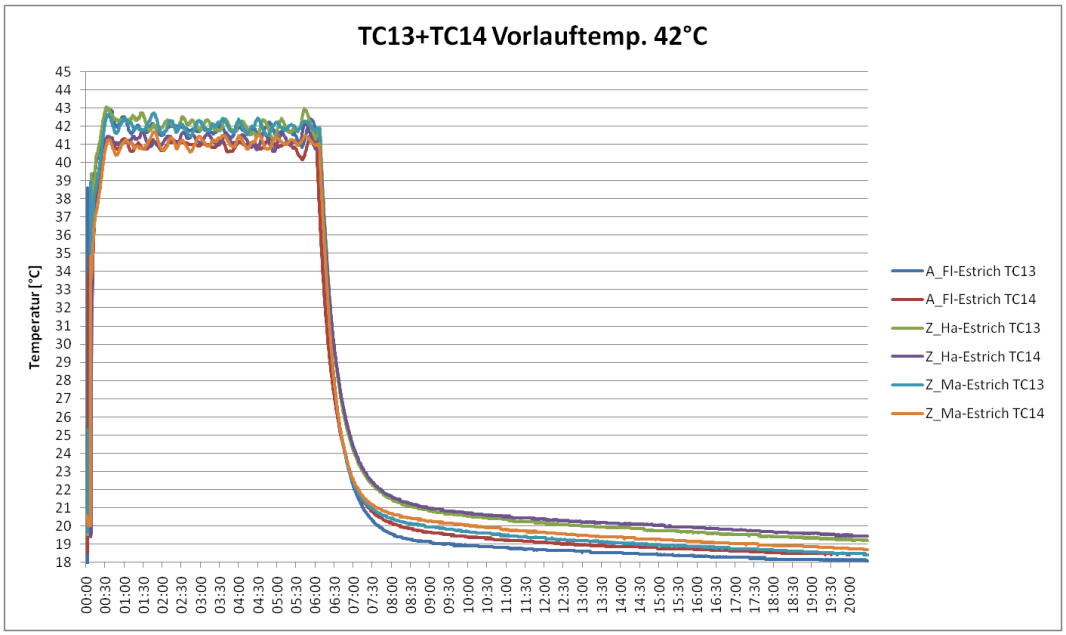

Diagramm 31 Vor- und Rücklauftemperatur (42°C)

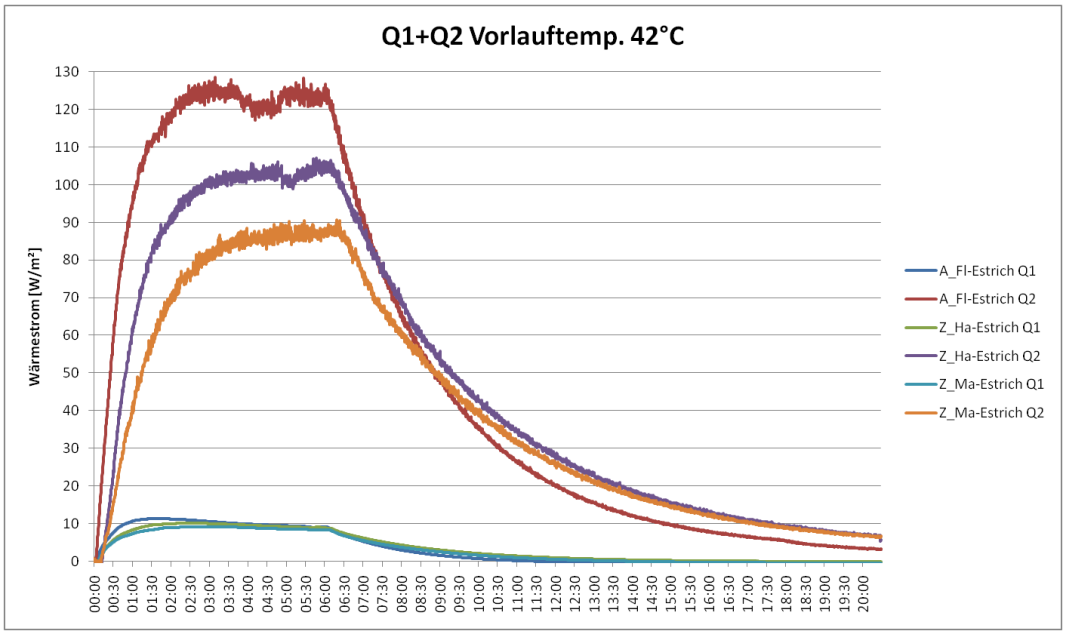

Diagramm 32 Wärmeströme bei einer Vorlauftemperatur von 42°C

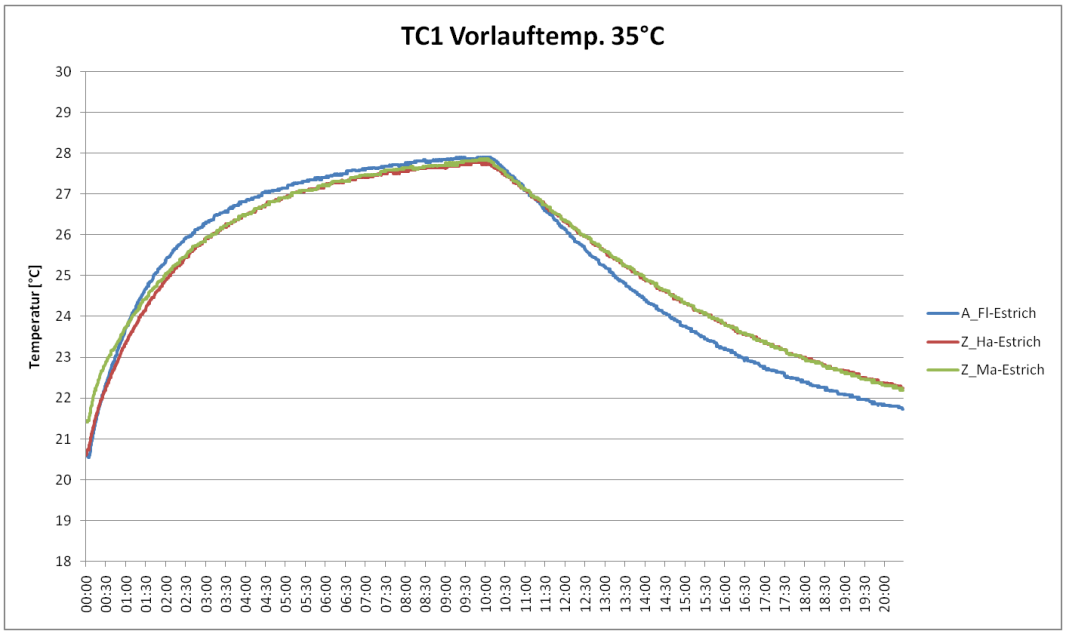

Diagramm 33 Temperatur unter der Trittschalldämmung bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

