



Bachelor's Thesis

Konzept und Programmierung der Messwerterfassung und Steuerung einer solarthermischen Versuchsanlage

**(Concept and programming of the data acquisition and control system of a
solar thermal test bench)**

verfasst von

Tobias Kilian

Matr.Nr. 03663734

eingereicht am

**Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik
Technische Universität München,**

bei

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner

Betreuer: Dr.-Ing. Peter Tzscheutschler

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt die Steuerung und Programmierung der solarthermischen Versuchsanlage des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Anlagentechnik. Die Anlage war mit alter Software und unübersichtlicher Programmierung nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Technik. Weiterhin wurde die Anlage baulich um weitere Komponenten erweitert, diese galt es miteinzubeziehen. Ziel war es, ein neues Konzept für die Messwertaufnahme und Steuerung der Anlage zu erarbeiten und anschließend das Konzept mit der Software LabVIEW umzusetzen. Im Vorfeld werden die Anlagenkomponenten näher erläutert und ihre Funktion beschrieben. Die Kommunikation der Feldgeräte mit der Software wird ebenfalls beleuchtet. Darauf folgt die Beschreibung der modular gestalteten Programmierung. Im letzten Bereich der Arbeit wird der Funktionsumfang der Anlage erläutert, sodass dieser Teil auch dem Anwender als Funktionsbeschreibung dienen kann. Mit der neu gestalteten Konfiguration der Anlage sowie der Dokumentation des Funktionsumfangs wurde die Solarthermieanlage auf einen aktuellen Stand versetzt.

Abstract

This thesis deals with the control and programming of the solar thermal test facility of the Institute for Energy Economy and Application Technology. The system was not up to date with old software and unclear programming. Furthermore, the system would be further expanded by additional components, which had to be considered. The aim was to develop a new concept for the recording and control of the plant, then implement the concept with the software LabVIEW. The system components are explained in detail and their function described. The communication of the field devices with the software is also illuminated. This is followed by a description of the modular design. The scope of the system is explained in the last section of the work. So this part can also be used as a function description for the user. With the redesigned configuration of the plant as well as the documentation of the functional scope, the solar thermal system was updated.

Aufgabenstellung Bachelor's Thesis

von

Herrn Tobias KILIAN

Matr.-Nr. 03663734

Konzept und Programmierung der Messwerterfassung und Steuerung einer solarthermischen Versuchsanlage

**(Concept and programming of the data acquisition and control system of a solar
thermal test bench)**

Der Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik betreibt auf dem Dach des Institutsgebäudes eine Solarthermieanlage, die vor allem für Versuche im Praktikum eingesetzt wird.

Über Sensoren werden die energietechnisch relevanten Parameter aufgenommen und zur späteren Auswertung aufgezeichnet. Nach einigen Umbauten und Ergänzungen ist die Messwerterfassung anzupassen und eine Steuerung für die integrierte Raum Heizung zu erstellen.

Ziel der Arbeit ist es daher, ein Konzept für die Messwerterfassung und Steuerung der Solarthermieanlage des Lehrstuhls zu erstellen und in LabView umzusetzen. Dabei soll neben der Erfassung und Darstellung aller relevanten Messgrößen auch der Betrieb als Heizungsunterstützung realisiert werden.

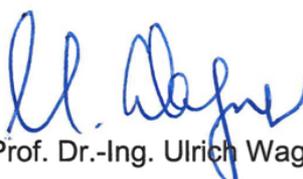
Die Bearbeitung umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Einarbeiten in die bestehende Anlage, ihre Funktionsweise und die installierten Sensoren und Aktoren;
- Erarbeiten der Anforderungen an das MSR System und Erstellen eines Konzepts für die Messwerterfassung, Darstellung und Speicherung;
- Umsetzen des Konzepts in eine Programmierung in LabView;
- Erarbeiten der Algorithmen für die Raumheizung und deren Umsetzung in LabView;
- Testen der Programmierung an der Anlage;
- Durchführen und Auswerten erster Messungen;
- Dokumentation des Konzepts und der Programmierung

Betreuer: Dr.-Ing. Peter Tzscheutschler

Ausgabedatum: 24.04.2017

Aufgabensteller:



Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner

Erklärung

Hiermit erkläre ich,

Name: Kilian

Vorname: Tobias

Matr. Nr.: 03663734

dass ich die beiliegende Bachelor's Thesis zum **Thema:**

Konzept und Programmierung der Messwerterfassung und Steuerung einer solarthermischen Versuchsanlage

selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, sowie alle wörtlichen und sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit gekennzeichnet und die entsprechende Quelle angegeben habe.

Vom Lehrstuhl und seinen Mitarbeitern zur Verfügung gestellte Hilfsmittel, wie Modelle oder Programme, sind ebenfalls angegeben. Diese Hilfsmittel sind Eigentum des Lehrstuhls bzw. des jeweiligen Mitarbeiters. Ich werde sie nicht über die vorliegende Arbeit hinaus weiter verwenden oder an Dritte weitergeben.

Einer weiteren Nutzung dieser Arbeit und deren Ergebnisse (auch Programme und Methoden) zu Zwecken der Forschung und Lehre, stimme ich zu.

Ich habe diese Arbeit noch nicht zum Erwerb eines anderen Leistungsnachweises eingereicht.

München, 28.08.2017

.....

(Bearbeiter: Kilian, Tobias)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung.....	1
2 Anlagenkomponenten.....	3
2.1 Solarkollektoren	5
2.2 Solarstation	7
2.3 Solarspeicher	8
2.4 Sensorik.....	8
2.5 Verbraucherzapfsystem	9
2.6 Raumheizung.....	9
3 Messwerterfassung und Steuerung mit Labview	10
3.1 LabVIEW System.....	11
3.2 Fieldpoint Module	13
3.3 Messwerterfassung der Feldgeräte.....	15
3.4 Steuerung der Feldgeräte.....	17
4 Programmierung	18
4.1 Programmstruktur.....	18
4.2 Programmbausteine.....	20
5 Funktionsbeschreibung und Handhabung	23
5.1 Übersicht aller Messwerte	23
5.2 Steuerung Verbraucherzapfsystem	24
5.3 Steuerung und Regelung der Raumheizung	26
5.4 Datenspeicherung	28
5.5 Messdatenbeispiel	30
6 Zusammenfassung und Ausblick	32
A Anhang.....	33
A.1 Datenpunktliste.....	34
A.2 Thermodynamische Kennwerte.....	36

A.3 Blockdiagramm der Programmbausteine	37
A.4 Daten auf CD	46
Literaturverzeichnis.....	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: 4-Phasen Modell zur Bearbeitungsmethodik	1
Abbildung 2-1: Anlagenschema Solarthermieanlage	4
Abbildung 2-2: Aufbau Vakuumröhrenkollektor [3].....	5
Abbildung 2-3: Aufbau Flachkollektor [3].....	6
Abbildung 2-4: Vergleich Wirkungsgrad Kollektorarten [1]	7
Abbildung 3-1: Aufbau und Kommunikation MSR System	10
Abbildung 3-2: NI MAX Konfigutaton	12
Abbildung 3-3: FieldPiont I/O Logik.....	13
Abbildung 3-4: Übersicht FieldPoint Module	13
Abbildung 3-5: Anschlussbelegung 4-Draht Temperaturfühler am Modul [13].....	15
Abbildung 3-6: PWM Kennlinie Erhitzerpumpe [21]	17
Abbildung 4-1: LabVIEW Programmstruktur	19
Abbildung 5-1: Übersicht Registerkarten	23
Abbildung 5-2: Frontpanel Übersicht Anlage	23
Abbildung 5-3: Frontpanel Verbraucherzapfsystem	25
Abbildung 5-4: Datei für Verbrauchersimulation	26
Abbildung 5-5: Frontpanel Bedienoberfläche Raumheizung	27
Abbildung 5-6: Frontpanel Betriebsdaten Raumheizung	27
Abbildung 5-7: Frontpanel Automatikbetrieb Raumheizung	27
Abbildung 5-8: Frontpanel Datenspeicherung	28
Abbildung 5-9: Beispiel Datenspeicherung	29
Abbildung 5-10: Messdatenauswertung Solarkreislauf	30
Abbildung 5-11: Messdatenauswertung Verbrauch	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Übersicht Funktion Fieldpoint Module.....	14
Tabelle 4-1: Funktionsübersicht Programmbausteine	20
Tabelle 5-1: Funktionen Verbraucherzapfsystem	24

1 Einleitung

Die Energie der Sonne ist ein sehr wichtiger regenerativer Energieträger für die zukünftige Wärmebereitstellung in Deutschland. Das liegt an der enormen Strahlungsleistung, die auf der Erde einfällt. [1] Mit Hilfe einer Solarthermieanlage kann dieses Energieangebot genutzt werden. Der Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik bietet Studierenden die Möglichkeit, Erfahrungen an einer Solarthermieanlage zu sammeln. Die Anlage befindet sich am Dach des Institutsgebäudes und wird überwiegend in Rahmen von Praktika genutzt.

Über die Jahre ist die Anlage sukzessive im Funktionsumfang und um Anlagenteile erweitert worden. Diese historische Entwicklung hatte auch viele Ergänzungen der Software zu Folge, wodurch die Effizienz und Übersichtlichkeit der Software stark beeinträchtigt wurde. Um die Anlage in einen zeitgemäßen und übersichtlichen Betriebsstandart zu versetzen, wurde diese Arbeit initiiert.

Ziel der Arbeit ist es ein neues Konzept für die Regelung und Steuerung der Anlage auszuarbeiten. Auf Basis dieser Konzeption soll die Solarthermieanlage in LabVIEW programmiert und gestaltet werden. Übersichtlichkeit und Effizienz der Programmierung stehen ebenso im Fokus wie die Benutzerfreundlichkeit für spätere Anwender. Dabei soll neben der Erfassung und Anzeige der Betriebsdaten auch eine Speicherung möglich sein. Außerdem sollen neue Anlagenkomponenten, wie die Raumheizung, implementiert werden. Um den Arbeitsumfang zu strukturieren und einen definierten Ablauf zu schaffen, wurde auf das 4-Phasen Modell aus dem Projektmanagement zurückgegriffen [2]. Mit dieser Methodik wurde die Arbeit in vier Bereiche unterteilt und durchgeführt. Im Laufe der Bearbeitung entstanden die einzelnen Kapitel. Die einzelnen Phasen sind in **Abbildung 1-1** dargestellt und werden anschließend kurz erklärt.



Abbildung 1-1: 4-Phasen Modell zur Bearbeitungsmethodik

Definition:

In dieser Phase wurden die Aufgaben spezifiziert und die Zielsetzung der Arbeit festgelegt.

Planung:

Hier wurde die Solarthermieanlage mit ihren Komponenten näher betrachtet und ein Anlagenschema erstellt. Auch der Aufbau und die Kommunikation der Hard- und Software der Steuerung wurden in dieser Phase analysiert. Daraus entstanden Kapitel 2 und 3 dieser Arbeit. Ein erstes Konzept für die Umsetzung der Programmierung entstand ebenso in diesem Abschnitt.

Durchführung:

Das zuvor erstellte Konzept wurde softwareseitig ausgeführt. Die Programmgestaltung wie auch die Programmierung sind in diese Phase einzuordnen. Weiterhin entstand die Benutzeroberfläche mit allen Funktionen sowie anschließende Tests und Auswertungen. Hier wurden Kapitel 5 und 6 der Arbeit umgesetzt.

Abschluss:

In der Phase des Projektabschlusses erfolgte die schriftliche Ausarbeitung dieser Arbeit auf Basis der zuvor erarbeiteten Ergebnisse. Die Dokumentation der Solarthermieanlage sowie auch die softwareseitige Ausführung sind darin enthalten.

2 Anlagenkomponenten

Eine solarthermische Anlage nutzt den physikalischen Vorgang der Strahlungsabsorption, um Solarstrahlung der Sonne in thermische Energie umzuwandeln. Dieser Absorptionsvorgang geschieht in den Solarkollektoren, von dort aus wird die gewonnene Wärmeenergie dem System zur Verfügung gestellt. Der Kollektorkreislauf transportiert die Energie, in Form von heißem Wasser, von dem Solarkollektorfeld in den Solarspeicher. Die so gespeicherte Wärme kann anschließend von der Verbraucherseite entnommen werden. [1]

Im Folgenden wird der Aufbau und die Funktion der Komponenten der solarthermischen Versuchsanlage des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik näher erläutert. In **Abbildung 2-1** sind dazu alle Komponenten in dem Anlagenschema zu finden.

Diagram solar heating system

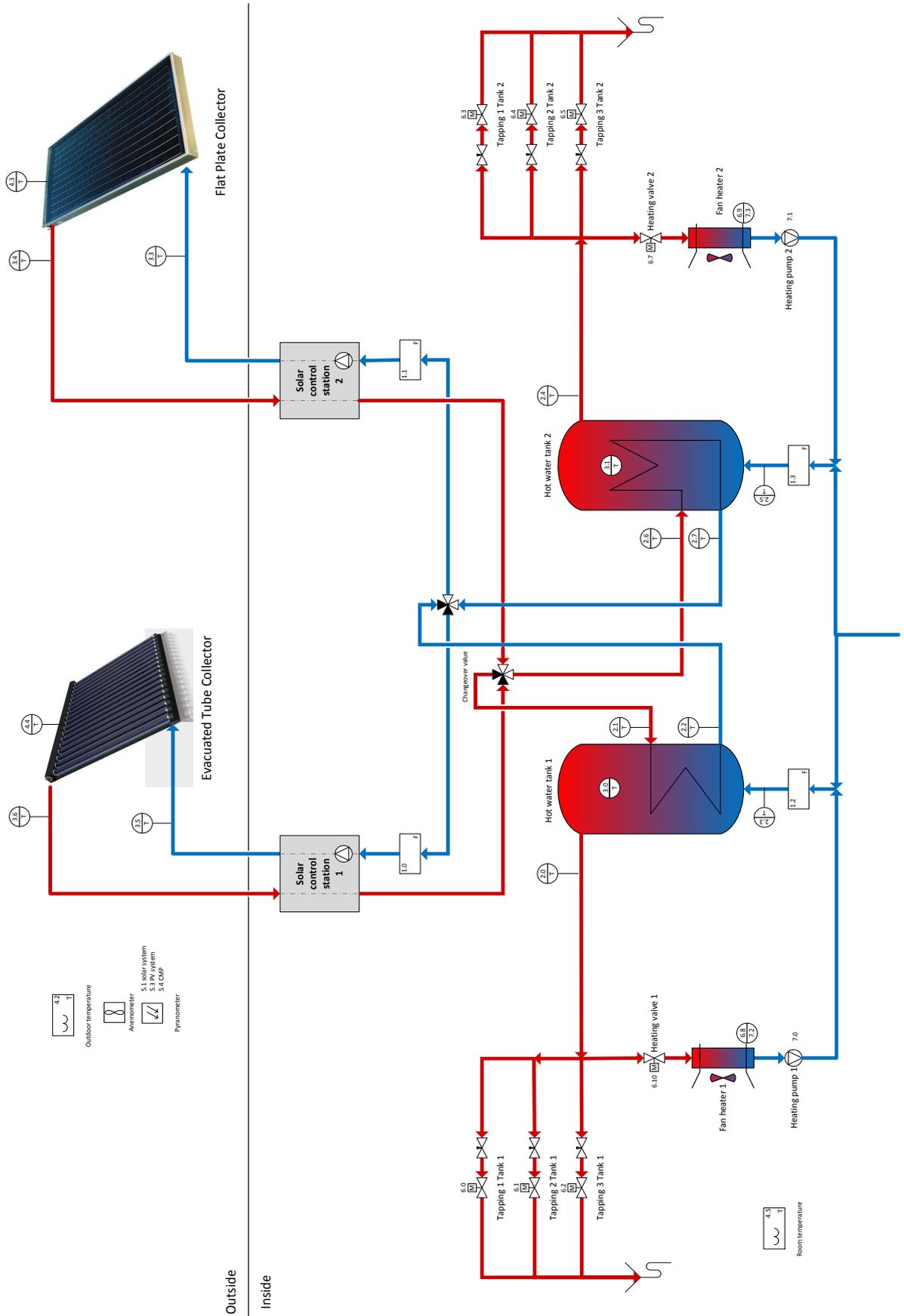


Abbildung 2-1: Anlagenschema Solarthermieanlage

2.1 Solarkollektoren

Die Versuchsanlage besitzt zwei verschiedene Typen von Kollektoren, die sich hinsichtlich ihrer Bauarten, Nutzttemperaturen und wesentlich in ihrem Wirkungsgrad unterscheiden. Beide Varianten wandeln die Solarstrahlung mit Hilfe eines Absorbers in Wärme um.

