



**School of
Engineering**

ICP Institute of
Computational Physics

Bachelorarbeit: Energie-und Umwelt- technik 2017

Wärmepumpencontroller direkt ange- steuert von Simulationssoftware

Autoren Roman Grosskopf

Hauptbetreuung Dr. Andreas Witzig

Nebenbetreuung Hanna Sotnikova

Industriepartner Vela Solaris AG und BS2 AG

Datum 07.06.2017

Zusammenfassung

Die Ansprüche an die Baubranche und die Gebäudetechnik bezüglich Planung, Umsetzung, und Bewirtschaftung steigen stetig an. Die Etablierung von BIM (Building Information Modeling) steht für diese Entwicklung. Die Kommunikation zwischen allen Beteiligten an einem Bauprojekt soll verbessert, plattformübergreifend und in einer einheitlichen Sprache gestaltet werden. Unter anderem auch die Absprache bezüglich der Einstellungen der Gebäudetechnik während der Simulation und jene, welche später bei der Inbetriebnahme des Objektes durch den Installateur gesetzt werden.

Diese Arbeit thematisiert die Umsetzung einer Schnittstelle zwischen der Simulationssoftware Polysun und einem Wärmepumpencontrollers, als externe Hardware. Das Ziel ist, dass der Controller direkt mit Hilfe der Software angesteuert werden kann und der Planer somit einen Zugriff auf die Einstellungen des Controllers bekommt. Dies ermöglicht nicht nur die Umsetzung der geplanten Einstellungen bei der Inbetriebnahme, sondern gewährt dem Planer auch eine stetige Aktualisierung, welche für weitere Analysen und Verbesserungen des Systems genutzt werden kann.

Aus den über 130 verfügbaren Parametern des Wärmepumpencontrollers wurde 28 Parameter ausgewählt wie z.B. die Steilheit der Heizkurve oder minimale Stillstand/Laufzeiten. Die Parameter wurden in mehreren Simulationen in Polysun umgesetzt. Diese sollen schlussendlich dem Wärmepumpencontroller übergeben werden. Hierfür konnten teilweise schon bestehende Steuerungen der Software verwendet werden, oder aber der Parameter musste in einer programmierbaren Steuerung umgesetzt werden.

Da das „Matching“ zwischen den Parametern schwieriger war als Anfangs gedacht, wurden die Spezifikationen der Schnittstelle nur für die programmierbare Steuerung erstellt. Im Laufe der Arbeit hat sich zudem die Möglichkeit der Datensammlung des Systems, mittels des eingebauten Loggers, als höchst interessant erwiesen. In Bezug auf das kürzlich verabschiedete Energiegesetz EnG (21.05.2017) und die damit verbundenen Auflagen bezüglich des Monitoring des Energieverbrauchs, entstehen hier interessante Möglichkeiten.

Abstract

The demands on the construction industry and the building technology regarding planning, implementation and management are steadily increasing. The establishment of BIM (Building Information Modeling) stands for this development. The communication between all parties involved in a construction project is to be improved, platform-wide and uniform in language. Among those things is also the agreement regarding the parameters of the building technology used during the simulation and those which are set later by the installer when the object is commissioned.

This work addresses the implementation of an interface between the Polysun simulation software and a heat pump controller as an external hardware. The goal is that the controller can be triggered directly from the software and the planner thus obtains access to the settings of the system. This not only allows the planned settings to be implemented during commissioning, but also provides the planner with continuous access, which can be used for further analyzes and improvements off the system.

From the over 130 available parameters of the heat pump controller, 28 were selected such as the steepness of the heating curve or minimum shutdown/run times. The parameters were implemented in several simulations in Polysun, in order to be able to transfer them to the controller. To this end, existing controls of the software could be used, but other parameters had to be implemented in a programmable controller.

Since the matching between the parameters was more difficult than initially thought, the interface specifications were only created for the programmable controller. In the course of the work, the possibility of data collection of the system by means of the built-in logger has proven to be quite promising. Regarding the recently adopted energy law and the associated requirements regarding the monitoring of the energy consumption, interesting possibilities arise.

Vorwort und Danksagung

Als einer der wenigen Energie-und Umwelttechnik Studenten meines Jahrganges, welcher sich für die thermische Vertiefung entschieden hat, war es mir wichtig auch eine Bachelorarbeit zu wählen, welche diesen Fachbereich behandelt. Mit einem regen Interesse aber relativ wenig Knowhow für die Programmiersprache stiess ich dann auf die Ausschreibung dieser Arbeit.

Andreas Witzig konnte mich mit seinen klaren Vorstellungen und Auslegung bezüglich der Arbeit schnell davon überzeugen, dass ich hier über ein vielversprechendes Projekt meinen Bachelor schreiben kann. Er hat sich dann auch sehr viel Zeit für alle meine Fragen und Anregungen genommen während der Arbeit und seine eigene Begeisterung und Interesse für das Projekt hat mich immer wieder zusätzlich motiviert. Ich möchte mich herzlichst für das Engagement und die Betreuung durch Andreas Witzig bedanken. Ganz herzlich möchte ich auch Hanna Sotnikova danken, welche mich in allen Belangen bezüglich der Implementierung der Polysunprojekte betreut hat. Ohne sie hätte ich die Umsetzung niemals in der vorgegebenen Zeit bewältigen können. Vielen Dank auch an die BS2 AG, namentlich Jonas Ruggle, und die Vela Solaris AG für ihr Interesse und ihre Unterstützung bei dieser Arbeit.

Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Bachelorarbeit an der School of Engineering

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat. (Bei Gruppenarbeiten gelten die Leistungen der übrigen Gruppenmitglieder nicht als fremde Hilfe.)

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle zitierten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt nachgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten die Paragraphen 39 und 40 (Unredlichkeit und Verfahren bei Unredlichkeit) der ZHAW Prüfungsordnung sowie die Bestimmungen der Disziplinar massnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

.....

Unterschriften:

.....

.....

.....

Das Original dieses Formulars ist bei der ZHAW-Version aller abgegebenen Bachelorarbeiten zu Beginn der Dokumentation nach dem Titelblatt mit Original-Unterschriften und -Datum (keine Kopie) einzufügen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	8
1.1 Ausgangslage.....	8
1.2 Zielsetzung / Aufgabenstellung / Anforderungen	9
2 Moderne Gebäudetechnik-Planung	10
2.1 Building Information Modeling (BIM)	10
2.1.1 Definition.....	10
2.1.2 Digitalisierung.....	10
2.1.3 Polysun-Anbindung	11
2.2 Neue Anwendungsfelder von Polysun	12
2.2.1 Use Case 1: Neubau.....	12
2.2.2 Use Case 2: Analyse bestehender Anlagen	14
2.2.3 Use Case 3: Monitoring gesetzlicher Grenzwerte	14
3 Parameter und Polysun Simulationen.....	16
3.1 Bewertung und Erklärung der Parameter	16
3.1.1 Bewertungskriterien.....	16
3.1.2 Bewertungstabelle	17
3.2 Polysun Anbindung der Parameter	22
3.2.1 Grundeinstellungen und Heizkreislauf	22
3.2.2 Solarkreislauf mit Erdreichregeneration	23
3.2.3 Integration der Heizkurve.....	24
3.2.4 Freecooling/Kühlkreislauf.....	25
3.3 Smart Grid Ready (SG-Ready).....	26
3.3.1 Funktionsweise.....	26
3.3.2 Smart Grid Ready in Polysun	28
4 Umsetzung der Schnittstelle in Polysun	30
4.1 Einbindung der externer Hardware.....	30
4.2 Zuteilung der Parameter	32
4.3 Spezifikationen	34
4.3.1 Mockup 1: Einbindung externer Hardware (neue Auswahl in Extras).....	34
4.3.2 Mockup 2: Einbindung externer Hardware (neues Fenster)	34
4.3.3 Mockup 3: Parameterzuteilung (Fensters: programmierbare Steuerung).....	35
4.3.4 Mockup 4: Parameterzuteilung (neues Fenster)	35
4.4 Allgemeine Anregungen/Verbesserungsvorschläge zu Polysun.....	36
4.4.1 Fehleranalyse von Projekten	36
4.4.2 Steuerungsbericht/Übersicht	38

4.4.3 Zusätzliche Werte in Polysun Komponenten.....	40
5 Diskussion und Ausblick	41
5.1 Schnittstelle zwischen Polysun und Wärmepumpencontroller.....	41
5.2 Monitoring mittels Wärmepumpencontroller	42
6 Verzeichnisse.....	43
6.1 Literaturverzeichnis.....	43
6.2 Abbildungsverzeichnis.....	44
6.3 Tabellenverzeichnis	45
A Anhang	46
A 1 Auslegung der Bachelorarbeit.....	46
A 2 Projektplan	47
A 3 Zuteilung der Parameter vom Wärmepumpencontroller zu Polysun	48
A 4 Liste mit allen Parametern des Wärmepumpencontrollers	49

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

In Neubauten werden heutzutage bis zu 80% Wärmepumpen für die Heiz- und Trinkwasser Aufbereitung verbaut und auch bei Sanierungen ist die Technologie auf dem Vormarsch [1]. Nicht selten werden zusätzliche Systeme wie eine Photovoltaik, oder Solarthermische Anlagen installiert. In aufwendigeren Lösungen kann zum Beispiel der Überschuss an solarthermischer Energie dem Erdreich mittels einer Erdwärmesonde, zurückgeführt werden. Solch komplexe Systeme zur Deckung von Heiz- und Trinkwarmwasser, sowie die Eigenproduktion von Strom, müssen solide geplant werden. Nur dann sind die einzelnen Komponenten aufeinander abgestimmt und können möglichst effizient arbeiten.

Solch eine Auslegung kann mittels einer Software wie Polysun simuliert und optimiert werden. Alle Komponenten können miteinander verknüpft werden, mittels programmierbarer Steuerung aufeinander angepasst und im Tages oder Stundenintervall simuliert werden. Der Schlüssel zu Effizienz liegt nicht nur in der Wahl der Komponente, sondern auch zu einem grossen Teil an der Einstellung der einzelnen Parameter wie: Heizkurve, Ein- und Ausschaltkriterien des Verdichters, Ein- und Ausschaltkriterien der einzelnen Pumpen, minimale und maximale Laufzeiten und viele mehr. Leider ist es in der Praxis oft so, dass der Installateur bei der Inbetriebnahme des Systems diese Parameter nicht richtig, bzw. nach Auslegung des Planers einstellt. Solche Fehleinstellungen können teilweise verheerende Auswirkungen haben. So kann eine Pumpe in einen Dauerbetrieb verfallen, oder schalten sich viel zu häufig ein und wieder aus. Hierdurch wird die Performance der Jahresarbeitszahl (JAZ) stark verschlechtern.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern Vela Solaris und BS2, den Ablauf der frühen Planungsphasen und Inbetriebnahme, sowie wie später auch die Bewirtschaftung der Anlage, zu verbessern. In einem Ersten Schritt sollen die wichtigsten Parameter, welche in der Planung und Simulation innerhalb Polysun verwendet werden, direkt auf einen Wärmepumpencontroller übertragen werden. Dies soll mittels eines webbasierten Services erreicht werden. Somit wird gewährleistet, dass die gleichen Parameter in der fertig installierten Anlage wie auch in der Simulation verwendet werden. Zu diesem Zweck stellt die BS2 einen noch in Entwicklung befindlichen Wärmepumpencontroller zur Verfügung.

Eine weiterführende Idee wäre eine stetige Kommunikation des Wärmepumpencontrollers und der Simulationssoftware Polysun. So können nicht nur Werte übergeben, sondern auch abgerufen werden. Diese können analysiert und entweder automatisch oder durch einen Mitarbeiter entsprechend angepasst werden, um die Effizienz des Systems zu gewährleisten oder weiter zu optimieren.

1.2 Zielsetzung / Aufgabenstellung / Anforderungen

Von einer Optimierung der Planungsdienstleistungen würden nicht nur die Kunden, sondern auch die Planungsbüros profitieren. Laut SIA Norm 112 Modell – Bauplanung, ist die Inbetriebnahme und Bewirtschaftung ein wesentlicher Bestandteil eines Bauprojektes, für welche jeder Architekt oder Planer einen Service offerieren sollte [2].

Das Ziel ist, die in der Planungsphase simulierten Werte in Polysun bei der Inbetriebnahme auf das reale System übertragen zu können. Somit wird eine möglichst Reibungslose Inbetriebnahme angestrebt. Um dies umzusetzen sollen die verwendeten Einstellungen in Polysun, dem Wärmepumpen-Controller bei der Inbetriebnahme übergeben werden. Für die Umsetzung soll einer Schnittstelle zwischen der Simulationssoftware Polysun und dem Controller geschaffen werden, über welche die Parameter übergeben werden können. Eine Kurzbeschreibung der Auslegung der Bachelorarbeit: „Wärmepumpencontroller direkt angesteuert aus Simulationssoftware“, kann im Anhang gefunden werden.

Die Schwierigkeit des Projektes wird es sein, die Funktionsweise der verschiedenen Parameter der Software und des Controller genau zu verstehen und aufeinander abzugleichen. Zusätzlich muss eine Auswahl bezüglich der Parameter welche in dieser Arbeit umgesetzt werden sollen getroffen werden, da wahrscheinlich aus zeitlicher Sicht nicht alle Parameter bearbeitet werden können.

Die ausgewählten Parameter des Wärmepumpencontrollers, sollen dann in einem nächsten Schritt in einem Polysunprojekt umgesetzt werden. Kann diese Zuteilung erfolgreich gemacht werden, können die Parameter zwischen Simulationssoftware und Wärmepumpencontroller abgeglichen werden. Das Ziel dieser Arbeit ist es die Möglichkeiten aufzuzeigen und die Machbarkeit einer Schnittstelle zu belegen. Die Tatsächliche Umsetzung und Programmierung der Schnittstelle, wird in einem weiteren Schritt erfolgen.

2 Moderne Gebäudetechnik-Planung

2.1 Building Information Modeling (BIM)

Die Digitalisierung schreitet immer schneller voran und integriert sich in fast allen Aspekten unserer Gesellschaft. Auch in Bereichen wie der Baubranche und Gebäudetechnik halten neue Standards für den Ablauf und die Kommunikation Einzug. Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit dieser Entwicklung und die Chancen welche sich daraus ergeben.

2.1.1 Definition

Die Abkürzung BIM steht für „Building Information Modeling“ und ist eine Neuerung über welche in der Baubranche zurzeit viel diskutiert wird. Die SIA sagt hierzu auf ihrer Homepage:

„BIM ist da! Und kann nicht mehr von der Hand gewiesen werden. Zunehmend etabliert sich der Begriff «erst digital – dann real».“ [3]

Eine genaue Definition von BIM ist noch nicht gegeben. Für manche ist es eine Vorgehensweise, für andere eine Software und wieder für Andere eine Datenbank. Alle haben ein wenig recht, denn alle diese Aspekte sind in BIM involviert. Die Idee dahinter ist es, Bauprojekte möglichst übersichtlich und einheitlich abzuwickeln. Alle involvierten Parteien sollten zu jeder Zeit auf dem neusten Stand des Projektes sein. Um dies zu erreichen muss eine gemeinsame Plattform geschaffen werden, über welche diese Informationen bereitgestellt und abgerufen werden können. Durch diese klare und einheitliche Verständigung aller Parteien können Missverständnisse vermieden, Zeit und Geld eingespart werden [4].

In Großbritannien, den Niederlande, Dänemark, Finnland und Norwegen ist die Verwendung von BIM bei der Vergabe von öffentlichen Bauprojekten bereits eine Vorgabe. Nach Angaben von „Construction News“, einem der führenden Quellen der Bauindustrie in England, konnte allein die britische Regierung seit 2012 bereits mehr als 1,7 Milliarden Pfund (ca. 2 Milliarden Euro) bei öffentlichen Projekten einsparen [5]. Im Jahr 2014 wurde zudem eine Richtlinie der EU verabschiedet, welche die Förderung von BIM für alle 28 Mitgliedsstaaten ab 2016 vorschreibt.

2.1.2 Digitalisierung

Die Digitalisierung unserer Welt ist nicht mehr von der Hand zu weisen, dies ist nun auch in der Baubranche und der Gebäudetechnik zu sehen. Ein Haus wird somit eigentlich zweimal gebaut, einmal real und vorher virtuell. Das komplette Projekt und all seine Komponenten sind in 3D ersichtlich. Man nehme als Beispiel die Fenster eines Gebäudes. Angaben zur Anzahl, Ausmass, Gewicht, Material, Preis usw. sind genaustens dokumentiert und ein 3D Model der Komponente „Fenster“ ist vorhanden. Sollte sich im Laufe der Planungsphase eine Änderung ergeben, vielleicht entscheidet sich der Architekt eine Wand zu ändern, wodurch ein Fenster wegfällt, wird diese Information automatisch gespeichert und ist für alle beteiligten Parteien zugänglich. Die Änderung einer Komponente wirkt sich somit auf viele Bereiche mit aus, wie Dämmung, Lichteinfall, Kosten oder verwendete Materialien.

