



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Michael Kruse

Matr.-Nr.: 2024256

Planung und konstruktive Umgestaltung der Wärmemengenmessung für den Laborversuch „Latentwärmespeicher“

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Michael Kruse

**Planung und konstruktive Umgestaltung
der Wärmemengenmessung für den
Laborversuch „Latentwärmespeicher“**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau - Energie- und Anlagensysteme
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüferin: Professorin Frau Dr.-Ing. H. Frischgesell

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Jens Brodersen

Abgabedatum: 3.1.2018

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Michael Kruse

Thema der Bachelorthesis

Planung und konstruktive Umgestaltung der Wärmemengenmessung für den Laborversuch „Latentwärmespeicher“

Stichworte

Latentwärmespeicher; Wärmestrommessung; Durchflussmesser;
Speicherprogrammierbare Steuerung

Kurzzusammenfassung

Der Schwerpunkt der Bachelorarbeit liegt in der Umgestaltung des Messkonzeptes der Wärmemengenmessung am Laborversuch Latentwärmespeicher. Die alten Wärmemengenzähler sollen durch einen Durchflussmesser und zwei Temperaturmessstellen ersetzt werden. Im Rahmen des Prüfstandumbaus soll der Istzustand analysiert und Fehler im System behoben werden. Zusätzlich sollen die Speicher einzeln ansteuerbar und regelbar sein um einen kontrollierten Durchfluss aller Speicher zu gewährleisten. Die Steuerung des Versuchsaufbaus wird in einen neuen Steuerungskasten übertragen, um die Temperaturmessstellen aller Speicher am Computer graphisch überwachen zu können.

Name of Student

Michael Kruse

Title of the paper

Planning and constructive redesigning of the heat flow measurement for the laboratory stand 'latent heat store'

Keywords

Latent heat store; Heat flow measurement; Flow meter; Programmable logic controller

Abstract

The focus of this bachelor thesis is the redesigning of the concept of measurement of the heat flow measurement with the laboratory test 'latent heat store'. The old heat meters are to be replaced by a flow meter and two temperature meters. Within the reconstruction of the laboratory stand the current state will be analyzed and errors in the system eliminated. Another aim is that each latent heat store is controllable by itself to achieve a controlled flow of all latent heat stores. The control of the laboratory stand will be dispatched to a new control station, to supervise the temperature meters of all latent heat stores graphically on a computer.

Aufgabenstellung

Im Zentrum für Energietechnik des Instituts für erneuerbare Energien und energieeffiziente Anlagen steht ein Versuchsaufbau für latente Wärme. Dieser verfügt derzeit über zwei Wärmemengenmessgeräte. Jeweils eins zum Beladen und Entladen des Wärmespeichers. Diese Geräte sollen durch ein Volumenstrommessgerät und zwei Temperaturmessstellen ersetzt werden. Das Volumenstrommessgerät und die Temperaturmesser werden an die vorhandene SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) angeschlossen. Der alte Steuerungskasten soll durch einen neuen ersetzt werden, um alle Signale verarbeiten zu können. Mit dem Programm LabVIEW werden die verarbeiteten Signale visualisiert und stehen für die weitere Auswertung zur Verfügung. Der Wärmestrom soll aus den vorhandenen Messwerten ermittelt werden.

Während dieses Umbaus sollen die Schwachstellen des gesamten Versuchsaufbaus analysiert werden. Die einzelnen Wärmespeicherzellen sollen durch Tacosetter einzeln angesteuert werden. Zusätzlich werden weitere Entlüftungen verbaut, um Lufteinschlüsse im System vorzubeugen.

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Symbole.....	I
Abkürzungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen.....	2
2.1 Arten von Thermischen Speichern	2
2.2 Latentspeicher	3
2.3 Wärmemengenummessung	4
3 Analyse des Istzustandes und kritische Betrachtung.....	6
4 Entwurf eines Messkonzeptes	13
4.1 Mögliche Messkonzepte.....	13
4.2 Vergleich der Messkonzepte	14
4.3 Auswahl eines Konzeptes	17
5 Konstruktive Gestaltung des Prüfstandes	18
5.1 Tacosetter.....	19
5.2 Optimierung der Rohrverlegung	20
5.3 Anschluss des Versuchsstandes.....	21
5.4 Steuerungskasten mit SPS Erweiterung.....	21
5.5 Optimierung der Halterung	21
5.6 Optimierung der Kabelführung	22
6 Auswahl und Beschaffung geeigneter Materialien.....	23
7 Umbau des Prüfstandes	25
7.1 Demontage des alten Prüfstandes	25
7.2 Spülen der Speicher.....	27
7.3 Neuverlegung der Rohre	28
7.4 Entlüfter	30
7.5 Installation der Messgeräte	31
7.5.1 Pumpe	31
7.5.2 Mischventile	32
7.5.3 Durchflussmesser	32
7.5.4 Temperaturmesser.....	32

7.5.5 Messstellenliste	33
7.6 Gestell Anpassung	34
7.7 Neugestaltung der Steuerungseinheit	34
7.8 Stückliste für den Umbau des Prüfstandes.....	36
7.9 Programmierung	37
7.9.1 Programmablaufplan	37
7.9.2 Programmoberfläche.....	39
8 Sollzustand	40
8.1 Inbetriebnahme und Erprobung.....	40
8.2 Berechnung der Wärmeströme bei der Beladung.....	41
9 Zusammenfassung und Fazit	45
Literatur- und Quellenverzeichnis.....	46
Anhang	47
A Kostenvoranschlag von Emil Stelling	47
B Lastenhefte.....	50
B – 1 Wärmemengenmessung.....	50
B – 2 Steuerung	50
C Datenblatt des Durchflussmessers.....	51
Selbstständigkeitserklärung	52

Formelzeichen und Symbole

Formelzeichen	Einheit	Bezeichnung
\dot{Q}	$W = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$	Wärmestrom
\dot{V}	$m^3 \cdot s^{-1}$	Volumenstrom
\dot{m}	$kg \cdot s^{-1}$	Massenstrom
c_p	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	spezifische Wärmekapazität
T	$^{\circ}C$	Temperatur
ρ	$kg \cdot m^3$	Dichte
x	—	Anzahl
V	dm^3	Volumen
f	s^{-1}	Frequenz
I	$W \cdot m^{-2}$	Intensität
A	m^2	Fläche

Abkürzungsverzeichnis

SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaften
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wasser Temperatur - Dichte - spezifische Wärmekapazität [4].....	5
Tabelle 2: Istzustand - Klemmenplan	8
Tabelle 3: Vergleich der Messkonzepte	14
Tabelle 4: Komponenten für den Prüfstandumbau	24
Tabelle 5: Messstellenliste Latentspeicher	33
Tabelle 6: Klemmenplan	35
Tabelle 7: Stückliste des Latentspeicherprüfstandes	36
Tabelle 8: Regler Parameter	40
Tabelle 9: Beladungstemperaturen	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arten von Speichern [1].....	2
Abbildung 2: Temperatur - Enthalpie Funktion [3]	3
Abbildung 3: Istzustand des Versuchsaufbaus Latentspeicher.....	6
Abbildung 4: Steuerungseinheit	7
Abbildung 5: Steuerung mit LabVIEW	7
Abbildung 6: Istzustand SPS.....	8
Abbildung 7: Istzustand Rohrverlegung	9
Abbildung 8: Istzustand Pumpe und Mischventile	10
Abbildung 9: Temperaturfühler.....	11
Abbildung 10: Istzustand Kabelverlegung	12
Abbildung 11: Magnetisch- Induktiver- Durchflussmesser [6]	15
Abbildung 12: Messturbine [9].....	16
Abbildung 13: Durchflussmesser Biotech DFM-Ms [10]	17
Abbildung 14: Tacosetter [11]	19
Abbildung 15: Entwurf für die Rohrverlegung	20
Abbildung 16: Kabelführung.....	22
Abbildung 17: Lötfitting mit Tacosetter	23
Abbildung 18: Kürzen der Zu- und Abflüsse des Speichers	25
Abbildung 19: Demontierte Prüfstandkomponenten	26
Abbildung 20: Spülen der Speicher.....	27
Abbildung 21: Löten der Rohrverbindungen.....	28
Abbildung 22: Rohrkonstruktion zur Be- und Entladung	29
Abbildung 23: Funktionsweise der Entlüfter [12]	30
Abbildung 24: Pumpendichtungsring.....	31
Abbildung 25: Pumpe.....	31
Abbildung 26: Mischventil	32
Abbildung 27: Steuerungskasten mit SPS.....	34
Abbildung 28: Programmablaufplan	37
Abbildung 29: Programmoberfläche.....	39
Abbildung 30: Aufschmelzen der Speicher.....	44

1 Einleitung

Die Energievorräte der Erde sind endlich. Die nächsten 20 bis 45 Jahre wird die Öl- und Gas-Technologie tragende Säule unseres Energiebedarfes sein. Steigende Preise in der Ölindustrie werden dafür sorgen, dass in Zukunft auch Quellen gefördert werden, die momentan noch nicht profitabel sind. Da eine Restrukturierung der Energieförderung viel Zeit in Anspruch nimmt, ist es sinnvoll schon jetzt nach Alternativen zu suchen, um diese ausgiebig auf ihre Funktionalität zu testen. Immer populärer werden die erneuerbaren Energien. Hierzu zählen beispielsweise Wind- und Solarenergie. Diese Energieformen treten jedoch unregelmäßig auf und müssen gespeichert werden, um zur benötigten Zeit einsatzbereit zu stehen. Strom, der durch Windenergie gewonnen wird, kann in Wasserkraftwerken gespeichert werden. Wasser wird auf ein erhöhtes Niveau gefördert und durch Turbinen geleitet, wenn Strom den Verbrauchern zur Verfügung stehen muss.

Solarenergie hingegen liegt in thermischer Form vor und kann in sensiblen, latenten und thermochemischen Speichern bereitgehalten werden. Die Prozesswärme solcher Solarkollektoren liegt meist unter 100°C. Daher eignen sich Latentwärmespeicher (latent, lat. latere: verborgen) optimal für die Speicherung. Der physikalische Effekt des Phasenwechsels des Speichermediums wird ausgenutzt, um thermische Energie zu speichern und dabei die Temperatur des Speichermediums zu erhöhen. Die Methodik dieser Art der Speicherung wird in den folgenden Jahren große Verwendung finden. Daher soll auf dieser Basis der Prüfstand "Latentwärmespeicher" umgebaut werden. Im Rahmen des Umbaus werden die Schwachstellen beseitigt und die Messtechnik überarbeitet. Temperaturmessstellen und ein Volumenstrommessgerät werden neu angeschafft. Mit dem Umbau des Prüfstandes wird die Benutzeroberfläche "LabVIEW" angepasst, um die Messergebnisse grafisch darzustellen. Der umgebaute Laborprüfstand wird den Studenten bereitgestellt um Versuche zu fahren und einen Einblick in die Technik der thermischen Speicher zu bekommen.

2 Grundlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit der latenten Wärmespeicherung und der Messung der Wärmemenge in den Speichern. Dazu werden zunächst die Arten von thermischen Speichern und latenter Wärme vorgestellt.

2.1 Arten von Thermischen Speichern

Wärme lässt sich in Form von thermischer oder chemischer Energie speichern. Die Speicherung von Wärme kann nur erfolgen, wenn sie in einem Stoff gespeichert ist. Bei der chemischen Wärmespeicherung wird Energie durch Reaktionsvorgänge freigesetzt, beispielsweise durch die Verbrennung eines Stoffes.

Energie kann aber auch thermisch gespeichert werden. Anders als bei der fühlbaren Wärme wird die latente Wärme nicht in Form einer Temperaturerhöhung in einer Flüssigkeit oder in einem Festkörper gespeichert, sondern erfolgt über die Änderung des Aggregatzustandes.

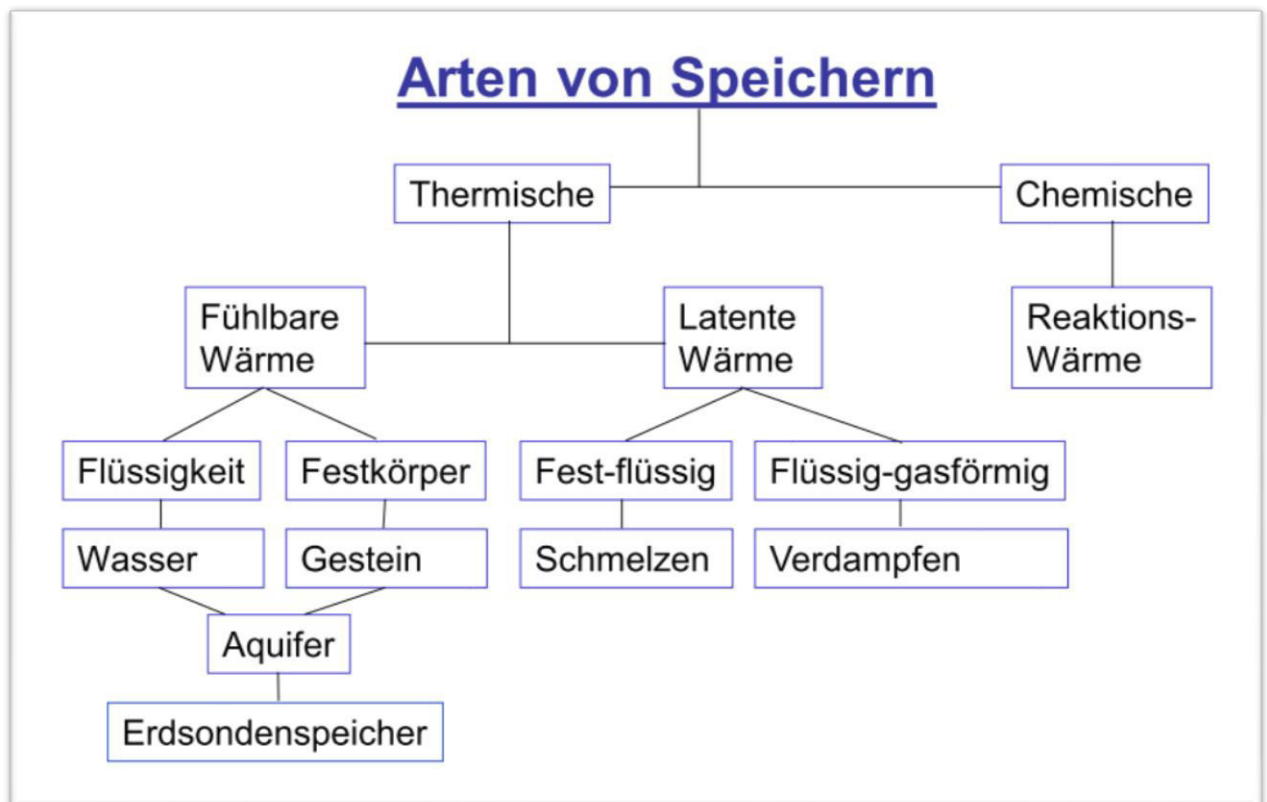


Abbildung 1: Arten von Speichern [1]

2.2 Latentspeicher

Um die Funktion der Wachsspeicher zu erläutern wird die Zustandsänderung anhand der Abbildung 2 erläutert. Im Bereich (1) liegt der feste Aggregatzustand des Stoffes vor. Die Temperatur des Eises steigt linear, bis eine Temperatur von 0°C erreicht ist. Während der Schmelze verändert sich der Aggregatzustand von fest zu flüssig. Hierzu wird Energie benötigt, jedoch bleibt die Temperatur konstant. Ist das Eis komplett aufgeschmolzen, steigt die Temperatur des Wassers bis 100°C. An diesem Punkt fängt das Wasser an zu verdampfen. Für die Verdampfung und die damit verbundene Aggregatzustandsänderung wird wieder Energie in Form von Wärme benötigt; die Temperatur bleibt bei diesem Vorgang konstant. Ist die Verdampfungsphase abgeschlossen, liegt Wasser nur noch in Form von Dampf vor. Bei weiterer Zufuhr von Energie steigt die Temperatur weiter linear an (3).

Im Zentrum für Energietechnik stehen Wachsspeicher für die Energiespeicherung. Die zugeführte Wärme wird in Form der Zustandsänderung von fest nach flüssig im Wachs gespeichert. Während dieser Zustandsänderung ändert sich die Enthalpie, jedoch nicht die Temperatur im Wachsspeicher [2]. Die Schmelztemperatur der Wachsspeicher liegt in etwa bei 62°C.

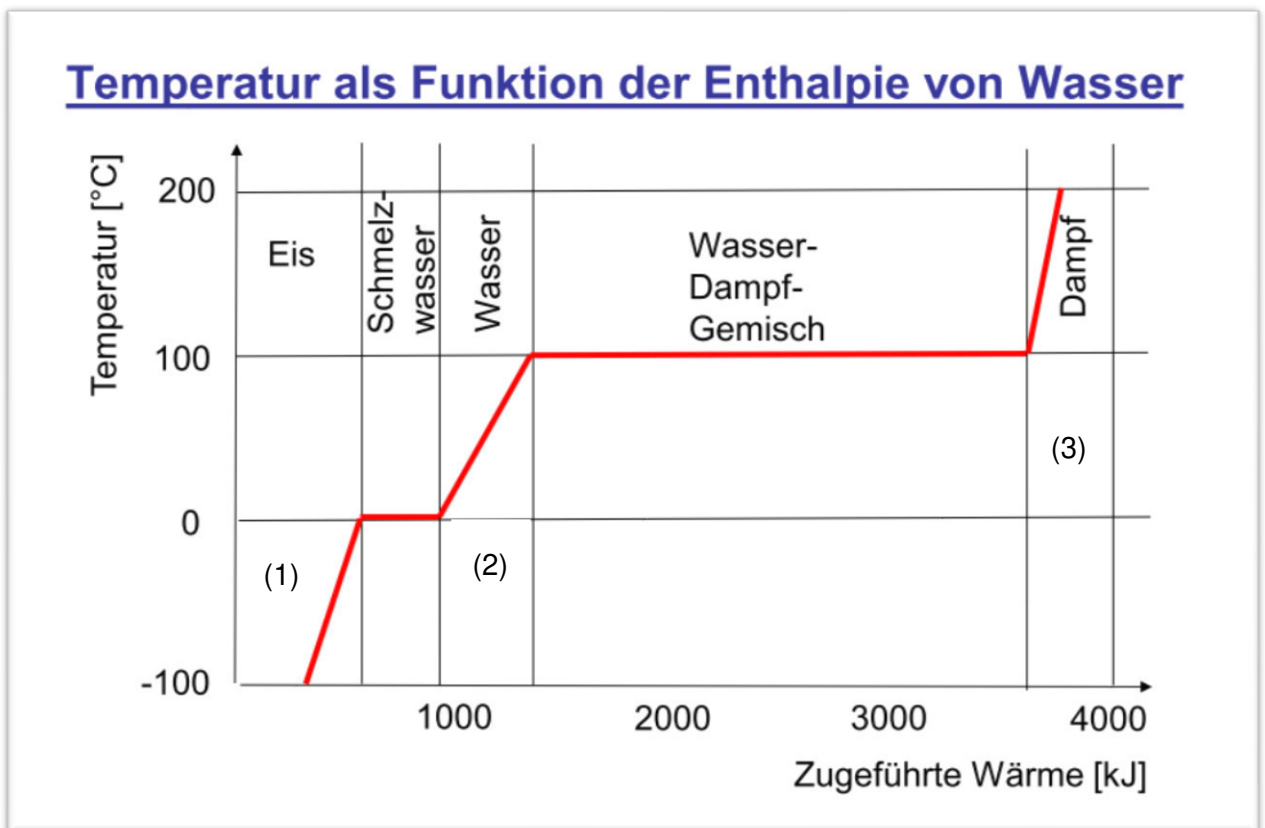


Abbildung 2: Temperatur - Enthalpie Funktion [3]

2.3 Wärmemengenmessung

Um einen detaillierteren Überblick über die Kapazität des Latentwärmespeichers zu bekommen, ist es sinnvoll bei der Beladung und Entladung die Wärmeströme zu messen und zu überwachen. Mithilfe der zugeführten Wärme lässt sich bestimmen, wie groß die Kapazität des Speichers ist. Um den Wärmestrom \dot{Q} zu bestimmen wird der Massenstrom \dot{m} , die spezifische Wärmekapazität des Mediums c_p sowie die Temperaturdifferenz zwischen Eintritt und Austritt des Speichers ΔT benötigt.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Die Bestimmung des Wärmestroms erfolgt über die Messung des Massenstromes. Um den Massenstrom \dot{m} zu bestimmen wird der Volumenstrom \dot{V} gemessen und mit der temperaturabhängigen Dichte multipliziert.

