



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorthesis

Daniel Koppitz

Konzeption einer betriebsstabilen und
entwicklungsoffenen Schnittstelle für die
technische Gebäudeausstattung eines
Forschungsgebäudes

Daniel Koppitz

Konzeption einer betriebsstabilen und
entwicklungsoffenen Schnittstelle für die technische
Gebäudeausstattung eines Forschungsgebäudes

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Informations- und Elektrotechnik
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Renz
Zweitgutachter : Dipl. -Ing. Hans Schäfer

Abgegeben am 27.01.2014

Daniel Koppitz

Thema der Bachelorthesis

Konzeption einer betriebsstabilen und entwicklungsoffenen Schnittstelle für die technische Gebäudeausstattung eines Forschungsgebäudes

Stichworte

Gebäudeautomatisierung, Netzwerkprotokoll, entwicklungsoffene Schnittstellen

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit umfasst den Aufbau einer Kommunikationsstruktur für die technischen Komponenten im „Energie Campus“ Hamburg und den Aufbau von Schnittstellen zur Entwicklung, die gegen eine Fehlbedienung abgesichert sind.

Daniel Koppitz

Title of the paper

Conception for reliable and open developing interfaces for technical building equipment of a research building

Keywords

Building automation, Network protocol, development interfaces

Abstract

This work includes the construction of a communication structure for the technical components for the "Energie Campus" Hamburg and the structure of development interfaces, which are protected against incorrect operation.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich zunächst bei Herrn Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Renz bedanken, der es mir im Rahmen des Bauprojektes: „Energie Campus“ Hamburg Bergedorf ermöglicht hat, diese Arbeit zu schreiben und auch als Erstprüfer dieser Arbeit fungiert.

Weiterhin danke ich Herrn Dipl. -Ing. Hans Schäfer für seine Arbeit als Zweitprüfer und seine stete Bereitschaft mir mit fachlichen Rat zur Seite zu stehen.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dipl. -Ing. Hojat Zarif und Herrn Dipl. -Ing. Matthias Kühl bedanken, die stets eine Hilfe waren und mich tatkräftig unterstützt haben.

Für die Unterstützung von Passau Ingenieure Düsseldorf, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Baha Canpolat und Herrn Dipl.-Ing/Dipl.-Wirt.-Ing. Gerald Bernard sei an dieser Stelle ebenfalls gedankt.

Ein weiteres Dankeschön gilt der ganzen C4DSI Abteilung, meinen Kommilitonen und Freunden Frau B.Eng. Julia Posselt, Frau Dipl.-Soz.päd. Juliane Baumann, Herrn Philipp Schiepel, Herrn Sascha Scholly und Herrn B.A. Max Bussiliat, die mir stets mit guten Ratschlägen zur Seite standen.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die mir dieses Studium ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	8
Abbildungsverzeichnis	9
1 Einführung	11
1.1 Einleitung	11
1.2 Motivation	12
1.3 Aufgabenstellung	13
1.4 Stand der Technik	14
1.4.1 Normen in der Gebäudeautomatisierung	15
1.5 Struktur in der Gebäudeleittechnik	16
1.5.1 Feldebene	16
1.5.2 Automatisierungsebene	17
1.5.3 Managementebene	17
1.6 Kommunikation über ISO/OSI-Referenzmodell	18
1.7 Kanalzugriffsverfahren	19
1.8 Netzwerkprotokolle	20
1.8.1 LonWorks	20
1.8.2 KNX	21
1.8.3 BACnet	21
1.8.4 OPC	22
2 Anforderungen und Problemstellung	23
2.1 Anlagenportfolio	23
2.1.1 Sicherheitssysteme	24
2.1.2 Hydraulik und Heizflächen	24
2.1.3 Kältemaschine	24
2.1.4 Reversible Wärmepumpe	25
2.1.5 Blockheizkraftwerk	26
2.1.6 Lüftungsanlage	26
2.1.7 Heiz- bzw. Kühlepeicher	26
2.1.8 Heizstäbe	27
2.1.9 Photovoltaikanlage	28

2.1.10 Elektrolyseur	28
2.1.11 Methanisierungsanlage	29
2.1.12 Speicherbatterie	29
2.1.13 Ladeinfrastruktur	30
2.1.14 Windkraftanlage	30
2.2 Anforderungen	31
2.2.1 Anforderungen an die Gebäudeautomatisierung	31
2.2.2 Anforderungen an die hydraulische Schaltung des Heiz- und Kühlkreislaufes	38
2.3 Erläuterung der Anforderungen an Beispielen	42
2.3.1 Beispiel für die Gebäudeautomatisierung	42
2.3.2 Beispiel für den Heiz- und Kühlkreislauf	42
2.4 Problemstellung	44
3 Technische Analyse	45
3.1 Abgrenzung der Forschungsanlagen	48
3.2 Kommunikation in der Managementebene	49
3.3 dezentrale oder zentrale Steuerung	50
3.4 Kommunikation in der Automatisierungsebene	51
3.5 Überwachungsstruktur	52
3.6 Kommunikation in der Feldebene	53
4 Entwurf	55
4.1 Entwurf der Managementebene	57
4.2 Entwurf der Automatisierungsebene	58
4.3 Entwurf der Feldebene	60
5 Implementierung	61
5.1 Monitoring	61
5.2 Modellerstellung	62
6 Test und Bewertung	67
6.1 Tests für die Gebäudeautomation	67
6.1.1 Überkapazitätskurve	68
6.1.2 Leistungsbegrenzung	69
6.1.3 Ladezustand	70
6.2 Tests für den Heiz- und Kühlkreislauf	71
6.2.1 Testablauf für den Heizkreislaufes	71
6.2.2 Testablauf für die Beladung des Speichers mit der geringsten Temperatur	73
6.2.3 Testablauf des Kühlkreislaufes	74
6.2.4 Testablauf für die Versorgung der Kreisläufe	74

6.2.5 Szenariotests	77
6.3 Bewertung der Tests	77
7 Zusammenfassung und Ausblick	78
7.1 Zusammenfassung	78
7.2 Ausblick	81
Literaturverzeichnis	82
Anhang A Hilfsmittel	84
A.1 Szenariotests	84
A.2 Telefonprotokolle	105
A.3 Benutzerhandbücher und Sonstiges	108
Anhang B Quellcode	109

Tabellenverzeichnis

2.1	Anforderungsmatrix für Sensor- und Aktortechnik für Forschungsarbeiten [diese Tabelle ist in Zusammenarbeit mit Hojat Zarif entstanden]	35
2.2	Anforderungsmatrix für Sensor- und Aktortechnik für die allgemeine Gebäudeversorgung [diese Tabelle ist in Zusammenarbeit mit Hojat Zarif entstanden]	37

Abbildungsverzeichnis

1.1	Außenansicht „Energie Campus“ Hamburg [4]	12
1.2	Vernetzungsplan	14
1.3	Genormte Bussysteme und Netze in der Gebäudeautomatisierung [19]	15
1.4	OPC Verbindung in einem Automatisierungssystem [18]	22
2.1	Entwurf der hydraulische Verschaltung des Heiz- und Kühlkreislaufes [C4DSI]	39
2.2	hydraulische Verschaltung des Szenarios 7	43
3.1	Konzept Gebäudeleittechnik C4DSI	46
3.2	Typischer Aufbau eines Gebäudeautomatisierungssystems der Firma Honeywell [10]	47
3.3	Typischer Aufbau des Gebäudeautomatisierungssystems Desigo der Firma Siemens [24]	47
4.1	Schemata Gebäudeleittechnik	56
5.1	Batteriemodell	63
5.2	Batteriemodell mit OPC Anbindung	63
5.3	Steuerung der Batterieladung	64
5.4	Steuerung der Batterie mit OPC Anbindung	64
5.5	Batteriesteuerung mit Sicherheitsabfragen	65
6.1	a) Leistung Solaranlage b) Leistung Blockheizkraftwerk c) Addition von beiden Leistungen d) Tageslastprofil e) Addierte Leistung minus Tageslastprofil f) Batterienutzungsintervalle	68
6.2	Simulationsergebnis Leistungsbeschränkung a) Minimale Leistung von 2,5kW b) Leistungskurve Überschuss c) Ladezyklen	69
6.3	a) Maximale Ladekapazität b) aktueller Ladungsstand c) Ladesignal	70
6.4	Flussdiagramm für den Heizkreislauf	72
6.5	Flussdiagramm für die Beladung des Speichers mit der geringsten Temperatur	73
6.6	Flussdiagramm Kühlkreislauf	74
6.7	Flussdiagramm Versorgung	76
A.1	hydraulische Verschaltung des Szenarios 1	84

A.2 hydraulische Verschaltung des Szenarios 2	85
A.3 hydraulische Verschaltung des Szenarios 3	86
A.4 hydraulische Verschaltung des Szenarios 4	87
A.5 hydraulische Verschaltung des Szenarios 5	89
A.6 hydraulische Verschaltung des Szenarios 6	90
A.7 hydraulische Verschaltung des Szenarios 7	91
A.8 hydraulische Verschaltung des Szenarios 8	92
A.9 hydraulische Verschaltung des Szenarios 9	92
A.10 hydraulische Verschaltung des Szenarios 10	93
A.11 hydraulische Verschaltung des Szenarios 11	94
A.12 hydraulische Verschaltung des Szenarios 12	95
A.13 hydraulische Verschaltung des Szenarios 13	96
A.14 hydraulische Verschaltung des Szenarios 14	97
A.15 hydraulische Verschaltung des Szenarios 15	98
A.16 hydraulische Verschaltung des Szenarios 16	99
A.17 hydraulische Verschaltung des Szenarios 20	100
A.18 hydraulische Verschaltung des Szenarios 21	101
A.19 hydraulische Verschaltung des Szenarios 22	102
A.20 hydraulische Verschaltung des Szenarios 23	103
A.21 hydraulische Verschaltung des Szenarios 24	104

1 Einführung

1.1 Einleitung

Am 06.08.2012 ist im Hamburger Rathaus für das Projekt Technologiezentrum „Energie Campus“ Hamburg der Startschuss gefallen. Die Ziele des Projektes sind die Vernetzung von Unternehmen und Hochschulen, Unternehmensansiedlungen und die Akzeptanz der Bürger für die Erneuerbaren Energien. Die Schwerpunkte des „Energie Campus“ liegen zum einen in den Kernkompetenzen Windenergie, Netzintegration (Smart Grid) und der Speicherung von Energie. Zusätzliche Themen sind die Energiespeicherung mit Wasserstoff und die energieeffiziente Stadt. Erweitert wird das Projekt mit der Elektromobilität und der Photovoltaik. Für diese Forschungs- und Entwicklungsfelder schaffte das „Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz“, kurz CC4E, Anlagen für den „Energie Campus“ an. Diese sind ein Blockheizkraftwerk, welches mit Gas bzw. Methan betrieben werden kann. Das Methan wird aus der ebenfalls angeschafften Methanisierungsanlage gewonnen. Zusätzlich sieht die Planung ein Elektrolyseur, eine Photovoltaikanlage, eine Wärmepumpe, eine Lüftungsanlage, eine Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge und eine Batterie zum Speichern der gewonnenen Energie vor.

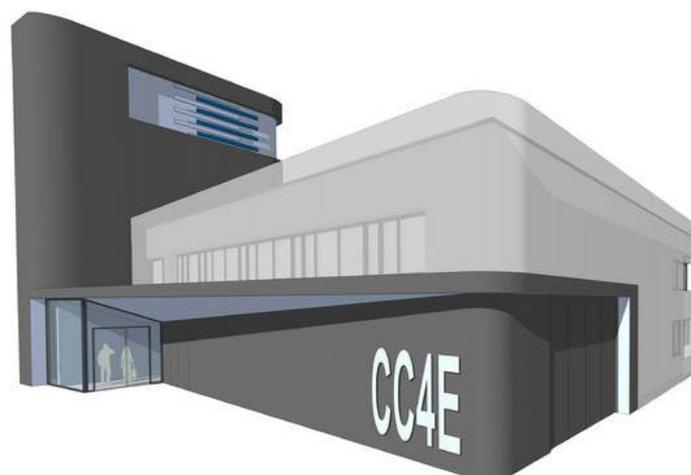
Durch Energieeinsparungen, Energiemanagement sowie Komfortbedürfnisse und die Anpassungsfähigkeit der Gebäude, steigt der Bedarf an Automatisierungssystemen in der Gebäudeausstattung stetig an. [19]

In der Bachelorarbeit soll ein Konzept entwickelt werden, dass die verschiedenen Anlagen im „Energie Campus“ Hamburg miteinander vernetzt. Dabei soll zusätzlich ein Zugang für Ingenieure geschaffen werden, der mit Sicherheitsmechanismen eine behagliche Nutzung des Gebäudes und einen stabilen Betrieb gewährleistet. Dieses Konzept wird in Kooperation mit dem Beratungsunternehmen für Gebäudeplanung Passau Ingenieure und der HAW (Hochschule für angewandte Wissenschaften) Hamburg C4DSI (Center for Demand Side Integration) entwickelt.

1.2 Motivation

Die „Energiewende“ ist in aller Munde, und die regenerativen Energiequellen werden weiter gefördert. Deshalb ist mit einem weiteren Anstieg der Preise für die Verbraucher zu rechnen. Genau aus diesem Grund ist der vernünftige Umgang und das Einsparen von Energie ein wichtiger Eckpfeiler der „Energiewende“. Um dies zu erreichen, haben die Vernetzungen von Energiegewinnungsanlagen an Bedeutung gewonnen. Denn wenn an einem Standort keine Sonne und Wind zur Verfügung stehen, benötigt der Verbraucher trotzdem Energie.

Zum einen kann überschüssige Energie von einem Standort zum nächsten geleitet werden, zum anderen kann diese überschüssige Energie aber auch am Standort gespeichert und an Zeitpunkten mit wenig Energie bereitstehen. Dies wird heutzutage über Pumpspeicherkraftwerke realisiert, allerdings benötigt man hierfür große Höhenunterschiede und es sind schwerwiegende Eingriffe in die Natur nötig. Aus diesem Grund wird am Standort Hamburg-Bergedorf ein Entwicklungs- und Forschungsgebäude entstehen, um andere Wege zur Energiespeicherung in Verbindung mit erneuerbaren Energien zu etablieren. Durch die Vernetzung der Anlagen im Gebäude, soll der „Energie Campus“ Hamburg die überschüssige Energie ökonomisch nutzen. Im „Energie Campus“ Hamburg wird überschüssige Energie in Form von Methan in Gasflaschen gespeichert, um es gegebenenfalls dem Blockheizkraftwerk zum Verheizen zur Verfügung zu stellen. Anderenfalls wird die überschüssige Energie in einer Batterie im Gebäude gespeichert, die ebenfalls bei Energieknappheit das Gebäude mit Energie versorgen kann. Durch diese effiziente Nutzung der Energie soll kein autarkes Gebäude entstehen, steht kein Strom aus der eigenen Produktion bzw. Speicherung zur Verfügung, wird dieser über den Netzanschluß bereitgestellt.



Quelle: DGI Bauwerk Gesellschaft von Architekten mbH

Abbildung 1.1: Außenansicht „Energie Campus“ Hamburg [4]

In den heutigen Gebäuden findet man eine Vielzahl von Automatisierungssystemen. Zusätzlich zu den Anlagen zur Wärme- und Kälteerzeugung kommen immer mehr Anlagen in Gebäude, die durch solare Strahlung und Wind, Energie erzeugen. Damit all diese Anlagen miteinander für die Stromerzeugung im Gebäude kommunizieren können, werden sie mit aufwendigen Regelungssystemen ausgestattet und über einen Leitreechner visualisiert. Diese gewährleisten den reibungslosen Betrieb der einzelnen Anlagen. Die Kommunikation erfolgt hierbei über Bussysteme und Computernetze. Der Energieverbrauch wird optimiert und ein wirtschaftlicher Einsatz von Betriebsmitteln ermöglicht. [19]

1.3 Aufgabenstellung

Die Einbindung der technischen Komponenten im „Energie Campus“ Hamburg in die Gebäudeautomatisierung entsteht durch eine Vernetzung der verschiedenen Ebenen. Diese Ebenen werden als Feldebene, Automatisierungsebene und Managementebene bezeichnet. Die Abbildung 1.2 zeigt einen ersten Überblick des Schemas der Vernetzung der Anlagen ohne sie dabei in Ebenen einzuteilen.

Eine Aufgabe wird die Suche nach einem geeigneten Netzwerkprotokoll für den Leitreechner sein, welches sich in das Gebäudeleitsystem integrieren lässt. Da sich Entwicklungsanlagen im Gebäude befinden, die über eigene Automatisierungsprotokolle verfügen, liegt ein Hauptaugenmerk auf der Aufgabe, die unterschiedlichen Netzwerkprotokolle über Schnittstellen miteinander zu verbinden.

Bei Entwicklungsaufgaben an den Anlagen im Technologiezentrum „Energie Campus“ Hamburg kann es zu Störungen in der Gebäudeversorgung kommen, allerdings sollte das Arbeiten, Forschen und Entwickeln in dem Gebäude davon keine Beeinträchtigung haben. Deshalb muss der Leitreechner für eine Priorität der Gebäudeversorgung sorgen, wenn es zu einer Störung oder einer Bereichsverletzung durch eine Entwicklungsanlage kommt. Die Aufgabe besteht dabei, eine kommerziell verfügbare Lösung zu finden bzw. in Zusammenarbeit mit dem Beratungsunternehmen Passau Ingenieure ein Konzept für diese Lösung zu eruiieren.

Am Ende soll ein Konzept entstehen, welches festlegt, wie der Leitreechner mit der Automatisierungsebene und der Feldebene kommuniziert. Außerdem müssen dezentrale Rechner in der Automatisierungsebene mit den Anlagen kommunizieren und bei eventuellem Störfall in der Gebäudeversorgung einen automatisierten Reaktionsplan ablaufen, damit die Gebäudeversorgung zurück in den stabilen Betrieb gelangt. Zusätzlich soll eine Funktion eines Resets implementiert werden, der bei einer Störung alle Anlagen in den Ausgangszustand zurückversetzt.

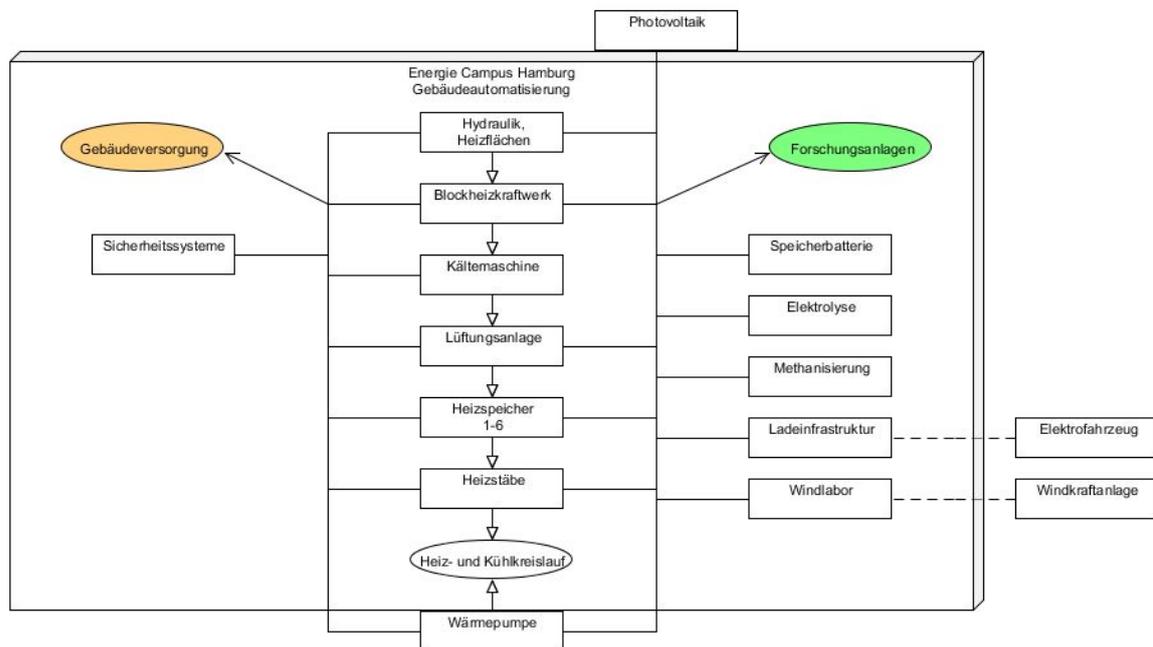


Abbildung 1.2: Vernetzungsplan

1.4 Stand der Technik

Neu gebaute Zweckbauten werden heutzutage mit standardisierten Automatisierungssystemen ausgerüstet. In diesen Systemen kommunizieren die installierten Gewerke (z.B. Kälte- und Wärmeanlagen) über Bussysteme miteinander. Mit diesen Systemen kann sich die Wirtschaftlichkeit erhöhen, indem man Energie einspart, den Arbeitskomfort erhöht und die Flexibilität bei Umbauten ermöglicht. [19]

Die Energieeinsparung und Komfortanhebung wird über die Steuerung der Heiz-, Kälte-, Lüftungs- und Lichtenanlagen, sowie über die Beschattung, Sicherheit und Multimedia erreicht. Zum Beispiel könnte ein Präsenzmelder die Anzahl der anwesenden Personen im Raum registrieren und den Sollwert der Raumtemperatur anpassen. Zusätzlich könnte ein Sensor geöffnete Fenster detektieren und die Heiz- bzw. Kühlfunktion abschalten oder darüber hinaus wäre ein weiterer Sensor denkbar, der die sinkende Luftqualität registriert und demzufolge die Lüftung anpasst bzw. die Fenster öffnet. Gerade im Sommer könnte eine automatische Anhebung des Sollwerts der Raumtemperatur bei hohen Außentemperaturen zu erheblichen Komfortverbesserungen und Energieeinsparungen führen. Weiterhin könnte das Licht in den Räumen über die vorhandenen Präsenzmelder gesteuert werden. Zusätzlich könnte hier ein Sensor die Helligkeit in Abhängigkeit des Tageslichtes regeln.

Damit die Sensoren mit den Anlagen im Gebäude kommunizieren können, gibt es heutzutage so genannte Bussysteme. Anfangs haben Herstellerfirmen für Gebäudeautomatisie-

zungssysteme die Datenübertragung selbst entwickelt oder bekannte Lösungen verwendet. Diese sahen die Anbindung der eigenen entwickelten Regelungsbausteine der verschiedenen Anlagen vor. Heute müssen auch Controller von anderen Anlagenherstellern in das System integriert werden können. Wenn beispielsweise unterschiedliche Bussysteme zweier Anlagen miteinander kommunizieren, muss zur Anbindung ein Protokoll eines Herstellers offenliegen, damit eine Synchronisation stattfinden kann. Allerdings war dies schwierig, da ein Anlagenhersteller nur sehr ungern Firmeneigentum preisgibt. Aus diesem Grund haben sich Bussysteme mit offenen Protokollen durchgesetzt, die sich mit den Anlagen herstellerübergreifend verständigen können. [19]

1.4.1 Normen in der Gebäudeautomatisierung

Eine Vielzahl von Anbietern mit herstellereigenen Lösungen ist auf dem Markt der Gebäudetechnik, jedoch haben nur wenige Bussysteme und Netze den Einzug in die Norm gefunden. Abbildung 1.3 zeigt den Stand der Normung aus dem Jahr 2009.

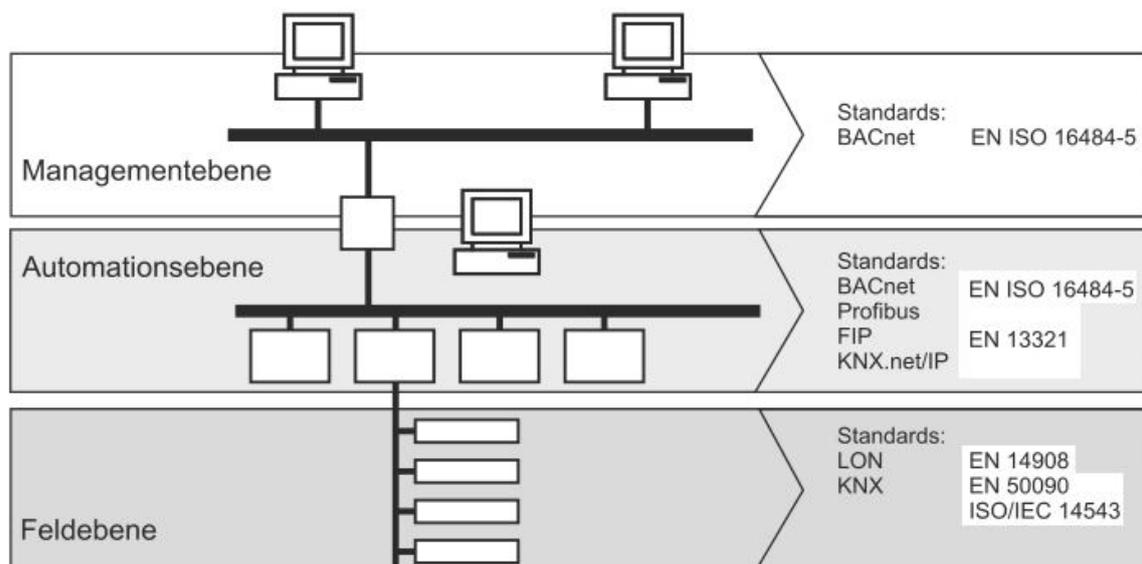


Abbildung 1.3: Genormte Bussysteme und Netze in der Gebäudeautomatisierung [19]

Europäische Normen werden hierbei durch den Zusatz EN, internationale Normen der International Organization for Standardization (Internationale Organisation für Normung) durch ISO und internationale Normen der International Electrotechnical Commission (Internationale elektrotechnische Kommission) durch IEC gekennzeichnet.

Auf der Feldebene findet sich neben der LON-Technologie auch das Bussystem KNX. Beide sind in den europäischen Normen EN 14908 und EN 50090 bzw. in ISO/IEC 14543 standardisiert. Auf der Automationsebene konnte sich das in der weltweiten Norm EN ISO 16484-5 aufgeführte BACnet durchsetzen. Des Weiteren finden sich hier der aus der Industrieautomation bekannte Profibus und das aus Frankreich kommende Factory Instrumentation Protocol (FIP, genauer WorldFIP). Für Kommunikationsverbindungen auf der Managementebene findet sich allein BACnet. [19]

1.5 Struktur in der Gebäudeleittechnik

Mit der industriellen Kommunikation wird, im Gegensatz z.B. zur Sprachkommunikation zwischen Menschen, die Kommunikation zwischen Geräten der industriellen Automatisierungstechnik bezeichnet. [19]

Wie in Abbildung 1.3 zusehen war, ist die Struktur in der Gebäudeleittechnik klar gegliedert. Es gibt eine Feldebene, in der sich die Sensoren und Aktoren befinden. In der Automatisierungsebene stehen die Anlagen zur Kälte-, Wärme- und Stromversorgung und die Managementebene kommuniziert mit den Anlagen im Verbund über den Gebäudeleitrechner. Auch innerhalb der Ebenen muss eine Kommunikation stattfinden, dies behandeln ebenfalls die folgenden Kapitel.

1.5.1 Feldebene

Die Feldebene ist die unterste Ebene der Gebäudeleittechnik und besteht aus Sensoren und Aktoren, diese sind die sogenannten Feldgeräte. Die Feldgeräte können Schalten, Stellen, Melden, Messen und Zählen und sind über einen Feldbus miteinander verbunden. Die Teilnehmer dieses Feldbusses werden auch als „intelligent“ bezeichnet, da sie die Bitinformationen über Mikrocontroller senden. [19]

Ein Feldbus ist ein digitaler, serieller Datenbus für die Kommunikation zwischen Geräten der industriellen Automatisierungstechnik, wie z.B. Messeinrichtungen, Reglern und speicherprogrammierbaren Steuerungen. [DIN EN 61158, DIN EN 61784]

Typischerweise übertragen Feldbusse in kurzer Zeit, nur wenig Bitinformationen. Die Anforderungen an den Feldbus sind somit die Bitübertragungsrate, die mögliche Teilnehmeranzahl und die Leitungslänge.

Wenn die Sensoren etwas erfassen, messen oder zählen, werden diese Informationen an die nächsthöhere Ebene, der Automatisierungsebene weitergegeben. Falls diese Ebene oder die Managementebene Entscheidungen trifft, werden die Aktoren aktiv. Sie öffnen oder

schließen zum Beispiel ein Ventil oder schalten das Licht ein bzw. aus. Beispiele für Feldbusse in der Gebäudeautomation sind KNX früher EIB (Europäischer Installationsbus) und LON (Local Operating Network - Lokal operierendes Netzwerk).

1.5.2 Automatisierungsebene

Die mittlere Ebene in der Gebäudeleittechnik ist die Automatisierungsebene. Hier sind die gesamten Anlagen der Gebäudeversorgung verknüpft. Um die Kommunikation untereinander und zur Managementebene herzustellen, werden Computernetze verwendet. Charakteristisch für diese Verbindung ist, die Übertragung größerer Datenmengen, hierbei wird den Computernetzen im Gegensatz zu den Feldbussen, mehr Zeit eingeräumt.

Ein Computernetz, kurz Netz, ist ein Zusammenschluss (über Leitungen oder Funk) von verschiedenen technischen Systemen, so dass die Kommunikation der einzelnen Systeme untereinander ermöglicht wird. Die Kommunikation kann mittels des ISO/OSI-Referenzmodells strukturiert werden und wird nach Maßgabe bestimmter Regeln, so genannter Protokolle, abgewickelt. [19]

Wenn Informationen von einem Sensor zur Anlage gelangen, werden diese ausgewertet und je nach Programmierung die Aktoren angesteuert. Zusätzlich senden die Anlagen diese Informationen an die Managementebene. Beispiele für die Netzwerkprotokolle in der Automatisierungsebene sind BACnet, Profibus, Modbus und IEC61850.

1.5.3 Managementebene

Die Managementebene ist die oberste Ebene der Gebäudeleittechnik. In dieser Ebene befindet sich der Gebäudeleitreechner, der die Steuerungen im Gebäude für den Benutzer übernimmt und visualisiert. Wie bei der Automatisierungsebene kommen in der Managementebene die Computernetze zur Kommunikation mit den unteren Ebenen zum Einsatz, da größere Datenmengen zum Transport bereitstehen. [19]

Kommen Informationen aus den unteren Ebenen zur Managementebene, so werden diese hier ausgewertet und für den Benutzer visualisiert dargestellt. Dieser kann vom Gebäudeleitreechner Änderungen wie zum Beispiel eine Temperaturanpassung vornehmen. Hauptsächlich steht jedoch der Leitreechner zur Kontrolle bei eventuellen Störfällen in der Gebäudeversorgung zur Verfügung. Alarmsignale und Störmeldungen können hier erfasst und gegebenenfalls behoben werden. Beispiele für Netzwerkprotokolle in der Managementebene sind auch hier BACnet, Profibus, Modbus, und IEC61850.

1.6 Kommunikation über ISO/OSI-Referenzmodell

Das ISO/OSI-Referenzmodell ist ein internationaler Standard [ISO IS 7498] und beschreibt, wie man geschichtete Protokolle bzw. Regelsätze zum Ablauf einer Kommunikation erstellen kann. Weiterhin liefert es eine Beschreibung der Aufgaben, die in den einzelnen Protokollschichten zu implementieren sind. [19]

Dabei steht ISO für International Organisation for Standardization (Internationale Organisation für Normung) und OSI für Reference Model for Open System Interconnection (Referenzmodell für die Kommunikation offener Systeme).

Kommunikationsprotokolle zwischen zwei Rechner werden typischerweise über Schichten aufgebaut. Diese Schichtung nennt man auch Protokoll Stack. Jede Schicht übernimmt dabei Teilaufgaben für die Kommunikation, so durchlaufen die Daten beim ISO/OSI-Referenzmodell sieben Schichten. Der Empfänger durchläuft die Schichten aufwärts und der Sender wie folgt.

Schicht 7 Anwendungsschicht (Application):

- Funktionen für die Anwendungen zur Verfügung stellen
- Verbindung zu den unteren Schichten aufbauen
- Dateneingabe und -ausgabe

Schicht 6 Darstellungsschicht (Presentation):

- Daten in Codecs und Formate umwandeln
- Daten von Anwendungsschicht in geeignetes Format umwandeln

Schicht 5 Kommunikationsschicht (Session):

- Verbindung zwischen Endsystemen organisieren
- Steuerungs- und Kontrollmechanismen für die Verbindung und dem Datenaustausch

Schicht 4 Transportschicht (Transport):

- Bindeglied zwischen transportorientierten und anwendungsorientierten Schichten
- Datenpakete einer Anwendung zuordnen

Schicht 3 Vermittlungsschicht (Network):

- zeitliche und logische getrennte Kommunikation zwischen Endgeräten steuern
- logische Adressierung der Endgeräte

Schicht 2 Sicherungsschicht (Data Link):

- zuverlässige und funktionierende Verbindung zwischen Endgerät und Übertragungsmedium
- Funktionen zur Fehlererkennung, Fehlerbehebung und Datenflusskontrolle enthalten

- physikalische Adressierung von Datenpaketen

Schicht 1 Bitübertragungsschicht (Physical):

- elektrische, mechanische und funktionale Schnittstelle zum Übertragungsmedium definieren

Für das Internet und die dezentralen Netzwerke ist das TCP/IP-Referenzmodell, das in vier Schichten aufgebaut ist, zuständig. Bei diesem Modell werden die Schichten sieben bis fünf vom ISO/OSI-Referenzmodell in einer Anwendungsschicht zusammengefasst. HTTP und POP sind nur zwei Beispiele von vielen möglichen Protokollen in der Anwendungsschicht. HTTP steht für Hypertext Transfer Protocol (Hypertext-Übertragungsprotokoll) und dient zum Laden von Internetseiten in einem Internetbrowser. POP steht für Post Office Protocol (Elektronische Post Übertragungsprotokoll) und beinhaltet das Abholen von Mails über einen Client vom Server. Die Transportschicht bleibt bestehen und besitzt das TCP Protokoll (Transmission Control Protocol - Übertragungssteuerungsprotokoll) - dies sichert und steuert den Datenfluss. Die Vermittlungsschicht wird zur Internetschicht, in der sich das IP Protokoll (Internet Protocol - Internet Protokoll) befindet und dessen Aufgabe die Adressierung und Übertragung von Datenpaketen ist. Die Sicherungsschicht und die Bitübertragungsschicht lassen sich in einer Netzzugangsschicht bündeln. Hier befindet sich zum Beispiel das Ethernet Protokoll, dies beinhaltet die Festlegung für Kabeltypen, Stecker und Übertragungsformen. [27]

1.7 Kanalzugriffsverfahren

Jede Internetkommunikation basiert auf dem Client Server Verhalten, vergleichbar mit dem Master-Slave Mechanismus. Die Verbindung wird über eine Anfrage vom Client an den Server aufgebaut. Nur wenn der Server eine Anfrage mit den erforderlichen Dienstleistungen erhält, wird er aktiv. Aus diesen Dienstleistungen entwickelt er nun eine Antwort für den Client.

