



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Diplomarbeit

Bente Lockau

Kosteneffizienzanalyse des InSeL Modells unter
Berücksichtigung der eingesetzten
Sekundärregelleistung

Bente Lockau

Kosteneffizienzanalyse des InSeL Modells unter
Berücksichtigung der eingesetzten
Sekundärregelleistung

Diplomarbeit eingereicht im Rahmen der Diplomprüfung
im Studiengang Informations- und Elektrotechnik
Studienrichtung Automatisierungstechnik
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. -Ing. Franz Schubert
Zweitgutachter : Prof. Dr. Gustav Vaupel

Abgegeben am 15. Dezember 2011

Bente Lockau

Thema der Diplomarbeit

Kosteneffizienzanalyse des InSeL Modells unter Berücksichtigung der eingesetzten Sekundärregelleistung

Stichworte

Lastmanagement, Bilanzkreis, Regelleistung, Dreipunktregler, Forschungsprojekt InSeL, Ausgleichsenergie, Netzregelverbund

Kurzzusammenfassung

In einem, zu einem Netzwerk zusammengeschlossenen Hamburger Liegenschaften abbildenden, Matlab/Simulink Modell soll der übergeordnete Regler so angepasst werden, dass die eingesetzte Sekundärregelleistung bei der Ausführung der Regelung berücksichtigt wird. Aufgabe des übergeordneten Reglers ist es den Summenlastverlauf entlang des prognostizierten Fahrplans zu regeln und möglichst genau einzuhalten, hierbei sind von den Liegenschaften vorgegebene Lastgrenzen sowie selbsttätiges Zu- und Abschalten von Verbrauchern innerhalb der Liegenschaften zu berücksichtigen. Durch die Berücksichtigung der Sekundärregelleistung soll ermittelt werden, ob die Kosten des Bilanzkreises, für den Einsatz von Ausgleichsenergie reduziert werden können.

Bente Lockau

Title of the paper

Cost-effectiveness analysis of the research Project InSeL taking into account the established Secondary control power

Keywords

load management, accounting grid, three-step controller, Research Project InSeL, balancing energy, composite grid control

Abstract

Inside this report the global controller in a Matlab/Simulink model of a network of properties of the City of Hamburg, is adjusted so that the used secondary control power is taken into account in carrying out the scheme. The task of the global control, is the regulation of a sum of load curves to a projected time table. The consideration of the secondary control power is used to find out whether the costs of the accounting grid can be reduced for the use of balancing energy.

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. Franz Schubert für die durch ihn ermöglichte Diplomarbeit. Desweiteren danke ich meinem Koreferenten Herrn Prof. Dr. Gustav Vaupel sehr für die freundliche Übernahme des Koreferats. Meinem Mann danke ich für seine verständnisvolle Rücksicht und Unterstützung. Ebenso danke ich meinen Eltern und Geschwistern für ihr Verständnis und für die mir zuteil gewordene Unterstützung. Außerdem möchte ich den vielen Unterstützern danken, für ihre hilfreichen Tips und Hinweise, besonders hervorgehoben sei hier Thorsten Lubda.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	7
Bildverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Einführung	10
1.1 Motivation zum Forschungsprojekt InSeL	10
1.2 Was ist InSeL	11
1.3 Zielsetzung der Arbeit	13
2 Grundlagen und Begriffsdefinitionen	15
2.1 Regelenergie	15
2.2 Verbändevereinbarung VV2+ und Stromnetzentgeltverordnung	16
2.3 Netzregelverbund	18
2.4 Bilanzkreis	18
2.5 Ausgleichsenergie	19
2.6 Technische Voraussetzungen zum Betreiben des Modells	20
2.6.1 Matlab/Simulink	20
2.7 Regelung	20
2.7.1 Kaskadenregelung	22
3 Modellbeschreibung	23
3.1 Aufbau des zu regelnden Systems	23
3.2 eingesetzte Reglertypen	26
4 Systemerweiterung	29
4.1 Welche Daten werden zusätzlich erfasst	29
4.2 Entwicklung der Datensätze der Sekundärregelleistung	29
4.2.1 Erstellung von Auswerteregeln für die eingesetzte Sekundärregelleistung	29
4.3 Die Analyse der Kosten	34
4.4 Kostenrechnung	34
5 Analyse und Auswertung	37
5.1 Zusammenhang zwischen Netzfrequenz und Sekundärregelleistung	37
5.2 Bewertung der Datensätze	37
5.3 Ergebnisse der Kostenanalyse	38

6 Zusammenfassung und Ausblick	44
6.1 Zusammenfassung	44
6.2 Ausblick	46
Literaturverzeichnis	47
A Anhang	49
A.1 Matlab Routinen	49
A.1.1 Kostenrechnung_new3.m	49
A.1.2 SRL.m	52
A.2 C# - Programm zur SRL- Entwicklung	53

Tabellenverzeichnis

3.1	In das Modell integrierte Liegenschaften	24
4.1	Fallunterscheidung	30
4.2	Wertebereich und Minutenwerte	31
5.1	Reglerkosten der ursprünglichen Regler	38
5.2	Kosten und Erlöse des um die Sekundärregelung erweiterten Modells	39

Bildverzeichnis

1.1	Gleichgewicht der Netzfrequenz	11
2.1	Aufteilung der Regelenergie	15
2.2	Regelzonenkarte deutscher Übertragungsnetzbetreiber	19
2.3	Aufbau eines Standard-Regelkreises	20
2.4	Sprungantwort eines PID-Reglers	21
2.5	Aufbau einer Kaskadenregelung	22
3.1	Oberste Modellebene	23
3.2	Liegenschaften	25
3.3	Modell des Dreipunktreglers	26
3.4	Timerschaltung zur Reglerfreigabe	28
4.1	Verlauf der Sekundärregelleistung	32
4.2	Minutenwertabschätzung	32
4.3	Richtung der Sekundärregelleistung	33
4.4	Blackbox Enable	33
4.5	erweiterter Dreipunktregler im Modell	33
4.6	erweiterter Fuzzy-Regler im Modell	34
5.1	Vergleich zwischen Netzfrequenz und Sekundärregelleistungsdaten	38
5.2	Auswertung der fehlerhaften Viertelstunden im Jahr beim Dreipunktregler	40
5.3	Auswertung der fehlerhaften Viertelstunden im Jahr beim neu implementierten Dreipunktregler	40
5.4	Auswertung der fehlerhaften Viertelstunden im Jahr beim Fuzzy-Regler	41
5.5	Auswertung der fehlerhaften Viertelstunden im Jahr beim neu implementierten Fuzzy-Regler	41
5.6	Tageslastverlauf des neu implementierten Dreipunktreglers	42
5.7	Vergleich der Dreipunktregler im Tageslastverlauf	42
5.8	Tageslastverlauf des neu implementierten Fuzzy-Reglers	43
5.9	Vergleich der Fuzzy-Regler im Tageslastverlauf	43

Abkürzungsverzeichnis

EEG Erneuerbare Energien Gesetz,

EnWG Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschafts Gesetz),

BK .. Bilanzkreis,

BKV Bilanzkreisverantwortlicher ,

bzw. beziehungsweise ,

d.h. .. das heißt,

InSeL Internetbasiertes System eines erweiterbaren Lastmanagements zur Integration in virtuelle Kraftwerke,

kW .. Kilowatt,

kWh Kilowattstunde,

reBaP regelzonenübergreifender einheitlicher Bilanzausgleichsenergiepreis,

StromNEV Stromnetzentgeltverordnung ,

VV2+ Verbändevereinbarung 2+,

z.B. .. zum Beispiel,

1 Einführung

In der vorliegenden Diplomarbeit wird die Untersuchung einer möglichen Reduzierung der Kosten für die benötigte Ausgleichsenergie durch Berücksichtigung der Sekundärregelleistung am Energiemanagement-Regler im Forschungsprojekt InSeL (**I**nternetbasiertes **S**ystem eines **e**rweiterbaren **L**astmanagements zur Integration in virtuelle Kraftwerke) beschrieben.