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho(T) \quad (2.2)$$

Die Dichte von Wasser ist temperaturabhängig. Mithilfe eines Densimeters wurden folgende Werte für die Dichte von Wasser bei 1 bar Überdruck ermittelt. Der Versuchsaufbau weist Temperaturen zwischen 15° und 90°C auf. Zur Berechnung des Wärmestroms wird die spezifische Wärmekapazität benötigt, welche auch eine Abhängigkeit der Temperatur aufweist. Die spezifische Wärmekapazität gibt an, wie viel Energie benötigt wird, um einen Stoff mit der Masse von 1kg um 1K zu erhöhen. Auch die spezifische Wärmekapazität c_p wird tabellarisch abgelesen, da für das Medium Wasser bereits sehr genaue Werte vorliegen.

Temperatur [°C]	Dichte [kg/dm ³]	spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg*K)]
15	0,999103	4,189
20	0,998207	4,185
25	0,997048	4,182
30	0,995650	4,180
35	0,994030	4,179
40	0,992220	4,179
45	0,990210	4,179
50	0,988040	4,180
55	0,985690	4,181
60	0,983200	4,193
65	0,980550	4,185
70	0,977760	4,188
75	0,974840	4,192
80	0,971790	4,196
85	0,968610	4,200
90	0,965310	4,209

Tabelle 1: Wasser Temperatur - Dichte - spezifische Wärmekapazität [4]

Die Temperaturdifferenz ΔT wird über Temperaturfühler bestimmt. Folglich ergibt sich eine Rechnung für den Wärmestrom mit:

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho(T) \cdot c_p(T) \cdot \Delta T \quad (2.3)$$

Eine Rechnung für den Wärmestrom findet sich im Kapitel: 8.2 Berechnung der Wärmeströme bei der Beladung.

3 Analyse des Istzustandes und kritische Betrachtung

Auf dem Bild ist der Versuchsstand „Latentwärmespeicher“ zu sehen. Dieser befindet sich an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) im Gebäude BT11 im Zentrum für Energietechnik (ZET). Mit den Grundlagen der Veranstaltungen Thermodynamik, energieeffiziente Anlagen und Wärmeübertragung werden an dem Versuchsaufbau Labore durchgeführt.

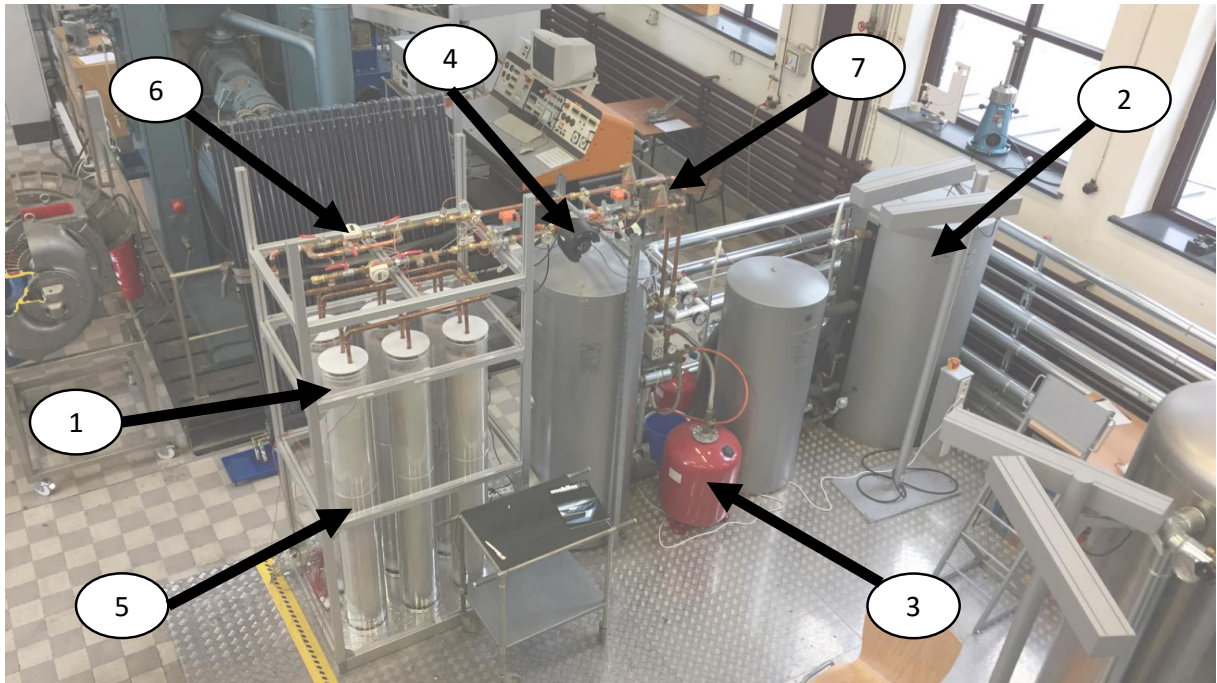


Abbildung 3: Istzustand des Versuchsaufbaus Latentspeicher

Zu dem Versuchsaufbau gehören sechs Wachsspeicher (1), ein sensibler Wärmespeicher (2), ein Ausgleichsgefäß (3), eine Pumpe (4), 15 Temperaturmessstellen (5), zwei Wärmemengenzähler (6) sowie zwei Entlüftungsventile (7).

Überwacht und gesteuert wird der Prüfstand über einen Computer. Die Steuerungseinheit gibt Informationen zu den Temperaturen im System, steuert die Mischventile und regelt die Pumpe, die für die Zirkulation des Prüfstandes zuständig ist. Mit dem Steuerungscomputer sind auch andere Versuchseinheiten wie zum Beispiel der Sonnensimulator und die Solaranlage gekoppelt, die aber für diesen Prüfstand nicht relevant sind und daher nicht weiter betrachtet werden.



Abbildung 4: Steuerungseinheit

Über Fernwärme wird mit einer Temperatur von ca. 90°C den Wachspeichern Energie in Form von Wärme zugeführt. Bei einer Temperatur von 60-62°C beginnt die Schmelzphase des Waxes in den Zellen, wodurch sich der Aggregatzustand ändert. Die Beladung der Speicher ist abgeschlossen, wenn das komplette Wachs in den Röhren geschmolzen ist. Wird zu einem späteren Zeitpunkt Wärme benötigt, wird kaltes Wasser durch die Speicher gepumpt, welches die gespeicherte Energie aufnimmt.



Abbildung 5: Steuerung mit LabVIEW

Über einen Laptop und das LabVIEW-Programm können die Temperaturen in den Speichern überwacht werden. Das Programm übermittelt momentan acht Speichertemperaturen. In jedem Speicher gibt es zwei mögliche Messstellen. Ein Speicher weist sogar mehrere Anschlussmöglichkeiten auf.

Auch die Mischventile werden über das LabVIEW- Programm gesteuert. So können Vorlauftemperatur und Beladungstemperaturdifferenzen reguliert werden.

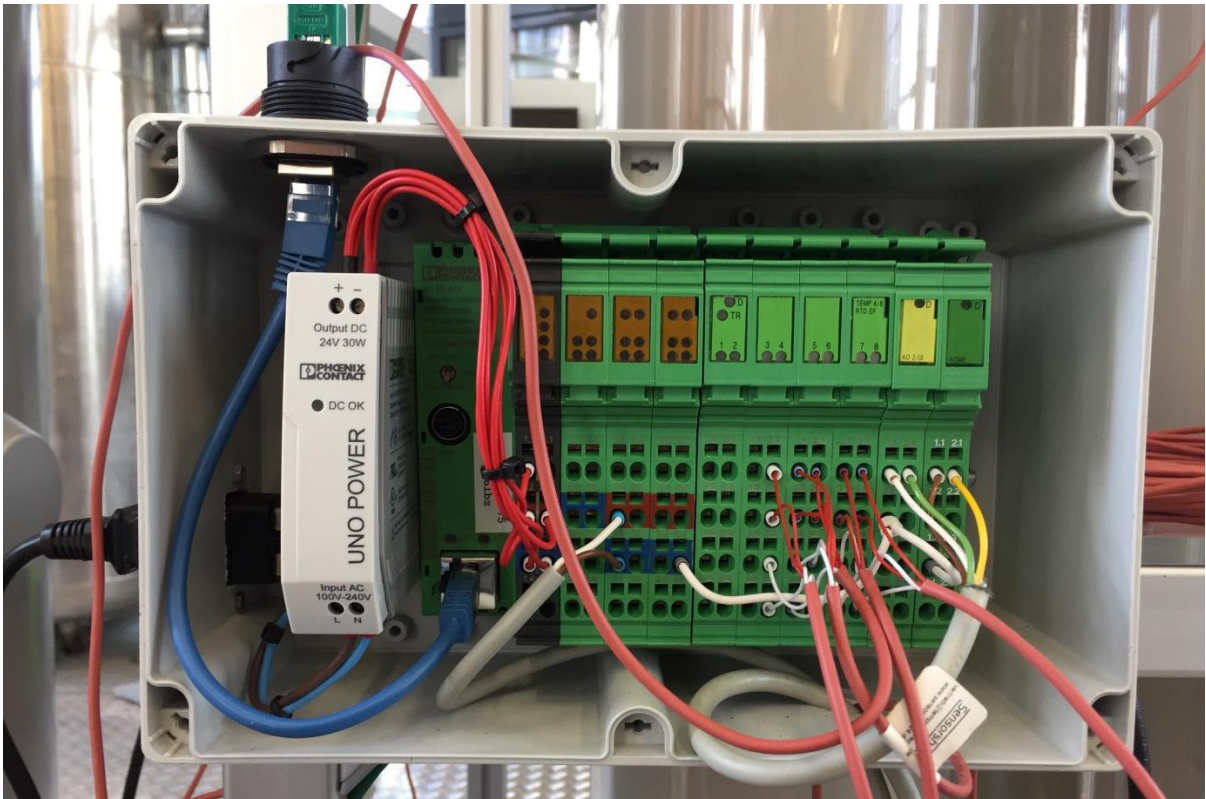


Abbildung 6: Istzustand SPS

In dem Schaltkasten befindet sich die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) mit den Anschlussklemmen. Diese wird über das Stromnetz mit 230V versorgt. Die Daten werden über ein Netzkabel an den Schaltschrank übermittelt. Über die SPS erfolgt die Regelung der Mischventile und die Ausgabe der Daten der Temperaturfühler. Die Tabelle 2 zeigt den Klemmenplan des Istzustandes mit den angeschlossenen Temperaturfühlern und den Steuerungskabeln der Mischventile.

Klemmenplan										
Komponente	Stromversorgung				Temperaturmesser				Mischer	
Messort	-				Paraffinspeicher				System	
Klemme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Messgerät	-	-	-	-	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100
Bezeichnung	I1	I2	I3	I4	Z1	Z2	Z3	Z4	MV1	MV2
Vorhanden /v benötigt /b	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v

Tabelle 2: Istzustand - Klemmenplan

Der Prüfstand verfügt derzeit über sechs Wachsspeicher, die die zugeführte Wärme aufnehmen. Die Zellen sind alle parallel geschaltet, können aber nicht einzeln geregelt werden. Durch Strömungswiderstände ist eine gleichmäßige Beladung der Zellen nicht möglich. Die Zellen, die vorne im Verteilerlauf positioniert sind, werden besser durchströmt und schmelzen früher. Hinzu kommt, dass die Rohrleitungen einen Hochpunkt haben, wo sich Luft einschließt. Hier fehlen Entlüfter, die dem entgegenwirken. Die Rohrleitung ist in Abbildung 7 dargestellt.



Abbildung 7: Istzustand Rohrverlegung

Derzeit wird die Anlage mit zwei Wärmemessgeräten überwacht. Davon misst ein Wärmemengenzähler die Beladung der Speicher und einer steht für die Wärmemengenmessung bei der Entladung zu Verfügung. Dadurch, dass zwei Wärmemengenzähler verbaut sind, wird für die Konstruktion viel Platz benötigt. Zusätzlich sind mehrere Absperrhähne verbaut, die für den Prüfstand keine weitere Bedeutung haben.

Die Verbindungen sind teilweise Schraubverbindungen, teilweise lockere Tectite-Verbindungen. Tectite-Fittinge haben eine größere Einstecktiefe als Löt-Fittinge und benötigen somit mehr Bauraum. Durch die lockeren Verbindungen und zu wenige Befestigungen ist eine ordnungsgemäße Bauweise nicht gegeben und aus den Verbindungen tritt teilweise Wasser aus.

Um die Fernwärme durch die Wachsspeicherzellen zu leiten ist eine Pumpe installiert. Die Pumpe ist das schwerste Bauteil im Versuchsaufbau. Aufgrund der vorhandenen Konstruktion ist die Pumpe nicht fachgerecht befestigt. Wie in Abbildung 8 zu sehen ist, gibt es keine Halterung für die Pumpe. Sie hängt an der Rohrkonstruktion und belastet die Verbindungsstücke der Rohrleitungen, sodass an diesen Stellen Wasser austritt. Die Dichtungen der Pumpe sind aus Pappe. Im Laufe der Zeit ist die Dichtung hart und spröde geworden und weist keine komplett dichtende Funktion mehr auf. Dieses Bauteil sollte beim Neuaufbau des Prüfstandes erneuert werden.

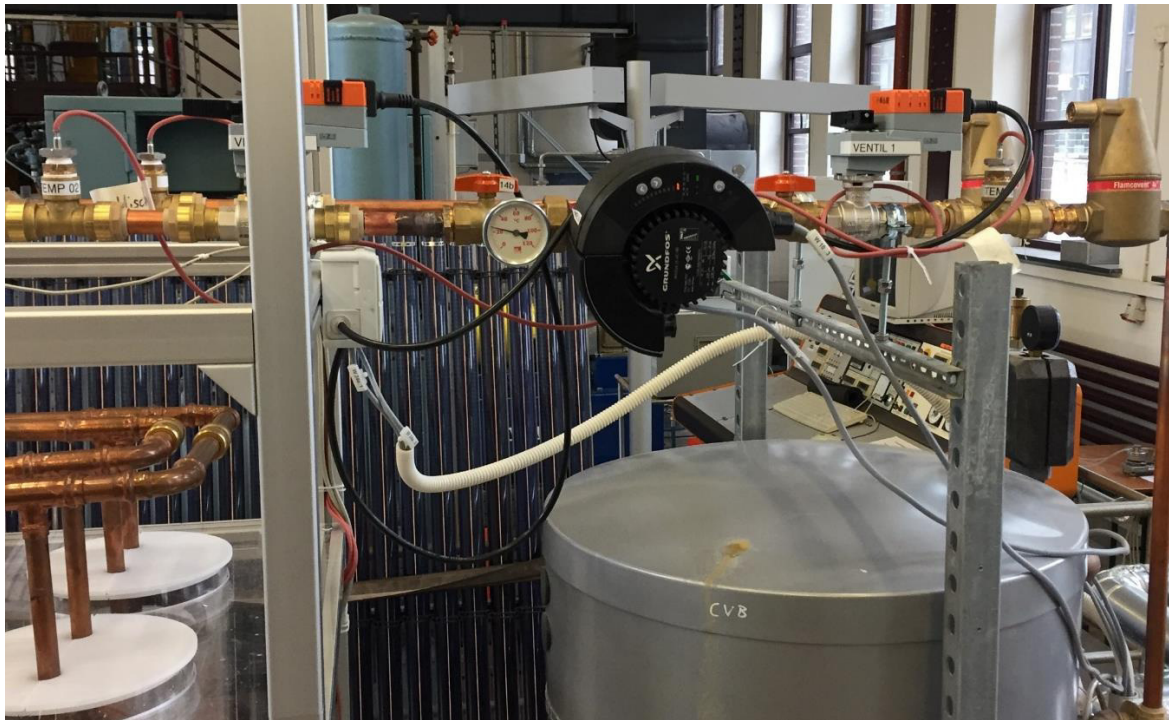


Abbildung 8: Istzustand Pumpe und Mischventile

Die Temperaturmesser in den Wachsspeichern stellen ebenfalls eine Schwachstelle dar. Die Temperaturfühler messen nur außen am Latentspeicher wie in Abbildung 9 zu sehen. Bei der Erwärmung durch die Kupferschlangen im Inneren erwärmt sich der Paraffinzylinder von innen nach außen. Die Temperatur im Kern des Zylinders ist bereits erwärmt. Durch die geringe Wärmeleitfähigkeit des Paraffins wird die Temperatur jedoch nicht direkt an die Temperaturfühler am äußeren Rand des Zylinders weitergegeben. Die reale Temperatur wird so verzögert übermittelt. Die Temperatur ist an der Außenwand der Zelle geringer, weil Wärme an die Umgebung abgegeben wird. So messen die Fühler an der kältesten Querschnittsstelle der Zelle. Aufgrund der Gegebenheiten ist es aber sehr schwer das Problem zu beheben. Die Kupferschlangen erlauben keine längeren Temperaturfühler, weshalb bei der Optimierung nicht weiter auf die Temperaturfühler eingegangen wird.



Abbildung 9: Temperaturfühler

Die Speicher bestehen aus Acrylglas um einen guten Einblick in die Technik zu bekommen. Kritisch könnte angemerkt werden, dass die Isolierung der Speicher verbesserungsfähig sei. Eine Veränderung würde aber den optischen Vorteil dieses Bauteils aufheben. Da der Versuchsstand in erster Linie dazu dient, das Thema „Latente Wärme“ zu präsentieren, wird dieser Punkt bei der Konzeptphase nicht berücksichtigt.

Der Prüfstand dient Laborversuchen, an denen Studenten einen Einblick in die Thematik bekommen sollen. Leider hängen, wie in Abbildung 10 sichtbar, überall lose Kabel, was den Versuchsstand sehr unübersichtlich erscheinen lässt. Die herumliegenden Kabel stellen Stolperfallen dar, was in Laboren mit Studenten ein zusätzliches Sicherheitsrisiko ist.



Abbildung 10: Istzustand Kabelverlegung

4 Entwurf eines Messkonzeptes

Bei der Wahl eines neuen Messkonzeptes soll statt der Wärmemengenzähler auf ein Volumenstrommessgerät und zwei Temperaturmessfühler zurückgegriffen werden. Deren Signale sollen über die SPS an das Programm LabVIEW übermittelt und dort grafisch und numerisch ausgegeben werden. Dabei wird aus den Werten des Durchflusses und der Temperatur der Wärmestrom berechnet.

4.1 Mögliche Messkonzepte

Um einen geeigneten Durchflussmesser für den Prüfstand zu finden, muss der Anforderungsbereich festgelegt werden.