Auch bei Geräten der Automatisierungstechnik ist die digitale Übertragungstechnik allein nicht ausreichend, um eine fehlerfreie Kommunikation zu ermöglichen. Ein Kommunikationssystem muss neben übertragungstechnischen Funktionen eine außerordentlich große Vielfalt weiterer Kommunikationsfunktionen bereitstellen, und es wird ein Satz von verbindlichen Regeln benötigt, nach denen die Kommunikation ablaufen muss. Ein solches Regelwerk nennt man auch Protokoll.

Ein Protokoll ist ein Satz von Regeln, nach denen die Kommunikation zwischen zwei Kommunikationspartnern ablaufen muss.

In einem Protokoll müssen z. B. folgende Dinge festgelegt sein:

- Wer darf wann auf das Übertragungsmedium zugreifen?
- Wie werden Fehler bei der Datenübertragung entdeckt und was geschieht, wenn ein Fehler entdeckt wurde?
- Was geschieht, wenn ein Empfänger mehr Daten erhält, als er zurzeit verarbeiten kann?
- Wie gelangen Datentelegramme an die richtigen Empfänger? [27]

1.8 Netzwerkprotokolle

Es gibt eine Vielzahl von Anbietern für Protokolle in der Gebäudeautomatisierungstechnik. Diese alle aufzuführen würde den Rahmen dieser Bachelorarbeit sprengen, deshalb wird in der Arbeit nur auf die drei standardisierten Protokolle näher eingegangen. Für die Management- und Automatisierungsebene wird das BACnet Protokoll und für die Feldebene, LonWorks und KNX näher erläutert. Zusätzlich wird die OPC Verbindung betrachtet, da diese Verbindungsart eine wichtige Rolle in meiner Bachelorarbeit einnimmt.

1.8.1 LonWorks

1980 hatte das damalige Vorstandsmitglied von Apple Mike Markkula die Idee Mikrocomputer kostengünstig herzustellen, sodass sie in Haushaltsgeräten eingebaut werden konnten. 1986 gründete er zusammen mit Dr. Ken Oshmann die Firma Echolon, die sich der Aufgabe stellte, dezentrale Netzwerk zu erstellen. Dafür wurde 1990 der Neuron-Chip der Öffentlichkeit präsentiert und zuerst durch Toshiba, Motorola und später durch Cypress produziert. Dieser Prozessor diente als Kommunikationsschnittstelle zum Datenaustausch mit anderen Automatisierungssteuerungen.

Heute ist die Lon-Technologie ein genormtes Bussystem [EN 14908]. Die wichtigsten Vorteile von LonWorks in der Gebäudesystemtechnik sind die Komfortfunktionen, Energiemanagementfunktionen und die Flexibilität. Dabei liegt der Schwerpunkt eindeutig in der Raumautomatisierung, insbesondere in der Lichtreglung eines Raumes. Über Zeitschaltprogramme kann zum Beispiel nach Feierabend, das Ausschalten der Lichter im Gebäude automatisch erfolgen und zusätzlich die Thermostate heruntergeregelt werden. Durch Änderungen in der Lichtsteuerung im Gebäude ist keine Umverdrahtung nötig, denn die neue Ansteuerung kann über das Umprogrammieren einfach in der Gebäudeautomatisierung umgesetzt werden. Im Allgemeinen ist LonWorks auch für die Gebäudeautomatisierung der Heizung, Kälte und Lüftungsanlagen geeignet und übernimmt dabei vorwiegend die Mess-, Steuer- und Regelfunktionen über lokale dezentrale Komponenten. [19]

1.8.2 KNX

Am 08.05.1990 wurde der EIB (Europäischer Installationsbus) aus 15 Herstellern von Gebäudeautomatisierungssystemen, die sich zur EIBA (European Installation Bus Association) zusammengeschlossen haben, gegründet. Ab Mai 1999 ist EIB unter KNX vermarktet worden, dies ist aus dem Zusammenschluss von EIBA, BCI (BatiBUS Club International) und EHSA (European Home Systems Association) hervorgegangen.

KNX ist ein industrielles Kommunikationssystem, welches Funktionen und automatisierte Abläufe sicherstellt. Dieses System ist ein guter Einstieg in die Welt der Bustechnik und wird häufig zur Automatisierung der Beleuchtungstechnik im häuslichen Gebrauch eingesetzt. Das Hauptaugenmerk liegt dabei, auf den Datenaustausch der Sensoren, Aktoren, Steuer- und Regelgeräte sowie Bedien- und Beobachtungsgeräte. Folgendes Beispiel soll dies veranschaulichen. Ein Sensor registriert eine Reaktion, wie zum Beispiel einen Tastendruck. Dann wird ein Datentelegramm über den Bus an den Aktor gesendet, dieser quittiert den Empfang und zeigt eine Reaktion auf die Erfassung vom Sensor. In diesem Fall schaltet er das Licht an. [19]

1.8.3 BACnet

Das wichtigste Protokoll in der Gebäudeautomatisierung ist das BACnet Protokoll. BACnet heißt Building Automation and Control Network und wurde von der American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers kurz ASHRAE entwickelt. Es ist seit 1995 ein standardisiertes Kommunikationsprotokoll in der Gebäudeautomatisierung und seit 2003 sogar laut DIN EN ISO 16484-5 genormt.

Das Protokoll ist deshalb genormt, weil es sich durch Interoperabilität auszeichnet und herstellerübergreifend arbeitet und somit verschiedenste Anlagen in die Gebäudeautomatisierung integrieren kann. Mit Interoperabilität ist die gleiche Funktionalität bei unterschiedlicher Software und Hardware gewährleistet. Zudem ist BACnet geeignet für Systeme mit großen räumlichen Ausdehnungen sowie für Systeme mit mehreren Bedienstationen. Ein weiterer Vorteil ist die objektorientierte Struktur - darunter versteht man, dass BACnet Datenpunkte wie Eingänge oder Ausgänge erfasst und diese als Objekte abspeichert, somit sind sie leichter einer Anlage zuzuordnen. Dabei beschreibt das Protokoll die Eigenschaften und Zustände von den Elementen der Gebäudeautomatisierung.

Dieses Protokoll ist zudem lizenzfrei zu erwerben und verbessert somit den Kostensenkungsfaktor für ein Gebäudeautomatisierungssystem. Daraus folgt, dass das BACnet Protokoll, für die Managementebene sowie für die Automatisierungsebene geeignet ist. [19]

1.8.4 OPC

OPC steht für OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control oder auch „Objekt-Verknüpfungen und -Einbettungen für die Prozess Kontrolle“. OPC ist eine einheitliche Softwareschnittstelle für die Automatisierungstechnik, und kein weiterer Standard für die Geräteverbindung. Dies veranschaulicht die folgende Abbildung 1.4.

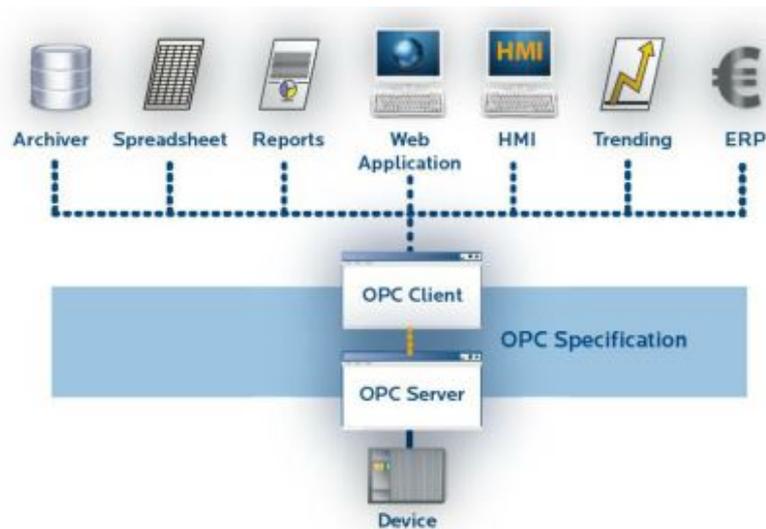


Abbildung 1.4: OPC Verbindung in einem Automatisierungssystem [18]

Im Grunde genommen bedeutet es viel Aufwand, eine Software in die Gebäudeautomatisierung anzupassen oder neue Komponenten in das Gebäudeverwaltungssystem einzubinden. Dies soll mit OPC minimiert werden, denn es entfallen die beidseitigen Treiberprobleme, da sich der OPC-Server und der OPC-Client zwischen der Datenquelle und dem Empfänger befindet. Dabei übersetzt der OPC-Server die Sprache der Datenquelle und sendet die benötigten Daten an den OPC-Client. OPC dient somit als Vermittlungsschicht, die Daten von Geräten, Controllern und Anwendungen abrufen, ohne dabei auf die Protokollsprache angewiesen zu sein. Der OPC-Client ist für die Visualisierung der benötigten Daten über eine Bedien- und Beobachtungsgerät verantwortlich. Zusätzlich sind Anwendungen für den OPC-Client zu erwerben, die bei Wartungszyklen, Heizung-Lüftung-Klimatechnik, Beleuchtungssteuerung und Sicherheitstechnik unterstützen. Falls Geräte anderer Hersteller in das System integriert werden, so ist dies über eine Verbindung zu dem entsprechenden OPC-Server herzustellen. OPC-Server gibt es für KNX, Modbus, BACnet sowie für LonWorks. [18] Über eine OPC-Verbindung kann mittels Matlab eine Anlage, bevor sie in das System integriert wird, getestet bzw. beobachtet werden. Dazu ist ein Modell in Matlab nötig, welches mit einem OPC-Client und OPC-Server ausgestattet wird.

2 Anforderungen und Problemstellung

Um die Anforderungen aufzustellen, müssen zuerst die Anlagen vom „Energie Campus“ Hamburg näher betrachtet werden. Danach folgen die Bedürfnisse an die Gebäudeautomatisierung und insbesondere wird dabei auf die Automatisierung des Heiz- und Kühlsystems des Gebäudes eingegangen. Diese Forderungen werden zudem an Beispielen erläutert und die dabei auftretenden Probleme im Anschluss erörtert, um aus diesen Rückschlüsse an eine Technische Analyse aufzubauen.

2.1 Anlagenportfolio

Das Anlagenportfolio des Forschungsgebäudes umfasst die Sicherheitssysteme, die Lüftungsanlage und die Gewerke für das Heiz- und Kühlsystem. Dazu gehören das Blockheizkraftwerk, welches mit der Photovoltaik, zusätzlich für die Stromversorgung des Gebäudes eingesetzt wird. Die reversible Wärmepumpe wird nicht nur für das Heizsystem eingesetzt, sondern kann durch ihre besonderen Eigenschaften dem Gebäude auch Wärme entziehen und findet somit seinen Platz im Kühlsystem des Gebäudes. Sehr wichtig für das Heiz- und Kühlsystem sind zudem die Speicher, die das Heizwasser bei Bedarf speichern können und zu gegebener Zeit bzw. bei einer bestimmten Temperatur in den Heiz- bzw. Kühlkreislauf abgeben können. Zur zusätzlichen Erwärmung des Heizwassers sind die Speicher mit Heizstäben ausgestattet. Zudem ist für die Beladung der Speicher, die Hydraulik ein wichtiger steuerbarer Faktor im System. An das System sind die benötigten Heizflächen angeschlossen. Dazu gehören die Heizkörper in den Räumen sowie die Betonkernaktivierung in der Decke. Für den Kühlkreislauf ist zusätzlich zur reversiblen Wärmepumpe, eine Kältemaschine zur Unterstützung vorgesehen. Die nun folgenden Anlagen dienen, zusätzlich zu den bereits aufgeführten Anlagen, der Forschung und Weiterentwicklung neuer Speicherkonzepte, wie zum Beispiel die Umwandlung von Strom in Gas. Dafür werden eine Elektrolyseanlage und eine Methanisierungsanlage angeschafft. Zudem ist eine Batterie und eine Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge vorgesehen. Sogar eine Anbindung an das Windlabor ist vorgesehen. Dieses Labor forscht und entwickelt im Bereich der Windenergie und hat einen direkten Zugang zu den drei geplanten 180m hohen Windkraftanlagen im Einzugsgebiet. In den folgenden Kapiteln werden die benötigten Anlagen vorgestellt.

2.1.1 Sicherheitssysteme

Zu den Sicherheitssystemen gehören zum einen die Brandmelde- und Brandbekämpfungssysteme, Einbruchmeldesysteme sowie Schließanlagen. Im „Energie Campus“ Hamburg werden Sprinkleranlagen und Brandschutzklappen, die im Brandfall schließen als Brandbekämpfungssysteme eingesetzt. Der Einsatz von Feuermeldern als Brandschutzmeldevorrichtungen im Gebäude ist ebenfalls vorgesehen. Es werden Einbruchmeldesysteme wie Bewegungsmelder und Alarmgeber installiert, allerdings ist bei der Planung des Gebäudes die Videoüberwachung aus datenschutzrechtlicher Sicht entfallen. Die Schließanlagen bzw. Zutrittskontrollen werden nicht über die Gebäudeleitrechner gesteuert, sondern über die HAW internen programmierbaren Schließzylinder vorgenommen.

2.1.2 Hydraulik und Heizflächen

Zu der Hydraulik gehören die gesamten Ventile und Rohrsysteme im Heiz- und Kühlkreislauf. Jedes einzelne Ventil soll über den Rechner für die Forschungsanlagen bedienbar sein - am Gebäudeleitrechner sind diese automatisiert gesteuert. Die Ventile sind notwendig, um verschiedene Szenarien für das Gebäude im Zusammenspiel mit Speicher und den Heiz- bzw. Kühlanlagen zu erarbeiten.

Die Heizkörper im Gebäude und die Betonkernaktivierung dienen als Heizflächen. Unter einer Betonkernaktivierung versteht man Rohre, die für das Heiz- und Kühlsystem in der Betondecke implementiert sind. Durch diese Rohre fließt Heiz- bzw. Kühlwasser, um das Gebäude zusätzlich zu den Heizkörpern an den Wänden über den Boden bzw. Decke zu erwärmen oder zu kühlen. Da die Betonkernaktivierung ein sehr träges System ist, müssen bestimmte Größen messbar bzw. steuerbar sein. Das sind zum einen die Wasservorlauftemperatur, der Wasser-Massenstrom, der Zeitpunkt und die Dauer der Heiz bzw. Kühlzyklen und die Umschaltbedingungen. Die Umschaltbedingungen wären Wetterdaten, Jahreszeiten, Raumtemperaturen, Nutzungszeiten und die Wasserrücklauftemperatur. Die Betonkernaktivierung im „Energie Campus“ Hamburg wird in der Deckenplatte zwischen den beiden vorgesehenen Etagen realisiert, die Montagehalle wird dabei ausgespart. [3]

2.1.3 Kältemaschine

Für die Gebäudekühlung ist die Kältemaschine ein wichtiger Faktor im kompakten Kühlsystem. Die Kältemaschine ist keine autarke Anlage, sondern ein wichtiger Bestandteil im Heiz- und Kühlkreislauf. Sie ist im Kältemittelkreislauf integriert, um dem Gebäude bei Bedarf die

Wärme zu entziehen und diese dann an die Umgebung abzugeben. Der Ablauf eines Kaltluft-Kompressionskältemaschinen-Prozesses mit einem elektrisch betriebenen Kompressor beginnt mit der Wärmeabgabe aus dem zu kühlenden Raum, dies geschieht über einen Wärmetauscher. Die aufgenommene Wärme wird dann über den Kompressor verdichtet, es wird ein höheres Druckniveau erreicht. Durch den höheren Druck steigt die Temperatur des hier bereits gasförmigen Kältemittels. Der nächste Schritt ist das Abkühlen und das Verflüssigen. Dabei wird ein Kondensator benutzt, der die Wärme an die Außenluft abgibt. Die Wärme kann schließlich durch Wärmerückgewinnungsbestandteile, wie Wärmetauscher im System der Anlage für die Wärmeversorgung genutzt werden. Über ein Expansionsventil wird nun der überschüssige Druck abgebaut, damit die Kühlung des Kältemittels erfolgt. Nun gelangt das gekühlte Kältemittel wieder in den Verdampfungs- und Überhitzungsprozess. Dabei wird die abgeführte Wärme des Gebäudes wieder durch das Kältemittel gekühlt. [3]

2.1.4 Reversible Wärmepumpe

Die reversible Wärmepumpe ist mit Unterstützung des Blockheizkraftwerks für die Wärmeversorgung im Gebäude zuständig. Zudem ist die Wärmepumpe ein Bestandteil des Kühlkreislaufes. Mit Hilfe der geothermischen Nutzung von Erdsonden wird die Wärmepumpe betrieben. Über Erdbohrungen in 10m Tiefe werden die acht Erdsonden verlegt. Eine Erdsonde besteht dabei aus 4 Kunststoffrohren, die am unteren Ende über zwei U-Rohre verbunden sind. Die Bohrungen werden mit Bentonit-Zement-Wasser-Suspension verfüllt, damit eine gute Wärmeleitfähigkeit gewährleistet wird und die Erdsonden gut gegen Wasser abgedichtet sind. Das Funktionsprinzip der reversiblen Wärmepumpe ist mit dem der Kältemaschine vergleichbar. Zusätzlich zu dem Kühlkreislauf (siehe Kältemaschine Kapitel 2.1.3) kann der Heizkreislauf beliefert werden. Für den Heizbetrieb wird die entstandene Wärme aus der Sole genutzt, die in den Erdsonden zirkuliert, um über einen Wärmetauscher das Kältemittel im Heizkreislauf zu erhitzen bzw. zu verdampfen. Durch den Verdichter wird der Druck erhöht und die Temperatur steigt weiter an. Durch einen Wärmetauscher wird die entstandene Wärme für den Heizkreislauf entnommen. Das Expansionsventil baut den Druck nach der Wärmeversorgung wieder ab und kühlt somit das Kältemittel. Danach beginnt der Kreislauf erneut. Mit den 8 Erdsonden ist eine Heizleistung von 3KW möglich. Die Nutzung der reversiblen Wärmepumpe als Umwälzpumpe ist ebenso gegeben. Unter einer Umwälzpumpe versteht man, dass das warme oder kühle Wasser in den Heiz- bzw. Kühlkreislauf gepumpt wird und zugleich das jeweils rückläufige Wasser wieder für die erneute Aufbereitung genutzt werden kann. [3]

2.1.5 Blockheizkraftwerk

Das Blockheizkraftwerk ist ein wichtiger Bestandteil des Heiz- und Kühlkreislaufs im Gebäude. Zudem ist es für die Stromerzeugung im „Energie Campus“ zuständig, die dabei anfallende Wärme am Generator wird ebenfalls für die Wärmeversorgung im Gebäude genutzt. Das Betreiben des Gebäudekraftwerks, hergestellt durch die Firma kraftwerk aus Hannover, geschieht über die Zugabe von Erdgas oder Flüssiggas. Zudem ist eine Zugabe von Klär- oder Biogasen denkbar. Im Blockheizkraftwerk treibt ein 4-Zylinder-Ottomotor mit 2261cm^3 von Ford einen Generator an, der die mechanische Energie in Strom umwandelt und die dabei anfallende Abwärme über Plattenwärmetauscher für die Gebäudeheizung nutzt. Der mit einem Luft-Gas-Gemisch angetriebene Motor besitzt eine Wasserkühlung - dieses durch den Motor erwärmte Wasser wird ebenfalls über die Plattentaucher für die Gebäudeheizung genutzt. Zudem befindet sich ein Heizkessel in der Anlage, der bei Wärmespitzenbedarf zur Verfügung steht. Der produzierte Strom vom Generator kann ins Netz eingespeist oder im Gebäude verbraucht werden.

Das Modell Mephisto G16+ was bereits für den „Energie Campus“ Hamburg angeschafft wurde, besitzt eine regelbare elektrische Leistung von 5-16kW. Die thermische regelbare Leistung beträgt 19-35,3kW. Der elektrische Wirkungsgrad der Anlage liegt bei 31,5%, der thermische bei 69,5%. Demnach beträgt der berechnete Wirkungsgrad insgesamt 101%. [14]

2.1.6 Lüftungsanlage

Die Lüftungsanlage befindet sich auf dem Dach und sorgt für eine bedarfsgerechte Lüftung des Gebäudes. Dabei wird die Außenluft dem System zugeführt, über Filtersysteme gereinigt und in die Räume transportiert. Während die verbrauchte Abluft dem Gebäude entzogen und an die Umwelt abgegeben wird, kann die Nutzung der Zuluft bzw. Abluft zur zusätzlichen Kühlung oder Erwärmung des Heiz- und Kühlkreislaufes über Wärmerückgewinnungsanlagen erfolgen.

2.1.7 Heiz- bzw. Kühlepeicher

Ein Speicher wird benötigt, um Wärme bzw. Kälte bei Überangebot oder überschüssiger Energie aufzunehmen und bei Bedarf die Wärme bzw. Kälte wieder abzugeben. Die Speicherung von Wärme oder Kälte kann latent (verborgen, versteckt), sensibel (fühlbar) oder chemisch gebunden erfolgen.

Im „Energie Campus“ Hamburg werden sechs 1000l-Speicher für den Heiz- und Kühlkreislauf installiert. Ein Speicher wird dabei ausschließlich als Kühltpeicher verwendet. Die restlichen fünf Wärmespeicher bestehen aus zwei Latentwärmespeichern und drei sensiblen Wärmespeichern. Unter einem Latentwärmespeicher versteht man, dass bei einem Phasenwechsel, beispielsweise von fest zu flüssig, Energie in Form von Wärme frei wird. Ein anschauliches Beispiel gibt der Taschenwärmer, hier werden durch die Erwärmung die Kristalle flüssig, speichern die Wärme und geben sie nach und nach an die Umwelt ab, bis die Kristallbildung wieder vervollständigt ist. In den Latentwärmespeichern wird das gleiche Prinzip genutzt, hier wird der Speicher mit sogenannten Parafinen gefüllt und durch endotherme bzw. exotherme Vorgänge Wärme freigesetzt. Zur Aktivierung der endothermen Reaktion wird Wärme benötigt, die über Wärmetauscher im Speicher vom Blockheizkraftwerk oder von der reversiblen Wärmepumpe gespeist werden. Durch die höhere Wärmedichte der Parafine wird eine höhere Temperatur im Speicher erreicht. Diese Wärme wird wieder über Wärmetauscher abgegriffen und dem Heizkreislauf zur Verfügung gestellt. Ein großer Nachteil der Parafine ist ihre Brennbarkeit. [3]

Sensible Wärmespeicher sind mit Wasser gefüllt und werden vom Blockheizkraftwerk oder der reversiblen Wärmepumpe gespeist. Dabei findet die Einspeisung von warmem Wasser von oben und die Entnahme des abgekühlten Wassers von unten statt. Das abgekühlte Wasser wird direkt zurück in den Vorlauf des Heizkreises eingeführt und durch das Blockheizkraftwerk bzw. der reversiblen Wärmepumpe wieder erwärmt. Der Vorteil dieser Anordnung ist, dass bereits Wärme für den Heizkreislauf zur Verfügung steht, wenn der Speicher nur teilweise beladen ist. Zur besseren Beobachtung sind nicht nur Temperatursensoren im oberen und unteren Bereich nötig, sondern auch zwischen diesen Bereichen. Um die Wärmemenge besser nutzen zu können, sind die Speicher meistens schlank.

Die Aktivierung für eine Beladung oder Entladung der Speicher erfolgt über die bereits vorher erwähnten Temperatursensoren. Eine Beladung findet statt, wenn der Sensor in der obersten Schicht die Solltemperatur unterschreitet und der Speicher somit leer, sprich energetisch leer ist. Wird der Sollwert der Temperatur in der untersten Schicht des Speicher erreicht, ist der Speicher voll und es kann die Wärme vollständig für den Heizkreislauf verwendet werden.

2.1.8 Heizstäbe

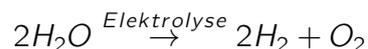
Die Heizstäbe sitzen in den Speichern und unterstützen das Blockheizkraftwerk und die Wärmepumpe. Sie erwärmen bei Bedarf zusätzlich das Wasser in den Speichern, damit das Heizwasser die richtige Temperatur für den Heizkreislauf besitzt. Die Energie für die Heizstäbe kommt entweder aus dem Stromnetz oder auch von den Anlagen, die im Gebäude für die Stromversorgung zuständig sind.

2.1.9 Photovoltaikanlage

Die Stromgewinnung durch das Blockheizkraftwerk soll zusätzlich nach der Fertigstellung des „Energie Campus“ Hamburg zu einem späteren, noch nicht geplanten Zeitpunkt durch eine Photovoltaikanlage auf dem Dach unterstützt werden. Zurzeit wird noch geprüft, welche Ausmaße die Anlage einnehmen und ob es sich um eine netzgekoppelt oder eine Inselanlage handeln soll. Eine netzgekoppelte Anlage wird zur Stromversorgung innerhalb des Gebäudes genutzt, ungenutzter Strom wird zudem in das Netz eingespeist. Der Unterschied zur Inselanlage ist, dass hier kein Anschluss an das Netz vorliegt. Der ungenutzte Strom kann mit Hilfe einer Batterie gespeichert werden und zu einem späteren Zeitpunkt zum Beispiel in der Nacht, wenn keine Sonneneinstrahlung zur Verfügung steht, genutzt werden. [21]

2.1.10 Elektrolyseur

Bei einer Elektrolyse wird mit Hilfe des elektrischen Stroms, eine chemische Reaktion ausgelöst. Dabei wird Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff nach folgender Formel gespalten.



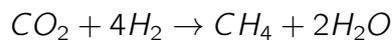
Der Sauerstoff wird nicht weiter benötigt und deshalb über die Abluft an die Umwelt abgegeben. Der Wasserstoff hingegen wird auf dem Gebäudedach in den dafür vorgesehenen Behältern gespeichert und gelagert. Diese Wasserstoffbehälter können bei Bedarf zur Herstellung für Methan genutzt werden. Dazu mehr im nächsten Kapitel Methanisierungsanlage. [9]

Der Elektrolyseur im Forschungsgebäude „Energie Campus“ Hamburg von der Firma H-Tec Systems besitzt 144 Zellen, die als Spannungsquellen dienen. Damit können ca. $3,3\text{Nm}^3$ Wasserstoff in der Stunde produziert werden. Die Umgebungsbedingungen des Herstellers sind dabei zu beachten und einzuhalten. Eine Temperatur von $4\text{-}50^\circ\text{C}$ und eine Luftfeuchte bis zu 90% sind die Grundvoraussetzungen. Um die Sicherheit zu gewährleisten muss Schutzart IP22 erfüllt sein. Die besagt, dass die Anlage gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser ab 12,5mm und gegen den Zugang mit den Fingern geschützt ist. Zusätzlich muss Schutz gegen fallendes Tropfwasser gewährleistet werden, wenn das Gehäuse bis zu 15° geneigt ist. Außerdem muss für ausreichend Lüftung nach IEC 60079-10, Zone 2 gesorgt werden, da unter atmosphärischen Bedingungen vorliegendes Gemisch von Luft und einem brennbaren Material in Form von Gas, Dampf, Nebel, Staub, Fasern oder Flocken, in dem sich nach Zündung die Verbrennung im gesamten unverbrauchten Gemisch fortpflanzt. Zone 2 besagt, dass nur selten oder kurzzeitig eine explosionsfähige Atmosphäre aus einem Gemisch von Luft und brennbaren Substanzen entsteht. Deshalb ist diese Anlage nicht für

den Betrieb in gefahren- oder explosionsgefährdeten Zonen geeignet. [IEC 60079-10, Zone 2]

2.1.11 Methanisierungsanlage

Die Methanisierung ist eine chemische Reaktion, bei der mit Hilfe von Kohlendioxid und dem aus der Elektrolyse gewonnenen Wasserstoffes nach folgender Form, Methan produziert wird.



Ein Nebenprodukt ist das Wasser, was an die Umwelt abgegeben werden kann. Für die Reaktion ist allerdings ein Temperaturintervall von 300-700°C nötig. Da diese Technik sich noch in der Entwicklung befindet, sind hier noch keine Anlagen beschafft bzw. in Betracht gezogen worden. [22]

2.1.12 Speicherbatterie

Damit die Speicherbatterie im Haus geladen und Energie ins Netz speisen kann, bedarf es einer Versorgungseinheit und eines Gleichstromstellers. Die Versorgungseinheit bildet aus dem Drehstromnetz einen Gleichstrom-Zwischenkreis, damit kann eine Netzeinspeisung ungesteuert erfolgen. Das Modell RPCS 620 S von der Firma Refu ist für einen Leistungsbe- reich von 45 - 300 kW ausgelegt und zeichnet sich durch einen Leistungsfaktor von nahezu 1 aus, das heißt, dass sich die Gesamtblindleistung reduziert und Energiekosten eingespart werden. Zudem werden durch die Versorgungseinheit die Oberschwingungen entfernt, wo- durch andere elektronische Bauteile im Gebäude geschützt werden. [23]

Ein Gleichstromsteller verschiebt die Energie von einem Gleichspannungspotenzial auf ein anderes. Für den „Energie Campus“ wird ein Zweiquadrantensteller gekauft. Ein Zweiqua- drantensteller ist ein Tiefsetzsteller, bei dem die Ausgangsspannung kleiner als die Ein- gangsspannung ist. Das Modell RPCS 620 Q von der Firma Refu ist für eine Leistung von 30-200 kW ausgelegt und zeichnet sich durch sehr hohe Strom- und Spannungsgenauigkeit und geringe Spannungsripple aus. [23]

Für die Batterien wird ebenfalls eine Refu Batteriesystem zum Einsatz kommen. Diese liegen im Bereich von 2 -240 kWh und bestehen aus Lithium-Eisen-Phosphat-Akkumulatoren. Die- se Batterien zeichnen sich durch hohe Zyklenfestigkeit, kurze Ladezeiten und Wartungsfrei- heit aus. Dies wird durch das mitgelieferte Batterie-Management-System ermöglicht. [23]

2.1.13 Ladeinfrastruktur

Über die Versorgungseinheit der Speicherbatterie ist auch ein Anschluss eines Ladegerätes denkbar. Dieses Ladegerät könnte dann zum Beispiel ein Auto oder ein Fahrrad mit integriertem Akkumulator laden. Die Ladegeräte von Refu zeichnen sich durch kurze Ladezeiten, durch eine gezielte Ladestromsteuerung und Übertemperaturschutz aus. [23]

Es ist geplant, einen BMW 3i oder einen Nissan Leave für die Ladestation im „Energie Campus“ Hamburg anzuschaffen. Zudem wäre es möglich, für Fahrräder ebenfalls eine Ladebuchse zur Verfügung zu stellen.

2.1.14 Windkraftanlage

Die Windkraftanlagen für den „Energie Campus“ Hamburg werden in Gebiet Curslack aufgebaut. Es werden drei Windkraftanlagen mit einer Höhe von 180m aufgestellt. Diesbezüglich gab es Verzögerungen im Genehmigungsverfahren, da Anwohner die Höhe der Anlagen auf 100m beschränken wollten. Allerdings sind Windkraftanlagen dieser Höhen schon weitreichend erforscht, und würden keine neuen Erkenntnisse für den „Energie Campus“ bringen. Der Einspruch der Anwohner ist abgelehnt worden und so kann nun der Bau der 180m hohen Windkraftanlagen beginnen. Diese Anlagen sind viel höheren Windgeschwindigkeiten und weniger Turbulenzen ausgesetzt und können damit einen größeren Forschungsumfang leisten.

Eine Windkraftanlage entzieht durch die Rotorblätter der bewegten Luft einen Teil der Strömungsenergie, dieser wird in eine Rotationsenergie umgewandelt. Die Rotationsenergie wird über den mechanischen Triebstrang an den Generator überführt und in das Versorgungsnetz eingespeist. [21]

2.2 Anforderungen

Um die Bedürfnisse der verschiedenen Parteien zu erfüllen, müssen bestimmte Anforderungen an alle Teilnehmer gestellt werden. Diese Anforderungen werden in sogenannte Lasten- und Pflichtenheften eingepflegt. Die Parteien sind zum einen die HAW Hamburg, die in dem Gebäude ihre Lehrveranstaltungen durchführt und einige Büroräume nutzt. Zusätzlich werden für Öffentlichkeitsarbeit Rundgänge stattfinden, um für die Akzeptanz der Erneuerbaren Energien zu werben. Eine weitere Partei ist die HAW interne Abteilung C4DSI, die die Forschung und Entwicklung in dem Gebäude leiten wird. Sie stellt gewisse Anforderungen an das Umfeld der Anlagen und an einige Büroräume. Die dritte Partei sind die Hersteller, die ihre Anlagen in das Gebäude stellen. Die Anlagen müssen mit der Feldebene und Managementebene kommunizieren und haben deshalb Anforderungen an das System. Die vermittelnde Partei sind die Passau Ingenieure. Sie sollen ein geeignetes System für die Gebäudeautomatisierung erarbeiten mit dem alle beteiligten Parteien zufrieden sind. Meine Arbeit besteht dabei, die Anforderungen von Seiten des C4DSI an die Systemausführung in die Planung der Passau Ingenieure nach Rücksprache mit der HAW Hamburg einfließen zu lassen. Zu ergänzen wäre noch, dass nicht alle Anforderungen von C4DSI voll und ganz erfüllt sein müssen, denn durch Kostenbremse und Einsparungen könnten bzw. werden einige Anforderungen gestrichen oder abgewandelt. Um die Anforderungen zu spezifizieren, hab ich in Zusammenarbeit mit Hojat Zarif bei der Aufstellung der Anforderungen eine Einteilung vorgenommen. Die Anforderungen werden in zwei Gruppen eingeteilt, „Muss“ und „Soll“.