Der **Vakuurröhrenkollektor** (Evacuated Tube Collector) stellt das Herzstück der einen Anlage dar. Die hier verwendete Bauform (**Abbildung 2-2**) arbeitet nach dem Thermoskannenprinzip und besteht aus speziellen Vakuurröhren, die in ihrem Aufbau einer Thermoskanne ähneln. Die Vakuurröhren bestehen aus zwei ineinander liegenden Röhren in deren Zwischenraum ein Hochvakuum herrscht. Gegen Umwelteinflüsse schützt die lichtdurchlässige äußere Röhre. Die innere Röhre ist hochselektiv beschichtet und fungiert als Absorber. Im Inneren der Absorberröhre befinden sich Wärmeleitprofile, die von einem Wärmeträgermedium durchflossen werden und die dort absorbierte Wärme abtransportieren. Insgesamt sind 18 Stück dieser Röhren verbaut und in einem Sammelkasten mit Wärmeübertragungseinheit zusammen hydraulisch verschalten. Um die einfallende Solarstrahlung optimal zu nutzen, ist hinter den Vakuurröhren ein rinnenförmiger Compound Parabolic Collector (CPC)-Spiegel verbaut. Durch diesen Reflektor werden die seitlich am Absorber vorbei fallenden Strahlen umgelenkt und auf den Absorber geleitet. Durch die thermische Isolation der Vakuurröhren und die Strahlungskonzentration der Spiegel werden sehr hohe Prozesstemperaturen erzielt. [3] [4].

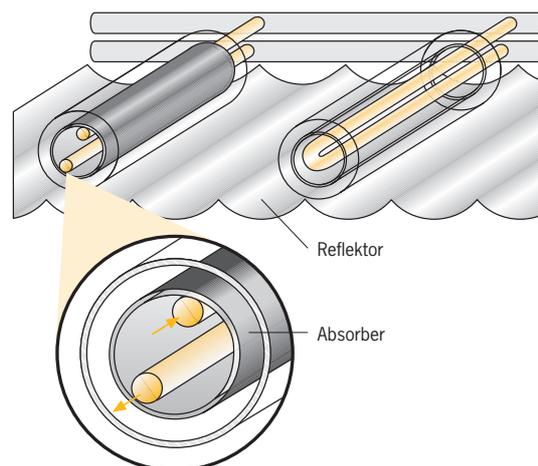


Abbildung 2-2: Aufbau Vakuurröhrenkollektor [3]

Die zweite Anlage ist mit einem **Flachkollektor** (Flat Plate Collector) ausgestattet. Diese Bauart stellt die am weitesten verbreitete Bauform eines Sonnenkollektors da. Der prinzipielle Aufbau eines Flachkollektors ist in **Abbildung 2-3** dargestellt.

Durch die hochtransparente Glasabdeckung fällt Solarstrahlung auf den Kollektor und transmittiert zu rund 90% direkt auf den speziell beschichteten Absorber. Die so erwärmte Absorberfläche gibt die thermische Energie an die angeschweißten Absorberrohre ab. Durch den so entstehenden Wärmestrom wird das zirkulierende Wärmeträgermedium in den Fluidrohren erhitzt und an das Sammelrohr weitergeleitet. Um Verluste zu mindern, ist der Kollektor gegen die Umgebung gedämmt und in einem Gehäuse untergebracht. Zudem schützen Glasabdeckung und Gehäuse den Kollektor gegen Umwelteinflüsse.

Die Arbeitstemperatur dieser Kollektorart erreicht bis zu 100°C, daher ist er ideal zur Trinkwassererwärmung geeignet. Vakuumröhrenkollektoren erreichen Temperaturen bis 150°C [3].

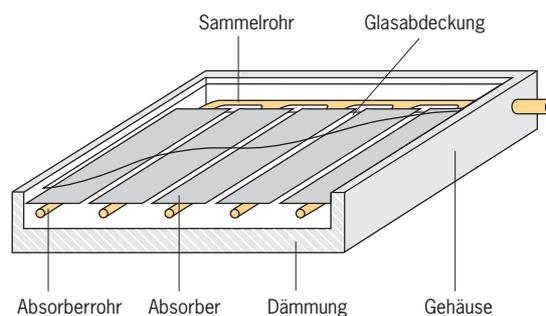


Abbildung 2-3: Aufbau Flachkollektor [3]

Um die Effizienz beider Kollektoren in Abhängigkeit der Neigung zu bewerten, sind diese über eine Vorrichtung winkelverstellbar montiert.

Da beide Kollektorsysteme unterschiedliche Technologien verfolgen, differenzieren sich die Anlagen auch im Hinblick auf ihren Wirkungsgrad. Die Unterschiede vom Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren werden in **Abbildung 2-4** deutlich.

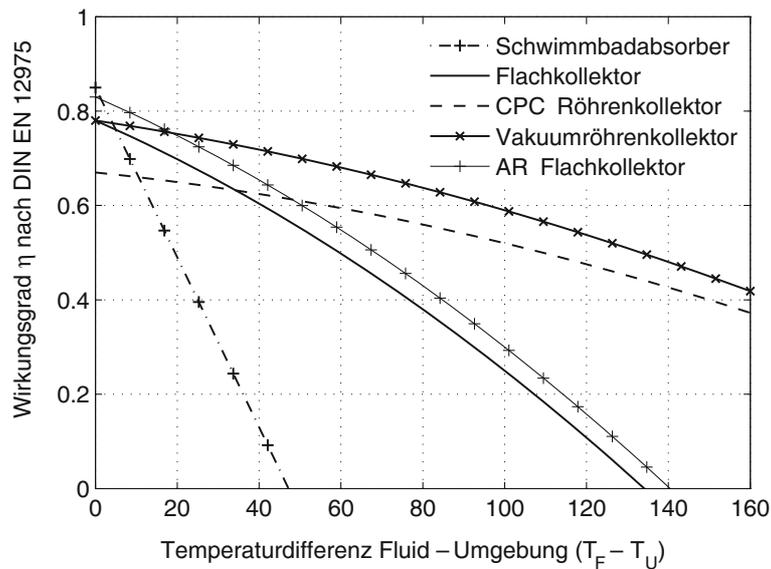


Abbildung 2-4: Vergleich Wirkungsgrad Kollektorarten [1]

Der gewöhnliche Betriebsbereich der Anlagen liegt bei Temperaturdifferenzen größer 40 Kelvin. Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass der Vakuumröhrenkollektor stets einen höheren Wirkungsgrad aufweist als der Flachkollektor. Speziell in den Wintermonaten erreicht zudem der Vakuumröhrenkollektor bessere Erträge. Dieser Vorteil macht sich aber bei dem Anschaffungspreis bemerkbar [1]. Der höhere Wirkungsgrad des Vakuumröhrenkollektors ist auch der Grund dafür, dass die installierte Kollektorfläche kleiner ist als die des Flachkollektors. Diese Skalierung ist notwendig, um in der vergleichenden Wertung ähnliche Leitungen der Systeme zu gewährleisten.

Als Wärmeträgermedium wird eine speziell für den Gebrauch von thermischen Solaranlagen abgestimmtes Gemisch auf Wasser- Glykol- Basis verwendet. So wird ein thermischer Arbeitsbereich von -30°C bis 200°C der Anlagen sicher gestellt [5].

2.2 Solarstation

Jeder Kolleortyp besitzt im Solarkreislauf eine Solarstation vom Typ Buderus Logasol. Diese Einheit sorgt für einen geregelten Warentransport im Solarkreislauf. Bestandteile einer Station sind neben der Steuereinheit, eine Solar- Hocheffizienzpumpe sowie diverse hydraulische Komponenten und Temperaturfühler, die für einen harmonischen Betrieb zwischen Kollektor und Speicher sorgen. Die Solarstationen sind autarke Einheiten in der Anlage und regeln nach einem Parametersatz, der bei Inbetriebnahme parametrisiert wurde.

Der Parametersatz mit Sollwerten und aktuellen Betriebsdaten ist an der Station ersichtlich [6].

Über manuelle Umschaltventile unter den beiden Solarstationen kann ausgewählt werden, welches Kollektorsystem in das jeweilige Speichersystem die Wärme einspeist. So kann eine Aussage über die Effizienz der unterschiedlichen Technologien getroffen werden.

2.3 Solarspeicher

Ebenso wie bei den Kollektoren sind auch zwei unterschiedliche Bauarten von Solarspeichern installiert. Beide Speichersysteme fassen 290 Liter und sind speziell für den Betrieb in thermischen Solaranlagen konzipierte Trinkwasserspeicher aus der Logalux Baureihe der Firma Buderus. Der im Anlagenschema (Anhang A) mit Ziffer 1 nummerierte Speicher arbeitet mit einem Glattrohr-Wärmetauscher. Über diesen Wärmetauscher wird die thermische Energie dem Trinkwasser im Behälter zugeführt und so erwärmt. Durch die thermodynamischen Eigenschaften des Wassers bildet sich eine Temperaturschichtung aus und das heiße Wasser steigt nach oben zur Entnahmeöffnung [6] [7].

Speichertyp zwei ist ein Thermosiphonspeicher und arbeitet mit einem Wärmeleitrohr im Inneren. Hier wird im unteren Bereich nur eine kleine Wassermenge vom Solar-Wärmetauscher erhitzt. Das heiße Wasser steigt auf direktem Wege nach oben zum Warmwasseraustritt. Auch hier stellt sich eine Temperaturschichtung im Speicher ein, dies geschieht sukzessive von oben nach unten. Liefert die Kollektoranlage aufgrund von geringer Sonneneinstrahlung nicht die Temperatur, die im oberen Bereich des Speichers herrscht, so wird durch Schwerkraftklappen sichergestellt, dass auch das Wasser im richtigen Temperaturbereich eingespeist wird und so die Temperaturschichtung aufrecht erhalten wird [6] [7].

2.4 Sensorik

Zur Temperaturerfassung werden Temperaturfühler vom Typ PT100 verwendet, die über Tauchhülsen im System montiert sind. Durch die Tauchhülsenmontage haben die Fühler direkten Kontakt mit dem Wasser und reagieren so auf Temperaturänderungen sensibel.

Im Solarkreis und im Verbraucherkreis erfassen Durchflusszähler die Wassermenge und geben alle 72 ml einen Impuls an die Auswertegeräte. Um neben den Temperaturen und Volumenströmen auch die Sonneneinstrahlung zu erfassen, besitzt die Anlage zwei

Pyranometer. Die von der Neigung abhängige Strahlung der Kollektoranlage sowie die vertikale Sonneneinstrahlung werden aufgezeichnet und an die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR- Technik) gesendet. Die hier physisch erwähnte Sensorik wird in Kapitel 3.3 näher in ihrer Funktionsweise erläutert.

2.5 Verbraucherzapfsystem

Wasserverbrauch wird in der Anlage über ein Zapfsystem realisiert. Je Speicher sind drei elektromagnetische Ventile vorhanden, die einzeln angesteuert werden können. Über ein vorgeschaltetes Nadelventil kann der Durchfluss bedarfsspezifisch angepasst werden, um so verschiedene Verbraucher zu simulieren.

2.6 Raumheizung

Als zusätzliches Verbrauchersystem ist neben den Zapfventilen eine Raumheizung installiert. Das Heizsystem ist zweifach ausgeführt und bezieht die Energie aus dem jeweiligen Speicher. So ist es möglich, Verbraucher zu simulieren und dabei den Anlagenraum zu beheizen. Zum Einsatz kommt je eine Erhitzereinheit, die über eine Pulsweitenmodulation (PWM) in ihrer Drehzahl verändert werden kann. Auch die dazugehörige Erhitzerpumpe für den Wasserdurchsatz im Heizregister kann über ein PWM- Signal geregelt werden. Über diese drehzahlvariablen Aktoren ist es möglich, einen effizienten Betrieb zu gestalten. Weitere Einzelheiten der Ansteuerung sind im Kapitel 3.4 zu finden.

3 Messwerterfassung und Steuerung mit Labview

Die Anlage wird mit LabVIEW, von National Instruments (NI) gesteuert, diese Abkürzung steht für **L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbench. LabVIEW bietet eine graphische Entwicklungsumgebung, die nach dem Datenflussprinzip funktioniert. Die Software arbeitet auf zwei Programmebenen. Die eine ist das Frontpanel, das auch die Anwenderoberfläche darstellt, die andere das Blockdiagramm, das als graphische Programmierumgebung dient. Beide Ebenen arbeiten parallel und ermöglichen einen strukturierten Programmierstil. Eine umfangreiche Funktionsbibliothek mit zahlreichen Schnittstellen wird von NI zur Verfügung gestellt. [8]

So bietet LabVIEW die Möglichkeit, über eine Netzwerkschnittstelle mit NI Fieldpoint Modulen zu kommunizieren. Dieses modulare I/O Feldbussystem stellt in der beschriebenen Anlage die Schnittstelle zwischen Feldgeräten und LabVIEW her. Beide Systeme, die Fieldpoint- Module sowie der netzwerkfähige PC mit LabVIEW Software, sind im Ethernet Netzwerk des Lehrstuhls eingebunden und können so miteinander kommunizieren. Der schematische Aufbau des Systems ist in **Abbildung 3-1** gezeigt und wird in den folgenden Punkten genauer erläutert.

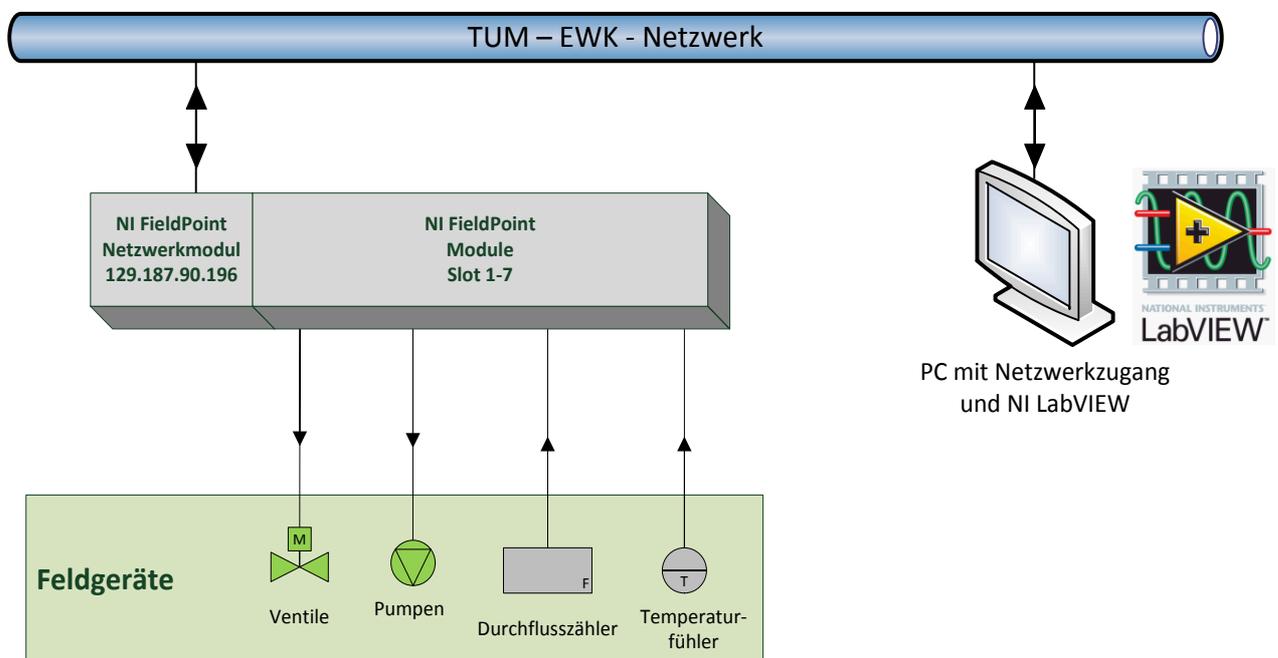


Abbildung 3-1: Aufbau und Kommunikation MSR System

3.1 LabVIEW System

Um das System starten zu können, wird ein Windows-Rechner und die Softwareversion LabVIEW 2015 oder deren Vorgängerversionen benötigt. Dazu ist noch ein passender Hardwaretreiber für die Fieldpoint Module nötig, den National Instruments zum Download zur Verfügung stellt. Neuere LabVIEW Versionen unterstützen keine Hardwaretreiber für Fieldpoint Module mehr. [9]

Anschließend erfolgt die Konfiguration im Measurement and Automation Explorer (NI-MAX), der standartmäßig mit LabVIEW installiert wird. **Abbildung 3-2** zeigt die Oberfläche des NI-MAX, in dem sämtliche Systemkomponenten wie Software, Treiber, Geräte und Schnittstellen verwaltet und projiziert werden [8]. Das gilt auch für NI-Komponenten im vorhandenen Netzwerk, wie die Fieldpoint Module. Unter dem Punkt Datenumgebung werden die Module unter ihrer IP-Adresse aufgelistet. Die einzelnen modularen Einheiten werden dort konfiguriert und bekommen eine Slot- Adresse zugewiesen, die identisch mit der physischen Modulreihenfolge ist. Für jedes einzelne Modul wird dort auch die physikalische Beschaltung der einzelnen Kanäle parametrisiert und benannt. Sind alle Module konfiguriert und alle Feldgeräte ihren Kanälen zugewiesen, so wird abschließend eine Konfigurationsdatei mit der Endung .iak generiert. Diese Datei ist essentiell für die Kommunikation zwischen dem LabVIEW Programm und den Feldbusmodulen. Des Weiteren werden bei Import der Datei in ein Programm alle Ein- und Ausgangskanäle der Module mit ihren Bezeichnungen bereits übernommen. Eine nochmalige Benennung der Feldgeräte ist nicht erforderlich.