Anforderung an den Durchflussmesser:

- Maximaler Durchfluss: 720 l/h
- Druck: 1-5bar
- Temperaturbereich: 10 - 100°C
- Ausgangssignal: Analog

4.2 Vergleich der Messkonzepte

Gemäß den Anforderungen wurde sich um eine Auswahl von Durchflussmessern bemüht. In der Tabelle 3 sind die Durchflussmesser aufgelistet, die die Anforderungen komplett abdecken oder größtenteils erfüllen. Die Durchflussmesser werden für einen direkten Vergleich gegenübergestellt.

Marke	Krohne	ICS	Kracht	Biotech
Typ	Optiflux 4100C	INDUQ IVMI7	Turbine TM	Turbine Mjed
Temperaturbereich	10-100°C	5-90°C	bis 120°C	-10 bis 85°C
Druck	1-5 bar	bis 16bar	bis 320bar	0,7 - 10bar
Messbereich l/h	0-1000	60-1200	220-1100	30-3000
Anschluss	Flansch	Gewinde	Rohranschluss	2x 3/4"
Ausgangssignal	4 - 20mA	4 - 20mA	Spg. Impulse	NPN + PNP
Preis in €	1260	509	875	125

Tabelle 3: Vergleich der Messkonzepte

Im Bereich der Volumenstrommessung gibt es verschiedene Messsysteme. Krohne bietet mit dem Optiflux einen Magnetisch- Induktiv- Durchflussmesser an, welcher als zuverlässig und praxisbewährt beschrieben wird. Er gilt als sehr robust und weist eine hohe Lebensdauer auf. [5] Auch die Firma ICS stellt mit dem INDUQ IVMI7 einen Magnetisch- Induktiv- Durchflussmesser, welcher in etwa ähnliche Voraussetzungen mitbringt wie der Durchflussmesser der Firma Krohne und im Folgenden schematisch abgebildet und vorgestellt wird.

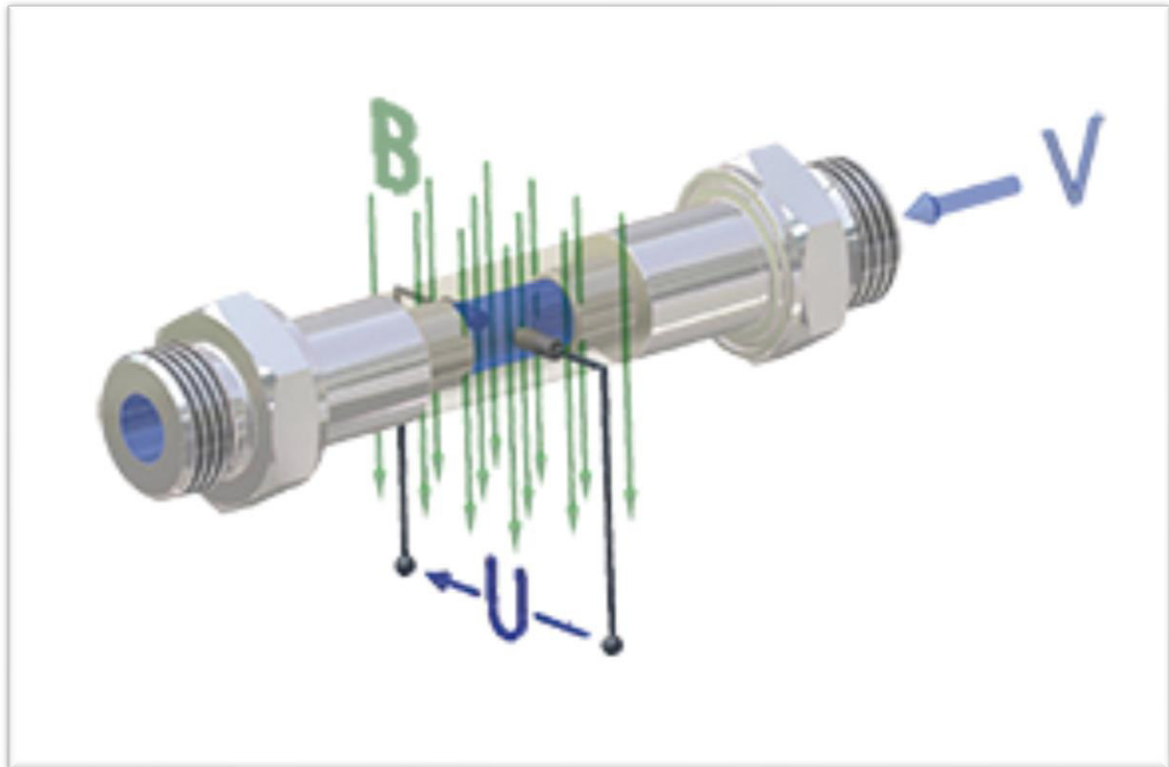


Abbildung 11: Magnetisch- Induktiver- Durchflussmesser [6]

Die Durchflussmesser der beiden Firmen basieren auf dem faradayschen Induktionsgesetz. Durch Spulen wird ein magnetisches Feld erzeugt, welches rechtwinklig zur Strömungsrichtung steht. Das zu messende Medium durchströmt das Rohr und Ladungsträger werden aus dem Medium durch das magnetische Feld abgelenkt. An den Rohrwänden befestigte Elektroden greifen die Ladungsträger auf und messen eine Spannung. Die Spannung ist proportional zur Durchströmungsgeschwindigkeit. Für die Bestimmung des Volumenstromes muss der Querschnitt des Rohres bekannt sein. Durch Integration über den Querschnitt des Rohres wird der Volumenstrom im Rohr gemessen. [7]

Um den Volumenstrom zu bestimmen gibt es neben Magnetisch- Induktiven- Durchflussmessern noch Messturbinen oder Ultraschall- Durchflussmesser. Je nach Einsatzgebiet finden die Volumenstrommesser Verwendung. Da Magnetisch- Induktive- Durchflussmesser sehr teuer sind und der Versuchsaufbau nur mit sauberem Wasser gespeist wird, kann für die Messung des Volumenstromes auch eine Messturbine verwendet werden. Abbildung 12 zeigt den schematischen Aufbau einer Messturbine. Zur Bestimmung des Volumenstroms dient eine Turbine, dessen Achse (21) konzentrisch mit dem Strömungsprofil liegt. Das Medium fließt in der Abbildung von rechts nach links um das Turbinenrad (2). Die Strömungsgeschwindigkeit (3) und die damit transportierte kinetische Energie des Mediums wird über die Wasserschaukeln (22) auf das Turbinenrad übertragen. Die Rotation der Turbinenachse wird mittels eines Impulsgebers gemessen und an die SPS übertragen. [8]

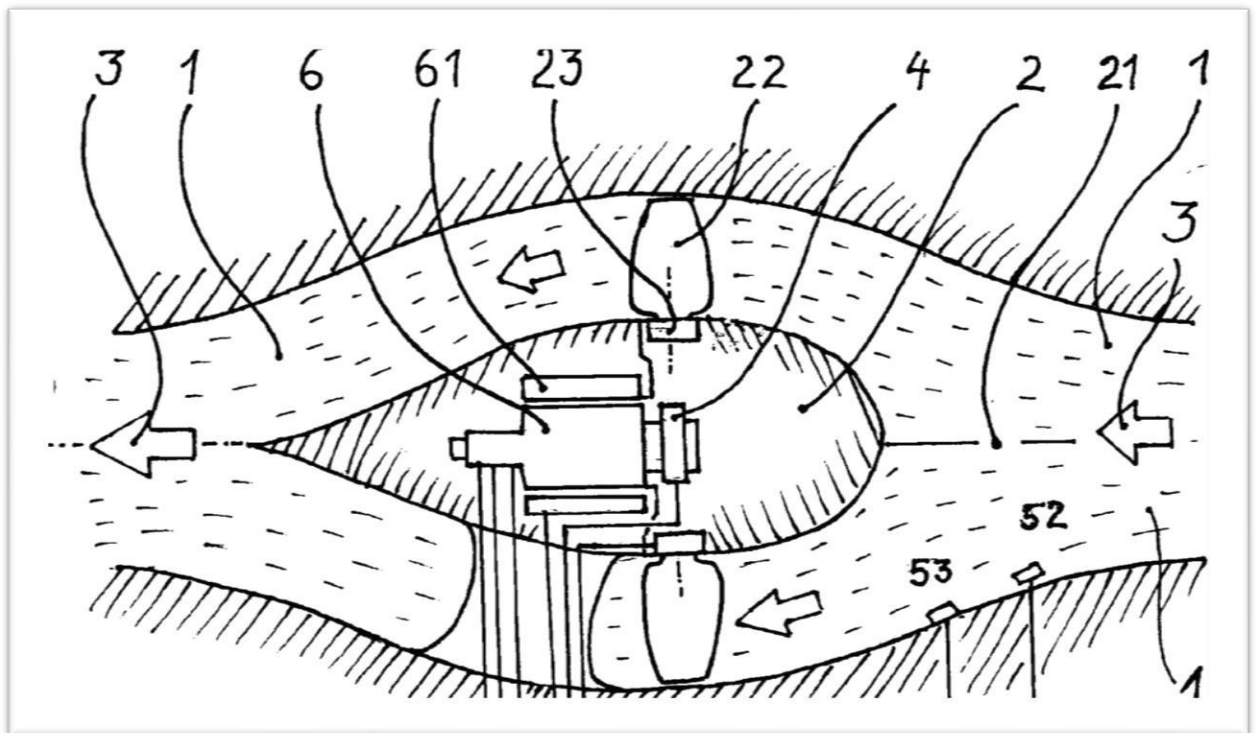


Abbildung 12: Messturbine [9]

4.3 Auswahl eines Konzepts

Bei der Auswahl des Durchflussmessers wurde der Krohne Optiflux 4100C sofort ausgeschlossen, da das hohe Gewicht und der Flanschanschluss nicht zum Versuchsstand passen. Der ICS INDUQ IVMI7 wurde auf Grund der Verarbeitung ausgeschlossen. Die Messturbine vor Kracht präsentiert sich als Spitzenprodukt und erfüllt alle Anforderungen an den Durchflussmesser. Lediglich der Rohranschluss entsprach nicht den Vorgaben. Die Messturbine von Biotech erfüllt die Anforderungen im Temperaturbereich nicht komplett. Jedoch wird aus platztechnischen Gründen der Volumenstromzähler im Rücklauf installiert, wo die Wassertemperatur deutlich geringer ist, sodass keine Gefährdung der Funktion des Volumenstromzählers auftritt. Der 3/4 Zoll Anschluss ist optimal für den Einbau und die Wartung in dem vorhandenen System. Der Durchflussmesser besteht aus einem verzintten Messinggehäuse und ist für seine Verarbeitung relativ kostengünstig. Das Ausgangssignal lässt sich über die SPS gut in das LabVIEW Programm integrieren, weshalb die Wahl des Durchflussmessers auf den Biotech fällt.



Abbildung 13: Durchflussmesser Biotech DFM-Ms [10]

5 Konstruktive Gestaltung des Prüfstandes

Nach der kritischen Analyse des Ist- Zustandes und dem Entwurf eines geeigneten Messkonzeptes geht es in diesem Kapitel um Ideen für den Umbau des Prüfstandes. Durch den Einsatz eines Durchflussmessers anstelle der alten Wärmemengenzähler verschwinden auch die Absperrhähne und die damit verbundenen Rohrleitungen. Beim Umbau des Prüfstandes ist es sinnvoll, die Konstruktion der Rohre und die Ansteuerung der einzelnen Zellen zu überdenken.

Wünsche für den neuen Versuchsstand:

- Parallelschaltung und individuelle Steuerung der Durchströmung der Speicher
- Kostengünstige Verbindungsart, die trotzdem stabil und dicht ist
- Geringes Gefälle und zielgesetzter Einbau zusätzlicher Entlüftungen
- Zusätzliche Temperaturmessstellen in den Speichern
- Stabile Halterung für Messeinrichtungen
- Optimierung der Verkabelung

5.1 Tacosetter

Die individuelle Volumenstromregulierung eines Speichers soll durch einen Tacosetter erfolgen. Durch eine Stellschraube lässt sich der Volumenstrom stufenlos regulieren. Über eine mechanische Anzeige kann der Volumenstrom abgelesen werden. Die Tacosetter haben ein ½ Zollgewinde und werden mit Fittings mit den 18mm Rohren der Speicher verbunden. Die einfache und schnelle Bedienung ist optimal für den Einsatz bei Laboren.

Ein weiterer Vorteil ist, dass jede Zelle vollständig abgesperrt werden kann und der komplette Volumenstrom durch eine einzige Zelle läuft. So können Laborversuche beschleunigt werden, da die Beladung der Speicher oft mehrere Stunden dauert.

Die Tacosetter haben nur einen begrenzten Durchflussbereich, indem sie den Volumenstrom anzeigen. Eine genaue Abschätzung des Einsatzbereiches entscheidet über die Genauigkeit bei der Ablesung. Vor dem Einbau in das System muss der Durchflussbereich des Tacosetter errechnet werden. Bei einem durch die Pumpe vorgegebenen Volumenstrom von ca. 720 l/h des Gesamtsystems, ergibt sich für eine Zelle ein Volumenstrom von:



Abbildung 14: Tacosetter [11]

$$\dot{V}_{gesamt} = 720 \frac{l}{h} = 12 \frac{l}{min} \quad (5.1)$$

Der Volumenstrom verteilt sich gleichmäßig auf die sechs Speicherzellen. So ergibt sich für einen Tacosetter ein Durchfluss von:

$$\dot{V}_{Tacosetter} = 2 \frac{l}{min} \quad (5.2)$$

5.2 Optimierung der Rohrverlegung

Die gleichmäßige Beladung der Zellen kann über die Tacosetter reguliert werden. Um den Schwachstellen des alten Systems vorzubeugen und gleichzeitig optisch ansprechend zu bleiben, wurde die Verlegung der Rohre optimiert. Da die Rohre des Hin- und Rücklaufs einen Durchmesser von 22mm haben und die Durchmesser der Rohre aus den Speichern einen Durchmesser von 18mm aufweisen, muss an einer Stelle ein Übergang geschaffen werden. Um nicht für den kompletten Versuchsstand neue Teile einkaufen zu müssen und möglichst viele Komponenten übernehmen zu können, wird der Hin- und Rücklaufteil mit der Pumpe, den Temperaturmessern und den Mischventilen mit den 22mm Rohren bleiben. Die komplexe Konstruktion mit den Tacosettern und Kreuzstücken wird mit Rohren von 18mm Durchmesser vorgenommen. So müssen lediglich nur zwei Verjüngungsstücke im Versuchsaufbau verwendet werden. Das Ziel der neuen Konstruktion ist eine gleichmäßigere Beladung der Wärmespeicher. Gleichzeitig kann eine neue Entlüftung installiert werden. Durch eine minimale Steigung in den Rohrleitungen können die Luftschlüsse zu den Entlüftern wandern und das System muss nicht gespült werden. Das folgende Schema zeigt einen Entwurf für die Rohrverlegung.

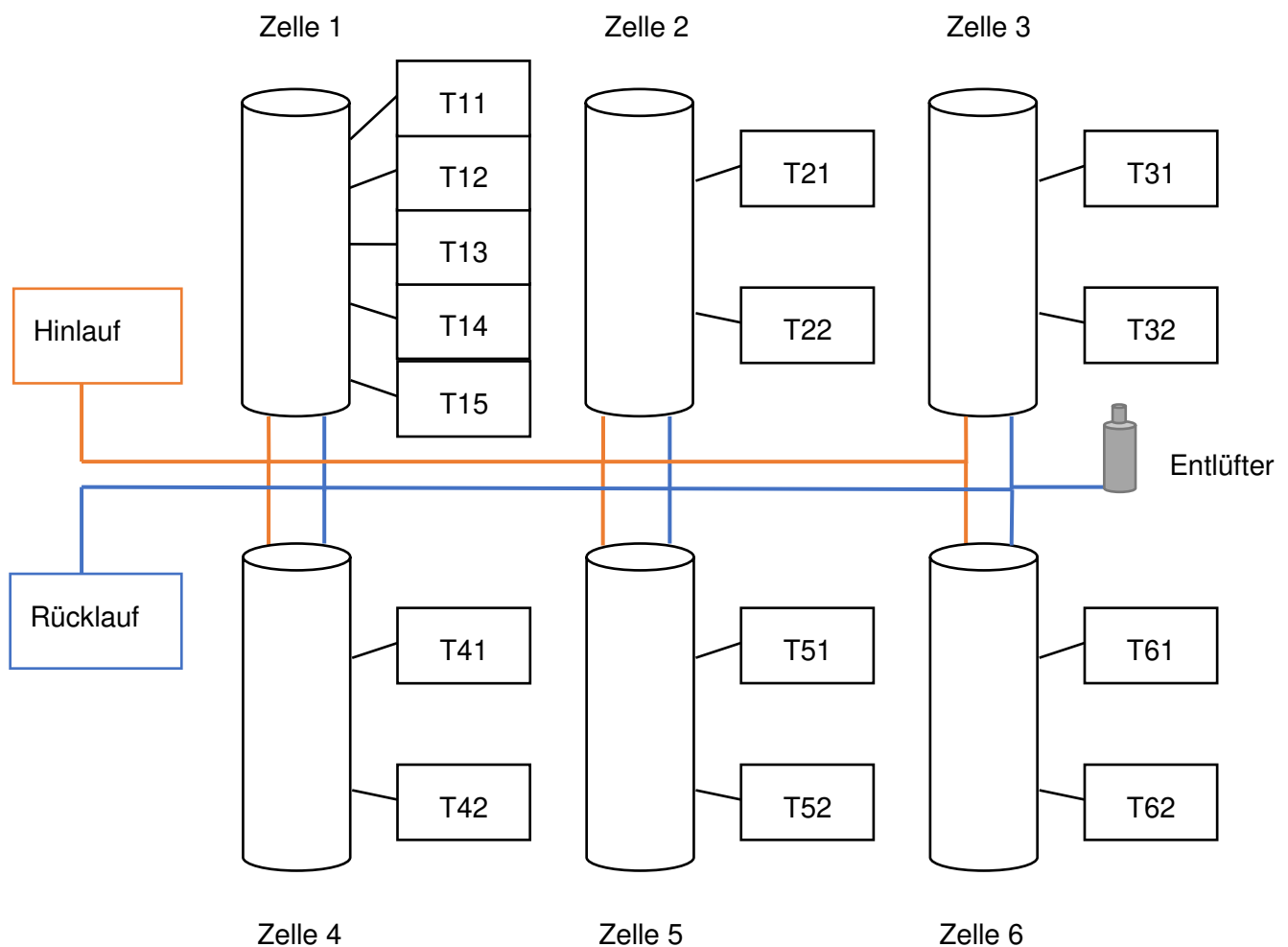


Abbildung 15: Entwurf für die Rohrverlegung

5.3 Anschluss des Versuchsstandes

Die sensiblen Wärmespeicher und die Pumpe sollen durch ein Wellrohr miteinander verbunden werden. Statt der alten starren Lötstruktur soll jetzt ein Wellrohr zum Einsatz kommen. So kann der Versuchsstand schnell gespült oder an den Sonnensimulator angeschlossen werden.

5.4 Steuerungskasten mit SPS Erweiterung

Die SPS des alten Versuchsaufbaus verfügte über insgesamt zehn Klemmen. Um auf eine Klemmenzahl von 22 nach dem Umbau zu kommen, wird ein neuer Steuerungskasten benötigt. Das Gehäuse des Sicherungskastens sollte aus Stahl sein, welcher aus Sicherheitsgründen fachgerecht geerdet sein muss. Für die Kabel müssen zusätzlich Zugentlastungen vorgesehen werden. Zur weiteren Sicherung sollte der Steuerungskasten verschließbar sein.