2.2.1 Anforderungen an die Gebäudeautomatisierung

Die Anforderungen von C4DSI an das System sind in Zusammenarbeit mit der gesamten Abteilung entstanden, da diese das System später hauptsächlich nutzen werden. Um eine Forschung und Entwicklung im Gebäude zu gewährleisten, muss ein zweiter Rechner zur Verfügung stehen, der ausschließlich für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten benutzbar ist. Dieser Rechner steuert zum einen die Anlagen, die zum größten Teil zu Forschungs- und Entwicklungszwecken im Gebäude stehen und die von der Gebäudeleittechnik gesteuerten Anlagen, ohne jedoch dabei Zugriff auf die sicherheitsrelevanten Anlagen zu haben. Der übergeordnete Leitrechner muss der allgemeinen Gebäudeleittechnik dienen. Dieser steuert die Anlagen, die für Heizung und Lüftung vorgesehen sind und die Anlagen die für die primäre Energieversorgung bereit stehen, also das Blockheizkraftwerk und die Wärmepumpe. Hinzukommen die sicherheitsrelevanten Anlagen, zum Beispiel die für den Brandschutz benötigten Brandschutzklappen. Zur besseren Übersicht folgen im Anschluss die Tabellen 2.1 und 2.2, die zeigen, welche Schreibrechte für die festgelegten Sensoren und Aktoren auf dem Rechner der Forschungsanlagen und dem Gebäudeleitrechner erforderlich sind. Zusätzlich zu den Schreibrechten aus der Anforderungsmatrix müssen auch die

anlagenspezifischen Stellgrößen veränderbar sein, um Störungen bei Forschungsaufgaben auszuschließen.

Eine weitere Anforderung an das System ist der dezentrale Ansatz, ohne dass eine übergeordnete Regelung in der Managementebene benötigt wird. Die dezentralen Intelligenzen, die jeweils eine Anlage steuern, müssen in der Automatisierungsebene sitzen, damit sie Informationen über die weiteren Anlagen erhalten und mit den Steuerungseinheiten kommunizieren und zusammenarbeiten. Dabei ist zu beachten, dass jede Anlage, die über den Rechner der Forschungsanlagen gesteuert wird, eine dezentrale Intelligenz erhält, um diese Aufgaben zu erfüllen.

Zukunftsweisend ist die Anforderung, dass das gesamte Gebäudeautomatisierungssystem erweiterbar sein soll. Das hat zur Folge, dass das System frei programmierbar ist. Denn wenn eines Tages eine neue Anlage angeschafft wird, muss sie sich problemlos in das bestehende System integrieren lassen. Dabei ist davon abzusehen, hohe Lizenzgebühren für eine Erweiterung der Software zuzahlen.

Eine sicherheitstechnische Anforderung muss das System zusätzlich vor eventuell auftretenden Fehlern schützen. Dies übernimmt die Resetfunktion, die in das System einprogrammiert werden muss, um die Anlagen in einen vordefinierten Zustand zurückzusetzen. Die Resetfunktion soll sowohl bei einem Notfall auslösen sowie bei einer manuellen Betätigung durch den Benutzer. Ein Notfall tritt ein, wenn zum Beispiel die Raumtemperatur rapide unter oder über die vordefinierten Temperaturgrenzen läuft. Durch den Reset wird dann wieder für eine behagliche Temperatur im Gebäude gesorgt.

Solange definierte Grenzen eingehalten werden und die Resetfunktion nicht ausgelöst wird, kann eine Steuerung der Forschungsanlagen erfolgen. Dabei muss ausgeschlossen werden, dass der Gebäudeleitrechner eingreift. Wenn definierte Grenzen über- bzw. unterschritten werden, muss der Gebäudeleitrechner eingreifen. Der Gebäudeleitrechner bekommt Priorität vor den Regelungen des Forschungsrechners, um diese Grenzen wieder zu erreichen.

Bei dem Anlauf verschiedener Versuche entsteht ein Einschwingverhalten, dem System ist es dabei nicht gestattet einzugreifen. Zeitkonstanten im System sollten die auftretenden Grenzverletzungen im Einschwingverhalten minimieren bzw. unterdrücken. Zusätzlich dazu müssen diese Grenzen vom Rechner für die Forschungsanlagen angepasst werden können, um im Versuch die richtigen Bedingungen voraus zusetzen. Allerdings sollte dies nicht bei sicherheitsrelevanten Grenzen möglich sein.

Da unterschiedliche Benutzer das System nutzen wollen und damit auch Schaden anrichten können, muss eine Zugriffskontrolle erfolgen. Diese könnte zum Beispiel verschiedene Benutzer in Klassen einteilen, die bedingte Schreib- und Nutzrechte haben. Die Zugriffe in das System müssen dokumentiert werden.

Sollte die Anforderung mit der direkten Steuerung der Anlagen, über einen separaten Rechner für die Forschungsanlagen aus technischen Gründen nicht möglich sein, sind die vorherigen Anforderungen zu überprüfen, ob und inwiefern dieses System die Anforderungen erfüllt.

Die folgenden Anforderungen sind kein Muss, es wäre aber hilfreich, wenn sie in der Planung und Ausführung umgesetzt werden. Wie schon besprochen gibt es Anlagen die Zugriff von mehreren Rechner benötigen, dies sollte über eine Schnittstelle erfolgen, um den Zugriff zu koordinieren bzw. zu priorisieren.

Die Resetfunktion sollte nicht nur automatisch erfolgen, sondern auch manuell im System betätigt werden können. Dies wäre von Nöten, wenn ein Benutzer einen falschen Wert eingibt, dies bemerkt und alle Anlagen in den Ausgangszustand zurückversetzen will.

Um im Forschungs- und Entwicklungsgebäude neue Wege in der Anlagenkommunikation zu entwickeln bzw. zu testen, sollte von der Managementebene in die Automatisierungsebene eine gewisse Protokollunabhängigkeit für den Rechner der Forschungsanlagen herrschen.

Zur Erläuterung der nachfolgenden Tabellen ist zu sagen, dass sie sich in drei Spalten aufteilen. Anlage, Steuerbauteil und allgemeine Gebäudeversorgung bzw. Forschungsarbeiten, die in „Muss“, „Soll“ und „Optional“ untergliedert sind. In Spalte Anlage befinden sich all die Anlagen, die im „Energie Campus“ Hamburg eine Anbindung an den Leitrechner erfordern. Die Spalte Steuerbauteil soll zur Auflistung der einzelnen Sensoren und Aktoren, sowie dem Zugang und die separate Ansteuerung dienen. Die untergliederten Spalten der allgemeinen Gebäudeversorgung bzw. Forschungsaufgaben zeigen die Anforderungen, die der Leitrechner benötigt. Zum einen setzen einige Anforderungen eine absolute Notwendigkeit voraus, um gewisse Systemeigenschaften sicherzustellen. Diese sind deshalb in die Gruppe „Muss“ einzugliedern. Die Anforderungen die benötigt, aber auch anders umsetzbar sind, können in die Gruppe „Soll“. In die verbleibende Gruppe „Optional“ stoßen die Anforderungen, die nicht zwingend erforderlich sind.

Anlage	Steuerbauteil	Forschungsarbeiten		
		muss	soll	optional
Sicherheitssysteme	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	-	-	-
Hydraulik Heizflächen Betonkernaktivierung Heizkörper	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	x	-	-
	Temperaturmesser	x	-	-
	Ventilansteuerung	x	-	-
	Wärmemengenmesser	-	-	x
	Durchflussmengenmesser	x	-	-
Kältemaschine	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	x	-	-
	Temperaturmesser	x	-	-
	Ventilansteuerung	x	-	-
	Wärmemengenmesser	-	-	x
	Durchflussmengenmesser	x	-	-
BHKW	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	x	-	-
	Durchflussmengenmesser	x	-	-
	Temperaturmesser	x	-	-
	Wärmemengenmesser	-	-	x
Lüftungsanlage	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Volumenstrommesser	x	-	-
	Temperaturmesser	-	-	x
	Leistungs- bzw. Stromzähler	x	-	-
	Ventilansteuerung	x	-	-
Heizspeicher	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Durchflussmengenmesser (Ein- und Ausgang)	x	-	-
	Temperaturmesser (Ein- und Ausgang)	x	-	-
	Wärmemengenmesser (Ein- und Ausgang)	-	-	x
	Ventilansteuerung	x	-	-
	Drucksensoren	x	-	-
Fortsetzung folgt ...				

Anlage	Steuerbauteil	Forschungsarbeiten		
		muss	soll	optional
Wärmepumpe	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	x	-	-
	Durchflussmengenmesser	x	-	-
	Temperaturmesser	x	-	-
	Wärmemengenmesser	-	-	x
	Ventilansteuerung	x	-	-
Heizstäbe	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	x	-	-
Photovoltaik	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	x	-	-
Speicherbatterie + Ladeinfrastruktur	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Temperaturmesser	-	x	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler (Ein- u. Ausgang)	x	-	-
Elektrolyse	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	x	-	-
	Wasserzähler	x	-	-
	Gaszähler (H ₂)	x	-	-
Methanisierung	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Gaszähler (H ₂ , CO ₂ , CH ₄)	x	-	-
Ladeinfrastruktur E-Auto, E-Fahrrad	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler (Ein- u. Ausgang)	x	-	-
Windkraftanlage	Rechner für Datenübergabe	x	-	-
	Zugang	-	-	-

Tabelle 2.1: Anforderungsmatrix für Sensor- und Aktortechnik für Forschungsarbeiten [diese Tabelle ist in Zusammenarbeit mit Hojat Zarif entstanden]

Anlage	Steuerbauteil	Gebäudeversorgung		
		muss	soll	optional
Sicherheitssysteme	Rechner für direkte Ansteuerung	x	-	-
	Zugang	x	-	-
Hydraulik Heizflächen Betonkernaktivierung Heizkörper	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	-	-	-
	Temperaturmesser	-	-	x
	Ventilansteuerung	-	-	-
	Wärmemengenmesser	-	-	-
Kältemaschine	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	-	-	-
	Temperaturmesser	-	-	x
	Ventilansteuerung	-	-	-
	Wärmemengenmesser	-	-	-
BHKW	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	-	-	-
	Durchflussmengenmesser	-	-	-
	Temperaturmesser	-	-	x
	Wärmemengenmesser	-	-	-
Lüftungsanlage	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	x	-	-
	Volumenstrommesser	-	-	-
	Temperaturmesser	-	-	x
	Leistungs- bzw. Stromzähler	-	-	-
	Ventilansteuerung	-	-	-
Heizspeicher	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	x	-	-
	Durchflussmengenmesser (Ein- und Ausgang)	-	-	-
	Temperaturmesser (Ein- und Ausgang)	-	-	x
	Wärmemengenmesser (Ein- und Ausgang)	-	-	-
	Ventilansteuerung	-	-	-
	Drucksensoren	-	-	-
Fortsetzung folgt ...				

Anlage	Steuerbauteil	Gebäudeversorgung		
		muss	soll	optional
Wärmepumpe	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	-	-	-
	Durchflussmengenmesser	-	-	-
	Temperaturmesser	-	-	x
	Wärmemengenmesser	-	-	-
	Ventilansteuerung	-	-	-
Heizstäbe	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	x	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	-	-	-
Photovoltaik	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	-	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	-	-	-
Speicherbatterie + Ladeinfrastruktur	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	-	-	-
	Temperaturmesser	-	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler (Ein- u. Ausgang)	-	-	-
Elektrolyse	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	-	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler	-	-	-
	Wasserzähler	-	-	-
	Gaszähler (H2)	-	-	-
Methanisierung	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	-	-	-
	Gaszähler (H2,CO2,CH4)	-	-	-
Ladeinfrastruktur E-Auto, E-Fahrrad	Rechner für direkte Ansteuerung	-	-	-
	Zugang	-	-	-
	Leistungs- bzw. Stromzähler (Ein- u. Ausgang)	-	-	-
Windkraftanlage	Rechner für Datenübergabe	-	-	-
	Zugang	-	-	-

Tabelle 2.2: Anforderungsmatrix für Sensor- und Aktortechnik für die allgemeine Gebäudeversorgung [diese Tabelle ist in Zusammenarbeit mit Hojat Zarif entstanden]

2.2.2 Anforderungen an die hydraulische Schaltung des Heiz- und Kühlkreislaufes

Zu den Anforderungen an die Gebäudeleittechnik sind Anforderungen an die hydraulische Schaltung des Heiz- und Kühlkreislaufes zu bestimmen, um ein reibungsloses System zu schaffen. Der folgende Schaltplan 2.1 wurde dabei von C4DSI, insbesondere durch Hojat Zarif erstellt und als Entwurf an Passau Ingenieure geschickt, um eine Umsetzung in eine entsprechende technische Zeichnung vorzunehmen. Das Blockheizkraftwerk, die Wärmepumpe mit den dazugehörigen Erdsonden und die Kältemaschine sind für die Versorgung durch Wärme und Kälte primär für den Heiz- und Kühlkreislauf vorgesehen. Zusätzlich befinden sich sechs Speicher im System, wovon zwei der Speicher sogenannte PCM Speicher sind. Ein PCM Speicher ist ein Latentwärmespeicher, der thermische Energie verlustarm über einen längeren Zeitraum und mehreren Wiederholzyklen speichern kann. Zu den zwei PCM Speichern kommen drei für die Wärmeversorgung und ein Speicher für die Kälteversorgung zum Einsatz. Im folgenden Funktionsplan befindet sich neben den Anlagen und Speichern, die Hydraulik zwischen den Anlagen mit den jeweiligen Ventilen zur benutzerdefinierten oder automatisierten Steuerung des Systems.

Zunächst folgt der Entwurf der hydraulischen Schaltung des Heiz- und Kühlkreislaufes. Der Kühlkreislauf besteht aus der Kältemaschine, der reversiblen Wärmepumpe bzw. Umwälzpumpe und dem Kältespeicher. Der Kältekreislauf sollte für eine Temperatur von 12°C ausgelegt sein. Der Heizkreislauf besteht aus dem Blockheizkraftwerk, der Wärmepumpe und fünf Wärmespeichern, wovon zwei PCM Speicher vorgesehen sind (im Entwurf 2.1 als SP2 und SP3 gekennzeichnet). Der Heizkreislauf sollte für eine Temperatur von 40°C bis 60°C ausgelegt sein. Die Zweiwegeventile im Entwurf sind automatisch verstellbar und die Dreiwegeventile sind je nach Weg einzeln automatisch verstellbar.

Die Anforderungen an den Heiz- und Kühlkreislauf haben die höchstmögliche Flexibilität als Ziel. Demzufolge ergeben sich 24 Szenarien aus denen die Anforderungen an das System herauszulesen sind.

- Szenario 1: Das Blockheizkraftwerk kann Speicher 2-6 parallel beladen.
- Szenario 2: Die Wärmepumpe kann Speicher 2-6 parallel beladen.
- Szenario 3: Außerdem muss das Blockheizkraftwerk die Speicher 4-6 in Reihe und Speicher 2-3 parallel beladen können.
- Szenario 4: Das Gleiche gilt auch für die Wärmepumpe, sie muss die Speicher 4-6 in Reihe und Speicher 2-3 parallel beladen können.
- Szenario 5: Ein weiteres Szenario beschreibt, dass während die Wärmepumpe Speicher 4 belädt, das Blockheizkraftwerk Speicher 5-6 parallel oder in Reihe belädt.
- Szenario 6: Während das Blockheizkraftwerk Speicher 6 belädt, kann die Wärmepumpe Speicher 4-5 parallel oder in Reihe beladen.
- Szenario 7: Das Blockheizkraftwerk und die Wärmepumpe beladen die Speicher 4-6 in Reihe.
- Szenario 8: Die Wärmepumpe kann ohne Speicherbenutzung den Heizkreislauf mit Wärme versorgen.
- Szenario 9: Dabei gilt das Gleiche für das Blockheizkraftwerk, hier muss der Heizkreislauf auch ohne Speicher mit Wärme versorgt werden.
- Szenario 10 u. 11: Die Wärmepumpe kann die PCM Speicher parallel beladen, während das Blockheizkraftwerk die Speicher 4-6 in Reihe oder parallel belädt.
- Szenario 12 u. 13: Das Blockheizkraftwerk kann die PCM Speicher parallel beladen, während die Wärmepumpe die Speicher 4-6 in Reihe oder parallel belädt.
- Szenario 14: Die Wärmepumpe kann die PCM Speicher parallel beladen, während das Blockheizkraftwerk den Heizkreis direkt mit Wärme beliefert
- Szenario 15: Analog muss das Blockheizkraftwerk die PCM Speicher parallel beladen, während die Wärmepumpe den Heizkreis direkt mit Wärme beliefert.
- Szenario 16: Die reversible Wärmepumpe beliefert mit oder ohne der Kältemaschine Speicher 1 mit Kälte.
- Szenario 17: Zudem kann die reversible Wärmepumpe Speicher 1 und 4-6 in Reihe mit Kälte beliefern, während die Kältemaschine ebenfalls Speicher 1 belädt.
- Szenario 18: Anmerkung: Entfällt, da nur ein Kältespeicher benötigt wird
Außerdem kann die reversible Wärmepumpe Speicher 1 und 4 in Reihe mit Kälte versorgen, während die Kältemaschine ebenfalls Speicher 1 belädt.

	Anmerkung: Entfällt, da nur ein Kältespeicher benötigt wird
Szenario 19:	Die Umwälzpumpe beliefert die Speicher 1 und 4-6 in Reihe mit Kälte
	Anmerkung: Entfällt, da nur ein Kältespeicher benötigt wird
Szenario 20:	Die Umwälzpumpe beliefert nur Speicher 1 mit Kälte
Szenario 21:	Auch ohne Speicher, beliefert die reversible Wärmepumpe den Kältekreis
Szenario 22:	Dies kann die Umwälzpumpe gleichermaßen
Szenario 23:	Die reversible Wärmepumpe beliefert mit/ohne der Kältemaschine Speicher 1 mit Kälte, während das Blockheizkraftwerk Speicher 2-6 parallel mit Wärme beliefert.
Szenario 24:	Zudem muss die reversible Wärmepumpe den Kältekreis direkt mit Kälte beliefern, während das Blockheizkraftwerk Speicher 2-6 parallel mit Wärme beliefert.

Zudem haben sich 3 Szenarien erübrigt, da im Laufe der Planung festgestellt wurde, dass nur ein Kältespeicher benötigt wird. Demzufolge entfallen Szenario 17, 18 und 19. Darüber hinaus sind weitere wichtige Voraussetzungen an das System zu schaffen. Es müssen zusätzliche Flansche vorgesehen werden, um das System durch weitere Erzeuger (Wärme/Kälte) und Verbraucher (Wärme/Kälte) zu erweitern. Des Weiteren ist eine Eingangstemperatur für den Heiz- und Kühlkreislauf wünschenswert - diese Anpassung soll durch die Rücklaufbeimischung erfolgen.

Um den Entwurf gegebenenfalls anzupassen, sind zudem Anmerkungen an das System zu machen. Zum einen sollten die Wärmetauscher nur Verwendung finden, wenn Medien voneinander getrennt werden müssen oder die Installation eines Wärmetauschers unbedingt notwendig ist, beispielsweise besitzen die PCM Speicher zwei integrierte Wärmetauscher. Wahrscheinlich muss je nach Ausführung die Verschaltung des Speichers angepasst werden, falls die Pumpendrucke der Erzeuger es nicht zulassen aus einer Leitung den Massenstrom zu beziehen. Zudem könnten je nach Kostendruck zwei Zweiwegeventile ein Dreiwegeventil ersetzen. Und wenn der Wärmetauscher im PCM Speicher nur einen Ausgang besitzt, muss ein Dreiwegeventile eingesetzt werden, um die Leitung aufzuteilen, einmal in den Rücklauf zum Blockheizkraftwerk und zum anderen zur Wärmepumpe. Sind jedoch mehrere Ausgänge am Wärmetauscher vorhanden, ist von den Dreiwegeventilen abzusehen. Die Dreiwegeventile am Speicher 4, 5 und 6 zum Vorlauf des Heizkreises werden zur 2-Zonen-Entnahme benötigt, damit kann sowohl aus der Speichermitte als auch aus der obersten Schicht Wärme entnommen werden.

2.3 Erläuterung der Anforderungen an Beispielen

Um einige Anforderungen an das System näher zu erläutern, werden nun Beispiele folgen. Ein Beispiel steht für die Gebäudeautomatisierung und ein weiteres für den Heiz- und Kühlkreislauf. Aus diesen Beispielen werden allerdings nicht alle Anforderungen an das System ersichtlich.

2.3.1 Beispiel für die Gebäudeautomatisierung

Hier soll die Batterie in der Montagehalle als Beispiel dienen. Zuerst müssen die Bedingungen festgelegt werden, wann die Batterie geladen werden soll. Die Batterie soll nur dann geladen werden, wenn genügend Überkapazität in der hauseigenen Stromproduktion durch das Blockheizkraftwerk und die Photovoltaikanlage zur Verfügung steht. Dazu muss im System eine Tageslastkurve des Gebäudes hinterlegt sein, in der der verbrauchte Strom über den Tag im Mittel über den Monat oder das Jahr aufgenommen und als Grafik visualisiert wird. Anschließend benötigt das System zusätzliche Angaben über die aktuelle Überlast der Stromproduktion. Diese wird aus den aktuellen Kurven der stromproduzierenden Anlagen zur Verfügung gestellt. Diese Kurven werden addiert und schließlich muss eine Subtraktion der Tageslastkurve folgen. Dabei entsteht ein Profil, welches nur die Überkapazitäten aufzeigt. Wird diese Überlast nicht von anderen priorisierten Anlagen im Gebäude genutzt, ist in den Bereichen der Überkapazität eine Ladung der Batterie möglich.

Eine zusätzliche Abfrage könnte wie folgt lauten: „Wieviel minimale Leistung muss zur Verfügung stehen, damit die Batterie geladen wird?“ Das heißt, die Batterie wird zusätzlich zu der Abfrage der Überlast erst mit der Ladung beginnen, sobald die Überlast eine bestimmte Leistung überschreitet. Damit ist eine Schonung und somit eine höhere Lebensdauer der Batterie möglich.

Eine weitere Abfrage wäre ebenfalls denkbar, indem man festlegt, dass die Batterie nur bis zu einen bestimmten Bereich lädt und die Überkapazität dann wieder anderweitig benutzt werden kann. Mit der Begrenzung des Ladezustandes ist es ebenfalls möglich, die Lebensdauer der Batterie zu erhöhen. Zusätzlich ist damit eine Sicherheit gegen Überhitzung der Batterie gegeben.

2.3.2 Beispiel für den Heiz- und Kühlkreislauf

Als Beispiel soll das Szenario sieben dienen, veranschaulicht in Abbildung 2.2. Dies besagt, dass sowohl die Wärmepumpe als auch das Blockheizkraftwerk die Speicher vier, fünf und sechs in Reihe mit Wärme versorgen kann. Die Beladung der Speicher beginnt, wenn die Temperatursensoren signalisieren, dass die Solltemperatur in der obersten Schicht geringer

ist als die Grenztemperatur zum Vorlauf für den Heizkreislauf. Im Szenario sieben sind die beide primären Anlagen zur Wärmeversorgung im Einsatz. Das Blockheizkraftwerk und die reversible Wärmepumpe beladen über die geöffneten Ventile 36 und 55 Speicher sechs. Da Speicher sechs über die geöffneten Ventile acht und zwölf mit den Speichern vier und fünf in Reihe verbunden ist, muss die Wärme in drei Speicher verteilt werden. Am Speicher vier wird zudem das abgekühlte Wasser zurück in den Rücklauf zum Blockheizkraftwerk bzw. zur Wärmepumpe geliefert. Um das Temperaturprofil der drei Speicher im Ganzen aufzuzeichnen, befinden sich in jedem Speicher laut aktuellem Planungsstand bis zu drei Temperatursensoren. Die Temperaturmessung zur Versorgung des Heizkreislaufes wird in der untersten Schicht des untersten Speichers vorgenommen. Somit wird erkannt, dass die Temperatur im Speicher sechs den Grenzwert für den Heizkreislauf erreicht. Dann kann über Öffnung eines Dreiwegeventils die Zufuhr von Wärme aus der obersten Speicherschicht, wahlweise auch zusätzlich aus der mittleren Schicht, zum Vorlauf für den Heizkreislauf erfolgen.

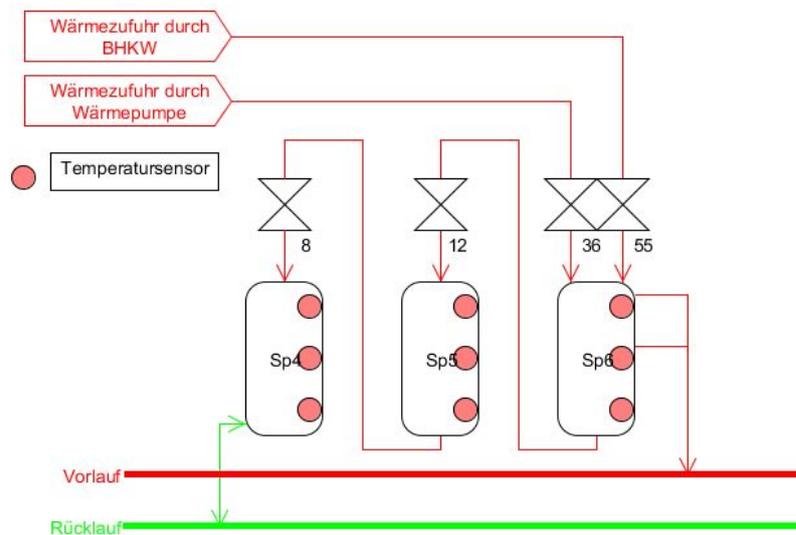


Abbildung 2.2: hydraulische Verschaltung des Szenarios 7

2.4 Problemstellung

Aus der Fülle der Anforderungen, die an das System gestellt werden, kann eine Problemstellung erörtert werden, womit dann eine Technische Analyse erfolgen kann. Eine Problemstellung wird die Abgrenzung der Forschungsanlagen von der Gebäudeversorgung sein. Wie ist es möglich, die Forschungsanlagen zu bedienen ohne dabei in die Gebäudeversorgung einzugreifen? Zusätzlich befinden sich Anlagen in der Versorgung, die aber außerdem für Forschungsaufgaben verwendet werden. Wie ist eine Abgrenzung oder eine Kontrollfunktion möglich? Daraus folgt ein weiteres Problem, welches die Kommunikation zwischen dem Leitrechner und der Automatisierungsebene thematisiert. Welches Protokoll ist geeignet um die Anforderungen zu erfüllen? Die Anbindung der Anlagen in das Kommunikationssystem stellt dabei den größten Aufwand dar, denn die verschiedenen Hersteller haben unterschiedliche Protokolle für die Anbindung der Anlagen in einem Automatisierungssystem. So ist zu klären, welches Protokoll in das System passt und mit allen zur Verfügung stehenden Anlagen kommunizieren kann. Die Feldebene stellt dabei das geringste Problem dar. Diese ist durch die Anforderungsmatrix 2.1 und 2.2 bereits geklärt, allerdings muss auch hier eine Anbindung an die Automatisierungsebene und Managementebene über ein geeignetes Protokoll geschaffen werden. Dies kann über Beispiele anderer Gebäude mit Leittechnik ersichtlich gemacht werden. Eine weitere Fragestellung bietet die dezentrale Steuerung der Anlagen. Wie können wir direkt an einer Anlage arbeiten, ohne dabei das Arbeiten im Gebäude durch eventuelle Störungen zu beeinträchtigen? Zudem ist zu klären, wie eine Resetfunktion im Leitrechner implementiert werden kann.

Die Problemstellungen sollten geklärt und alle Anforderungen an die Gebäudeautomatisierung bzw. Heiz- und Kühlkreislauf umgesetzt werden, soweit dies möglich ist. Dabei sind zum einen die Kosten zu berücksichtigen, zum anderen muss der Nutzer des Gebäudes im Vordergrund stehen, sodass ein Lehren und Forschen im „Energie Campus“ Hamburg möglich ist.

Auf Grundlage dieser Problemen und Fragen kann nun eine Technische Analyse erfolgen.

3 Technische Analyse

Um eine Technische Analyse aufzustellen, ist eine Analyse der Problemstellungen aus den Anforderungen an das Gebäudeautomatisierungssystem erforderlich. Dabei werden alle Alternativen für das Problem erläutert. In einer Gegenüberstellung wird die geeignetste Lösung des Problems für die Gebäudeautomatisierung des „Energie Campus“ Hamburgs geklärt und später im Zuge des Entwurfs umgesetzt. Bei der Suche von Alternativen gibt der aktuelle Stand in der Gebäudeautomatisierungstechnik Aufschluss über den Aufbau von automatisierten Systemen, die in heutigen Neubauten häufig Verwendung finden.

Ein Entwurf wurde bereits in der Planungsphase vom C4DSI entwickelt. Die Abbildung 3.1 zeigt diesen Entwurf, welcher in Zusammenarbeit mit Hojat Zarif und durch Anmerkungen vom ganzen C4DSI entwickelt wurde. Dieser Entwurf steht nun den Konzepten der einschlägigen Firmen in der Gebäudeautomatisierung gegenüber und muss gegebenenfalls angepasst werden damit der Entwurf umsetzbar ist.

Dabei spielt der Entwurf der Firma Honeywell, welcher speziell für die Gebäudeautomatisierung des „Energie Campus“ Hamburg entwickelt wurde, eine große Rolle. In der Abbildung 3.2 ist ein typischer Aufbau zusehen. Im Anhang befindet sich der Entwurf, der in Zusammenarbeit mit dem C4DSI und den Passau Ingenieuren entstanden ist. Die Anforderungen wurden vom C4DSI definiert und über die Passau Ingenieure, die den Kontakt zu Honeywell aufgebaut haben, weitergegeben. In einem persönlichen Gespräch mit dem Verantwortlichen für das Projekt bei Honeywell wurden nähere Details geklärt und erläutert. Eine Telefonprotokoll befindet sich im Anhang A.2.

Ein weiterer namhafter Anbieter für Gebäudeautomationssysteme ist Siemens, mit diesem Unternehmen sind ebenfalls Gespräche bezüglich des Gebäudeautomatisierungssystems für den „Energie Campus“ Hamburg gelaufen. Auch hierfür ist ein typischer Aufbau, siehe Abbildung 3.3, eines Siemens Desigo Systems Inhalt der Gespräche gewesen. Ein Protokoll des Telefonats befindet sich im Anhang A.2.

Der Übersicht halber werden die folgenden Topologien der verschiedenen Konzepte abgebildet. Diese folgenden Konzepte und Erklärungen sind Bestandteile der Telefonprotokolle, Benutzerhandbücher und Datenblätter von Honeywell und Siemens die sich im Anhang A.2 bzw. A.3 befinden. Im Folgenden werden die Ansätze für die Problemstellungen und Anforderungen dargestellt.