1.1 Motivation zum Forschungsprojekt InSeL

Die Energieversorger werden, durch die in den letzten Jahren aufgetretenen Änderungen des Energiemarktes und die zu erkennenden zukünftigen umwelttechnischen Herausforderungen an die Energiewirtschaft, zum Umdenken gezwungen. Es begann die Liberalisierung des Strommarktes und der Atomausstieg wurde von der früheren Bundesregierung beschlossen. Desweiteren führten bekannte Umweltproblematiken wie der Klimawandel und die Verknappung fossiler Energierohstoffe zur Einführung des Erneuerbaren Energie Gesetztes (EEG) im Jahr 2000, das die Förderung von erneuerbaren Energien vorsieht. Zu den erneuerbaren Energien im Sinne des EEG zählen¹ :

- Wasserkraft
- Deponie-, Klär- und Grubengas
- Biomasse
- Geothermie
- Windkraft
- Photovoltaik

Bis zu diesem Zeitpunkt waren und sind auch heute noch Öl, Kohle, Gas, nukleare Brennstoffe sowie in skandinavischen Ländern zusätzlich Wasserkraft die primären Energieträger. Jedoch steigt der Anteil an erneuerbaren Energien. Der Hauptunterschied zwischen erneuerbaren Energien und den bisherigen primären Energieträgern liegt in der Tatsache, dass die erneuerbaren Energien aus Naturprozessen wie Wind und Sonne gewonnen und in elektrische Energie gewandelt werden, der daraus resultierende Hauptvorteil ist, dass die so gewonnene Energie in großen, unbegrenzt reproduzierbaren Mengen vorhanden ist und zugleich umweltschonender ist als die aus fossilen Brennstoffen wie Kohle, Gas und Öl oder nuklearen Brennstoffen wie Uran und Plutonium gewonnene Energie. Aus dem Vorteil der Produktion aus Naturprozessen erwächst jedoch auch das

¹http://www.gesetzeiminternet.de/eeg_2009/BJNR207410008.html Stand: 05.12.2011

Hauptproblem dieser Energien, die Unstetigkeit der Produktion. So wird beispielsweise in einer Windkraftanlage der Wind ausgenutzt um Strom zu erzeugen, jedoch ist nicht mit hundertprozentiger Sicherheit vorherzusagen, wann der Wind weht. Ebenso verhält es sich bei einem Photovoltaik-Kraftwerk, auch hier ist nicht sichergestellt, ob die Sonne dann scheint, wenn Energie benötigt wird. Es lässt sich nur mittels Prognose abschätzen, ob die Quellen auch Energie liefern werden, daher muss die Energie aus mehreren Energieträgern gewonnen werden. Durch das EEG sind die Energieversorger dazu verpflichtet worden, Energie aus erneuerbaren Energieträgern mit Vorrang abzunehmen. Durch die zunehmende Einspeisung von erneuerbaren Energien wird es zunehmend zu Einspeiseschwankungen kommen, die das Stromnetz und die Netzfrequenz belasten. Um eine stabile Netzfrequenz von 50 Hz zu gewährleisten muss ein Gleichgewicht zwischen der Einspeisung und Entnahme von Energie vorliegen. Bild 1.1 veranschaulicht die Auswirkungen eines Ungleichgewichtes auf die Netzfrequenz.² Wird mehr Energie produziert als verbraucht wird, so steigt die Frequenz, wird hingegen mehr Energie verbraucht als produziert, so sinkt die Netzfrequenz. Um dieses Gleichgewicht zu halten und damit die Frequenz zu stabilisieren, wird der Einsatz von Regelernergien erforderlich, diese werden in Kapitel 2 genauer erläutert.

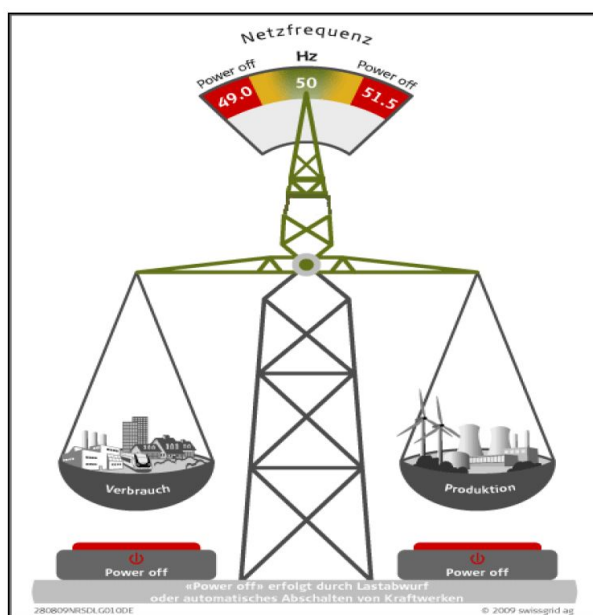


Bild 1.1: Gleichgewicht der Netzfrequenz

1.2 Was ist InSeL

Die Abkürzung InSeL steht für **I**nternetbasiertes **S**ystem eines **e**rweiterbaren **L**astmanagements zur Integration in virtuelle Kraftwerke und beschreibt ein unter

²vgl. Design und Implementierung eines Reglers für ein Modell eines Netzwerkes von Lastmanagement - Anlagen in MATLAB/Simulink, Diplomarbeit, P.Vuthi

der Leitung von Professor Dr. Franz Schubert vom Department Informations- und Elektrotechnik an der Fakultät Technik und Informatik, der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg von 2006 bis Ende 2009 durchgeführtes Forschungsprojekt. Unterstützung erfuhr das Projekt durch die Behörde für Wissenschaft und Arbeit der Freien und Hansestadt Hamburg, das Ingenieurbüro SumBi, die ENVIDIATEC GmbH, die Forschungsinitiative REAP(Resource Efficiency in Architecture and Planning) der Hafen City Universität (HCU) Hamburg und der Steag Saar Energie AG (heute Evonik AG). Das Projekt wurde von privaten Firmen und öffentlichen Institutionen, wie z.B. Verwaltung oder der Hochschule, gemeinsam durchgeführt, da es sich um ein Private Public Partnership Projekt handelt. Die vorangehend genannten Institutionen und Firmen waren als Partner an dem Projekt beteiligt.