5.5 Optimierung der Halterung

Um die Rohre, Pumpe, Mischventile und Entlüfter ordnungsgemäß zu befestigen wird die Aluminiumkonstruktion optimiert. Zu dem bereits vorhandenen Aufbau sollen Querverstrebungen eingebaut und zusätzliche Rohrschellen für die Befestigung installiert werden. Die alte labile Stahlrohrhalterung wird komplett entfernt. Der Versuchsaufbau soll komplett auf die Aluminiumkonstruktion montiert werden.

5.6 Optimierung der Kabelführung

Die Kabelführung im Versuchsaufbau soll optimiert werden. Die zahllosen herumliegenden Kabel sollen durch graue, zum Versuchsaufbau passende Kabelkanäle gezogen werden, um ein ordentliches Gesamtbild zu geben und Stolperfallen zu beseitigen.

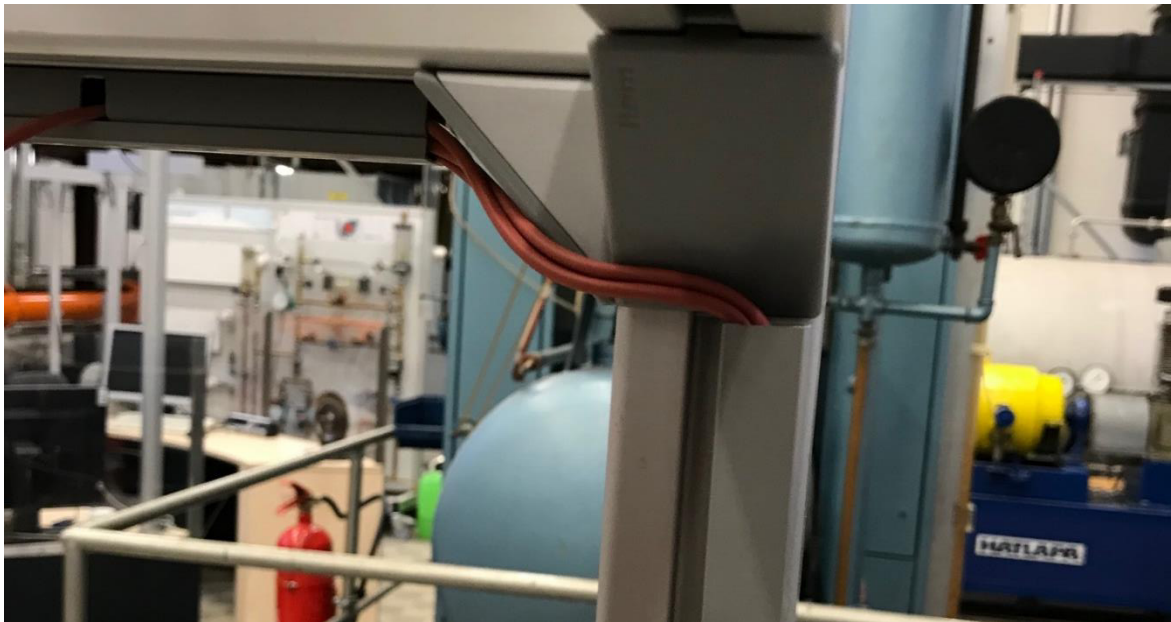


Abbildung 16: Kabelführung

6 Auswahl und Beschaffung geeigneter Materialien

Die Auswahl der Materialien ist nicht frei wählbar, da ein Teil des Versuchsaufbaus bestehen bleibt und die neuen Komponenten an die bereits bestehenden Teile angepasst werden müssen. Diese Vorgabe erschwert die Auswahl der neuen Komponenten. Die Helix förmigen Kupferrohre in den Speichern haben einen Durchmesser von 18mm. Die Rohrleitungen im Rücklauf haben einen Durchmesser von 22mm.

Die Tacosetter sollen direkt an die Speicher über Lötfittinge angeschlossen werden. Der Lötfitting hat auf der einen Seite einen Innendurchmesser von 18mm, wo die Rohre aus dem Speicher angelötet werden, auf der anderen Seite ein Innengewinde von 1/2 Zoll, welches den direkten Anschluss des Tacosetters ermöglicht. Diese Konstruktion ermöglicht einen platzsparenden Aufbau und ist gleichermaßen dafür geeignet schnell Komponenten aus dem System zu tauschen, was für einen Prüfstand besonders wichtig ist.

Auf dem Bild ist zu erkennen, dass die Dichtung der Tacosetter mit Teflondichtungen versehen sind. Die Skala zeigt den Durchfluss, welcher über die Stellschraube über der Skala geregelt wird.



Abbildung 17: Lötfitting mit Tacosetter

Im Abschnitt „Konstruktive Gestaltung des Prüfstandes“ wurde der Umbau beschrieben. Für die neue Konstruktion werden neue Komponenten benötigt. Die benötigten Komponenten sind in der Tabelle 4 aufgelistet.

Komponente	Abmaß	Anzahl (Stk)	Länge (m)	vorhanden (v) benötigt (b)
Rohr	∅ 18mm	-	5	v
Rohr	∅ 22mm	-	1	v
90° Bögen	∅ 18mm	20	-	b
Verjüngungsstück	∅ 18-22mm	2	-	b
Tectite Steckfitting	∅ 18mm	12	-	b
Kreuzstück	∅ 18mm	6	-	b
Absperr- Kugelhahn	½ Zoll	2	-	b
Schnellentlüfter	½ Zoll	2	-	b
Übergangsstück	1"-22mm	2	-	b
Übergangsstück	½"-18mm	14	-	b
Wellschlauch	∅ 20mm	2	2	b
Kompaktschaltschrank	400mm	1	-	b
Kabelkanal	10mm	-	12	b
Kabelkanal	50mm	-	4	b
Durchflussmesser	½ Zoll	1	-	b
Muffe	1 Zoll	2	-	b

Tabelle 4: Komponenten für den Prüfstandumbau

Im Labor des Zentrums für Energietechnik sind noch Rohre mit 18mm und 22mm vorhanden. Die restlichen Komponenten müssen bestellt werden. Die Firma Emil Stelling ist spezialisiert auf Armaturen und Rohrleitungssysteme und bietet alle Komponenten an. Die Rotguss Kreuzstücke sind Sonderteile, welche nur sehr selten Verwendung finden. Für den Versuchsaufbau sind diese aber von besonderer Bedeutung, weshalb die Bestellung bei Emil Stelling durchgeführt wird. Der Kostenvoranschlag der Firma Emil Stelling befindet sich im Anhang.

7 Umbau des Prüfstandes

Das folgende Kapitel befasst sich mit dem Umbau des Prüfstandes. Der Umbau unterteilt sich in mehrere Phasen: das Auseinanderbauen des alten Prüfstandes, den Neuaufbau mit der Installation der neuen Komponenten, der Anpassung des Gestells und die Programmierung des Steuerungsprogrammes.

7.1 Demontage des alten Prüfstandes

Im ersten Schritt werden alle Rohrleitungen des Systems bis zu den Anschlüssen des sensiblen Wärmespeichers mit einem Rohrschneider gekürzt. Die alte Stahlkonstruktion und die überschüssigen Kabel werden entfernt. Abbildung 18 zeigt die Speicher mit den gekürzten Rohren.

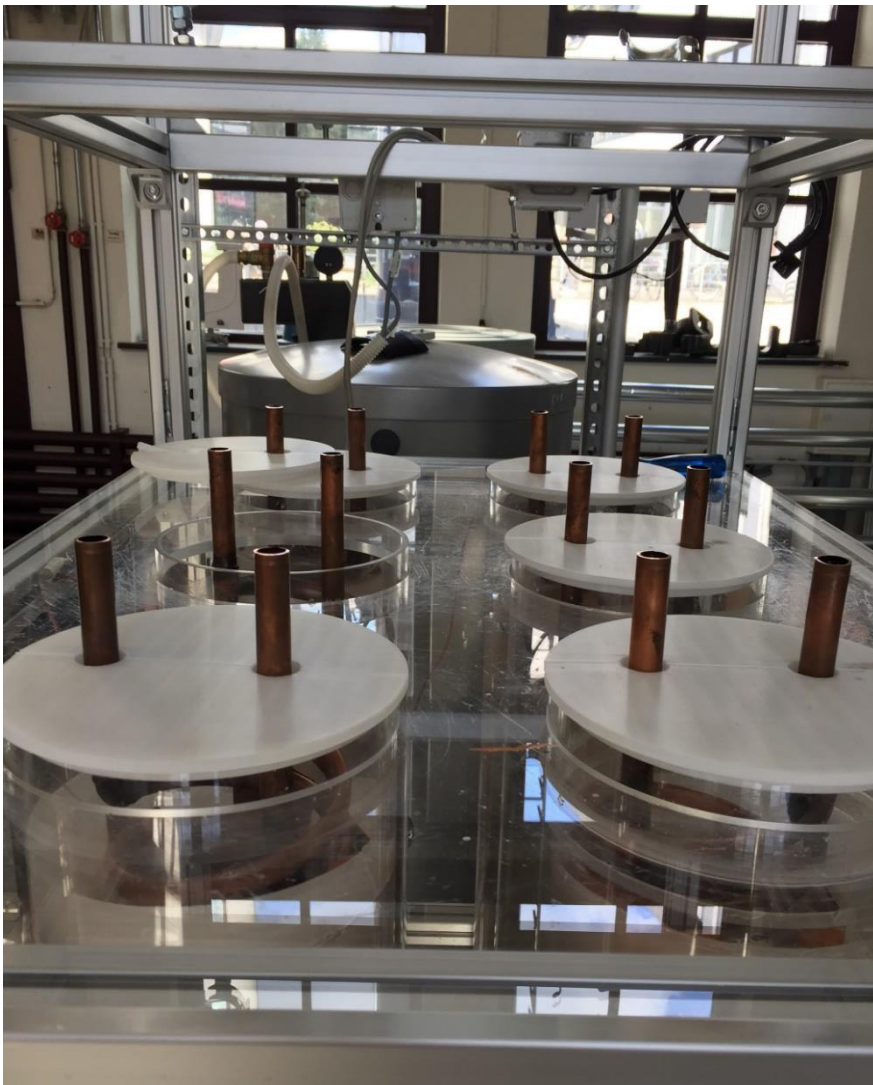


Abbildung 18: Kürzen der Zu- und Abflüsse des Speichers

In Abbildung 19 sind im oberen Teil des Bildes die Pumpe mit den Mischventilen zu sehen. Diese werden komplett demontiert und gereinigt, da sie beim Neuaufbau wieder Verwendung finden. Die Entlüfter, werden auseinandergebaut und die Filter gereinigt, da auch diese Komponenten in den Hin- und Rückläufen wiederverwendet werden. Im rechten Teil des Bildes sind die alten Wärmemengenzähler mit den Absperrhähnen zu sehen. Im neuen Versuchsaufbau werden diese Komponenten durch einen Volumenstrommesser ersetzt. Die Temperaturfühler des Mischers, sowie die des Hin- und Rücklaufes werden auf ihre Funktion getestet und im neuen Versuchsaufbau verwendet.

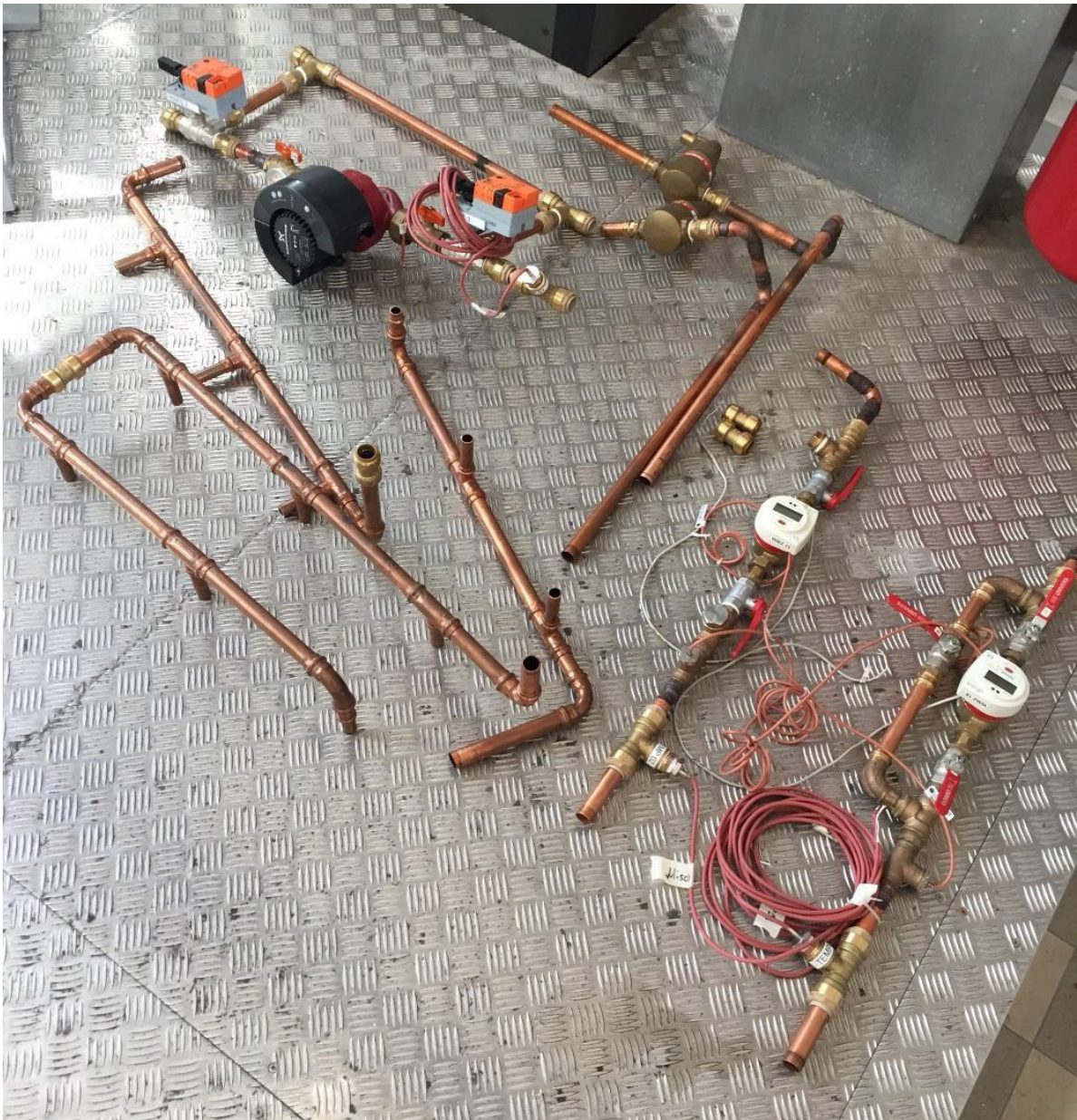


Abbildung 19: Demontierte Prüfstandkomponenten

7.2 Spülen der Speicher

Die durch das Kürzen der Rohre entstandenen Späne und sonstige Verunreinigungen in den Speichern werden durch das Spülen der Speicher entfernt. Um die Speicher spülen zu können, wurde der Schlauch über Tectite Verbindungen an die Latentspeicher angeschlossen und mit pulsierendem Wasserdruck gespült. So ist sichergestellt, dass keine Verunreinigungen mehr in den Rohrleitungen der Speicher sind.



Abbildung 20: Spülen der Speicher

7.3 Neuverlegung der Rohre

Wie in Kapitel 5.2 beschrieben erfolgt die Beladung der Speicher nicht in Form eines „U“, sondern mit drei parallelangesteuerten Zellen. Hierzu werden Spezialteile benötigt, die diesen Aufbau möglich machen. Abbildung 21 zeigt den Hartlötvorgang, bei dem die Rotguss-Kreuzstücke mit dem 18mm Kupferrohr verbunden werden.



Abbildung 21: Löten der Rohrverbindungen

Die neue Rohrverlegung ist in Abbildung 22 dokumentiert. Dieser Umbau hat den Vorteil, dass die Zellen gleichmäßiger durchströmt werden. Die Konstruktion weist eine hohe Stabilität auf, kann aber durch die Tectite- Verbindungen schnell demontiert werden um ein defektes Bauteil zu tauschen. Durch die Tacosetter kann der Massenstrom für die Speicher während des Betriebes stufenlos nachreguliert werden.



Abbildung 22: Rohrkonstruktion zur Be- und Entladung

7.4 Entlüfter

Um dem Problem der alten Konstruktion entgegenzuwirken, wurde eine minimale Steigung in die Rohrleitungen gelegt. So entlüftet sich das System durch die neuen Entlüfter selber und ist weniger wartungsanfällig. Die gleichmäßige Beladung der Speicher ist so gewährleistet.

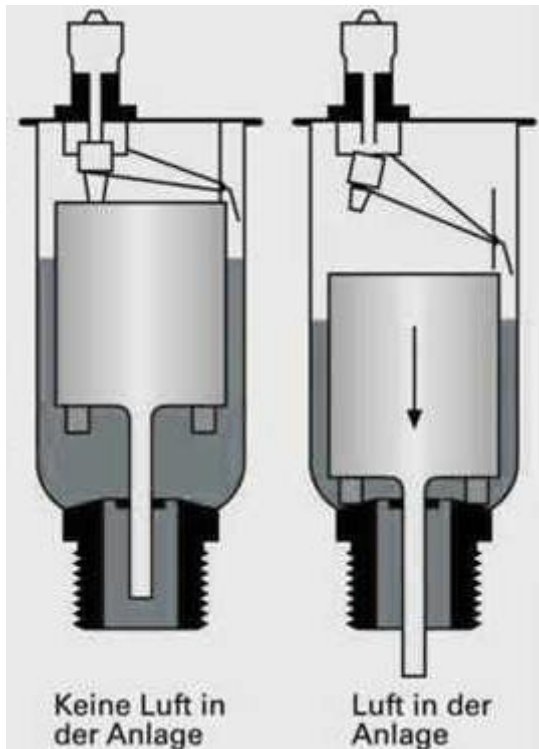


Abbildung 23: Funktionsweise der Entlüfter [12]

Die Funktionsweise der Lüfter ist in Abbildung 23 dargestellt. Der Entlüfter liegt am höchsten Punkt der Anlage. Durch minimale Steigungen in den Rohren und die Strömung des Wassers, werden die Luftblasen zu der höchsten Stelle transportiert. Die Luft sammelt sich im höchsten Punkt und der Schwimmerschalter senkt sich aufgrund seines Eigengewichtes. Das Ventil ist geöffnet.

Die Luft, die sich wegen der geringeren Dichte oberhalb des Wassers ansammelt, wird durch das von unten drückende Wasser aus dem Ventil gedrückt. Der Schwimmerschalter bewegt sich mit dem Wasser nach oben und schließt mit der Feder das Ventil, wenn die Luft vollständig entwichen ist. So kann Luft aus dem System entweichen, jedoch nicht das Fluid.

7.5 Installation der Messgeräte

Nach der Verlegung der Rohre werden die Pumpe mit den Mischventilen und der Durchflussmesser in das System integriert. Zudem sollen auch weitere Temperaturmessstellen in den Zellen angebracht werden.

7.5.1 Pumpe

Die Pumpe (Grundfos Magna 25-40 180) wurde beim Auseinanderbauen von allen anderen Bauteilen getrennt. Grund für die Trennung von den Mischventilen war, dass die Pumpe undicht war. Beim Auseinanderbauen fielen sofort die Dichtringe der Pumpe auf, welche sich in einem schlechten Zustand befanden und bei der Gelegenheit des Umbaus erneuert wurden. Die Dichtungsringe sind aus gepresstem Papier, wie in Abbildung 24 zu sehen. In der Werkstatt des ZET steht eine Stanzmaschine mit bahweise Pappe für Dichtungen. Die Dichtringe wurden ausgestanzt und mit Dichtpaste wieder verbaut.