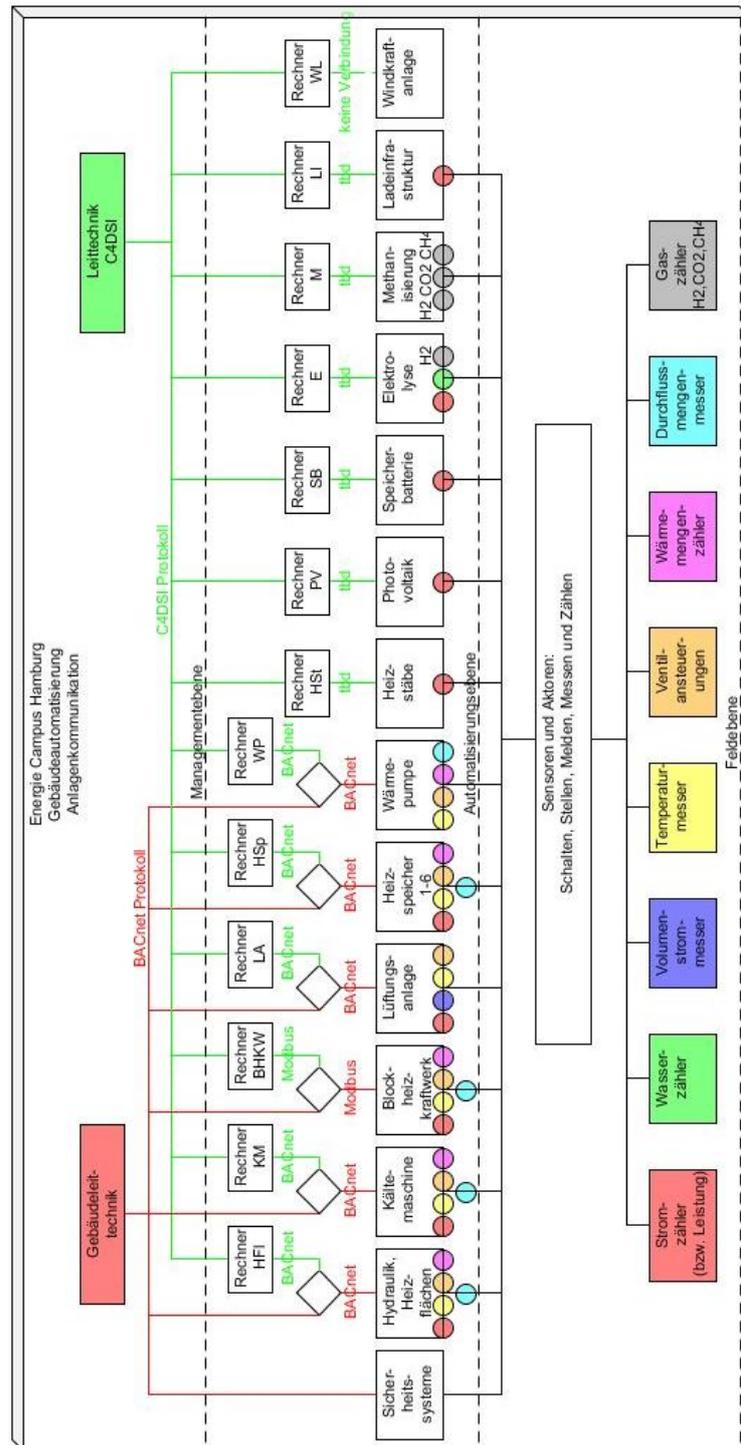


Abbildung 3.1: Konzept Gebäudeleittechnik C4DSI

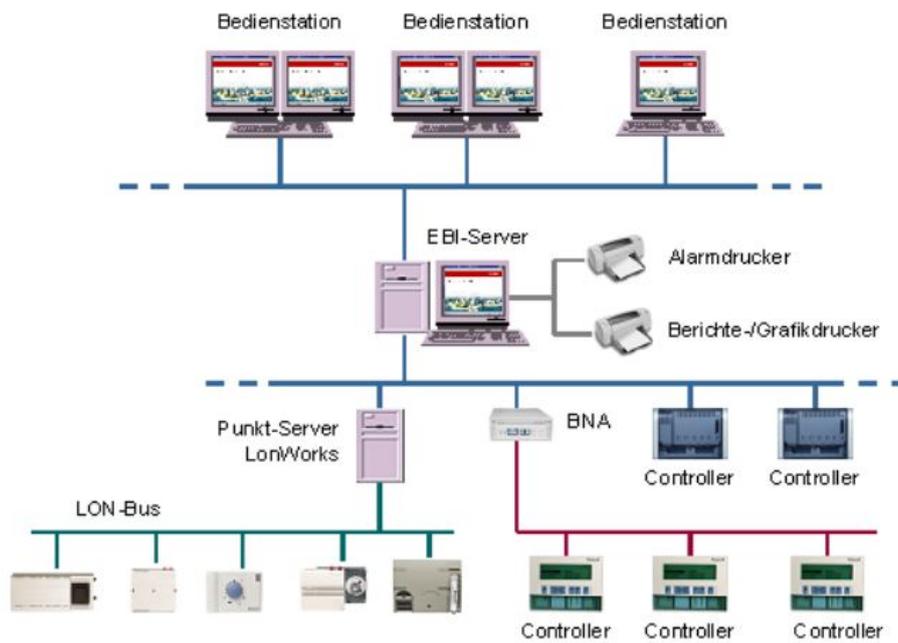


Abbildung 3.2: Typischer Aufbau eines Gebäudeautomatisierungssystems der Firma Honeywell [10]

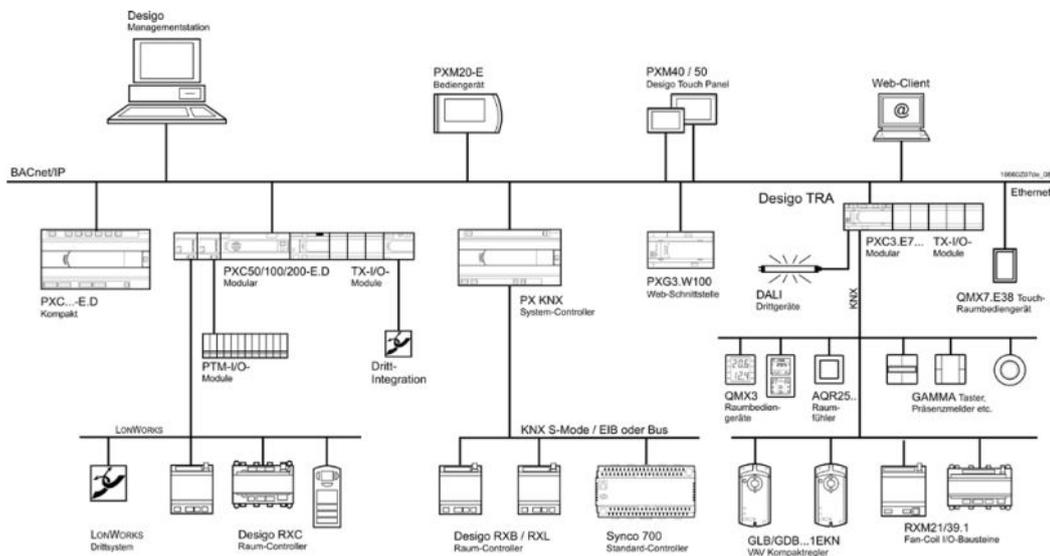


Abbildung 3.3: Typischer Aufbau des Gebäudeautomatisierungssystems Desigo der Firma Siemens [24]

3.1 Abgrenzung der Forschungsanlagen

Das Problem der Abgrenzung von Forschungsanlagen von der Gebäudeversorgung muss geklärt werden, da sonst eine Steuerung der Forschungsanlagen nur über den Leitrechner möglich ist. Zusätzlich befinden sich Anlagen in der Gebäudeversorgung die für Forschungsaufgaben benötigt werden. Wie ist eine Abgrenzung möglich, dazu folgen nun verschiedene Ansätze.

Ein Ansatz ist dabei, die Implementierung eines Forschungsrechners, der für die Regelungen der Forschungsanlagen zuständig ist. Da Gebäudeversorgungsanlagen für Forschungsarbeiten benötigt werden, ist zusätzlich für die Anbindung der benötigten Anlagen Sorge zu tragen. Bei dieser Anbindung haben zwei Rechner Zugriff auf die Anlagen der Gebäudeversorgung. Deshalb ist für eine Schnittstelle zu sorgen die überwacht was der Forschungsrechner steuert und dann eine Priorisierung des Gebäudeleitrechners stattfindet wenn es zu Bereichsüberschreitungen durch den Forschungsrechner kommt. Dieser Ansatz wurde mit dem Entwurf des C4DSI 3.1 im Vorfeld der Planung des Systems umgesetzt.

Ein weiterer Ansatz wurde von der Firma Honeywell entwickelt und ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Bei diesem Ansatz werden alle Anlagendaten auf einen EBI Server gespeichert und auf Anfrage an die beteiligten Rechner verteilt. Es handelt sich hierbei um ein verteiltes System, in dem ein Server hier EBI Server zur Verfügung steht und ein Client zum Beispiel der Leitrechner die Daten abrufen kann. Um Zugriffsrechte zu wahren, sollte stets ein Rechner für das Forschungspersonal zur Verfügung stehen. Auf diesem Rechner ist eine Visualisierung der Forschungsrelevanten Steuerungen denkbar, die auf dem Leitrechner ausgeblendet werden können.

Ein dritter Ansatz stammt von Siemens. Hierbei handelt es sich ebenfalls um ein standardisiertes System für die Gebäudeautomatisierung. Die Daten werden nicht auf einem zentralen Server gespeichert, sondern direkt auf dem Leitrechner. Dort werden die Daten visualisiert und gegebenenfalls an einen weiteren Rechner (Forschungsrechner) weitergegeben. Zusätzlich könnte ein Server zur Datenspeicherung in der Managementebene eingesetzt werden. Auf diesen Server haben dann beide Rechner Zugriff. In diesem System ist der Leitrechner die zentrale Instanz in der Managementebene. Wie beim Honeywell Konzept, ist eine Einstellung von Zugriffsrechten für die beteiligten Rechner notwendig.

Zur Gegenüberstellung dieser drei Varianten, werden nun die Anforderungen an das System mit in die Betrachtung einbezogen. Dadurch soll analysiert werden, ob eine Umsetzung der verschiedenen Ansätze möglich ist.

Dabei entfällt der erste Ansatz, da der Gebäudeleitrechner keinen Zugang zu den reinen Forschungsanlagen hat. Dies muss allerdings möglich sein, da sonst keine Kommunikation zwischen Gebäudeversorgungsanlagen und Forschungsanlagen möglich ist. Gerade diese Kommunikation macht die Forschungsarbeit im Gebäude aus. Daraus folgt, dass alle Anlagen über eine Instanz laufen müssen, damit eine Kommunikation der Anlagen untereinander

möglich ist.

Das System was der „Energie Campus“ Hamburg benötigt, müsste in der Lage sein die Daten aus der Automatisierungsebene an einen Punkt zu speichern, damit eine Überwachung des Systems leichter implementiert werden kann. Zudem müssen Regelungen, die in der Managementebene ausgelöst werden, über einen zentralen Rechner gespeichert und überwacht werden. Somit ist der Ansatz von Honeywell und Siemens für eine Gebäudeautomatisierung im „Energie Campus“ Hamburg sehr gut geeignet, da die Daten entweder über einen Server oder direkt am Leitrechner gespeichert werden.

3.2 Kommunikation in der Managementebene

Die Möglichkeit der Kommunikation in der Managementebene, kann über die im Folgenden erläuterten Kommunikationsprotokolle stattfinden. Ein Standard für die Gebäudeautomatisierung in der Managementebene ist durch das BACnet Protokoll gegeben. Dieses Protokoll wird in den Gebäuden der Hochschule für angewandte Wissenschaften in Hamburg als Standard eingesetzt. Es ist für die Kommunikation zwischen Managementebene und Automatisierungsebene zuständig. Dadurch ist die Steuerung und Visualisierung des Systems über einen Leitrechner möglich. Um nicht nur von einem Protokoll abhängig zu sein, sollten mehrere Alternativen zur Verfügung stehen.

Eine wichtige Rolle könnte dabei die OPC Schnittstelle spielen, welche einen Server benötigt, der die verschiedenen Protokolle aus der Automatisierungsebene übersetzt und sie für den Client auf Anfrage zur Verfügung stellt. Dieser Client ist dann für die Visualisierung zuständig. Das oben genannte Protokoll ist deshalb so wichtig, da mit dieser Schnittstelle über Matlab/Simulink eine Regelung umgesetzt werden kann. Auch nachdem das System bereits eingefahren ist, kann über die Justierung von Parametern ein Prozess angepasst werden. Auch eine Umsetzung von Kontrollfragen über Matlab/Simulink ist möglich. Ist zum Beispiel ein Wert außerhalb eines Bereiches, könnte ein Rückfallprozedere eingeleitet werden. Dies führt dazu, dass die Anlage in den Standardbetrieb zurückversetzt wird, sodass sie wieder in den vorher definierten Bereich gelangt.

Es gibt noch weitere Protokolle die sich für einen Einsatz in der Managementebene eignen. Ein weiterer Ansatz besteht darin, dass eine Protokollunabhängigkeit für die Steuerung der Forschungsanlagen gilt. Dies bedeutet, dass das Protokoll austauschbar ist, um für zusätzliche Regelungsaufgaben vorbereitet zu sein. Denkbar wäre dabei ein typisches Entwicklungsprotokoll, das frei programmierbar ist und nach den Bedingungen des Forschungsteams angepasst werden kann. Hier bietet sich das Protokoll IEC61850, das häufig als Industrieprotokoll in der Energiewirtschaft eingesetzt wird. Aber auch andere Protokolle sind denkbar.

Wenn die Kommunikationsmöglichkeiten gegenübergestellt werden, ist die Benutzung

eines Protokolls auf jeden Fall ratsam, da damit ein in der Gebäudeautomatisierung standardisiertes Protokoll verwendet wird. Es handelt sich um das BACnet Protokoll, was in der Gebäudeversorgung zum Einsatz kommt. Deshalb sollte dieses Protokoll auch für die Kommunikation der Forschungsanlagen zur Verfügung stehen. Dadurch wäre eine reibungslose Kommunikation zwischen den reinen Forschungsanlagen und den zusätzlich für die Gebäudeversorgung benutzten Anlagen möglich.

Zusätzlich zu dem BACnet Protokoll ist die OPC Schnittstelle ein wichtiger Faktor, den man im Gebäudeautomatisierungssystem für den „Energie Campus“ Hamburg nicht vernachlässigen sollte. Mit OPC kann zusätzlich zur Kommunikation, eine Erstellung von Modellen von Anlagen über Matlab/Simulink erfolgen. Dadurch ist eine Integration in das Gebäudeautomatisierungssystem möglich. Somit kann eine Anlage im Vorfeld getestet werden, ohne diese Anlage bereits gekauft zu haben. Dieses Protokoll ist ebenfalls empfehlenswert, da es wichtige Anforderungen an das System erfüllt.

Der Einsatz zusätzlicher Protokolle ist nicht ratsam. Es müsste eine höhere Anzahl an Datenpunkten zur Verfügung stehen, damit eine Integration weiterer Protokolle möglich ist. Diese Datenpunkte werden bei den namhaften Gebäudeautomatisierungsunternehmen im Paket gekauft, für den „Energie Campus“ Hamburg ist der Kauf von 3000 Datenpunkte geplant. Eine Erweiterung der Datenpunkte erfolgt ebenfalls im Paket, sodass weitere 3000 Datenpunkte erworben werden müssten. Diese Alternative bürgt ein hohes Kostenrisiko, deshalb ist davon abzuraten weitere Protokolle in das System zu integrieren.

Die Konzepte der Anbieter für Gebäudeautomationssysteme bieten zudem die benötigten Protokolle, BACnet und die OPC Schnittstelle für den „Energie Campus“ Hamburg an. Somit ist für eine reibungslose und kostengünstige Kommunikation in der Managementebene gesorgt.

3.3 dezentrale oder zentrale Steuerung

Die Bedienung der Anlagen im „Energie Campus“ Hamburg kann über eine zentrale oder dezentrale Steuerung erfolgen.

Dabei ist eine zentrale Steuerung dadurch gekennzeichnet, dass ein Leitreechner die gesamten Regelungen und Steuerungen ermöglicht. Es gibt keine Instanz, die eine Steuerung an den jeweiligen Anlagen zulässt, ohne dass der Leitreechner benutzt werden kann.

Eine Dezentralität zeichnet sich durch eine Steuerung direkt vor der jeweiligen Anlage aus, wie im Entwurf von C4DSi 3.1 aufgezeigt wird. Dabei kann eine Steuerung der Anlage erfolgen, ohne dass der Leitreechner darüber Informationen erhält. Aus diesem Grund wären Schnittstellen die Folge, die über eine programmierte Regelung entscheidet, welche Steuerung eine Priorisierung erhält, weil der Gebäudeversorgung ebenfalls einen Zugang zu diesen Anlagen besitzt.

Darüber hinaus kann eine Dezentralität geschaffen werden, indem ein Server alle Datenpunkte zentral sammelt, und sogenannten dezentralen Rechnern in der Managementebene zur Verfügung stellt. Diese Rechner können über den Server direkt auf die Steuerung einer Anlage zugreifen, wie es in den Entwürfen von Honeywell und Siemens zu sehen ist.

Bei der Gegenüberstellung der beiden Systeme ist zu sehen, dass eine Dezentralität Vorteile mit sich bringt. Mit einer dezentralen Steuerung ist die Forschung einfacher zu ermöglichen, als mit einem zentralen Ansatz, da Anlagen direkt ohne die Benutzung des Leitrechners zu steuern sind. Allerdings sollte darauf geachtet werden, dass der Leitrechner bzw. ein Kontrollserver, die Daten sammelt und bei eventuellen Bereichsüberschreitungen über die Controller eingreifen und gegensteuern kann. Deshalb ist ein System, das einen Server besitzt, der die Daten sammelt von Vorteil. Von einer zentralen Steuerung des Systems ist abzuraten, da Entwicklung und Forschung mit den Anlagen dadurch nur eingeschränkt möglich ist.

3.4 Kommunikation in der Automatisierungsebene

Die Anbindung der Anlagen in das Kommunikationssystem, ist weitaus komplizierter zu betrachten. Dabei ist das Einbinden verschiedener Protokolle in das System das wichtigste Thema. Denn jeder Hersteller stellt unterschiedliche Protokolle für die Einbindung in das System zur Verfügung. So muss beim Blockheizkraftwerk ein Modbus Protokoll in das Kommunikationssystem der Automatisierungsebene implementiert werden.

Ein Ansatz ist dabei der Einsatz von Wandlern, die üblicherweise in der Gebäudeautomatisierung eingesetzt werden. Diese Wandler übersetzen meist problemlos ein Protokoll eines Anlagenherstellers in das vom System geforderte Automatisierungsprotokoll. Allerdings entsteht hier ein programmiertechnischer Aufwand, abhängig vom Protokolltyp, der für die Umsetzung erbracht werden muss.

Auch der Einsatz von nur einem Protokoll könnte einen Lösungsansatz darstellen. Wenn ein Anlagenhersteller nicht das geforderte Protokoll anbietet, muss nach einem Anbieter gesucht werden, der dies zur Verfügung stellt. Ein Protokolltyp, der häufig in der Automatisierung Anwendung findet, ist wie in der Managementebene das BACnet Protokoll, da hierdurch eine gute Anbindung an diese Ebene möglich ist. Aber wie auch schon in der Managementebene angedeutet, stehen hier mehrere Kommunikationsprotokolle auf dem Markt zur Verfügung.

Es ist auch denkbar, dass die Automatisierungsebene der Forschungsanlagen getrennt von der Gebäudeversorgung stattfindet. Dennoch muss eine Verbindung zur Automatisierungsebene der Gebäudeleittechnik hergestellt werden, um die Anlagen in der Gebäudeversorgung für Forschungszwecke zu steuern. Dabei kann ein Protokoll verwendet werden, das unabhängig von der Gebäudeversorgung mit den Anlagen kommuniziert. Es muss hierbei

allerdings gewährleistet sein, dass die entsprechende Schnittstelle eine Übersetzung in das jeweilige Anlagenprotokoll übernimmt.

In der Managementebene wird bereits ein System mit dem BACnet Protokoll priorisiert, deshalb ist ein Einsatz in der Automatisierungsebene ebenfalls ratsam, doch nicht unbedingt Pflicht. Weil die Gebäudeversorgung mit dem BACnet Protokoll in der Automatisierungsebene ausgestattet wird und keine Trennung der Forschungsanlagen von den Gebäudeversorgungsanlagen stattfindet, ist ein Einsatz von BACnet in der Automatisierungsebene unausweichlich. Es kommt bei zwei unterschiedlichen Protokollen in der Automatisierungsebene zu Problemen in der Kommunikation, aus diesem Grund ist der Einsatz eines einzigen Protokolls in der Automatisierungsebene die Folge. Da aber bereits Anlagen für den „Energie Campus“ Hamburg beschafft wurden, ist kein einheitliches Automatisierungsebenenprotokoll möglich. Hier ist das bereits gekaufte Blockheizkraftwerk vom C4DSI zu nennen. Dieses besitzt bereits ein Modul für ein Modbusanschluss. Die weiteren Anlagen in der Gebäudeversorgung sind größtenteils mit einem BACnet Protokoll ausgestattet. Um das Modbus Protokoll in das System zu integrieren, kommt nur ein Gateway in Frage, welches das Modbus Protokoll in BACnet übersetzt. Das heißt, die Datenpunkte von Modbus werden in ein BACnet übliches Format umgewandelt und an dieses weitergeleitet. Dafür ist eine entsprechende Programmierung am Wandler notwendig.

3.5 Überwachungsstruktur

Für die Regelungen über einen Forschungsrechner müssen gewisse Sicherheitsgrenzen implementiert werden und zusätzlich Priorisierungen im System stattfinden. Eine Überwachung des Systems muss über Grenzen definiert werden. Da eine Überschreitung von Sicherheitsgrenzen nicht zu empfehlen ist, müssen untergeordnete Grenzen definiert werden. Es muss zum Beispiel ein Alarm bzw. eine Gegenreaktion ausgelöst werden, wenn die Temperatur in dem Gebäude unter ein vorher definiertes Minimum sinkt. Es könnte darüber hinaus vorher ein Alarm oder eine Warnung innerhalb eines schmaleren Bereichs ausgelöst werden, der eventuell dazu führt, dass Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können. Wie am folgenden Beispiel zusehen ist, wird bei einer zu niedrigen Temperatur im Gebäude ein vor dem Versuch beladener Heizspeicher für den Heizkreislauf zur Verfügung gestellt. Dieser Temperaturanstieg wird wieder eine behagliche Temperatur im Gebäude schaffen. Damit diese Regelung ausgeführt wird, muss der Gebäudeleitrechner priorisiert diese Steuerung übernehmen. Der Forschungsrechner kann nun nicht mehr eingreifen, bis der Gebäudeleitrechner die Freigabe erteilt. Zum Teil ist das Überschreiten bzw. Unterschreiten von Grenzen gewollt, weil ein Versuch aus Forschungszwecken durchgeführt werden soll. Deshalb müssen diese Grenzen angepasst werden können. Es dürfen allerdings keine Sicherheitsgrenzen angepasst werden, da dies zu Beschädigungen an den Anlagen und

dem Gebäude führen kann.

Der C4DSI Entwurf verfolgt dabei den Ansatz, die Überwachung und Priorisierung direkt an den Schnittstellen bzw an den Controllern stattfinden zu lassen. Allerdings kann damit keine Priorisierung der Daten stattfinden, da zwei Rechner auf ein und den selben Controller zugreifen. Und somit ist eine Regelung der Controller von zwei verschiedenen Instanzen möglich.

Die Programmierung der Grenzen für Bereiche der Alarmbereitschaft werden in den Systemen von Honeywell und Siemens ebenfalls mit Controllern geregelt. Diese Controller befinden sich vor den Automatisierungsanlagen, hier ist eine Implementierung von Grenzen und Priorisierungen notwendig damit der Gebäudeleitreechner bei Bereichsabweichungen automatisch eingreifen kann. Zusätzlich ist eine Anpassung der Grenzen im System möglich, darauf sollte aber nur geschultes Personal Zugriff haben. Durch diese Bereichsänderungen kann es zu Beschädigungen an Anlagen kommen, wenn diese nicht durch entsprechende Abfragen geregelt werden.

Mit dem ersten Ansatz ist keine Priorisierung der Daten möglich, da zwei Rechner gleichzeitig auf diese Anlage zugreifen. Ist nur ein Zugang zum Controller vorhanden, so ist eine Priorisierung der Daten möglich. Die ankommenden Daten beim Entwurf von Honeywell werden vom Server an den Controller übermittelt und dort wird über eine eventuelle Priorisierung entschieden. Eine Priorisierung und Bereichsüberwachung findet durch die Programmierung der Controller über das eingesetzte Protokoll in der Automatisierungsebene statt. Eine Einteilung der Alarme ist bereits über BACnet für drei verschiedene Alarmtypen geregelt. Bei dem einfachen Alarm wird keine Benutzerinteraktion vorausgesetzt. Der Standard Alarm hingegen verlangt eine Quittierung des Alarms und der erweiterte Alarm verlangt darüber hinaus ein Zurücksetzen. Für alle drei Alarmtypen könnte eine Überwachungsstruktur implementiert werden, wodurch eine Priorisierung über BACnet zu implementieren ist. Um automatisiert auf bestimmte Bereichsüberschreitungen zu reagieren, ist eine entsprechende Programmierung in den Controllern notwendig. Zudem kann diese Programmierung über den EBI Server der Firma Honeywell oder über den Leitreechner der Firma Siemens erfolgen, welche zum Beispiel für eine Überwachung eines Raumes wichtig ist. Ein Szenario könnte sein: Ein Sensor erfasst eine Person und die Kamera als Aktor schaltet sich an. Damit die Kamera dem Zielobjekt nun folgt, kann eine entsprechende Programmierung auf dem Server realisiert werden, damit die Kamera dem Zielobjekt solange folgt, bis es sich außerhalb der Reichweite der Kamera befindet und eine weitere Kamera die Verfolgung aufnimmt.

3.6 Kommunikation in der Feldebene

Die Feldebene stellt das geringste Problem dar. Sie ist durch die Anforderungsmatrix 2.1 und 2.2 bereits geklärt. Allerdings muss auch hier wieder eine Anbindung an die Automati-

sierungsebene über ein geeignetes Protokoll geschaffen werden.

In der Feldebene ist das Kommunikationsprotokoll nicht entscheidend, da hier bestimmte Sensoren zu Systemen zusammengefasst sind, die über den Controller gesteuert und geregelt werden. In der Gebäudeautomatisierung gibt es auch hier eine reichliche Auswahl an Protokollen, die zum Einsatz kommen können. Erwähnenswert sind Kommunikationsprotokolle, wie LonWorks oder KNX, um nur zwei Varianten für eine Auswahl in der Feldebene zu nennen. In den häufigsten Fällen wird dies ohnehin vom Sensor- bzw. Aktorhersteller vorgegeben. Auf dieser Grundlage ist ein geeigneter Controller zu implementieren, sodass dieser mit der Automatisierungsebene kommuniziert. Die Anlagen in der Automatisierungsebene haben eine zusätzliche interne Sensor- und Aktortechnik Steuerung. Auf diese Daten wird intern zugegriffen, und gegebenenfalls über das jeweilige Protokoll in der Automatisierungsebene an die Managementebene weitergegeben. Diese benötigen keine eigens angebrachte Kommunikationsschnittstelle durch ein Protokoll in der Feldebene.

4 Entwurf

In diesem Kapitel soll näher auf das analysierte Systemkonzept eingegangen werden. Dazu werden die Erkenntnisse, die aus der Analyse gewonnen wurden, in einem Entwurf für die Gebäudeautomatisierung umgesetzt. In der Analyse wurden bereits die Probleme bearbeitet, die bei den Anforderungen für das Konzept für die Gebäudeautomatisierung des „Energie Campus“ Hamburg entstehen könnten. Dabei wurden die Ansätze mit dem aktuellen Stand der Technik verglichen. Es wurden Konzepte der Firma Honeywell und Siemens dem Entwurf vom C4DSI gegenübergestellt.

In der Abbildung 4.1 wird die Topologie des Entwurfs für das Gebäudeautomatisierungskonzept dargestellt. Es werden die verschiedenen Ebenen der Gebäudeautomatisierung grafisch dargestellt. Dieses Konzept ist aus der technischen Analyse entstanden. In den folgenden Kapiteln werden diese Ebenen genauer betrachtet und erläutert warum sie für das Konzept ausgewählt wurden.

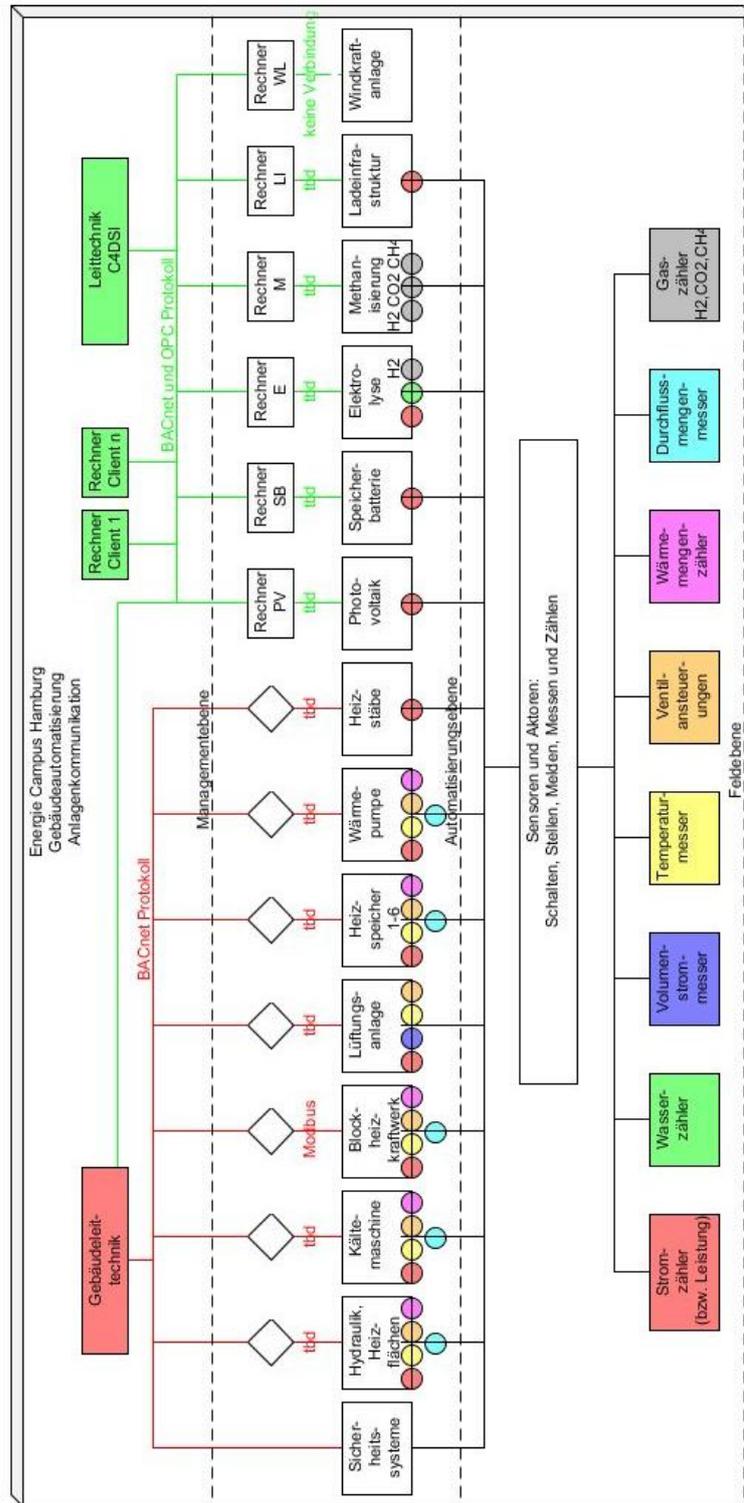


Abbildung 4.1: Schemata Gebäudeleittechnik

4.1 Entwurf der Managementebene

Da das System für Entwicklungs- und Forschungsarbeiten im Gebäude genutzt werden soll, müssen bestimmte Bedingungen an die Betriebsstabilität erfüllt werden. Dabei muss vor allem in der Managementebene betrachtet werden, wie die Rechner in dieser Ebene miteinander kommunizieren, damit eine Trennung der Steuerung von den Gebäudeversorgungsanlagen und Forschungsanlagen stattfindet. Welches System ist für die Kommunikation in der Managementebene geeignet, ohne dass dabei der Forschungsrechner ohne Einschränkungen im System arbeiten kann, aber dennoch Zugriff auf die für ihn wichtigen Regelungen hat.

Das in Kapitel 3.3 vorgestellte Konzept einer dezentralen Managementebene ist nicht umsetzbar, da hierbei keine Betriebssicherheit gewährleistet werden konnte. Die Regelungen müssen über einen Server, genauer einen Leitrechner, an die Automatisierungsebene weitergegeben werden. Die Umsetzung ist dabei vom Hersteller abhängig. Der Vorteil eines Servers als Datenspeicher ist das verschiedene Rechner auf diese Daten zugreifen können. Sowohl der Leitrechner als auch ein beliebiger Rechner der Forschung hätte somit direkten Zugriff auf die gesammelten Daten. Aber auch wenn der Leitrechner die Daten sammelt, ist der Datenaustausch mit dem Forschungsrechner möglich. In beiden Fällen können unterschiedliche Protokolle zum Einsatz kommen. Wenn der Leitrechner als Datenspeicher fungiert, kann der Forschungsrechner die Daten über ein separates Protokoll abrufen.

Im Entwurf der Managementebene wird ein Protokoll benötigt, das der Kommunikation zwischen den Rechnern dienen soll. Hier wurde das BACnet Protokoll priorisiert, da dieses in den heutigen Neubauten und an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg als Standard eingesetzt wird. Es zeichnet sich besonders durch seine herstellerübergreifende und objektorientierte Struktur aus. Des Weiteren wird die Verwendung der OPC Schnittstelle priorisiert, über diese Schnittstelle ist eine Kommunikation mit Matlab möglich. Dieses Verfahren setzt einen Server voraus und kann nach dem Entwurf von Honeywell über einen EBI Server umgesetzt werden. Dieser EBI Server wird dann mit den benötigten OPC Servern ausgestattet, welche eine Verbindung zur Automatisierungsebene benötigen. Der Forschungsrechner dient in diesem Szenario als Client und fordert die benötigten Daten am Server an. Dies übernimmt im Entwurf von Honeywell der EBI Server und im Entwurf von Siemens der Leitrechner. Der Vorteil eines Servers liegt darin, dass mehrere Rechner mit diesem verbunden werden können und dadurch die Verwendung unterschiedlicher Protokolle möglich ist. Der Leitrechner könnte dabei eine BACnet Verbindung aufbauen und der Rechner für die Forschung eine OPC Verbindung zum Server. Eine Verwendung zusätzlicher Protokolle für die Managementebene wird erst einmal nicht benötigt, da diese zu höheren Kosten führen.

Zusätzlich muss eine Zugriffskontrolle implementiert werden, um das System vor unbefugtem Zugriff zu bewahren. Hierbei müsste nur das Wartungs- und Servicepersonal Zugriff zum Gebäudeleitrechner erhalten. Ein Login über Zugangsdaten vom Forschungsrechner ist

zu unterbinden, damit der Gebäudeleitrechner nicht als Forschungsrechner missbraucht werden kann. Über diesen Rechner sind nur Alarmmeldungen und Visualisierungen der benötigten Anlagen zur Versorgung des Gebäudes einzusehen, wohingegen der Rest automatisiert ablaufen sollte. Am Rechner der Forschungsanlagen darf nur das Forschungs- und Entwicklungspersonal Zugriff bekommen, denn über diesen Rechner sind Bereiche für Sensoren und Aktoren veränderbar. Diese Änderungen können zu Problemen im System führen. Es ist denkbar, dass gewisse Bereiche nur für Änderungen durch bestimmtes Personal freigegeben wird, dies müsste allerdings in Verbindung mit dem EBI Server bzw. Leitrechner programmiert werden.

Der Server bzw. der Leitrechner sind die Schnittstelle zwischen Managementebene und den unteren Ebenen, der Automatisierungs- und Feldebene. Mit Hilfe dieser können verschiedene Eigenschaften vorgesehen werden, die den Anforderungen entsprechen. Es ist möglich eine Funktion zur Systemrücksetzung zuschaffen. Dies wird über eine entsprechende Programmierung und mit Hilfe des Servers bzw. Leitrechners ermöglicht. Zudem können Vorwahl-Szenarien wie für den Heiz- und Kühlkreislauf eingerichtet werden. Die Szenarien werden im Kapitel 2.2.2 näher beschrieben. Und entsprechend zu den Standardfunktionen eines Gebäudeleitrechners sind Trendcharts, Anlagengrafiken und Langzeitdatenbanken anwendbar. Auf diese Daten können mehrere Rechner gleichzeitig Zugriff erhalten. Ein Server bzw. Leitrechner besitzt beschränkte Intelligenz, sie scannen die Automatisierungsebene bzw. die Controller, die vor jeder Anlage sitzen und dienen zur Speicherung der Daten. Die Daten werden für den Nutzer über den Leitrechner visualisiert. Es wird zum Beispiel eine Temperaturänderung über einen Datenpunkt wahrgenommen und mit den Bereichskriterien verglichen, ist der neue Wert noch im vordefinierten Bereich, läuft alles normal. Liegt der Datenpunkt allerdings außerhalb des Bereichs, wird der Controller dem Gebäudeleitrechner die Priorität geben. Dieser wird versuchen mit den programmierten Automatismen bzw. Regelungen in den vorher verlassenen Bereich zu kommen. Danach wird eine erneute Freigabe für den Forschungs- und Entwicklungsrechner eingeleitet.