Das Ziel des Projektes ist die Erforschung der Möglichkeit, durch die Installation von Lastmanagementanlagen in lastintensiven Liegenschaften Regelenergie bereitstellen zu können, um Abweichungen von der Prognose des Energiebedarfs des Bilanzkreises ausgleichen zu können. Zusätzlich liegt ein weiterer Fokus auf der Fragestellung, ob es zusätzlich möglich ist aus dem Bilanzkreis heraus Regelenergie für den Regelenergie-markt bereit zu stellen.

Hierzu wird ein internetbasiertes Netzwerk aus etwa 30 öffentlichen Liegenschaften aufgebaut, welche von der 10 kV Mittelspannungsebene des Stromnetzes versorgt werden.³ Dadurch wird ein zentraler Großverbraucher mit mehreren Abnahmestellen im Versorgungsnetz anstelle von 30 dezentral gesteuerten Einzelverbrauchern geschaffen. Der dahinterliegende Ansatz ist, dass man dem Energieversorger eine bestimmte Energiemenge zu einem fest definierten Zeitpunkt abnimmt. Die benötigte Energiemenge wird anhand eines prognostizierten Bedarfs am Strommarkt eingekauft. Von den Energieversorgern wird täglich eine Prognose der benötigten Energiemenge am folgenden Tag für alle Verbraucher erstellt anhand derer der Energieversorger die Produktion der Kraftwerke vorausplant, um diese der Planung entsprechend laufen lassen zu können ohne das Netz ausregeln zu müssen. Denn diese Regelungen sind zeitintensiv und erhöhen den Bedarf an fossilen Brennstoffen und dadurch auch den Ausstoß von CO_2 . In den momentanen Bilanzkreisen wird die Einhaltung des Fahrplanes nicht überwacht. In dem durch das Projekt InSeL geschaffenen Bilanzkreis wird der Fahrplan hingegen überwacht und es wird versucht diesen einzuhalten. Dieses Modell eines Energienetzes zusammengesetzener Liegenschaften wird durch einen internetbasierten übergeordneten Regler gesteuert, der einen durch Prognose erstellten Fahrplan für den Tag bekommt. Sowohl in positiver als auch negativer Richtung auftretende Lastspitzen im Summenlastgang sollen durch den Regler angepasst und die gesamte Last soll auf den prognostizierten Fahrplanwert gebracht werden. Diese Anpassung erfolgt durch das Zu- bzw. Abschalten von nicht zwingend benötigten Lasten innerhalb der Liegenschaften. So ist es beispielsweise möglich, eine Klimaanlage für eine bestimmte Zeit abzuschalten, ohne dass dies zu Komfortverlusten für die Nutzer der Liegenschaften führt, da ein Absinken der Raumtemperatur nicht schlagartig vonstattengeht.

In den Liegenschaften werden diese Schaltvorgänge durch installierte Energie-Management Anlagen (EMAX-Anlage) ausgelöst, die mit dem übergeordneten Regler

³vgl.: <http://www.e-island.eu/?Projekt:Projektziel> Änderungsdatum 15.10.2009

verbunden sind. Der Regler übergibt der EMAX-Anlage eine maximale Energiemenge, die ihr zur Verfügung gestellt wird und die sie einhalten muss. Zur Beantwortung der zentralen Fragen des Forschungsprojekts wurde ein Matlab/Simulink Modell entwickelt, in dem die Liegenschaften, in denen sich installierte EMAX-Anlagen befinden mit ihren Stationen und Unterstationen nachgebildet wurden. Für die Liegenschaften ohne installierte EMAX-Anlagen wurde eine solche Anlage entworfen und abgebildet.

1.3 Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Diplomarbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes InSeL erstellt. Sie soll die vorhandenen Regelungen, die im Rahmen der Diplomarbeiten von Herrn Petrit Vuthi und Herrn Oliver Preuß erstellten übergeordneten Regelungen um das Entscheidungskriterium der eingesetzten Sekundärregelleistung (SRL) erweitern und ermitteln ob es durch die gezielte Betrachtung der SRL möglich ist, die Kosten des Bilanzkreises für den Bezug von Ausgleichsenergie zu reduzieren. In der Diplomarbeit von Petrit Vuthi wurde das Gesamtmodell auf der Grundlage dreier vorangegangener Masterarbeiten erstellt mit der Zielsetzung, folgende Fragen zu beantworten.

1. Ist es möglich, durch gezieltes Vernetzen der Lastmanagement-Anlagen genügend Regelenergie bereit zu stellen, um Prognoseabweichungen des Summenlastverlaufs bei einer größeren Anzahl Liegenschaften auszugleichen?
2. Kann darüber hinaus aus diesem Verbund Regelenergie für den Regelenergiemarkt (Minutenreserve) bereit gestellt werden?⁴

In dieser Arbeit wurde ein Dreipunkt-Regler als übergeordneter Regler verwendet. Der übergeordnete Regler soll so regeln, dass der Lastmittelwert der aktuellen Lastwerte einer Viertelstunde, nicht mehr als 5% vom geforderten Fahrplanwert abweicht. Ein einzelner Tag von 24 Stunden ist in 96 Viertelstunden aufgeteilt. Diese Viertelstunden wurden ausgewertet, um eine Aussage über die Anzahl der Tage treffen zu können an denen diese Lastgrenze nicht eingehalten werden konnte. Die Auswertung ergab, dass der verwendete Regler an 61% der Tage die Lastgrenze einhalten konnte. Der Simulationszeitraum erstreckt sich über ein Jahr (1. Juli 2008 bis 30. Juni 2009)

Die Arbeit von Oliver Preuß beschäftigte sich damit diesen übergeordneten Regler so zu optimieren, dass die Anzahl der Tage, an denen die 5% Grenze eingehalten wird verbessert wird,⁵ hierzu wurden als übergeordneter Regler Fuzzy-Regler implementiert.

In der vorliegenden Arbeit werden zunächst Datensätze für die Sekundärregelleistung entwickelt, die eine minutenweise Bewertung der SRL möglich machen, da die Werte nur in Viertelstundenwerten vorliegen, für die Bewertung zum Einsatz innerhalb der Regelung jedoch als Minutenwerte benötigt werden. Mit den so entstandenen Minutenwerten wird die SRL hinsichtlich der Abweichung des Bilanzkreises verglichen und danach entschieden, ob der übergeordnete Regler die Regelung auslösen darf oder nicht. Der

⁴vgl. : Design und Implementierung eines Reglers für ein Modell eines Netzwerkes von Lastmanagement - Anlagen in MATLAB/Simulink, Diplomarbeit, Petrit Vuthi

⁵vgl.: Regelungstechnische Optimierung des übergeordneten Reglers im Forschungsprojekt InSeL, Diplomarbeit, Oliver Preuß

Simulationszeitraum beträgt weiterhin ein Jahr, die Bezeichnung der Tage hält sich an die ursprüngliche Bezeichnung (1. Juli 2008 bis 30. Juni 2009), die Lastgangsdaten sind dieselben wie in den vorangegangenen Arbeiten, als Grundlage für die SRL und die Be-
preisung der Ausgleichsenergie dienen die veröffentlichten Daten des Jahres 2010 (1.
Januar 2010 bis 31. Dezember 2010) die mit den entsprechenden Lastgangsdaten des
Simulationszeitraumes verknüpft werden.