Abbildung 3-2: NI MAX Konfiguration

Zusätzlich bietet der NI-Max noch die Möglichkeit zum Online- Monitoring der Feldgeräte. Die Rohdaten der Feldgeräte werden in Echtzeit angezeigt und Aktoren können bedient werden. Mit dieser Option ist ein 1:1 Feldtest möglich. So werden Hardwarefehler erkannt und die Messwerte auf Plausibilität geprüft, bevor die Daten an ein LabVIEW Programm weitergeleitet werden.

In der LabVIEW Programmiererebene werden die Ein- und Ausgänge über den Funktionsbaustein FP-Read, für die Funktion „lesen“, bzw. FP-Write für „schreiben“ angesprochen. In **Abbildung 3-3** ist der Aufbau eines Lese- und Schreibvorganges im Blockdiagramm dargestellt. Als notwendigen Input benötigt der Baustein den Fieldpoint-Kanal, der durch die importierte Konfiguration eindeutig festgelegt und benannt wurde. Lesende Bausteine liefern einen Wert, der für die weitere Programmierung genutzt wird. Schreibende hingegen erwarten einen Wert, der durch die Programmlogik generiert wird

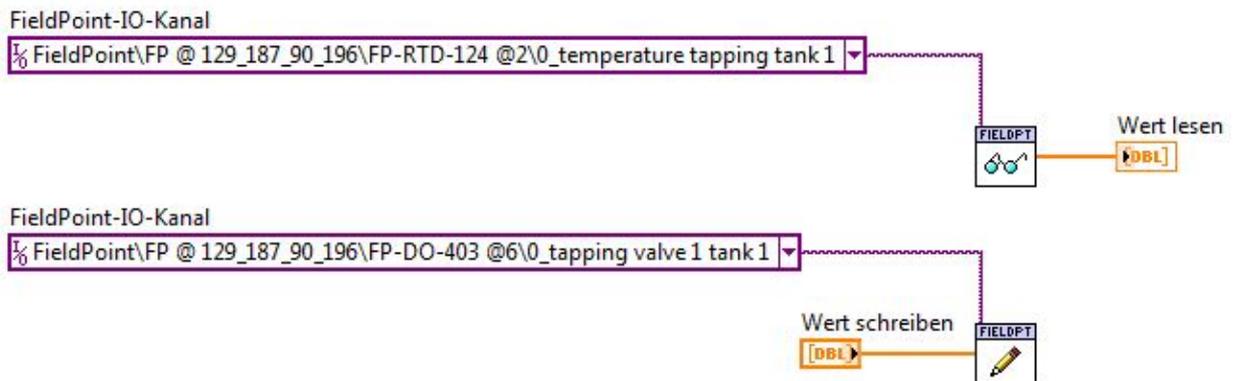


Abbildung 3-3: FieldPiont I/O Logik

3.2 Fieldpoint Module

Das modulare I/O Feldbussystem besteht aus 8 Modulen und kann in drei Funktionsbereiche eingeteilt werden. In einen Netzwerkteil, einen Eingangsmodulblock und einen Ausgangsmodulblock. Eine Übersicht über die beschriebenen Bereiche und Module ist in **Abbildung 3-4** dargestellt.

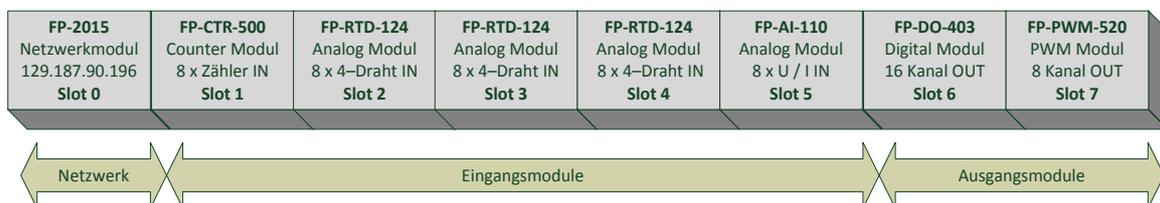


Abbildung 3-4: Übersicht FieldPoint Module

Alle Module sind auf einen Modulträger aufgesteckt und so miteinander verbunden. Auch die Spannungsversorgung und Kommunikation zwischen den Modulen läuft über ein Bus-System auf dem Modulträger [10].

Die Funktion der einzelnen Modultypen ist in **Tabelle 3-1** beschrieben.

Tabelle 3-1: Übersicht Funktion Fieldpoint Module

Steckplatz	Funktion	Typ
Slot 0	Echtzeitanbindung der Module an ein Ethernet- Netzwerk Adressierung durch IP-Adresse von Netzwerkadministrator Controller unterstützt bis zu 9 Feldbus Module [11]	Netzwerk
Slot 1	Diskretes Counter-Modul Erfassung der digitalen Impulse der Durchflusszähler Impulsfrequenz bis 50 kHz möglich [12]	Eingangsmodule
Slot 2-4	Analogmodul zur Vierleitermessung Speziell für PT100 Temperatursensoren Hohe Auflösung der Messwerte [13]	
Slot 5	Analogmodul für Strom- oder Spannungssignal Aufschaltung der Spannungssignale der Pyranometer Hohe Auflösung der Messwerte [14]	
Slot 6	Digitales Ausgangsmodul 16 Schaltkanäle mit je 2 Ampere Ausgangsstrom Ansteuerung der Ventile [15]	Ausgangsmodule
Slot 7	Ausgangsmodul für pulsweitenmoduliertes Signal Ansteuerung der Erhitzerpumpen und Heizlüfter [16]	

Eine Datenpunktliste der Anlage ist in Anhang A.1 enthalten, darin ist die Belegung der einzelnen Module und Feldgeräte aufgelistet.

Bei Bedarf kann die Anzahl der Module noch um zwei erweitert werden, um die volle Ausbaustufe eines Controllers zu erlangen. Abschließend bleibt zu erwähnen, dass bereits eine neue Generation von Feldbussystemen von National Instruments auf dem Markt ist. Die CompactRIO- Plattform unterstützt auch neuere LabVIEW Versionen und bietet sehr umfangreiche Funktionen [10].

3.3 Messwerterfassung der Feldgeräte

Wie bereits im Kapitel 2.2 erwähnt, geschieht die Temperaturerfassung über PT100 Widerstandsfühler. Das sind temperaturabhängige Platinwiderstände, die bei 0°C einen Widerstandswert von 100 Ω aufweisen. Platin ist ein Kaltleiter, somit nimmt mit steigender Temperatur der Widerstandswert zu und beträgt bei einer Temperatur von 100°C bereits 138 Ω [17]. Um möglichst genaue Messwerte zu erzielen, wird die 4-Draht- Messtechnik eingesetzt. Die Anschlussbelegung ist in **Abbildung 3-5** abgebildet.

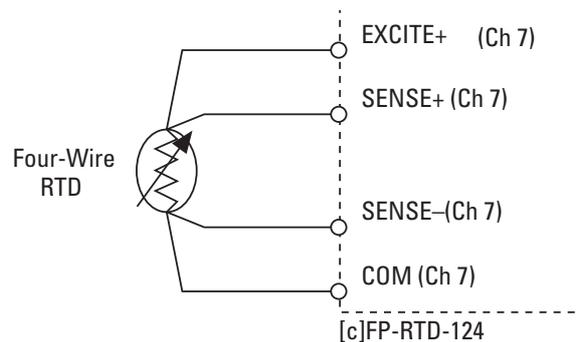


Abbildung 3-5: Anschlussbelegung 4-Draht Temperaturfühler am Modul [13]

Das eine Leitungspaar prägt über EXCITE+ und COM einen konstanten Strom auf den Fühler ein. Der am zweiten Leitungspaar detektierte Spannungsfall wird im Feldbusmodul direkt der dazugehörigen Temperatur zugewiesen. Die Module sind speziell für den Einsatz mit PT100 Fühlern konzipiert und erzielen, mit Hilfe der Vierleiterschaltung, sehr genaue Messwerte. Weiterhin ist zu erwähnen, dass die Zuleitungslänge und somit auch der damit verbundene Spannungsfall über die Leitung eliminiert wird und die Messergebnisse nicht verfälscht werden [13]. Das ist vor allem in der MSR wichtig, da Messfühler nahe der Auswerteeinheit oder weit davon entfernt liegen können. Um letzte Messfehler zu bereinigen, ist softwareseitig noch bei einigen Fühlern eine Kalibrierkurve hinterlegt. Die Messfühler wurden bei der Installation der Anlage kalibriert, die Daten sind im Anhang A.1 unter der Datenpunktliste zu finden. Bei den Kalibrierkurven handelt es sich um kubische Funktionen, die als Eingangswerte die ermittelten Temperaturen der Fieldpoint Module bekommen. Der kalibrierte Temperaturwert geht zur weiteren Verarbeitung in das Programm.

Anders als die passiven Temperaturfühler, sind die Pyranometer aktive Fühler. Das bedeutet, sie generieren ein Spannungssignal, das extern gemessen werden kann. Die hier verwendeten

Pyranometer detektieren mit einer internen Fotodiode die einfallende Solarstrahlung und geben ein Spannungssignal an das Feldbusmodul weiter. Der Spannungspegel kann durch eine annähernd lineare Kennlinie einem Solarstrahlungswert in Watt pro Quadratmeter zugeordnet werden. Die linear approximierte Kennlinie der Pyranometer ist softwareseitig implementiert und gibt den Strahlungswert in das Programm weiter [18].

Für die Durchflussmessung sind Impulszähler verbaut, die alle 72 Milliliter einen Impuls an die Fieldpoint Module senden. Der Volumenstrom beider Solarkreise sowie der Verbraucher werden erfasst. Mit den Hochgeschwindigkeitsmodulen ist es möglich, den Impuls im Millisekunden- Bereich zu detektieren um so den Messfehler zu minimieren [12].

Das Zeitintervall Δt zwischen den Zählerimpulsen kann so berechnet werden. Weiterhin ist das Volumen zwischen zwei Impulsen ΔV mit 72 Millilitern bekannt. So kann der Durchfluss \dot{V} in den Rohrleitungen mit der Formel

$$\dot{V} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

berechnet werden.

Aus den bisher bekannten Temperaturen und den Durchflusswerten ist es möglich, auch den gegenwärtigen Wärmestrom \dot{Q} der Anlagen zu berechnen.

$$\dot{Q} = \dot{V} * \rho * c * (T_1 - T_2)$$

Für die Berechnung der Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$ werden die Temperaturen möglichst nahe am Speicher gewählt. So wird der tatsächlich geleitete Wärmeeintrag erfasst und etwaige Verluste berücksichtigt. Bemerkbar machen sich die Wärmeverluste bei den Solarkollektoren. Die Wassertemperaturen am Kollektorausstritt sind marginal höher als die Temperaturen am Speichereintritt, bedingt durch Verluste im Zuge der Rohrleitungen.

Die Dichte ρ , sowie die spezifische Wärmekapazität c sind Faktoren, die sowohl vom Medium selbst und auch von dessen Temperatur abhängen. In der Berechnung zum Wärmestrom werden diese Eigenschaften über eine im Programm hinterlegte Kennlinie berücksichtigt. Die Kennlinien des Wärmeträgermediums der Solarkreise sowie die des Wassers sind im Anhang A.2 zu finden. [19]

3.4 Steuerung der Feldgeräte

Zu den Aktoren der Anlage gehören elektromagnetische Ventile in den Verbrauchereinheiten. Die Ventile sind im stromlosen Zustand geschlossen. Über Schaltbefehle aus der LabVIEW Programmierung schalten die Feldbusmodule die Versorgungsspannungen von 24 V auf die Ventile. Diese öffnen dann solange, wie die Spannung am digitalen Ausgang anliegt.

Die Heizlüfter sowie die Erhitzerpumpen sind Aktoren, die in ihrer Drehzahl variabel verändert werden können. Möglich ist das, über ein pulsweitenmoduliertes Signal, welches von den Feldbusmodulen generiert wird. Die PWM- Module erhalten über die LabVIEW Programmierung ein Signal im Bereich von 0 – 100 Prozent.

Ein pulsweitenmoduliertes Signal wird durch zwei Kennwerte beschrieben, dem Tastverhältnis und der Frequenz. Das Tastverhältnis beschreibt das Verhältnis der High-Dauer zur Low-Dauer während einer Periode zu der vorgegebenen Frequenz. Je größer dieser Wert ist, desto höher ist auch das PWM- Signal. Es wird die Weite des High- Pulses beeinflusst und somit auch die Drehzahl der Komponenten [20]. Die Heizlüfterdrehzahl verhält sich proportional zum PWM- Signal der Module. Von dieser Logik abweichend, funktionieren die Erhitzerpumpen. Diese steigern ihre Drehzahl mit abnehmen PWM- Signal wie in **Abbildung 3-6** dargestellt.

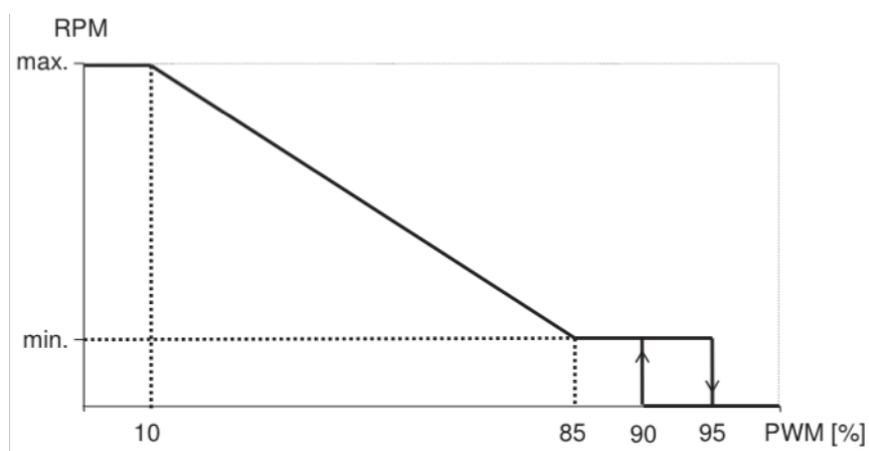


Abbildung 3-6: PWM Kennlinie Erhitzerpumpe [21]

4 Programmierung

LabVIEW bietet die Möglichkeit, sehr strukturierte Programme zu gestalten. So befinden sich alle Bestandteile eines Programmes in einem LabVIEW- Projekt. Die Konfigurationsdatei der Fieldpoint Module ist ebenso in diesem Projekt enthalten wie alle Programmbausteine. Ein solcher Programmbaustein wird unter LabVIEW als Virtual Instrument, oder Kurz VI bezeichnet. Strukturiert ist ein VI in zwei Programmiererebenen. Die Ebene im Vordergrund wird als Frontpanel bezeichnet. Dieser Bereich stellt zugleich auch die Benutzeroberfläche dar. Im Hintergrund wirkt das Blockdiagramm, auf dem die Programmierung stattfindet. Auf dem Blockschaltbild befindet sich die Programmlogik, die nach dem Datenflussprinzip von links nach rechts auf der grafischen Oberfläche funktioniert. Das bedeutet, Daten werden in das Programm auf der linken Programmseite eingelesen, anschließend verarbeitet und dann im rechten Teil ausgegeben. Dabei kann ein Programteil erst vollständig durchlaufen werden, wenn alle geforderten Daten anliegen.