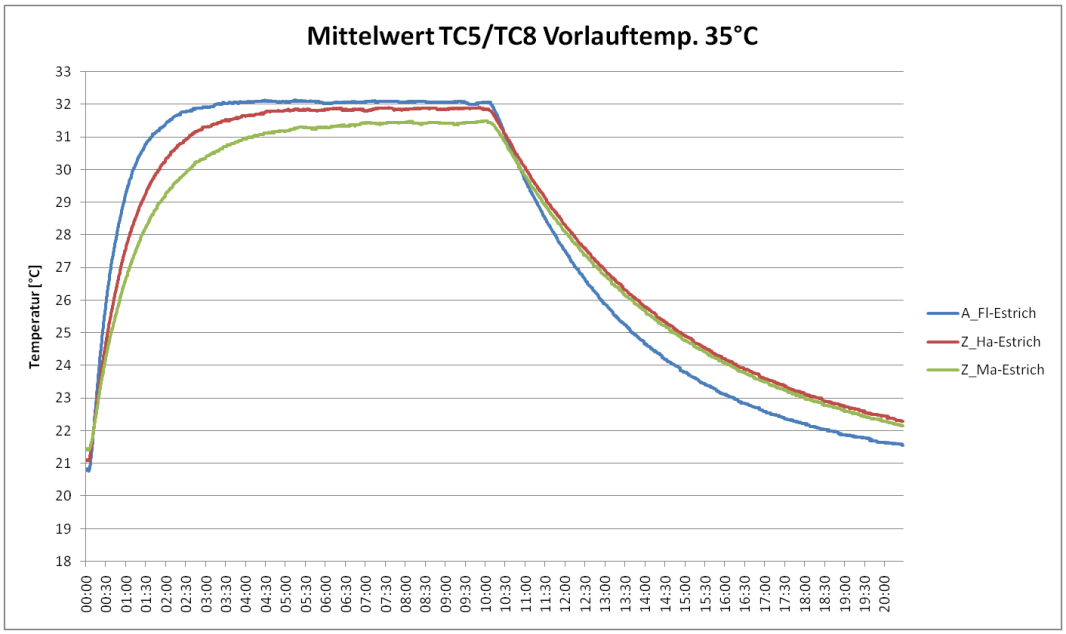

Diagramm 34 Mittelwert der Temperaturen im Estrich zwischen den Heizungsrohren bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

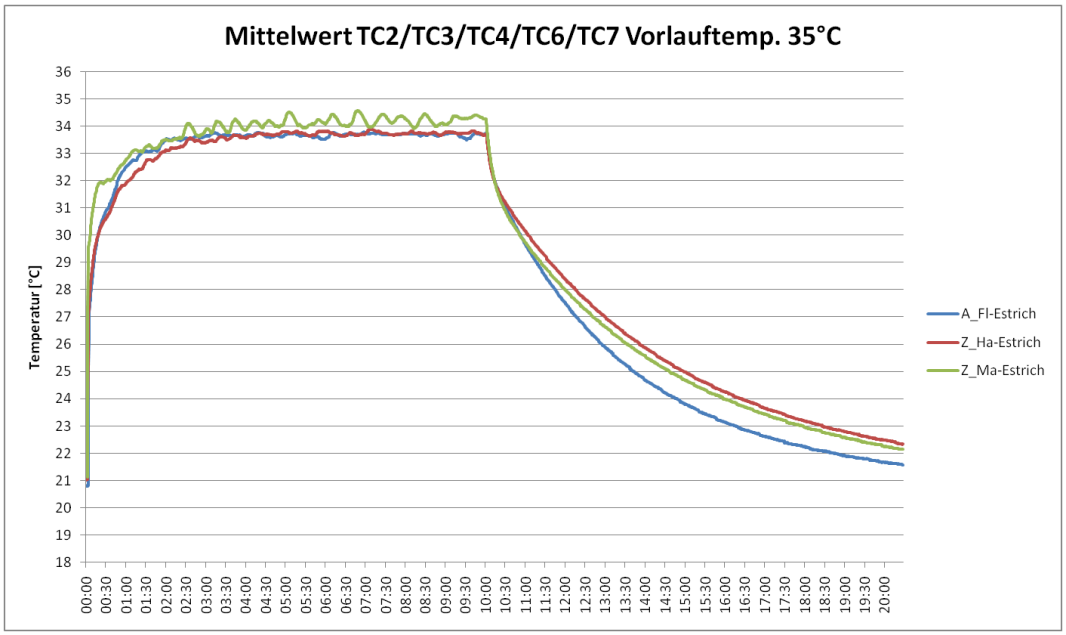

Diagramm 35 Mittelwert der Temperaturen im Estrich am Heizungsrohr bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

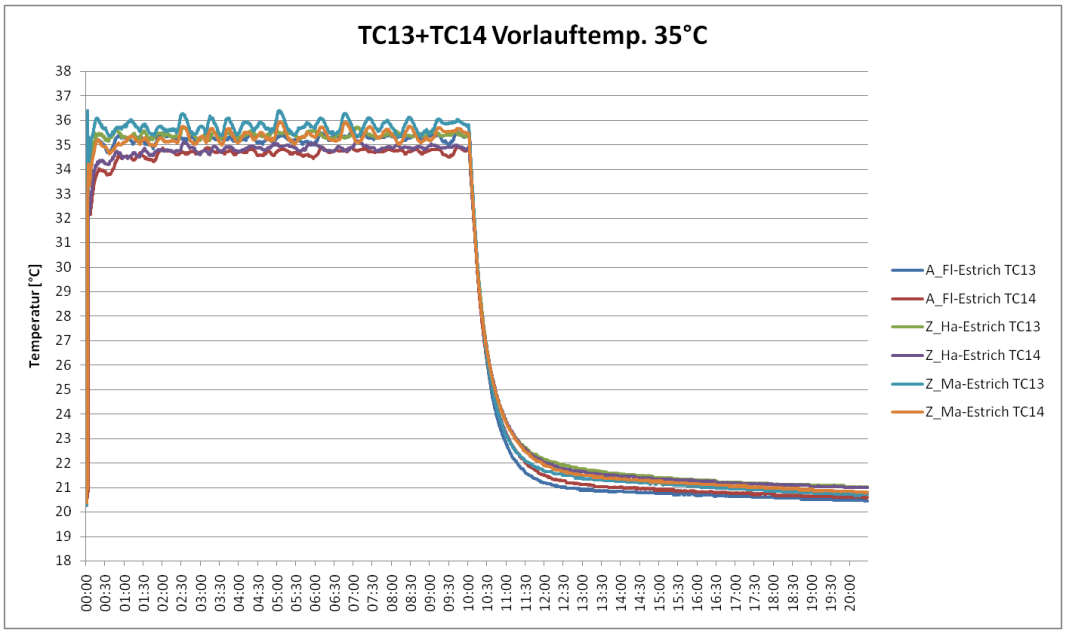

Diagramm 36 Vor- und Rücklauftemperatur (35°C)