BIM kommt jedoch nicht nur in der Planungsphase zum Einsatz, sondern auch bei der Bewirtschaftung. Die zu erwartenden Unterhaltskosten der Immobilie sowie die technische Wartung und Effizienz des Gebäudes sind alle zu simulieren und protokollieren.

2.1.3 Polysun-Anbindung

BIM ist nicht als eine alles übergreifende Software, sondern als Informationsstandard zu verstehen. Es braucht Schnittstellen zwischen den einzelnen Anwendungen und Datenbanken, welche die gesuchten Informationen bereithalten. Ein Beispiel ist die Digitalisierung von Baumaterial. Läuft eine Planung nach BIM ab, sind die Eigenschaften aller verwendeten Baumaterialien bekannt. Die Auswahl wird durch eine Datenbank bereitgestellt. In diesem Fall könnte das die SwissBIMLibrary sein [6]. Ihr Ziel ist es Produkte nach der Entstehung zu digitalisieren, und diese anschliessend den Planern zu Verfügung zu stellen. Hierdurch kann die Qualität eines Gebäudes schon in frühen Entwurfsphasen simuliert werden. Die Informationen können jedoch auch in den späteren Phasen wie bei Wartung, Um- oder Rückbau verwendet werden, da alle Bestandteile genau aufgelistet sind.

Polysun erbringt hier eine verwandte Dienstleistung. Es sammelt ebenfalls Daten und stellt diese bereit. Mit der Simulation der Gebäudetechnik werden aus den vorhandenen Daten zusätzliche wichtige Informationen generiert, wie beispielsweise Solarenergieproduktion, Betriebskosten für Warmwasserbereitstellung und Heizung oder der Erfüllungsgrad der Komfortanforderungen.

Mit Sicherheit werden sich die gesetzlichen Vorlagen bezüglich der Energieeffizienz von Gebäuden weiter verschärfen. Deshalb ist es wichtig, dass die Leistung eines des Gebäudesystems, welches für Heizung, Warmwasser und Kühlung verantwortlich ist, gemessen und erfasst werden kann. Der Wärmepumpencontroller der BS2 AG ist in der Lage so gut wie alle wichtigen Werte, mittels eines Loggers, zu erfassen und zu speichern. Diese könnten dann über die Schnittstelle an die Simulationssoftware Polysun zur weiteren Verarbeitung/Kontrolle übertragen werden.

Durch ein Abrufen der Parameterliste können falsche oder nicht den Richtlinien entsprechende Veränderungen Einstellungen erkannt werden. Mit der Auswertung der geloggtten Messdaten können bestehende Simulationen besser an die realen Bedingungen angepasst werden. Auf der anderen Seite können Systeme, welche die vorgeschriebene Leistung nicht erbringen, erkannt werden. Sollten die Werte der geloggtten Daten zu stark von der Simulation abweichen, muss das System auf Fehler überprüft werden. Zusätzlich kann fehlerhaftes oder von der Norm abweichendes Verhalten des Systems auf einen Ausfall vorzeitig hinweisen und die Wartung kann entsprechend angepasst werden. Damit können teure Ausfälle wichtiger Systemkomponenten vermieden werden.

Ein Interface zwischen Simulationssoftware und Wärmepumpencontroller erweitert BIM um eine Einsicht in den Kreislauf eines Gebäudes. Nicht nur sind Fehleinstellungen oder Leistungseinbussen des Systems zu erkennen, es lassen sich auch Informationen bezüglich der Verbrauchskurven der Bewohner erschliessen, welche für einen effizienteren Betrieb oder Eigenverbrauch genutzt werden können.

2.2 Neue Anwendungsfelder von Polysun

Bisher wurde Polysun bevorzugt in den frühen Planungsphasen eines Projektes genutzt [7]. Die folgenden Abschnitte sollen zusätzliche Gebiete aufzeigen, in welchen Polysun zur Anwendung kommen kann.

2.2.1 Use Case 1: Neubau

Das Planungsbüro ist von Beginn weg an der Gestaltung der Gebäudetechnik beteiligt und erarbeitet die Kennzahlen bezüglich Kosten und Energieeffizienz. Es übernimmt die Verantwortung gegenüber dem Kunden, dass die installierte Gebäudetechnik die simulierten Werte auch erreicht und einhält. Einer der Gründe, weshalb es dazu kommen kann, dass die Werte in der Umsetzung nicht erreicht werden, ist die fehlende Kommunikation zwischen Planer und Installateur spezielle im Bereich der Reglerlogik. Während in anderen Bereichen verbindliche Planungsvorgaben dokumentiert werden, sind die Anforderungen an die Regelung oft unvollständig, was zu fehlerhaften Einstellung bei den Parametern der installierten Gebäudetechnik führen kann. Mit der Einführung einer Schnittstelle zwischen der Planer Software und dem eingebauten Controller der Wärmepumpe, kann diese Problematik umgangen werden.

Die Inbetriebnahme mit den bestmöglichen Einstellungen der Wärmepumpe kann somit von dem Planungsbüro garantiert werden, da die verwendeten Parameter durch den Planer direkt an den Controller übergeben werden und, im Idealfall, im laufenden Betrieb überwacht werden können.

Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der nachträglichen Einflussnahme durch den Planer. Entspricht die Performance der Anlage nicht den erwarteten Werten, können die Einstellungen schnell und problemlos geändert werden, ohne dass Personal vor Ort benötigt wird, was die Kosten stark reduziert und die Reaktionszeit verkürzt.

Zusätzlich könnten die Daten aus dem Logger des Controllers analysiert werden, um die Effizienz des Systems zusätzlich zu verbessern. Dies könnte als Dienstleistung an Kunden angeboten werden oder eine Analyse des Systems wird auf Anfrage hin erstellt. Die Daten, welche hierdurch zurück an den Planer fließen, können auch zur Verbesserung und Validierung der simulierten Werte genutzt werden. Die Verknüpfungen zwischen Kunde, Planer (Polysun) und dem Wärmepumpencontroller sind in Abbildung 1 dargestellt.

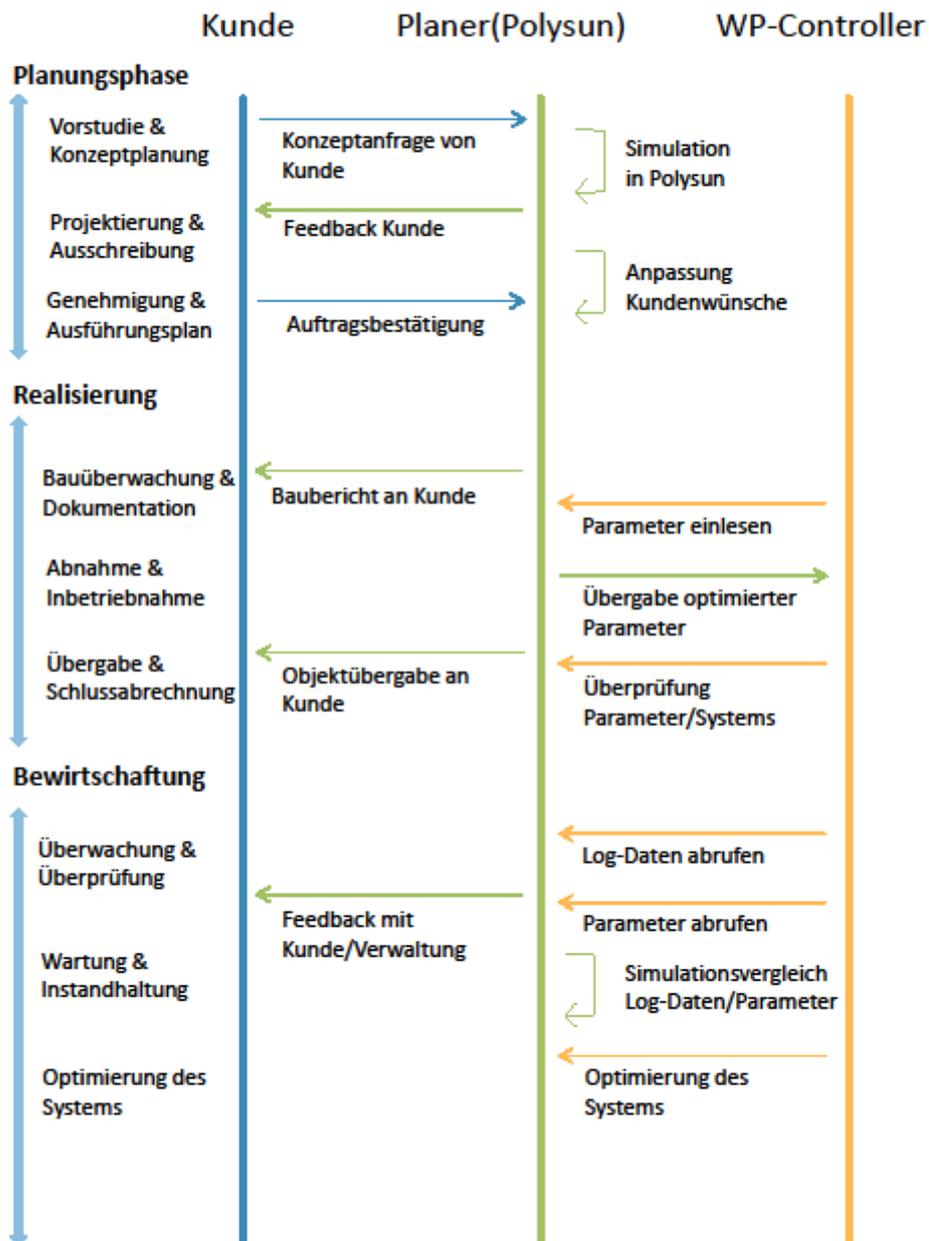


Figure 1: UML Darstellung der Interaktionen zwischen Kunde, Planer(Polysun) und dem Wärmepumpencontroller

2.2.2 Use Case 2: Analyse bestehender Anlagen

Die Schnittstelle bietet auch Möglichkeiten für die Optimierung bestehenden Anlagen, welche nicht fehlerfrei funktionieren oder schlechte Kennzahlen aufweisen. Das Planungsunternehmen kann in diesem Fall zur Analyse hinzugezogen werden. Der Controller kann über die Simulationssoftware angesteuert werden. Voraussetzung hierfür ist ein Wärmepumpencontroller, welche über die Schnittstelle angesteuert werden kann. Mittels eines einfachen Befehls können die Werte der Parameter des Controllers abgefragt werden und auf nicht korrekte Einstellungen geprüft werden.

Auch fehlerfrei laufende Anlagen haben ein Potenzial zur Verbesserung der Effizienz. Eine Analyse könnte hier auf Anforderung eines Kunden erfolgen, oder aber das Planungsbüro geht selbst auf Kunden zu, bei welchen sie eine mögliche Verbesserung der Kennzahlen erwarten kann. Falls der Kunde bereit ist, eine grobe Aufstellung der verwendeten Gebäudetechnik und Energiekosten zu liefern, könnte eine erste Abschätzung über ein Einsparpotenzial erstellt werden. Wird ein Potenzial erkannt, kann eine genauere Analyse erstellt werden.

Hier würde Polysun also nicht in der ersten Phase der Planung Eingang finden, sondern erst später in der Bewirtschaftung.

2.2.3 Use Case 3: Monitoring gesetzlicher Grenzwerte

Bei diesem Fall geht es nicht mehr primär um die Verbesserung der Effizienz eines Systems. Es geht auch um die Überprüfung, ob gewisse vorgegebene Werte, eingehalten werden. Bei nachträglichen Veränderungen am Bau oder bei einem veränderten Nutzerverhalten werden die Vorgaben laufend überprüft und gegebenenfalls Massnahmen zur Behebung von Mängeln eingeleitet.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich Vorschriften und Richtlinien bezüglich der Energieeffizienz von Gebäuden, allem voran grosse Geschäftsbetriebe/Bürogebäude, weiterhin verschärfen werden. Um die Einhaltung dieser strengen Richtwerte zu gewährleisten, muss eine Form der Kontrolle geschaffen werden. Diese könnte in Form des Monitoring der Log-Daten, welche der in der Wärmepumpe eingebaute Controller erfasst, erreicht werden. Ein grosser Vorteil ist dabei, dass zur Datenbeschaffung keine zusätzlichen Geräte angeschafft werden müssen. Die Simulationssoftware kann für die Bereitstellung und Auswertung der Daten eingesetzt werden. Fehlende Datenpunkte können mit Simulation ergänzt werden.

Mit dem Volkentscheid vom 21.05.2017, für ein JA zum Energiegesetz, bekommt dieser Use Case zusätzliche Bedeutung. Artikel 55 des Energiegesetzes bezieht sich auf das Monitoring der Fortschritte der Energiestrategie.

Art. 55

Monitoring

1

Das BFE untersucht regelmässig, wie weit die Massnahmen dieses Gesetzes zur Erreichung der Richtwerte nach den Artikeln 2 und 3 beigetragen haben, und erstellt in Zusammenarbeit mit dem Staatssekretariat für Wirtschaft und weiteren Bundesstellen ein detailliertes Monitoring. [8]

Die Artikel 2 und 3 beziehen sich zwar nicht explizit auf die Gebäudetechnik, aber wohl auf den Jährlichen Energieverbrauch einer Person. Die hierfür benötigten Sanierungen im Bereich der Isolation und Effizienz der Gebäudeversorgung ist nicht von der Hand zu weisen und jene Einsparungen müssen gemäss Artikel 55 überwacht und dokumentiert werden.

3 Parameter und Polysun Simulationen

3.1 Bewertung und Erklärung der Parameter

Die Anzahl der möglichen anzusteuern Parameter des Wärmepumpencontrollers belaufen sich auf über 130. Je nach Art und Auslegung des Parameters ist das Gegenstück in der Simulationssoftware bereits vorhanden oder es muss aus einzelnen Größen erstellt werden, oder aber eine völlig neue Implementierung ist nötig. Da der zeitliche Aufwand für die Einbindung aller Parameter zu gross wäre, werden die bedeutendsten Parameter mit Hilfe eines Bewertungssystems herauskristallisiert.

3.1.1 Bewertungskriterien

Folgende Kriterien werden für die Bewertung verwendet und mittels eines Faktors gewichtet.

Energieeffizienz (Faktor 6) E

Dieses Kriterium beschreibt die Auswirkung des Parameters auf die Effizienz des Gesamtsystems. Dies kann eine Verbesserung des Verhältnisses von benötigter elektrischer Energie zu bereitgestellter Wärmeenergie sein, aber auch eine Verminderung der benötigten Energie im Ganzen. Dies kann zum Beispiel die Absenkung der allgemeinen Raumtemperatur von 20°C Grad auf 19°C Grad oder die Verbesserung der Ein- und Ausschaltkriterien der verschiedenen Pumpen sein.

Betriebssicherheit (Faktor 2) B

In dieses Kriterium fallen alle Parameter, welche Einfluss auf die Sicherheit und den einwandfreien Ablauf des Systems gewährleisten. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Einfrierschutz der Erdwärmesonde, bei welcher die Leistung der Wärmepumpe zuerst reduziert und anschliessend ganz eingestellt wird, um eine Beschädigung des Heizerzeugungskreislaufes zu verhindern.

Komfort (Faktor 2) K

Das dritte Kriterium beinhaltet jene Parameter, welche für die Einhaltung des Komforts der Bewohner zuständig ist. Typische Einstellungen wären hier Temperaturen der Wohnräume, aber auch Mindesttemperaturen des Brauchwarmwassers und die zeitliche Verfügbarkeit dieser Temperaturen.

3.1.2 Bewertungstabelle

Die folgenden Tabellen beinhalten die ausgewählten Parameter und deren Bewertungskriterien. Anschliessend, folgen einige Erklärungen, weshalb die Parameter diese Wertung erhalten haben und eine kurze Beschreibung der Funktion.

Parameter der Grundeinstellungen	E	B	K	Total
Sprache / Standort / Zeitzone	<i>n.a</i>	<i>n.a</i>	<i>n.a</i>	<i>n.a</i>
Umschalten Kühlbetrieb (GK 004)	<i>n.a</i>	<i>n.a</i>	<i>n.a</i>	<i>n.a</i>
EWS Einfrierschutz (GK 007)	1	4	1	16
EWS Übertemperatur (GK 008)	1	4	1	16
Speicherhysterese (GK 013)	3	2	2	26

Tabelle 1: Bewertungstabelle für die Parameter der Grundeinstellungen. E = Energieeffizienz, B = Betriebssicherheit, K = Komfort

Die Auswahl der **Sprache** und gleichzeitig auch des **Standortes**, ist nicht nur wegen der Verständlichkeit wichtig, sondern auch bezüglich der **Zeitzone** und den damit verbundenen Parametern, welche zeitliche Betriebszustände regeln und auch wegen Definitionen wie Komma oder Punkt Gebrauchs bei Dezimalstellen, welche von Land zu Land unterschiedlich sein können. Das Umschalten zwischen verschiedenen **Kühlbetrieben** ist interessant bei der Einsparung von Energie und zur Regenerierung einer Erdsonde.