Sub-VIs sind Programmbausteine, die aus einem Hauptprogramm aufgerufen werden können. Programmteile können so strukturiert ausgelagert werden. Das Datenflussprinzip bleibt auch hier erhalten, so startet ein Sub-VI erst, nachdem alle Eingangsdaten, aus dem übergeordneten Hauptprogramm anliegen. Erst nach der Bearbeitung der Daten gibt das Sub-VI den Datenfluss im Hauptprogramm wieder frei und sendet die Ausgangsdaten. So wie das Hauptprogramm sind auch alle Sub-VIs in dem Projektverzeichnis enthalten. Ein Projekt kann so übersichtlich mit einem Hauptprogramm gestaltet werden. Daraus werden dann die Sub-VI aufgerufen, die dem Hauptprogramm unterliegen [8].

Im Folgenden werden die Programmstruktur und Bestandteile des LabVIEW Projektes erläutert.

4.1 Programmstruktur

Die Struktur für die Programmierung der thermischen Solaranlage ist in **Abbildung 4-1** dargestellt. Kern des LabVIEW Projekts ist das Hauptprogramm- VI mit unterlagerten Sub-VIs. Nach dem Programmstart wird das Hauptprogramm gestartet und mit den untergeordneten Sub-VIs abgearbeitet. Dieser Vorgang wird über eine Zeitschleife erneut ausgeführt, bis das Programm gestoppt wird. Die Bearbeitung von Hauptprogramm mit den Unterprogrammen dauert nur wenige Millisekunden. Um Ressourcen zu schonen ist die Schleife mit 100 Millisekunden getaktet. So wird alle 100 Millisekunden das Programm erneut ausgeführt.

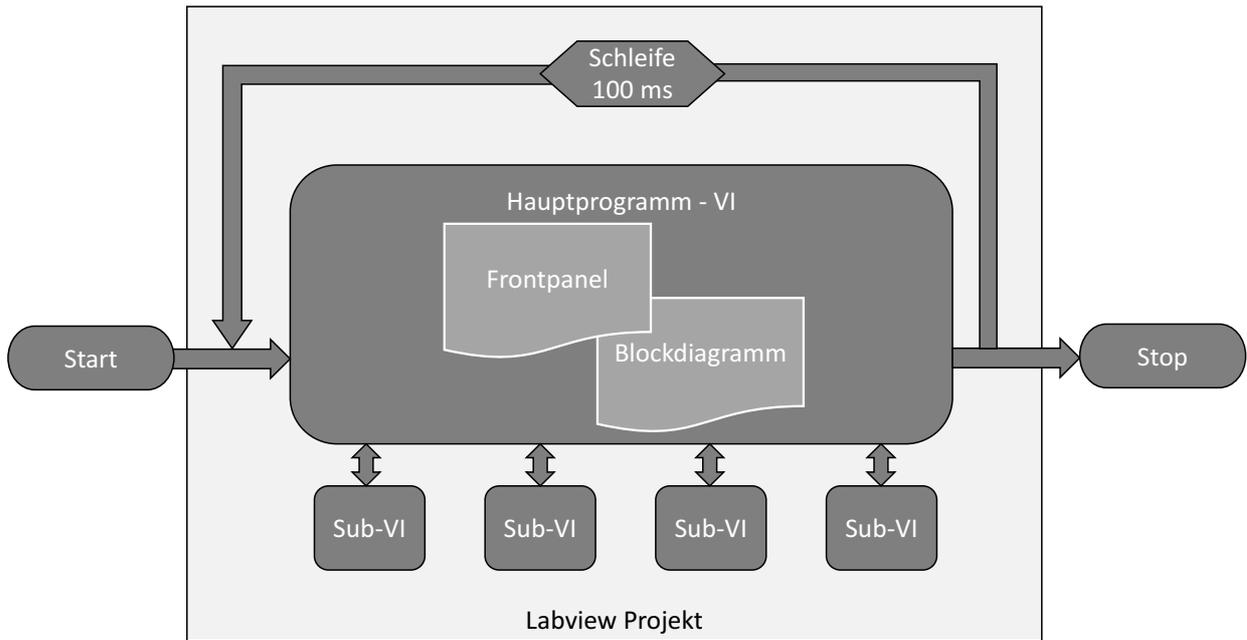


Abbildung 4-1: LabVIEW Programmstruktur

Für die Steuerung der MSR- Anlage ist diese Zeitspanne, bedingt durch die Systemträgheit, gerechtfertigt. Weiterhin wurde die Durchlaufzeit wie folgt validiert.

Die maximale Schleifendauer wird durch die Durchflussberechnung begrenzt. Ausschlaggebend ist die Zeit zwischen zwei Impulsen der Durchflusszähler. Die ideale Schleifendauer wurde iterativ ermittelt. Bedingt durch die Dimensionierung des Rohrleitungssystems, sind höhere Volumenströme mit der vorhandenen Anlage technisch nicht realisierbar, sodass bei einer Testmessung mit maximaler Aussteuerung eine Zeitspanne zwischen zwei Impulsen von größer als 300 Millisekunden ermittelt wurde. Die gewählte Schleifendauer beträgt ein Drittel der minimalen Zeitspanne und ist ein guter Kompromiss zwischen Messgenauigkeit und Ressourcenauslastung.

Ein weiterer Vorteil der Zeitschleife ist die Zeitsteuerung in einem Programmablauf. Des Öfteren wird ein Event nur alle 10 Sekunden ausgeführt. So entsprechen 10 Sekunden genau 100 Schleifendurchläufe, auf Basis der 100 Millisekunden Taktung. Mit dieser Logik kann ein effizientes Timing realisiert werden und auf Zeitbausteine von NI verzichtet werden.

4.2 Programmbausteine

Jeder Programmbaustein im Projektverzeichnis hat eine bestimmte Funktion. **Tabelle 4-1** liefert einen Überblick über die einzelnen Bestandteile und zeigt die Beschaltung im Blockdiagramm mit Ein- und Ausgabewerten der Sub- VIs.

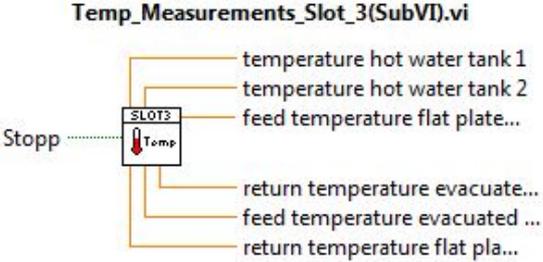
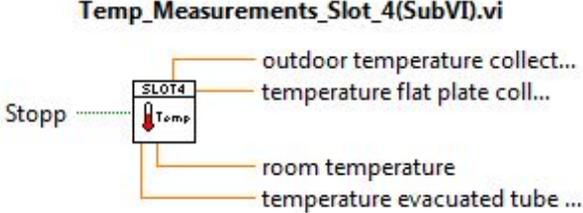
Alle LabVIEW Programmbausteine tragen die Dateiendung *.vi* und sind, falls es sich um ein Sub-VI handelt, mit dem Zusatz *(SubVI)* versehen.

Um jeden Nutzer der Anlage einen Zugriff auf das Projekt zu ermöglichen, sind alle Dateien auf der Partition D, unter *D:\NI_Solar_Test* gespeichert.

Tabelle 4-1: Funktionsübersicht Programmbausteine

Dateiname	Funktion und Beschaltung
Main_program.vi	<p>Hauptprogramm VI Stellt Benutzeroberfläche zur Verfügung Aufruf aller Sub-VIs im Programmablauf Kommunikation zwischen den Sub-VIs Über Zeitschleife getriggert</p>
Flow_Counter_Slot_1(SubVI).vi	<p>Verarbeitung der Impulse aus Zählermodul Slot 1 Berechnung der Volumenströme Ausgabe der Volumenströme</p> <div data-bbox="746 1279 1332 1541" style="text-align: center;"> <p>Flow_Counter_Slot_1(SubVI).vi</p> <p>Inputs: Stopp, flow guard solar circuit 1, flow counter solar circuit 1, flow counter solar circuit 2, flow counter feed line tank 1, flow counter feed line tank 2, flow array, flow guard solar circuit 2</p> </div>
Heating_System(SubVI).vi	<p>Steuerung und Regelung der Raumheizungen Koordination der Betriebsarten</p> <div data-bbox="703 1738 1374 1951" style="text-align: center;"> <p>Heating_System(SubVI).vi</p> <p>Inputs: Stopp, Heating mode, heating bool in, heating temp array, auto setting heating</p> <p>Outputs: heating bool out, actual value heating system, remaining time</p> </div>

<p>Power_Measurements(SubVI).vi</p>	<p>Verarbeitung der Volumenströme und Temperaturen zur Berechnung der Wärmeströme Ausgabe der Wärmeströme</p> <div data-bbox="702 324 1380 526" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Power_Measurements(SubVI).vi</p> </div>
<p>Pyranometer_Slot_5(SubVI).vi</p>	<p>Verarbeitung der Messwerte von Modul Slot 5 Ausgabe der Sonneneinstrahlung</p> <div data-bbox="845 672 1276 840" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Pyranometer_Slot_5(SubVI).vi</p> </div>
<p>Save_Data(SubVI).vi</p>	<p>Steuerung der Datenspeicherung in eine Datei</p> <div data-bbox="798 929 1292 1198" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">save_data(SubVI).vi</p> </div>
<p>Tapping_system(SubVI).vi</p>	<p>Steuerung der Verbraucherzapfsysteme Koordination und Ausgabe der Betriebsarten</p> <div data-bbox="694 1288 1380 1556" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Tapping_system(SubVI).vi</p> </div>
<p>Temp_Measurements_Slot_2(SubVI).vi</p>	<p>Verarbeitung der Temperaturmesswerte von Modul Slot 2 Ausgabe der Temperaturen</p> <div data-bbox="750 1646 1292 1966" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Temp_Measurements_Slot_2(SubVI).vi</p> </div>

<p>Temp_Measurements_Slot_3(SubVI).vi</p>	<p>Verarbeitung der Temperaturmesswerte von Modul Slot 3 Ausgabe der Temperaturen</p> <p>Temp_Measurements_Slot_3(SubVI).vi</p> 
<p>Temp_Measurements_Slot_4(SubVI).vi</p>	<p>Verarbeitung der Temperaturmesswerte von Modul Slot 4 Ausgabe der Temperaturen</p> <p>Temp_Measurements_Slot_4(SubVI).vi</p> 

Die Blockdiagramme der Programmbausteine sind unter Anhang A.3 zu finden.

5 Funktionsbeschreibung und Handhabung

Nachdem im vorherigen Kapitel die Programmstruktur in der Tiefe erläutert wurde, werden nun die Benutzeroberfläche und der Funktionsumfang erörtert. Der Frontpanel des Hautprogramms stellt die Benutzeroberfläche her. Über Registerkarten auf dem Frontpanel kann zwischen vier Ansichten gewählt werden, die verschiedene Funktionen beinhalten. **Abbildung 5-1** zeigt eine Übersicht der einzelnen Registerkarten.

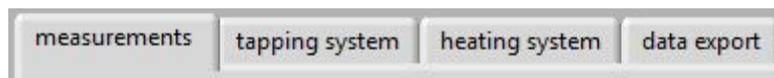


Abbildung 5-1: Übersicht Registerkarten

Der Funktionsumfang sowie die Handhabung der einzelnen Bereiche wird nun beschrieben und abschließend ein Messdatenbeispiel aufgezeigt.

5.1 Übersicht aller Messwerte

Die erste Registerkarte „measurements“ zeigt eine Übersicht der gesamten Anlage. Diese Benutzeroberfläche dient ausschließlich als Monitoring- Oberfläche und ist in **Abbildung 5-2** dargestellt.

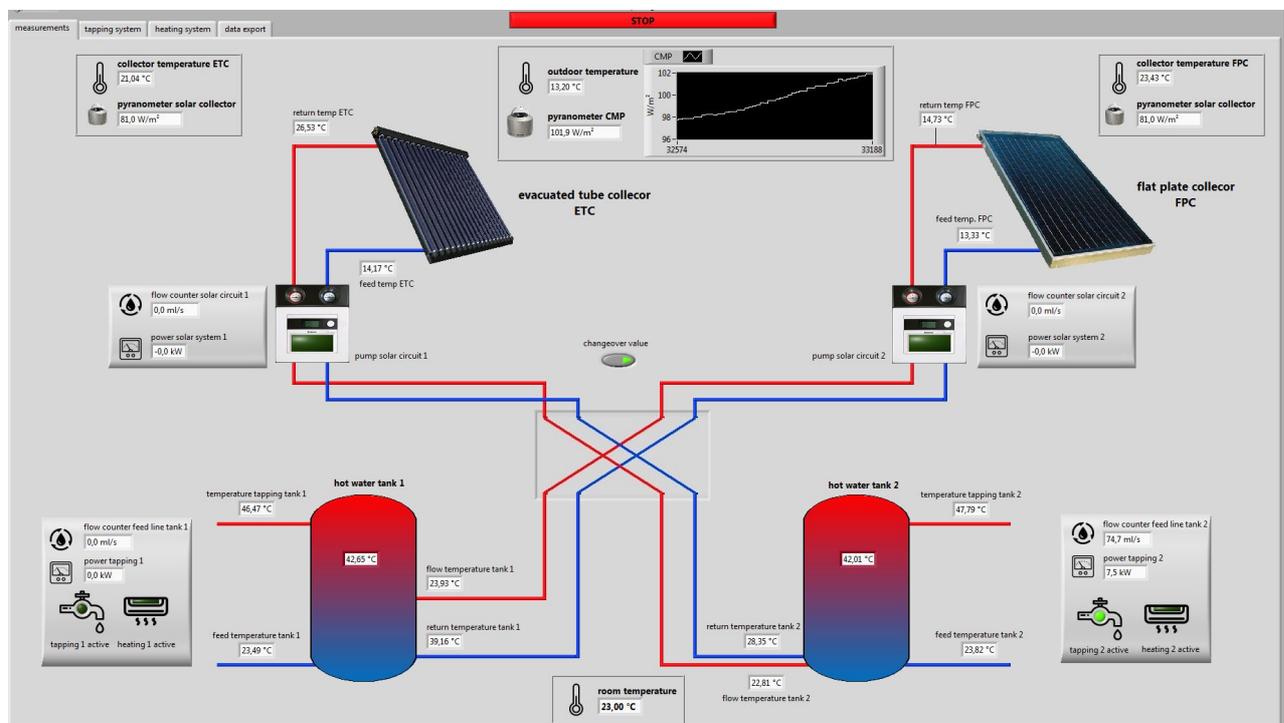


Abbildung 5-2: Frontpanel Übersicht Anlage

Im linken Bildteil ist die Anlage des Vakuumröhrenkollektors und Solarspeicher eins dargestellt. Der Flachkollektor mit Thermosiphonspeicher befindet sich im rechten Teil der Ansicht. Alle Messwerte der Anlage werden angezeigt, ebenso der Betriebsstatus der Verbrauchersysteme. Ein Signalverlaufdiagramm zeigt die Sonneneinstrahlung und ist im oberen Bildteil in der Mitte zu finden. Die aktuelle Stellung der Umschaltventile ist in der Bildmitte ersichtlich. Wird eine Umschaltung der Speicher vorgenommen, so passt sich das hydraulische Schema dynamisch an. Die Aktualisierung der Messwerte erfolgt im 100 Millisekunden Takt.

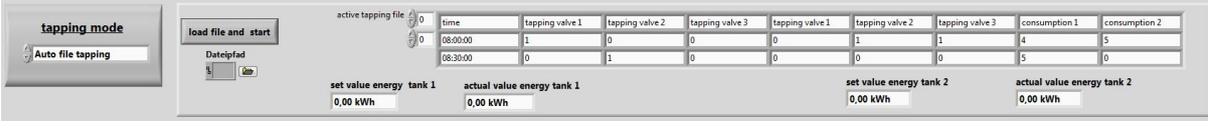
Bei Betätigung des Stopps- Knopfes werden alle Messwerte mit dem initialen Wert 0 beschrieben und angezeigt.

5.2 Steuerung Verbraucherzapfsystem

Die Bedienung des Verbraucherzapfsystems ist auf der Registerkarte „tapping system“ zu finden. Über ein Auswahlfeld kann die Betriebsart gewählt werden, vorausgesetzt die Raumheizung ist ausgeschaltet. Die einzelnen Betriebsarten sind in **Tabelle 5-1** aufgezeigt. Es wird die Funktion der einzelnen Betriebsarten beschrieben, ebenso ein Frontpanelausschnitt abgebildet.