2 Grundlagen und Begriffsdefinitionen

2.1 Regelenergie

Der Einsatz von Regelenergie dient dem Ausgleich des Ungleichgewichtes zwischen Energieerzeugung und -entnahme. Störungen dieses Gleichgewichts führen zu Frequenzabweichungen. Im europäischen Verbundnetz beträgt der Sollwert der Netzfrequenz 50 Hz, eine Frequenzabweichung ist mit einer Toleranz von lediglich ± 20 mHz zulässig, bevor die Primärregelung aktiviert wird.¹ Die Regelenergie ist in drei Regelstufen unterteilt, die sich aus der unterschiedlichen Aktivierungsgeschwindigkeit der jeweiligen Regelstufe ergibt. Bild 2.1 stellt die Aufteilung der notwendigen Regelenergieart über die Zeit dar.²

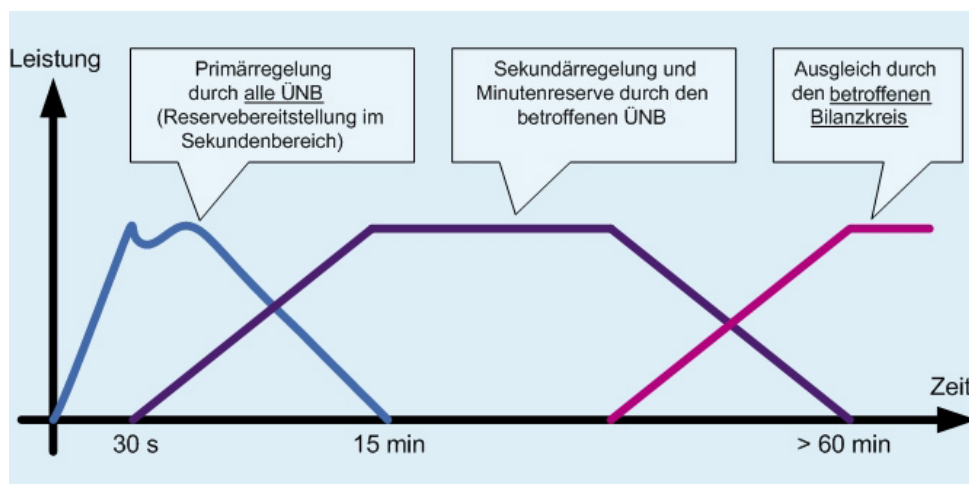


Bild 2.1: Aufteilung der Regelenergie

1. Primärregelung

Beim Auftreten eines Ungleichgewichtes wird die Primärregelung automatisch beispielsweise durch ein Herabsenken der Drehzahl von Generatoren in Kraftwerken aktiviert. Sie wird von allen Übertragungsnetzbetreibern bereitgestellt und muss innerhalb von 30 Sekunden aktiviert werden. Wird das Ungleichgewicht innerhalb dieser 30 Sekunden nicht ausgeregelt so wird zusätzlich ebenfalls automatisch die Sekundärregelung aktiviert.

2. Sekundärregelung

Das Ziel der Sekundärregelung ist, die Primärregelung abzulösen und die Netzfrequenz wieder auf 50 Hz auszuregeln. Nach Aktivierung der Sekundärregelung wird

¹vgl.: www.netzfrequenzmessung.de Stand 05. Dezember 2011

²vgl.: www.amprion.net/systemdienstleistungenregelenergie Stand 05. Dezember 2011

die Primärregelleistung heruntergefahren, damit schnellstmöglichst wieder Primärregelleistung zur Verfügung stehen kann. Innerhalb von 15 Minuten soll die Sekundärregelung die Primärregelung komplett abgelöst haben und möglichst das Ungleichgewicht behoben haben. Reicht auch die Sekundärregelleistung nicht aus so wird manuell die Minutenreserve angefordert.

3. Minutenreserve

Die Minutenreserve löst die eventuell noch verbliebene Primärregelung sowie Teile der Sekundärregelung ab. Im Gegensatz zu der automatischen Auslösung der Primär- und Sekundärregelung wird die Minutenreserve telefonisch und über eine Fahrplananpassung vom Übertragungsnetzbetreiber bei den jeweiligen Anbietern der Minutenreserve angefordert. Die Aktivierung erfolgt hier innerhalb von 15 Minuten und die Minutenreserve muss einen Zeitraum von 15 Minuten bis zu vier Viertelstunden bzw. bis zu mehreren Stunden beim Auftreten mehrerer Störungen abdecken.

2.2 Verbändevereinbarung VV2+ und Stromnetzentgeltverordnung

Ein Tag hat 1440 Minuten. Nach der Vorgabe der der Verbändevereinbarung "VV2+" vom 13.12.2001 erfolgt eine Unterteilung des Tages in 96 Viertelstunden. In der Vereinbarung wurde festgelegt, dass für einen aktuellen Lastwert, der weiter als $\pm 5\%$ vom angemeldeten Summenlastfahrplanabweicht, Ausgleichsenergiekosten fällig werden. Zur Differenzbildung wird jeweils der Mittelwert der tatsächlich in Anspruch genommenen Leistung der aktuellen Viertelstunde mit dem angemeldeten Fahrplanwert verglichen.

Die VV2+ benennt neben dem genannten Standardlastband noch zwei weitere Toleranzbänder. Das erste ist das erweiterte Lastband, das mit einem Wert $\pm 10\%$ arbeitet, das zweite Toleranzband ist das maximale Lastband, das mit $\pm 17,4\%$ des aktuellen Lastwertes arbeitet. Der Regler im Modell lässt sich auf die verschiedenen Lastbänder einstellen. Die VV2+ war aber nur vier Jahre gültig. Im Jahre 2005 wurde zur sogenannten Anreizregulierung der § 21a EnWG (Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005) eingeführt, der die Bundesregierung in Absatz 6 Punkt 1 ermächtigte "zu bestimmen, ob und ab welchem Zeitpunkt Netzzugangsentgelte im Wege einer Anreizregulierung bestimmt werden"³. Daraus resultierte die Einführung der Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV) am 25. Juli 2005⁴, wodurch die VV2+ abgelöst wurde. In der StromNEV finden die Lastbänder keine Erwähnung mehr, stattdessen ist nun jede Abweichung vom Fahrplan mit Ausgleichsenergiekosten zu belegen, gemäß StromNEV § 17 "Ermittlung der Netzentgelte" heißt es⁴:

§ 17 Ermittlung der Netzentgelte

(1) Die von Netznutzern zu entrichtenden Netzentgelte sind ihrer Höhe

³Vgl.: Bundesjustizministerium: http://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/_21a.html 06.12.2011

⁴Vgl.: Bundesjustizministerium: <http://www.gesetze-im-internet.de/stromnev/> 06.12.2011

nach unabhängig von der räumlichen Entfernung zwischen dem Ort der Einspeisung elektrischer Energie und dem Ort der Entnahme. Die Netzentgelte richten sich nach der Anschlussnetzebene der Entnahmestelle, den jeweils vorhandenen Messvorrichtungen an der Entnahmestelle sowie der jeweiligen Benutzungszahl der Entnahmestelle

(2) Das Netzentgelt pro Entnahmestelle besteht aus einem Jahresleistungspreis in Euro pro Kilowatt und einem Arbeitspreis in Cent pro Kilowattstunde. Das Jahresleistungsentgelt ist das Produkt aus dem jeweiligen Jahresleistungspreis und der Jahreshöchstleistung in Kilowatt der jeweiligen Entnahmen im Abrechnungsjahr. Das Arbeitsentgelt

(3) Zur Ermittlung der jeweiligen Netzentgelte einer Netz- oder Umspannebene in Form von Leistungs- und Arbeitspreisen werden die nach § 16 Abs. 1 ermittelten leistungsbezogenen Gesamtjahreskosten mit den Parametern der nach Anlage 4 ermittelten Geradengleichungen des Gleichzeitigkeitsgrades nach § 16 Abs. 2 multipliziert.

(4) Die abschnittsweise festgelegten Jahresleistungspreise einer Netz- oder Umspannebene eines Betreibers von Elektrizitätsversorgungsnetzen in Euro pro Kilowatt ergeben sich jeweils als Produkt der Gesamtjahreskosten und der jeweiligen Anfangswerte der Geradengleichungen des Gleichzeitigkeitsgrades.

(5) Die abschnittsweise festgelegten Arbeitspreise einer Netz- oder Umspannebene eines Betreibers von Elektrizitätsversorgungsnetzen in Cent pro Kilowattstunde ergeben sich jeweils als Produkt der Gesamtjahreskosten und der jeweiligen Steigung der Geradengleichungen der Gleichzeitigkeitsfunktion.

(6) Für Entnahmen ohne Leistungsmessung mittels Lastgangmessung im Niederspannungsnetz ist anstelle des Leistungs- und Arbeitspreises ein Arbeitspreis in Cent pro Kilowattstunde festzulegen. Soweit zusätzlich ein monatlicher Grundpreis in Euro pro Monat festgelegt wird, haben Grundpreis und Arbeitspreis in einem angemessenen Verhältnis zueinander zu stehen. Das sich aus Grundpreis und Arbeitspreis ergebende Entgelt hat in einem angemessenen Verhältnis zu jenem Entgelt zu stehen, das bei einer leistungsgemessenen Entnahme im Niederspannungsnetz auf der Grundlage der Arbeits- und Leistungswerte nach dem Standardlastprofil des Netznutzers entstehen würde.

(7) Ferner ist für jede Entnahmestelle und getrennt nach Netz- und Umspannebenen jeweils ein Entgelt für den Messstellenbetrieb, ein Entgelt für die Messung und ein Entgelt für die Abrechnung festzulegen, wobei die nach § 14 Abs. 4 auf die Netz- und Umspannebenen verteilten Kosten

jeweils vollständig durch die Summe der pro Entnahmestelle entrichteten Entgelte der jeweiligen Netz- oder Umspann- ebene zu decken sind. Die Entgelte nach Satz 1 sind jeweils für jede Entnahmestelle einer Netz- oder Umspannebene zu erheben. In der Niederspannung sind davon abweichend jeweils Entgelte für leistungs- und für nicht leistungsgemessene Entnahmestellen zu bilden.

(8) Andere als in dieser Verordnung genannte Entgelte sind nicht zulässig.

2.3 Netzregelverbund

Seit Mai 2010 besteht der deutschlandweite Netzregelverbund, der die vier Übertragungsnetzbetreiber zu einer intensiveren Zusammenarbeit bei der Ausregelung der Stromnetze verpflichtet. Da zu den Hauptaufgaben der Übertragungsnetzbetreiber das Ausgleichen der Leistungsungleichgewichte zwischen Erzeugung und Verbrauch zählt und diese Ausregelung bis dahin von jedem Übertragungsnetzbetreiber für seine Regelzone in Eigenverantwortung wahrgenommen wurde, konnte es zu einem Gegeneinanderregeln kommen, wenn in einer Regelzone positive Regelenergie eingesetzt wurde und in einer anderen zeitgleich negative Regelenergie bereitgestellt wurde. Durch den Netzregelverbund wird dieses vollständig verhindert, da die Leistungsungleichgewichte saldiert werden und so nur der verbleibende Saldo durch den Einsatz von Regelenergie ausgeglichen werden muss.⁵ Bild 2.2⁶ zeigt die Aufteilung der deutschen Regelzonen.

2.4 Bilanzkreis

In einem Bilanzkreis (BK) ist innerhalb einer Regelzone eine beliebige Anzahl von Einspeise- und Entnahmestellen zusammengefasst. Der für einen Bilanzkreis zuständige Bilanzkreisverantwortliche (BKV) muss eine möglichst genaue Lastprognose, den Fahrplan für den nächsten Tag, erstellen. Diesen Fahrplan zugrunde legend muss, nach den vorhergehend beschriebenen Bestimmungen der StromNEV, die Leistungsbilanz in jeder Viertelstunde eingehalten werden. Unter der Leistungsbilanz ist die Summe der eingespeisten und entnommenen Leistung zu verstehen. Ist die Summe der Einspeisungen kleiner als die Summe der Entnahme, so spricht man von einem unterdeckten Bilanzkreis. Ist hingegen die Summe der Einspeisungen größer als die Summe der Entnahme spricht man von einem überdeckten Bilanzkreis. Die Entstehung von Abweichungen innerhalb eines Bilanzkreises liegt u.a. in Prognoseungenauigkeiten begründet. Der Ausgleich von

⁵vgl.:http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Presse/Publikationen/aktuell/aktuell_201001/4Netzregelverbund/Netzregelverbund_node.html Änderungsdatum 04.04.2010

⁶http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/17/Regelzonen_deutscher_%C3%9Cbertragungsnetzbetreiber_neu.png/459pxRegelzonen_deutscher_%C3%9Cbertragungsnetzbetreiber_neu.png



Bild 2.2: Regelzonenkarte deutscher Übertragungsnetzbetreiber

Unter- bzw. Überdeckung wird dem Bilanzkreis vom Übertragungsnetzbetreiber in Rechnung gestellt.

Der Verbund der Liegenschaften im vorliegenden Matlab/Simulink Modell soll als eigenständiger Bilanzkreis betrachtet werden, von daher ist der Fahrplansollwert als Einspeisung zu betrachten und der Ist-Wert der in den Liegenschaften aufgewendeten Leistung als Entnahme. Dieses führt dazu, dass wenn die Abweichung des Modells negativ ist, der BK überdeckt und bei einer positiven Abweichung unterdeckt ist.