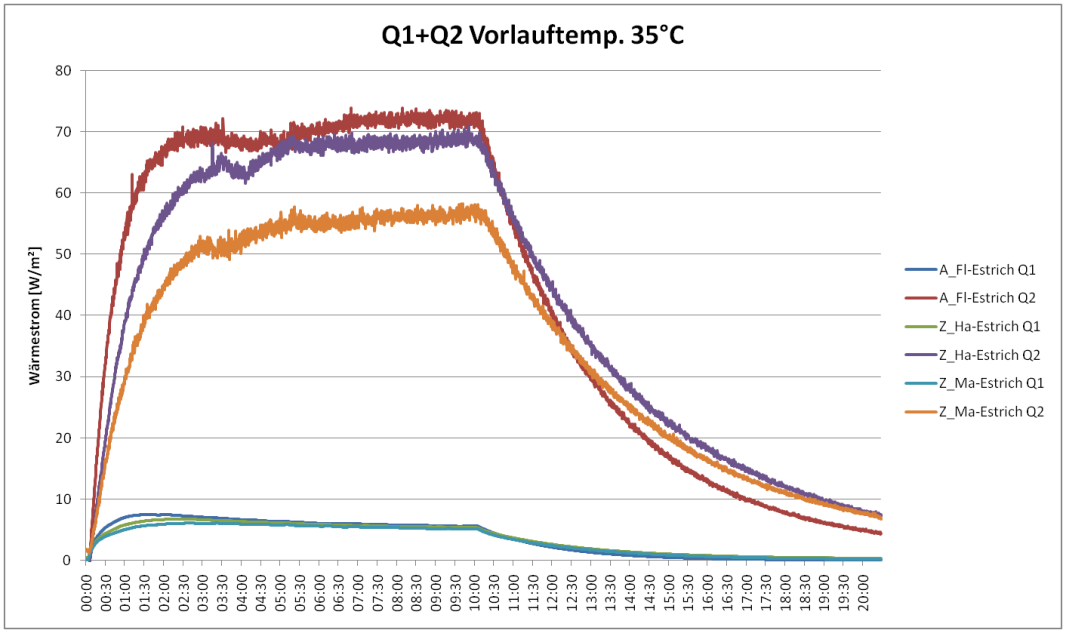

Diagramm 37 Wärmeströme bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

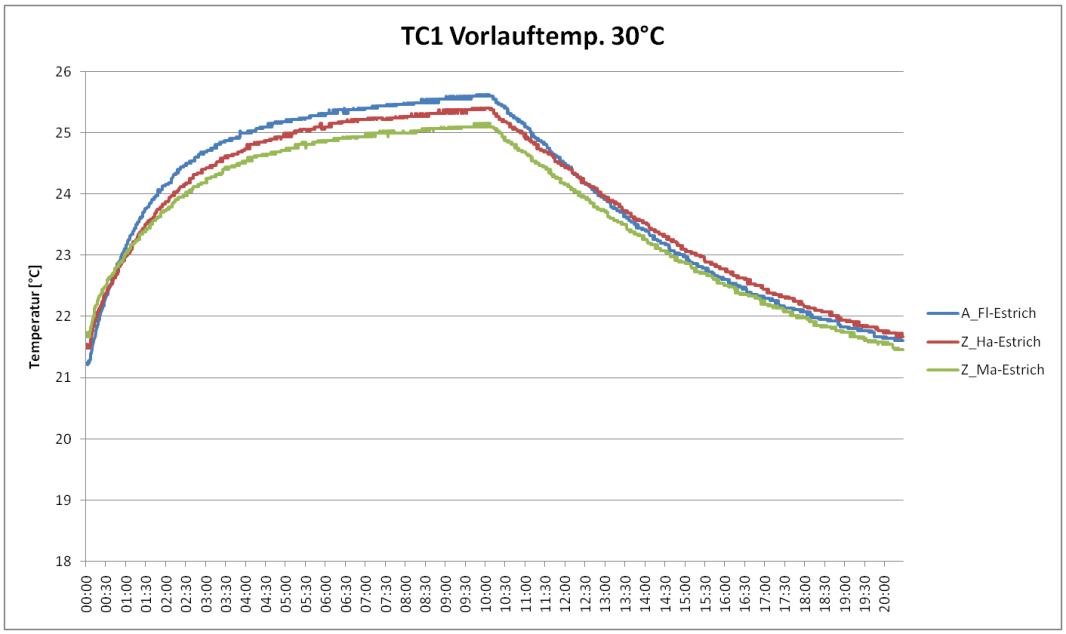

Diagramm Temperatur unter der Trittschalldämmung bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

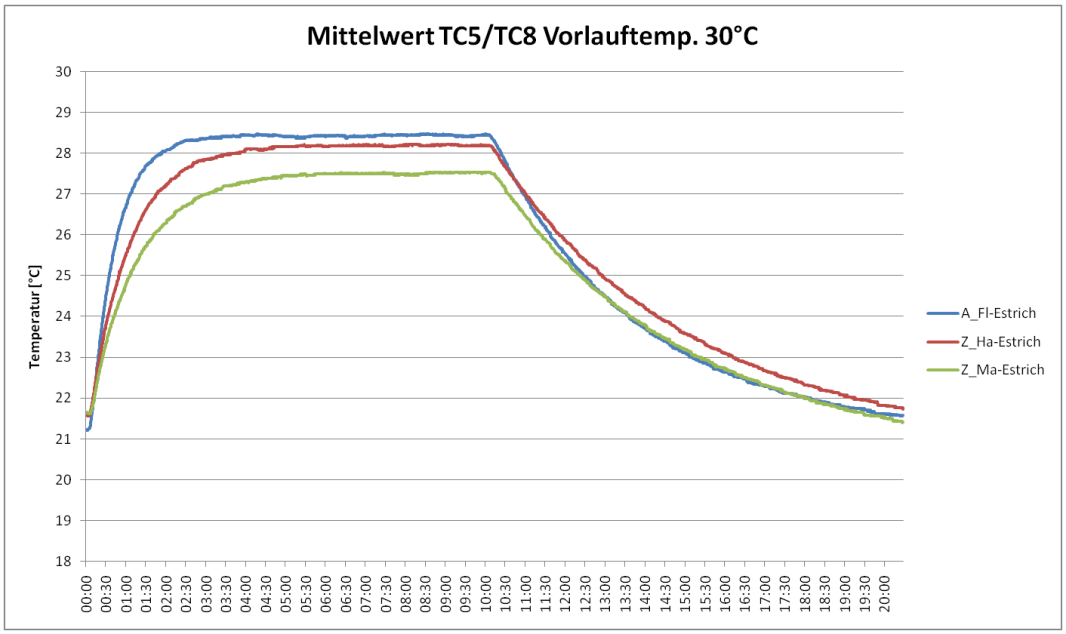

Diagramm 38 Mittelwert der Temperaturen im Estrich zwischen den Heizungsrohren bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

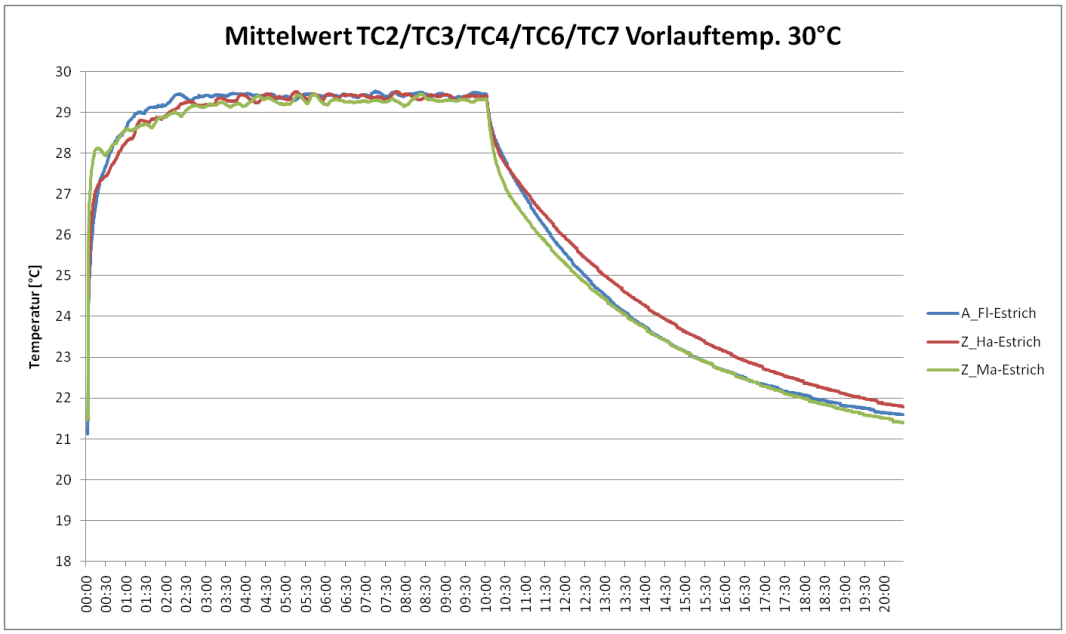

Diagramm 39 Mittelwert der Temperaturen im Estrich am Heizungsrohr bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