Tabelle 5-1: Funktionen Verbraucherzapfsystem

Betriebsmodus	Funktion
Off	Das Zapfsystem ist aus und die Raumheizung ist freigegeben.
Hand tapping	<p>Handbetrieb der einzelnen Zapfventile über Taster.</p> 

<p>Auto max temp tapping</p>	<p>Die maximale Speichertemperatur wird eingestellt. Ist die Maximaltemperatur überschritten, öffnen die Zapfventile so lange, bis der Sollwert erreicht wird. Die Einstellung kann für jeden Speicher separat vorgenommen werden. Um eine Taktung zu vermeiden, ist eine Hysterese von zwei Kelvin eingestellt.</p> 																														
<p>Auto file tapping</p>	<p>Um einen Tageswasserverbrauch zu simulieren, wird eine CSV-Datei (Comma-separated values) eingelesen und die Ventile entsprechend der Vorgabe betätigt. Welche Ventile geöffnet werden, die Uhrzeit und die gezapfte Energiemenge werden von der Datei vorgegeben. Die CSV- Datei kann während des Betriebs neu eingelesen werden.</p>																														
 <table border="1" data-bbox="534 1012 1380 1070"> <thead> <tr> <th>active tapping file</th> <th>time</th> <th>tapping valve 1</th> <th>tapping valve 2</th> <th>tapping valve 3</th> <th>tapping valve 1</th> <th>tapping valve 2</th> <th>tapping valve 3</th> <th>consumption 1</th> <th>consumption 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>08:05:00</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>08:30:00</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>5</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		active tapping file	time	tapping valve 1	tapping valve 2	tapping valve 3	tapping valve 1	tapping valve 2	tapping valve 3	consumption 1	consumption 2	0	08:05:00	1	0	0	0	1	1	4	5	0	08:30:00	0	1	0	0	0	0	5	0
active tapping file	time	tapping valve 1	tapping valve 2	tapping valve 3	tapping valve 1	tapping valve 2	tapping valve 3	consumption 1	consumption 2																						
0	08:05:00	1	0	0	0	1	1	4	5																						
0	08:30:00	0	1	0	0	0	0	5	0																						

Unabhängig von Betriebsmodus der Zapfanlage werden die Temperaturen und Durchflüsse beider Zapfsysteme angezeigt. Der Betriebszustand der Zapfventile wird auf dem Frontpanel dynamisch angezeigt. Die Darstellung einer Zapfeinheit ist in **Abbildung 5-3** abgebildet und zeigt einen Ausschnitt im aktiven Betrieb.

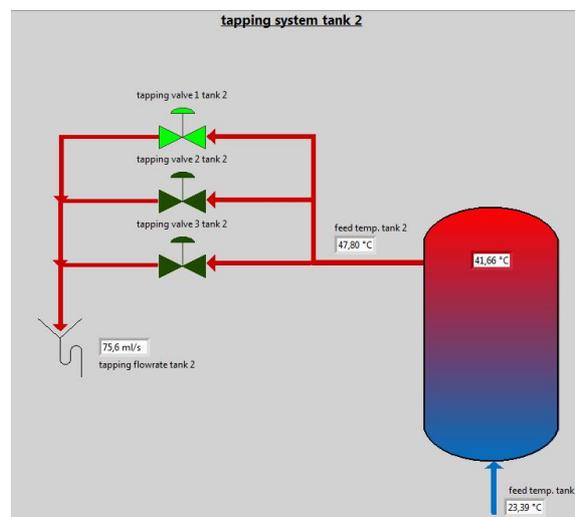


Abbildung 5-3: Frontpanel Verbraucherzapfsystem

Ein Beispiel der CSV- Datei für die Verbrauchersimulation ist in **Abbildung 5-4** dargestellt. In der ersten Spalte wird die Uhrzeit eingestellt, wann die jeweilige Simulation starten soll. Dabei ist zu beachten, dass die Zellen nicht als Datum formatiert werden, sondern als Zahl mit der Nomenklatur HH:MM:SS eingestellt werden. In den darauffolgenden Spalten wird binär die Ventilstellung eingetragen. Soll ein Ventil in einem Zapfzyklus geöffnet werden ist eine 1 einzutragen. Bei einem Nulleintrag bleibt das Ventil geschlossen. In den letzten beiden Spalten wird festgelegt, welche Energiemenge aus dem jeweiligen Speicher entnommen werden soll. Die Energiemenge wird in Kilowattstunden als Dezimalzahl, nach Belieben mit einer Nachkommastelle, eingetragen. Die erste Zeile dient zur Beschreibung und ist frei verwendbar.

Als Speicherort der CSV-Datei wurde folgender Pfad festgelegt: *D:\Tapping_Plan.csv*.

time	tapping valve 1 tank 1	tapping valve 2 tank 1	tapping valve 3 tank 1	tapping valve 1 tank 2	tapping valve 2 tank 2	tapping valve 3 tank 2	consumption tank 1 kWh	consumption tank 2 kWh
08:00:00	1	0	0	0	1	1	4	5
08:30:00	0	1	0	0	0	0	5	0
09:00:00	0	0	0	1	0	0	0	3
10:30:00	0	0	1	0	0	1	2	2
11:00:00	1	0	0	1	0	0	3	3
11:15:00	1	0	1	0	0	0	1	0
11:30:00	1	0	1	1	1	1	0,5	0,5

Abbildung 5-4: Datei für Verbrauchersimulation

5.3 Steuerung und Regelung der Raumheizung

In der Registerkarte „heating system“ ist die Regelung und Steuerung der Raumheizung implementiert. Wie bei dem Verbraucherzapfsystem, gibt es auch hier verschiedene Betriebsarten. Dabei kann erst gewählt werden, wenn sich das Verbraucherzapfsystem im Off-Modus befindet. Es lässt sich zwischen Hand- und Automatikbetrieb wählen. Im Handbetrieb können alle Aktoren der Raumheizungsanlage beliebig geschaltet werden. Die Drehzahl der Lüfter und Pumpen kann variabel verändert werden. **Abbildung 5-5** zeigt die Bedienoberfläche auf dem Frontpanel im Handbetrieb. In **Abbildung 5-6** ist das dazugehörige Schema mit allen Betriebsdaten abgebildet.

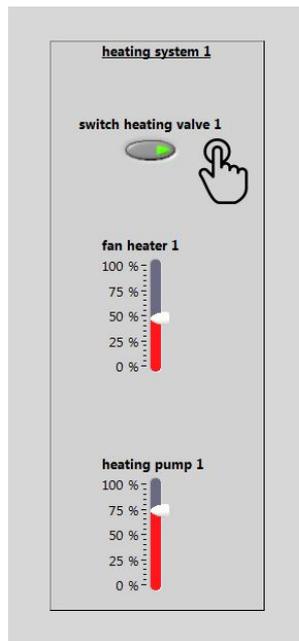


Abbildung 5-5: Frontpanel Bedienoberfläche Raumheizung

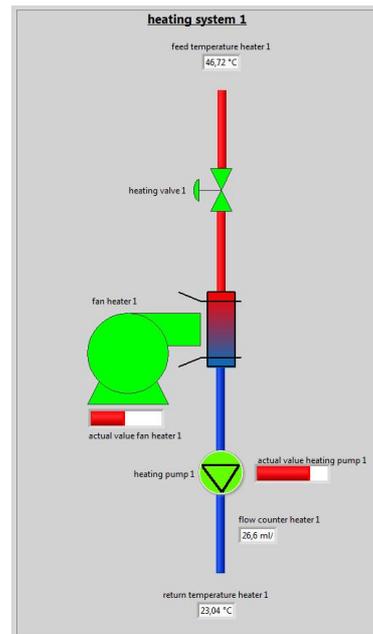


Abbildung 5-6: Frontpanel Betriebsdaten Raumheizung

Im Automatikbetrieb ändert sich die Bedienoberfläche, dargestellt in **Abbildung 5-7**. Der gewünschte Sollwert der Raumtemperatur wird eingestellt und die Anlage übernimmt die Regelung der Raumtemperatur.

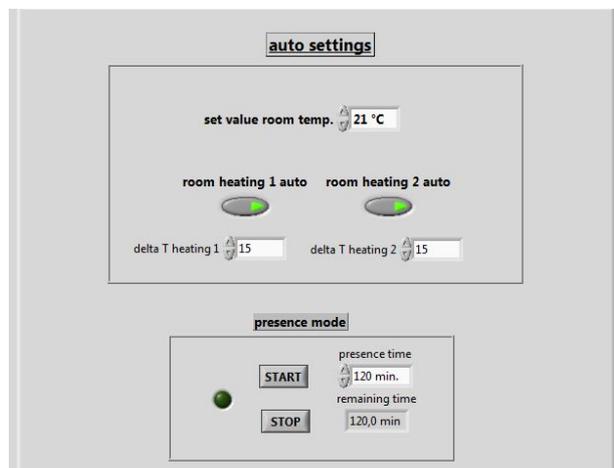


Abbildung 5-7: Frontpanel Automatikbetrieb Raumheizung

Um eine Taktung zu vermeiden, ist eine Hysterese von zwei Kelvin der Raumtemperatur eingestellt. Die beiden Raumheizungen werden in der Standarteinstellung parallel betrieben. Über die beiden Taster „room heating 1(2) auto“ kann die Betriebsfreigebe der jeweiligen Raumheizung entzogen oder erteilt werden. Im aktiven Heizbetrieb wird die Lüfterdrehzahl

auf 100 % gestellt, um den maximalen Luftstrom durch das Erhitzerregister zu leiten. Die Drehzahlregelung der Pumpen erfolgt über die Temperaturdifferenz von Vor- und Rücklauf der Heizregister. Standardmäßig ist eine Temperaturdifferenz von 15 Kelvin eingestellt, dieser Sollwert kann auf dem Frontpanel verändert werden. Die Regelung der Pumpendrehzahl erfolgt über PID- Regler. Veränderungen der Reglereinstellungen können im Sub-VI „Heating_System(SubVI)“ vorgenommen werden.

Die Lüfter der Heizregister haben im Betrieb eine starke Geräuschemission. Um eine Nutzung des Raumes zu ermöglichen, ist es notwendig, die Raumheizung zu deaktivieren. Mit dem Präsenztaster wird die Raumheizung für einen einstellbaren Zeitraum deaktiviert und die Nutzung ermöglicht. Nach Ablauf der Präsenzzeit wird wieder ein regulärer Automatikbetrieb hergestellt. Der Präsenzbetrieb wird über eine Status LED visualisiert und die verbleibende Zeit im Präsenzmodus über eine Count-Down Anzeige visualisiert.

5.4 Datenspeicherung

Um die Messdaten für Auswertungszwecke über einen längeren Zeitraum zu speichern, ist unter dem Reiter „data export“ eine Messdatenspeicherung implementiert. **Abbildung 5-8** zeigt die Frontpaneloberfläche dieser Funktion. Ist der Button „save data“ aktiv wird die Datenaufzeichnung gestartet. Rechts neben dem Knopf befindet sich die Einstellung für das Zeitintervall der einzelnen Messwerte. So kann beliebig angepasst werden, in welcher zeitlichen Auflösung die Messdaten aufgenommen werden.



Abbildung 5-8: Frontpanel Datenspeicherung

5.5 Messdatenbeispiel

Mit Hilfe der Messdatenspeicherung ist es möglich, exakte Betriebsdaten über einen langen Zeitraum zu erhalten und auszuwerten. Aus den daraus gewonnen Erkenntnissen lassen sich Aussagen über die Effizienz und optimale Betriebsbereiche des Systems treffen.

Eine exemplarische Messdatenauswertung ist in **Abbildung 5-10** dargestellt. Dabei wurden die Anlagendaten über einen Vormittag hinweg erfasst und graphisch ausgewertet.

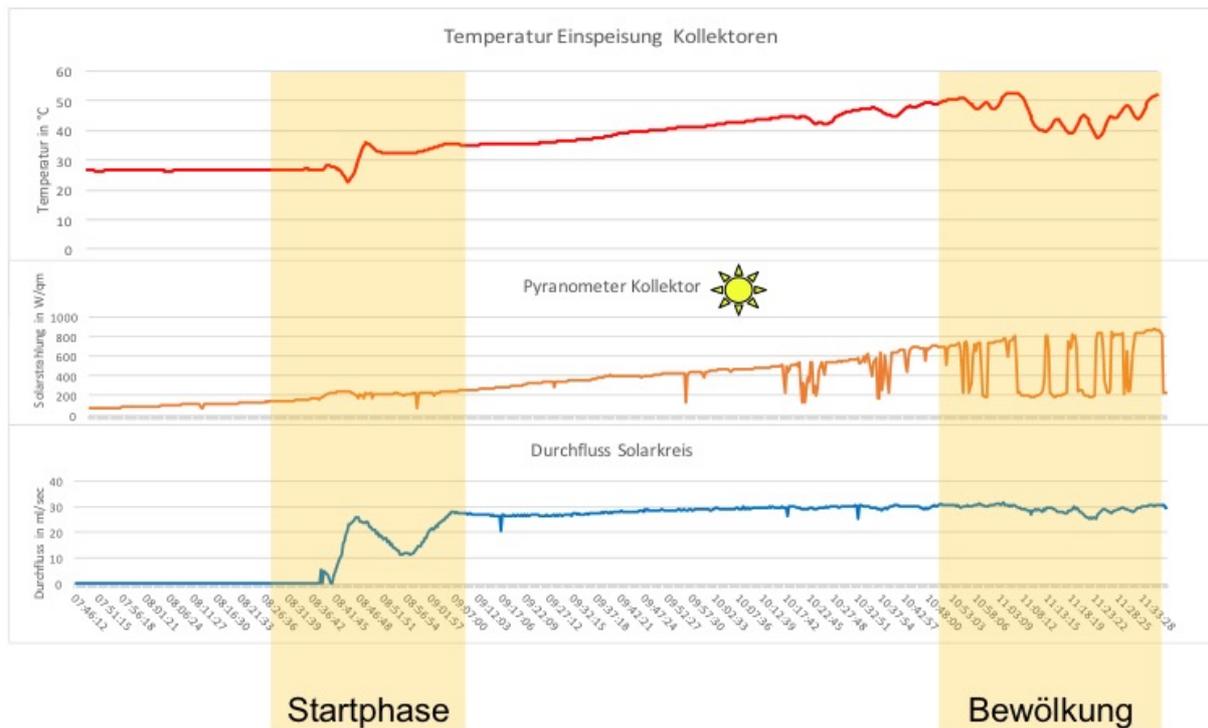


Abbildung 5-10: Messdatenauswertung Solarkreislauf

Die obere Trendlinie zeigt die in den Speicher eingespeist Temperatur. Im mittleren Bildabschnitt ist die Solarstrahlung auf den Kollektor aufgetragen. Der unter Teil zeigt den Volumenstrom im Solarkreislauf. Bei genauerer Betrachtung der Auswertung fallen die beiden orange markierten Bereiche besonders auf. Die linke Markierung zeigt die Startphase der Anlage am Morgen. Detektiert die Solarstation, dass ausreichend Wärme im Kollektor absorbiert wird, starte die Solaranlage. Dabei wird kontinuierlich der Volumenstrom im Solarkreislauf erhöht. Zu Beginn fällt die Temperatur der Einspeisung leicht ab, da das über die Nacht abgekühlte Fluid die Rohrleitung erst durchströmen muss. Anschließend erreicht das warme Fluidgemisch den Temperaturfühler, was zu einem raschen Anstieg der

Temperatur führt. Nach dem Einschwingvorgang stellt sich ein stabiler Gradient der Temperatur ein, welcher annähernd proportional zur den Strahlungswerten ist.

Im späteren Verlauf der Messung ist eine auftretende Bewölkung erkennbar. Die Solarstrahlungswerte brechen schlagartig ein und somit nimmt auch die Wärmeenergie der Kollektoren ab. Dies hat wiederum zur Folge, dass die Temperatur der Einspeisung abnimmt, was im rechten Bereich der Abbildung deutlich wird.

Analog zu der Seite, die den Energieeintrag liefert, kann auch die Verbraucherseite so analysiert werden. Dazu wurde parallel zu der Datenaufzeichnung eine Verbrauchersimulation gestartet. In **Abbildung 5-11** ist die grafische Auswertung dazu abgebildet. Werden die Zapfventile geöffnet, so sinkt die Speichertemperatur ab, abhängig davon, welche Energiemenge gezapft wird. Wird Wärme in den Speicher eingespeist, so steigt die Temperatur wieder an.