2.5 Ausgleichsenergie

Durch die Vielzahl an Bilanzkreisen und den daraus resultierenden Bilanzkreisabweichungen kommt es zu sich ausgleichenden Energieflüssen innerhalb der Regelzonen und nur der verbleibende Rest an Abweichungen führt zur Notwendigkeit der Regelennergiebeschaffung. Der Begriff der Ausgleichsenergie ist daher umfassender, denn Ausgleichsenergie kann auch fließen, wenn keine Regelennergie benötigt wird. Da sich der Ausgleichsenergiebedarf der Bilanzkreise aus der Summe der Abweichungen zwischen der tatsächlichen Einspeisung und deren gemeldeten Fahrplänen wird zu jeder Viertelstunde der Ausgleichsenergiebedarf als mittlere Leistung erfasst. Basierend auf den Arbeitspreisen für Regelennergie erfolgt viertelstündlich die Abrechnung mit den Bilanzkreisen. Der Ausgleichsenergiepreis ergibt sich aus den Arbeitskosten für die Regelennergie und dem für die Abrechnung relevanten Saldo der Regelennergiemenge. Durch die Einführung des Netzregelverbundes wurde ein regelzonenübergreifender einheitlicher Bilanzausgleichsenergiepreis (reBaP) eingeführt. Infolgedessen gilt für jede Regelzone derselbe Ausgleichsenergiepreis je Viertelstunde. Dieser wird aus den in den Regelzo-

nen anfallenden Regelarbeitskosten und der dazugehörigen Regelarbeitsmenge je Viertelstunde berechnet. Der reBaP wird von den Übertragungsnetzbetreibern veröffentlicht und ist die Grundlage der Kostenanalyse.⁷

2.6 Technische Voraussetzungen zum Betreiben des Modells

Das Modell wurde in der 64 Bit Matlab-Version 7.4 x64 erstellt. Zur Erweiterung wurde die MATLAB Version 7.9 x64, welche als 2009b vertrieben wird, genutzt. Aufgrund der Komplexität des Modells muss minimal ein Computer mit einem Dual-Core, 4GB RAM und einem 64 Bit Betriebssystem ausgerüstet sein. Die Erweiterung wurde auf einem mit Quad-Core und 4GB DDR3 RAM ausgestatteten Computer durchgeführt. Das verwendete Betriebssystem war Windows 7 x64.

2.6.1 Matlab/Simulink

Matlab ist eine Software der Firma Mathworks. Es ist ein Programm, das dafür vorgesehen ist, mathematische Probleme mit Hilfe von Matrizen zu berechnen und die Ergebnisse grafisch darzustellen.

Simulink ist ein Zusatz zu Matlab. Mit der Software kann man Systeme auf einer grafischen Oberfläche generieren und simulieren. Das vorliegende Modell wurde innerhalb der Simulink Umgebung erstellt.

2.7 Regelung

Die Aufgabe einer Regelung ist es, in einem Prozess Störungseinflüsse so zu beeinflussen, dass ihr Einfluss auf das System kompensiert wird, und der Sollwert eingehalten werden kann. Zusätzlich soll eine Regelung auf Sollwertänderungen reagieren und diese dann zurückführen. Bild 2.3 zeigt den Aufbau eines Standard-Regelkreises.⁸ Der Sollwert

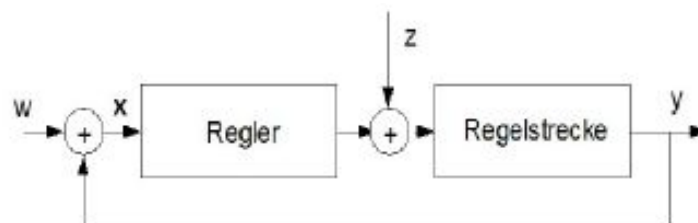


Bild 2.3: Aufbau eines Standard-Regelkreises

⁷vgl.: <http://www.amprion.de/ausgleichsenergiepreis>

⁸vgl.: Regelungstechnik 1 Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelsysteme, 9., durchgesehene Auflage, Heinz Unbehauen, 1997

w ist der Wert, der am Ausgang der Regelung erreicht werden soll, beispielsweise bei einer Raumtemperaturregelung die gewünschte Temperatur des Raumes. Am Ausgang liegt der aktuelle Wert, der Ist-Wert y , vor, im Beispiel der Temperaturregelung ist dies die aktuelle Raumtemperatur. Von außen greift die Störgröße z an, die im vorliegenden Beispiel als geöffnetes Fenster angesehen werden kann. Diese führt zu einer Abweichung des Ist- vom Soll-Wert. Ein Beispielverlauf einer Regelung stellt mit der Sprungantwort eines PID-Reglers Bild 2.4 dar. Ein PID-Regler setzt sich aus einem Verstärkungsglied (P), einem Integrationsglied (I) und einem Verzögerungsglied (D) zusammen. Das Verstärkungsglied verstärkt den Eingangswert proportional um einen festgelegten Wert.

$$G_p(s) = k * s \quad k \in R$$

Das Integrationsglied bestimmt die Einschwinggeschwindigkeit des zu regelnden Systems.

$$G_I(s) = \frac{1}{s}$$

Das Verzögerungsglied wird für die Bestimmung der Zeit zum Erreichen des Sollwerts theoretisch, da in ihm ein Dirac Impuls auftritt der in der Realität mit einer Verzögerung einhergeht.

$$G_D(s) = k * s \quad k \in R$$

Werden die Werte für die Übertragungsglieder nicht ausgewogen aufeinander abgestimmt, so schwingt sich das zu regelnde System auf und eine Regelung wird unmöglich.

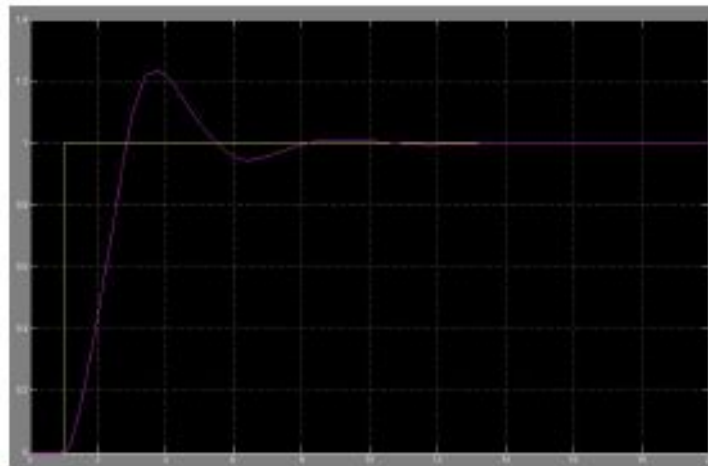


Bild 2.4: Sprungantwort eines PID-Reglers

2.7.1 Kaskadenregelung

Unter einer Kaskadenregelung versteht man die Reihenschaltung mehrerer Regelkreise. Es wirken also mehrere Regler nacheinander auf die Regelstrecke. Dadurch ergibt sich eine größere Regelgenauigkeit an der Regelstrecke, jedoch muss beim Aufbau einer solchen Regelung beachtet werden, dass die inneren Regler immer schneller arbeiten müssen als die äußeren Regler um zu vermeiden, dass das System instabil wird. Denn wenn der innere Regler vor dem Erreichen des Regelwertes am Ausgang einen neuen Regelwert bekommt, so schwingt sich der Regler auf und es kommt zu keiner Einschwingperiode am Sollwert.⁹