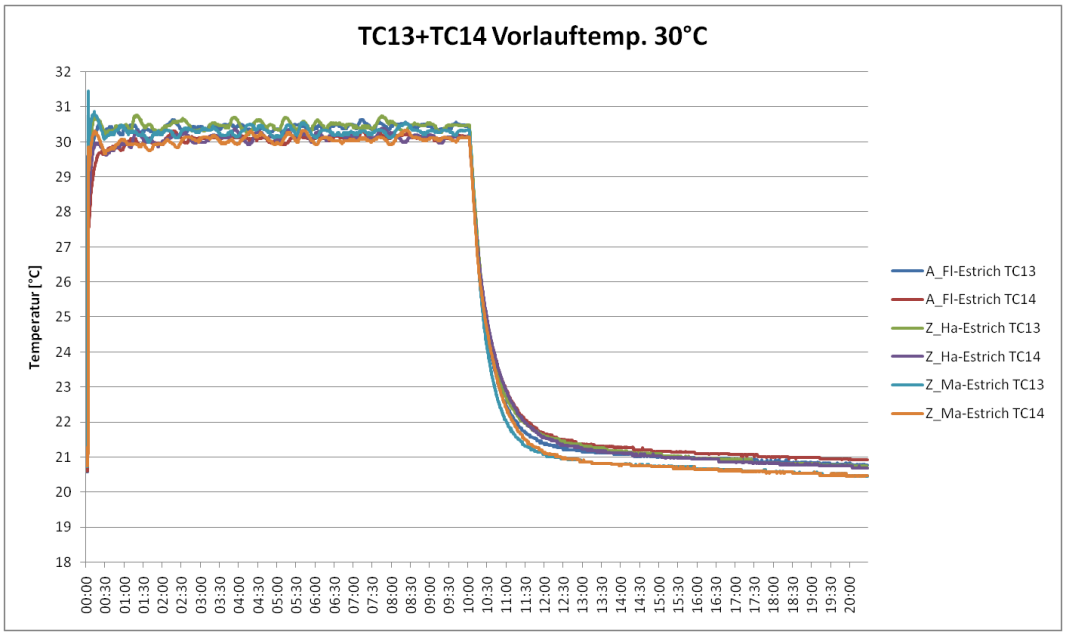

Diagramm 40 Vor- und Rücklauftemperatur (30°C)