4.2 Entwurf der Automatisierungsebene

In der Automatisierungsebene werden die benötigten Datenpunkte zur Managementebene bzw. zum Server oder Leitrechner gesendet. Zuvor werden die Datenpunkte von den Sensoren und Aktoren in der Feldebene von dem Controller in der Automatisierungsebene abgerufen. Diese Controller dienen zur Steuerung und Regelung der Anlagen in der Automatisierungsebene. Sie werden mit benötigten Regeln ausgestattet und dienen zudem zur Überwachung und können Bereichsüberschreitungen lokalisieren. Diese Informationen werden zunächst an die Managementebene weitergeleitet und dort ausgewertet bzw. später visualisiert. Die meisten Anlagen im „Energie Campus“ Hamburg werden zusätzlich über

ihre eigene interne Regelung geregelt, um eine Überwachung zu ermöglichen sind Controller allerdings zur zusätzlichen Regelung der Anlagen notwendig. Das Protokoll durch das die Anlage mit der Automatisierungsebene kommunizieren soll, kann über einen geeigneten Wandler, in ein für die Automatisierungsebene typisches Protokoll übersetzt werden. Hierfür ist allerdings ein hoher programmierertechnischer Aufwand einzuplanen. Bereits in den Controllern werden Trenddaten mit Hilfe des BACnet Protokolls gespeichert und gegebenenfalls, falls angefordert, an die Managementebene zur Speicherung oder Visualisierung weitergegeben.

Um den Datenaustausch zu gewährleisten sind die Controller und Wandler in der Automatisierungsebene durch das BACnet Protokoll über eine Ethernetverbindung erreichbar. Die Kommunikation im Entwurf für die Automatisierungsebene, findet mit Hilfe des BACnet Protokolls statt. Dieses Protokoll eignet sich besonders für diese Ebene, da die besonderen Eigenschaften dieses Protokolls an dieser Stelle besonders zur Geltung kommen. Durch die objektorientierte Struktur lassen sich Objekte wie eine Temperaturmessung einer Anlage zuordnen und direkt darauf zugreifen. Zudem ist das BACnet Protokoll ein standardisiertes Protokoll für die Gebäudeautomatisierung in der Automatisierungsebene der Hochschule für angewandte Wissenschaften.

Für die Anbindung der Anlagen, denen ein BACnet Protokoll nicht zur Verfügung steht, ist wie bereits im Kapitel 4.1 beschrieben, ein Einsatz von Wandlern nötig. Somit werden diese Anlagen in die BACnet Automatisierungsebene integriert.

Zusätzlich kann darüber nachgedacht werden eine Zugangskontrolle und eine Videoüberwachung an das System in der Automatisierungsebene anzugliedern. Da dies aber von den Hausnutzern nicht gewünscht wurde, ist dies auch nicht Bestandteil der Ausschreibungen für das Bauprojekt „Energie Campus“ Hamburg. Das Gebäude soll dennoch eine Zugangskontrolle erhalten, allerdings nicht mit Hilfe des Gebäudeautomatisierungssystems. Die Zugangskontrolle findet über separate Kartenlesegeräte an den entsprechenden Türen statt, die eine Sicherung vor unbefugtem Zutritt gewährleistet. Diese Sicherheitskontrollen müssen stattfinden, da einige Räume über gefährliche Peripherie verfügen und um den Schutz der Daten zu gewährleisten.

Weiterhin ist eine Nutzung des Systems über das Internet optional angedacht, hierbei wird mit Hilfe eines VPN-Routers auf die Automatisierungsebene zugegriffen. So kann das Forschungs-, Entwicklungs-, Wartungs- und Servicepersonal von einem Rechner außerhalb des Gebäudes oder direkt an den Anlagen einen Zugang zur Automatisierungsebene erhalten. Bei dem Entwurf ist ein Zugriff zu den Anlagen für Forschungs- und Entwicklungspersonal eher über den Server bzw. Leitrechner geeignet, sonst werden Kontrollfunktionen des Servers außer Kraft gesetzt. Allerdings könnte das Service- und Wartungspersonal einen direkten Zugang zur Automatisierungsebene erhalten.

Im Entwurf Abbildung 4.1 sind farbige Punkte an den Anlagen zu sehen. Diese Sensor- und Aktortechnik wird jeweils für die genauere Überwachung des Systems benötigt. Die Sensordaten können für eine Analyse verwendet werden um das System optimal zu überwachen.

Dabei werden die Sensoren und Aktoren nicht über die CPU der Anlage gesteuert, sondern erhalten über einen gesonderten Controller, Anschluss an die Automatisierungsebene.

4.3 Entwurf der Feldebene

In der Feldebene sitzen die entsprechenden Sensoren und Aktoren mit denen die Anlagen überwacht, gesteuert und geregelt werden. Diese Technik ist entweder in der Anlage direkt vorgesehen und kann mit Hilfe der CPU direkt an den Controller in der Automatisierungsebene gesendet und empfangen werden oder die Sensoren und Aktoren befinden sich im Umfeld der Anlagen und dienen zur Überwachung (Bsp.: Gassensor). Diese Daten werden zum Teil erst zur Anlage gesendet und danach an den Controller weitergeleitet. Aber auch Ventile, die als Aktoren zum Einsatz kommen, befinden sich meistens im Umfeld der Anlagen, um gewisse Transportwege von Gasen und Flüssigkeiten zu gewährleisten. Diese Sensoren und Aktoren werden über entsprechende Controller überwacht, geregelt und gesteuert, da sie keine direkte Verbindung über eine Ethernetschnittstelle zur Managementebene besitzen. Nun folgt die Auflistung der Sensoren, die eine Anbindung an die Automatisierungsebene benötigen, ohne dass sie bereits von den Anlagen in der Automatisierungsebene erfasst werden. Diese Anbindungen sind nötig damit eine gezielte Überwachung und Auswertung im Systemverbund erfolgen kann. Es werden Strom- und Wasserzähler für die Verbrauchsrechnungen an allen Anlagen benötigt die Strom produzieren oder verbrauchen. Zusätzlich wird der Wasserverbrauch gemessen, um diesen Verbrauch zu erfassen und später auszuwerten. Mit Hilfe der Auswertungen kann eine spätere Integration von Optimierungen im System erfolgen. Des Weiteren müssen Temperaturfühler in dem Gebäude verteilt werden, um die Temperaturen an den verschiedensten Orten zu messen. Dadurch können Rückschlüsse auf die Regelungen im System erfolgen. Volumenstrommesser sind ein wichtiges Hilfsmittel, um die Volumenströme in der Lüftungsanlage zu messen und zu bewerten. Außerdem benötigt das Heiz- und Kühlsystem eine Ansteuerung der Ventile für die Be- und Entladung der Speicher. Zusätzlich müssen Wärmemengen für zum Beispiel die Heizflächen gemessen werden, damit eine Aussage getroffen werden kann wie viel Wärme sich im System befindet. Dafür wird zusätzlich auch die Durchflussmenge gemessen. Mit dieser Messung können die Durchflüsse in den Rohren bestimmt werden.

5 Implementierung

Die Durchführung einer Implementierung des Konzeptes im Gebäude, ist zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Bachelorarbeit nicht möglich, da sich das Gebäude nach der Planungsphase im Bau befindet. Allerdings sind im Vorfeld einige Tests möglich, die Auskunft geben über die Kommunikationsfähigkeiten einzelner Schnittstellen. Eine Simulation einer OPC Verbindung über das Client-Server Verhalten ist dabei ein Merkmal was untersucht wird. Eine Implementierung des Heiz- und Kühlkreislaufes wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da dieses ohne verfügbare Modelle nicht getestet werden kann. Allerdings ist hierfür ein Testablauf im nächsten Kapitel erläutert. Zudem ist im Vorfeld eine Vereinbarung über eine Monitoring (Überwachung) des Systems denkbar, damit ist eine Möglichkeit gegeben, das System zu überwachen bzw. die aktuellen mit den erwarteten Messwerten zu vergleichen. Damit ist eine Optimierung des Systems möglich.

5.1 Monitoring

Ein System muss bei der Planung und Ausführung im Vorhinein simuliert werden. Mit diesen Informationen ist zu einem späteren Zeitpunkt eine Inbetriebsetzung und Einfahren des Systems möglich. Nachdem Einfahren des System auf den zugrundeliegenden Simulationen, kann eine Optimierung stattfinden. Zudem kann eine andauernde Betriebsüberwachung zur weiteren Optimierung beitragen. Ein Monitoring lässt sich wie folgt in das System integrieren. Im Vorfeld müssen Daten zur Verfügung stehen, beziehungsweise Kennzahlen, die zum Teil aus Energiebilanzen bestimmt werden. Diese Daten werden aus Berechnungen von Temperaturdifferenzen, Wärmemengen, Durchflussmengen, Volumenströme und Stromlasten erfasst.

Nun folgen die Messungen die mit den zugrundeliegenden Berechnungen verglichen werden. Diese Messungen sollten ein komplettes Jahr andauern, damit ist eine Dokumentation eines ganzjährigen Anlagenverhaltens möglich. Bei der Messwerterfassung sollten keine Daten fehlen, sonst ist keine zuverlässige Aussage für diesen Zeitraum mehr möglich. Dabei können Datenpuffer helfen, indem die Messungen im System zwischengespeichert werden. Um die Sicherheit des Datenpuffers zu erhöhen, sollte eine zusätzliche Datenpufferung stattfinden. Dabei ist es wichtig, dass eine zeitliche Synchronisation der Daten erfolgt. Um die

Menge der Daten im Rahmen zu halten, müssen optimale Zeitpunkte für die Speicherintervalle gesetzt werden. Diese erfassten Daten können über Matlab/Simulink übernommen und ausgewertet werden.

Auch Insitu-Messungen (Messung vor Ort) sind ein Mittel um das System weiter zu optimieren. Dabei werden in das System Messgeräte direkt an der Quelle eingesetzt. Zum Beispiel wird bei einer Solarthermischen Anlage eine Messung direkt an den Kollektoren stattfinden und zum Vergleich der tatsächliche Volumenstrom zum Speicher gemessen. Diese Daten können dann miteinander verglichen und ausgewertet werden. [3]

5.2 Modellerstellung

Im Vorfeld der Implementierung können Simulationen durchgeführt werden. Allerdings fehlen hierfür die Simulationsmodelle, die sehr aufwendig zu erstellen sind. Zur Zeit der Bearbeitung meiner Bachelorarbeit, gab es ein Modell für das Blockheizkraftwerk das allerdings nicht als Modell für eine Simulation dient, weil es sich um ein physikalisches Modell handelt.

Aus diesem Grund ist ein einfaches Batteriemodell für eine Simulation in den Fokus gerückt. Dieses kann über das Client-Server Verhalten mit einer OPC Verbindung getestet werden. Entweder man verbindet zwei Rechner miteinander und testet damit das Client-Server Verhalten. Oder man benutzt zwei Matlab Instanzen auf einem Rechner. Ich habe mich dabei für die zweite Variante entschieden, da ich dies im Zuge meiner Bachelorarbeit, Zuhause testen konnte. Benötigt werden dafür ein Rechner mit zwei Matlab Instanzen und jeweils einer OPC Schnittstelle. Die beiden Matlab Instanzen müssen miteinander über das Client-Server Prinzip, der OPC Verbindung kommunizieren. In der ersten Matlab Instanz läuft dabei, das Modell einer Anlage in unseren Fall, das Modell einer Batterie. Die Abbildung 5.1 zeigt dieses Batteriemodell. An dieses Modell der Batterie wird nun ein Server der Daten an das Modell schickt und ein Client der die Daten vom Model liest angeschlossen. Dies ist in der Abbildung 5.2 zusehen.

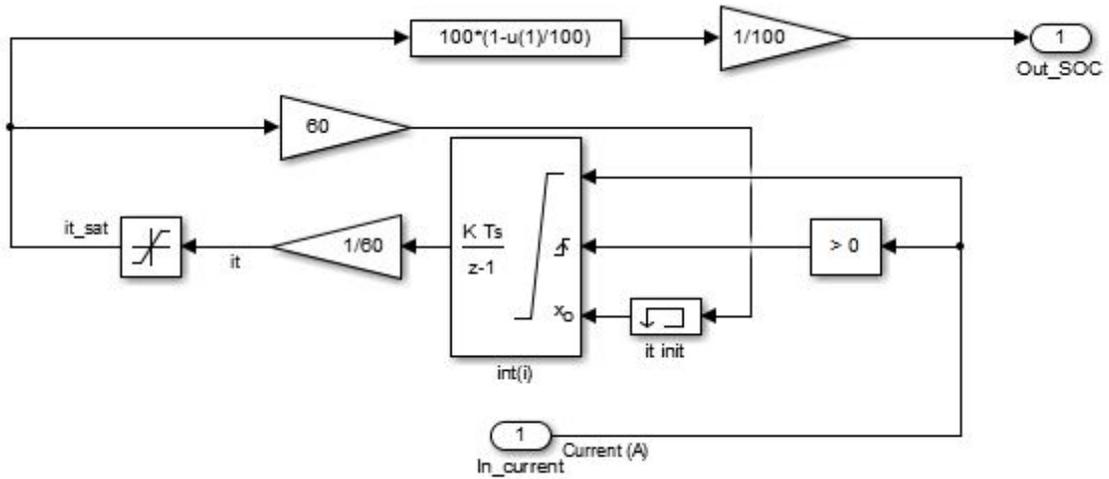


Abbildung 5.1: Batteriemodell

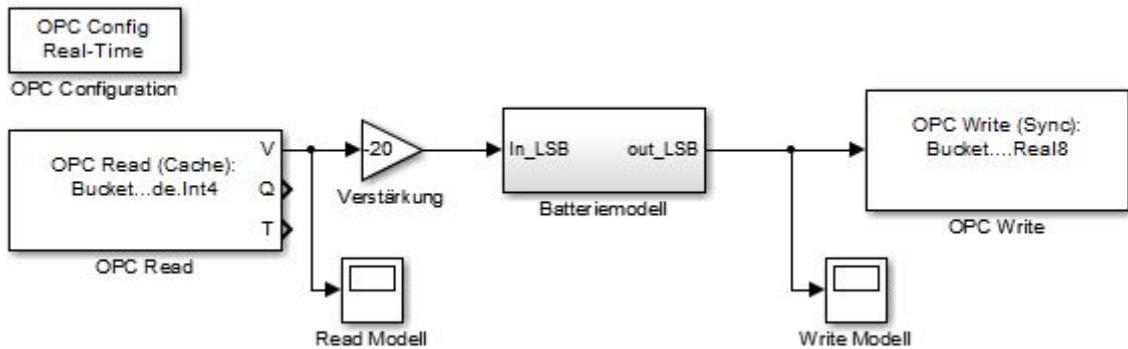


Abbildung 5.2: Batteriemodell mit OPC Anbindung

Die gelesenen Daten kommen dabei von der zweiten Matlab Instanz, die eine Steuerung simuliert, dies ist in Abbildung 5.3 verdeutlicht. Im Steuerungsmodell werden ebenfalls ein Server und ein Client, wie in der Abbildung 5.4 angeschlossen. Dabei kommen die Lesedaten vom Server der ersten Matlab Instanz. Die Daten die aus der zweiten Matlab Instanz auf den Server geschrieben werden, werden an den Client der ersten Matlab Instanz gesendet.

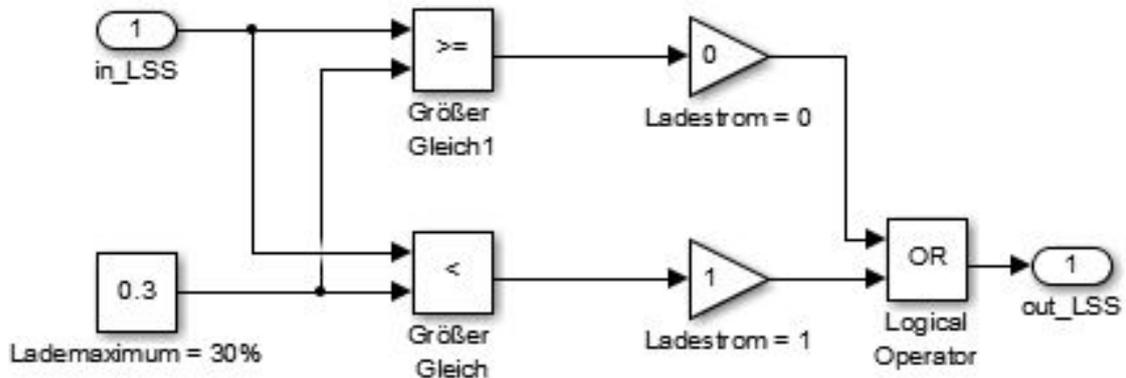


Abbildung 5.3: Steuerung der Batterieladung

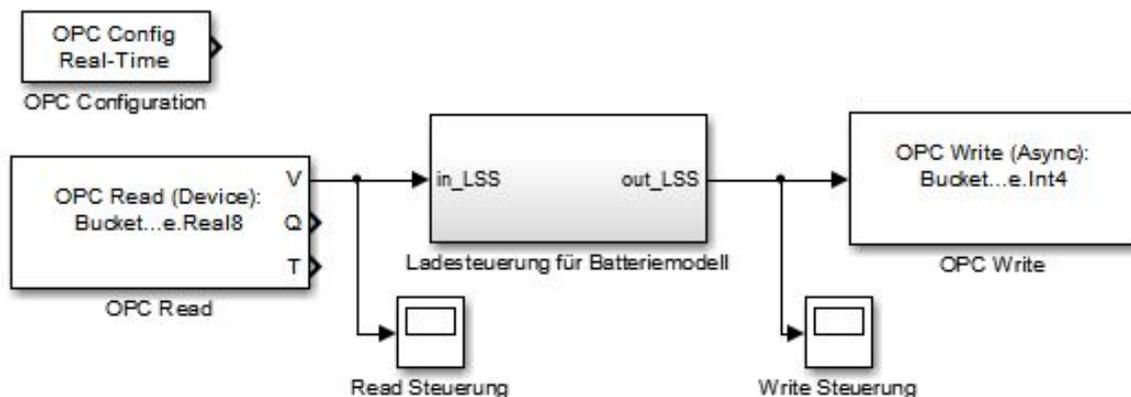


Abbildung 5.4: Steuerung der Batterie mit OPC Anbindung

So könnte eine Implementierung eines Modells in das Gebäudeautomatisierungssystem aussehen. Damit dieses Modell in die Steuerung der Gebäudeautomatisierung des „Energie Campus“ Hamburgs passt, ist eine Umsetzung der Anforderungen für diese Anlage Pflicht.

Dies wird bei der Batterie durch Bereichseingrenzungen geschaffen, die erst nach genaueren Messungen und Angaben des Herstellers möglich ist. Allerdings kann man im Vorfeld Bereiche bestimmen, wie es im Kapitel 2.3.1 bereits erläutert wird. Um ohne der zugrundeliegenden Kurven das System zu analysieren, müssen bestimmte Erfahrungskurven aus anderen Gebäuden als Grundlage dienen. Eine Implementierung von Bereichen in denen eine Ladung der Batterie erfolgt und wann es vom Gebäudeleitrechner untersagt wird, könnte wie folgt aussehen.

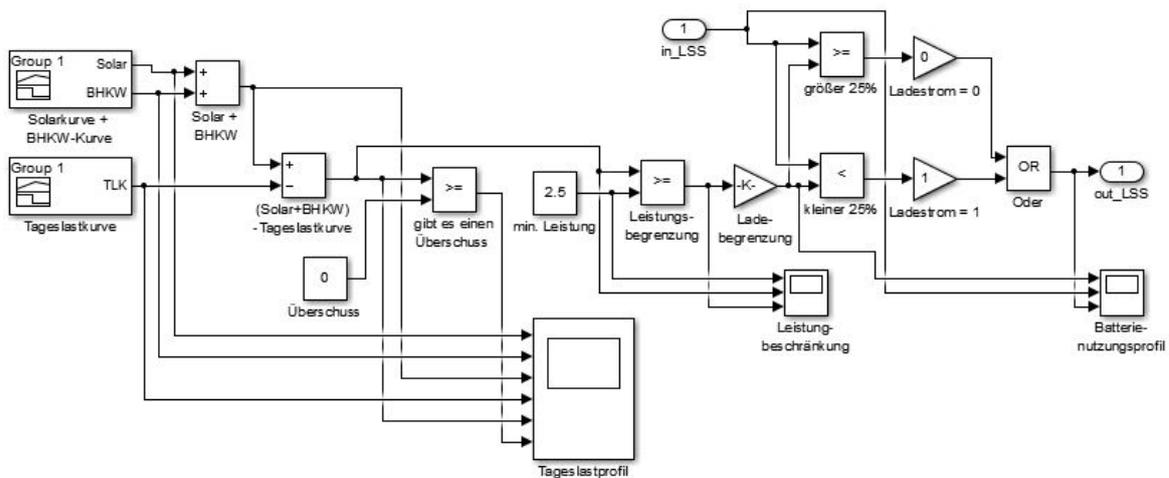


Abbildung 5.5: Batteriesteuerung mit Sicherheitsabfragen

In dieser Abbildung 5.5 ist zu sehen, dass zusätzlich zu der Batteriesteuerung, in dem die Ladebegrenzung festgelegt wird, ein Tagesnutzungsprofil für die Batterieladung und eine Leistungsbeschränkung hinzukommen. Zuerst ist eine Addition der Solaren Leistungsversorgung der Photovoltaikanlage und der Energieleistungsproduktionskurve des Blockheizkraftwerkes nötig. Das Ergebnis dieser Berechnung wird nun mit der Tageslastkurve eines Bürogebäudes subtrahiert. Daraus ergibt sich, die Leistung die zur Verfügung steht um möglicherweise eine Batterie zu laden.

$$P_{Solar} + P_{BHKW} = P_{Tag}$$

$$P_{Tag} - P_{Tageslast} = P_{Ueberschuss}$$

Wenn nun die Leistung der Überlast größer Null ist, kann die Batterie geladen werden. Falls sie kleiner oder gleich Null ist findet keine Ladung der Batterie statt.

$$P_{Ueberschuss} > 0 \leftrightarrow P_{BattLadung} > 0$$

$$P_{Ueberschuss} \leq 0 \leftrightarrow P_{BattLadung} = 0$$

Zusätzlich könnte hier noch eine Abfrage eingefügt werden, ob Anlagen im Gebäude priori-

siert Energie benötigen, sodass die Batterie erst nach dieser Freigabe geladen werden kann. Eine weitere implementierte Abfrage ist die Leistungsbegrenzung, die besagt, dass die Batterie erst geladen wird, wenn eine bestimmte Leistung der Überkapazität vorhanden ist. In dem Steuerungsmodell Abbildung 5.5 ist eine minimale Leistungsbegrenzung von 2,5kW vorgegeben. Damit wird die Batterie erst geladen, sobald eine Leistung von 2,5kW zur Verfügung steht. Wenn die Leistung darunter bleibt, kann die Energie anderweitig im Gebäude genutzt werden.

In der Steuerung ohne Sicherheitsabfragen Abbildung 5.3 ist bereits eine Ladebegrenzung der Batterie eingebaut. Diese Abfrage bewirkt, dass die Batterie nur bis zu einem bestimmten Level geladen wird. Zudem ist eine Berechnung der Ladezyklen möglich, die nach einer bestimmten Anzahl am Tag, die Ladung der Batterie untersagt. Durch diese rücksichtsvolle Benutzung der Batterie, kann eine längere Lebensdauer vorhergesagt werden.

Nach der Erstellung des Modells kann nun im folgenden Kapitel ein ausführlicher Test beginnen.

6 Test und Bewertung

Um ein Konzept für ein System umzusetzen bedarf es nach dem Aufbau einiger Tests bzw. Simulationen, um das System auf gewisse Anforderungen vorzubereiten. Da sich das Gebäude im Anfangsstadium des Baus befindet, konnte der erstellte Entwurf des Konzeptes in der Bachelorarbeit noch nicht umgesetzt werden. Diesbezüglich sind Tests nach aktuellem Stand nicht möglich, deshalb ist die Entwicklung gewisser Testfälle bzw. Simulationen mit Modellen nötig. Diese Testfälle können mit Hilfe von Matlab/Simulink simuliert werden. Hierfür werden vorhandene Modelle von den einzelnen Anlagen benötigt.

Im gesamten Projekt „Energie Campus“ Hamburg sticht das Modell für das Blockheizkraftwerk heraus, dass gut als Testobjekt dienen kann. Über das Modell wird zurzeit ebenfalls eine Bachelorarbeit angefertigt. In dieser Arbeit wird eine Anbindung eines Blockheizkraftwerkmodells über einem Raspberry Pi, an ein Netz erarbeitet. Das Modell des Blockheizkraftwerkes eignet sich besonders gut, weil es Teil des Heiz- und Kühlkreislaufes ist und eine wesentliche Rolle für die Energieversorgung im Gebäude spielt. Da sich dieses Modell allerdings nicht für die Simulation eignet, da es sich nur um ein physikalisches Modell handelt. Somit ist der Testfall mit der Simulation des Batteriemodells aus Kapitel 5.2 die Folge. Diese Simulation wird im nächsten Kapitel dokumentiert.

Die weiteren Testfälle für das Heiz- und Kühlsystem werden im Kapitel 6.2 erörtert. Für diese Testfälle sind Flußdiagramme angefertigt und beschrieben, um die Testabläufe zu vereinfachen. Zudem sind die einzelnen Tests zu jedem Szenario im Anhang A.1 zu finden.

6.1 Tests für die Gebäudeautomation

Wie in der Einleitung beschrieben, erfolgt der Test des Modells einer Batterie mit der OPC Schnittstelle in Matlab/Simulink. Hierfür werden die Schaltungen aus Kapitel 5.2 übernommen, die die Grundlage für diese Tests sind. Zudem werden bei einigen Tests Parameter aus der Schaltung verändert, damit die Resultate genauer zu betrachten sind.

6.1.1 Überkapazitätskurve

Zunächst muss die Überkapazitätskurve ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung 6.1 zusehen. Die Nutzung der Batterie als Puffer soll nur dann in Anspruch genommen werden, wenn zu viel Strom im Gebäude produziert wird. Die erste Kurve zeigt dabei die Leistung der Photovoltaikanlage auf dem Dach. Das Blockheizkraftwerk besitzt ebenfalls eine Leistungskurve die darunter folgt. Die nächsten beiden Kurven zeigen die Addition der beiden Kurven und die prognostizierte Tageslastkurve. Die vierte Kurve beinhaltet die Subtraktion der addierten Leistungskurven mit der Tageslastkurve. Das Resultat zu welchen Zeitpunkten die Batterie geladen werden kann, ist im untersten Diagramm zusehen.

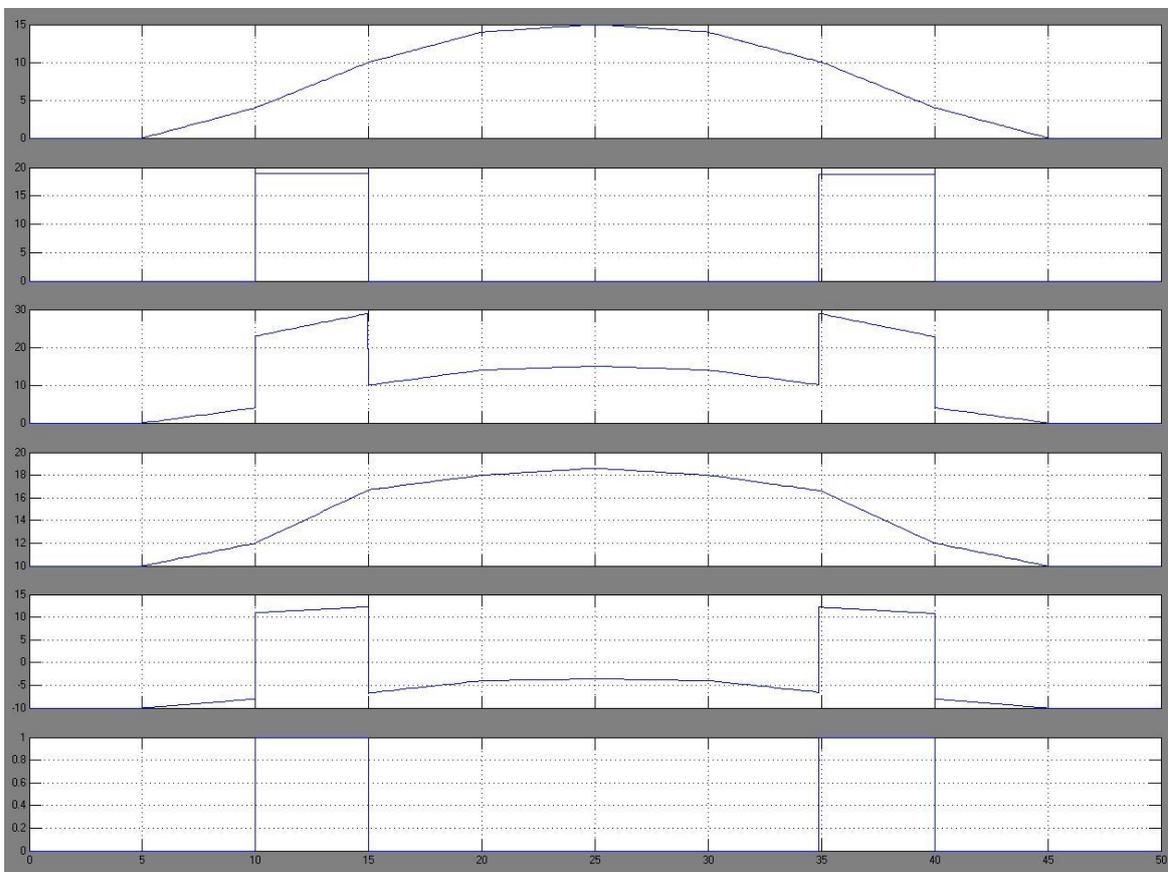


Abbildung 6.1: a) Leistung Solaranlage b) Leistung Blockheizkraftwerk c) Addition von beiden Leistungen d) Tageslastprofil e) Addierte Leistung minus Tageslastprofil f) Batterienutzungsintervalle

6.1.2 Leistungsbegrenzung

Eine weitere Sicherheitsabfrage ist die Leistungsbegrenzung der Batterie. Damit in dieser Abfrage deutlich gemacht werden kann, ob eine Ladung stattfindet, habe ich die Parameter für diesen Test angepasst. Damit will ich testen, ob die Batterie trotz einer geringeren Leistung von 2,5kW geladen wird. Um dies zu erreichen, setze ich die Stromproduktion des Blockheizkraftwerks auf 10kW herab. Mit dieser Änderung sollte bei einer Unterschreitung der Leistung von 2,5kW keine Ladung der Batterie stattfinden. In der Abbildung 6.2 ist dies verdeutlicht.

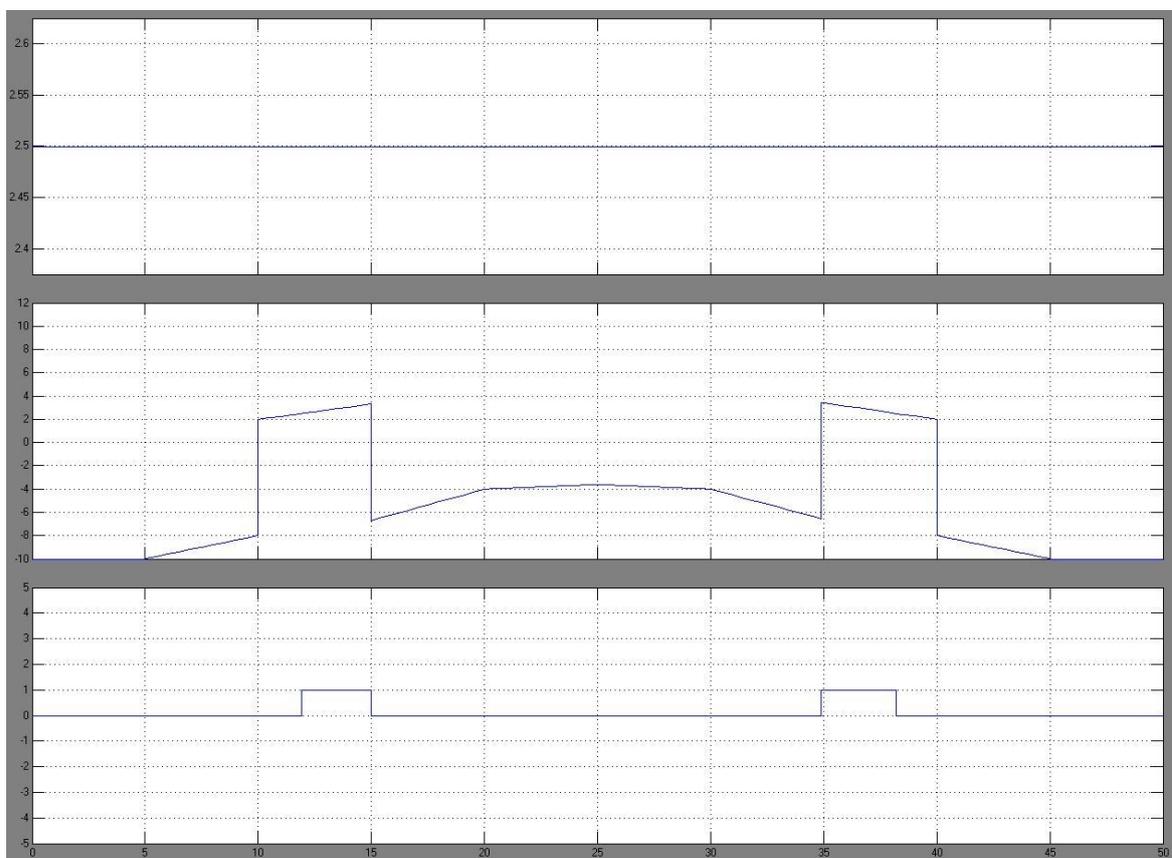


Abbildung 6.2: Simulationsergebnis Leistungsbeschränkung a) Minimale Leistung von 2,5kW b) Leistungskurve Überschuss c) Ladezyklen

6.1.3 Ladezustand

Die letzte Sicherheitsabfrage in der Simulation für die Ladung einer Batterie ist der Ladezustand, der nicht überschritten werden darf. In der Steuerungssimulation ist ein Lademaximum von 25 Prozent vorgeben. Wenn der Ladezustand über die 25 Prozent gerät, findet keine Ladung mehr statt, indem die Stromzufuhr unterbrochen wird. Die folgende Simulationsabbildung 6.3 zeigt diesen Schritt. Allerdings ist hier mit einem Zeitverzug zurechnen, da das Signal erst an den Server und dann an den Client gesendet wird. So ist zu sehen, dass der Ladezyklus um ca. 3 Sekunden verzögert beginnt. Zudem ist bei Erreichen der maximalen Ladekapazität von 25 Prozent, der Wert auf 27,5 Prozent gestiegen.