Abbildung 24: Pumpendichtungsring

Abbildung 25 zeigt die Pumpe. Die Dichtungen liegen unter der Überwurfmutter zwischen dem Pumpengehäuse und dem Temperaturfühler. Gesteuert wird die Pumpe über die SPS oder manuell über das Pumpengehäuse. Die Fördermenge der Pumpe erfolgt in zehn Stufen.

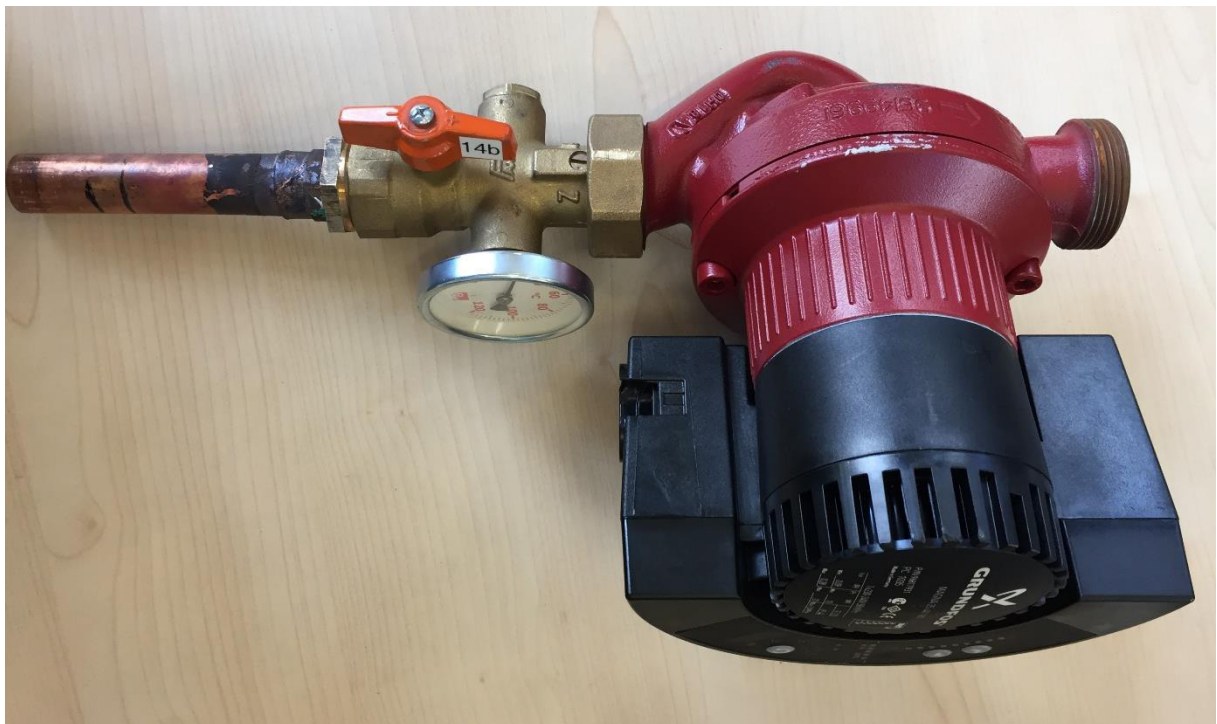


Abbildung 25: Pumpe

7.5.2 Mischventile

Die Regelung der Wassertemperatur im System übernehmen die Mischventile. Die Regelung funktionierte einwandfrei und soll auch in Zukunft verwendet werden. Lediglich die Anschlüsse der Mischventile wurden gekürzt, um den Aufbau kompakter zu gestalten. Die Mischventile werden wie bisher an die erweiterte SPS angeschlossen.



Abbildung 26: Mischventil

7.5.3 Durchflussmesser

Die alten Wärmemengenzähler wurden durch den neuen Durchflussmesser der Firma Biotech ersetzt. Der Durchflussmesser wird über Fittinge mit den Rohrleitungen verbunden und ist schnell austauschbar. Angesteuert wird der Durchflussmesser mit einer Spannungsversorgung von 5-24V und liefert als Output- Signal Impulse. Die kompakte Bauweise und das robuste verzinnzte Gehäuse sind optimal für den Einsatz im Prüfstand. Das geringe Gewicht von 450g ermöglicht einen schnellen Einbau und eine einfache Fixierung.

7.5.4 Temperaturmesser

Zu den bereits im System vorhandenen Temperaturmessern kommen noch weitere hinzu. Die Vorlauf-, Hin- und Rücklauftemperaturen bleiben bestehen; die Temperaturmessstellen in den Speicherzellen werden erweitert. Die Temperaturen können nach dem Umbau in jeder Zelle überwacht werden.

7.5.5 Messstellenliste

Messstellenliste Latentwärmespeicher								
Nr.	Messgröße	Formelzeichen	Einheit	Messbereich	Sensor	Ausgangssignal	Hersteller	vorhanden
1	Latentspeichertemperatur Speicher I,1	T_Sp_I_1	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
2	Latentspeichertemperatur Speicher I,2	T_Sp_I_2	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
3	Latentspeichertemperatur Speicher I,3	T_Sp_I_3	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
4	Latentspeichertemperatur Speicher I,4	T_Sp_I_4	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
5	Latentspeichertemperatur Speicher I,5	T_Sp_I_5	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
6	Latentspeichertemperatur Speicher II,1	T_Sp_II_1	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
7	Latentspeichertemperatur Speicher II,2	T_Sp_II_2	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
8	Latentspeichertemperatur Speicher III,1	T_Sp_III_1	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
9	Latentspeichertemperatur Speicher III,2	T_Sp_III_2	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
10	Latentspeichertemperatur Speicher IV,1	T_Sp_IV_1	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
11	Latentspeichertemperatur Speicher IV,2	T_Sp_IV_2	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
12	Latentspeichertemperatur Speicher V,1	T_Sp_V_1	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
13	Latentspeichertemperatur Speicher V,2	T_Sp_V_2	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
14	Latentspeichertemperatur Speicher VI,1	T_Sp_VI_1	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
15	Latentspeichertemperatur Speicher VI,2	T_Sp_VI_2	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
16	Mischtemperatur	T_Misch	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
17	Temperatur Hinlauf	T_Hin	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
18	Temperatur Rücklauf	T_Rück	°C	-35 bis 105	PT100	Widerstand	HAW	Ja
19	Durchflussmesser	V_Punkt	l/min	0,5-50	Turbine	Impuls PNP/NPN	BIO-Tech	nein

Tabelle 5: Messstellenliste Latentspeicher

7.6 Gestell Anpassung

Ein zusätzliches Gestell aus Stahl wurde aufgrund mangelnder Stabilität entfernt. Stattdessen wurden zusätzliche Querverstrebungen des Aluminium- Gestells montiert. Die Aluminiumkonstruktion weist eine hohe Stabilität auf und ist Optisch ansprechend. Es ist möglich in den Schienen der Aluminiumprofile Klemmen zu verschrauben und so zusätzlich für Stabilität zu sorgen.

7.7 Neugestaltung der Steuerungseinheit

Die SPS wurde ebenfalls überarbeitet. Um alle Messstellen aus Kapitel 7.4.5 in die Steuerung mit aufnehmen zu können, wurde ein neuer Kompaktschaltschrank am Gestell montiert. Im oberen Teil der Abbildung 27 ist die Erweiterung zu sehen. Neu hinzugekommen sind weitere Temperaturklemmen, sowie Klemmen für den Durchflussmesser. Für die Pumpe wurde eine Sicherungseinheit installiert. In Zukunft soll auch die Pumpe über den Schaltkasten gesteuert werden können. In der Bodenplatte sind die Kabelentlastungen eingelassen, um einen ordnungsgemäßen Schaltschrankaufbau zu komplettieren.

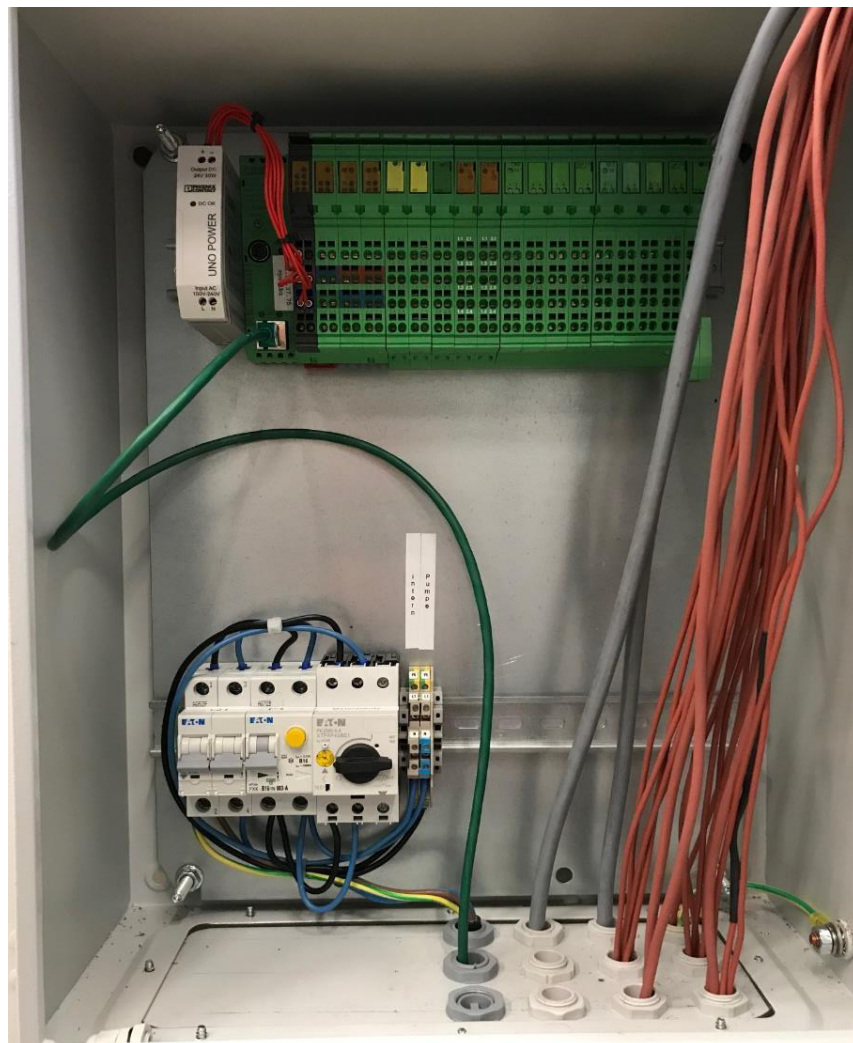


Abbildung 27: Steuerungskasten mit SPS

Der neue Klemmenplan ist in Tabelle 6 dargestellt und zeigt, welche Komponenten an die SPS angeschlossen werden. Die Klemmen werden chronologisch angeordnet. Zwei neue Klemmen sind für den Durchflussmesser und zehn weitere Klemmen für die Temperaturmesser hinzugekommen.

Klemmenplan für den Prüfstand Latentwärmespeicher																						
Komponente	Mischventile		Durchflussmesser		Temperaturmesser																	
Messort	System	System	System	System	System					Paraffin-Speicher												
Klemme	1	2	3	4	5.1	5.2	6.1	6.2	7.1	7.2	8.1	8.2	9.1	9.2	10.1	10.2	11.1	11.2	12.1	12.2	13.1	13.2
Bezeichnung	MV01	MV02	DM01	DM02	SY01	SY02	SY03	PS11	PS12	PS13	PS14	PS15	PS21	PS22	PS31	PS32	PS41	PS42	PS51	PS52	PS61	PS62
Beschreibung	Vorlauf	Vorlauf	Rücklauf	Rücklauf	Mischer	Rücklauf	Volauf	Zelle 1 Fühler 1	Zelle 1 Fühler 2	Zelle 1 Fühler 3	Zelle 1 Fühler 4	Zelle 1 Fühler 5	Zelle 2 oben	Zelle 2 unten	Zelle 3 oben	Zelle 3 unten	Zelle 4 oben	Zelle 4 unten	Zelle 5 oben	Zelle 5 unten	Zelle 6 oben	Zelle 6 unten
Messgerät	-	-	Mess-turbine	Mess-turbine	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100	PT100
vorhanden (v) benötigt (b)	v	v	b	b	v	v	v	v	v	v	v	v	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
OPC Name	valve_1	valve_2	CNT_count	CNT_count	RTD1	RTD2	RTD3	RTD4	RTD5	RTD6	RTD7	RTD8	RTD21	RTD22	RTD23	RTD24	RTD25	RTD26	RTD27	RTD28	RTD31	RTD32

Tabelle 6: Klemmenplan

7.8 Stückliste für den Umbau des Prüfstandes

Für den Umbau sind bei der Firma Stelling Komponenten bestellt worden. Die Stückliste der benötigten Komponenten für den Umbau des Versuchsstandes zeigt Tabelle 7.

Pos.- Nr.	Artikel	Artikelnummer	Anzahl
1	Solar- Wellrohr DN20 2m	86TC0M140281002	2
2	Schwimmtlüfter 1/2"	27740	3
3	Kompaktschaltschrank	AE1045500	1
4	Kugelhahn Ms PN40	0921R204	2
5	Übergangsnippel 18x1/2"	4270G022004000	2
6	Muffe Rotguss 22x1"	4270G022008000	2
7	Muffe Rotguss 1"	266561	2
8	Tectite Muffe 18mm	T27018	12
9	Bogen Kupfer 18mm i/i 90°	5002A018000000	20
10	Kreuzstück Rotguss 18mm	4180018000000	6
11	Kupfer Reduziermuffe 18x22	9007446	2
12	Lötfitting 18x3/4"	9007718	12
13	Lötfitting 22x3/4"	9007719	4
14	Durchflussmesser Biotech 3/4"	150175	1

Tabelle 7: Stückliste des Latentspeicherprüfstandes

7.9 Programmierung

Die neuen Komponenten müssen in die Programmstruktur eingebunden werden. Die Benutzeroberfläche wird weiterhin LabVIEW sein. Die Darstellung soll möglichst anschaulich sein, um den Studenten einen guten Einblick zu vermitteln. Die Aufteilung und Darstellung muss sehr übersichtlich und leicht zu überblicken sein.

7.9.1 Programmablaufplan

Der Wärmestrom wird nicht mehr direkt von den Wärmemengenzählern übermittelt, sondern muss berechnet werden. Im Folgenden ist der neu entwickelte Programmablaufplan dargestellt, wie der Wärmestrom berechnet wird.

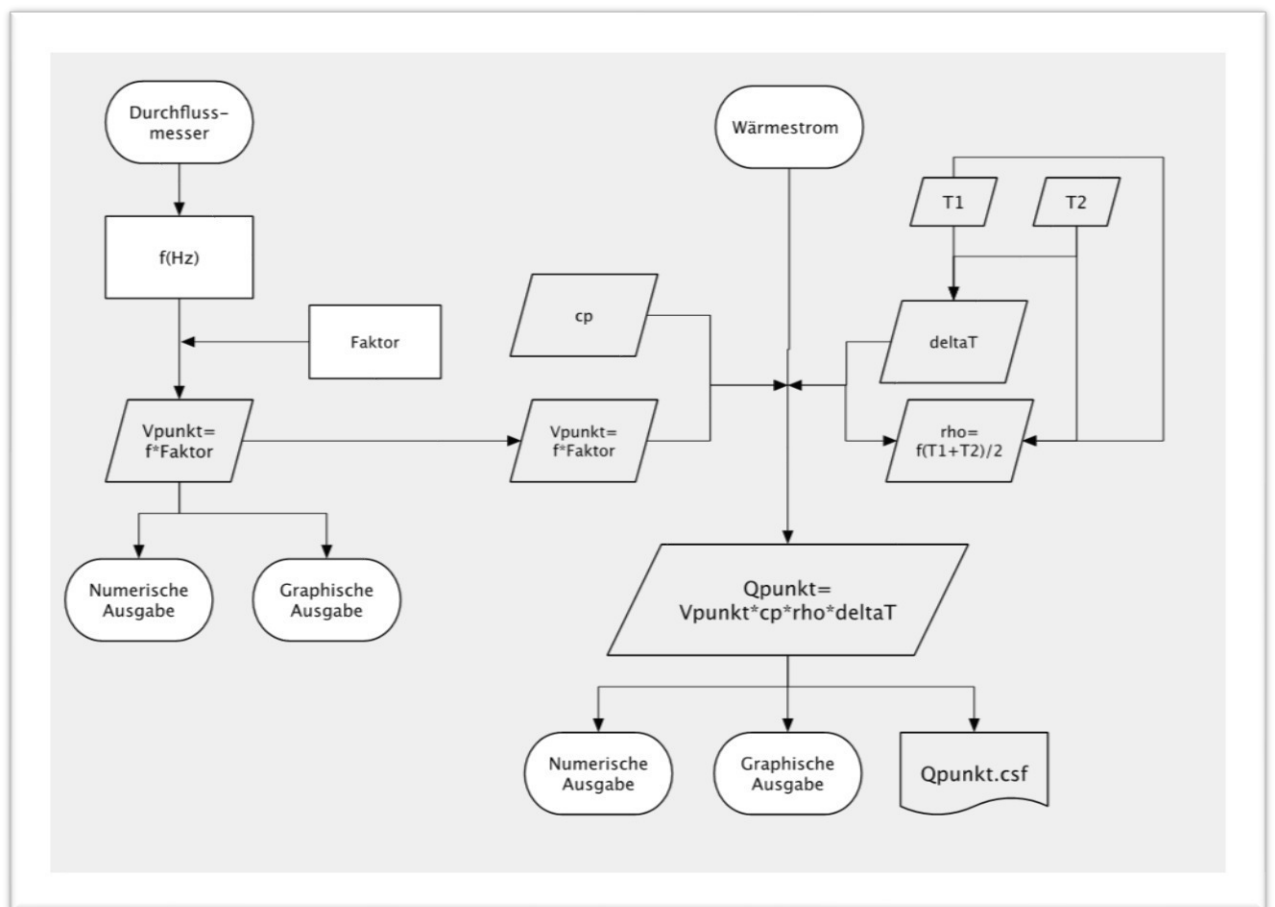


Abbildung 28: Programmablaufplan

Der Durchflussmesser liefert ein Ausgangssignal in Form von Impulsen an die SPS, welches nachfolgend über einen Faktor in einen Volumenstrom umgerechnet wird. Die Ausgabe des Volumenstroms erfolgt in numerischer und graphischer Form. Um den Wärmestrom zu berechnen, benötigt das Programm die Information des Volumenstroms vom Durchflussmesser, die temperaturabhängige Differenztemperatur und die Dichte, sowie die spezifische Wärmekapazität des Wassers.

Die Differenztemperatur ermittelt sich aus der Differenz der Hin- und Rücklauftemperatur der Speicher. Die Wassertemperatur des Prüfstandes liegt zwischen 20° und 90°C. Die Dichte des Wassers wird aus einer Exceltabelle ausgelesen, welche die Werte aus dem VDI- Wärmeatlas beinhaltet. Werden die Werte faktorisiert, so errechnet sich der Wärmestrom, der den Speicherzellen zugefügt wird. In Kapitel 2.3 wurde bereits die Formel für die Berechnung der Wärme hergeleitet.