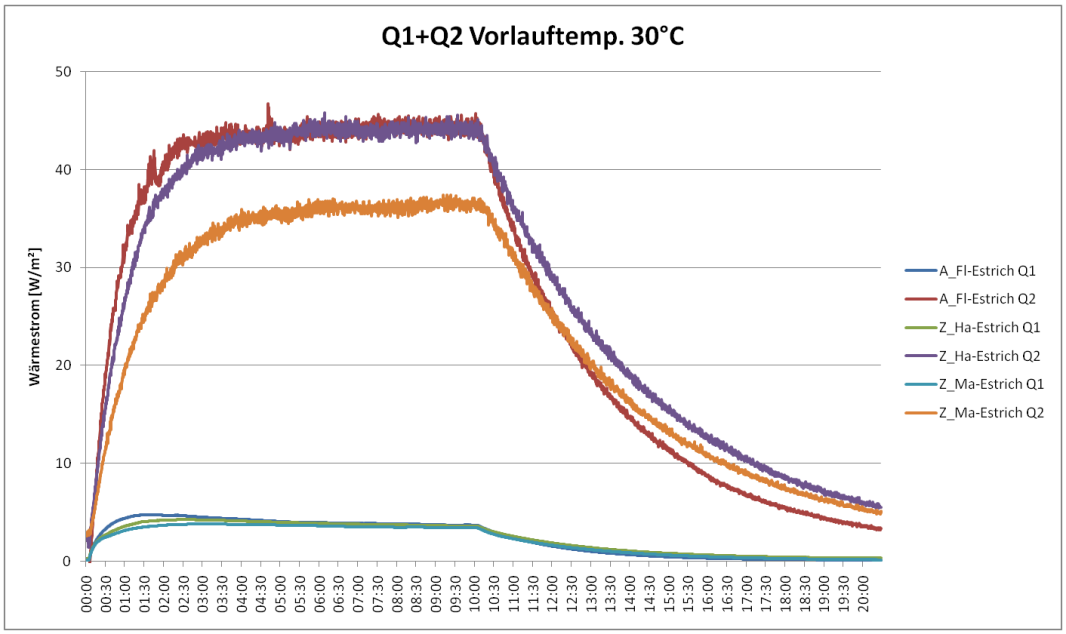

Diagramm 41 Wärmeströme bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

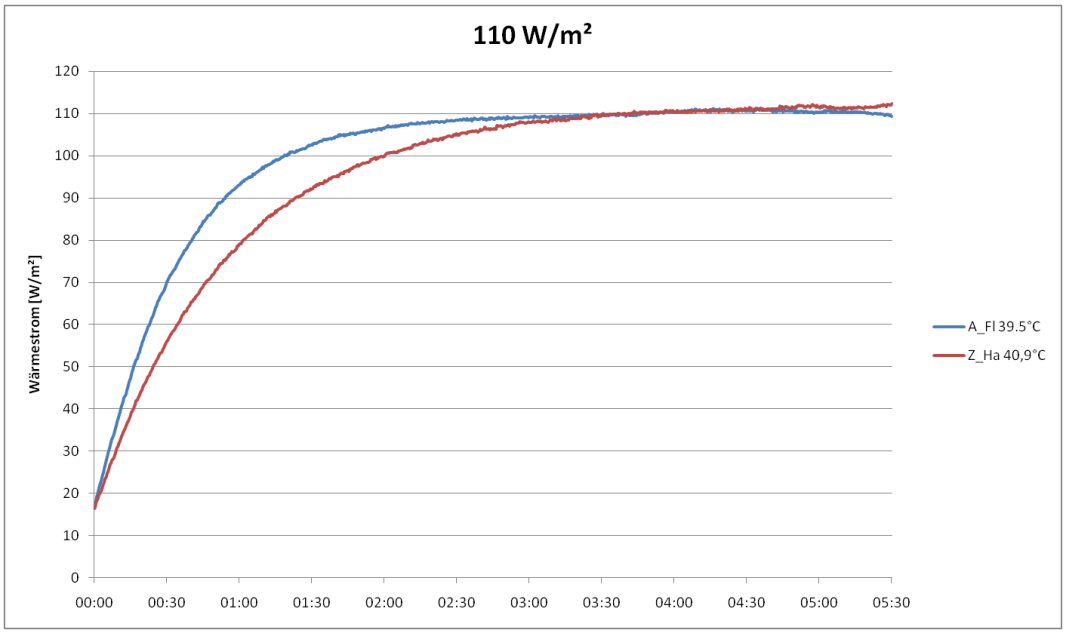

Diagramm 42 Interpolierte Kurven bei einen maximalen Wärmestrom von 110W/m²

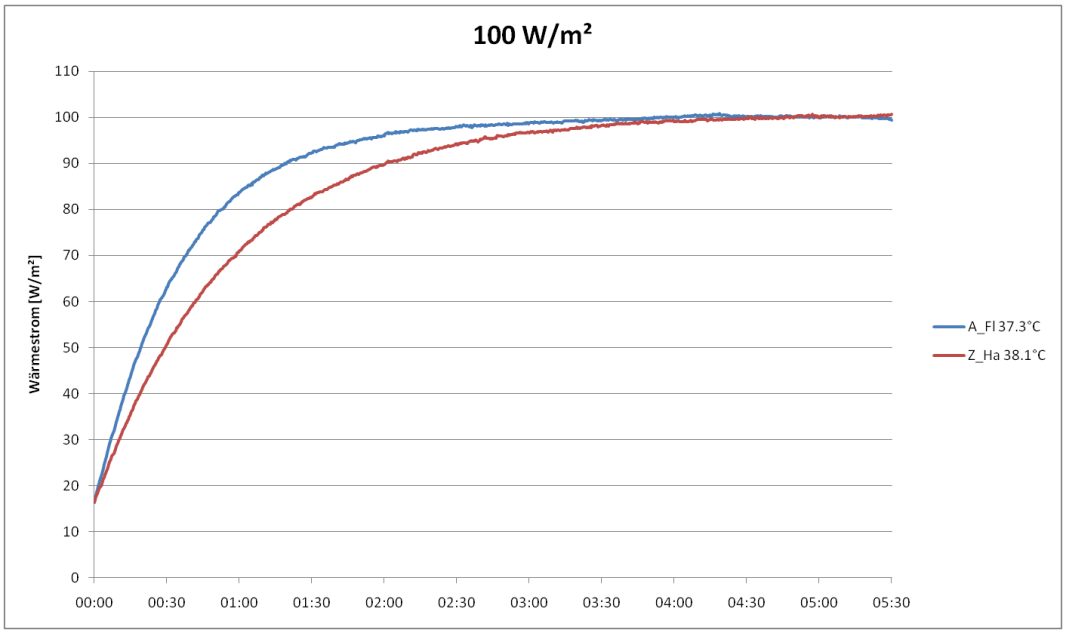

Diagramm 43 Interpolierte Kurven bei einen maximalen Wärmestrom von 100W/m²

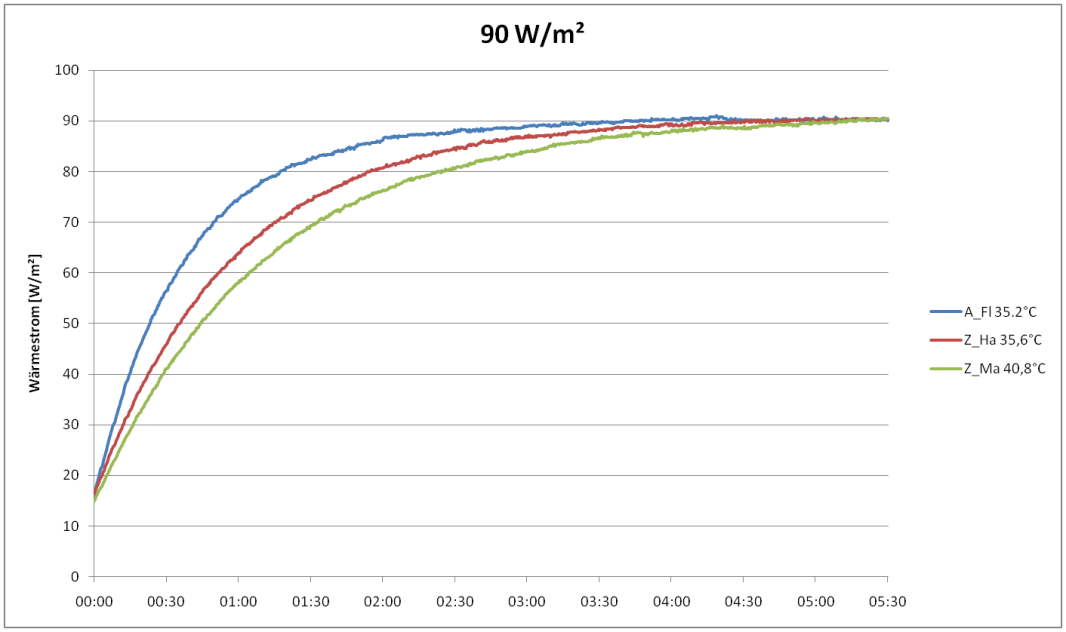

Diagramm 44 Interpolierte Kurven bei einen maximalen Wärmestrom von 90W/m²

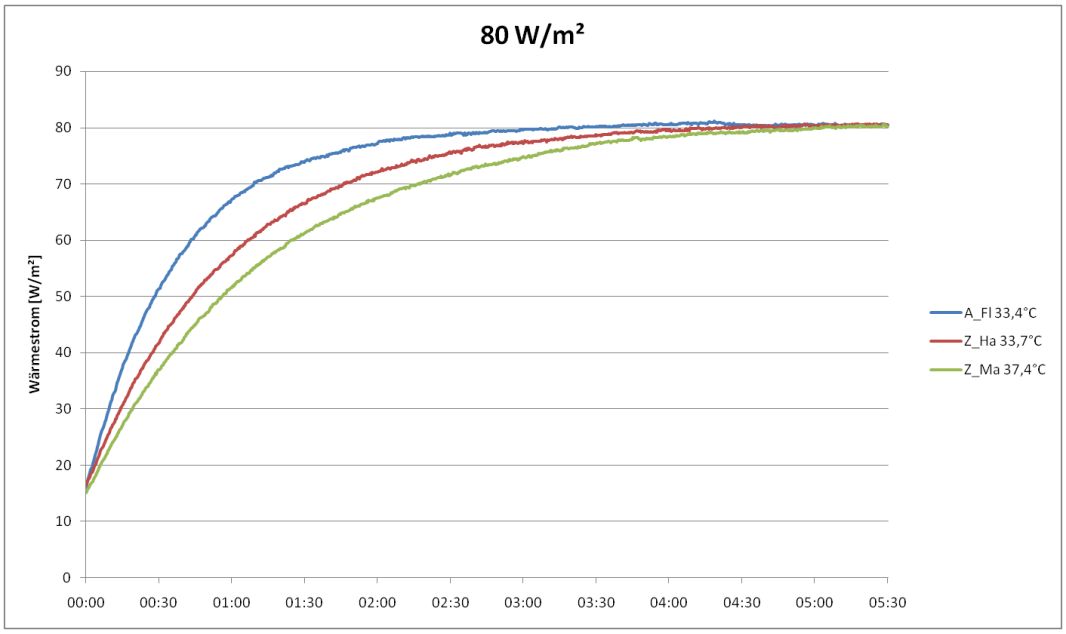

Diagramm 45 Interpolierte Kurven bei einen maximalen Wärmestrom von 80W/m²