Abbildung 6.3: a) Maximale Ladekapazität b) aktueller Ladungsstand c) Ladesignal

6.2 Tests für den Heiz- und Kühlkreislauf

Hier wird speziell der Heiz- und Kühlkreislauf getestet, ob er den Anforderungen aus der Anforderungsanalyse standhält. Bzw. ob die Gebäudeautomatisierung die Szenarien abspielen kann. Voraussetzung ist natürlich die Implementierung der Szenarien auf dem Server bzw. Leitrechner.

6.2.1 Testablauf für den Heizkreislaufes

Um die Beladung des Heizkreislauf zu testen wird folgende Abbildung 6.4 zum Testablauf genutzt. Zunächst muss geklärt werden, ob die Anlagen die für die Beladung der Speicher sorgen, bereit sind. Im „Energie Campus“ Hamburg sind dafür das Blockheizkraftwerk und die Wärmepumpe zuständig. Falls diese Anlagen nicht bereit zum beladen sind, ist ein Weiterleiten in eine Warteschleife die Folge. Sind die Anlagen bereit erfolgt eine Abfrage, ob die Beladung der Speicher parallel stattfindet. Bei einer Parallelbeladung der Speicher wird geklärt, ob es sich um eine schnelle Beladung handelt. Es handelt sich um eine schnelle Beladung, sobald nur ein Speicher beladen wird und zwar der mit der geringsten Solltemperatur in der obersten Speicherschicht. Wenn dies Eintritt wird zunächst ein Unterprogramm für die Beladung des Speichers mit der geringsten Temperatur in der obersten Speicherschicht gestartet. Dazu mehr im Kapitel 6.2.2. Danach beginnen die zuständigen Anlagen mit der Beladung des Speichers mit der geringsten Temperatur. Um das zu kontrollieren, wird die Solltemperatur in der untersten Speicherschicht überprüft und abgefragt, ob sie erreicht wurde. Falls dies nicht der Fall ist, wird der Speicher weiter beladen. Ist die Temperatur auf dem Niveau der Solltemperatur, so wird die Beladung des Speichers gestoppt. Als Nächstes muss abgefragt werden, ob die Beladung weiterer Speicher nötig ist. Wenn alle benötigten Speicher beladen sind, können diese Speicher freigeschaltet werden für die Versorgung des Heizkreislaufes.

Soll anstatt der Parallelbeladung eine Beladung in Reihe stattfinden, wird dies nach der Abfrage eingeleitet. Über die Kontrolle der Solltemperatur der untersten Schicht im untersten Speicher wird geprüft, ob der Speicher weiter beladen werden soll oder bei Erreichen der Solltemperatur die Beladung der Speicher in Reihe gestoppt wird. Danach erfolgt erneut die Abfrage ob die Beladung weiterer Speicher notwendig ist.

Wenn eine schnelle Beladung der Speicher ausgeschlossen wird, werden die ausgewählten Speicher die ihre Solltemperatur noch nicht erreicht haben, gleichzeitig beladen. Und dies wird solange durchgeführt bis die benötigten Speicher ihre Solltemperatur in der untersten Speicherschicht erreicht haben. Danach erfolgt erneut die Abfrage, ob die Beladung weiterer Speicher notwendig ist. Ist die Beladung weiterer Speicher vonnöten, beginnt der Kreislauf erneut mit der Abfrage, ob eine parallele Beladung erfolgen soll.

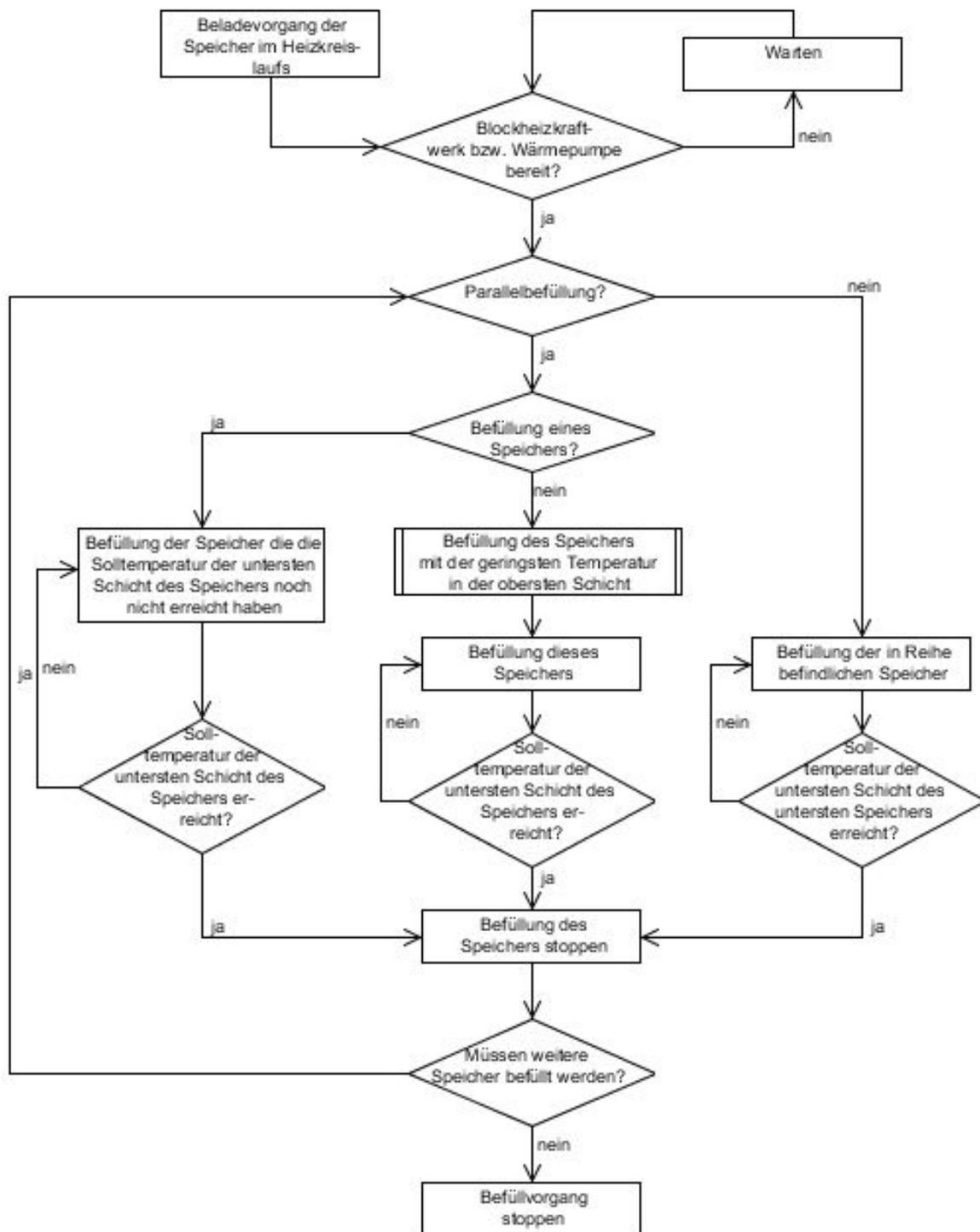


Abbildung 6.4: Flussdiagramm für den Heizkreislauf

6.2.2 Testablauf für die Beladung des Speichers mit der geringsten Temperatur

Um zu gewährleisten, dass die Beladung des im Heizkreislauf befindlichen Speichers mit der geringsten Temperatur in der obersten Speicherschicht bei einer schnellen Beladung zuerst erfolgt, muss die Temperatur der Speicher die zur Beladung zur Verfügung stehen gemessen werden. Ist der Speicher mit der geringsten Temperatur in der obersten Schicht gefunden, kann die Beladung dessen und der Rücksprung ins Flussdiagramm für den Heizkreislauf erfolgen. Ist die Suche nach einem Speicher mit einer niedrigen Temperatur erfolglos, so ist ein Stopp nötig, damit kein weiterer Speicher beladen wird.

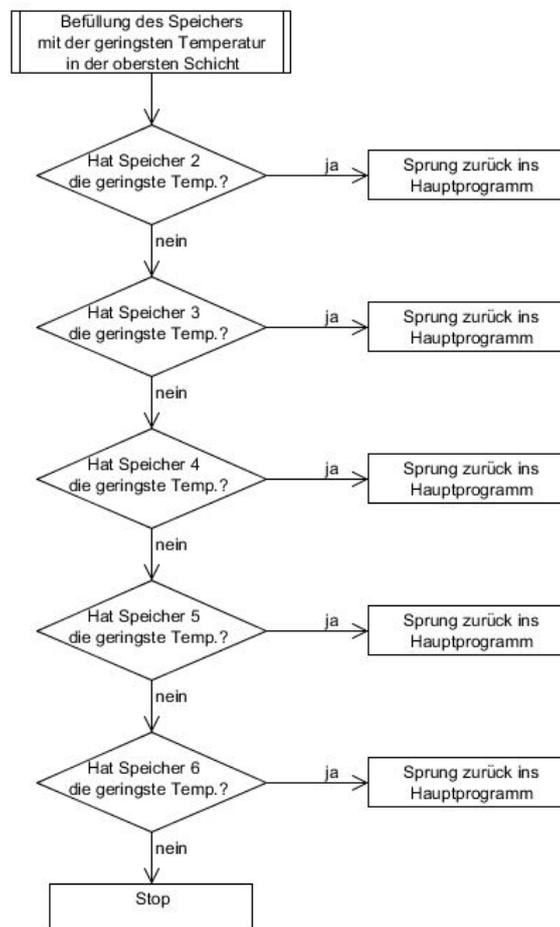


Abbildung 6.5: Flussdiagramm für die Beladung des Speichers mit der geringsten Temperatur

6.2.3 Testablauf des Kühlkreislaufes

Zunächst ist die Bedingung, dass die benötigten Anlagen bereit zum Beladen sind. Diese Anlagen sind im Kühlkreislauf, die Kältemaschine und die reversible Wärmepumpe bzw. Umwälzpumpe. Sind die Anlagen nicht bereit, wird zunächst in einer Warteschleife auf eine Bereitschaft der Anlagen gewartet. Da nur ein Speicher für die Kälte zur Verfügung steht, genügt hier eine Abfrage, die klärt ob die Solltemperatur der untersten Schicht des Kältespeichers erreicht wurde. Wenn sie nicht erreicht ist, wird der Speicher weiter beladen. Andernfalls wird mit der Beladung gestoppt und es kann danach eine Versorgung des Kühlkreislaufes erfolgen.

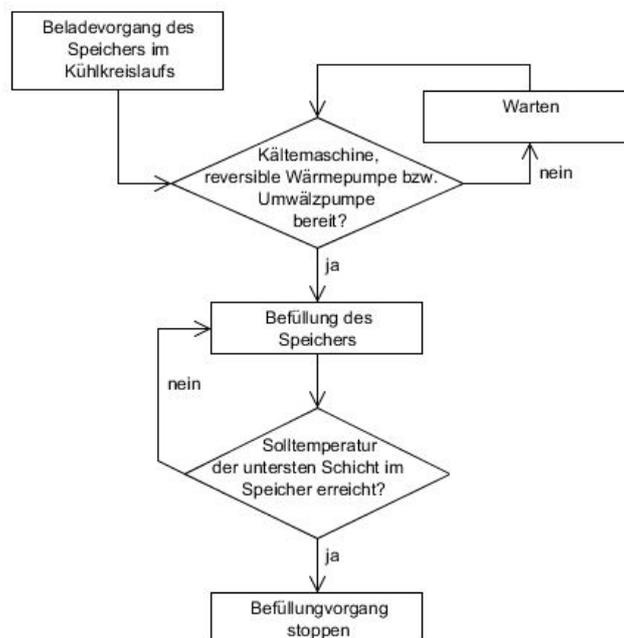


Abbildung 6.6: Flussdiagramm Kühlkreislauf

6.2.4 Testablauf für die Versorgung der Kreisläufe

Der Test der Versorgung beginnt mit der Auswahl, ob die Versorgung des Kühl- oder des Heizkreislaufs oder jeweils die Direktversorgung der Kreisläufe stattfindet. Wird der Kühlkreislauf versorgt, ist zunächst zu prüfen, ob die Solltemperatur der untersten Speicherschicht auf dem geforderten Stand ist. Falls dies nicht der Fall ist, wird der Ablauf in eine

Warteschleife weitergeleitet. Ist die Solltemperatur erreicht, ist die Öffnung der dafür vorgesehenen Ventile die Folge. Das gleiche gilt für den Heizkreislauf sowie für die direkte Versorgung der Kreisläufe. Danach beginnt die Versorgung der Kreisläufe mit Kälte bzw. Wärme. Bei einem Kreislauf kommt die verbrauchte Kälte bzw. Wärme als Rücklauf zurück in das System. Für die Rückspeisung fließt das verbrauchte Wasser zurück in den Speicher. Wird dadurch die Solltemperatur in der obersten Speicherschicht unterschritten, muss sofort mit der Versorgung gestoppt werden, damit keine Beladung mit kühlen bzw. warmen Wasser erfolgt. Wird diese Solltemperatur nicht erreicht, werden die Kreisläufe weiter mit Wärme bzw. Kälte beliefert.

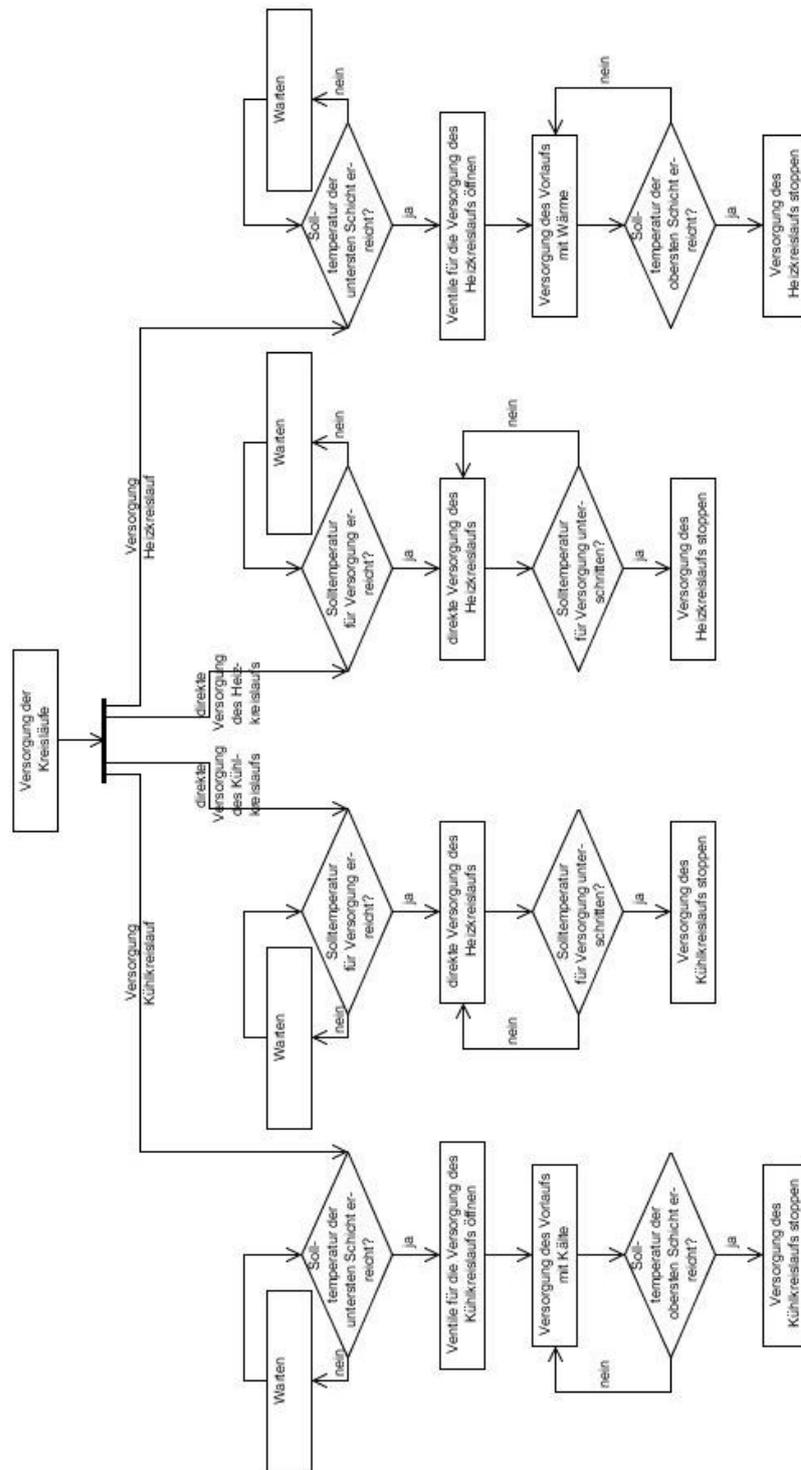


Abbildung 6.7: Flussdiagramm Versorgung

6.2.5 Szenariotests

Als nächstes werden alle Szenarien, die in der Anforderungsanalyse 2.2.2 laut der folgenden Tests abgespielt und gegebenenfalls erfolgreich abgeschlossen. Wenn nicht, dann müssen die jeweiligen fehlgeschlagenen Tests mit Nachbesserungen erneut abgearbeitet werden. Die Auflistung der Szenariotests findet im Einzelnen statt und befinden sich deshalb im Anhang A.1. Zudem sind durch die Benötigung nur eines Kältespeichers, 3 Szenarien im Laufe der Planung weggefallen. Diese sind Szenario 17, 18 und 19, diesbezüglich befinden sich keine Szenariotests im Anhang.

6.3 Bewertung der Tests

Um gewisse vorhersagen zu treffen, muss das System vorher mit Modellen simuliert werden. Diese Simulationen geben Aufschluss darüber, ob Anforderungen des Systems an den Anlagen umgesetzt werden können. Das Batteriemodell in diesem Kapitel zeigt, dass eine Implementierung der Batterie im Zusammenspiel mit den anderen Anlagen im Gebäude machbar ist. Allerdings muss dies auf die weiteren Anlagen im Gebäude übertragen werden, damit eine Kommunikation der Anlagen untereinander gewährleistet wird.

Die erhaltenen Ergebnisse aus den Tests können nun genutzt werden, um weitere Modelle anzulegen und diese in das System zu integrieren. Dabei müssen ebenfalls Abfragen implementiert werden, die gewisse Einschränkungen der Anlagen bewirken, damit die Gebäudeversorgung priorisiert und ohne Störungen erfolgen kann.

Die Flussdiagramme für den Testablauf des Heiz- und Kühlkreislauf geben Aufschluss darüber, ob die Anforderungen an das System umgesetzt wurden. Dabei müssen alle Bedingungen und Szenarios getestet und erfolgreich abgeschlossen werden. Falls dies nicht der Fall ist, müssen Nachbesserungen des installierten Systems die Folge sein, damit ein Zusammenspiel aus Forschung und Lehre im „Energie Campus“ Hamburg nichts im Wege steht.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel wird das Fazit aus der Bachelorarbeit erstellt, dabei werden die wesentlichen Aussagen und Ergebnisse zur Fragestellung der Arbeit zusammengefasst. Zudem werden die Erfahrungen und Erkenntnisse aus dieser Arbeit gezogen um die Zusammenfassung abzuschließen. Der Ausblick in die Zukunft rundet und schließt die Bachelorarbeit ab.

7.1 Zusammenfassung

In der Bachelorarbeit sollte das Konzept einer betriebsstabilen und entwicklungsoffenen Schnittstelle für die technische Gebäudeausstattung im „Energie Campus“ Hamburg bearbeitet werden. In dieser Konzeption sollte geklärt werden, ob es möglich ist, in einer standardisierten Gebäudeausstattung an den integrierten Anlagen zu forschen, ohne das dabei die normale Gebäudeversorgung beeinträchtigt wird.

Im „Energie Campus“ Hamburg wird eine Umgebung geschaffen, in der ein Forschen und Entwickeln an den verfügbaren Anlagen ermöglicht wird. Ein wichtiger Punkt ist dabei, nach neuen Wegen zur Speicherung von Energie zu suchen. Dafür werden Anlagen für eine Elektrolyse und eine Methanisierung beschafft, damit das Speichern der elektrischen Energie über die Umwandlung in Gas möglich ist. Zudem wird eine Batterie als Stromspeicher zur Verfügung stehen. Außerdem ist eine Ladestation für Elektrofahrzeuge geplant, um den produzierten Strom zu nutzen. Zur Stromproduktion kommen ein Blockheizkraftwerk und eine später installierte Photovoltaikanlage auf dem Dach zum Einsatz. Zudem ist die Anbindung von drei Windkraftanlagen im Einzugsgebiet geplant, dieser produzierte Strom wird allerdings direkt ins Netz eingespeist. Aus Forschungszwecken ist eine Verbindung mit dem Windlabor im „Energie Campus“ Hamburg geplant. Für die Wärmebereitstellung ist ebenfalls das Blockheizkraftwerk, zudem die reversible Wärmepumpe und die Wärmespeicher mit integrierten Heizstäben, wovon zwei Latentwärmespeicher zur Verfügung stehen, verantwortlich. Für die Verteilung der Wärme bzw. Kälte stehen Heizflächen und eine Betonkernaktivierung in der Decke bereit. Die Kälteversorgung übernimmt dabei die reversible Wärmepumpe, die Kältemaschine und ein Kältespeicher. Die Lüftung im Gebäude wird über die Lüftungsanlage gesteuert.

Damit diese Anlagen im „Energie Campus“ Hamburg miteinander kommunizieren, müssen bestimmte Bedingungen geklärt sein. Der Ansatz für dieses Konzept war, zuerst die wichtigsten Anforderungen aufzustellen, um ein Forschen im Gebäude zu ermöglichen. Darunter sollte die standardisierte und automatisierte Gebäudeversorgung nicht leiden.

Eine der wichtigsten Anforderungen ist dabei die Verbindung der verschiedenen Ebenen in der Gebäudeautomatisierung. Dabei spielen die Protokolle in den jeweiligen Ebenen eine besondere Rolle, sie müssen mit den beteiligten Anlagen in einer einheitlichen Sprache kommunizieren. Zu beachten ist dabei das die Anlagen im „Energie Campus“ Hamburg mit Protokollen vom Hersteller ausgerüstet sind, bei denen eine Implementierung in die Automatisierungsebene ohne Übersetzung nicht möglich ist. Dafür sind Wandler einzusetzen, die das gegebene Protokoll vom Anlagenhersteller in das Protokoll der Automatisierungsebene wandeln. In der obersten Ebene der Gebäudeautomatisierung der Managementebene ist das System mit dem BACnet Protokoll und einer zusätzlichen Implementierung einer OPC Schnittstelle ausgestattet. Dabei können beide Arten nicht gleichzeitig genutzt werden. Wünschenswert wäre es allerdings, aber damit wird die einheitliche Protokollstruktur in der Managementebene gestört und eine Überwachung wird damit erschwert. Allerdings ist es möglich zwischen Leitreechner und Rechner der Forschungsanlagen einen Controller zu schalten. Diese Verbindung könnte dann über eine OPC Schnittstelle erfolgen. In der Automatisierungsebene wird das BACnet Protokoll eingesetzt, da es hierfür durch seine Interoperabilität und herstellerübergreifenden Programmierung am besten geeignet ist und zudem Stand der Technik ist. Für die Feldebene in der sich die Sensoren und Aktoren befinden, ist keine spezielle Protokollvorgabe erforderlich, da diese Sensoren bzw. Aktoren zu Gruppen zusammengefasst werden und über Controller in der Automatisierungsebene angesteuert bzw. überwacht werden.

Eine weitere Anforderung ist die Absicherung des Systems, sodass eine Bereichsüberschreitung an den Controllern oder bei einer Fehlbedienung in der Managementebene abgefangen wird. Es müssen mehrere Bereiche eingeplant werden, damit nicht nur eine Implementierung für die sicherheitsrelevanten Bereiche erfolgt. Diese Bereiche können in bestimmte Sicherheitsgruppen eingeteilt werden, damit eine Abstufung der Regelungen bei einer Bereichsüberschreitung möglich ist. Die Implementierung dieser Bereiche findet in den Controllern statt, damit eine Anlagennahe Regelung stattfindet. Zusätzlich sollten auch Regelungen im System stattfinden, diese können ebenfalls auf den Controllern implementiert werden. Zudem kann eine Implementierung dieser komplexen Regelungen, auf dem Server bzw. Leitreechner in der Managementebene erfolgen, da an dieser Stelle alle Daten die benötigt werden gesammelt und ausgewertet werden. Eine mögliche Funktion für diese Programmierung wäre die Resetfunktion, diese wird aus der Managementebene verwaltet. Der Programmieraufwand der Resetfunktion ist allerdings in den Controllern nötig. Mit dieser Funktion ist eine sofortige Unterbrechung der Forschungsaufgabe die Folge, zudem kehren die involvierten Anlagen in einen vorher definierten Ausgangszustand zurück. Bei diesen Überwachungsfunktionen muss eines immer gewährleistet werden, der Gebäudeleitreechner

muss falls eine vorher definierte Bereichsüberschreitung stattfindet, eine Priorisierung für eventuelle Gegenmaßnahmen erhalten. Dies ist mit dem BACnet Protokoll in den Priorisierungseigenschaften zu implementieren.

Im Zuge der Technischen Analyse ist aufgefallen, dass kein Zugriff auf die Controller von zwei unterschiedlichen Rechnern aus der Managementebene stattfinden kann ohne das eine Überwachung oder eine Umsetzung der Reset Funktion möglich ist. Das heißt, dass wenn eine Überwachung an den Controllern erfolgen soll, muss der Zugang über eine zentrale Instanz erfolgen. Diese Instanz ist entweder ein Server oder der Leitrechner, die die Daten verwalten. Trotz der zentralen Regelung in der Automatisierungsebene ist eine Dezentralität des Systems gegeben. Über den Einsatz von weiteren Rechnern in der Managementebene kann eine direkte Verbindung zu einer gewünschten Anlage erfolgen und es lassen sich somit bestimmte Regelungen in der Managementebene ermöglichen. Dabei sind die Zugriffsrechte dieser Rechner im Vorfeld zu klären, damit Fehlbedienungen unterbunden werden.

Eine weitere wichtige Aufgabe der Bachelorarbeit war die Umsetzung, wie die Rechner in der Managementebene kommunizieren. Wird es ein Leitrechner geben, über den alle Steuerungen auch die der Forschungsanlagen laufen? Dabei war zu berücksichtigen das die meisten Regelungen in der Automatisierungsebene mit den Controllern erfolgt. Damit ist nur eine Steuerung in der Managementebene möglich. Diese Steuerung wird in der Gebäudeautomatisierungsindustrie über verteilte Systeme gelöst. Das heißt, dass jeder Rechner individuell seinen Bedürfnissen angepasst werden kann. Meistens stehen die Daten über einem Server oder dem Leitrechner zentral für alle weiteren Rechner zur Verfügung. Dabei können die Rechner individuelle Zugriffsrechte bzw. Steuerungsmöglichkeiten erhalten.

Um dieses Konzept für die Gebäudeautomatisierung für den „Energie Campus“ Hamburg umzusetzen, sind im Vorfeld Simulationen nötig, die Aufschluss geben, ob die Anforderung umgesetzt werden können. In Zusammenarbeit mit Matthias Kühl ist in Folge dessen, ein exemplarisches Modell für eine Batteriebenutzung für den „Energie Campus“ Hamburg entstanden. Dieses Modell ist mit einer Steuerung ausgestattet, damit eine Implementierung einer Regelung erfolgen kann. Die Steuerung übernimmt dabei die Funktion „Laden“, wenn Strom anliegt. In der dazugehörigen Regelung muss das Modell mit Bereichen erweitert werden, in denen die Batterie „Laden“ soll. In diesen Bereichen findet eine Überwachung statt. Mit diesem Modell sollte ebenfalls die Anbindung von der OPC Schnittstelle getestet werden. Dies konnte mit der Umsetzung von zwei Matlab Instanzen auf einem Rechner über den OPC Simulationsserver erfolgreich erprobt werden. Zusätzlich zu diesen Tests, sind Ablauffests für die Szenarien des Heiz- und Kühlsystems entstanden, damit eine Umsetzung der Anforderungen erfolgen kann.

Nun folgt mein persönliches Fazit. Ich hatte mir zwei Sachen von der Bachelorarbeit erhofft. Erstens einen Einblick in die Gebäudeautomatisierung zu bekommen, die mich schon

immer fasziniert hat. Zweitens die Gebäudeautomatisierung mit der Nutzung von erneuerbaren Energie zu verbinden.

Beide Ziele wurden von meiner Seite erreicht. Mir ist gerade in der Gebäudeautomatisierung aufgefallen, dass immer mehr Standards festgelegt werden. Dies ist und war auch von Nöten, da vor der Einführung von BACnet als Standardprotokoll für die Management- und Automatisierungsebene ein durcheinander herrschte. Im Zuge einer Standardisierung werden oftmals die Freiheiten eines Systems eingeschränkt, dies ist aber mit dem lizensfreien Produkt BACnet nicht der Falle. Hier werden, im Gegenteil, Freiheiten geschaffen, um zum Beispiel ein System mit einer weiteren Anlage auszubauen. Auch die Integration erneuerbarer Energiequellen in die Gebäudeautomatisierung findet immer mehr Anklang und wird im Zuge der Standardisierung weiter voran schreiten. Dies kann nur von Vorteil sein, da genauso der richtige Weg für die Energiewende aussehen muss. Integration erneuerbarer Energien in die Gebäudeautomatisierung ermöglicht die automatisierte Energieversorgung und Verteilung im Gebäude. Wenn Sonne und Wind Strom liefern, ist kein Strom aus dem Netz notwendig. Wird zu viel Strom produziert, kann er gespeichert oder ins Netz eingespeist werden. Steht mal keine Sonne und Wind zur Verfügung, so wird der Strom aus dem Netz oder aus dem Speicher genutzt. Dabei ist nicht das autarke Gebäude das Ziel, sondern die effiziente Verteilung der Energie im Gebäude.

7.2 Ausblick

Um einen Blick in die Zukunft zu wagen, müssen Vorhersagen getroffen werden, ob eine Nutzung des Gebäudes nach den Vorgaben der Gebäudenutzer und des Forschungsteams im Einklang miteinander möglich ist. Mit der vorausgegangen Zusammenfassung lässt sich sagen, dass das System nach den Wünschen beider Parteien umsetzbar scheint. Eine Umsetzung der Anforderungen ist ebenfalls in vollen Umfang möglich. Aber um wirklich alle Anforderungen umzusetzen und vollständig zu implementieren müssten Simulationen weiterer Anlagen, eventuell auch im System, stattfinden. Damit ist eine Visualisierung möglicher Einschränkungen denkbar und somit ein Abarbeiten geeigneter Maßnahmen im Vorfeld möglich ist. Das Anlegen eines Lasten- und Pflichtenheftes erscheint eine gute Dokumentationschnittstelle zu sein, in der alle nötigen Definitionen für die Forderungen an die Installation der Gebäudeautomatisierung erfasst werden können.

Im Großen und Ganzen stehe ich den Systemen aus der kommerziellen Gebäudeautomatisierung positiv gegenüber. Mit diesen Teilnehmern war eine fachliche Kommunikation möglich und alle räumen, falls nötig, individuelle Lösungen für die Anlagenkommunikation für den „Energie Campus“ Hamburg ein. Die Individualität bezieht sich dabei auf die frei programmierbaren Controller in der Automatisierungsebene und auf die Server und Leitrechner in der Managementebene.

Literaturverzeichnis

- [1] ADPFR, Arbeitskreis Der Professoren für Regelungstechnik: *Digitale Gebäudeautomation*. Springer, 2004. – ISBN 3540004696
- [2] BETTERMANN, Thomas: *Anwendung von Microsoft Softwarestandards in der Automatisierungstechnik*. expert Verlag, 2002. – ISBN 3816921035
- [3] BOLLIN, Elmar: *Automation regenerativer Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden*. Vieweg+Teubner, 2009. – ISBN 9783834803276
- [4] CC4E *CC4E Energie Campus Hamburg*. <http://www.haw-hamburg.de/cc4e/energie-campus.html> Abruf: 18.12.2013
- [5] DAWSON, Christian W.: *Computerprojekte im Klartext*. Pearson Studium, 2003. – ISBN 3827370671
- [6] DROSDOWSKI, Prof. Dr. Dr. h.c. Günther (Hrsg.) ; SCHOLZE-STUBENRECHT, Dr. W. (Hrsg.) ; WERMKE, Dr. M. (Hrsg.): *Das Fremdwörterbuch*. Duden, 1997. – ISBN 3411040564
- [7] GOOSSENS, Michel ; MITTELBACH, Frank ; SAMARIN, Alexander: *Der L^AT_EX -Begleiter*. Addison-Wesley, 2000. – ISBN 3827316898
- [8] GÜNTHER, Karsten: *L^AT_EX GE-PACKT*. mitp, 2002. – ISBN 3826607856
- [9] HÖLLER, Stefan ; KÜTER, Uwe ; VOIGT, Cornelia: *Brennstoffzellen im Unterricht. Grundlagen, Experimente, Arbeitsblätter*. Hydrogeit, 2007. – ISBN 3937863095
- [10] HONEYWELL: *Benutzerhandbücher für Excel Web und Excel Web 2 Automationsstationen und Enterprise Buildings Integrator*. Honeywell Benutzerhandbücher
- [11] IWANITZ, Frank ; LANGE, Jürgen: *OPC Grundlagen, Implementierung und Anwendung*. Hüthig, 2002. – ISBN 3778528661
- [12] JOMAA, Hichem: *Diplomarbeit: Untersuchung zur Interoperabilität unterschiedlicher OPC-Clients und Server* FH Hamburg, 2000.
- [13] KOHM, Markus ; MORAWSKI, Jens-Uwe: *KOMA-Script*. dante, 2003. – ISBN 3936427453

- [14] KRAFTWERK: *Mephisto G16+ / G20+ - Handbuch*. Kraftwerk Benutzerhandbuch Release 12-2011
- [15] KRUSE, Otto: *Keine Angst vor dem leeren Blatt*. campus concret, 2000. – ISBN 3593366592
- [16] KUROSE, James F. ; ROSS, Keith W.: *Computernetze*. Pearson Studium, 2002. – ISBN 3827370175
- [17] LAMPORT, Leslie: *Das L^AT_EX Handbuch*. Addison-Wesley, 1995. – ISBN 3893198261
- [18] MATRIKON: *OPC in der Gebäudeautomatisierung*. Matrikon Datenblatt
- [19] MERZ, Hermann ; HANSEMANN, Thomas ; HÜBNER, Christof: *Gebäudeautomation*. Hanser, 2010. – ISBN 9783446421523
- [20] POENICKE, Klaus: *Wie verfaßt man wissenschaftliche Arbeiten?* Duden, 1988. – ISBN 3411027517
- [21] QUASCHNING, Volker: *Regenerative Energiesysteme* Hanser Verlag, 2011. – ISBN 9783446427327
- [22] REBHAN, Eckhard: *Energiehandbuch: Gewinnung, Wandlung und Nutzung von Energie* Springer Verlag, 2002. – ISBN 354041259X
- [23] REFU: *Refu Elektronik Datenblätter* Refu Datenblatt
- [24] SIEMENS: *Übersicht Desigo-Gebäudeautomatisierungssystem*
http://www.hqs.sbt.siemens.com/gip/general/dlc/data/assets/hq/Desigo-Gebaeudeautomationssystem—Systembeschreibung_A6V10407578_hq-en.pdf Abruf 24.01.2014
- [25] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *Gebäudesicherheit und Gebäudeautomation*. VDI Verlag, 2000. – ISBN 3180915145
- [26] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *Vernetzte Automation in der Gebäudeautomatisierung*. VDI Verlag, 2002. – ISBN 3180916397
- [27] WALTER, Klaus-Dieter: *Messen, Steuern und Regeln per Internet*. Franzis, 2003. – ISBN 3772342806
- [28] WENDZEL, Steffen: *Tunnel und verdeckte Kanäle im Netz*. Springer, 2012. – ISBN 9783834821430

A Hilfsmittel

A.1 Szenariotests

Szenariotest 1

Wie in der Abbildung A.1 zu sehen ist, werden im Szenario 1 mit Hilfe des Blockheizkraftwerks die Speicher 2-6 parallel beladen.