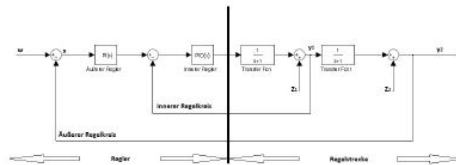


Bild 2.5: Aufbau einer Kaskadenregelung

⁹vgl.: Regelungstechnik 1 Systemtheoretische Grundlagen Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen, Jan Lunze, 1996

3 Modellbeschreibung

3.1 Aufbau des zu regelnden Systems

Das zu regelnde System besteht grundsätzlich aus dem übergeordneten Regler und der Regelstrecke. Bild 3.1 zeigt die oberste Modellebene. Der Regler überträgt an die Regelstrecke die verfügbare Schaltlast in den Liegenschaften, sowie die Lastgrenzen der Lastmanagement-Anlagen in den Liegenschaften. Die Ausgangsrückkopplung der Regelstrecke enthält die für die Regelung notwendigen Parameter, dies sind die verfügbaren Zu- und Abschaltlasten, die Trendlast der Liegenschaften, die Abschaltlast in der Liegenschaft Elbtunnel sowie der Summenlastverlauf der Liegenschaften.

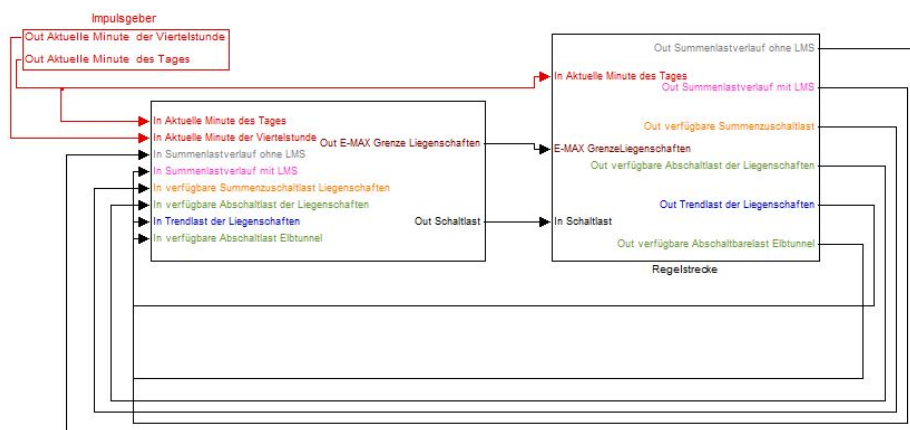


Bild 3.1: Oberste Modellebene

In das Modell sind 21 Liegenschaften integriert. Dies sind öffentliche Grundstücke und Gebäude, die im Besitz der Freien und Hansestadt Hamburg sind. Einen Überblick über die Liegenschaften liefert Tabelle 3.1. Im Modell sind alle Liegenschaften mit einer Energie-Management -Anlage ausgestattet, wobei real eine solche Anlage lediglich in acht Liegenschaften vorhanden ist. Die Energie-Management-Anlagen sind mehrstufig in einer Liegenschaft integriert. Die Basisstation verfügt über mehrere Unterstationen, von denen ihr Informationen über deren Leistungsaufnahme, minimale und maximale Zu- und Abschaltzeiten sowie die Priorität der jeweiligen Unterstation übermittelt werden. Mittels des prognostizierten Lastverlaufs der nächsten Viertelstunde und der bekannten zulässigen Höchstlast überwacht die Anlage den Stromverbrauch innerhalb der Liegenschaft, das vorrangige Ziel ist hierbei die Vermeidung von Stromspitzen innerhalb der

Liegenschaft. Dies wird beispielsweise durch eine kurzfristige Abschaltungen einer Klimaanlage oder einer großen Herdplatte erfolgen, ohne dass es vom Nutzer bemerkt wird. Der übergeordnete Regler kommuniziert via Internet mit diesen Anlagen und weist ihnen und somit der Liegenschaft ihre Lastgrenzen zu.

Liegenschaft
HAW Campus Berliner Tor
HAW Campus Bergedorf
Landespolizeiverwaltung
Kunsthalle
Berufsschulzentrum Bergedorf
Gesamtschule Steilshoop
Staatsoper
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
Musikhalle
Planten un Blomen
Uni Stadt und Chemie
Uni Botanik
Großmarkt
Gesamtschule Mümmelmannsberg
Seeschiffahrt und Hydrographie
Angewandte Physik
Experimentalphysik
Uni Stellingen, Voigt-Köln-Straße
LVA
Hygieneinstitut
Elbtunnel
Summenlastverlauf der restlichen Liegenschaften

Tabelle 3.1: In das Modell integrierte Liegenschaften

Die Regelstrecke besteht aus den einzelnen Liegenschaften, die vom Regler die Lastgrenzen für die jeweilige Energie-Management-Anlage zugewiesen bekommen. Als einzige Liegenschaft bekommt der Elbtunnel vom Regler direkt eine Schaltlast zugeordnet. Die Verbindung der Liegenschaften erfolgt über einen Bus, dessen Daten direkt als Lastgrenze an die Energie-Management-Anlage übergeben werden. Der Zusammenschluss der Liegenschaften im Model ist in Bild 3.2 dargestellt. Diese Lastgrenze wird von der Anlage als Obergrenze für die Liegenschaft genommen. Die EMAX-Anlage regelt die Unterstationen der Liegenschaft, über die Koordination und Einhaltung der minimalen und maximalen Zu- und Abschaltzeiten der vorhandenen Geräte, um diese Grenze einzuhalten. Das Verhalten der Regelstrecke wird durch diese einzelnen Lastgänge innerhalb der Liegenschaften bestimmt. Die Regelstrecke weist ein nichtlineares Verhaltensmuster auf, bedingt durch die un stetigen Veränderungen der Lastgänge. Somit können lineare Regler diese Regelstrecke nicht kontrollieren. Erschwerend kommt hinzu, dass jede Station der Liegenschaften als eigene Dimension der Regelstrecke zu betrachten ist, so dass

eine sehr stark mehrdimensionale Regelstrecke vorliegt, die aufgrund der sich täglich ändernden Lastgangsdaten schwer bis nicht mehr mathematisch beschreibbar ist. Des Weiteren enthält die Regelstrecke Elemente die nicht stetig änderbar sind, dies wäre jedoch die Voraussetzung für eine lineare Regelstrecke.