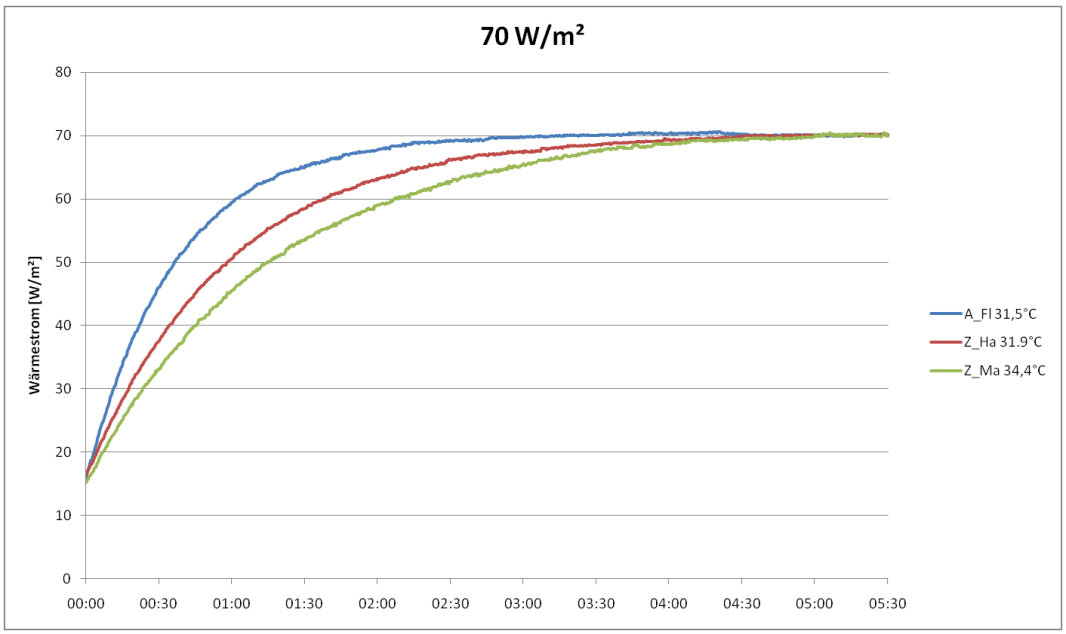

Diagramm 46 Interpolierte Kurven bei einen maximalen Wärmestrom von 70W/m²

10.2 Versuchsreihe 2

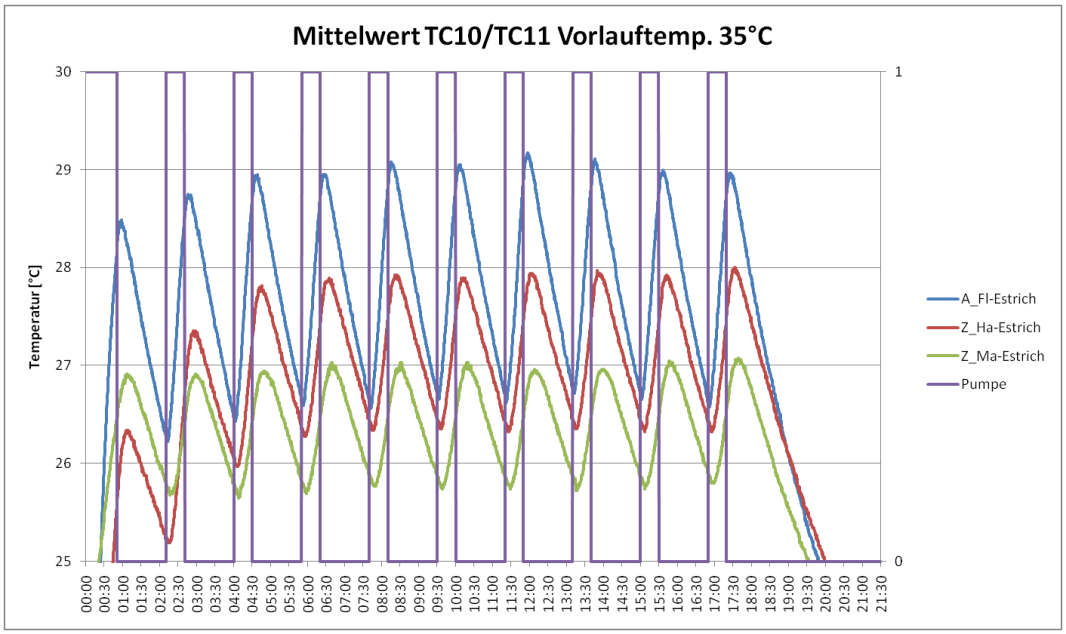

Diagramm 47 Mittlere Oberflächentemperaturen bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

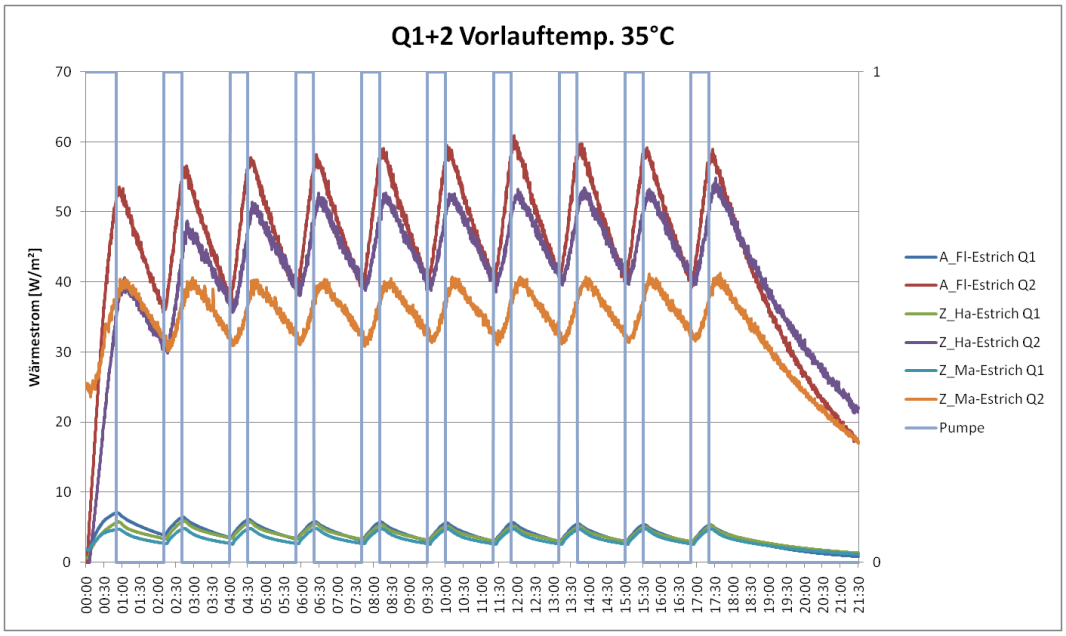

Diagramm 48 Wärmeströme bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

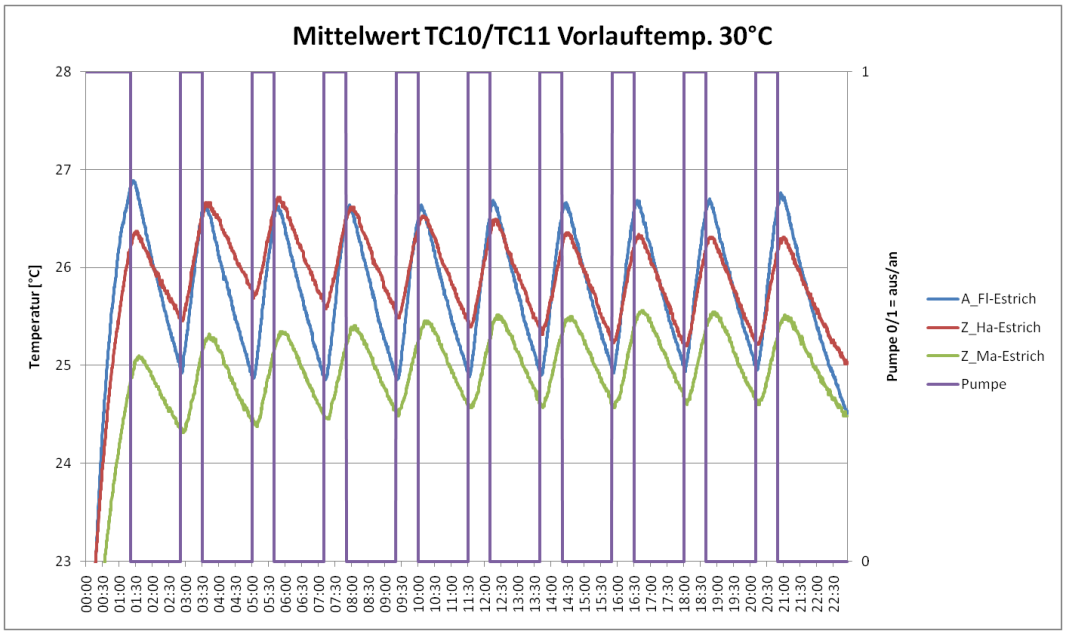

Diagramm 49 Mittlere Oberflächentemperaturen bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