- Test 1: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
- Test 2: Sind die Ventile 50, 51, 52, 54 und 55 für den parallelen Beladevorgang für Speicher 2-6 geöffnet?
- Test 3: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers gestoppt?
- Test 4: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers freigegeben?

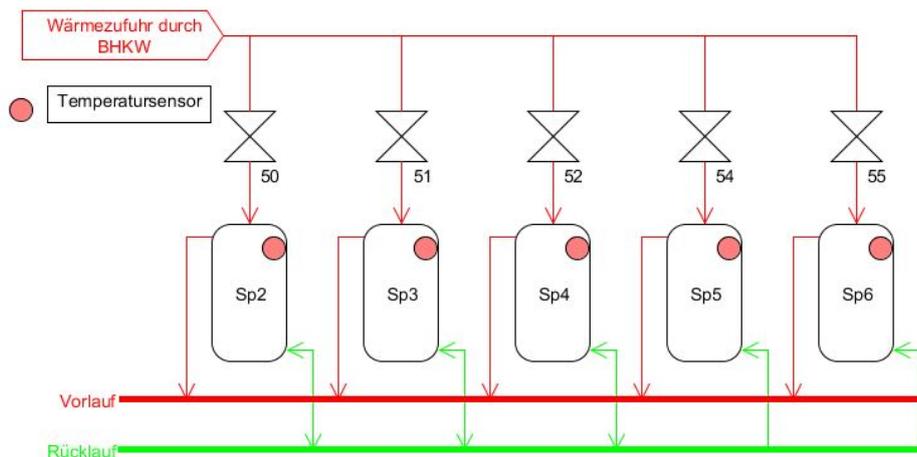


Abbildung A.1: hydraulische Verschaltung des Szenarios 1

Szenariotest 2

Wie in der Abbildung A.2 zusehen ist, werden im Szenario 2 mit Hilfe der Wärmepumpe die Speicher 2-6 parallel beladen.

- Test 1: Ist die Wärmepumpe bereit zum Beladen?
Test 2: Sind die Ventile 2, 4, 53, 11 und 36 für den parallelen Beladevorgang für Speicher 2-6 geöffnet?
Test 3: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers gestoppt?
Test 4: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers freigegeben?

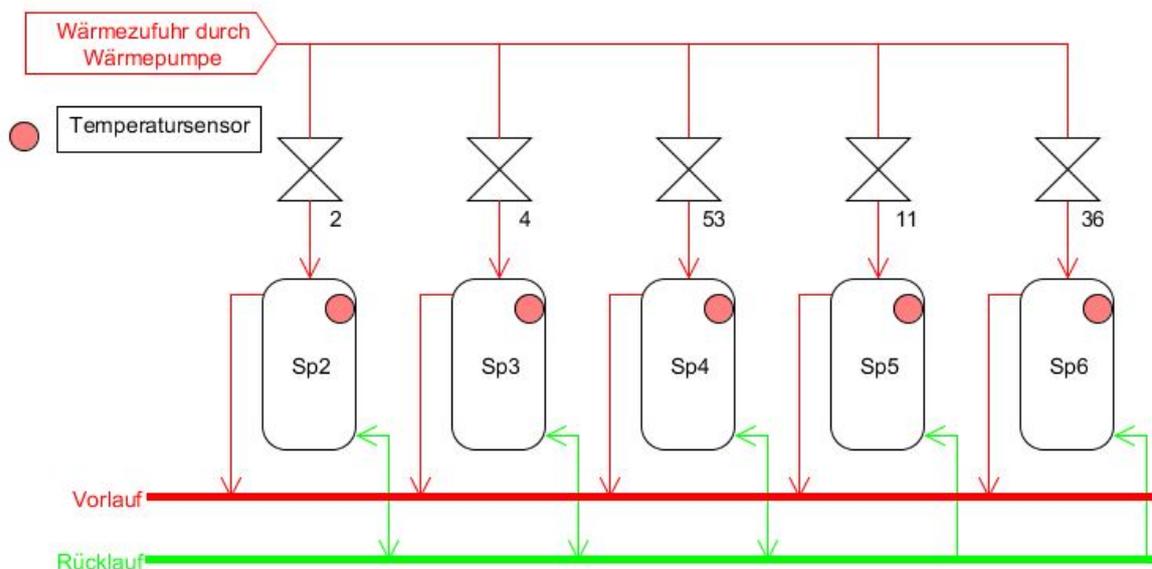


Abbildung A.2: hydraulische Verschaltung des Szenarios 2

Szenariotest 3

Wie in der Abbildung A.3 zusehen ist, werden im Szenario 3 mit Hilfe des Blockheizkraftwerks die Speicher 4-6 in Reihe und Speicher 2 und 3 parallel beladen.

- Test 1: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
- Test 2: Sind die Ventile 50, 51 und 55 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 2, 3 und 6 geöffnet?
- Test 3: Sind die Ventile 55, 12 und 8 für die Reihenbeladung von Speicher 4,5 und 6 geöffnet?
- Test 4: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 2, 3 und 6 gestoppt?
- Test 5: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 2, 3 und 6 freigegeben?

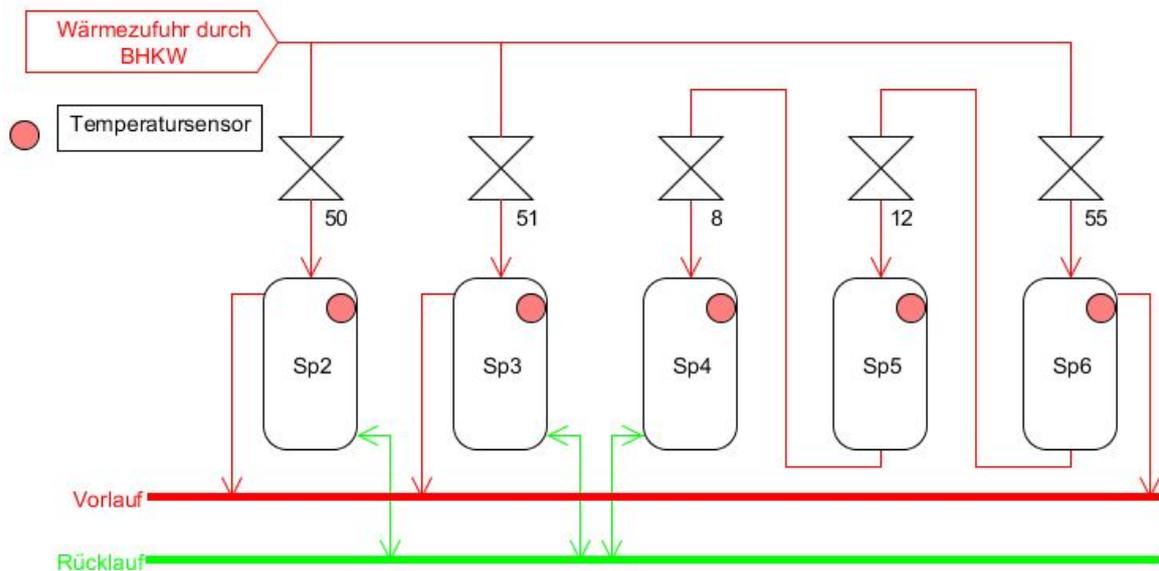


Abbildung A.3: hydraulische Verschaltung des Szenarios 3

Szenariotest 4

Wie in der Abbildung A.4 zusehen ist, werden im Szenario 4 mit Hilfe der Wärmepumpe die Speicher 4-6 in Reihe und Speicher 2 und 3 parallel beladen.

- Test 1: Ist die Wärmepumpe bereit zum Beladen?
- Test 2: Sind die Ventile 36, 2 und 4 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 2, 3 und 6 geöffnet?
- Test 3: Sind die Ventile 36, 12 und 8 für die Reihenbeladung von Speicher 4,5 und 6 geöffnet?
- Test 4: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 2, 3 und 6 gestoppt?
- Test 5: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 2, 3 und 6 freigegeben?

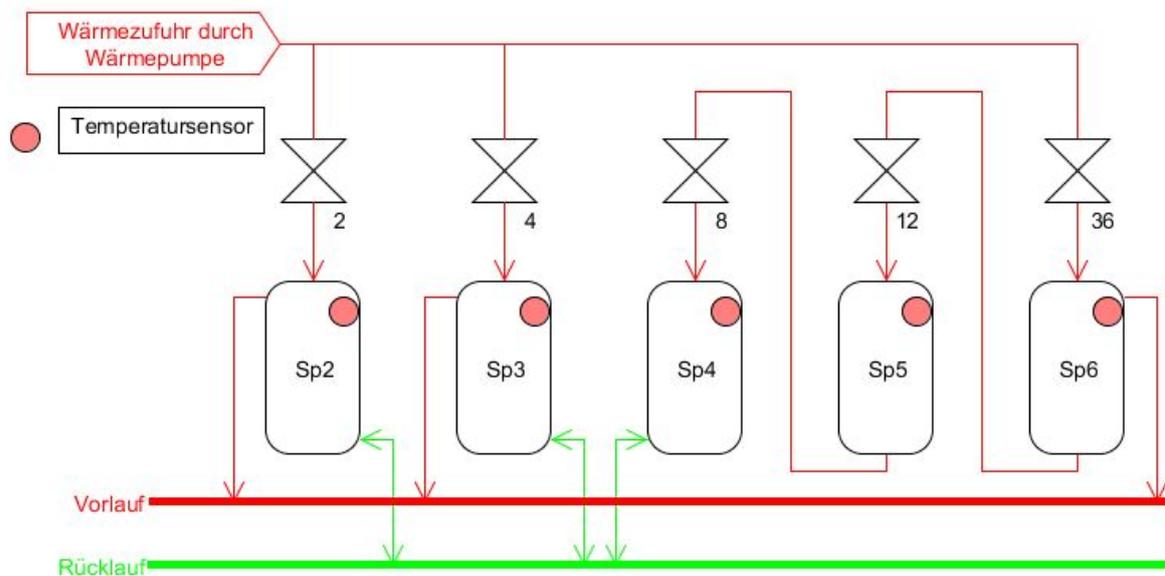


Abbildung A.4: hydraulische Verschaltung des Szenarios 4

Szenariotest 5

Wie in der Abbildung A.5 zusehen ist, wird im Szenario 5 mit Hilfe der Wärmepumpe der Speicher 4 beladen, während das Blockheizkraftwerk Speicher 5 und 6 a) parallel oder hier gestrichelt dargestellt b) in Reihe belädt.

- Test 1: Ist die Wärmepumpe bereit zum Beladen?
- Test 2: Ist das Ventil 53 für den Beladevorgang von Speicher 4 geöffnet?
- Test 3: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 4 gestoppt?
- Test 4: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 4 freigegeben?

a) Blockheizkraftwerk belädt Speicher 5 und 6 parallel

- Test 5: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
- Test 6: Ist das Ventil 54 und 55 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 5 und 6 geöffnet?
- Test 7: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 5 und 6 gestoppt?
- Test 8: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 5 und 6 freigegeben?

b) Blockheizkraftwerk belädt Speicher 5 und 6 in Reihe

- Test 9: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
- Test 10: Ist das Ventil 55 und 12 für die Reihenbeladung von Speicher 5 und 6 geöffnet?
- Test 11: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 6 gestoppt?
- Test 12: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 6 freigegeben?

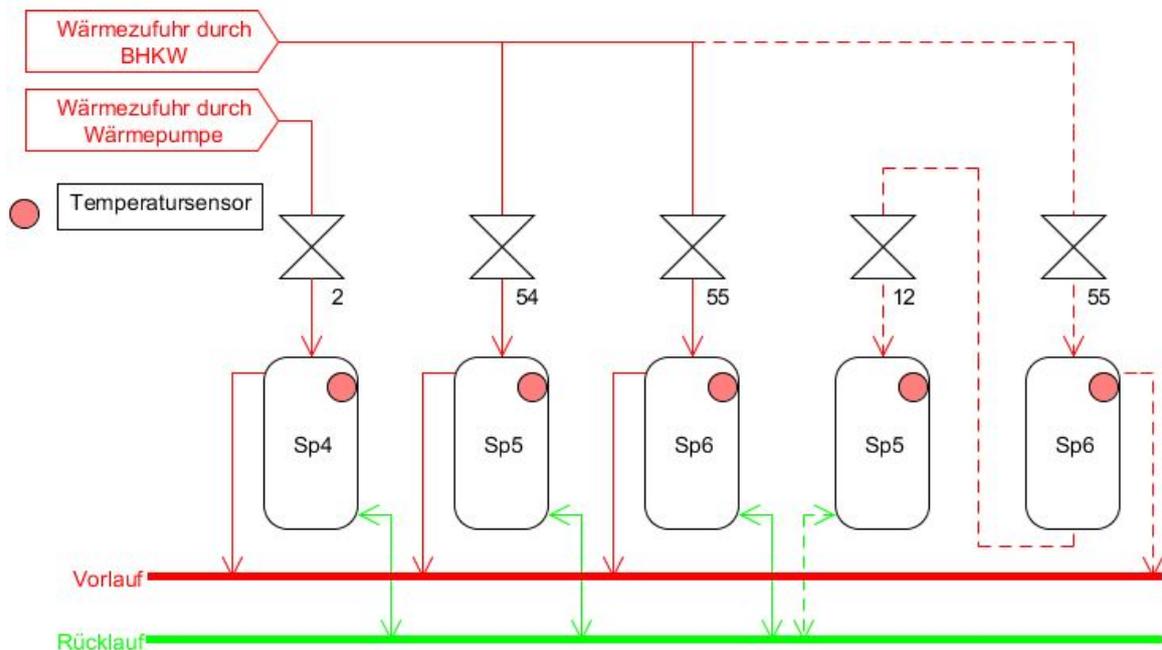


Abbildung A.5: hydraulische Verschaltung des Szenarios 5

Szenariotest 6

Wie in der Abbildung A.6 zusehen ist, wird im Szenario 6 mit Hilfe des Blockheizkraftwerks der Speicher 6 beladen, während die Wärmepumpe Speicher 4 und 5 a) parallel oder hier gestrichelt dargestellt b) in Reihe belädt.

- Test 1: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
- Test 2: Ist das Ventil 55 für den Beladevorgang von Speicher 6 geöffnet?
- Test 3: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 6 gestoppt?
- Test 4: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 6 freigegeben?

a) Wärmepumpe belädt Speicher 4 und 5 parallel

- Test 5: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
- Test 6: Ist das Ventil 11 und 53 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 4 und 5 geöffnet?
- Test 7: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes

einzelnen Speichers von 4 und 5 gestoppt?

Test 8: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 4 und 5 freigegeben?

b) Wärmepumpe belädt Speicher 4 und 5 in Reihe

Test 9: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?

Test 10: Ist das Ventil 11 und 8 für die Reihenbeladung von Speicher 4 und 5 geöffnet?

Test 11: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 5 gestoppt?

Test 12: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 5 freigegeben?

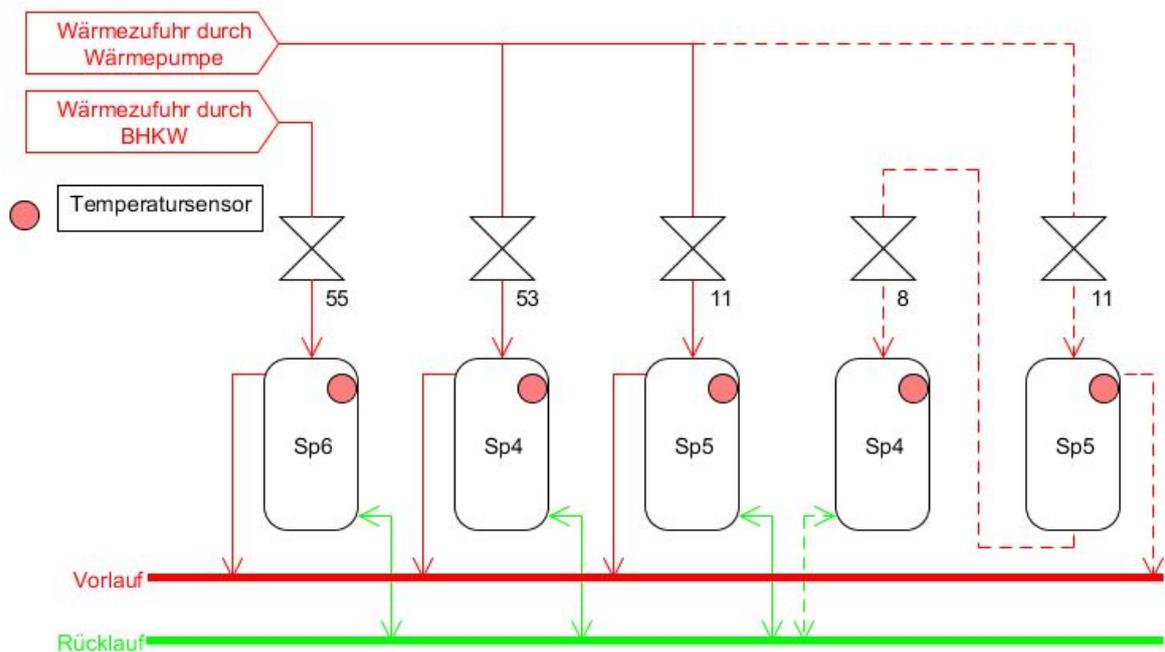


Abbildung A.6: hydraulische Verschaltung des Szenarios 6

Szenariotest 7

Wie in der Abbildung A.7 zusehen ist, werden im Szenario 7 mit Hilfe der Wärmepumpe oder des Blockheizkraftwerks die Speicher 4-6 in Reihe beladen.

- Test 1: Ist die Wärmepumpe und das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
 Test 2: Sind die Ventile 36, 55, 12 und 8 für die Reihenbeladung von Speicher 4, 5 und 6 geöffnet?
 Test 3: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 6 gestoppt?
 Test 4: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur des Speichers 6 freigegeben?

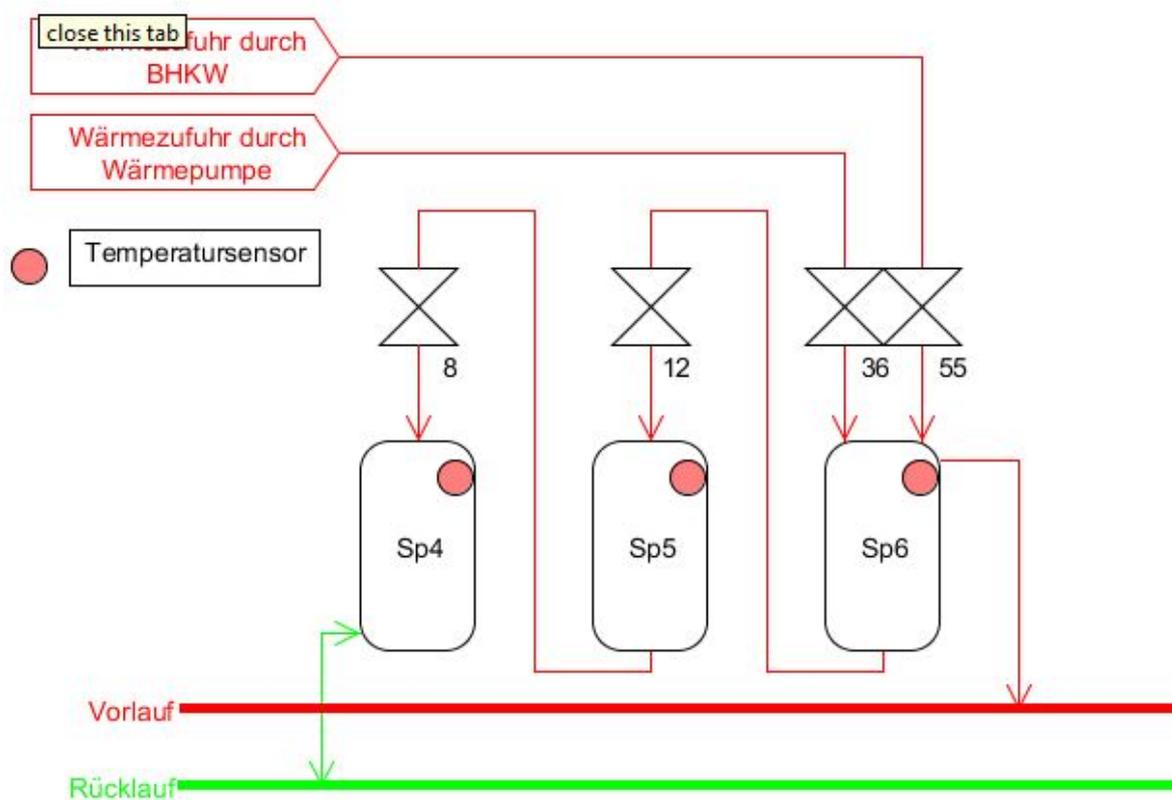


Abbildung A.7: hydraulische Verschaltung des Szenarios 7

Szenariotest 8

Wie in der Abbildung A.8 zusehen ist, wird im Szenario 8 mit Hilfe der Wärmepumpe der Vorlauf des Heizkreises direkt beliefert. Es befindet sich kein Speicher dazwischen.

- Test 1: Ist die Wärmepumpe bereit für die Belieferung des Vorlaufs für den Heizkreis?
Test 2: Ist das Ventil 57 für die Belieferung des Vorlauf für den Heizkreis geöffnet?



Abbildung A.8: hydraulische Verschaltung des Szenarios 8

Szenariotest 9

Wie in der Abbildung A.9 zusehen ist, wird im Szenario 9 mit Hilfe des Blockheizkraftwerks der Vorlauf des Heizkreises direkt beliefert. Es befindet sich kein Speicher dazwischen.

- Test 1: Ist das Blockheizkraftwerk bereit für die Belieferung des Vorlaufs für den Heizkreis?
Test 2: Ist das Ventil 56 für die direkte Belieferung des Vorlaufs für den Heizkreis geöffnet?



Abbildung A.9: hydraulische Verschaltung des Szenarios 9

Szenariotest 10

Wie in der Abbildung A.10 zusehen ist, wird im Szenario 10 mit Hilfe der Wärmepumpe die PCM-Speicher 2 und 3 parallel beladen, während das Blockheizkraftwerk Speicher 4-6 in Reihe belädt.

- Test 1: Ist die Wärmepumpe bereit zum Beladen?
 Test 2: Sind die Ventile 2 und 4 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 2, 3 geöffnet?
 Test 3: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
 Test 4: Sind die Ventile 55, 12 und 8 für die Reihenbeladung von Speicher 4, 5 und 6 geöffnet?
 Test 5: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 2, 3 und 6 gestoppt?
 Test 6: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 2, 3 und 6 freigegeben?

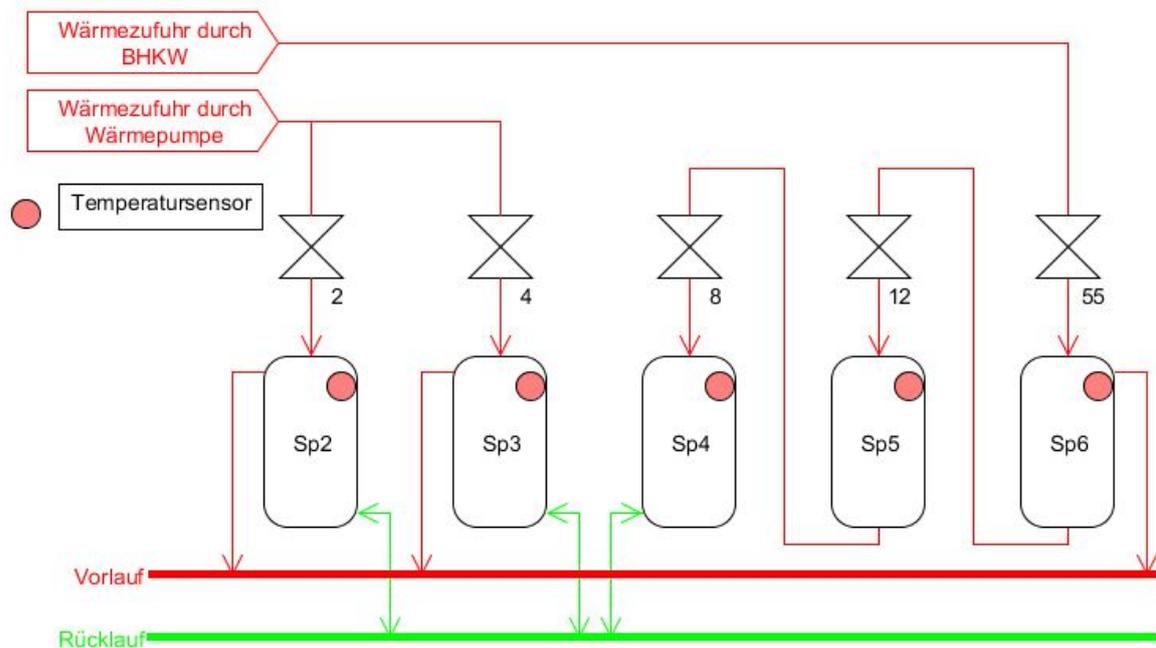


Abbildung A.10: hydraulische Verschaltung des Szenarios 10

Szenariotest 11

Wie in der Abbildung A.11 zusehen ist, wird im Szenario 11 mit Hilfe der Wärmepumpe die PCM-Speicher 2 und 3 parallel beladen, während das Blockheizkraftwerk Speicher 4-6 parallel belädt.

- Test 1: Ist die Wärmepumpe bereit zum Beladen?
 Test 2: Sind die Ventile 2 und 4 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 2, 3 geöffnet?
 Test 3: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
 Test 4: Sind die Ventile 55, 54 und 52 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 4, 5 und 6 geöffnet?
 Test 5: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers gestoppt?
 Test 6: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers freigegeben?

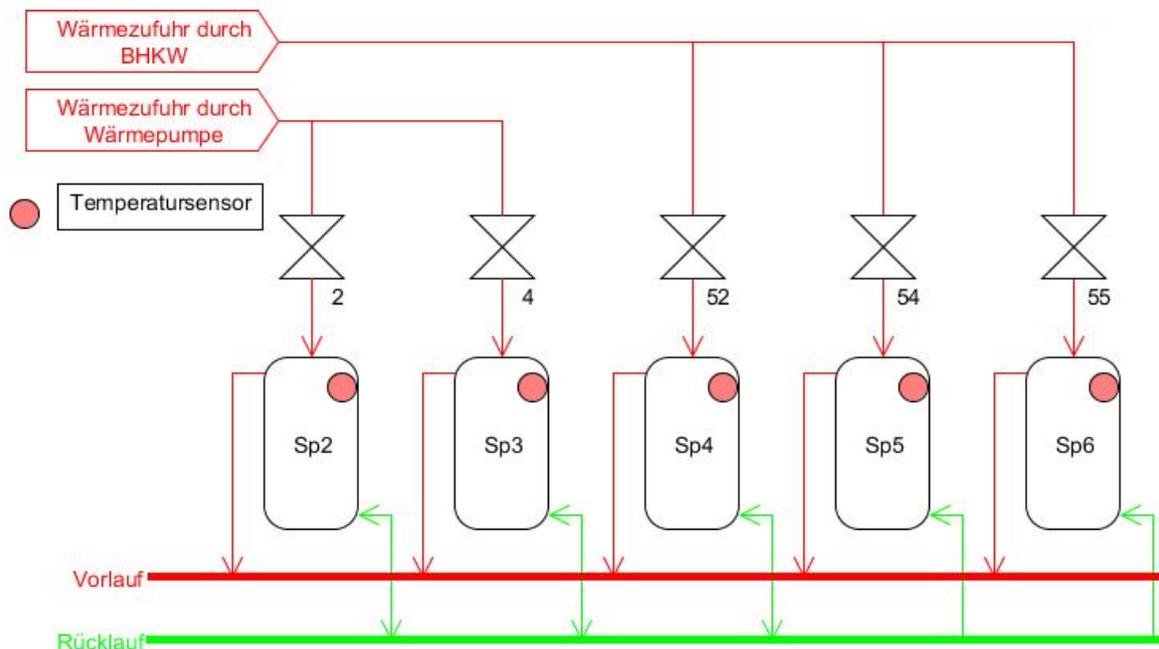


Abbildung A.11: hydraulische Verschaltung des Szenarios 11

Szenariotest 12

Wie in der Abbildung A.12 zusehen ist, wird im Szenario 12 mit Hilfe des Blockheizkraftwerks die PCM-Speicher 2 und 3 parallel beladen, während die Wärmepumpe Speicher 4-6 in Reihe belädt.

- Test 1: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
 Test 2: Sind die Ventile 50 und 51 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 2, 3 geöffnet?
 Test 3: Ist die Wärmepumpe bereit zum Beladen?
 Test 4: Sind die Ventile 36, 12 und 8 für die Reihenbeladung von Speicher 4, 5 und 6 geöffnet?
 Test 5: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 2, 3 und 6 gestoppt?
 Test 6: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers von 2, 3 und 6 freigegeben?

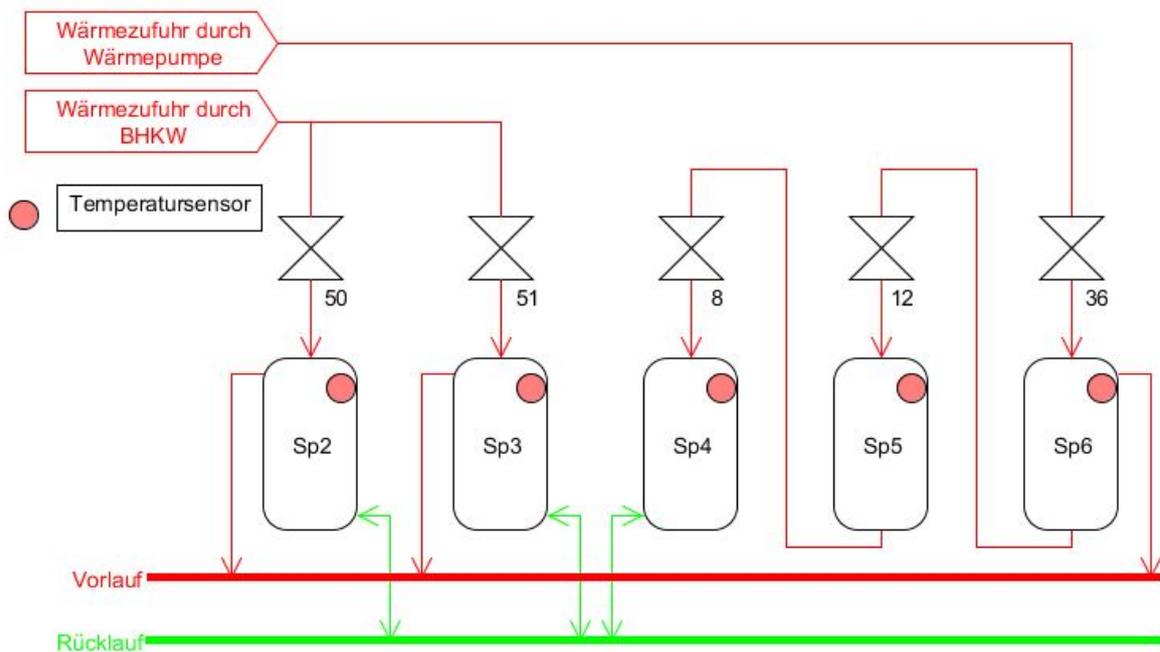


Abbildung A.12: hydraulische Verschaltung des Szenarios 12

Szenariotest 13

Wie in der Abbildung A.13 zusehen ist, wird im Szenario 13 mit Hilfe des Blockheizkraftwerks die PCM-Speicher 2 und 3 parallel beladen, während die Wärmepumpe Speicher 4-6 parallel belädt.

- Test 1: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
 Test 2: Sind die Ventile 50 und 51 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 2, 3 geöffnet?
 Test 3: Ist die Wärmepumpe bereit zum Beladen?
 Test 4: Sind die Ventile 36, 53 und 11 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 4, 5 und 6 geöffnet?
 Test 5: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers gestoppt?
 Test 6: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers freigegeben?