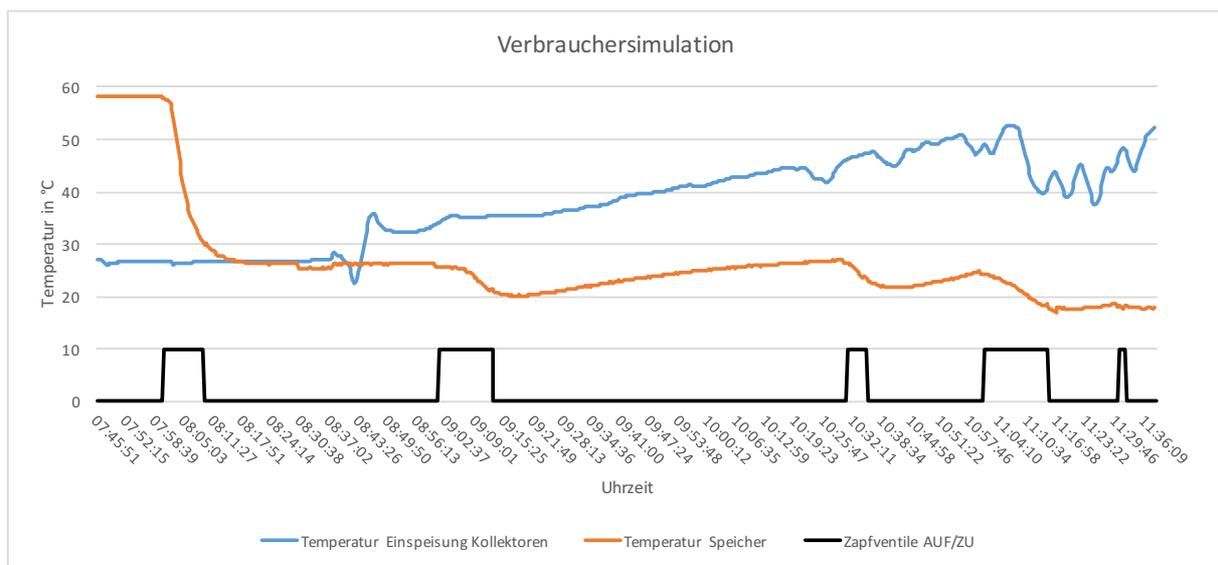


Abbildung 5-11: Messdatenauswertung Verbrauch

Bei den vorangegangenen Auswertungen wurde nur eine Kollektoranlage betrachtet. Die Auswertungen lassen sich beliebig auf beide Kollektoranlagen ausweiten.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel war der Arbeit war eine Neugestaltung der Steuerung und Regelung der Solarthermieanlage des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik. Als Funktionsumfang wurde neben der Messwerterfassung und Bedienung der Anlagenkomponenten auch eine Messdatenspeicherung realisiert. Durch das Aufteilen der Arbeit in einzelne Projektphasen war eine schrittweise und strukturierte Bearbeitung gewährleistet.

Dabei wurde die bestehende Solarthermieanlage mit allen Komponenten analysiert und auch dokumentiert. Das daraus entstandene Anlagenschema ist essenziell, um die Versuchsanlage und ihren Betriebsablauf nachzuvollziehen. Die Interaktion der Feldgeräte mit den Fieldpoint Modulen sowie die Anbindung an den LabVIEW- PC wurden aufgezeigt und näher erläutert. Mit der neuen Konfiguration der Feldbusmodule wurde eine einheitliche Nomenklatur geschaffen, die sich über das Anlagenschema bis hin zur Anwenderoberfläche erstreckt. Um das Design des Programms zu erläutern, wurde eine Einführung in die LabVIEW Programmierung gegeben. Der modulare und flexible Programmaufbau mit Hauptprogramm und Sub-VIs wurde anschließend verdeutlicht. Die ganzheitliche Funktionsbeschreibung der erstellten Programmierung sowie ein Messdatenbeispiel schließen die Arbeit ab.

Mit der benutzerfreundlichen Anwenderoberfläche bietet die Anlage nun die Möglichkeit für wissenschaftliche Analysen der Solarthermieanlage. Die Programmierung wurde effizient und strukturiert realisiert und ist durch den modularen Aufbau leicht erweiterbar. In die Gestaltung und Umsetzung der Anlagenfunktionen sowie der Programmierung flossen Anlagenkenntnisse und Erfahrungen aus der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik mit ein.

Die Solarthermieanlage bietet eine sehr gute Möglichkeit, die Vorgänge und Funktionen in einem Solarthermie System zu verstehen, sowie sehr aufschlussreiche Messungen und Datenauswertungen zu generieren. Das hier ausgearbeitete und umgesetzte Konzept bietet die ideale Basis für das wissenschaftliche Arbeiten mit einer Solarthermieanlage.

A Anhang

Anmerkung zu Quellenangaben der Bilder und Icons auf dem Frontpanel

Icons auf dem Frontpanel:

<http://www.flaticon.com>

<http://www.iconarchive.com>

Bild Röhrenkollektor:

https://www.solarbayer.de/images/products/collectors/cpc_nero/Roehrenkollektor-CPC-Nero-1200-1200.jpg, Zugriff am 05.05.2017

Bild Flachkollektor:

<http://www.hohage-co.de/Solar%20technik.html>, Zugriff am 05.05.2017

Bild Solarstation Buderus:

http://бyдepyc.pф/catalog/solnechnye_kollektory_stanzia_logasol_ks/0105_sc20_white_7747009471.html, Zugriff am 28.06.2017

Pyranometer:

<http://www.fuehlersysteme.de/pyranometer.html>, Zugriff am 28.06.2017

A.1 Datenpunktliste

DATA POINT LIST

FieldPoint Modul	Slot	Adr.	Type	Name	Calibration
FP-2015	0		CPU		
FP-CTR-500	1	0	Counter- IN	flow counter solar circuit 1	
		1	Counter- IN	flow counter solar circuit 2	
		2	Counter- IN	flow counter feed line tank 1	
		3	Counter- IN	flow counter feed line tank 2	
		4	Counter- IN		
		5	Counter- IN		
		6	Counter- IN		
		7	Counter- IN		
FP-RTD-124	2	0	Analog - IN	temperature tapping tank 1	
		1	Analog - IN	flow temperature tank 1	-0.206662835+1.002280938*x-7.71779E-05*x**2+5.81222E-07*x**3
		2	Analog - IN	return temperature tank 1	-0.252009582+1.003332176*x-9.18833E-05*x**2+6.50349E-07*x**3
		3	Analog - IN	feed temperature tank 1	-0.225423214+1.002770874*x-7.83357E-05*x**2+5.60887E-07*x**3
		4	Analog - IN	temperature tapping tank 2	-0.137517949+1.002698605*x-7.30347E-05*x**2+5.16647E-07*x**3
		5	Analog - IN	feed temperature tank 2	-0.301075422+1.002815485*x-8.94786E-05*x**2+6.43917E-07*x**3
		6	Analog - IN	flow temperature tank 2	-0.234452485+1.001704024*x-7.94949E-05*x**2+5.80302E-07*x**3
		7	Analog - IN	return temperature tank 2	-0.201464963+1.002433564*x-6.89502E-05*x**2+5.1004E-07*x**3
FP-RTD-124	3	0	Analog - IN	temperature hot water tank 1	
		1	Analog - IN	temperature hot water tank 2	
		2	Analog - IN		
		3	Analog - IN	feed temperature flat plate collector	
		4	Analog - IN	return temperature flat plate collector	
		5	Analog - IN	feed temperature evacuated tube collector	
		6	Analog - IN	return temperature evacuated tube collector	
		7	Analog - IN		
FP-RTD-124	4	0	Analog - IN		
		1	Analog - IN		
		2	Analog - IN	outdoor temperature collector surface	
		3	Analog - IN	temperature flat plate collector	
		4	Analog - IN	temperature evacuated tube collector	
		5	Analog - IN	room temperature	
		6	Analog - IN		
		7	Analog - IN		

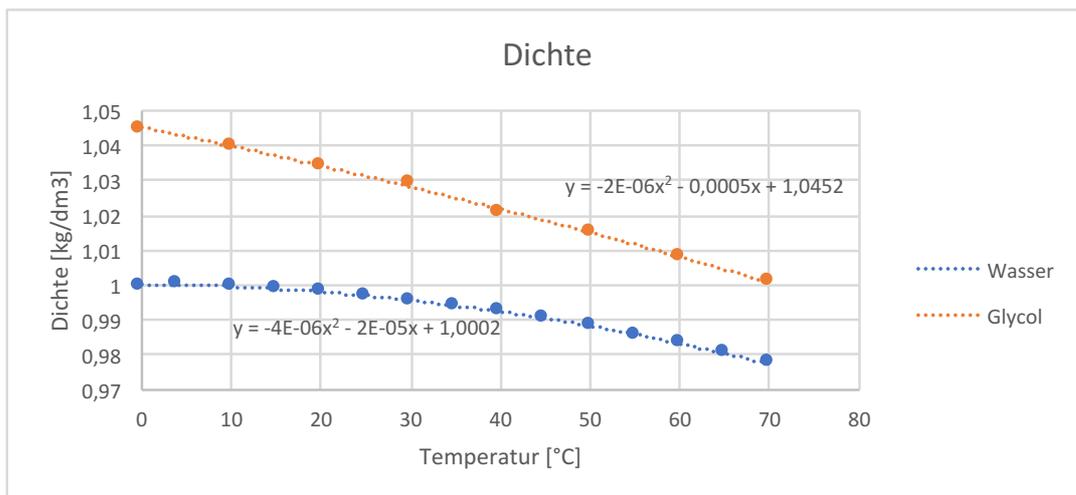
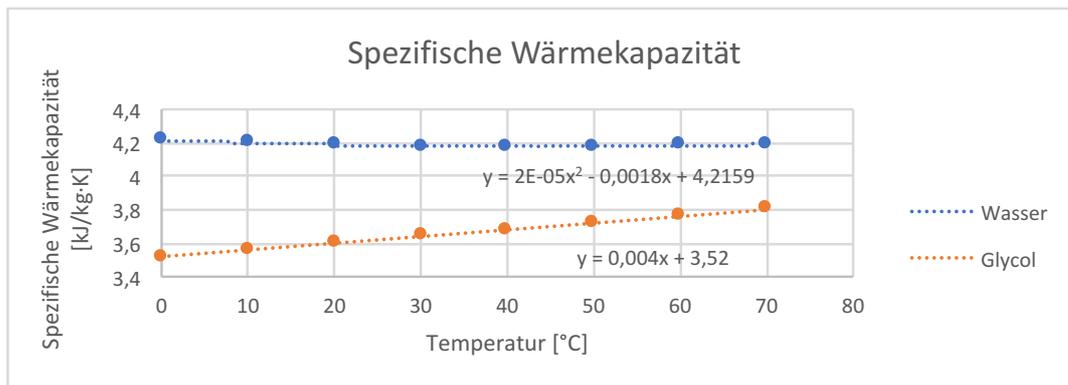
FieldPoint Modul	Slot	Adr.	Type	Name	Calibration
FP-AI-110	5	0	Analog - IN		
		1	Analog - IN	pyranometer solar SP 2	(x-0,004)*100000
		2	Analog - IN		
		3	Analog - IN	pyranometer PV SP 1	(x-0,004)*100000
		4	Analog - IN	pyranometer CMP 11	(x-0,004)*100000
		5	Analog - IN		
		6	Analog - IN		
FP-DO-403		7	Analog - IN		
	6	0	Digital - OUT	tapping valve 1 tank 1	
		1	Digital - OUT	tapping valve 2 tank 1	
		2	Digital - OUT	tapping valve 3 tank 1	
		3	Digital - OUT	tapping valve 1 tank 2	
		4	Digital - OUT	tapping valve 2 tank 2	
		5	Digital - OUT	tapping valve 3 tank 2	
FP-PWM-520		6	Digital - OUT		
		7	Digital - OUT	heating valve 2	
		8	Digital - OUT	enable signal fan heater 1	
		9	Digital - OUT	enable signal fan heater 2	
		10	Digital - OUT	heating valve 1	
		11	Digital - OUT		
		12	Digital - OUT		
		13	Digital - OUT		
		14	Digital - OUT		
		15	Digital - OUT		
	7	0	PWM	heating pump 1	
		1	PWM	heating pump 2	
		2	PWM	control signal fan heater 1	
		3	PWM	control signal fan heater 2	
		4	PWM		
	5	PWM			
	6	PWM			
	7	PWM			

A.2 Thermodynamische Kennwerte

Thermodynamische Kennwerte Dichte und Wärmekapazität

Temperatur [°C]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/kg·K]	
	Wasser	Glycol
0	4,2199	3,52
10	4,1959	3,56
20	4,1851	3,6
30	4,1803	3,64
40	4,1788	3,68
50	4,1798	3,72
60	4,1829	3,76
70	4,1882	3,8

Temperatur [°C]	Dichte [kg/dm ³]	
	Wasser	Glycol
0	0,99980004	1,045
4	1	
10	0,99970009	1,04
15	0,999200639	
20	0,998302885	1,034
25	0,997108386	
30	0,995718411	1,029
35	0,994035785	
40	0,992260369	1,021
45	0,990197049	
50	0,98804466	1,015
55	0,985707245	
60	0,983187494	1,008
65	0,980488283	
70	0,977708252	1,001



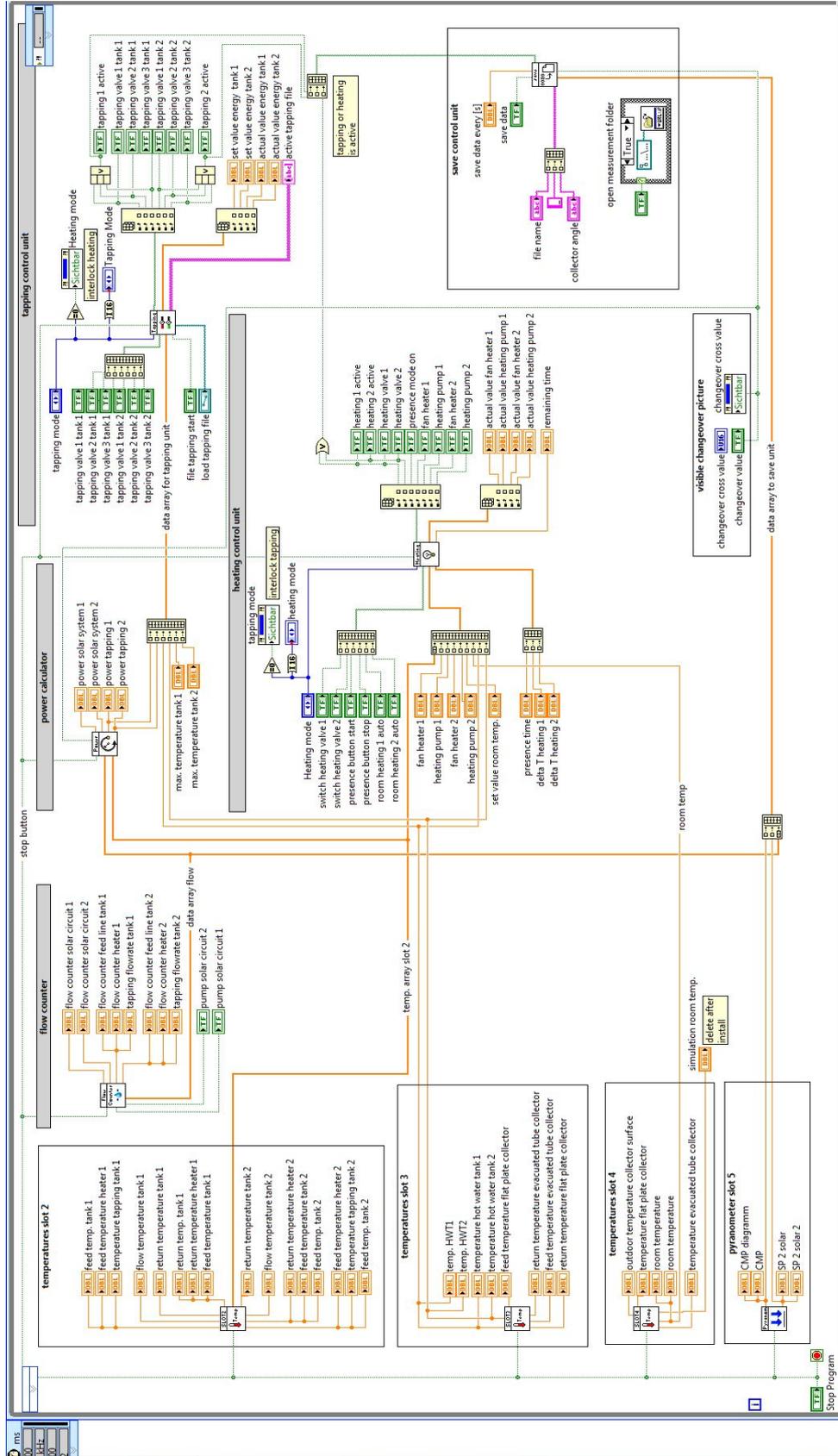
Anmerkung: Interpolation mit Microsoft Excel

Quellen:

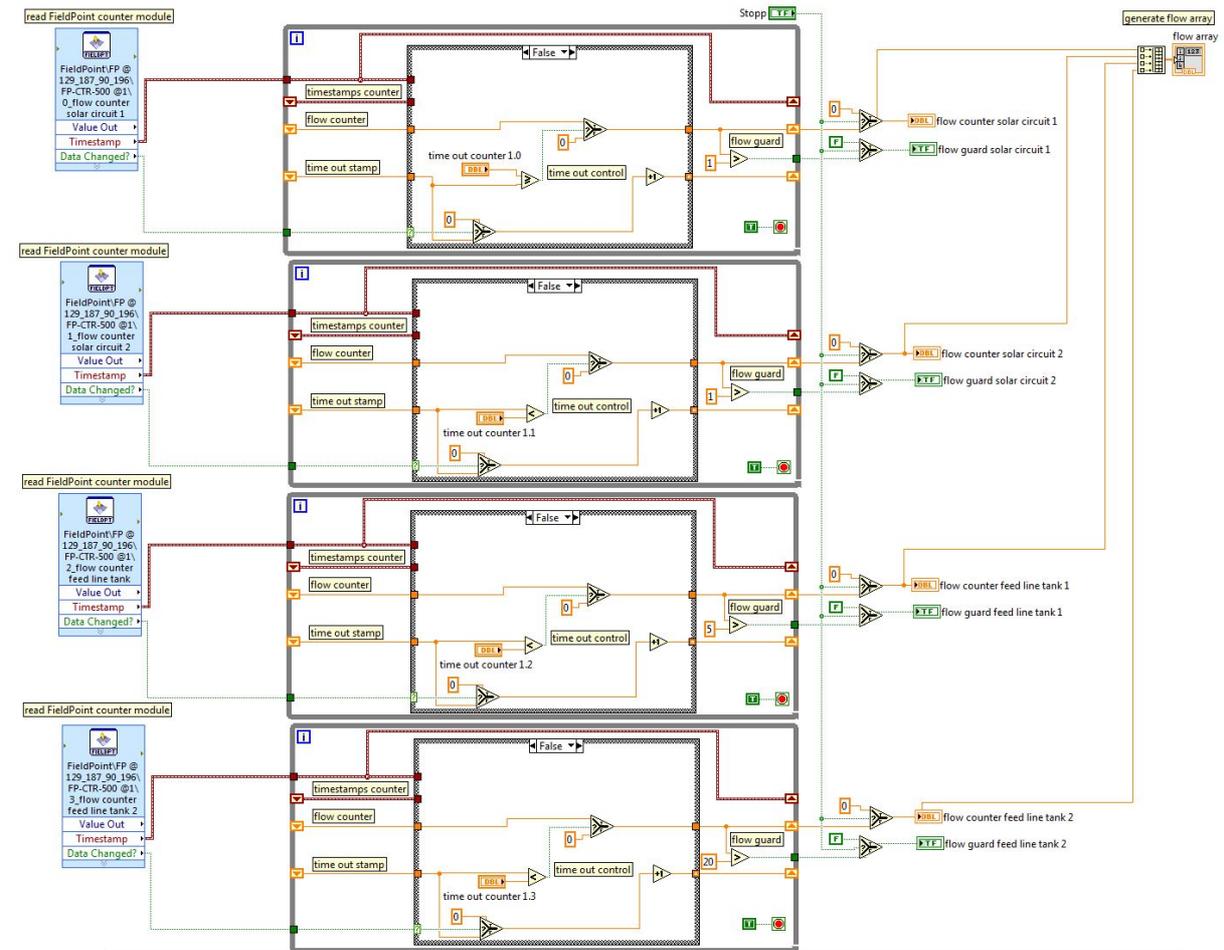
spez. Wärmek.Wasser: P. v. Böckh, M. Stripf, Technische Thermodynamik, Berlin/Heidelberg: Springer Vieweg, 2015. (Seite 528)
 Dichte Wasser: K. Langeheinecke, P. Jany und G. Thieleke, Thermodynamik für Ingenieure, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. (Seite 325)
 Glycol: T. Chemie, „Technische Information Gebrauchsfertige Spezial- Wärmeträgerflüssigkeiten,“ 2013. [Online].
http://www.tyfo.de/uploads/TI/TI-TYFOCOR-LS_de_2013.pdf?PHPSESSID=73378e1f98a960fe5858a92966f91bb4. [19.07.:

A.3 Blockdiagramm der Programmbausteine

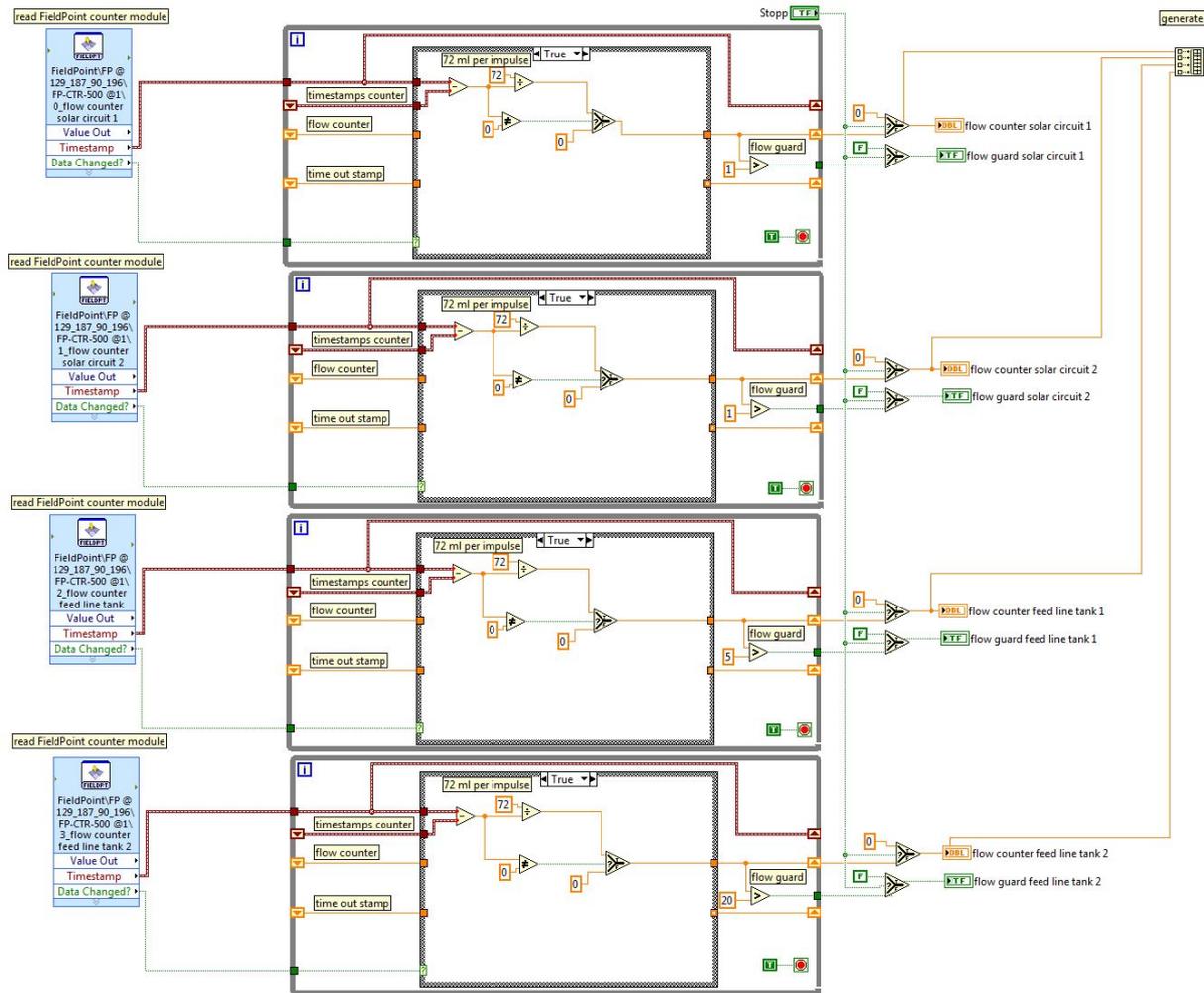
Main_Programm.vi



Flow_Counter_Slot_1(SubVI).vi (False Case)



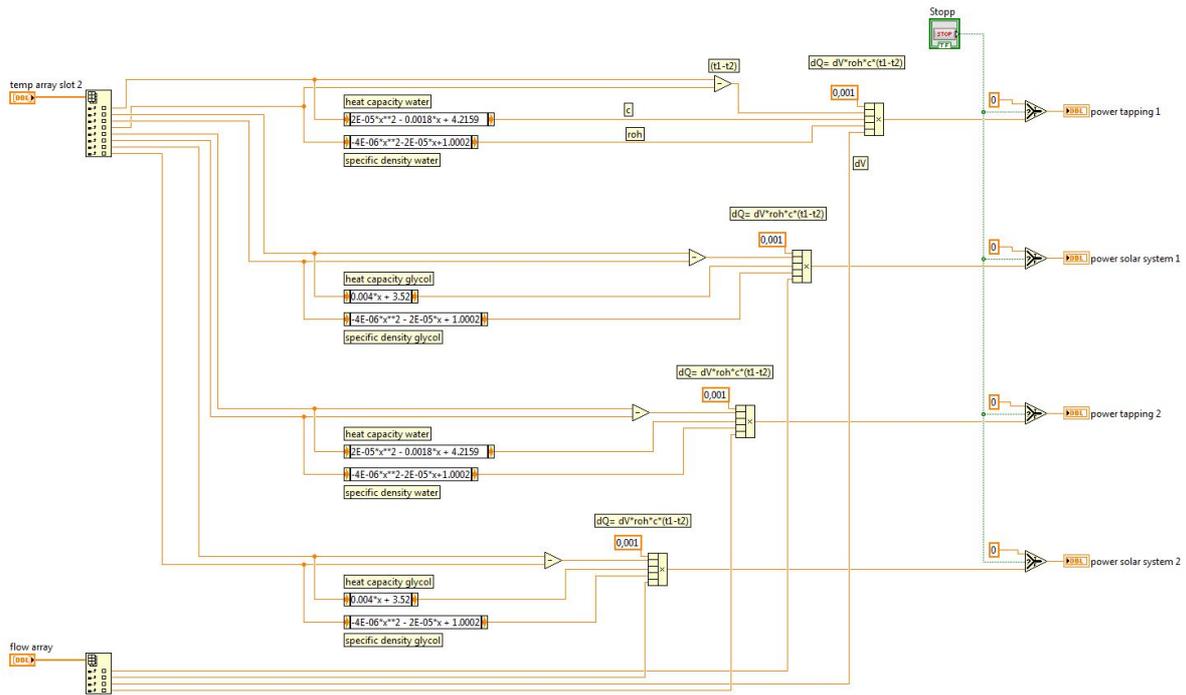
Flow_Counter_Slot_1(SubVI).vi (True Case)