Der **EWS Einfrierschutz** und die **EWS Übertemperatur** schützen die Erdwärmesonde und auch das Erdreich vor zu tiefen oder zu hohen Rücklauftemperaturen. Zu tiefe Rücklauftemperaturen im Winter können zu Vereisungen führen, wobei im Sommer die Regeneration mittels Solarthermie über einen Wärmetaucher mit der Sondenflüssigkeit einen nicht zu hohen Wert erreichen sollte. Werden die Werte für einen gewissen Zeitraum (Stunden bis Tage) unterschritten bzw. überschritten wird die Wärmepumpenleistung reduziert oder ganz gesperrt.

Die **Speicherhysterese** bestimmt zusammen mit dem Speichersollwert den Zeitpunkt, ab wann eine Beladung des Speichers gestartet oder wieder gestoppt wird. Der Speichersollwert ist nicht als Parameter gelistet, da dieser im Wärmepumpencontroller durch die Kombination von zwei anderen Parametern bestimmt wird; der grössere Wert der beiden Parameter max. Temp. Heizkreis 1 und max. Temp. Heizkreis 2, zusätzlich der Speichersollwert-Überhöhung, ergibt den eigentlichen Speichersollwert.

Parameter der Wärmepumpe	E	B	K	Total
Minimale Stillstandzeit Verdichter (WP 003)	3	2	1	24
Minimale Laufzeit Verdichter (WP 004)	3	2	1	24

Tabelle 2: Bewertungstabelle für die Parameter der Wärmepumpe. E = Energieeffizienz, B = Betriebssicherheit, K = Komfort

Die beiden Parameter **minimale Stillstandzeit Verdichter** und **minimale Laufzeit Verdichter** gewährleisten, dass der Verdichter nicht übermäßig oft zwischen Betrieb und nicht Betrieb hin und her wechselt und dass eine gewisse Laufzeit genutzt wird, nachdem der Verdichter angefordert wurde.

Parameter des Heizkreises	E	B	K	Total
Heizkurve Steilheit (HK 113)	4	2	3	34
Heizkurve Verschiebung (HK 114)	2	1	4	22
Komfortsoll (HK 110)	3	1	4	28
Reduziersoll (HK 111)	3	1	4	28
Zeiten des Reduzierbetriebs (HK 102-105)	3	1	4	28
Hysterese HK (HK 121)	2	2	1	18
Einschalt Integral (HK 122)	2	2	1	18
Ausschalt Integral (HK 123)	2	2	1	18
Heizgrenze (HK 115)	2	1	3	20

Tabelle 3: Bewertungstabelle für die Parameter des Heizkreislaufes. E = Energieeffizienz, B = Betriebssicherheit, K = Komfort

Der **Komfort- und Reduziersollwert** sind zeitliche Abgrenzungen, in welchen verschiedene Innenraumtemperaturen definiert sind. So kann zum Beispiel die Temperatur in der Nacht, während die Bewohner schlafen, ruhig um 1 oder 2 Grad tiefer liegen (**Reduziersoll**) um dann am Morgen wieder angehoben zu werden (**Komfortsoll**). Bei einer Absenkung der Raumtemperatur von einem Grad Celsius können circa 6% der Heizkosten eingespart werden [9]. Zudem sind dies einige der massgebenden Parameter, wenn es um den Komfort der Bewohner geht. Natürlich sollten auch die **Zeiten des Reduziersollwertes** angepasst werden können.

Die **Heizkurve** regelt die Vorlauftemperatur des Heizungswassers, welches durch den Wärmetauscher (Bodenheizung oder Radiator) fließt, in Abhängigkeit zur Aussentemperatur. Sie wird anhand der gebäudespezifischen Daten wie Wärmedämmung, Leitungslänge und Wärmetauscherfläche berechnet, muss meist aber nach der Inbetriebnahme noch individuell angepasst werden. Die **Heizkurve** hat in der Bewertung die meisten Punkte erreicht, da eine optimale Auslegung nicht nur die Effizienz steigert, sondern auch den Komfort der Bewohner stark beeinflusst.

Mit der **Verschiebung der Heizkurve** kann die Temperatur in den Räumen angehoben oder abgesenkt werden. Diese wird benötigt, wenn das System korrekt auf die Änderung der Aussentemperatur reagiert, die Innentemperatur jedoch stetig zu hoch oder zu tief ist. Solange die Aussentemperatur den Wert der **Heizgrenze** nicht unterschreitet, wird keine Leistung für den Heizkreislauf freigegeben.

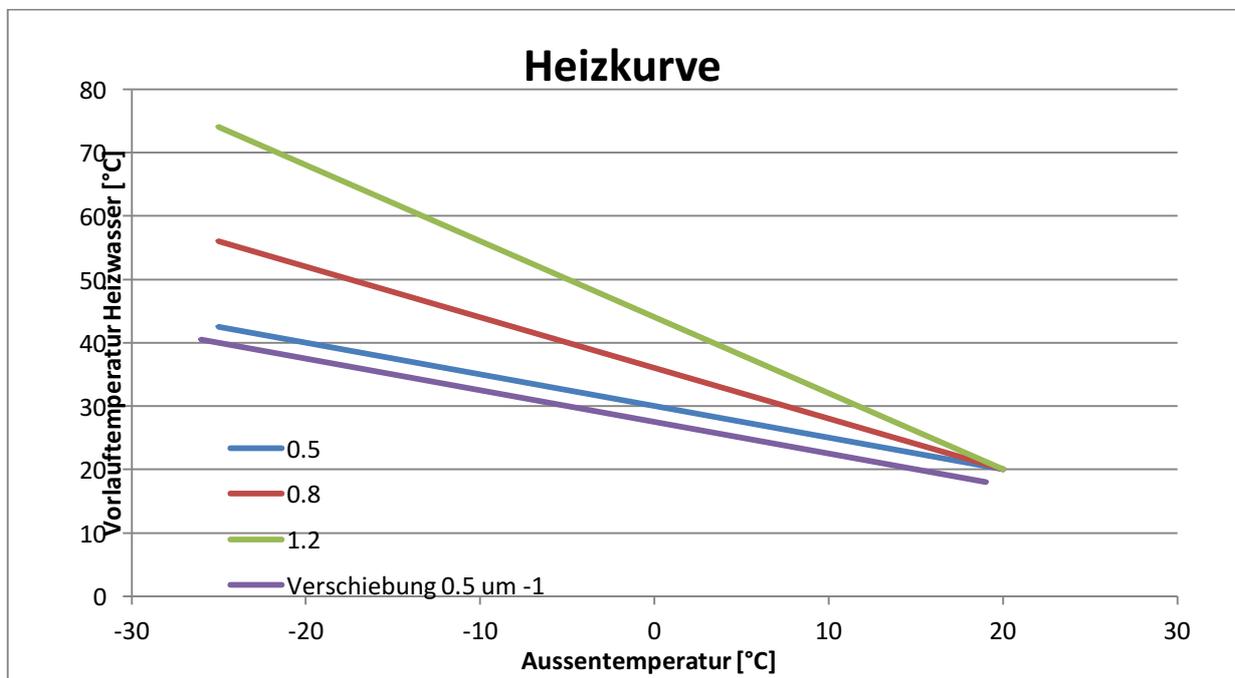


Figure 2: Zeigt das Verhältnis zwischen der Aussentemperatur und der Sollvorlauftemperatur. Die Steigung mit 0.5 als Wert könnte zum Beispiel für die Fussbodenheizung eines Neubaus (gut isoliert) stehen. Je schlechter die Isolation ist, desto steiler verläuft die Kurve. Bei einer Verschiebung der Heizkurve werden die Linien nach oben oder unten verschoben, ohne eine Anpassung der Steigung, in diesem Beispiel ist es eine Verschiebung von -2.

Die **Hysterese** des Heizkreislaufes bezieht sich auf die Ist-Vorlauftemperatur und soll zusammen mit dem **Einschaltintegral** und dem **Ausschaltintegral** eine zu hohe Kadenz der Wärmepumpe für Ein- und Ausschaltverhalten verhindern. Wie in Abbildung 3 ersichtlich, verzögern diese Parameter den Betriebswechsel des Verdichters, bis das Integral vollständig gefüllt ist. Ein zu häufiges Ein- und Ausschalten ist nicht nur unwirtschaftlich, sondern auch schlecht für die Lebensdauer der Komponenten der Wärmepumpe. Diese Parameter werden bei einem System ohne Pufferspeicher für den Heizkreislauf benötigt.

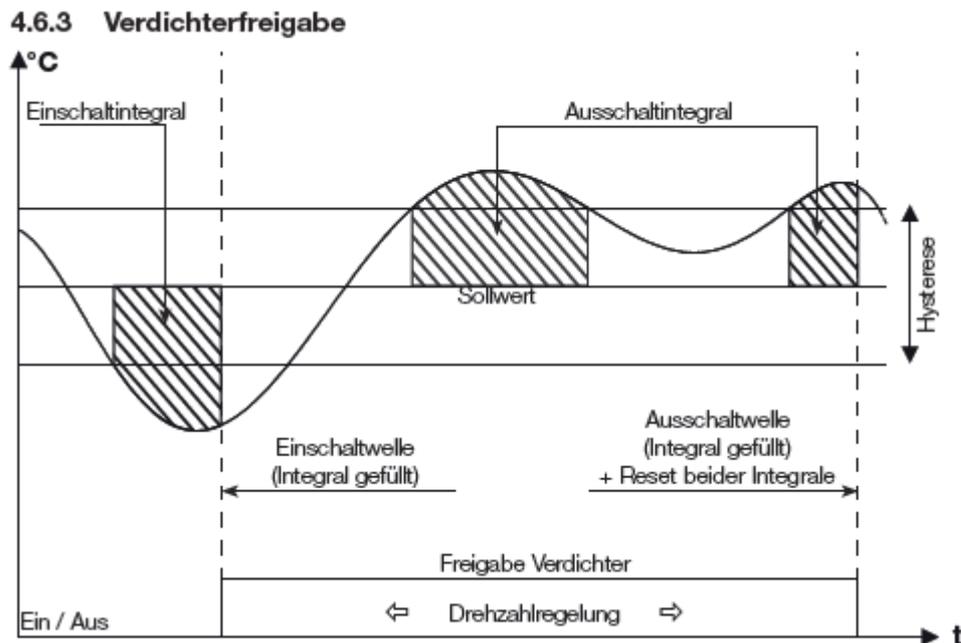


Figure 3: Beispiel der Verdichter Freigabe/Stop durch die zeitliche Füllung der definierten Integrale. [10]

Parameter des Trinkwarmwasser	E	B	K	Total
Zeiten des Reduzierbetriebs (TW 102-105)	3	1	4	28
Nennsollwert TWW (TW 110)	3	1	4	28
Reduzierter Wert TWW (TW 111)	3	1	3	26
Hysterese TWW (112)	3	2	3	28
Legionellen Programm (TW113-117)	1	1	5	18

Tabelle 4: Bewertungstabelle für die Parameter des Trinkwarmwassers. E = Energieeffizienz, B = Betriebssicherheit, K = Komfort

Der **Nennsollwert** und **reduzierte Wert** sind zeitliche Abgrenzungen, in welchen verschiedene Temperaturen für das Trinkwarmwasser definiert sind. So kann zum Beispiel die Temperatur nach dem morgendlichen Duschgang etwas tiefer gehalten werden (**reduzierter Wert TWW**), um dann in der Nacht wieder vollgeladen zu werden, damit der Komfort am Morgen gewährleistet ist (**Nennsollwert TWW**). Zudem ist dies eine der massgebenden Parameter, wenn es um den Komfort der Bewohner geht.

Natürlich sollten auch die **Zeiten des Reduzierbetriebs** angepasst werden können. Durch die **Hysterese TWW** und den **Nennsollwert/reduzierter Wert** wird das Ein- und Ausschaltkriterium für eine Trinkwarmwasserbeladung definiert.

Das **Legionellenprogramm** wird benutzt um den Trinkwarmwasserspeicher vor Legionellen Befall zu schützen und wird in der Regel einmal in der Woche aktiviert. Es beinhaltet folgenden 4 Parameter; Legionellentemperatur, welches die zu erreichende Temperatur im Speicher festlegt, Die Aktivierung, welche auf Ja oder Nein steht und dann noch den Tag und die Uhrzeit der Aktivierung.

Parameter des Kühlkreislaufs	E	B	K	Total
Raumsollwert KK1 (KK 110)	2	1	4	22
Zeiten des Kühlbetriebes (KK 102 – KK 105)	3	1	4	28
Tageskühlgrenze (KK 117)	2	1	3	20

Tabelle 5: Bewertungstabelle für die Parameter des Kühlkreislaufes. E = Energieeffizienz, B = Betriebssicherheit, K = Komfort

Der **Raumsollwert KK1** definiert die angestrebte maximale Temperatur in den Innenräumen. Sobald die **Kühlgrenze** überschritten wird, schaltet sich die Wärmepumpe im Kühlmodus ein und bleibt in Betrieb, bis sie den **Raumsollwert** erreicht hat.

Parameter des Solarkreislaufes	E	B	K	Total
Schaltdifferenz Q5/Q8 ein (SO 121)	3	2	1	24
Schaltdifferenz Q5/Q8 aus (SO 122)	3	2	1	24
Minimale Laufzeit (SO 123)	3	2	1	24
Minimale Stillstandszeit (SO 124)	3	2	1	24

Tabelle 6: Bewertungstabelle für die Parameter des Solarkreislaufes. E = Energieeffizienz, B = Betriebssicherheit, K = Komfort

Mittels den Parametern **Schaltdifferenz Q5/Q8 ein** und **Schaltdifferenz Q5/Q8 aus** wird festgelegt, ab wann die Pumpe für den Solarkreislauf angeschaltet wird. Die Differenz bezieht sich auf die Temperatur bei Austritt des Solarkollektors und die Temperatur im Solarspeicher. Sobald eine gewisse Differenz überschritten wird (z. B. 5 Kelvin), wird die Wärmeübertragung auf den Speicher gestartet, und sobald die Differenz zu gering wird (z.B. 2 Kelvin), wird der Betrieb wieder eingestellt.

Die beiden Parameter **minimale Laufzeit** und **minimale Stillstandszeit** gewährleisten, dass der Verdichter nicht übermässig oft zwischen Betrieb und nicht Betrieb hin und her wechselt und dass eine gewisse Laufzeit genutzt wird, nachdem der Verdichter angefordert wurde.

3.2 Polysun Anbindung der Parameter

Damit die in Kapitel 3.1 ausgewählten Parameter angesteuert werden können, muss ein genaues Gegenstück in der Simulationssoftware vorhanden sein. Zu diesem Zweck wurden 4 Systeme erstellt, welche die jeweiligen Parameter in ihrer Simulation nutzen. So kann der optimale Wert der Parameter bestimmt werden, um diese anschliessend dem Controller zu übergeben. Eine Tabelle mit dem Abgleich der Parameter zu den Polysunkomponenten ist im Anhang A 3 enthalten.

3.2.1 Grundeinstellungen und Heizkreislauf

Das folgende System wurde absichtlich simpel gehalten, da es die Parameter der Grundeinstellungen und des normalen Heizkreislaufes abbilden soll. Das in Abbildung 4 ersichtliche System arbeitet mit einer Sole/Wasser Wärmepumpe. Diese wird sowohl zur Trinkwarmwasseraufbereitung als auch für die Speisung der Bodenheizung genutzt wird.

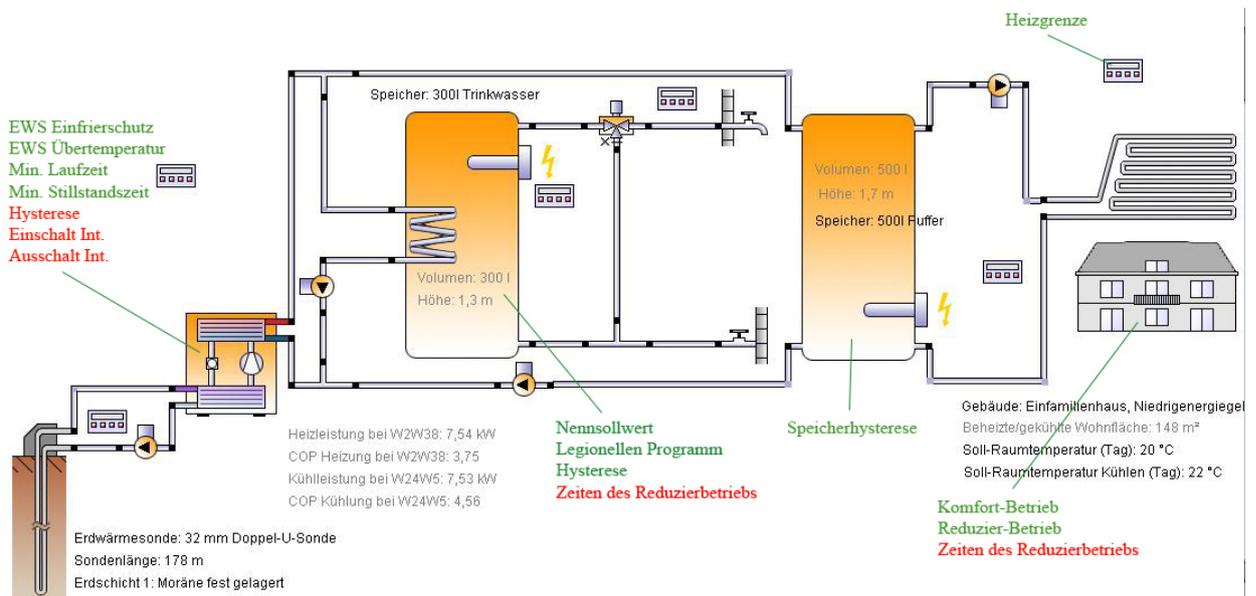


Figure 4: Grafische Darstellung des Simulationsaufbau für die Einbindung der Parameter der Grundeinstellungen und Heizkreises. Die grünen Parameter sind jene welche in der Arbeit umgesetzt werden konnten, jene in rot müssten noch eingebunden oder programmiert werden.