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho(T) \cdot c_p(T) \cdot \Delta T$$

Um den Wärmestrom bestimmen zu können muss das Signal des Durchflussmessers in einen Volumenstrom umgerechnet werden. Für die Umrechnung steht das Datenblatt des Durchflussmessers zu Verfügung, welches das Verhältnis von Impulsen/ Liter wiedergibt.

$$80 \text{ Imp} \cong 1 \text{ l} \quad (7.1)$$

Daraus ergibt sich, dass:

$$1 \text{ Imp} \cong \frac{1}{80} \text{ l} = \frac{1000}{80} \text{ ml} = 12,5 \text{ ml} \quad (7.2)$$

Der Volumenstromzähler schickt die Anzahl der Impulse (x) in Form einer Hertzzahl an die SPS. Durch einfache Multiplikation ergibt sich ein Volumenstrom.

$$\dot{V} = p \cdot x = 12,5 \text{ ml} \cdot x \quad (7.3)$$

7.9.2 Programmoberfläche

Die Programmoberfläche zum Testen des Prüfstandes zeigt Abbildung 29. Die Graphen geben die Temperaturverläufe der Misch-, Vorlauf- und Rücklauftemperaturen, sowie den Volumenstrom wieder. Der Volumenstrom ist das Produkt aus Anzahl der Impulse des Durchflussmessers mit der Volumenmenge eines Impulses. Der Rückgabewert des Durchflussmessers ist im rechten Bildrand in Hertz angegeben. Die Rechnung des Wärmestromes befindet sich in Teil 9.2.

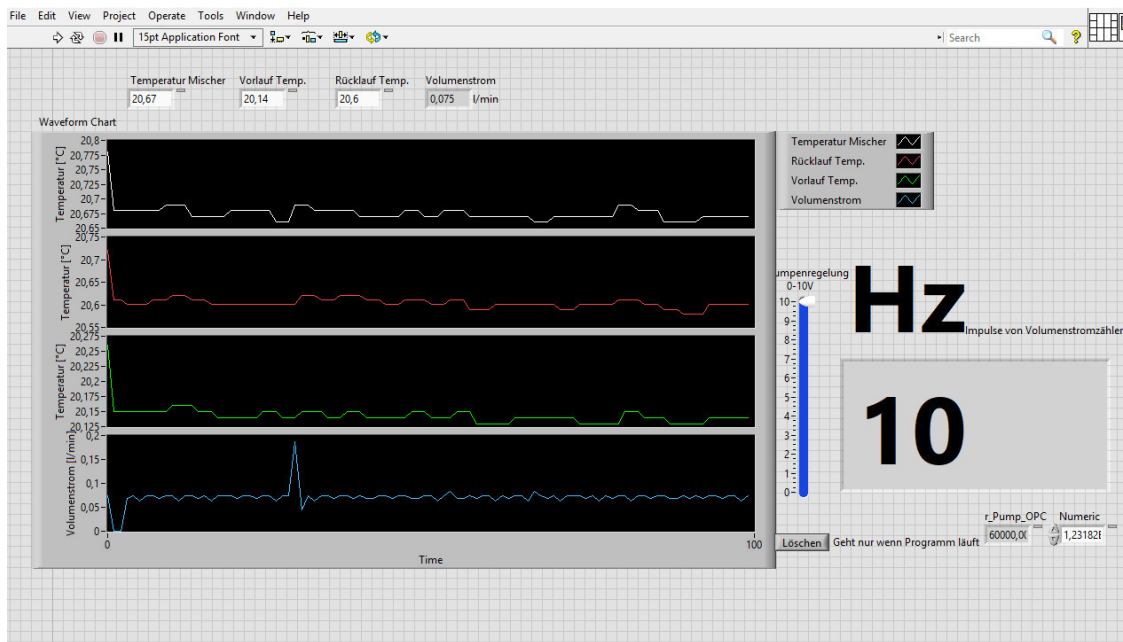


Abbildung 29: Programmoberfläche

8 Sollzustand

Das Ergebnis des Prüfstandumbaus wird in diesem Kapitel thematisiert. Alle Umbauten des Prüfstandes werden getestet und dokumentiert. Die Kurzzusammenfassung des Istzustandes und des Sollzustandes finden sich im Lastenheft. Ein zweites Lastenheft befasst sich mit der Steuerung des Latentspeichers. Diese befinden sich im Anhang.

8.1 Inbetriebnahme und Erprobung

Bevor der Prüfstand für Laborversuche zur Verfügung steht, muss er getestet werden. Um den Prüfstand auf Dichtigkeit zu prüfen, wird eine Druckprobe durchgeführt, bei der der Prüfstand einem Druck von 2,5 bar ausgesetzt ist. Dieser Druck ist deutlich höher als der Druck im Regelbetrieb. Bei der Druckprobe waren zwei Tacosetter undicht. Diese Undichtigkeiten wurden behoben, indem die Tacosetter mit neuem Teflonband gedichtet wurden. Die weiteren Funktionen des Latentspeichers werden bei einer Beladungsprobe durchgeführt.

Bei der Beladung des Prüfstandes wird das vorhandene LabVIEW- Programm benutzt. Die sechs Tacosetter der Speicherzellen werden komplett auf 100% Durchfluss geschaltet, um alle Zellen gleichmäßig zu beladen. Bevor die Beladung der Zellen beginnt, wird das System mit der „Vorwärmen“- Funktion vorgeheizt. So steht die Fernwärme direkt beim Beladen zur Verfügung. Ist der Aufwärmprozess abgeschlossen, beginnt die Beladung der Zellen. Die Mischventile ändern ihre Stellung, so dass das heiße Wasser durch die Speicher fließt. Im ersten Probeteil werden die Speicherzellen mit der „Beladen“- Funktion gespeist. Im Programm wird eine Zulauftemperatur zu den Speichern eingestellt. Das LabVIEW- Programm verfügt über eine integrierte PID- Steuerung, die die Mischventile regelt und damit für eine konstante Beladungstemperatur von 70°C sorgt. Die erprobten Parameter für die PID- Regler bei der Beladung sind:

PID gains	[]
proportional gain (Kc)	0,050
integral gain (ti, min)	0,010
derivative time (Td; min)	0,000

Tabelle 8: Regler Parameter

Der zweite Versuchsteil wird mit der „ ΔT Beladen“- Funktion durchgeführt. Bei der Beladung mit der ΔT - Funktion wird der Speicher mit einer gleichbleibenden Temperaturdifferenz beladen.

8.2 Berechnung der Wärmeströme bei der Beladung

Die Beladung wird mit einem ΔT von 5K und 10K durchgeführt. Die Steuerung regelt die beiden Temperaturdifferenzen sehr präzise ein. Durch anpassen der PID- Werte kann die Regelungen noch feiner justiert werden. In der Tabelle 9 sind die Werte für die Beladungstemperaturen dargestellt.

ΔT [K]	Mischtemperatur [°C]	Rücklauftemperatur [°C]
5	72,7	67,7
10,2	88,7	78,5

Tabelle 9: Beladungstemperaturen

Für die Berechnung des Wärmestroms wird der vom Durchflussmesser ermittelten Wert für den Volumenstrom benötigt. Der Volumenstrom wird über die Pumpe geregelt und wird bei beiden Beladungsvorgängen konstant gehalten. Die folgende Rechnung zeigt die Wärmeströme der Beladungsvorgänge.

$$\dot{V} = V \cdot f = 12,5 \text{ ml} \cdot 10 \text{ Hz} = 125 \frac{\text{ml}}{\text{s}} = 0,125 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,125 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \quad (8.1)$$

Die Dichte und die spezifische Wärmekapazität werden aus Tabelle 1 entnommen. Um Werte bei den Zwischentemperaturen zu erhalten wird interpoliert. Die Interpolationsformel lautet:

$$y = y_1 + \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) \quad (8.2)$$

Dichte:

$$\rho(T = 67,7^\circ\text{C}) = 0,9790992 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \quad (8.3)$$

Spezifische Wärmekapazität:

$$c_p(T = 67,6^\circ\text{C}) = 4,18662 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (8.4)$$

Die Temperaturdifferenz ermittelt sich aus der Differenz von Hin- und Rücklaufemperatur:

$$\Delta T_1 = T_{Misch} - T_{Rück} = 72,7^\circ C - 67,7^\circ C = 5,0K \quad (8.5)$$

Aus den Werten ergibt sich ein Wärmestrom von:

$$\dot{Q}_1 = \dot{V} \cdot \rho(T) \cdot c_p(T) \cdot \Delta T_1$$

$$\dot{Q}_1 = 0,125 \frac{dm^3}{s} \cdot 0,9790992 \frac{kg}{dm^3} \cdot 4,18662 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 5K$$

$$\dot{Q}_1 = 2,562 \frac{kJ}{s} = 2,562kW$$

Erfolgt die Beladung der Speicher mit einer Temperaturdifferenz von $\Delta T = 10K$, so errechnet sich der Wärmestrom wie folgt:

Dichte:

$$\rho(T = 78,5^\circ C) = 0,972705 \frac{kg}{dm^3}$$

Spezifische Wärmekapazität:

$$c_p(T = 78,5^\circ C) = 4,1948 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Die Temperaturdifferenz ermittelt sich aus der Differenz von Hin- und Rücklauftemperatur:

$$\Delta T_2 = T_{Misch} - T_{Rück} = 88,7^\circ C - 78,5^\circ C = 10,2K$$

Aus den Werten ergibt sich ein Wärmestrom von:

$$\dot{Q}_2 = \dot{V} \cdot \rho(T) \cdot c_p(T) \cdot \Delta T_2$$

$$\dot{Q}_2 = 0,125 \frac{dm^3}{s} \cdot 0,972705 \frac{kg}{dm^3} \cdot 4,1948 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 10,2K$$

$$\dot{Q}_2 = 5,202 \frac{kJ}{s} = 5,202kW$$

Bei einem Vergleich der beiden Beladungs- Wärmeströme fällt auf, dass bei doppelter Temperaturdifferenz der Wärmestrom doppelt so groß ist. Die temperaturabhängige Dichte und die spezifische Wärmekapazität verlaufen antiproportional und heben sich nahezu auf. Eine Beladung des Speichers mit $\Delta T_2 = 10,2K$ würde also in der Hälfte der Zeit erfolgen. Jedoch ist das benötigte Temperaturlevel deutlich höher.

Die Energie für die Beladung der Speicher kann aus der Energie der Sonnenstrahlung kommen. Wird die Strahlungsleistung der Sonne in Deutschland betrachtet, so ergeben sich für einen sonnigen Tag in etwa eine Intensität von 1000 W/m^2 . An Wintertagen beläuft sich die Sonnenstrahlung auf weniger als 100 W/m^2 . [13] Für die Beladung mit einer Temperaturdifferenz von $\Delta T_1 = 5K$ und einem damit verbundenen Wärmestrom von $\dot{Q}_1 = 2,562kW$ würde im Sommer bei klarem Himmel eine Kollektorfläche von ca. $2,6 \text{ m}^2$ benötigt werden. Für die Beladung mit einer Temperaturdifferenz von $\Delta T_2 = 10,2K$ müsste schon eine Kollektorfläche von ca. $5,2 \text{ m}^2$ bereitgestellt werden. Im Winter müsste die Kollektorfläche in etwa die zehnfache Größe aufweisen.

Die Abbildung 30 zeigt sehr deutlich die gleichmäßige Verteilung des Wärmestromes auf die Zellen und damit das gleichmäßige Aufschmelzen aller sechs Paraffinspeicher. Die Beladung der Zellen erfolgt nach dem Umbau simultan. Dass die außen liegenden Zellwände kälter sind als die Zellwände im Inneren des Prüfstandes, zeigt die Erstarrung an der Außenwand der Zylinder und die Schmelze im Inneren. Die Wärmestrahlung der Nachbarzellen ist für die zusätzliche Wärmemengeneinbringung verantwortlich. Das Plexiglas gewährt einen sehr guten Einblick in die Thematik der latenten Wärmespeicherung.



Abbildung 30: Aufschmelzen der Speicher

9 Zusammenfassung und Fazit

Der Schwerpunkt der Arbeit lag in der Umgestaltung des Messkonzeptes der Wärmemengenmessung am Laborversuch Latentwärmespeicher. Die alten Wärmemengenzähler sollten durch einen Durchflussmesser und zwei Temperaturmesser ersetzt werden. Im Rahmen des Umbaus sollte auch die Rohrverlegung optimiert und die Steuerungseinheit erweitert werden.

Nach der Analyse des vorhandenen Systems und einer kritischen Betrachtung wurden die Schwachstellen ermittelt. Problematisch war die Verlegung der Rohre, in denen sich Lufteinschlüsse bildeten und einen konstanten Durchfluss verhinderten, wodurch keine gleichmäßige Beladung der Speicherzellen möglich war. Die Steuerungs- und Überwachungseinheit besaß nicht genug Anschlussmöglichkeiten, um alle Temperaturfühler und den Durchflussmesser zu integrieren. Die Pumpe wurde extern gesteuert.

In der Konzeptfindungsphase wurde darauf geachtet, dass alle Zellen gleichmäßig durchströmt werden. Die Regelung erfolgt durch manuell einstellbare Tacosetter, die einfach in der Funktion, aber sehr wartungsfrei sind. Durch schnelles und präzises Einstellen sind die Tacosetter optimal für den Prüfstandeinsatz geeignet. Um den gesamten Volumenstrom des Prüfstandes zu ermitteln, wurden Durchflussmesser mit verschiedenen Messsystemen verglichen. Wegen der guten Verarbeitung, der relativ geringen Kosten und optimalen Anschlussmöglichkeit über Gewinde, fiel die Wahl auf den Messturbinen- Durchflussmesser der Firma Biotech. Um den Durchflussmesser und die neuen Temperaturmesser an die SPS anschließen zu können, musste ein neuer Schaltschrank aufgebaut werden. Die vorhandenen Klemmen wurden erweitert und ordnungsgemäß angeschlossen. In den Schaltschrank wurde auch ein Motorschutz für die Pumpe eingebaut.

Die neue SPS musste in LabVIEW eingebunden und anschließend getestet werden. Hierzu wurde ein neues Programm geschrieben, welches die Beladungstemperaturen, den Durchfluss der Zellen und die Pumpensteuerung umfasst. Die Testläufe für die Beladung der Speicher verliefen planmäßig. Alle Zellen werden gleichmäßig durchströmt und schmelzen simultan. Das Programm steht für die Laborversuche zur Verfügung.


Nachfolgende Gruppen können die Oberfläche in LabVIEW weiter programmieren und alle Messstellen implementieren. Die Darstellung des alten Programmes sollte überarbeitet und umgestaltet werden. Die Stellung der Mischventile ist schwer erkennbar. Zur Veranschaulichung könnten Graphiken in das vorhandene Programm implementiert werden.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Prof. Dr.-Ing Frischgesell, Vorlesungsunterlagen „Solare Energiebereitstellung“ (SoSe 2017 Folie 3)
- [2] Schmidt-Pleschka, Milles (Dezember 2005), „Wärme und Strom speichern“; Herausgeber: FIZ Karlsruhe GmbH
„http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Basis_Energie/Basis_Energie_Nr._19/basis19internetx.pdf“, Abruf am 8.12.2017
- [3] Prof. Dr.-Ing Frischgesell Vorlesungsunterlagen „Solare Energiebereitstellung“ (SoSe 2017 Folie 59)
- [4] VDI Wärmeatlas, 9. Auflage 2002, Stoffwerte von Wasser, Dichte, spezifische Wärmekapazität
- [5] Krohne Durchflussmesser,
„<https://krohne.com/de/produkte/durchflussmessung/magnetisch-induktive-durchflussmessgeraete/sensoren/optiflux-4000/>“, Abruf 24.11.2017
- [6] Omega Eng., Magnetisch- Induktiver- Durchflussmesser,
„<https://www.omega.de/prodinfo/magnetisch-induktive-durchflussmesser.html>“, Abruf 12.12.2017
- [7] Tecmara Durchflussmesser, „<http://www.tecmara.com/produkte/durchflussmessung/elektronisch/aufbau-und-funktion.html>“, Abruf 24.11.2017
- [8] Messturbine, Veröffentlichungsnummer: DE102006057518 B4,
„<http://www.google.st/patents/DE102006057518B4?cl=de>“, Abruf 12.12.2017
- [9] Messturbine, Veröffentlichungsnummer: DE102006057518 B4,
„<http://patentimages.storage.googleapis.com/DE102006057518B4/00170001.png>“, Abruf 12.12.2017
- [10] Conrad Durchflussmesser, „https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/de/150175_LB_00_FB/durchfluss-sensor-1-st-mjed-bio-tech-ek-betriebsspannungsbereich-45-24-vdc-messbereich-05-50-lmin-l-x-b-x-h-110-x-70-x-85-mm.jpg?x=250&y=250“, Abruf 12.12.2017
- [11] Taconova Tacosetter,
„https://www.taconova.com/fileadmin/user_upload/dp_taconova/images/HA/PB_TacoSetter_Inline_100_AG.png“, Abruf 12.12.2017
- [12] Schwimmtlüfter,
„<https://www.haustechnikdialog.de/SHKwissen/Images/Schwimmtundbeluefter.jpg>“, Abruf 12.12.2017
- [13] Christian Münch GmbH, Globalstrahlung in Deutschland,
„<http://www.solarthermie.net/wissen/globalstrahlung-deutschland>“, Abruf 17.12.2017

Anhang

A Kostenvoranschlag von Emil Stelling

EMIL STELLING ARMATUREN			
		ANGEBOT 31177286.001	Netto
Firma	Kd-Nr.	Datum	Blatt
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Fakultät Technik u.Informatik St. Georg Berliner Tor 9 20099 Hamburg	215082	07.09.2017	1
	Ruge, Andreas	Ansprechpartner/in: Tel:+49 (040) 325645 - 14 Fax:	
	Frey, Marco	Innendienst: Tel:+49 (040) 325645 - 33 Fax:+49 (040) 321300	
	Grupe, Michael	Außendienst: Tel:+49 (040) 325645 - 61 Mob:+49 (017033) 94302	
Gültig bis : 05.11.2017		Erstellung: 06.09.2017	
Aufst.Text : AN 31.177.286-001			
TEL: +49 040/42875-7991		FAX: +49 040/42875-7809	
<p>Wir danken Ihnen für Ihre Anfrage und bieten Ihnen zu unseren bekannten Verkaufs-/Lieferungs- und Zahlungsbedingungen an. Die nachstehenden Preise gelten ab Werk bei geschlossener Abnahme bzw. Abnahme in geschlossenen Partien frei Wagen an befahrbare Verwendungsstelle, ohne Abladen, zuzüglich Mehrwertsteuer und Transportsicherungszuschlag. Bei Änderung der Preise seitens unserer Lieferwerke müssen wir uns vorbehalten, die am Tage der Lieferung gültigen Preise in Anrechnung zu bringen. Mit "B" gekennzeichnete Ware ist von der Stornierung, Rückgabe und vom Umtausch ausgeschlossen. Lieferzeitangaben sind grundsätzlich freibleibend. Zahlungsbedingungen wie vereinbart.</p>			
Position	Menge	E-Preis	Preis
<u>Artikel</u>			
001			
POS 1000	B		EUR
QAE1045500	Rittal AE1045.500 Kompakt-Schaltschrank 400x500x210mm IP66 RAL 7035 m.Montagepl. 1045500 AE1045500	1,000 ST 62,61	62,61
POS 2000	L		EUR
SEFF15	Flexvent Schwimmerentlüfter 1/2" m.Absperrventil 27740	3,000 ST 8,75	26,25
<small>EMIL STELLING ARMATUREN KG GEDRUCKEN/RODER BÜCKEN 3 21099 HAMBURG T +49 40 325645-0 F +49 40 325645-15 INFO@EMIL-STELLING.DE WWW.EMIL-STELLING.DE UST-DMR: DE 814 768 869 HFA 105098 HAMBURG DEUTSCHE BANK AG BLZ 250 700 000 KTO: 030 66 84 00 - SWIFT-KC: DEUTDE33XXX - IBAN: DE64 2037 0000 0030 6688 00 COMMERZBANK AG (BLZ 200 800 00) KTO: 0 620 221 600 - SWIFT-BIC: COBSDE33HAN - IBAN: DE76 2058 0000 0620 2226 00</small>			
■ ■ ■ ■			

EMIL STELLING ARMATUREN



ANGEBOT
31177286.001

Netto

Kd-Nr.
215082

Datum
07.09.2017

Blatt
2

Position			Menge	E-Preis	Preis
<u>Artikel</u>					
POS 3000			B		EUR
MKH15CF	Ms Kugelhahn PN40 IG/IG 1/2" mit Alu Flügelgriff CW617N 0921R204		3,000 ST	4,85	14,55
POS 4000			L		EUR
4243G1815	Uebergangs-Nippel Rotguss 18mm x 1/2" AG 4243G018004000 4243G	4243g	3,000 ST	0,82	2,46
POS 5000			L		EUR
4270G2225	Uebergangs-Muffe Rotguss 22mm x 1" 4270G022008000 4270G	4270g	3,000 ST	2,04	6,12
POS 6000			L		EUR
327025	Muffe Rotguss 1" 266561 3270	3270	3,000 ST	1,60	4,80
POS 7000			B		EUR
TKM18	Tectite Kupfer Muffe 18mm T27018 T27018		15,000 ST	3,95	59,25
POS 8000			L		EUR
5002A18	Bogen Kupfer 1/1 90 Grad 18mm 5002A018000000 5002A	5002a	20,000 ST	0,44	8,80
POS 10000			L		EUR
418018	Kreuzstueck Rotguss 18mm 4180 018000000 4180	4180	7,000 ST	7,84	54,88
	Von den Kreuzstücken hätten wir 7 Stück. Von den T-Stücken hätten wir genug.				