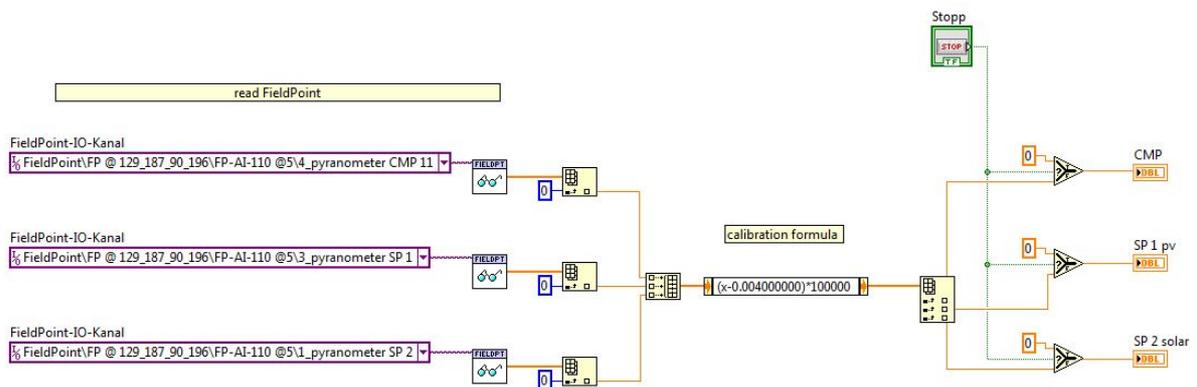
Heating_System(SubVI).vi

Noch Screenshots einfügen

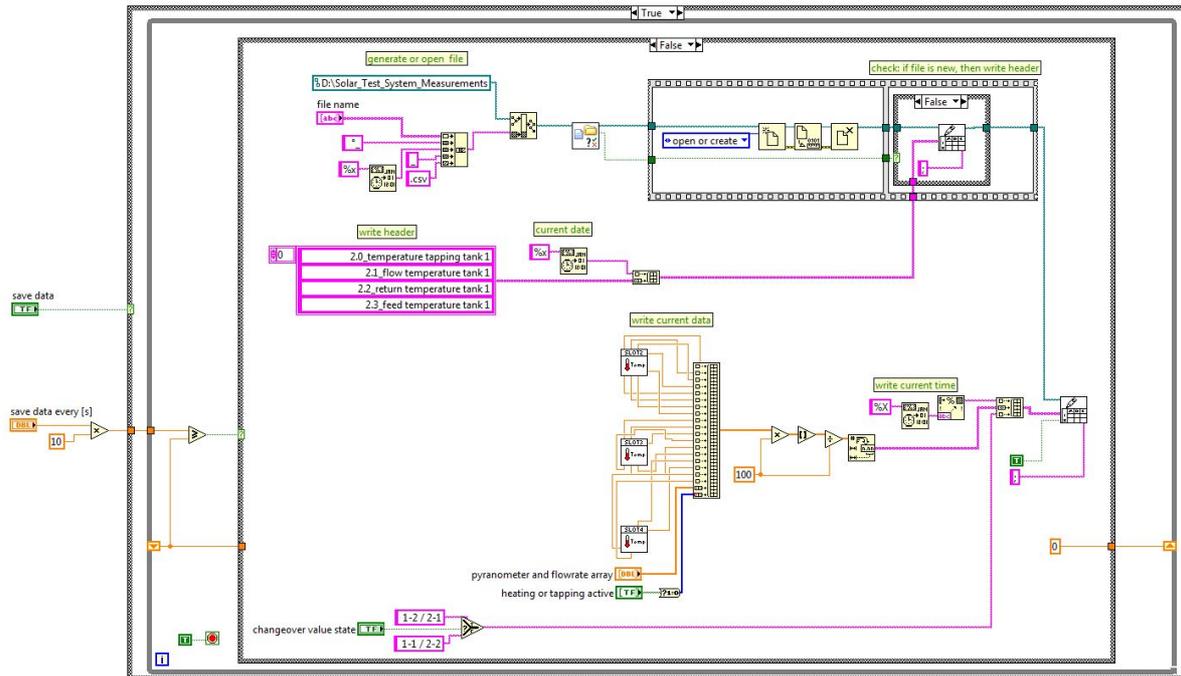
Power_Measurements(SubVI).vi



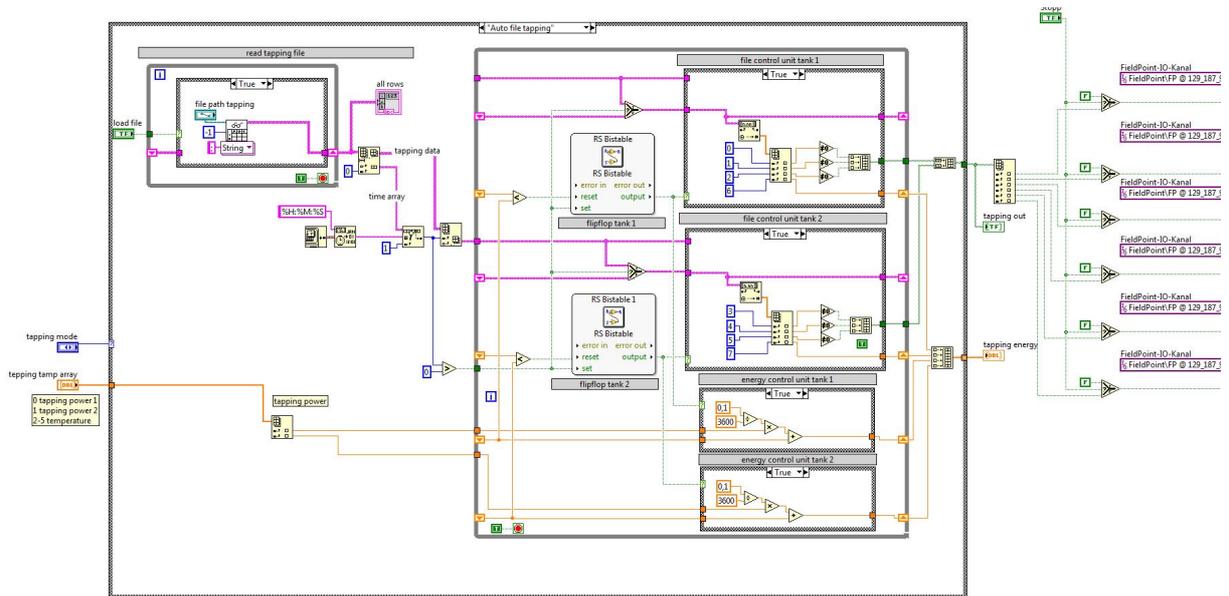
Pyranometer_Slot_5(SubVI).vi



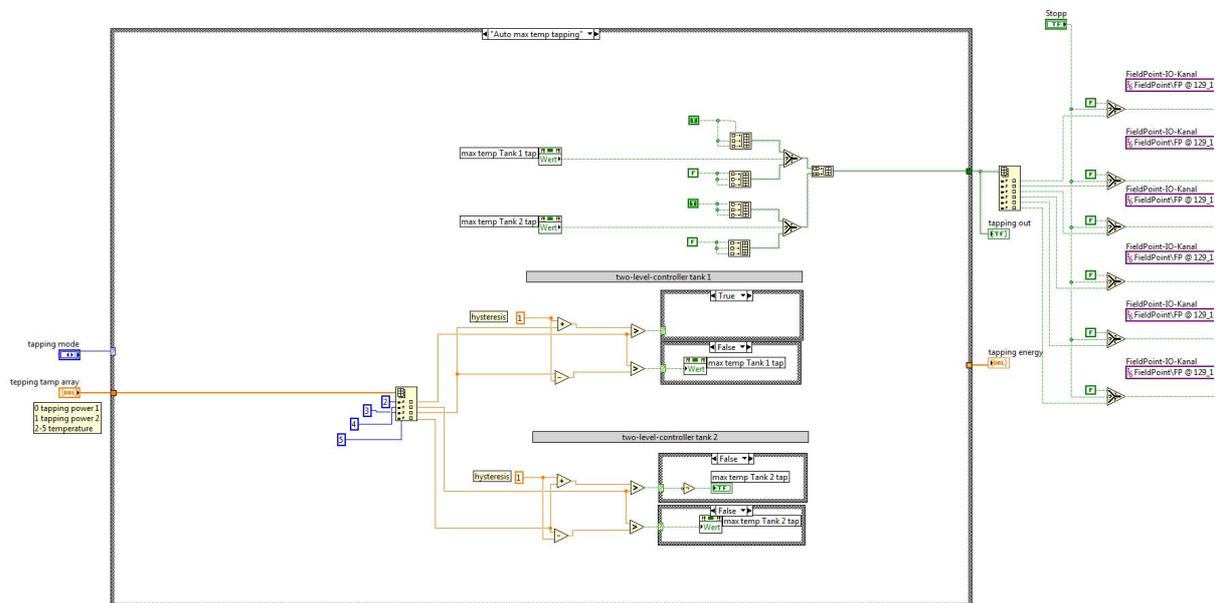
Save_Data(SubVI).vi



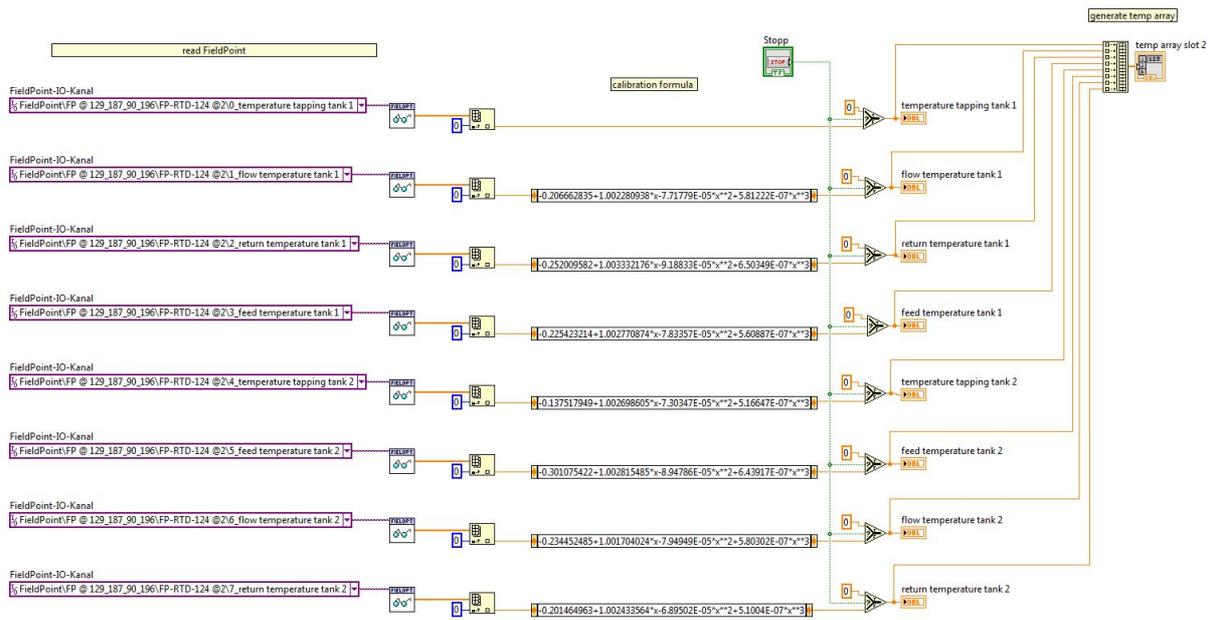
Tapping_system(SubVI).vi (Auto Mode File)



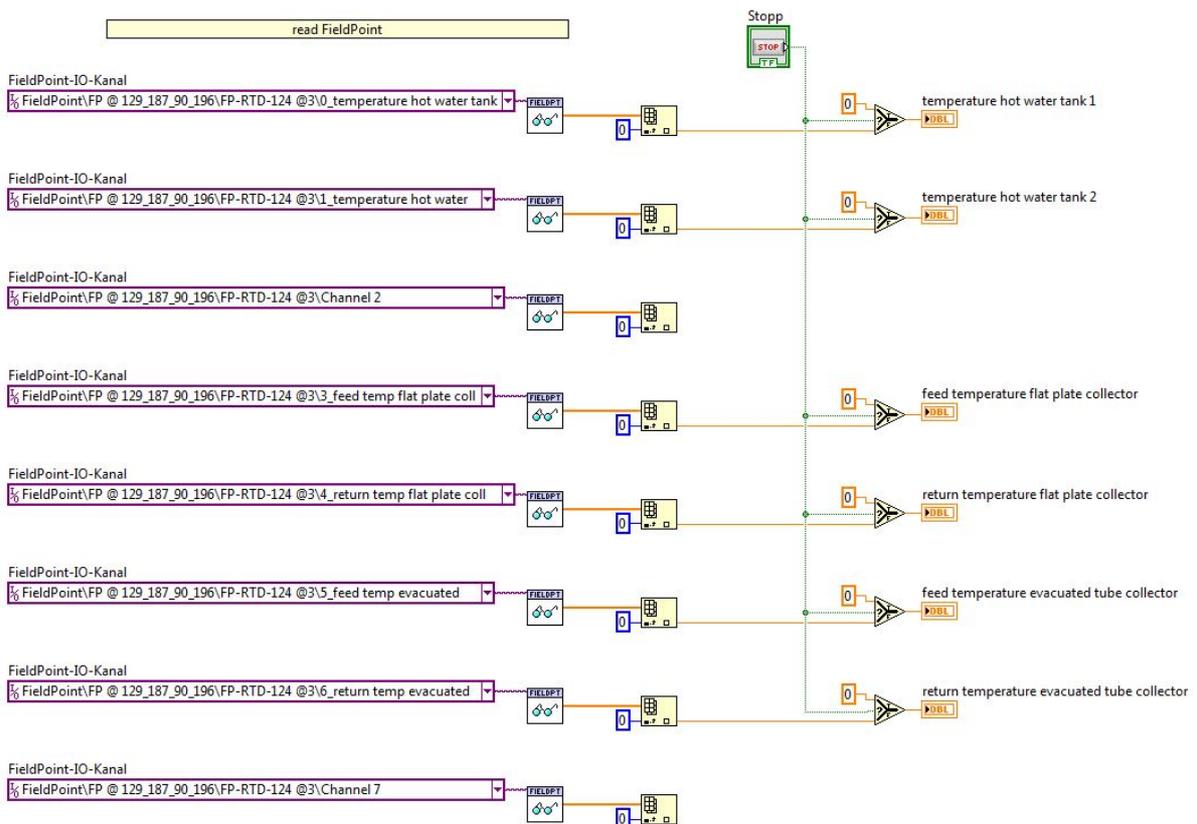
Tapping_system(SubVI).vi (Auto Mode Max. Temp.)



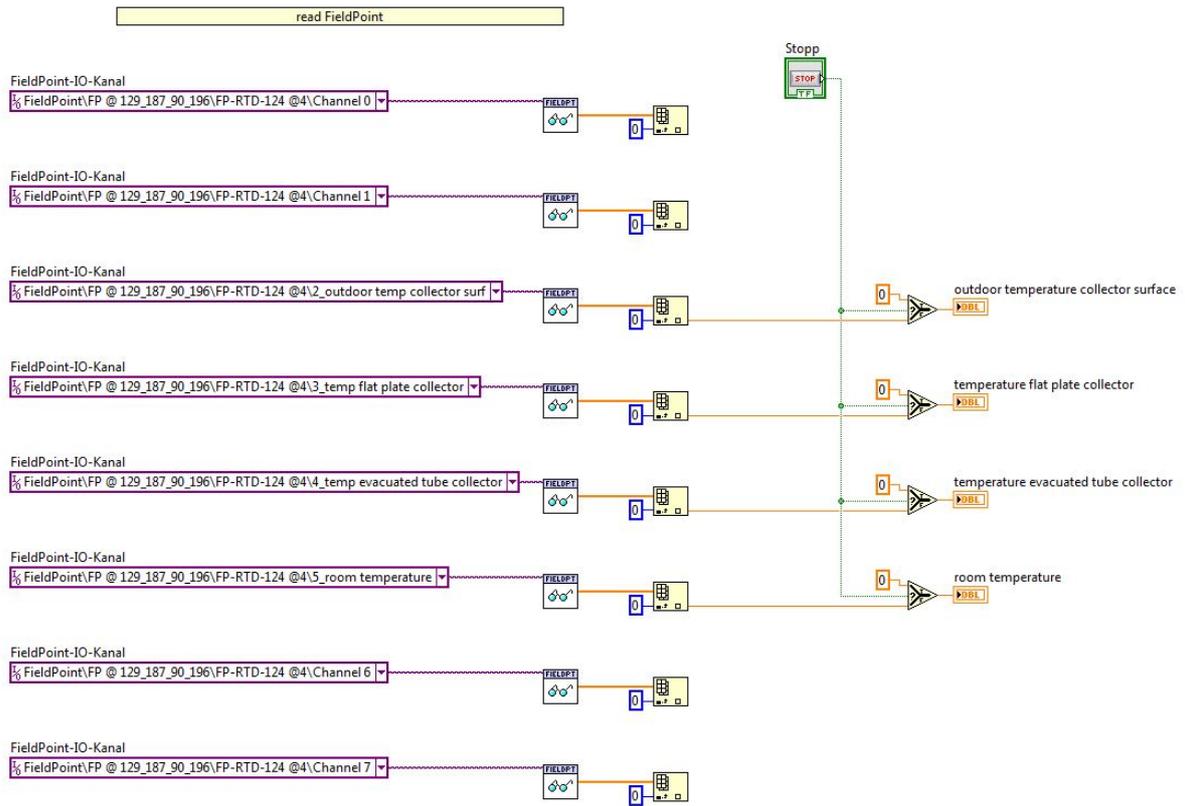
Temp_Measurements_Slot_2(SubVI.vi)



Temp_Measurements_Slot_3(SubVI.vi)



Temp_Measurements_Slot_4(SubVI).vi



A.4 Daten auf CD

Inhalt:

Bachelorarbeit

Abschluss Präsentation

Anlagenschema in PDF und Visio-Format

LabVIEW- Projekt Ordner

Vorlage Verbraucherzapfplan

Messdaten Testmessung

Thermodynamische Daten Dichte und Wärmekapazität

Literatur

Literaturverzeichnis

- [1] T. Schabbach und P. Leibbrandt, Solarthermie, Wie Sonne zu Wärme wird, Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2014.
- [2] Aichele und Nimsch, „Industrielles Projektmanagement 4-Phasenmodell,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.industrielles-projektmanagement.de/index.php/projektmanagement/ipm-methoden/98-4-phasenmodell>. [Zugriff am 08 08 2017].
- [3] H.-P. Lutz, „Thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung,“ Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 2008.
- [4] B. D. Bosch Thermotechnik GmbH, „Buderus Technische Dokumentation,“ 10 2010. [Online]. Available: <http://documents.buderus.com/download/pdf/file/6720646565.pdf>. [Zugriff am 06 07 2017].
- [5] T. Chemie, „Technische Information Gebrauchsfertige Spezial-Wärmeträgerflüssigkeit,“ 2013. [Online]. Available: http://www.tyfo.de/uploads/TI/TI-TYFOCOR-LS_de_2013.pdf?PHPSESSID=73378e1f98a960fe5858a92966f91bb4. [Zugriff am 19 07 2017].
- [6] B. D. Bosch Thermotechnik GmbH, „Planungsunterlage Logasol,“ 06 2016. [Online]. Available: <https://productsde.buderus.com/techdoc/Logasol-KS/6720818573.pdf>. [Zugriff am 05 07 2017].
- [7] K. Oberzig, Solare Wärme, Vom Kollektor zur Hausanlage, 2 Hrsg., Karlsruhe: Solarpraxis AG, 2008.
- [8] W. Georgi und E. Metin, Einführung in LabVIEW, 5 Hrsg., München: Carl Hanser Verlag, 2012.
- [9] N. Instruments, „National Instruments FieldPoint 15.5 Readme,“ National Instruments, 2 2016. [Online]. Available: <http://download.ni.com/support/softlib//fieldpoint/15.5/FieldPointReadme.html>. [Zugriff am 12 07 2017].

- [10] N. Instruments, „FieldPoint – modulares I/O-System,“ National Instruments, 2017.
[Online]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/de/nid/1206>. [Zugriff am 05 07 2017].
- [11] N. Instruments, „LabVIEW Real-Time Controller Interfaces with Ethernet,“ [Online].
Available: http://www.ni.com/pdf/products/us/4dio533_537.pdf. [Zugriff am 20 07 2017].
- [12] N. Instruments, „High-Speed Counter Modules for Compact FieldPoint,“ 2008. [Online].
Available: http://www.ni.com/pdf/products/us/4dio576_578.pdf. [Zugriff am 15 07 2017].
- [13] N. Instruments, „Thermocouple and RTD Modules for Compact FieldPoint and FieldPoint,“ 2003. [Online]. Available:
http://www.ni.com/pdf/products/us/cfp_fp_thermocouple_rtd.pdf. [Zugriff am 14 07 2017].
- [14] N. Instruments, „Analog Input Modules for Compact FieldPoint and FieldPoint,“
[Online]. Available: http://www.ni.com/pdf/products/us/4dio553_555.pdf. [Zugriff am 20 07 2017].
- [15] N. Instruments, „Digital Output Modules for Compact FieldPoint and FieldPoint,“
[Online]. Available: http://www.ni.com/pdf/products/us/4dio569_571.pdf. [Zugriff am 20 07 2017].
- [16] N. Instruments, „Pulse Width Modulation Output Modules for Compact FieldPoint and FieldPoint,“ [Online]. Available: http://www.ni.com/pdf/products/us/4dio581_582.pdf. [Zugriff am 20 07 2017].
- [17] H. Bernstein, Messelektronik und Sensoren, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- [18] K. & Zonen und R. Messtechnik, „Bedienungsanleitung Pyranometer SP LITE,“ 2004.
[Online]. Available: http://www.rg-messtechnik.de/assets/files/Aeltere-PDF/splite_ba_dt.pdf. [Zugriff am 15 07 2017].
- [19] K. Langeheinecke, P. Jany und G. Thieleke, Thermodynamik für Ingenieure, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013.

- [20] N. Instruments, „Was ist Pulsweitenmodulation (PWM) und wofür wird diese verwendet?“, 03 11 2015. [Online]. Available:
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/9C90B9A416A509DD86257EF2007C1926> .
[Zugriff am 07 14 2017].
- [21] W. S. Xylem, „HVAC OEM Circulators,“ Xylem Water Solutions Italia Srl, Lainate, Italien, 2013.