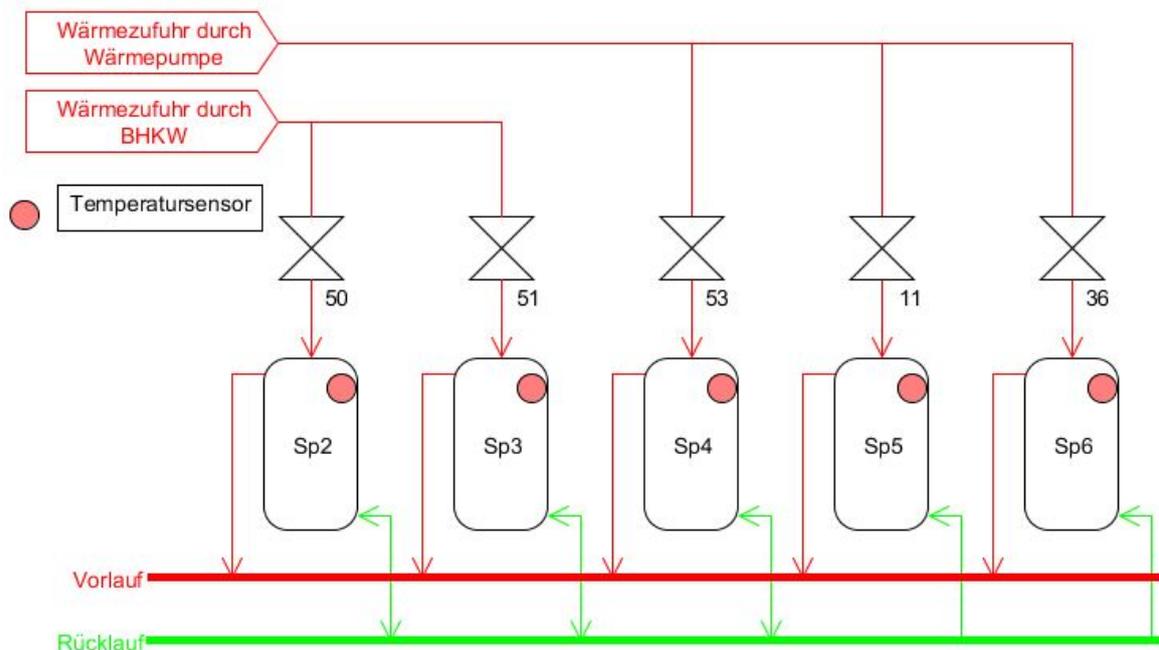


Abbildung A.13: hydraulische Verschaltung des Szenarios 13

Szenariotest 14

Wie in der Abbildung A.14 zusehen ist, wird im Szenario 14 mit Hilfe der Wärmepumpe die PCM-Speicher 2 und 3 parallel beladen, während das Blockheizkraftwerk den Heizkreis direkt mit Wärme beliefert.

- Test 1: Ist die Wärmepumpe bereit zum Beladen?
- Test 2: Sind die Ventile 2 und 4 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 2, 3 geöffnet?
- Test 3: Ist das Blockheizkraftwerk bereit?
- Test 4: Ist das Ventil 56 für die direkte Belieferung des Vorlaufs für den Heizkreis geöffnet?
- Test 5: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers gestoppt?
- Test 6: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers freigegeben?

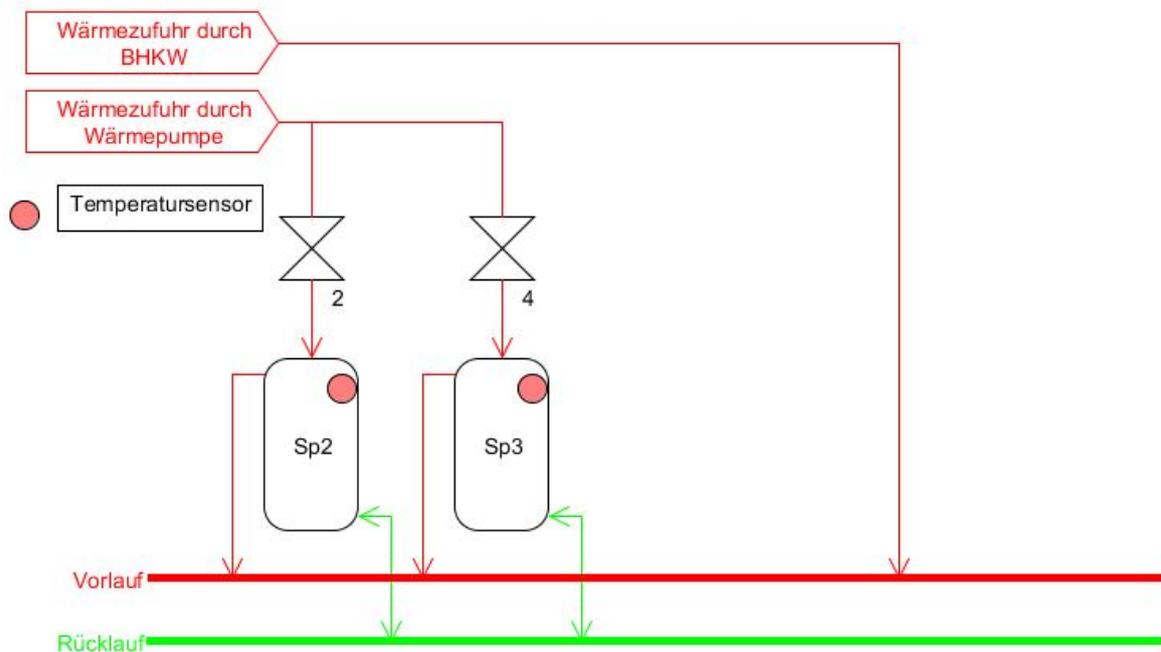


Abbildung A.14: hydraulische Verschaltung des Szenarios 14

Szenariotest 15

Wie in der Abbildung A.15 zusehen ist, wird im Szenario 15 mit Hilfe des Blockheizkraftwerks die PCM-Speicher 2 und 3 parallel beladen, während die Wärmepumpe den Heizkreis direkt mit Wärme beliefert.

- Test 1: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
- Test 2: Sind die Ventile 50 und 51 für den parallelen Beladevorgang von Speicher 2, 3 geöffnet?
- Test 3: Ist die Wärmepumpe bereit?
- Test 4: Ist das Ventil 57 für die direkte Belieferung des Vorlaufs für den Heizkreis geöffnet?
- Test 5: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers gestoppt?
- Test 6: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers freigegeben?

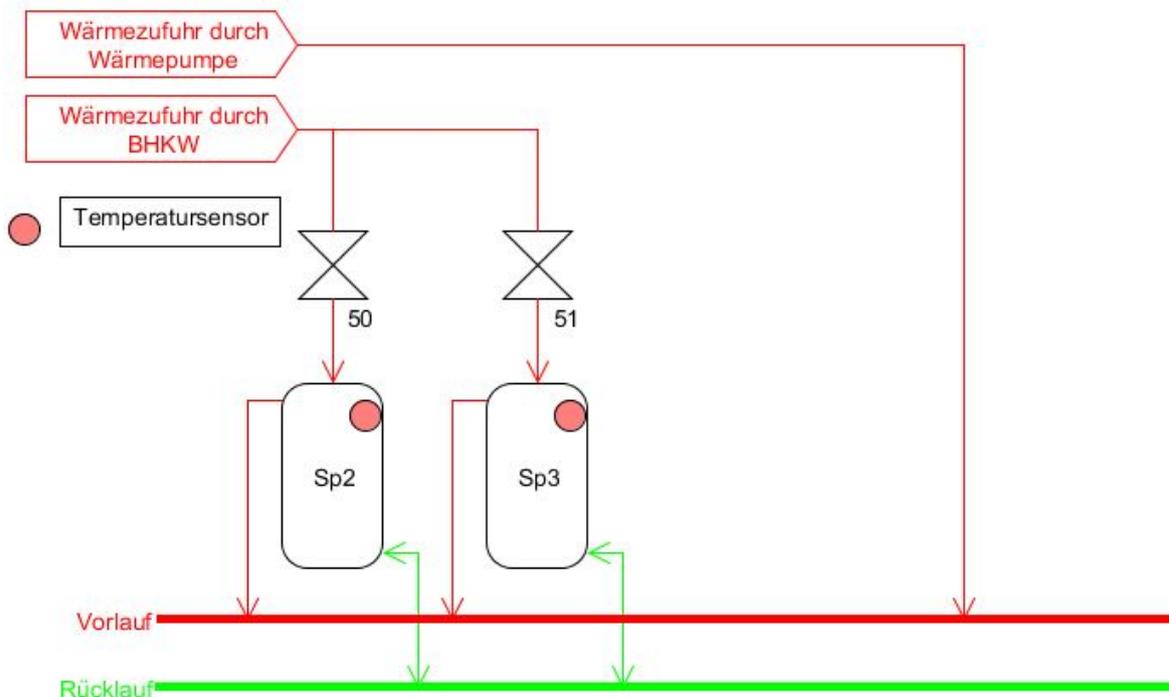


Abbildung A.15: hydraulische Verschaltung des Szenarios 15

Szenariotest 16

Wie in der Abbildung A.16 zusehen ist, wird im Szenario 16 mit Hilfe der reversiblen Wärmepumpe und optional mit der Kältemaschine der Kältespeicher 1 mit Kälte beladen.

- Test 1: Ist die reversible Wärmepumpe und optional die Kältemaschine bereit zum Beladen?
- Test 2: Sind die Ventile 30 und 42 für den Beladevorgang von Speicher 1 geöffnet?
- Test 3: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der unteren Speichertemperatur vom Speicher 1 gestoppt?
- Test 4: Wird der Vorlauf zum Kühlsystem nach Erreichen der unteren Speichertemperatur des Speichers 1 freigegeben?

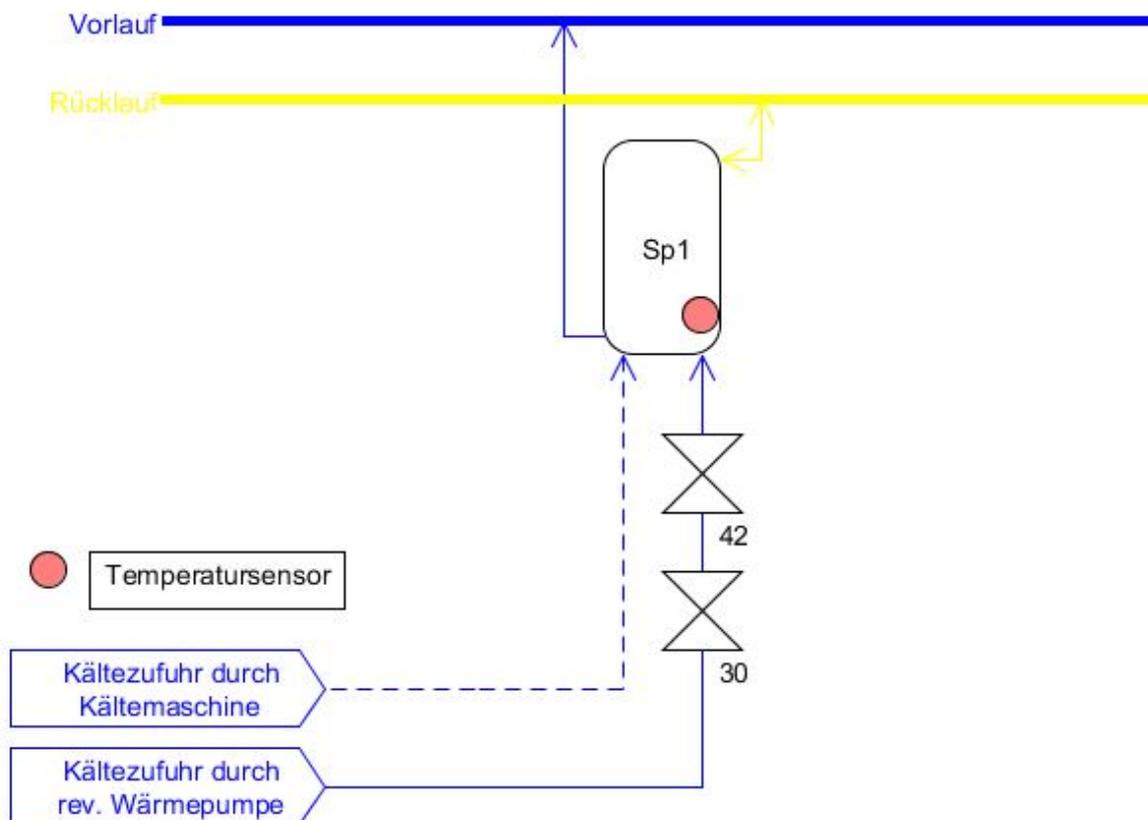


Abbildung A.16: hydraulische Verschaltung des Szenarios 16

Szenariotest 20

Wie in der Abbildung A.17 zusehen ist, wird im Szenario 16 mit Hilfe der Umwälzpumpe der Kältespeicher 1 mit Kälte beladen.

- Test 1: Ist die Umwälzpumpe bereit zum Beladen?
- Test 2: Sind die Ventile 30 und 42 für den Beladevorgang von Speicher 1 geöffnet?
- Test 3: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der unteren Speichertemperatur vom Speicher 1 gestoppt?
- Test 4: Wird der Vorlauf zum Kühlsystem nach Erreichen der unteren Speichertemperatur des Speichers 1 freigegeben?

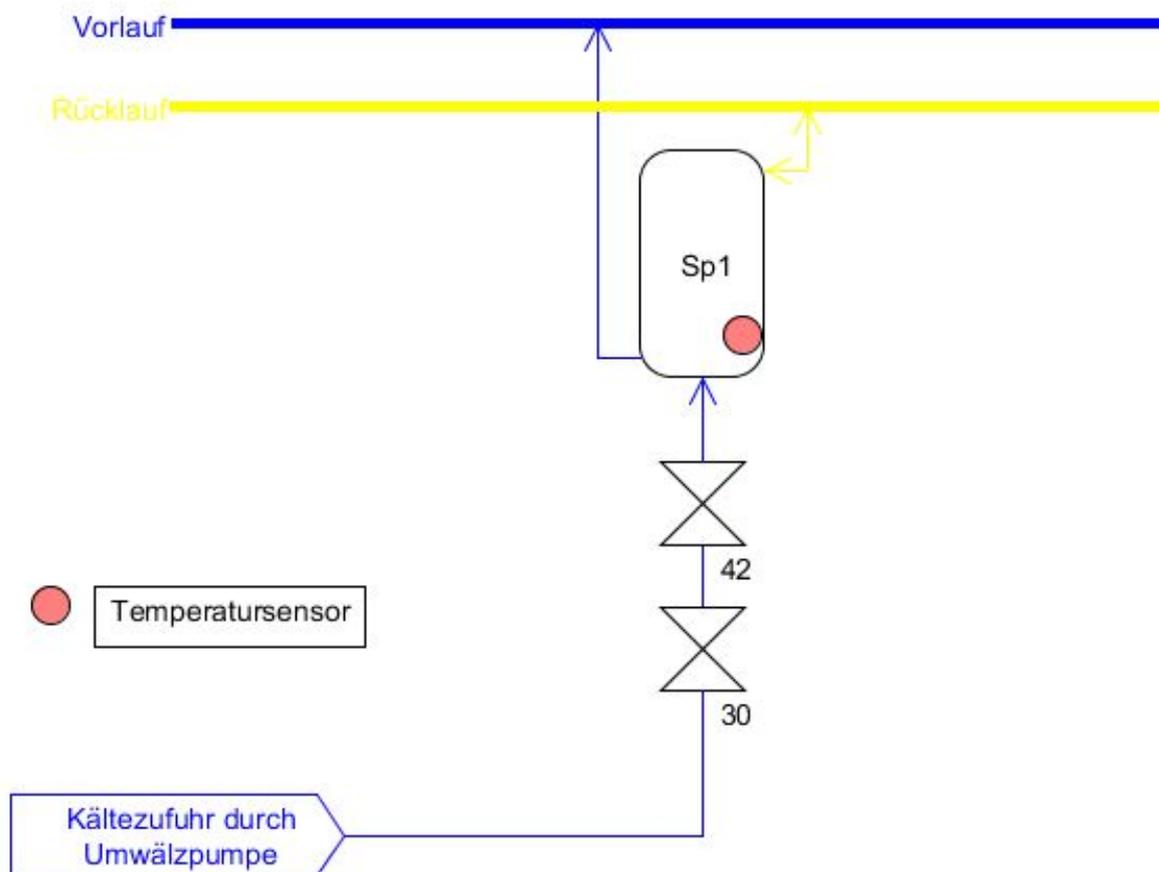


Abbildung A.17: hydraulische Verschaltung des Szenarios 20

Szenariotest 22

Wie in der Abbildung A.19 zusehen ist, wird im Szenario 22 mit Hilfe der Umwälzpumpe der Vorlauf des Kühlkreises direkt beliefert. Es befindet sich kein Speicher dazwischen.

- Test 1: Ist die Umwälzpumpe bereit für die Belieferung des Vorlaufs mit Kälte?
Test 2: Sind die Ventile 30 und 42 für die direkte Belieferung des Vorlaufs mit Kälte geöffnet?

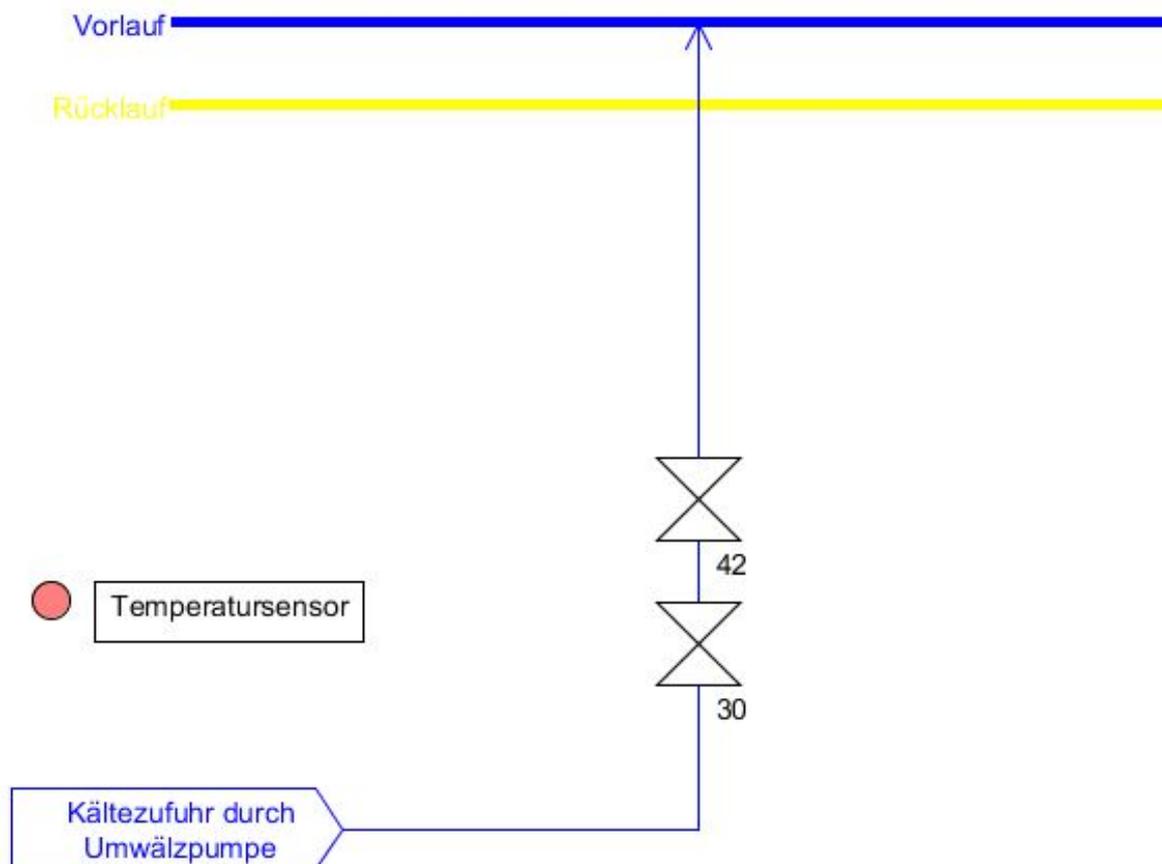


Abbildung A.19: hydraulische Verschaltung des Szenarios 22

Szenariotest 23

Wie in der Abbildung A.20 zusehen ist, werden im Szenario 23 mit Hilfe der reversiblen Wärmepumpe und optional mit der Kältemaschine der Speicher 1 mit Kälte versorgt. Das Blockheizkraftwerk beliefert zudem die Speicher 2-6 parallel mit Wärme.

- Test 1: Ist die reversible Wärmepumpe und optional die Kältemaschine bereit zum Beladen?
- Test 2: Sind die Ventile 30 und 42 für den Beladevorgang von Speicher 1 geöffnet?
- Test 3: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der unteren Speichertemperatur vom Speicher 1 gestoppt?
- Test 4: Wird der Vorlauf zum Kühlsystem nach Erreichen der unteren Speichertemperatur des Speichers 1 freigegeben?
- Test 5: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
- Test 6: Sind die Ventile 50, 51, 52, 54 und 55 für den parallelen Beladevorgang für Speicher 2-6 geöffnet?
- Test 7: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers gestoppt?
- Test 8: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers freigegeben?

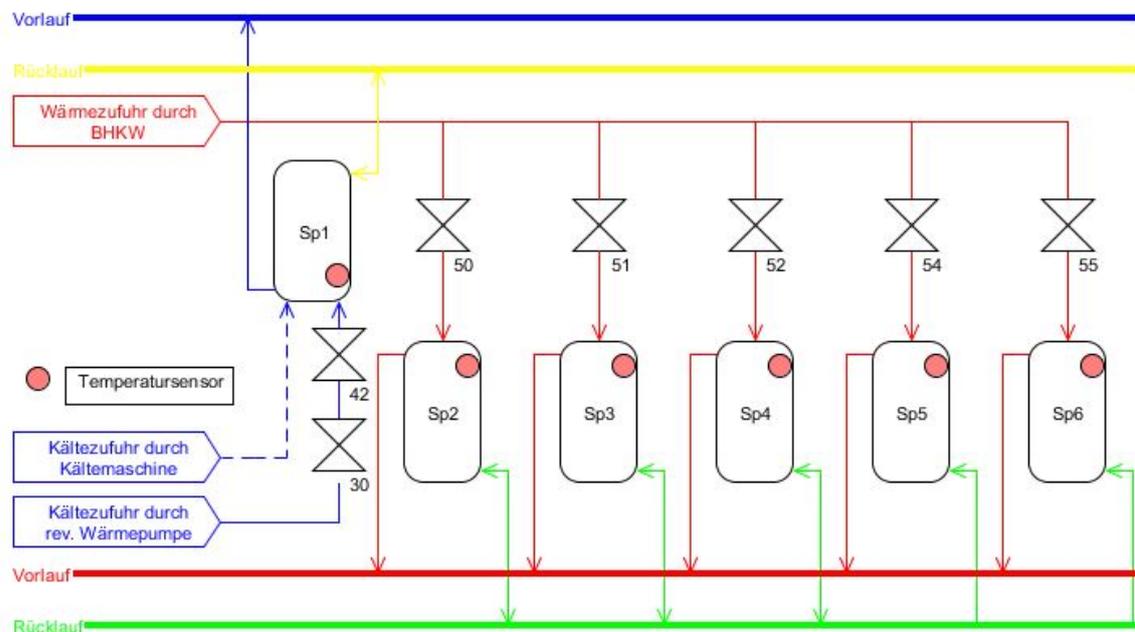


Abbildung A.20: hydraulische Verschaltung des Szenarios 23

Szenariotest 24

Wie in der Abbildung A.21 zusehen ist, werden im Szenario 24 mit Hilfe der reversiblen Wärmepumpe der Vorlauf des Kühlkreises mit Kälte direkt beliefert. Es befindet sich kein Speicher dazwischen. des Blockheizkraftwerks die Speicher 2-6 parallel beladen.

- Test 1: Ist die reversible Wärmepumpe bereit für die Belieferung des Vorlaufs mit Kälte?
 Test 2: Sind die Ventile 30 und 42 für die direkte Belieferung des Vorlaufs mit Kälte geöffnet?
 Test 3: Ist das Blockheizkraftwerk bereit zum Beladen?
 Test 4: Sind die Ventile 50, 51, 52, 54 und 55 für den parallelen Beladevorgang für Speicher 2-6 geöffnet?
 Test 5: Wird der Beladevorgang nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers gestoppt?
 Test 6: Wird der Vorlauf zum Heizsystem nach Erreichen der oberen Speichertemperatur jedes einzelnen Speichers freigegeben?

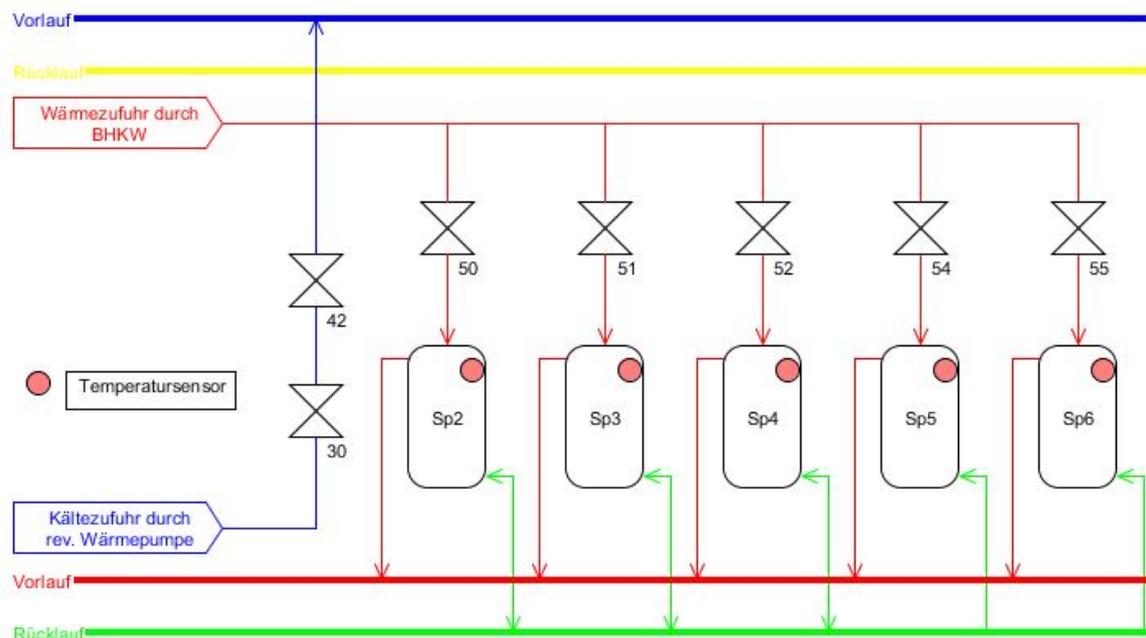


Abbildung A.21: hydraulische Verschaltung des Szenarios 24

A.2 Telefonprotokolle

Um die Gespräche mit den Gebäudeautomatisierungsfirmen zu dokumentieren, sind folgende Protokolle entstanden.

Honeywell

Datum: 23.08.2013

Gesprächspartner: Herr Oliver Kraus (Honeywell)

Frage: Hat der Rechner für die Forschungsanlagen das gleiche Protokoll wie der Leit-rechner?

Antwort: Ja es wird das BACnet Protokoll oder eine OPC Schnittstelle angeboten, dies ist Stand der Technik

Frage: Vorteile von OPC zu BACnet?

Antwort: Es ist einfacher zu programmieren, da es keine Objekte umfasst sondern Parameter.

Frage: Wozu dient der EBI Server?

Antwort: Er besitzt eine beschränkte Intelligenz, scannt die Automatisierungsebene. Nur bei Wertänderungen werden Daten vom Controller an den EBI Server gesendet. Dient als Datenspeicher und zur Visualisierung des Gebäudeautomatisierungssystems. Der Server ist für 2500 Datenpunkte ausgestattet. Bei einer Anbindung über OPC in der Managementebene ist die Anzahl der Teilnehmer auf die maximal mögliche Anzahl für das Netzwerk beschränkt. Es können aber bei BACnet 12 Reader über Teamviewer eingesetzt werden. Durch den EBI Server ist die Managementebene zentralisiert.

Frage: Wo findet die Programmierung für die Regelungen statt?

Antwort: In der Automatisierungsebene in den Controllern vor den Anlagen.

Frage: Wo können unsere Anlagenmodelle auf dem Raspberry Pi in das System integriert werden?

Antwort: In der Managementebene.

Frage: Wie können unterschiedliche Protokolle in der Automatisierungsebene mit dem BAC-net Protokoll verbunden werden?

Antwort: Über sogenannte Gateways oder Wandler, diese übersetzen das Protokoll einer Anlage in das Protokoll der Managementebene. Dafür ist allerdings Programmieraufwand einzuplanen.

Frage: Ist eine Implementierung einer Resetfunktion möglich?

Antwort: Ja, diese könnte im EBI Server implementiert werden. Dieser setzt die Anlagen bei Betätigung des Resets auf Startwert zurück. Dieser Startwert wird als Ausgangszustand benutzt.

Frage: Entstehen weitere Kosten wenn das System in der Managementebene erweitert wird?

Antwort: Nein nur wenn die Anzahl der Reader 12 übersteigt.

Zusätzlich wurde vereinbart, das weitere Unterlagen zur Informationsbeschaffung an mich gesendet werden. Es wird eine Betriebsanleitung des EBI Servers gesendet.

Datum: 16.01.2014

Gesprächspartner: Herr Tobias Kalb (Honeywell)

Frage: Wo können Bereiche festgelegt werden die bestimmte Abstufungen bei den Regelungen möglich machen?

Antwort: Die Alarmgrenzen werden im Controller implementiert, dabei sind auch automatisierte Gegenregelungen möglich. Für die Regelung eines Systems bzw. mehrerer Anlagen ist dies zudem über den EBI Server möglich.

Frage: wie wird der Brandschutz gewährleistet?

Antwort: Dieser wird zusätzlich Hardwaremäßig abgefangen.

Frage: Können die Grenzen direkt an den Controllern verstellt werden?

Antwort: Ja, dies ist allerdings mit Zugriffsrechten abgesichert. Und eine Fehlbedienung kann zu einen Störfall führen falls keine Bereiche für eine Rückfallsicherung implementiert sind.

Frage: Wie wird eine OPC Schnittstelle implementiert?

Antwort: Die benötigten OPC Server werden im EBI Server integriert, damit ein Austausch mit den Rechnern in der Managementebene möglich ist.

Frage: Wie sieht das System in der Managementebene aus?

Antwort: Es ist keine Peer-to-Peer Verbindung, allerdings wird mit verteilten Serverstrukturen gearbeitet. Dabei können sie genau gleich eingerichtet werden und können die gleichen Rechte bekommen, wie der Leitreechner.

Zusätzlich wurde vereinbart, das weitere Unterlagen zur Informationsbeschaffung an mich gesendet werden. Es wird ein Beispiel für eine Überwachung eines Systems und eine Betriebsanleitung für einen Controller gesendet.

Siemens

Datum: 23.01.2014

Gesprächspartner: Herr Krüger (Siemens)

Frage: Wie sieht das System von Siemens in der Managementebene aus?

Antwort: Es gibt eine Leitreechner und zusätzlich kann ein Rechner für Forschungszwecke

verbunden werden. Dies wird nachdem Stand der Technik mit dem BACnet Protokoll ermöglicht. Zudem ist eine Implementierung einer OPC Verbindung denkbar.

Frage: Gibt es einen Server oder Leitreechner wo die Daten gespeichert werden?

Antwort: Es gibt einen Leitreechner bei dem die wichtigsten Daten für die Visualisierung gespeichert werden. Wenn allerdings weitere Datenmengen gespeichert werden sollen, bietet sich ein Server an.

Frage: Kann eine oder wie wird eine OPC Schnittstelle implementiert?

Antwort: Es ist möglich einen OPC Server einzurichten, indem man zum Beispiel den Leitreechner als OPC Server verwendet.

Frage: Entstehen weitere Kosten wenn das System in der Managementebene erweitert wird?

Antwort: Es entstehen nur Kosten wenn die Datenpunkte erschöpft sind und eine Erweiterung der Datenpunkte nötig wird. Ansonsten kann das System um weitere Teilnehmer in der Automatisierungsebene und Managementebene erweitert werden.

Frage: Hat der Rechner für die Forschungsanlagen das gleiche Protokoll wie der Leitreechner?

Antwort: Wenn ein Controller dazwischen geschaltet wird, ist auch ein anderes Protokoll denkbar. Sonst spricht die Managementebene ein einheitliches Protokoll.

Frage: Wo können unsere Anlagenmodelle auf dem Raspberry Pi in das System integriert werden?

Antwort: Diese Implementierung muss in der Leitebene stattfinden, da in der Automatisierungsebene mit den Controllern vor den Anlagen ausgestattet sind.

Frage: Wo finden die Programmierungen für die Regelungen statt?

Antwort: Die Programmierungen findet in den Controller statt.

Frage: Wie können unterschiedliche Protokolle in der Automatisierungsebene mit dem BACnet Protokoll verbunden werden?

Antwort: Über sogenannte Gateways die ein gegebenes Protokoll in ein benötigtes Protokoll übersetzen.

Frage: Ist eine Implementierung einer Resetfunktion möglich?

Antwort: Ja auch dies muss an den Controllern erfolgen, kann aber über den Leitreechner als System geregelt werden. Jeder Controller wird dabei mit einer separaten Resetfunktion ausgestattet.

Frage: Wo können Bereiche festgelegt werden die bestimmte Abstufungen bei den Regelungen möglich machen?

Antwort: Da die Controller frei programmierbar sind ist eine Implementierung in den Controllern vorgesehen.

Frage: Können die Grenzen direkt an den Controllern verstellt werden?

Antwort: Ja über eine direkte Ansteuerung.

A.3 Benutzerhandbücher und Sonstiges

Die bereits in dem Literaturverzeichnis angegebenen Benutzerhandbücher, Datenblätter und Leistungsverzeichnisse der Firmen Honeywell, Kraftwerk, Matrikon, Refu, Siemens, BACnet und Passau Ingenieure werden auf Grund des erhöhten Papierbedarfs auf DVD gebrannt und sind bei Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Renz einzusehen.

B Quellcode

Die Matlab/Simulink Dateien befinden sich auf DVD und sind bei Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Renz einzusehen.

Versicherung über die Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §16(5) APSO-TI-BM ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, 26. Januar 2014

Ort, Datum

Unterschrift