Die grünen Parameter sind diejenigen, welche in der Arbeit umgesetzt werden konnten und direkt an den Wärmepumpencontroller übergeben werden können. Die roten Parameter konnten aus Zeitgründen oder weil eine Umsetzung in der Form einer programmierbaren Steuerung nur wenig Sinn macht, nicht umgesetzt werden.

Zum Beispiel können die Parameter Komfort-Betrieb und Reduzier-Betrieb des Controllers mit den Werten von Solltemperatur Tag und Solltemperatur Nacht in Polysun verknüpft werden. Nun sind die Zeiten von Tag und Nacht in der Simulationssoftware fest definiert und können nicht so einfach geändert werden. Die Einbindung dieser Parameter über eine programmierbare Steuerung ist zwar möglich aber die für die Übergabe an den Controller benötigten Werte (ganze Zahlen) können nicht direkt übergeben werden. Eine Anpassung der Simulationssoftware selbst, in welcher der Benutzer die Zeiten selbst bestimmen kann, erscheint sinnvoller, ist zurzeit aber von Seiten der Kunden nach Angaben von Vela Solaris kein nachgefragtes Feature.

Die Einbindung der Hysterese mit einem Ein- und Ausschaltintegral wurde nicht umgesetzt, da das verwendete Beispiel mittels Zwischenspeicher operiert. Das Integral käme bei einem System ohne Speicher und einer Inverter Wärmepumpe zum Einsatz. Die Umsetzung dieses Systems wurde aus zeitlichen Gründen verworfen.

3.2.2 Solarkreislauf mit Erdreichregeneration

Damit die ausgewählten Parameter des Solarkreislaufes übertragen werden können, braucht es ein System (siehe Abbildung 5), welches eine Regeneration der Sonde simulieren kann. Hierbei konnte auf die Standardvorlage aus Polysun eines „2SOL-Systems“ zurückgegriffen werden. Die meisten in Abschnitt 3.2.1 aufgezeigten Parameter können auch in diesem Projekt übergeben werden.

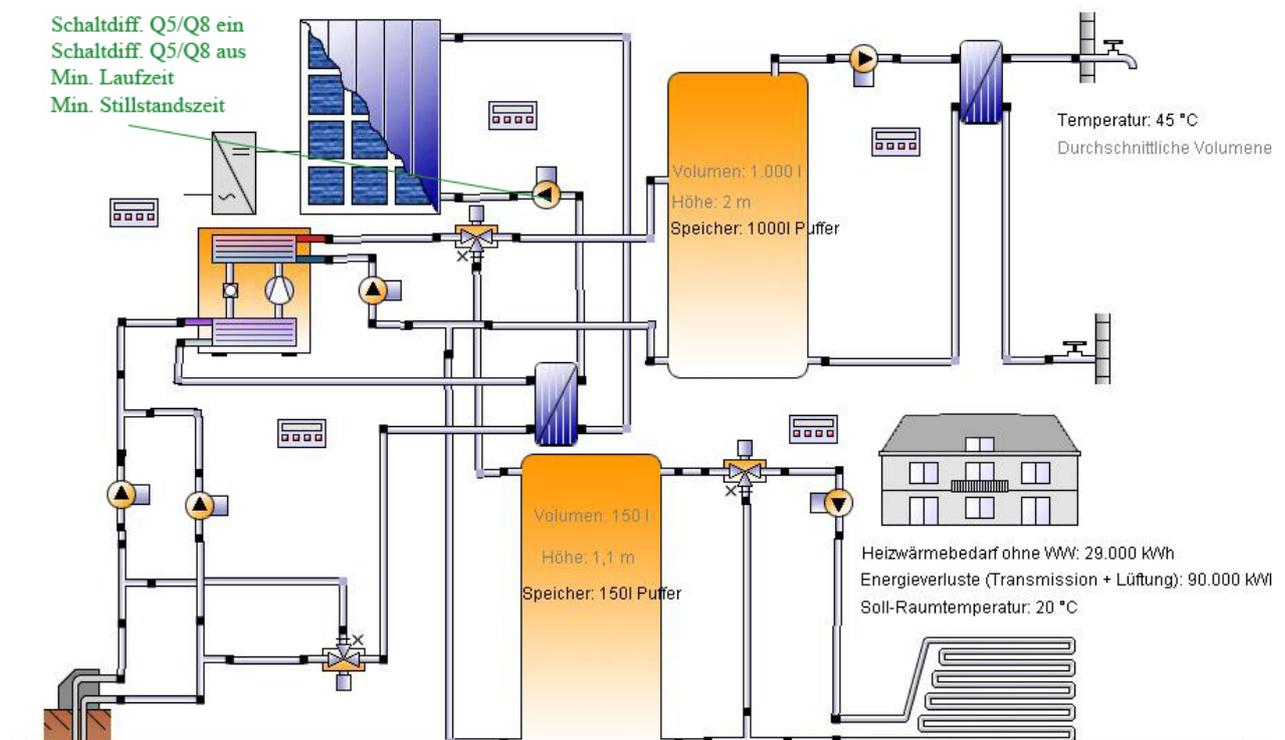


Figure 5: Grafische Darstellung des Simulationsaufbaus des 2SOL-Systems. Grün gezeichnet sind die Parameter, welche im System genutzt und an den Controller übergeben werden können.

2SOL ist ein bekannter Begriff in der Gebäudetechnik und beschreibt die Auslegung eines Gesamtsystems, welches die von Aussen zugeführte Energie möglichst gering hält [11]. Das System verwendet eine Wärmepumpe zur Trinkwarmwasseraufbereitung und zur Speisung des Heizkreises. Zusätzlich werden Hybridkollektoren verwendet, welche sowohl Strom produzieren, als auch Wärme, welche mittels eines Wärmetauschers für die Regeneration des Erdreiches genutzt werden kann.

Die minimale Stillstandszeit der Solarpumpe ist bei Systemen, welche die Wärmenergie der Solarkollektoren ebenfalls für die Heiz- und Trinkwarmwasseraufbereitung nutzen möchten sehr wichtig. Ohne einen Unterbruch des Betriebes wird immer nur die Erdsonde angefahren, da diese mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen bedient werden kann. So kann die benötigte Temperatur für eine Beladung des Heiz- oder Trinkwarmwasserspeicher am Kollektorausgang nie erreicht werden.

3.2.3 Integration der Heizkurve

Die Integration der Heizkurve hat sich als eher schwierig gestaltet, da diese schon in den Berechnungen der Simulationssoftware verwendet wird, aber als Wert nicht ersichtlich ist. Da es sich aber um einen extrem wichtigen Parameter in der Gebäudetechnik handelt, wird hier der Vorschlag gemacht diesen Wert, so wie die Verschiebung der Heizkurve, für den Benutzer zugänglich zu machen, anstatt, dass die Umsetzung in einer programmierbaren Steuerung erzielt wird. Mit der Verwendung eines Gradstundenmodells, kann die Anpassung der Soll-Vorlauf-Temperatur sichtbar gemacht werden, (siehe Abbildung 6) aus welcher sich die Heizkurve erschliessen lässt.

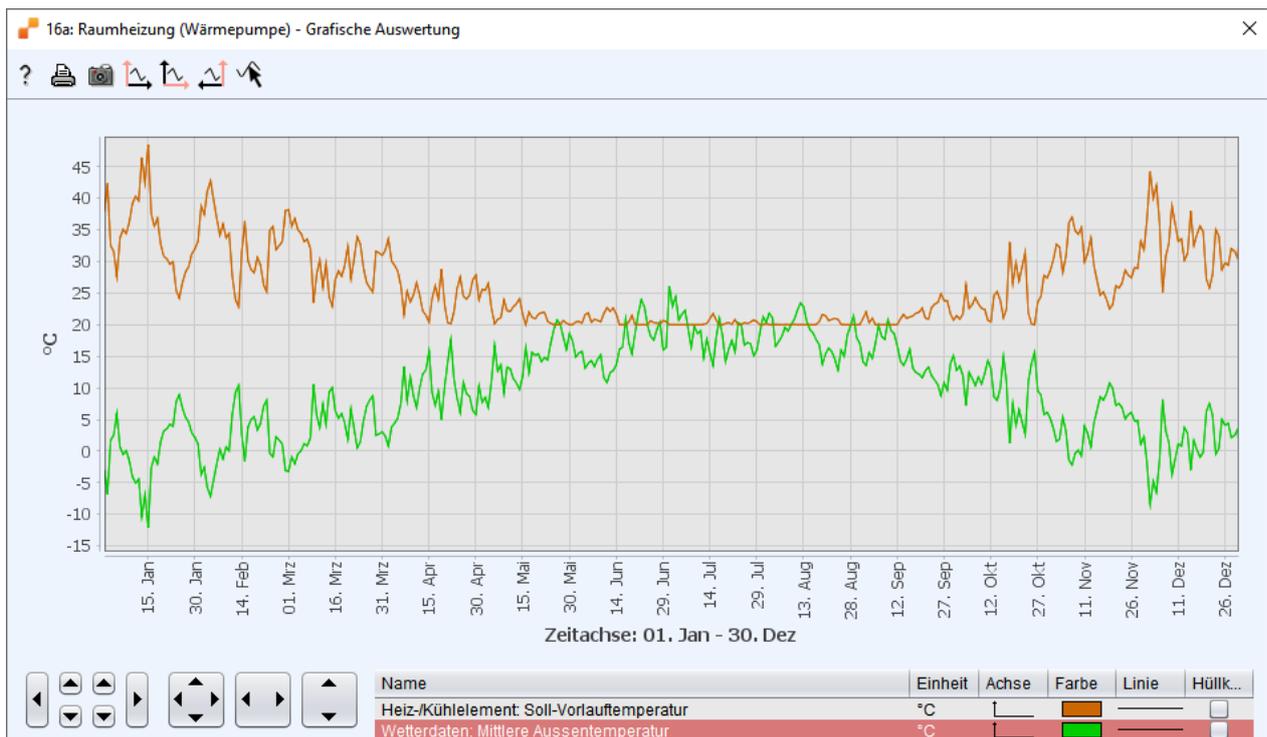


Figure 6: Zeigt den Verlauf der Soll-Vorlauftemperatur für eine Bodenheizung Verhältniss zu der Aussentemperatur.

Es würde Sinn machen, dass die Heizkurve aus den ausgewählten Spezifikationen des Benutzers wie; Gebäudedimensionen, Dämmung, Auslegung der Wärmetauscher (Bodenheizung oder Radiator), Rohrleitungsverlusten und Wetterdaten des gewählten Standortes hervorgeht. Der so erhaltene Wert kann dann als Parameterwert an den Controller des Heizkreises des realen Systems übergeben werden. Zusätzlich könnten die Smart Grid Ready Funktionen wie die Anhebung der Heizkurve bei einem Überschuss an elektrischer Energie leichter simuliert werden (siehe Kapitel 5.4.1).

3.2.4 Freecooling/Kühlkreislauf

Der Controller von BS2 verfügt auch über einen Freecooling Modus. Hierbei kann das Gebäude im Sommer gekühlt werden. Wie in Abbildung 7 ersichtlich, kann ein Kreislauf zwischen der Bodenheizung und Erdsonde, mit einem Wärmetauscher zwischengeschaltet, erstellt werden. Das Wasser, welches sich in den Heizungsrohren befindet und sich immer Sommer auf Umgebungstemperatur erwärmt, kann mittels der Erdsondenflüssigkeit gekühlt werden. Die Zirkulation des gekühlten Wassers durch die Bodenheizung kühlt somit das Gebäude und zusätzlich kann die Erdsonde durch die abgezogene Wärme leicht regeneriert werden. Es muss nur die Energie für den Betrieb der Pumpen aufgewendet werden.

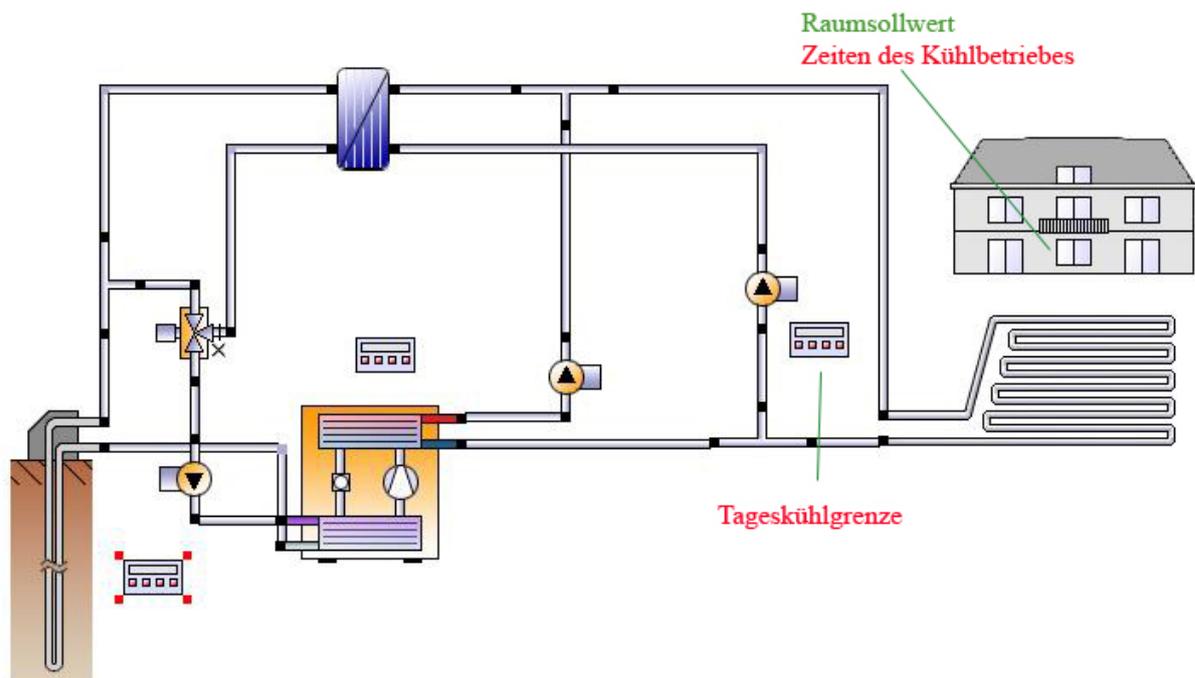


Figure 7 Grafische Darstellung des Systems für „Freecooling“. Grün sind die Werte welche übergeben werden konnten, jene in rot müssten noch eingebunden oder programmiert werden.

Auch hier können die Zeiten des Kühlbetriebes nicht angepasst werden. Sollte dieses Feature in Zukunft eine Nachfrage der Benutzer sein, so kann eine Erweiterung dieser Funktion durch die Systementwickler erfolgen. Ebenso die Tageskühlgrenze, welches das Äquivalent zu der Heizgrenze darstellt. Da die Funktion der Heizgrenze in der Heiz-/Kühlsteuerung bereits vorhanden ist, sollte die Integration einer Kühlgrenze ebenfalls möglich sein.

3.3 Smart Grid Ready (SG-Ready)

Mit zunehmender Volatilität des Strommarktes wird SG-Ready-Hardware zusehends wichtiger, um auf den Lastfluss elektrischer Energien reagieren zu können. Der Controller der BS2 AG ist ein Gerät, welches SG-Ready kompatibel ist. In folgendem Abschnitt soll kurz auf die Funktionsweise von SG-Ready und ihrer Simulationsmöglichkeit in Polysun eingegangen werden.

3.3.1 Funktionsweise

Nicht nur die Einsparung von Energie ist eine grosse Thematik im Moment. Auch die Steigerung des Eigenverbrauchs ist ein Anliegen vieler Hausbesitzer, welche über ein System von Photovoltaik Anlage und elektrische Wärmeerzeuger verfügen. Sie möchten möglichst viel des eigen produzierten Stroms selber verbrauchen, anstatt diesen in das Versorgungsnetz einzuspeisen. Dies nicht nur bewegt durch finanzielle Anstösse, sondern auch durch die Überzeugung der Selbstversorgung und dezentralen Nutzung der Energie.