EMIL STELLING ARMATUREN KG | GEORG-SWEDER-BUENEN 3 | 21109 HAMBURG | T +49 40 325645-0 | F +49 40 325645-55 | INFO@EMIL-STELLING.DE | WWW.EMIL-STELLING.DE
 UST-IDNR.: DE 814 768 869 | HRA 105098 HAMBURG | DEUTSCHE BANK AG (BLZ 250 700 00) KTO. 030 66 88 00 - SWIFT-BIC: DEUTDE33HAN | IBAN: DE64 2507 0000 0030 6688 00
 COMMERZBANK AG (BLZ 250 400 00) KTO. 0 620 222 600 - SWIFT-BIC: DRESDEFF330 - IBAN: DE75 2508 0000 0620 2226 00



EMIL STELLING ARMATUREN



ANGEBOT
31177286.001

Netto

Kd-Nr.
215082

Datum Blatt
07.09.2017 3

Position		Menge	E-Preis	Preis
<u>Artikel</u>				
POS 11000		B		EUR
CTW2014100V	COSMO Twin Solar-Wellrohr DN 20 14mm Länge 10m ohne Verschraubung 86TCOM140281002 . Den Wellenschlauch kann ich Ihnen nur in 10m anbieten.	1,000 KT	172,55	172,55
			Objektsunme	<u>412,27</u>
			Zwischensunme	412,27
			MWST 19,00 %	78,33
			Endbetrag EUR	<u>490,60</u>

* Bitte geben Sie bei Auftragserteilung die *
* o.a. Angebotsnummer mit an. *

Mit freundlichen Grüßen

Emil Stelling Armaturen KG, Hamburg

EMIL STELLING ARMATUREN KG | CEDRESWERDER BOGEN 3 | 21071 HAMBURG | T +49 40 325445 0 | F +49 40 325445 51 | INFO@EMIL-STELLING.DE | WWW.EMIL-STELLING.DE
UST-DNR : DE 894 768 869 | HRA 105098 HAMBURG | DEUTSCHE BANK AG | BLZ 250 700 001 KTO. 030 66 86 00 - SWIFT-BIC: DEUTDE33HAN | IBAN: DE64 2007 0000 0030 6688 00
COMMERZBANK AG | BLZ 250 800 001 KTO. 0 620 222 600 - SWIFT-BIC: DRESDEFF200 - IBAN: DE30 2500 0000 0620 2226 00



B Lastenhefte

B – 1 Wärmemengenmessung

B – 2 Steuerung



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Lastenheft zur Wärmemengenmessung für den Prüfstand „Latentwärmespeicher“

Michael Kruse
Matr.-Nr.: 2024256

Planung und konstruktive Umgestaltung der Wärmemengenmessung für den Laborversuch „Latentwärmespeicher“

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
1 Einleitung	3
2 Beschreibung des Ist-Zustandes	3
3 Beschreibung des Soll-Zustandes	5
3.1 Beschreibung des geplanten Prüfstandumbaus	5
3.2 Benötigte Komponenten für den Prüfstandumbau	7
4 Risiken	7
5 Anforderungen	8
6 Ablaufplan	8
7 Freigabe / Genehmigung	8

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prüfstandübersicht von der Empore im ZET	3
Abbildung 2: Schaltzentrale zur Steuerung und Überwachung	4
Abbildung 3: Unübersichtliche Kabelführung	6
Abbildung 4: Gantt- Plan	8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste benötigter Komponenten.....	7
--	---

1 Einleitung

Im Zentrum für Energietechnik (ZET) der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) steht ein Prüfstand für die Wärmemengenmessung an einem Latentwärmespeicher. Thermische Speicher dienen dazu, Wärme über einen längeren Zeitraum zu speichern und haben den weiteren Vorteil, dass sie deutlich platzsparender sind als beispielsweise ein Wasserspeicher. Latentwärmespeicher basieren auf dem Prinzip der Wärmespeicherung durch die Aggregatzustandsänderung des Wärmeträgermediums in den Speichern. Momentan wird der Prüfstand noch für Labore benötigt, jedoch sollen Veränderungen vorgenommen werden, durch die genauere Versuchsergebnisse erzielt werden sollen. Die dafür notwendigen Maßnahmen werden im Rahmen dieses Lastenheftes detailliert erläutert.

2 Beschreibung des Ist-Zustandes

Der Versuchsaufbau „Latentwärmespeicher“ befindet sich an der HAW im Gebäude BT11. Abbildung 1 zeigt den Prüfstand.

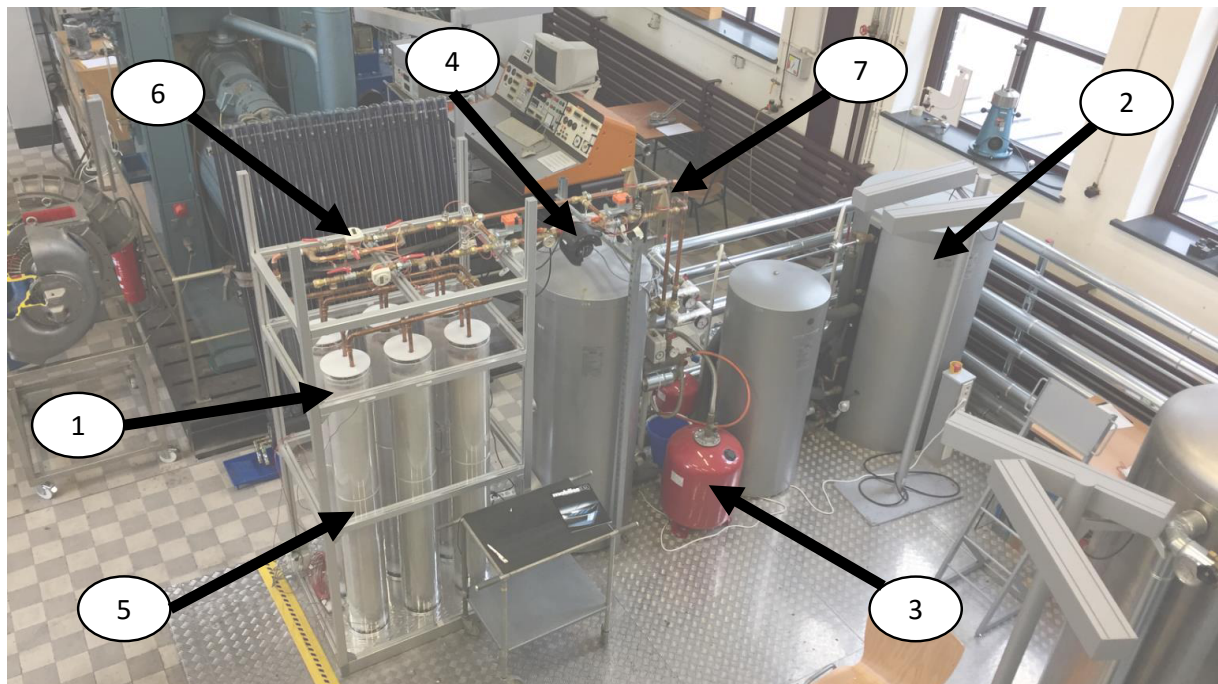


Abbildung 1: Prüfstandübersicht von der Empore im ZET

Zu dem Versuchsaufbau gehören sechs Wachsspeicher (1), sensibler Wärmespeicher (2), ein Ausgleichsgefäß (3), Pumpen (4), Temperaturmessstellen (5), Wärmemengenzähler (6) sowie Entlüftungsventile (7).



Abbildung 2: Schaltzentrale zur Steuerung und Überwachung

Überwacht und gesteuert wird der Prüfstand über einen Computer. Die Steuerungseinheit gibt Informationen zu den Temperaturen im System, dem Druck in den Leitungen und regelt die Pumpe, die für die Zirkulation des Prüfstandes zuständig ist. Mit dem Steuerungscomputer sind auch andere Versuchseinheiten wie zum Beispiel der Sonnensimulator und die Solaranlage gekoppelt, die aber für diesen Prüfstand nicht relevant sind und daher nicht weiter betrachtet werden.

Über Fernwärme wird mit einer Temperatur von ca. 90°C den Wachs speichern Energie in Form von Wärme zugeführt. Bei einer Temperatur von $60\text{-}62^{\circ}\text{C}$ beginnt die Schmelzphase des Wachses, wodurch sich der Aggregatzustand ändert. Da sich die Temperatur bei diesem Prozess nicht erhöht, kommt es zu einer Zunahme der Enthalpie. Die Beladung der Speicher ist abgeschlossen, wenn das komplette Wachs in den Röhren geschmolzen ist. Wird zu einem späteren Zeitpunkt Wärme benötigt, wird kaltes Wasser durch die Speicher gepumpt, das die gespeicherte Energie aufnimmt. Derzeit ist es nicht möglich, die Speicher einzeln zu befüllen.

Der Prüfstand verfügt derzeit über zwei Wärmemengenmessgeräte. Davon misst eins den Wärmestrom der Beladung und eins den Wärmestrom der Entladung des Wärmespeichers. Ein Problem besteht aktuell darin, dass Wasser im Betrieb aus einer Rohrverbindung austritt. Das kann nicht nur zu ungenauen Messungen führen, sondern auch ein Sicherheitsrisiko darstellen. Ein weiterer Schwachpunkt sind die Temperaturfühlergewinde in den Plexiglaswandungen der Speicher.

3 Beschreibung des Soll-Zustandes

Die zwei Wärmemengenmessgeräte sollen durch ein Volumenstrommessgerät und zwei Temperaturmessstellen ersetzt werden. Die Signale werden mit dem Programm „LabVIEW“ verarbeitet und für die weitere Auswertung zur Verfügung gestellt. Mittels Rechnung wird der Wärmestrom bestimmt und grafisch dargestellt. Alle sechs Wärmespeicher sollen einzeln oder im Verbund angesteuert bzw. befüllt werden können. Das Rohrleitungssystem muss so konstruiert werden, dass eine Entlüftung möglich ist und die Haltekonstruktion soll stabilisiert werden. Beim Neuaufbau des Systems müssen die Undichtigkeiten in den Rohrverbindungen behoben und die Temperaturfühler mit zusätzlichen Dichtungsringen versehen werden. Eine schematische Übersicht des Soll- Zustandes zeigt das R&I Schaltbild, welches sich im Anhang des Lastenheftes befindet.

3.1 Beschreibung des geplanten Prüfstandumbaus

Der Prüfstand wird für Laborversuche umgebaut und dafür vom Netz getrennt. Um mehr Stabilität zu erreichen, wird das gesamte Rohrsystem und die Haltekonstruktionen erneuert. Dadurch sollen die oben genannten Schwachstellen behoben werden.

Die Pumpe wird weiterhin die Latentwärmespeicher mit Fernwärme versorgen. Auch der Vorwärm-Kreislauf wird in der ursprünglichen Form montiert. Anstelle der Wärmemengenmessgeräte werden die neuen Temperaturmessstellen und der Volumenstrommesser installiert, um genauere Ergebnisse zu erzielen. Gesteuert wird der Prüfstand von einer Phoenix-Steuerung über einen Computer mit der Oberfläche „LabVIEW“.

Verbesserungsbedarf besteht außerdem bei der Konstruktion der Rohrleitungen. An den Verzweigungsstellen zu den Speichern haben sich in den Hochpunkten ungelöste Gase festgesetzt, die den Strömungswiderstand erhöhen und die Förderung des Energieträgermediums Wasser beeinträchtigen. Durch geschickte Verlegung der Rohrleitungen und zusätzliche neue Luftabscheider wird dem entgegengewirkt.



Abbildung 3: Unübersichtliche Kabelführung

Durch Kürzung oder Neuverlegung der Kabel werden Stolperfallen beseitigt. Darunter fällt die Stromversorgung der Phoenix-Steuerung, sowie die Kabel der Temperaturmesser. Diese Überarbeitung bewirkt nicht nur eine optische Verbesserung, sondern hat auch den Vorteil, dass Temperaturmessstellen einfacher ausgetauscht und Fehler schneller gefunden und behoben werden können.

3.2 Benötigte Komponenten für den Prüfstandumbau

Für den Umbau des Prüfstandes werden neue Komponenten benötigt. Die Steuerungseinheit soll vergrößert werden, das zusätzliche Messfühler installiert werden können. Für die schnelle Anbindung an das Fernwärmenetz wird ein Schlauch benötigt. Zusätzlich sollen im Versuchsstand weitere Entlüfter montiert werden, um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten. Für den Umbau werden Muffen und Fittings benötigt, die in Tabelle 1 aufgelistet sind. Die Wärmemengenzähler werden durch einen Durchflussmesser ersetzt.

Pos.- Nr.	Komponente
1	Solar- Wellrohr
2	Schwimmtlüfter
3	Kompaktschaltschrank
4	Kugelhahn
5	Übergangsnippel
6	Muffe Rotguss
7	Muffe Rotguss
8	Tectite Muffe
9	Bogen Kupfer
10	Kreuzstück Rotguss
11	Kupfer Reduziermuffe
12	Lötfitting
13	Durchflussmesser

Tabelle 1: Liste benötigter Komponenten

4 Risiken

Da es sich um einen Umbau des Prüfstandes handelt, wird kein Platz für eine Erweiterung benötigt. Bei der Demontage des Prüfstandes ist darauf zu achten, dass das System abgeschaltet wird und die Rohrleitungen nicht unter Druck stehen. Es dürfen keine Undichtigkeiten bei der Installation der neuen Komponenten auftreten. Des Weiteren müssen die Komponenten ordnungsgemäß eingebaut und an die Steuerung angeschlossen werden.

5 Anforderungen

Bis Dezember 2017 muss der Prüfstand umgebaut sein, sodass die Studierenden ihre Labore durchführen können. Die neue Messtechnik und die Konstruktion müssen bis dahin ausreichend getestet und geprüft worden sein. Außerdem muss sichergestellt sein, dass die Rohrverbindungen den Belastungen standhalten und die neuen Geräte ordnungsgemäß installiert sind.

6 Ablaufplan

Um einen Überblick über die Arbeiten und Tätigkeiten des Projektes zu bekommen, läuft parallel zum Projekt ein Gantt- Plan. Die jeweiligen Prozessschritte sind chronologisch aufgelistet und der jeweilige Zeitraum der Arbeiten farbige markiert.

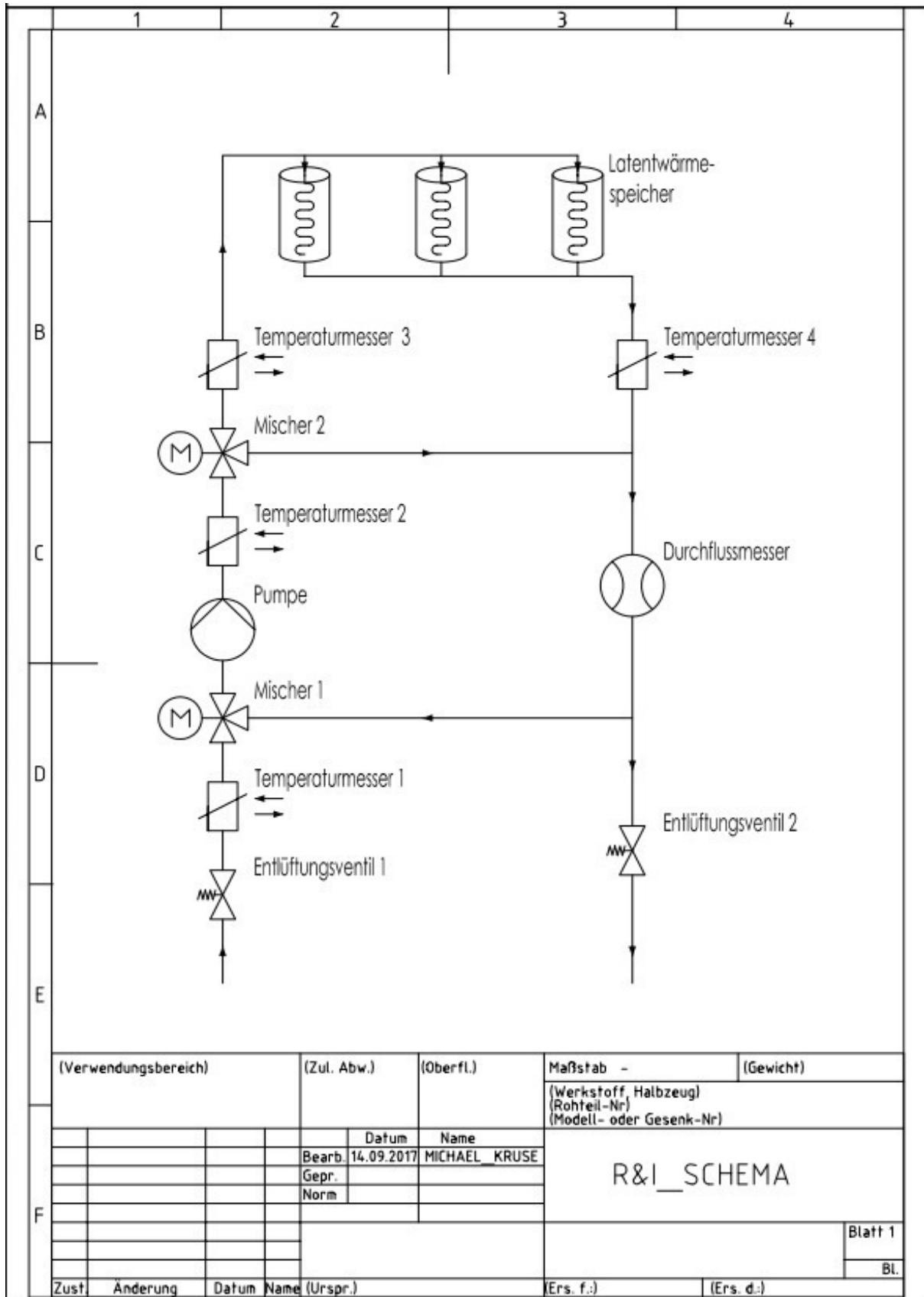
Terminplan des Prüfstandumbaus "Wärmemengenmessung am Latentwärmespeicher"													
Zeitplan		Oktober				November				Dezember			
Nr.	Aufgaben / Meilensteine	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Projektvorbereitung												
1.1	Definieren der Aufgabenstellung												
1.2	Zielgrößen vorgeben												
1.3	Aufgabenverteilung												
2.	Informationsphase												
2.1	Analyse der Stärken und Schwächen des Systems												
2.2	Anforderungsbereich festlegen												
3.	Planung												
3.1	Analyse des Istzustandes												
3.2	Entwurf des Sollzustandes												
3.3	Erstellung eines Lastenheftes für den Prüfstandumbau												
3.4	Erstellung eines Lastenheftes für die Benutzeroberfläche am PC												
4.	Installation und Umbau												
4.1	Demontieren der Anlage												
4.2	Auswahl und Beschaffung geeigneter Komponenten												
4.3	Einbindung der neuen Komponenten in das System												
4.4	Programmierung der Steuerung												
5.													
5.1	Dichtigkeitsprüfung												
5.2	Prüfen auf Funktionalität												
5.3	Visualisierung der Messwerte und Einbindung in das System												
6.													
6.1	Interpretation der Messergebnisse												
6.2	Erstellung von Unterlagen für den Prüfstand												

Abbildung 4: Gantt- Plan

7 Freigabe / Genehmigung

Die Freigabe und die Genehmigung für den Umbau erfolgen durch Herrn Dipl.-Ing. Jens Brodersen.