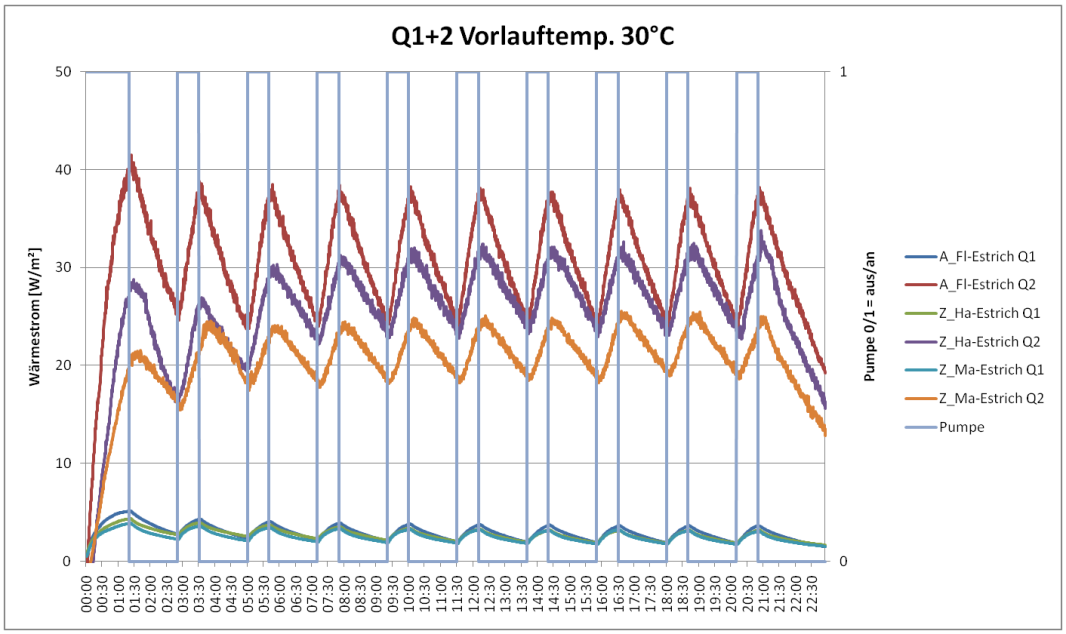

Diagramm 50 Wärmeströme bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

10.3 Versuchsreihe 3

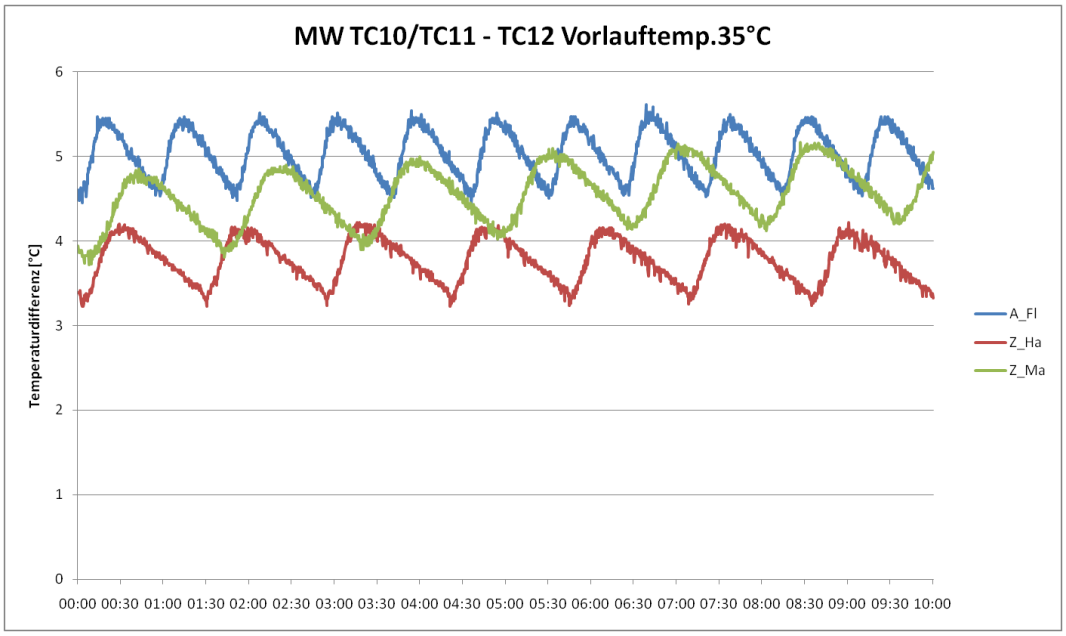

Diagramm 51 Mittlere Oberflächentemperatur – Raumlufttemperatur mit den Grenzen 26°C bis 27°C für die mittlere Oberflächentemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

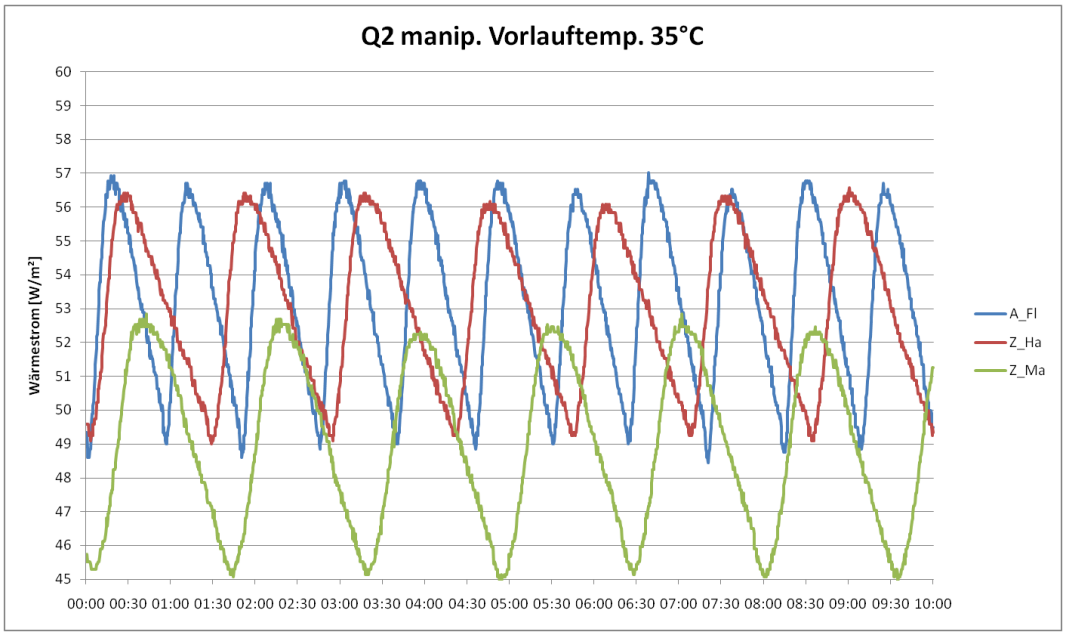

Diagramm 52 Wärmeströme mit den Grenzen 26°C bis 27°C für die mittlere Oberflächentemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 35°C

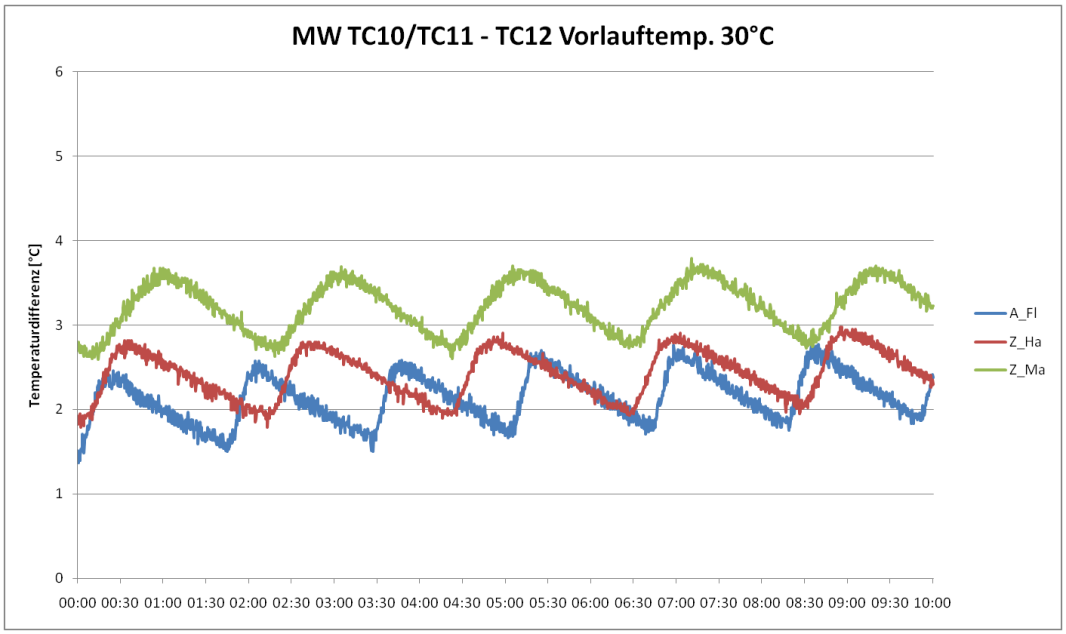

Diagramm 53 Mittlere Oberflächentemperatur – Raumlufttemperatur mit den Grenzen 24°C bis 25°C für die mittlere Oberflächentemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