SG-Ready bezeichnet einen neuen Standard für Wärmepumpen des deutschen Bundesverbandes [12] und findet auch in der Schweiz Anwendung. Prinzipiell ist es eine Weiterführung des bereits vorhandenen EW-Sperrsignals, welches den Betrieb der Wärmepumpe für maximal 2 bis 4 Stunden pro Tag sperren kann [13]. Die SG-Ready Schnittstelle hat 2 Bit, womit 4 unterschiedliche Betriebszustände definiert werden können. Je nach Verfügbarkeit der elektrischen Energie, z. B. durch die PV-Anlage auf dem Dach, wird ein Betriebszustand geschaltet. Auch der Lastzustand des Versorgungsnetzes kann als Auslöser eintreten.

- **Betriebszustand 0 – Sperrung:**
Es erfolgt eine Sperrung des Betriebs der Wärmepumpe.
- **Betriebszustand 1 - Normalbetrieb:**
Die Wärmepumpe läuft im normalen Betrieb und nach den definierten Vorgaben durch die eingestellten Parameter.
- **Betriebszustand 2 - leichte Anhebung der Heizkurve:**
Die Messung der zur Verfügung stehenden elektrischen Energie misst einen Überschuss. Es erfolgt eine leichte Anhebung der Heizkurve oder der Pufferspeicher wird überhitzt.
- **Betriebszustand 3 – Starke Anhebung der Heizkurve:**
Die Messung der zur Verfügung stehenden elektrischen Energie misst einen grossen Überschuss. Es erfolgt eine starke Anhebung der Heizkurve oder der Pufferspeicher wird weiter überhitzt.

Die genaue Auslegung dieser 4 Betriebszustände ist in der Praxis noch sehr unterschiedlich. Es gibt bestehende Implementierungen in welcher die maximale Temperatur des Pufferspeichers, des Heizkreises sowie Brauchwarmwasser angehoben wird, um eine Überhitzung zu erreichen. Es gibt auch Auslegungen, bei welchen das gesamte Gebäude in die Berechnungen miteinbezogen und als zusätzlicher Wärmespeicher verwendet wird.

Hierbei wird aber immer der Komfort des Hausbewohners mit einbezogen. Durch die Zuschaltung eines Temperaturfühlers in den beheizten Räumen wird die Ist-Temperatur gemessen. Angenommen Betriebszustand 0 ist gesetzt, aber die Temperatur in den Räumen fällt unter einen gewissen Wert, wird der Zustand überschrieben und die Pumpe wird auf Betriebszustand 1 gesetzt. Das Gleiche gilt, falls die Temperatur in den Räumen zu warm wird. Der Komfort ist gewährleistet, wie in Abbildung 8 ersichtlich ist.

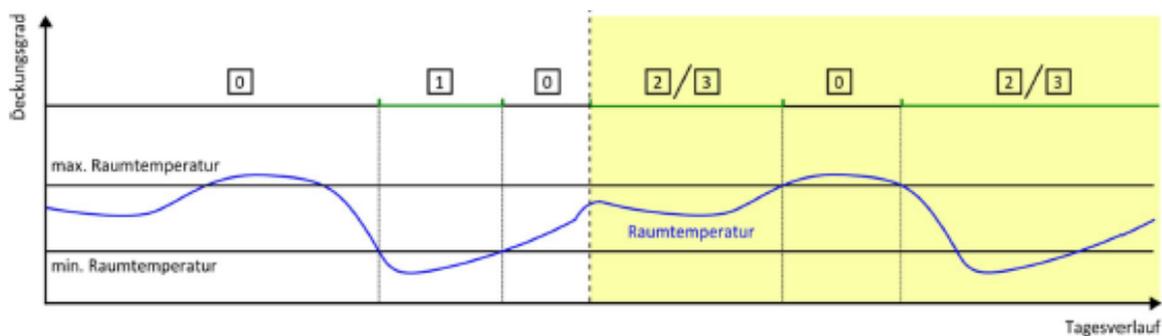


Figure 8: Zeigt den Verlauf der Betriebszustände während eines Tages. Schlägt die Temperaturlinie über die definierten Grenzen aus, wird der Zustand entsprechend gewechselt, auch wenn die Verfügbarkeit der elektrischen Energie einer anderen Zustand bevorzugen würde (gelbe Zone).

Mit der einer stetigen Entwicklung hinzu variablen Strompreisen und einer Liberalisierung des Strommarktes, hält die SG-Ready Funktion sehr interessante Anwendungen bereit. So kann z. B. ein Überschuss an elektrischer Leistung im Versorgungsnetz genutzt werden, um den Betrieb der Gebäudetechnik variabel anzupassen, anstatt an fixen Zeiten festzuhalten. Der Strommarkt wird zusehends volatil mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien. Die Anpassung der Technik an diese Herausforderung hilft nicht nur der Stabilität des Netzes, sondern kann auch dem Kunden die Nutzung von günstigem Strom ermöglichen, falls der Markt liberalisiert wird.

3.3.2 Smart Grid Ready in Polysun

Folgendes Beispiel zeigt, wie die SG-Ready-Funktion in Polysun abgebildet werden kann. Das System, welches in Abbildung 9 ersichtlich ist, hat eine Photovoltaikanlage auf dem Dach und der produzierte Strom soll entweder ins Netz gespeist oder selbst verbraucht werden. Es wird ein Speicher für Warmwasser und Heizkreislauf verwendet. Bei einem Überschuss an Leistung wird also der Speicher überhitzt.

Dem System ist ein Verbraucherprofil zugeschaltet, welches den Stromverbrauch über das ganze Jahr hinaus simuliert. Die produzierte elektrische Leistung der PV-Anlage wird mittels Wetterdaten simuliert. Mit Hilfe einer programmierbaren Steuerung können die einzelnen SG-Ready-Zustände eingestellt werden.

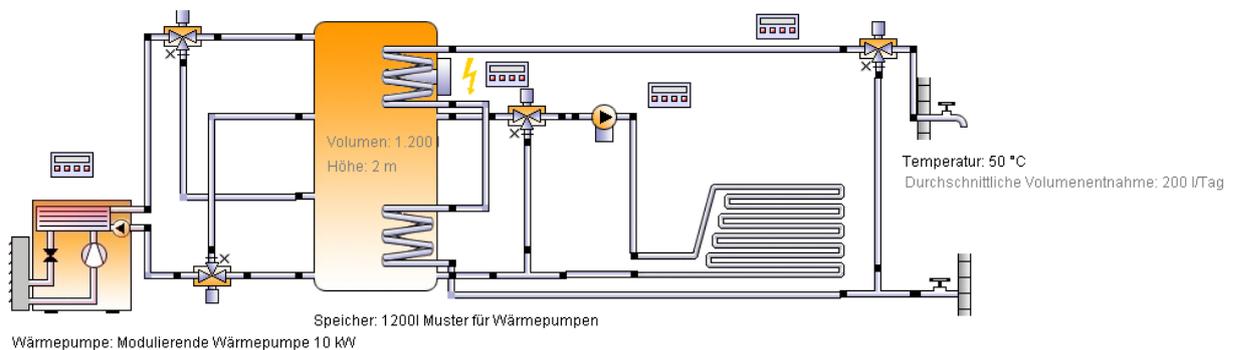


Figure 9: Grafische Darstellung einer einfachen Systemauslegung, welche mittels einer programmierbaren Steuerung die SG-Ready Funktion nachbilden kann

In der Steuerung dieses Beispiels sind 3 der 4 Zustände von SCR abgebildet. Die Änderung der Zustände bezieht sich auf die Differenz zwischen der momentan verbrauchten Energie des Haushaltes und der Leistung, welche die PV-Anlage generiert. Überschreitet die generierte elektrische Leistung, abzüglich der benötigten Leistung des Haushaltes, eine gewisse Grösse, so wird eine Betriebszustandsänderung ausgelöst.

Folgendes sind die Zustände welche geschaltet werden können:

Betriebszustand 0: Sperr

Die Wärmepumpe ist im Sperrmodus und kann nicht angefahren werden. Dies kann durch die Einstellungen in den Freigabezeiten des Controllers umgesetzt werden.

Betriebszustand 1: Normalbetrieb

Die Inbetriebnahme der Wärmepumpe erfolgt nach den vorgegebenen Parametern und Einstellungen. In folgendem Beispiel beginnt eine Beladung, falls sich die Speicherschicht 11 unterhalb von 50°C (Trinkwarmwasser-Solltemperatur) fällt oder die Speicherschicht 8 fällt unterhalb die Soll-Vorlauftemperatur des Heizbedarfs. Die verschiedenen Speicherschichten beziehen sich auf die Höhe im Tank. Je höher sich eine Schicht befindet, desto wärmer ist sie. Die Trinkwarmwasserbeladung wird beim Erreichen der Speicherschicht 11 von 55°C wieder abgebrochen und die Heizbeladung ebenfalls bei einer Überschreitung der benötigten Soll-vorlauf-Temperatur von 5°C.

Betriebszustand 2: Speicherüberladung

Dieser Betriebszustand wird eingeleitet, falls die generierte elektrische Leistung der PV-Anlage auf dem Dach, abzüglich der benötigten Leistung des Haushaltes, höher als bei 2500 Watt liegt und der Speicher unterhalb der vorgegebenen Maximaltemperatur (55°C) liegt. Sind diese beiden Bedingungen erfüllt, wird der Speicher bis auf eine Temperatur von 60°C überladen um den Eigenverbrauch zu steigern. Werden die 60°C im Speicher erreicht oder fällt die überschüssige Leistung unterhalb von 1500 Watt, wird der Betrieb wieder eingestellt.

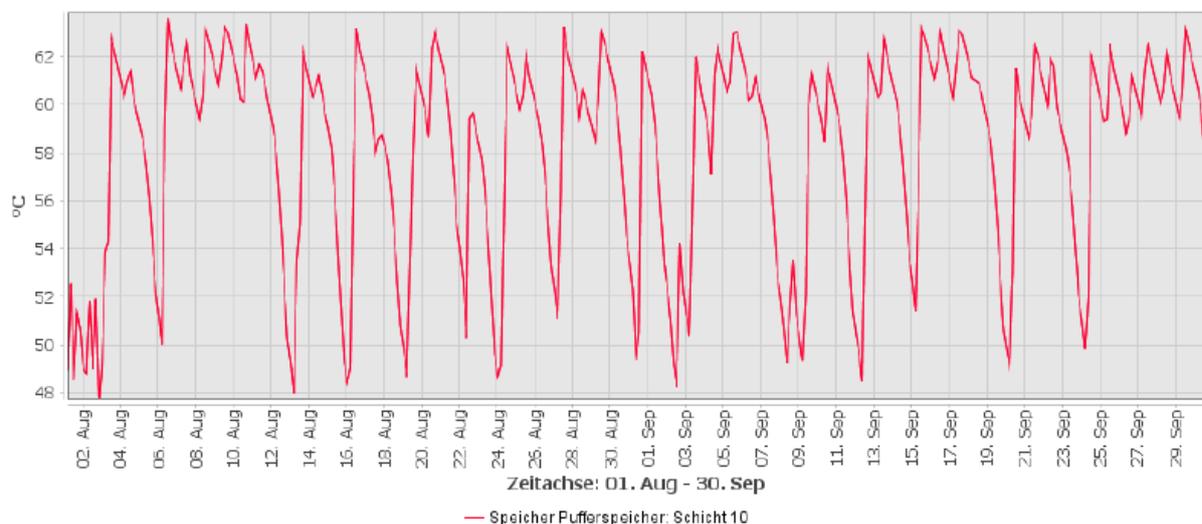


Figure 10: Zeigt den Temperaturverlauf des Speichers in den Monaten August und September. Gut ersichtlich ist wie die Überladung der Speicher oft angesteuert wird.

In Abbildung 10 ist zu erkennen, wie der Speicher überladen wird, sollte genügend überschüssige Energie vorhanden sein. Anstatt die überschüssige Energie in das Versorgungsnetz einzuspeisen, wird der Speicher auf über 60°C überhitzt.

4 Umsetzung Schnittstelle in Polysun

Obwohl mancher in dieser Arbeit gesuchter Parameter in vordefinierten Steuerungen gefunden wurden, fiel die Entscheidung, dass die Übergabe von Werten nur für programmierbare Steuerung umgesetzt wird. Anfangs war der Gedanke, dass gefundene Übereinstimmungen zwischen Polysun und dem Wärmepumpencontroller fest miteinander verknüpft werden, dies kann jedoch zu Problemen führen. Zum einen werden die vordefinierten Steuerungen teilweise zweckentfremdet und für eine andere Regelung als vorgesehen benutzt (auch in den verfügbaren Vorlagen in Polysun). Der Abgleich einer solchen Steuerung würde also einen falschen Wert an den Wärmepumpencontroller übergeben.

Weiterhin wird dieses Feature voraussichtlich nur von einem kleinen Prozentsatz der Benutzer gebraucht werden, da es eine recht fortgeschrittene Anwendung ist. Der Konsens war schlussendlich, dass ein Benutzer welcher selbst keine programmierbaren Steuerungen verwendet dieses Feature höchstwahrscheinlich nicht benutzen wird.

4.1 Einbindung der externen Hardware

Damit die Parameter und Polysunkomponenten aufeinander abgeglichen werden können, muss zuerst einmal der Controller in die Software integriert werden. Hierfür wird eine neue Auswahl in der Registerkarte Extras erstellt, welche „Einbindung externer Hardware“ heisst ersichtlich in Abbildung 11. Hier kann der Benutzer einen oder mehrere Controller mit dem Polysun verbinden.

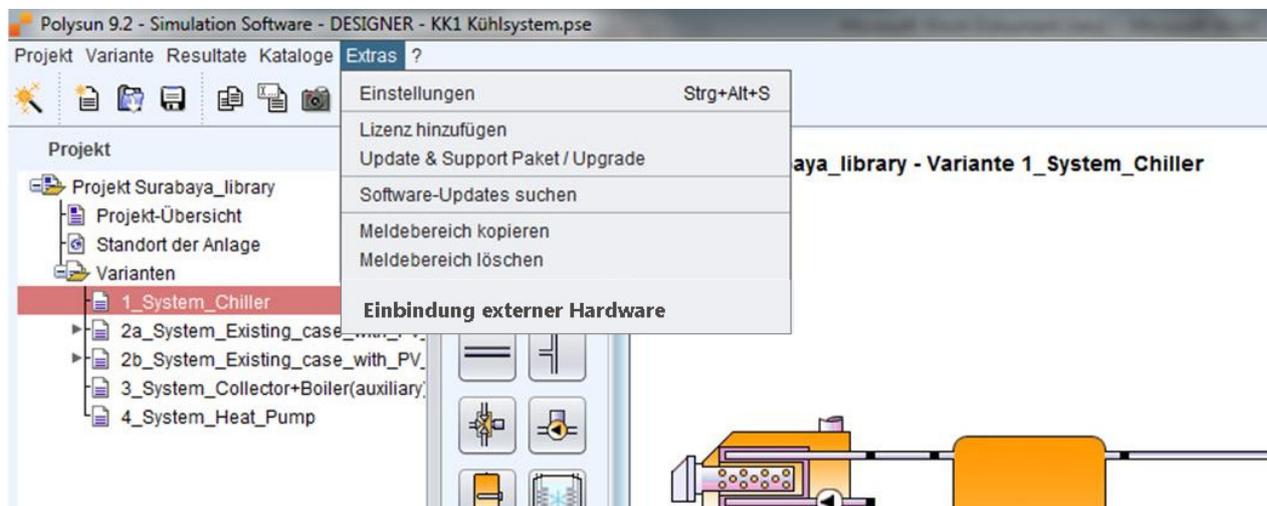


Figure 11: Mockup 1, Neue Auswahl in Extras

Die Auswahl „Einbindung externer Hardware“ öffnet das Fenster in Abbildung 12. Hier kann der Benutzer einen oder mehrere reale Controller einbinden. Dazu benötigt er die IP-Adresse des Controllers und das dazugehörige Passwort. Für die Auswahl des Typs kann der Benutzer aus einem Dropdown auswählen, zurzeit wäre das nur jener der BS2 AG. Durch die Zusammenarbeit mit anderen Wärmepumpenherstellern kann diese Liste erweitert werden. Es kann ein individueller Name für jeden Controller gewählt werden. Die Einstellungen des Landes sind wichtig bezüglich der Zeitzonen und den verwendeten Notationen wie Komma

oder Punkt bei den Dezimalstellen. Die Verbindung zwischen Simulationssoftware und Wärmepumpencontroller kann nach Belieben verbunden oder unterbrochen werden.