Anhang





Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Lastenheft für die Steuerung des Versuchsaufbaus „Wärmemengenmessung am Latentwärmespeicher

MICHAEL KRUSE
MATR.-NR.: 2024256

Planung und konstruktive Umgestaltung der Wärmemengenmessung für den Laborversuch „Latentwärmespeicher“

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
1 Einleitung.....	3
2 Beschreibung des Ist-Zustandes.....	3
3 Beschreibung des Soll-Zustandes.....	4
4 Risiken	5
5 Anforderungen	5
6 Ablaufplan	6
7 Freigabe Genehmigung	6

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phoenix-Steuerung	3
Abbildung 2: Steuerungsanlage	4
Abbildung 3: RI- Schema	5
Abbildung 4: Ablaufplan	6

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: Messtellenliste	5
----------------------------------	---

1 Einleitung

Im Zentrum für Energietechnik (ZET) der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) wird der Prüfstand „Wärmemengenmessung am Latentwärmespeicher“ umgebaut. Im Rahmen dieses Umbaus soll auch die Steuerung der Anlage angepasst werden. Die Steuerungseinheit soll einfach zu bedienen und Messwerte schnell abzulesen sein, so dass die Studierenden bei Ihren Laborversuchen intensiv arbeiten können.

2 Beschreibung des Ist-Zustandes

Momentan sind die Temperaturfühler sowie das Volumenstrommessgerät an der Phoenix-Steuerung angeschlossen. Gesteuert wird die Anlage jedoch noch von der Schaltzentrale, die auch den Sonnensimulator und die Solaranlage überwacht.

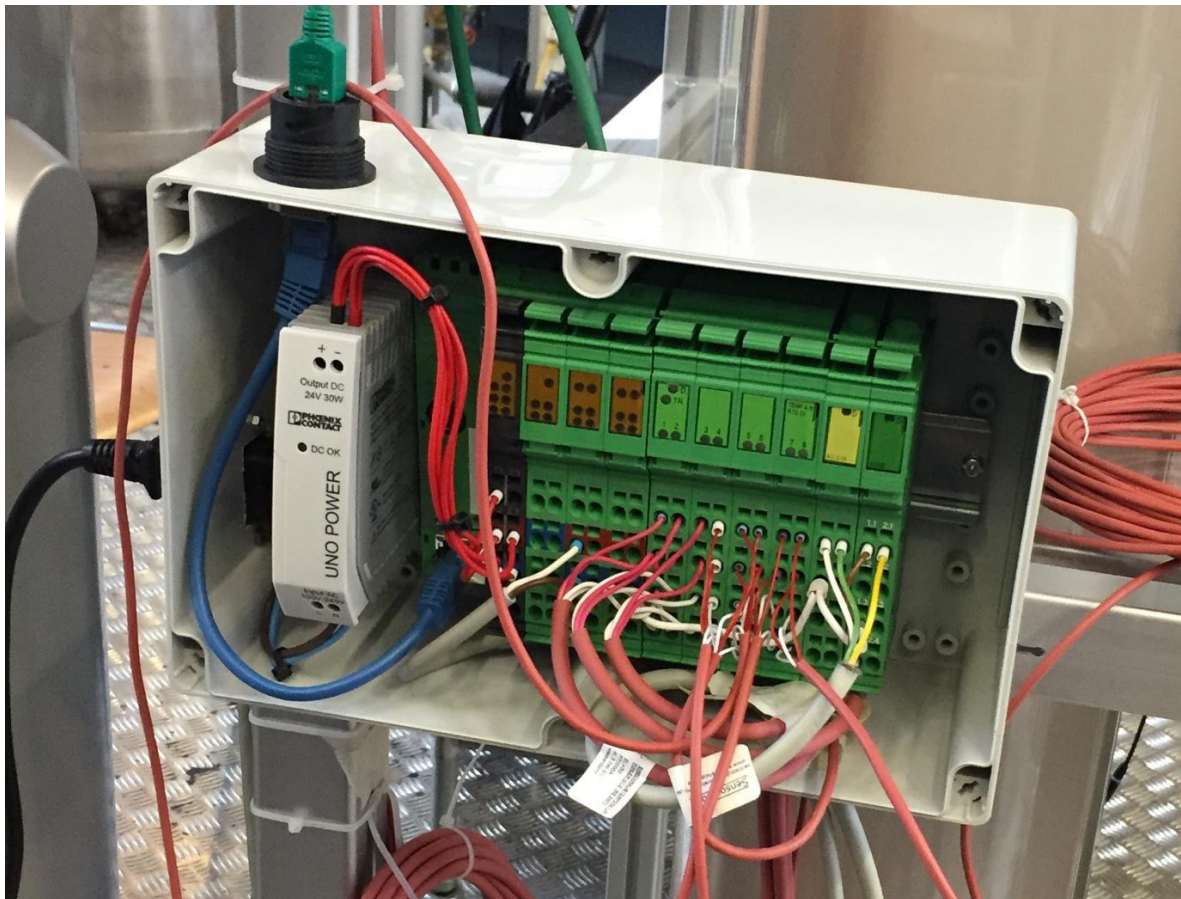


Abbildung 1: Phoenix-Steuerung

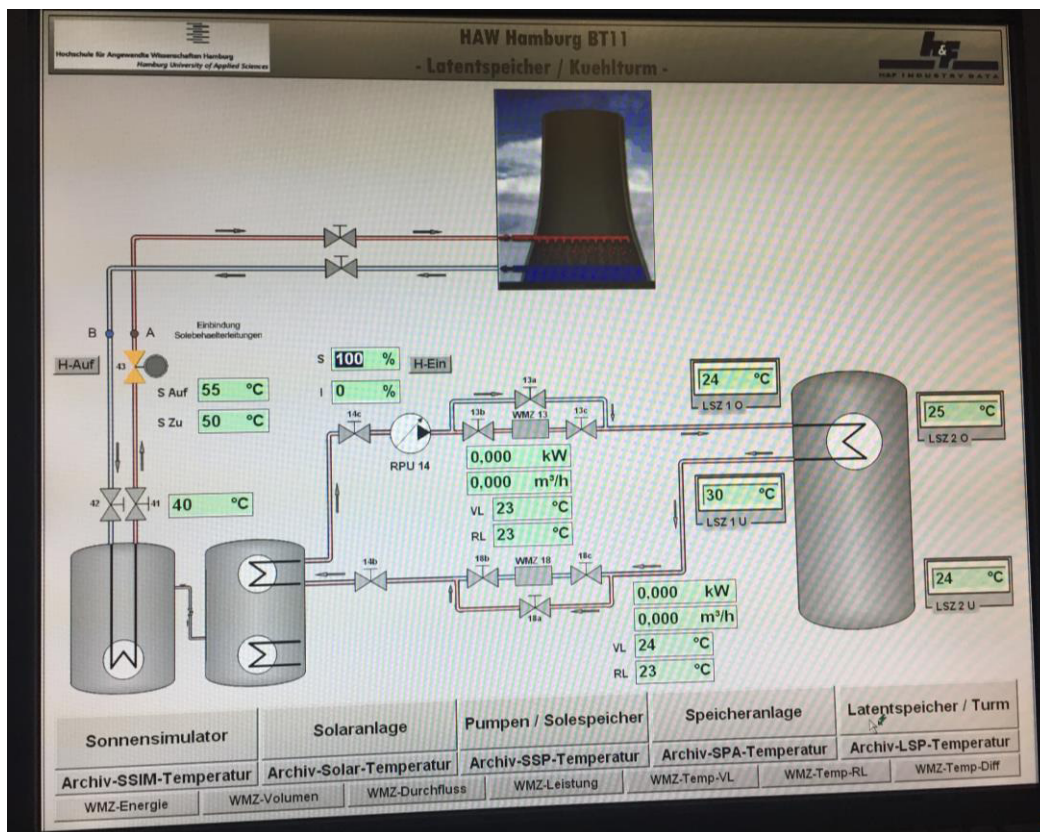


Abbildung 2: Steuerungsanlage

3 Beschreibung des Soll-Zustandes

Im Rahmen des Umbaus soll die Steuerungseinheit angepasst werden. Die Überwachung und Regelung soll über einen eigens für den Versuchsaufbau bereitstehenden Computer laufen. Über eine neu entwickelte Oberfläche soll gesteuert und gleichzeitig die Messergebnisse ausgegeben werden. Zu den gesteuerten Elementen gehören die Pumpe und die Mischventile, wie auch im alten Prüfstandsaufbau, die die Zulauftemperatur regulieren. Gleichzeitig sollen zur Kontrolle die Temperaturen des Systems in Zu- und Rücklauf, die Temperaturverläufe der einzelnen Speicher sowie die Messergebnisse des Durchflussmessers ausgegeben werden.

Das folgende Bild zeigt schematisch die neue Steuerungseinheit mit dem R&I- Übersichtsplan und einer Messstellenübersicht. Eine neue übersichtliche Anordnung soll den Studenten die Bedienung vereinfachen und einen besseren Überblick über den Aufbau gewährleisten. Zusätzlich zu den ausgegebenen gemessenen Werte ist eine grafische Anzeige wünschenswert.

Nr.	Messgröße
1	Latentspeichertemperatur Speicher I,1
2	Latentspeichertemperatur Speicher I,2
3	Latentspeichertemperatur Speicher I,3
4	Latentspeichertemperatur Speicher I,4
5	Latentspeichertemperatur Speicher I,5
6	Latentspeichertemperatur Speicher II,1
7	Latentspeichertemperatur Speicher II,2
8	Latentspeichertemperatur Speicher III,1
9	Latentspeichertemperatur Speicher III,2
10	Latentspeichertemperatur Speicher IV,1
11	Latentspeichertemperatur Speicher IV,2
12	Latentspeichertemperatur Speicher V,1
13	Latentspeichertemperatur Speicher V,2
14	Latentspeichertemperatur Speicher VI,1
15	Latentspeichertemperatur Speicher VI,2
16	Mischtemperatur
17	Temperatur Hinlauf
18	Temperatur Rücklauf
19	Durchflussmesser

TABELLE 1: Messtellenliste

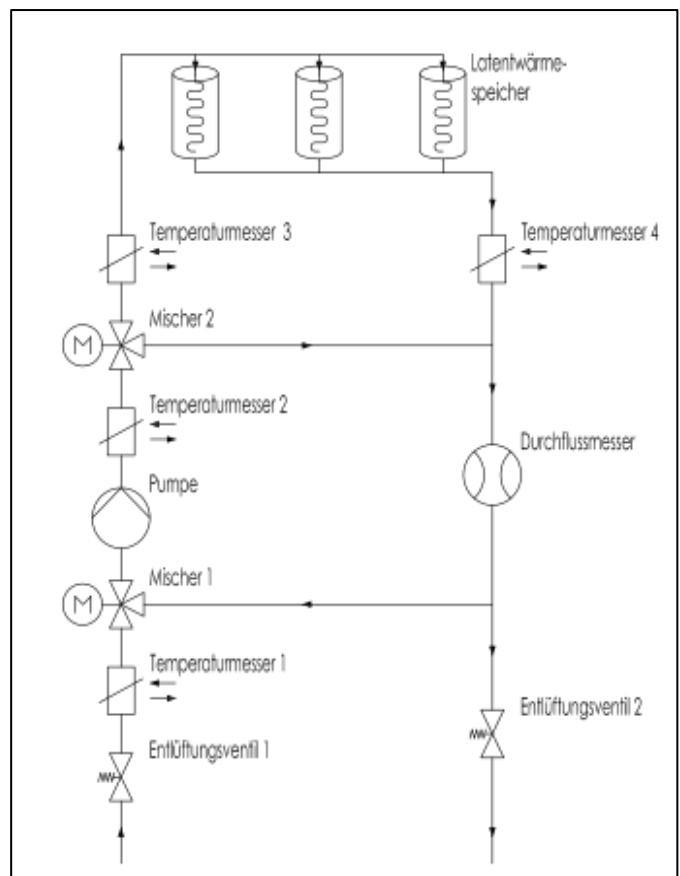


Abbildung 3: RI- Schema

4 Risiken

Die meisten Komponenten werden übernommen, so sollte es beim Umbau zu keinen Komplikationen kommen. Da die neue Steuerung über einen Rechner erfolgen soll welcher direkt an der Anlage angeschlossen ist, müssen die alten und neuen Komponenten in die Benutzeroberfläche integriert werden. Hierbei kann es zu Komplikationen kommen. Die Technik muss kalibriert und eingestellt werden, um ein reibungsloses Laufen des Prüfstandes zu gewährleisten.

5 Anforderungen

Bis Dezember 2017 soll der Prüfstand umgebaut und die Benutzeroberfläche programmiert sein, sodass die Studierenden ihre Labore durchführen können. Die neue Messtechnik und Steuerung müssen bis dahin ausreichend getestet und geprüft worden sein.

6 Ablaufplan

Terminplan des Prüfstandumbaus "Wärmemengenmessung am Latentwärmespeicher"													
		Oktober				November				Dezember			
Nr.	Aufgaben / Meilensteine	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Projektvorbereitung												
1.1	Definieren der Aufgabenstellung												
1.2	Zielgrößen vorgeben												
1.3	Aufgabenverteilung												
2.	Informationsphase												
2.1	Analyse der Stärken und Schwächen des Systems												
2.2	Anforderungsbereich festlegen												
3.	Planung												
3.1	Analyse des Istzustandes	■	■										
3.2	Entwurf des Sollzustandes		■	■									
3.3	Erstellung eines Lastenheftes für den Prüfstandumbau	■	■	■									
3.4	Erstellung eines Lastenheftes für die Benutzeroberfläche am PC		■	■									
4.	Installation und Umbau												
4.1	Demontieren der Anlage			■	■								
4.2	Auswahl und Beschaffung geeigneter Komponenten			■	■								
4.3	Einbindung der neuen Komponenten in das System			■	■	■	■						
4.4	Programmierung der Steuerung					■	■	■	■				
5.													
5.1	Dichtigkeitsprüfung						■	■					
5.2	Prüfen auf Funktionalität						■	■	■				
5.3	Visualisierung der Messwerte und Einbindung in das System						■	■	■	■			
6.													
6.1	Interpretation der Messergebnisse								■	■	■	■	■
6.2	Erstellung von Unterlagen für den Prüfstand											■	■

Abbildung 4: Ablaufplan

7 Freigabe Genehmigung

Die Freigabe und die Genehmigung für den Umbau erfolgen durch Herrn Dipl.-Ing. Jens Brodersen. Die Programmierung wird von Dipl.-Ing. Alexander von Stryk durchgeführt.

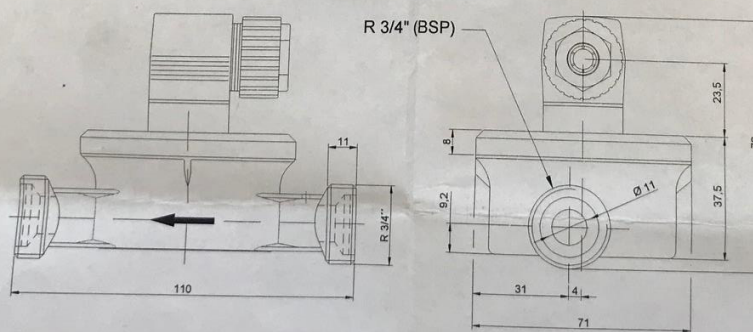
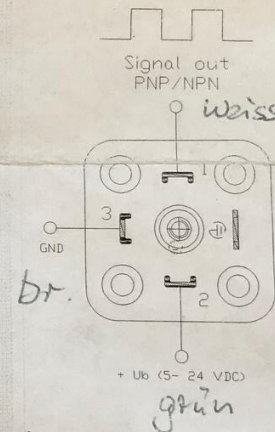
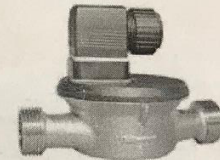
C Datenblatt des Durchflussmessers



Wasserdurchflussmesser
Water Flowmeter

Technische Daten Messprinzip	Technical specification	Anwendung: Wasser, Kühlwasser und sonstige wässrige, chemisch nicht aggressive Medien. Application: water, cooling water and other chemically non aggressive liquids
Messprinzip	Measurement principle	Turbine
Abtastsystem	Sensing principle	Hall sensor, Hall effect, non-contacting
Ausgangssignal	Output: Square wave	Push pull (NPN + PNP)
Durchflussrichtung	Flow direction	in Pfeilrichtung / at arrow direction
Durchflussbereich L/min.	Flow range LPM	0,5-10 L/min.
Düse	Nozzle	keine / none
Impulszahl/ Liter	Pulses output/ Litre	80 Imp./L (bei / at / H ₂ O 20°C)
Viskosität der Medien ν	Viscosity ν	0,1 - 10 mPas
Messgenauigkeit ($\nu=1$ mPas)	Accuracy ($\nu=1$ mPas)	+/- 2 % (bei gleichen Betriebsbedingungen)
Wiederholgenauigkeit	Repeatability of frequency response	+ - 0,8 % (bei gleichen Betriebsbedingungen) + - 0,8 % (at the same operating conditions)
Betriebsdruck Berstdruck	Operating pressure Burst pressure	-0,7- 10 bar >16 bar
Betriebstemperatur	Running temperature	- 10 - 85 °C
Einbaulage	Installation position	beliebig / any
Anschluss	Port Connection	2 x R 3/4" AG/ male thread BSP
Material / Rotor	Materials/ Rotor/ Gasket	Ms-verzinkt / Brass / POM / NBR
Achse / Lagerung	Axle/ Bearing	Stainless steel/ Edelstahl / POM
Spannungsversorgung	Voltage supply	5-24 _{max} VDC
Strombelastung I_{max}	Output current I_{max}	13 mA _{max}
Gebergewicht	Weight	450 Gramm
Abmessung in mm	Dimensions in mm	s. Zeichnung / see drawing

Serie: DFM-Ms R 3/4"
Art.-Nr: 150175



150175-CO.DOC

Technische Änderungen vorbehalten. Stand 8.2016

We reserve the right to make technical changes without notice.

B.I.O-TECH e.K. | Zeitlamer Str. 32 | D- 94474 Vilshofen | Germany
Tel: +49 (0) 8541-91 00 47 | Fax: +49 (0) 8541-96 89 98 0
E-Mail: info@btflowmeter.com | Internet: www.btflowmeter.com