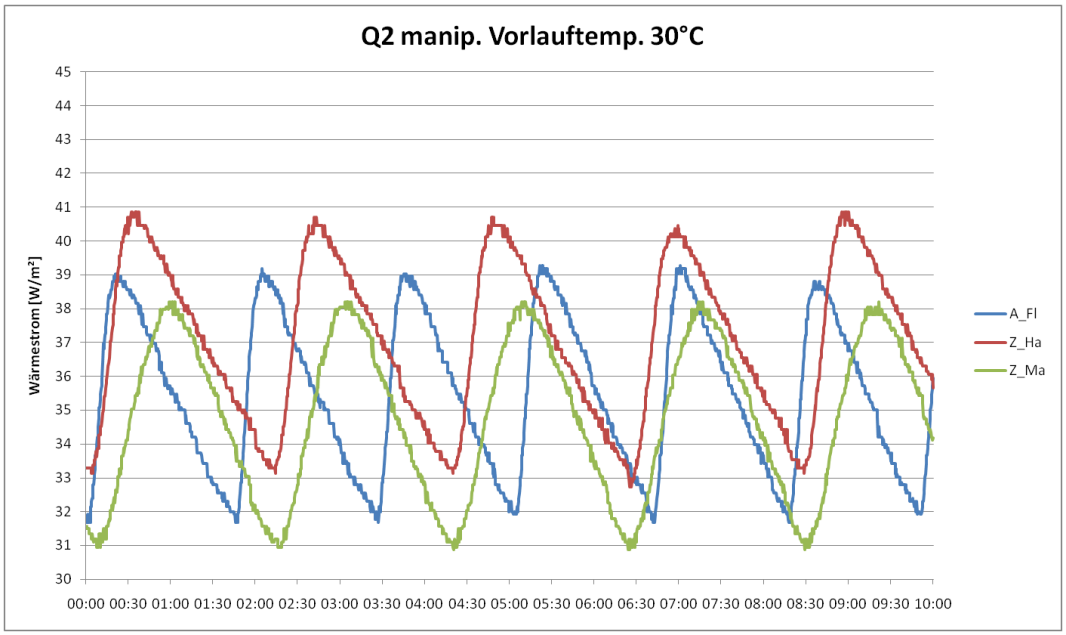

Diagramm 54 Wärmeströme mit den Grenzen 24°C bis 25°C für die mittlere Oberflächentemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

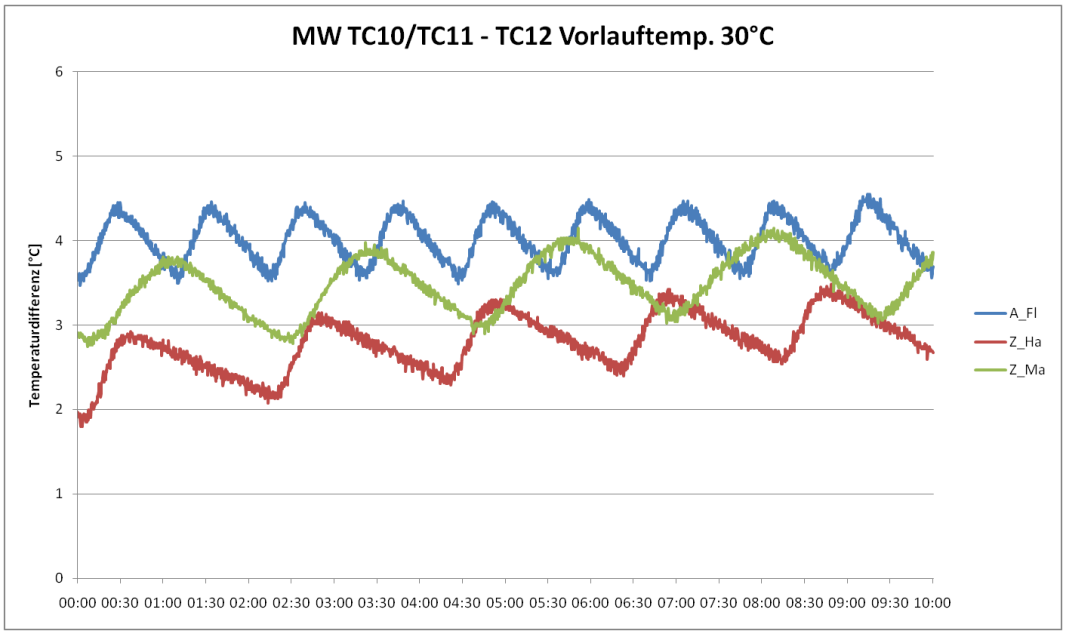

Diagramm 55 Mittlere Oberflächentemperatur – Raumlufttemperatur mit den Grenzen 25°C bis 26°C für die mittlere Oberflächentemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

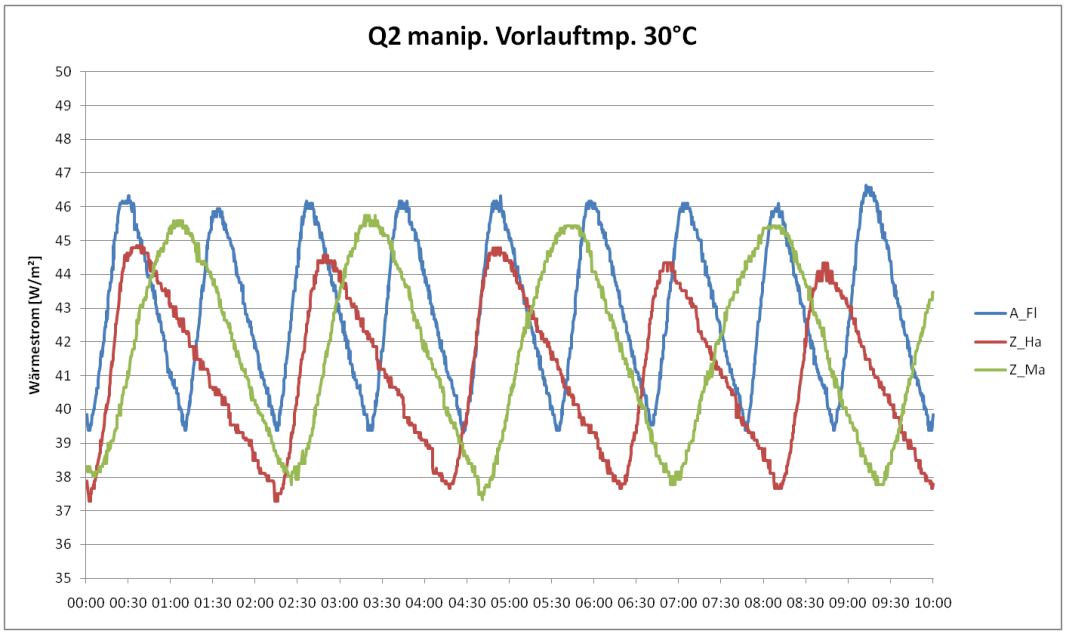

Diagramm 56 Wärmeströme mit den Grenzen 25°C bis 26°C für die mittlere Oberflächentemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 30°C