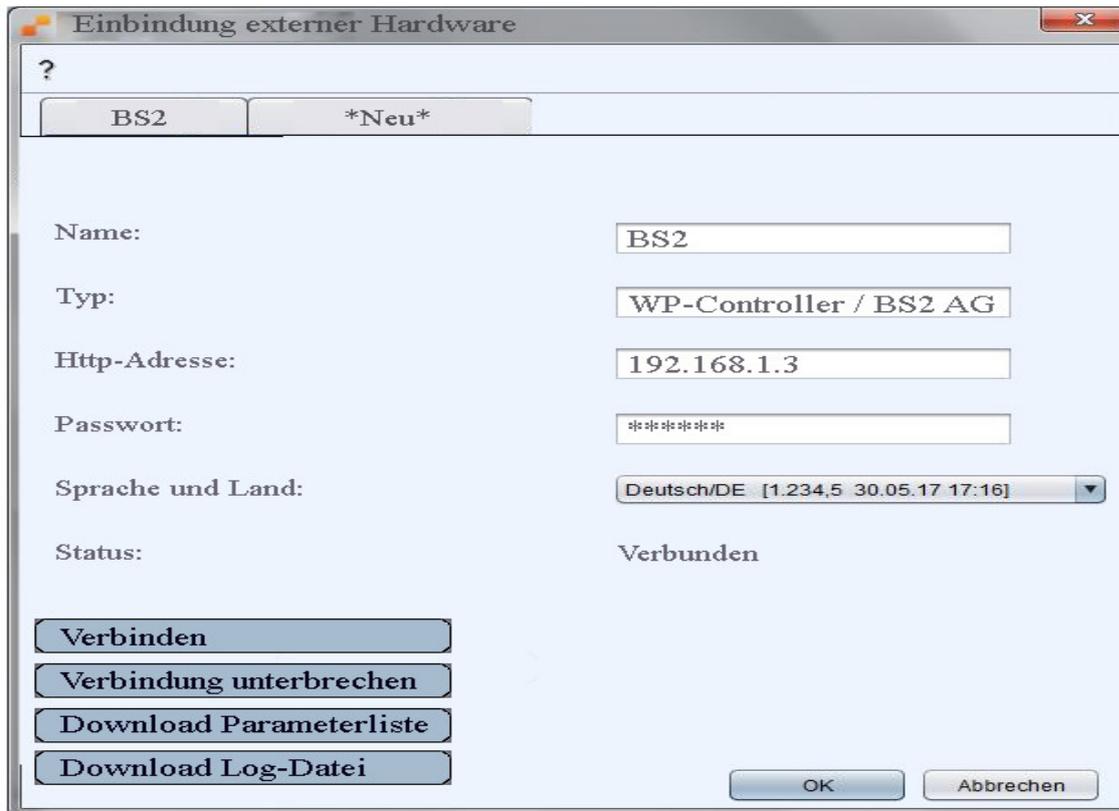


Figure 12: Mockup 2, Einbindung externer Hardware

Sobald eine Verbindung besteht, kann die Parameterliste und die Log-Datei bezogen werden. Die Parameterliste enthält alle einstellbaren Größen des Wärmepumpencontrollers. Diese werden nachher benötigt, um die Zuteilung mit den Komponenten zu erstellen. Die Log-Datei liefert hingegen eine Liste mit gemessenen Werten wie Temperaturverläufe, Wärmeströme, Volumenströme aber auch Ein- und Ausschaltverhalten des Verdichters und der Pumpen. Je nach Auslegung können Werte im Tagesintervall bis hin zu Minutentakt gemessen werden [14].

4.2 Zuteilung der Parameter

Abbildung 13 zeigt die Ansicht der programmierbaren Steuerung aus dem in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen System für die Grundeinstellungen und den Heizkreislauf. In der neuen Spalte „Zuteilung“ ist nun ersichtlich, welche Hilfsgrösse eine Zuteilung mit einem Parameter auf Seite des Wärmepumpencontrollers hat. Wie die Zuteilung erfolgt, wird im nächsten Abschnitt aufgezeigt. Die Zuteilung kann in dieser Ansicht nicht verändert werden, durch einen Doppelklick kann jedoch der gesamte Text einer Zuteilung sichtbar gemacht werden. Die Zuteilung erfolgt in einem neuen Fenster, welches mit einem Klick auf das Symbol neben dem Schlüssel geöffnet werden kann. Ist dem Projekt keine externe Hardware zugeteilt, ist das Symbol transparent und kann nicht angewählt werden.

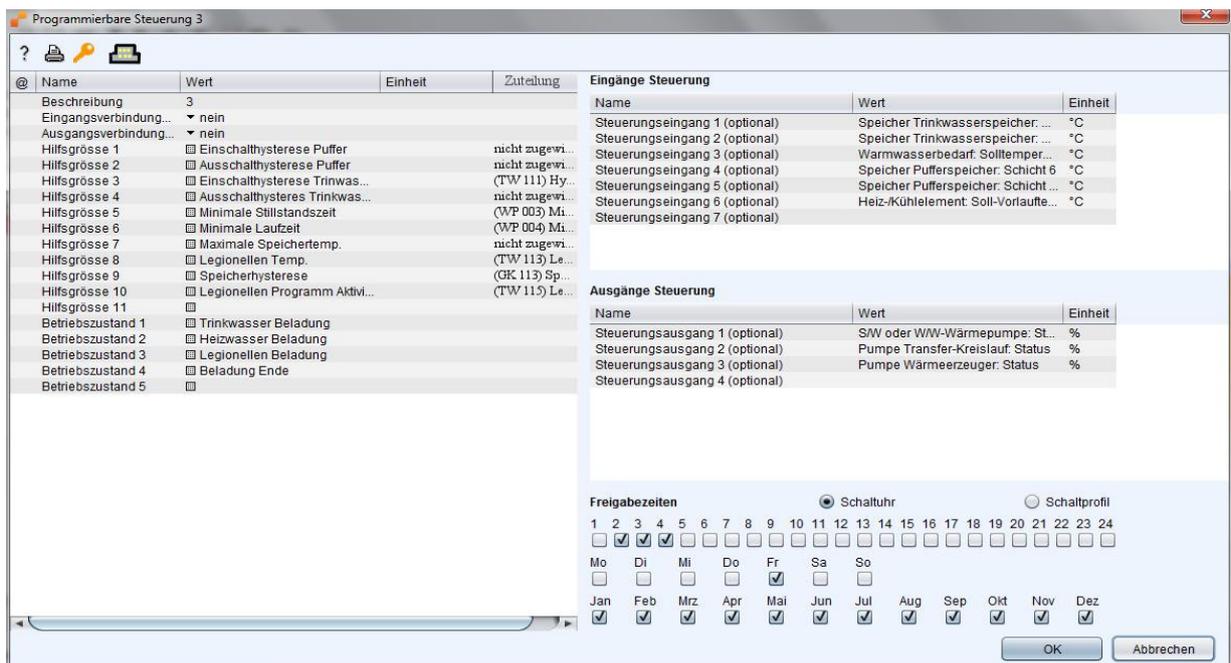


Figure 13: Mockup 3, programmierbare Steuerung

Durch den Klick auf das Controllersymbol wird das Fenster für die Zuteilung der Hilfsgrößen und Parameter geöffnet, dies ist in Abbildung 14 ersichtlich. Hier sind in der Spalte „Polysun Parameter“ alle Hilfsgrößen der programmierbaren Steuerung mit dem dazugehörigen Wert und Einheit gelistet. In der Spalte „Ex. Hardware“ kann nun einer der zugeteilten Controller angesteuert werden.

Nachdem der Controller aus dem Dropdownmenu ausgewählt wurde, wird eine weitere Dropdownliste mit allen Parametern des Controllers verfügbar. Hier muss der Benutzer nun selber entscheiden, welche Parameter miteinander verknüpft werden und übernimmt somit auch die Verantwortung. Um grobe Fehler zu vermeiden, wäre es sicher gut einen Wertebereich für die einzelnen Parameter zu definieren.

Polysun Parameter	Wert	Einheit	Ex. Hardware	Controller Parameter	Wert	Einheit	Werte Übertragen
Einschalthystere Pufferspeic...	3	°C	Keine Ausw...				
Ausschalthystere Puffersp...	3	°C	Keine Ausw...				
Einschalthystere Trinkwasser	5	°C	BS2	(TW 112) Hystere TWW	3	°C	Polysun
Ausschalthystere Trinwasser	3	°C	Keine Ausw...				
Minimale Stillstandszeit	500	s	BS2	(WP 003) Min. Stillst. VD	300	s	Controller
Minimale Laufzeit	300	s	BS2	(WP 004) Min. Laufz. VD	180	s	Controller
Maximale Speichertempera...	70	°C	Keine Ausw...				
Legionellen Temp.	60	°C	BS2	(TW 113) Legio-Temp.	60	°C	Kein Abgleich

Figure 14: Mockup 4, Parameterzuteilung programmierbare Steuerung

In der Spalte „Werte übertragen“ kann nun aus 3 Optionen ausgewählt werden. Wird „Polysun“ ausgewählt, wird der Wert, welcher in der Simulationssoftware benutzt wird, auf den Controller übertragen. Umgekehrt, wenn „Controller“ gewählt ist, wird der Wert in der Simulation an den des Controllers angepasst. Bleibt die Standardeinstellung „kein Abgleich“, wird keine Änderung vorgenommen. Die Komponenten bleiben aber miteinander verknüpft.

Schliesslich kann der Vorgang mit einem Klick auf „Werte übertragen“ ausgeführt werden und die einzelnen Werte werden angepasst und das Fenster wird aktualisiert.

4.3 Spezifikationen

Im folgenden Abschnitt wird näher auf die Funktionsweise der Mockups eingegangen und die Verlinkungen und Funktionen der einzelnen Felder werden aufgelistet.

4.3.1 Mockup 1: Einbindung externer Hardware (neue Auswahl in Extras)

Einbindung externer Hardware (Auswahl in Extras)

- Öffnet das neue Fenster „Einbindung externer Hardware“, siehe Mockup 2.

4.3.2 Mockup 2: Einbindung externer Hardware (neues Fenster)

„Neu“ (Reiter)

- Öffnet bei einem Klick eine neue Eingabemaske für das Hinzufügen eines weiteren Controllers.

„Name“ (Eingabefeld Benutzer)

- Speichert den Namen des Controllers.
- Überträgt den Namen auf den zugehörigen Reiter.
- Die Eingabe wird im Dropdown „Ex. Hardware (Mockup 3)“ zur Auswahl angezeigt.

„Typ“ (Dropdown Auswahl)

- Enthält eine Auswahl aller Controller für welche eine Kommunikation konfiguriert ist.

„Http-Adresse“ (Eingabefeld Benutzer)

- Speichert die Adresse des anzusteuern den Controllers.
- Liefert die Adresse für den Button „Verbinden“.

„Passwort“ (Eingabefeld Benutzer)

- Speichert das Passwort für den anzusteuern den Controller.
- Übergibt das Passwort an den Controller beim Vorgang „Verbinden“.

„Sprache und Land“ (Dropdown)

- Liefert eine Auswahl an Ländern.
- Definiert je nach Auswahl des Landes die Sprache und die Verwendung von Komma oder Punkt bei den Dezimalstellen.

„Status“ (Zustandsanzeige)

- Zeigt an ob eine Verbindung mit dem Controller besteht oder nicht.

„Verbinden“ (Button)

- Stellt die Verbindung mit der Adresse welche im Feld „http-Adresse“ gespeichert ist her.
- Übergibt das Passwort welches im Feld „Passwort“ gespeichert ist.
- Bei erfolgreicher Verbindung wechselt der „Status“ auf verbunden.

„Verbindung unterbrechen“ (Button)

- Bricht eine bestehende Verbindung zwischen Software und Controller ab.
- Wechselt den „Status“ bei Betätigung auf nicht verbunden.

„Download Parameterliste“ (Button)

- Status muss auf verbunden sein.
- Lädt die Parameterliste des Controller mit den zugehörigen Werten.
- Die einzelnen Parameter werden im Dropdown „Controller Parameter (Mockup 4)“ zur Auswahl angezeigt.

„Download Log-Datei“ (Button)

- Lädt das Excel File mit allen gemessenen Daten des Logger herunter und speichert diese in einem vordefinierten Pfad.

4.3.3 Mockup 3: Parameterzuteilung (Fensters: programmierbare Steuerung)

„Zuteilung“ (Spalte)

- Zeigt für jede erstellte Hilfsgrösse an ob ihr ein Parameter zugewiesen ist oder nicht.
- Der Eintrag kann per Doppelklick eingesehen werden, aber nicht verändert.

Parameterzuteilung (Button/Symbol)

- Öffnet das neu Fenster „Parameterzuteilung: programmierbare Steuerung“.

4.3.4 Mockup 4: Parameterzuteilung (neues Fenster)

„Polysun Parameter“ (Spalte)

- Enthält alle Hilfsgrössen welche in der programmierbaren Steuerung verwendet werden.

„Wert_1“ (Spalte)

- Zeigt den Wert für die in der Spalte „Polysun Parameter“ enthaltenen Hilfsgrössen an.

„Einheit_1“ (Spalte)

- Zeigt die Einheit für die in der Spalte „Polysun Parameter“ enthaltenen Hilfsgrössen an.

„Ex. Hardware“ (Dropdown)

- Stellt alle verfügbaren Controller zur Auswahl.
- Standardmässig ist die Auswahl auf: keine Auswahl.

„Controller Parameter“ (Dropdown)

- Stellt alle Parameter des im Dropdown „Ex. Hardware“ ausgewählten Controllers zur Auswahl.

„Wert_2“ (Spalte)

- Zeigt den Wert für die in der Spalte „Controller Parameter“ enthaltenen Parameter an.

„Einheit_2“ (Spalte)

- Zeigt die Einheit für die in der Spalte „Controller Parameter“ enthaltenen Parameter an.

„Werte übertragen“ (Dropdown)

- Dropdown mit 3 Auswahlen.
- Polysun: der Wert des Controller Parameter wird auf den von Polysun abgeglichen.
- Controller: der Wert von Polysun wird auf den des Controllers abgeglichen.
- Kein Abgleich: Die Werte bleiben unverändert.

„Werte übertragen“ (Button)

- Die Werte der Parameter und Hilfsgrössen werden je nach Auswahl des Dropdown „Werte Übertragen“ geändert.

4.4 Allgemeine Anregungen/Verbesserungsvorschläge zu Polysun

Dieser Abschnitt enthält Verbesserungen, Erweiterungsvorschläge, sowie Anpassungen und Korrekturen an Polysun, welche im Verlauf der Arbeit entstanden sind. Diese stammen auch aus Gesprächen mit den Industriepartnern und Betreuern dieser Arbeit. Manche Vorschläge wurden in der Arbeit bereits angeschnitten.

4.4.1 Fehleranalyse von Projekten

Im Laufe dieser Arbeit wurden viele programmierbare Steuerungen in Polysun verwendet. Diese funktionieren aber nicht immer wie gewollt, da dem Benutzer entweder in der Syntax oder Semantik Fehler unterlaufen können. Nun gibt es 3 Arten, wie der Grund für die fehlerhafte Implementierung gefunden werden kann.

1. Der Benutzer schaut sich den Quellcode, den er in die Steuerung geschrieben hat, noch einmal genau an. Er überprüft in auf Syntax und Semantik. Dies kann in manchen Fällen zum Erfolg führen, jedoch steht der Benutzer schnell an, falls er den Fehler nicht erkennen kann.
2. Der Benutzer kann sich in der grafischen Auswertung die zeitlichen Verläufe aller Größen seines Systems ersichtlich machen. Durch die Analyse der Verläufe der einzelnen Werte gelingt im eventuell die fehlerhafte Einstellung zu erkennen. Leider ist hier nicht ersichtlich, welcher Betriebszustand der Steuerung geschaltet ist.
3. Der Benutzer lässt die Simulationsanalyse für sein System laufen. Diese zeigt ihm Kenngrößen wie Temperaturen und Volumenströme an, aber vor allem auch, in welchem Betriebszustand sich das System befindet. Die Simulation läuft über das ganze Jahr. Mittels eines Schiebers kann der zeitliche Verlauf gesteuert werden. Die Sprünge können auf ein Minimum von 10 Sekunden eingestellt werden. Es ist hier schwer den richtigen Zeitpunkt zu finden, in welchem sich das System nicht wie gewollt verhält.

Eine Verbindung der Variante 2 und 3 wäre ideal um die Funktionsweise eines Systems genau zu betrachten. Die Simulationsanalyse wird um eine grafische Ansicht erweitert. In dieser kann der Benutzer erkennen bei welchem Zeitschritt sich das System nicht wie gewollt verhält. Die grafische Auswertung kann dann mittels der Zoomfunktion auf den gesuchten Bereich beschränkt werden. Gleichzeitig passt sich die Simulationsanalyse dem ausgewählten Zeitabschnitt der grafischen Auswertung an. Somit kann der Benutzer z. B. einen Ausreißer einer Temperatur in der grafischen Auswertung vergrößern und genau betrachten, siehe Abbildung 15.

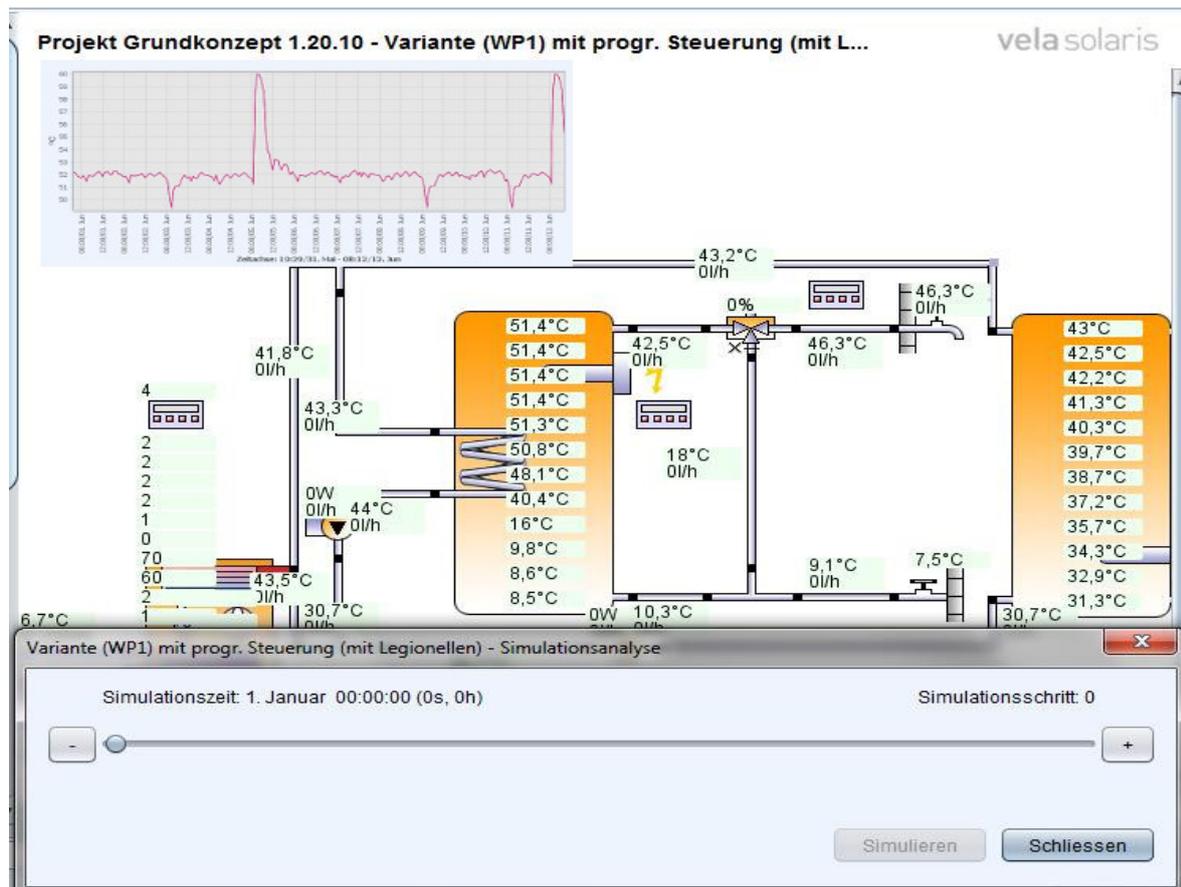


Figure 15: Darstellung der Verbindung zwischen der grafischen Darstellung und der Simulationsanalyse.

Gleichzeitig befindet sich die Simulationsanalyse schon in dem von ihm ausgewählten Zeitintervall. Die beiden Funktionen ergänzen sich optimal, da man eigentlich in der Simulationsanalyse immer den richtigen Zeitpunkt finden muss, während man in der grafischen Ansicht nicht weiss, welcher Betriebszustand geschaltet ist.

4.4.2 Steuerungsbericht/Übersicht

Oft möchte man als Benutzer ein individuelles System simulieren, welches genau auf die Bedürfnisse des Kunden angepasst ist. Nun ist Gestaltung eines Systems von Grund auf eine langwierige und für viele Benutzer nicht ganz so einfache Aufgabe. Deshalb hält Polysun viele Varianten als Vorlagen für seine Benutzer bereit. Manche dieser Varianten sind jedoch sehr komplex in ihrem Aufbau, unter anderem auch da sie mehrere programmierbare Steuerungen enthalten. Um die Funktionsweise des Systems zu verstehen, muss der Benutzer sich durch alle Steuerungen klicken und sich die verwendeten Eingänge, Hilfsgrößen, Zwischenergebnisse und Betriebszustände einzeln betrachten. Dies ist sehr zeitaufwendig und mühsam für den Benutzer.

Eine zusätzliche Problematik bei einer komplexen Auslegung eines Systems in Polysun ist, die Umsetzung in der Praxis. Es ist für den Planer manchmal schwer zu wissen, ob der Installateur auch in der Lage ist die Regeltechnik, wie sie in der Simulation definiert ist, umzusetzen. Hierbei können Missverständnisse entstehen in Bezug auf die Umsetzung des Systems. Auch können legale Streitigkeiten zwischen Planer und Installateur entstehen, sollte die installierte Gebäudetechnik nicht wie geplant funktionieren.

Die oben erwähnten Probleme können mittels einer neuen Form von Bericht gelöst/vereinfacht werden. Die Idee ist es, einen interaktiven Bericht zu generieren, welcher alle Steuerungen eines Projektes aufzeigt. Jede Steuerung hat weitere Unterregister. Die Unterregister sind in Eingangsgrößen, Hilfsgrößen, Zwischenergebnisse, Betriebszustände und Ausgangsgrößen unterteilt. In Abbildung 16 ist eine mögliche Auslegung eines solchen Berichtes ersichtlich. Als Anschauungsbeispiel ist die programmierbare Steuerung 3, welche in dem Polysunprojekt in Abschnitt 3.2.1 die Regelung der Wärmepumpe übernimmt.

Bericht Steuerungsübersicht

Programmierbare Steuerung 3

- **Steuerungs-Eingänge**
 - I1 = Speicher Trinkwasserspeicher: Schicht 6 [°C]
 - I2 = Speicher Trinkwasserspeicher: Schicht 8[°C]
 - I3 = Warmwasserbedarf: Solltemperatur [°C]
 - I4 = Speicher Pufferspeicher: Schicht 6 [°C]
 - I5 = Speicher Pufferspeicher: Schicht 10 [°C]
 - I6 = Heiz/Kühlelement: Soll-Vorlauftemperatur [°C]

- **Hilfsgrößen**
 - H1 = Einschalthystere Puffer: 2 [°C]
 - H2 = Ausschalthystere Puffer: 2 [°C]
 - H3 = Einschalthystere Trinkwasser: 5 [C]
 - H4 = Ausschalthystere Trinkwasser: 5 [°C]
 - H5 = Minimale Stillstandzeit: 300 [s]
 - Ausschaltverzögerung: $PO1=1 \text{ AND } (I2 \geq I3+H4 \text{ OR } I5 \geq I6+H2 \text{ OR } I2 > 60)$
 - H6 = Minimale Laufzeit: 500 [s]
 - Ausschaltverzögerung: $PO1=0 \text{ AND } (I1 \leq I3-H3 \text{ OR } I4 \leq I6-H1) \text{ AND } H5=0$

- **Betriebszustände**
 - S1 = Trinkwasser Beladung:
 - Eintrittsbedingung: $I1 \leq I3-H3 \text{ AND } H5=0$
 - Steuerungsausgang 1 = 1
 - Steuerungsausgang 3 = 1
 - S2 = Heizwasserbeladung:
 - Eintrittsbedingung: $I4 \leq I6-H1 \text{ AND } H5=0$
 - Steuerungsausgang 1 = 1
 - Steuerungsausgang 3 = 1

- **Steuerungs-Ausgänge**
 - O1 = S/W oder W/W-Wärmepumpe: Status
 - O2= Pumpe-Transfer-Kreislauf: Status
 - O3 = Pumpe Wärmeerzeuger: Status

Figure 16:Mögliche Auslegung eines neuen Berichtes für Polysun. Der Bericht zeigt alle verwendeten Steuerungen eines Projektes. Den einzelnen Steuerungen sind ihre Eingänge, Hilfsgrößen, Betriebszustände und Ausgänge zugeteilt. Mit einem Klick können für diese deren Grössen und Formeln ersichtlich gemacht werden.

4.4.3 Zusätzliche Werte in Polysun Komponenten

Heizkurve

Die Steigung der Heizkurve und ihre Verschiebung sollte für den Benutzer anpassbar sein. Es würde Sinn machen, dass die Heizkurve aus den ausgewählten Spezifikationen des Benutzers wie: Gebäudedimensionen, Dämmung, Auslegung der Wärmetauscher (Bodenheizung oder Radiator), Rohrleitungsverlusten, Wetterdaten des gewählten Standortes usw. hervorgeht. Dieser Parameter könnte in der Komponente Gebäude integriert werden, da sein Wert zu einem grossen Anteil von den Spezifikationen des Gebäudes abhängig ist.

Tageskühlgrenze

Die Tageskühlgrenze sollte in die Steuerung des Heiz-/Kühlkreislaufes eingefügt werden. Sie funktioniert ähnlich wie die Heizgrenze, erst wenn dieser Wert überschritten wird, beginnt die aktive Kühlung des Gebäudes, bis die Sollraumtemperatur (kühlen) erreicht wird.

Minimale Stillstand-und Laufzeiten bei Pumpen

Gleich wie bei der Wärmeerzeugersteuerung, welche über minimale Stillstand-und Laufzeiten verfügt, sollte dies bei der Steuerung der Pumpen ebenfalls eingebaut werden. Zum einen kann somit das Simulationsergebnis verbessert werden, da moderne Wärmepumpencontroller über diese Parameter verfügen. Zum anderen kann die Regeneration einer Erdsonde mittels Solarkollektoren besser abgebildet werden. Dies ist vor allem bei einem System wichtig, welches die Wärmeenergie des Kollektorfeldes auch zur Trinkwarmwasser-und Heizkreisspeisung verwenden möchte. Die Temperatur des Wassers am Kollektorausgang kann ohne Stillstandzeit niemals auf einen genug hohen Wert kommen, um für die Erwärmung des Pufferspeichers eingesetzt zu werden. Es wird immer vorher zur Erwärmung des Erdreiches benutzt, da die hierfür benötigte Temperatur viel tiefer liegt.

5 Diskussion und Ausblick

5.1 Schnittstelle zwischen Polysun und Wärmepumpencontroller

Die Zuteilung zwischen den Komponenten in Polysun und jenen des Controllers erwies sich als komplizierter als Anfangs gedacht. Sobald die Definitionen der einzelnen Werte auch nur gering variieren, kann der Abgleich nicht vollzogen werden. Z. B. verwendet der Wärmepumpencontroller eine einzelne Hysterese für den Pufferspeicher. Das Ein- und Ausschalten Verhalten wird hier also von einem einzelnen Wert bestimmt. In Polysun hingegen gibt es einen Wert für die Einschalthysterese und einen für die Ausschalthysterese. Einen Übertrag dieser Werte ist also alleine durch die Nutzung von den vordefinierten Steuerungen in Polysun nicht möglich. Hinzukommt, dass die vordefinierten Steuerungen in Polysun teilweise zweckentfremdet werden, und für die Regelung von Kreisläufen benutzt werden, für welche sie nicht konzipiert wurden. Hätte eine solche Steuerung eine vordefinierte Zuteilung zu den Parametern des Controllers, würde ein falscher Wert übergeben werden.

Die Möglichkeit der Ansteuerung einer externen Hardware wird also nur in der programmierbaren Steuerung umgesetzt. Damit wird nur noch ein kleiner Teil der Benutzer angesprochen, circa 5%. Das ist der ungefähre Prozentsatz, welcher selbst programmierbare Steuerungen konfiguriert [15]. Es ist jedoch anzunehmen, dass die restlichen 95 Prozent dieses Feature wahrscheinlich eher nicht benutzen werden. Ein Interview mit einem erfahrenen Kunden der Software konnte aus terminlichen Gründen leider nicht stattfinden, um die Sichtweise eines erfahrenen Benutzers miteinzubeziehen.

Die Schnittstelle bietet jedoch nicht nur Chancen für eine genauere Simulation, sondern könnte den Benutzer eine neue Form des Kundenservice eröffnen. Die Ausarbeitung von genauen Spezifikationen für die Umsetzung liegt nun bei den Industriepartnern. Dieser Bericht legt den ersten Grundstein für eine mögliche Umsetzung und den benötigten Funktionen aus Sicht eines Benutzers.

5.2 Monitoring mittels Wärmepumpencontroller

Wie in Abschnitt 2.2.3:Use Case 3 bereits angeschnitten, bietet das Monitoring des Systems durch den Wärmepumpencontroller einige interessante Anwendungsmöglichkeiten. Artikel 3. des neuen Energiegesetzes sieht eine Verringerung des Energieverbrauches einer Person um 43% vor [8]. Ein gewisser Prozentsatz hiervon fällt sicherlich auf die benötigte Leistung im Haushalt zur Heiz- und Warmwasserdeckung. Laut Artikel 55. wird ein detailliertes Monitoring der eingesetzten Massnahmen verlangt. Der Logger des Wärmepumpencontrollers ist in der Lage Messdaten bis hin zum Minutentakt zu erfassen und könnte genutzt werden um den Energieverbrauch eines Systems und somit auch dessen Effizienz zu ermitteln.

Die Effizienzsteigerung in Betrieben und Unternehmen ist ebenfalls ein Ziel der neuen Strategie. Hier kann die Auswertung der Log-Daten als Bescheinigung der Einhaltung der Richtlinien dienen. Werden die Anforderungen nicht erfüllt, kann die Auswertung bei der Verbesserung der Gebäudetechnik helfen. Da der Logger bereits in dem Wärmepumpencontroller integriert ist, muss kein zusätzliches Messgerät installiert werden.

Die erfassten Daten des Loggers können in Polysun oder einer anderen Datenbank gespeichert werden, um anschliessend analysiert zu werden. Eine Möglichkeit wäre das grafische Einlesen der erfassten Daten in Polysun. Diese können somit direkt mit den simulierten Werten des Systems, oder auch mit Erfahrungswerten verglichen werden, um Unstimmigkeiten zu erkennen.

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

- [1] A. Milelli, 2012. [Online]. Available: <http://www.fws.ch/news/items/waermepumpe-worauf-es-ankommt.html>.
- [2] SIA Zürich, „SIA Norm 112 Modell - Bauplanung,“ 2014.
- [3] SIA, „SIA Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein,“ [Online]. Available: <http://www.sia.ch/de/der-sia/kommissionen-fachraete/zn/2051/>.
- [4] SIA, *Ein neues Berufsfeld - Fachkoordination mit Building Information Modeling (BIM)*.
- [5] R. Schütz, „BIM ist in der Schweiz angekommen,“ <http://robertschuetz.ch/>, 2017.
- [6] buildup AG, „buildup,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.buildup.ch/static/info/swissbimlibrary>.
- [7] Vela Solaris AG, „vela solaris Software for Renewable Energy Solutions,“ [Online]. Available: <http://www.velasolaris.com/>.
- [8] Bundesamt für Energie, *Energiegesetz (EnG)*, Schweizerisches Bundesamt, 2017.
- [9] S. Dipl.-Ing Runkel, *Energie Sparen*, Compact Verlag.
- [10] CTA AG, *Bedienungsanleitung für Fachkräfte: Optipus 3 Wärmepumpenregler*, 2017.
- [11] 2 SOL, „2 SOL versorgt Gebäude emissionsfrei mit Strom, Wärme und Kälte,“ [Online]. Available: <http://www.2sol.ch/>.
- [12] D. Prof. Dr.Zogg., „OPTEG-Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden,“ Bundesamt für Energie, 2016.
- [13] A. Dr. Thomsa, „Kostengünstige Niedrigtemperatur-,“ <http://www.waermepumpe.ch/>.
- [14] BS2 AG, „BS2 Building Systems & Solution,“ [Online]. Available: <http://www.bs2.ch/de/Produkte/Niederhub-Waermepumpe.aspx>.
- [15] L. Kunath.

6.2 Abbildungsverzeichnis

FIGURE 1: UML DARSTELLUNG DER INTERAKTIONEN ZWISCHEN KUNDE, PLANER(POLYSUN) UND DEM WÄRMEPUMPENCONTROLLER.....	13
FIGURE 2: ZEIGT DAS VERHÄLTNISS ZWISCHEN DER AUSSENTEMPERATUR UND DER SOLLVORLAUFTEMPERATUR. DIE STEIGUNG MIT 0.5 ALS WERT KÖNNTE ZUM BEISPIEL FÜR DIE FUSSBODENHEIZUNG EINES NEUBAUS (GUT ISOLIERT) STEHEN. JE SCHLECHTER DIE ISOLATION IST, DESTO STEILER VERLÄUFT DIE KURVE. BEI EINER VERSCHIEBUNG DER HEIZKURVE WERDEN DIE LINIEN NACH OBEN ODER UNTEN VERSCHOBEN, OHNE EINE ANPASSUNG DER STEIGUNG, IN DIESEM BEISPIEL IST ES EINE VERSCHIEBUNG VON -2.	19
FIGURE 3: BEISPIEL DER VERDICHTER FREIGABE/STOP DURCH DIE ZEITLICHE FÜLLUNG DER DEFINIERTEN INTEGRALE. [10].....	20
FIGURE 4: GRAFISCHE DARSTELLUNG DES SIMULATIONS-AUFBAU FÜR DIE EINBINDUNG DER PARAMETER DER GRUNDEINSTELLUNGEN UND HEIZKREISES. DIE GRÜNEN PARAMETER SIND JENE WELCHE IN DER ARBEIT UMGESETZT WERDEN KONNTEN, JENE IN ROT MÜSSTEN NOCH EINGEBUNDEN ODER PROGRAMMIERT WERDEN.	22
FIGURE 5: GRAFISCHE DARSTELLUNG DES SIMULATIONS-AUFBAUS DES 2SOL-SYSTEMS. GRÜN GEZEICHNET SIND DIE PARAMETER, WELCHE IM SYSTEM GENUTZT UND AN DEN CONTROLLER ÜBERGEBEN WERDEN KÖNNEN.....	23
FIGURE 6: ZEIGT DEN VERLAUF DER SOLL-VORLAUFTEMPERATUR FÜR EINE BODENHEIZUNG VERHÄLTNISS ZU DER AUSSENTEMPERATUR.	24
FIGURE 7 GRAFISCHE DARSTELLUNG DES SYSTEMS FÜR „FREECOOLING“. GRÜN SIND DIE WERTE WELCH ÜBERGEBEN WERDEN KONNTEN, JENE IN ROT MÜSSTEN NOCH EINGEBUNDEN ODER PROGRAMMIERT WERDEN.	25
FIGURE 8: ZEIGT DEN VERLAUF DER BETRIEBSZUSTÄNDE WÄHREND EINES TAGES. SCHLÄGT DIE TEMPERATURLINIE ÜBER DIE DEFINIERTEN GRENZEN AUS, WIRD DER ZUSTAND ENTSPRECHEND GEWECHSELT, AUCH WENN DIE VERFÜGBARKEIT DER ELEKTRISCHEN ENERGIE EINER ANDEREN ZUSTAND BEVORZUGEN WÜRDE (GELBE ZONE).....	27
FIGURE 9: GRAFISCHE DARSTELLUNG EINER EINFACHEN SYSTEMAUSLEGUNG, WELCHE MITTELS EINER PROGRAMMIERBAREN STEUERUNG DIE SG-READY FUNKTION NACHBILDEN KANN.....	28
FIGURE 10: ZEIGT DEN TEMPERATURVERLAUF DES SPEICHERS IN DEN MONATEN AUGUST UND SEPTEMBER. GUT ERSICHTLICH IST WIE DIE ÜBERLADUNG DER SPEICHER OFT ANGESTEUERT WIRD.	29
FIGURE 11: MOCKUP 1, NEUE AUSWAHL IN EXTRAS	30
FIGURE 12: MOCKUP 2, EINBINDUNG EXTERNER HARDWARE	31
FIGURE 13: MOCKUP 3, PROGRAMMIERBARE STEUERUNG	32
FIGURE 14: MOCKUP 4, PARAMETERZUTEILUNG PROGRAMMIERBARE STEUERUNG.....	33
FIGURE 15: DARSTELLUNG DER VERBINDUNG ZWISCHEN DER GRAFISCHEN DARSTELLUNG UND DER SIMULATIONSANALYSE.....	37
FIGURE 16:MÖGLICHE AUSLEGUNG EINES NEUEN BERICHTES FÜR POLYSUN. DER BERICHT ZEIGT ALLE VERWENDETEN STEUERUNGEN EINES PROJEKTES. DEN EINZELNEN STEUERUNGEN SIND IHRE EINGÄNGE, HILFSGRÖSSEN, BETRIEBSZUSTÄNDE UND AUSGÄNGE ZUGETEILT. MIT EINEM KLICK KÖNNEN FÜR DIESE DEREN GRÖSSEN UND FORMELN ERSICHTLICH GEMACHT WERDEN.....	39

6.3 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: BEWERTUNGSTABELLE FÜR DIE PARAMETER DER GRUNDEINSTELLUNGEN.....	17
TABELLE 2: BEWERTUNGSTABELLE FÜR DIE PARAMETER DER WÄRMEPUMPE	18
TABELLE 3: BEWERTUNGSTABELLE FÜR DIE PARAMETER DER HEIßKREISLAUFES	18
TABELLE 4: BEWERTUNGSTABELLE FÜR DIE PARAMETER DER TRINKWARMWASSER.....	20
TABELLE 5: BEWERTUNGSTABELLE FÜR DIE PARAMETER DES KÜHLKREISLAUFES	21
TABELLE 6: BEWERTUNGSTABELLE FÜR DIE PARAMETER DES SOLARKREISLAUFES	21

A Anhang

A 1 Auslegung der Bachelorarbeit

AS CH 1124/11
Fakultät für Informatik



School of
Engineering

Wärmepumpencontroller direkt angesteuert von Simulationssoftware BA17_wita_3

BetreuerInnen: Andreas Witzig, wita
Fachgebiete: Elektrotechnik Energie (EE)
Elektrische erneuerbare Energien (EU_EEE)
Thermische erneuerbare Energien (EU_TEE)
Regelungstechnik (RT)

Studiengang: ET / EU / MT
Zuordnung: Institute of Computational Physics (ICP)
Industriepartner: Vela Solaris AG (8400 Winterthur)
Gruppengrösse: 2

Kurzbeschreibung:

Der Einsatz von Wärmepumpen zur Gebäudeheizung und Warmwasseraufbereitung hat sich in den letzten Jahren etabliert. Gleichzeitig wird für die Planung von Heizungssystemen und für den Energienachweis immer häufiger Simulationssoftware eingesetzt. Diese Studentenarbeit befasst sich mit der Verbindung dieser zwei Trends: Eine Wärmepumpensteuerung soll direkt aus der Simulationssoftware heraus angesteuert werden. In einer Industriezusammenarbeit hat unsere Forschungsgruppe Zugriff auf die Wärmepumpensteuerung einer modernen Wärmepumpe. Als Simulationssoftware soll das breit eingesetzte Planertool Polysun verwendet werden. In einer ersten Phase soll aufgezeigt werden, welche Steuerbefehle aus der Simulation heraus an die Wärmepumpe übertragen werden sollen. Die Untersuchung soll auf eine Auswahl von typischen Systemen angewendet werden, so dass ein grosser Teil der heutigen Heizungssysteme damit abgebildet werden kann. In der Folge soll in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner eine Webservice-basierte Schnittstelle geschaffen werden zwischen dem Simulationstool und dem Wärmepumpencontroller.

Freitag 11. November 2016 9:30

A 3 Zuteilung der Parameter vom Wärmepumpencontroller zu Polysun

PP	Parameter Heizkreislauf	Polysun Komponente	Auswahl in Komponente	Program. Steuerung
H1	Heizkurve Steilheit (HK113)			Heizkurve
H1	Heizkurve Verschiebung (HK114)			Heizkurve Verschiebung
WP1	Komfort-Betrieb (HK 110)	Gebäude	Sollraumtemp. Tag	
WP1	Reduzier-Betrieb (HK 111)	Gebäude	Sollraumtemp. Nacht	
n.a	Zeiten des Reduzierbetriebs (HK 102-105)			
n.a	Hysterese HK (HK 121)			
n.a	Einschalt Int. (HK 122)			
n.a	Ausschalt Int. (HK 123)			
WP1	Heizgrenze (HK 115)	Heiz/Kühlsteuerung	Heizkreisaktivierung	

PP	Parameter Grundeinstellungen	Polysun Komponente	Auswahl in Komponente	Program. Steuerung
WP1	Sprache			
WP1	EWS Einfrierschutz (GK 007)	S/W oder W/W Wärmepumpe	Tiefdruckstörung (Erdwärmesonde)	
WP1	EWS Übertemperatur (GK 008)	S/W oder W/W Wärmepumpe	Hochdruckstörung (Erdwärmesonde, Kühlung)	
WP1	Speicherhysterese (GK 013)	Umsetzung in prog Steuerung	Umsetzung in prog Steuerung	

PP	Parameter Trinkwasser	Polysun Komponente	Auswahl in Komponente	Program. Steuerung
n.a	Zeiten des Reduzierbetriebs (TW 102-105)			
WP1	Nennsollwert TWW (TW 110)	Warmwasserbedarf	Solltemperatur	
n..a	Reduzierter Wert TWW (TW 111)			
WP1	Hysterese TWW (112)	WärmeerzeugerSteuerung 1	Einschalthystere 1 (WW)	
WP1	Legionellen Programm (TW113-117)			Lgeionelle Programm

PP	Parameter Kühlkreislauf	Polysun Komponente	Auswahl in Komponente	Program. Steuerung
n.a	Zeiten des Kühlbetriebes (KK 102-105)			
WP1	Raumsollwert KK1 (KK 110)	Gebäude	Soll-Raumtemp. Kühlen Tag	
n.a	Tageskühlgrenze (KK 117)			

PP	Parameter Solarkreislauf	Polysun Komponente	Auswahl in Komponente	Program. Steuerung
2SOL	Schaltdiff. Q5/Q8 ein (SO 121)	Pumpensteuerung Solarkreislauf	Einschalttemp. Differenz	
2SOL	Schaltdiff. Q5/Q8 aus (SO 122)	Pumpensteuerung Solarkreislauf	Ausschalttemp. Differenz	
2SOL	Min. Laufzeit (SO 123)			Min. Laufzeit
2SOL	Min. Stillstandszeit (SO 124)			Min. Stillstandszeit

PP	Parameter Wärmepumpe	Polysun Komponente	Auswahl in Komponente	Program. Steuerung
WP1	Min. Stillst. VD (WP 003)	Wärmeerzeuger-Steuerung 1	Minimale Stillstandszeit	
WP1	Min Laufz. VD (WP 004)	Wärmeerzeuger-Steuerung 1	Minimale Laufzeit	

*PP = Polysunprojekt

A 4 Liste mit allen Parametern des Wärmepumpencontrollers

Grundeinstellungen Konfiguration

GK001	Sprache	Deutsch	
GK003	Gerätetyp	Sole/Wasser	
GK004	Umschalt. Kühlb.	inaktiv	
GK005	Quellenmedium	Ethyl. Glykol	
GK006	Konzentr. Medium	25	%
GK007	EWS Einfrierschutz	-5	°C
GK008	EWS max. Temp	30	°C
GK011	Sp. Sollw. Ueberh.	0	°C
GK012	Laberüberh. WP	0	°C
GK013	Speicher Hysterese	5	°C
GK014	ATlim Ladung opt. Drehz.	-5	°C
GK015	Sp. Zwangslad. Sollw.	45	°C
GK016	Ladeart Speicher	mit Fühler B4	
GK021	Mischer 1 aktiv	Nein	
GK022	Laufz. Ventil MK1	120	sec
GK024	Verw. Mischventil MK1	Heizen	
GK025	Kp - PID MK1	3	
GK026	Ti - PID MK1	300	sec
GK031	Mischer 2 aktiv	Nein	
GK032	Laufz. Ventil MK2	120	sec
GK034	Verw. Mischventil MK2	Heizen	
GK035	Kp - PID MK2	3	
GK036	Ti - PID MK2	300	sec
GK101	Signaltyp Pumpe Q8	0-10V	
GK102	Signaltyp Pumpe Q9	0-10V	

Heizkreis 1

HK101	Betr. Art. HK1	Frostschutz (Aus)	
HK102	Std Komf. Phase 1 - Ein HK1	6	h
HK103	Min Komf. Phase 1 - Ein HK1	0	min
HK104	Std Komf. Phase 1 - Aus HK1	22	h
HK105	Min Komf. Phase 1 - Aus HK1	0	min
HK110	Komfort. Soll HK1	20	°C
HK111	Reduz. Soll HK1	19	°C
HK112	Frostschutz. HK1	10	°C
HK113	Steilh. Heizkurve HK1	0.8	
HK114	Versch. Heizkurve HK1	0	K
HK115	Heizgrenze HK1	17	°C
HK116	Min. Begr. HK1	15	°C
HK117	Max. Begr. HK1	60	°C
HK118	Raumeinfluss	0	%
HK121	Hysterese HK1	8	K

HK122	Einschaltint. HK1	60	°C*min
HK123	Ausschaltint. HK1	30	°C*min
HK124	Kp - PID HK	3	
HK125	Ti - PID HK	300	sec
HK126	Td - PID HK	0	
HK127	Neutralband - PID HK	1	K

Heizkreis 2''

HK201	Betr. Art. HK2	(Aus)	
HK202	Std Komf. Phase 1 - Ein HK2	6	h
HK203	Min Komf. Phase 1 - Ein HK2	0	min
HK204	Std Komf. Phase 1 - Aus HK2	22	h
HK205	Min Komf. Phase 1 - Aus HK2	0	min
HK210	Komfort. Soll HK2	20	°C
HK211	Reduz. Soll HK2	19	°C
HK212	Frostschutz. HK2	10	°C
HK213	Steilh. Heizkurve HK2	0.8	
HK214	Versch. Heizkurve HK2	0	K
HK215	Heizgrenze HK2	17	°C
HK216	Min. Begr. HK2	15	°C
HK217	Max. Begr. HK2	60	°C
HK218	Raumeinfluss	0	%

Trinkwasser

TW101	Betr. Art. TWW	Aus	
TW102	Std Komf. Phase 1 - Ein TWW	22	h
TW103	Min Komf. Phase 1 - Ein TWW	0	min
TW104	Std Komf. Phase 1 - Aus TWW	4	h
TW105	Min Komf. Phase 1 - Aus TWW	0	min
TW110	Nennsollw. TWW	51	°C
TW111	Reduzierw. TWW	40	°C
TW112	TWW Hysterese.	6	K
TW113	Legio-Temp.	60	°C
TW115	Aktivierung Legionelles	Nein	
TW116	Per.	Freitags	
TW117	Ladung ab	2	h
TW121	Anf. Drehz. TWW	45	Hz
TW122	Umschalt. TWW Ventil	45	sec

Kühlkreis 1

KK101	Betr. Art. KK1	Aus	
KK102	Std Phase 1 - Ein KK1	6	h
KK103	Min Phase 1 - Ein KK1	0	min
KK104	Std Phase 1 - Aus KK1	6	h
KK105	Min Phase 1 - Aus KK1	0	min
KK110	Komfort. Soll KK1	24	°C
KK111	Raumeinfluss KK1	0	%
KK115	Kühlkennlinie TA25	20	°C
KK116	Kühlkennlinie TA35	18	°C
KK117	Tageskühlgrenze	24	°C
KK118	Begrenzung Kühlkennlinie TA25	18	°C
KK119	Begrenzung Kühlkennlinie TA35	18	°C
KK120	Min VL Temp. KK1	18	°C
KK121	Hysterese KK1	8	K
KK122	Einschaltint. KK1	60	°C*min
KK123	Ausschaltint. KK1	30	°C*min
KK124	Kp - PID KK	3	
KK125	Ti - PID KK	300	sec
KK126	Td - PID KK	0	
KK127	Neutralband - PID KK	1	K

Wärmepumpe

WP001	Min. Drehzahl VD	25	Hz
WP006	Opt. Drehzahl VD	45	Hz
WP007	Leistungsbegr. Quelle	110	Hz
WP003	Min. Stillst. VD	300	sec
WP004	Min. Laufz. VD	180	sec
WP005	Pendelschutz VD	1200	sec
WP011	Drehz. Q8 bei Start	70	%
WP012	Min. Drehzahl Q8	25	%
WP013	Max. Drehzahl Q8	100	%
WP014	Drehzahl Q8 Freec.	50	%
WP015	Vorlauf Q8	30	sec
WP016	Nachlauf Q8	30	sec
WP017	Modus Drehzahlr. Q8	Proport. VD	
WP018	Soll. dTquelle	3.5	%
WP021	Drehz. Q9 bei Start	50	%
WP022	Min. Drehzahl Q9	35	%
WP023	Max. Drehzahl Q9	100	%
WP024	Drehz. Q9 TWW	50	%
WP025	Vorlauf Q9	30	sec
WP026	Nachlauf Q9	30	sec

WP027	D. Q9 Notb. HK1	35	%
WP028	D. Q9 Notb. TWW	35	%
WP051	Sollwert EEV Heizbetrieb	4	K
WP052	EEV Standby Pos.	0	%
WP054	MOP Temp. EEV	20	°C
WP055	Freig. Kühlmodus	Nein	
WP057	Min. Drehzahl VD Kühlbetrieb	30	Hz
WP058	Max. Drehzahl VD Kühlbetrieb	40	Hz
WP059	Sollwert EEV Kühlbetrieb	8	K

Solare Erdsondenregeneration

SO120	Solare Sondenregen.	Aus	
SO121	Schaltdiff Q5/Q8 ein	5	K
SO122	Schaltdiff Q5/Q8 aus	2	K
SO123	Min. Laufzeit	600	sec
SO124	Min. Stillstandszeit	600	sec
SO126	Min. Drehzahl Solarpumpe Q5	30	%
SO127	Max. Drehzahl Solarpumpe Q5	100	%
SO125	Solldiff. B64-B92	10	K
SO103	Min. B64	10	°C
SO102	Max B64	50	°C