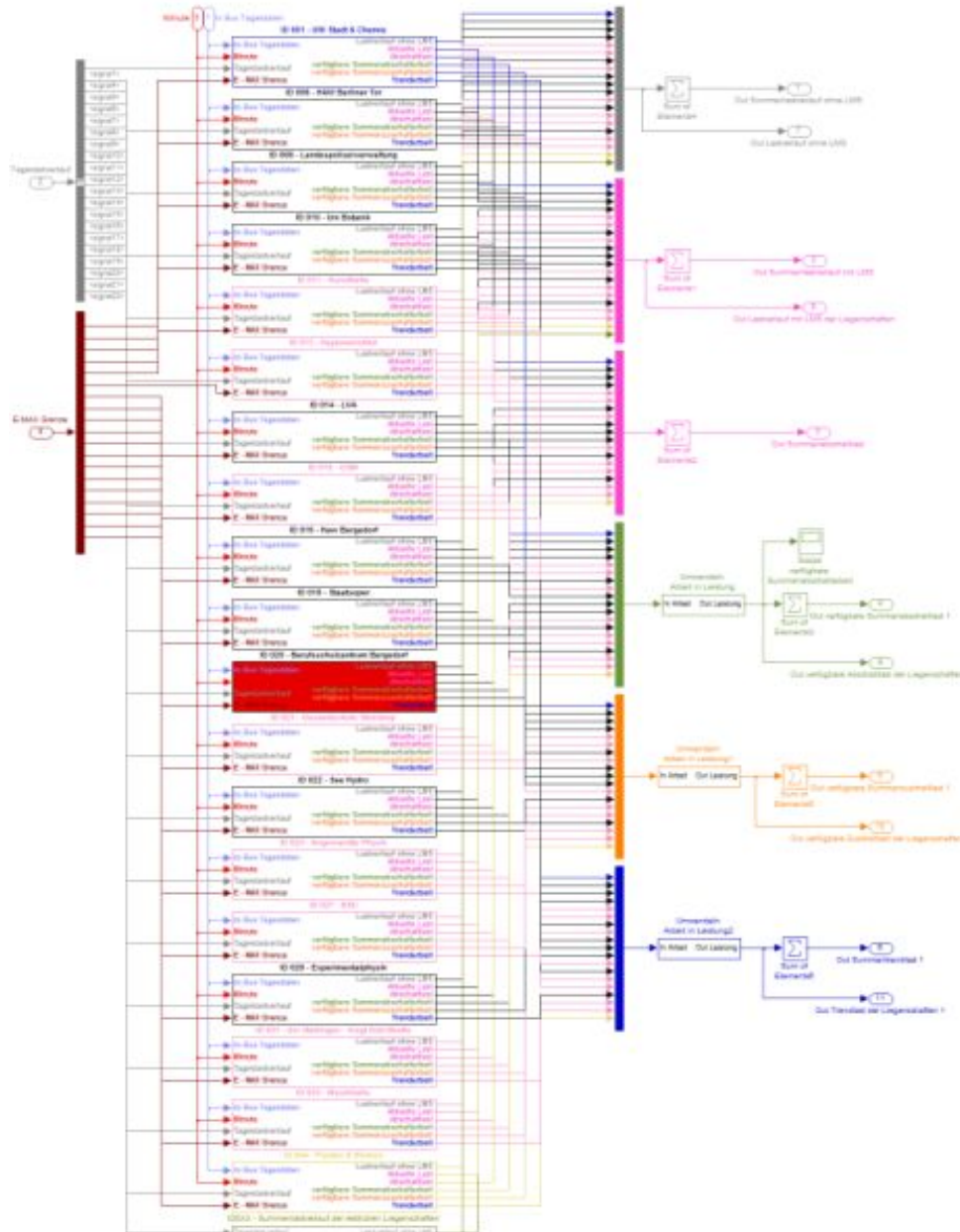


Bild 3.2: Liegenschaften

3.2 eingesetzte Reglertypen

In dem Modell sind zwei Reglertypen für den übergeordneten Regler implementiert, welche im Startbildschirm für die Simulation ausgewählt werden können.

1. Dreipunktregler

Ein Dreipunktregler ist ein unstetiger oder auch nichtlinearer Regler, der für die Regelung nichtlinearer Regelstrecken verwendet werden kann. Dieser Reglertyp schaltet zwischen drei Punkten, diese sind

- der eigentliche Sollwert des Reglers, dies entspricht dem Fahrplanwert
- der obere Sollwert, dies entspricht der oberen Lastgrenze
- der untere Sollwert, dies entspricht der unteren Lastgrenze

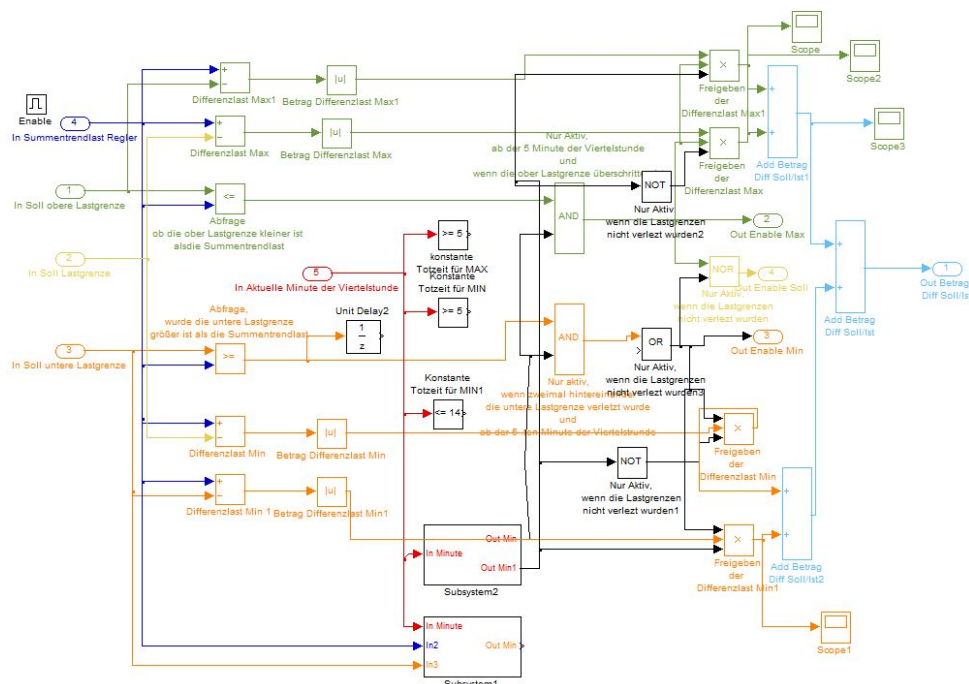


Bild 3.3: Modell des Dreipunktreglers

Bild 3.3 zeigt den im Ausgangsmodell implementierten Dreipunktregler. Der im Modell eingesetzte Dreipunktregler regelt bei einer Verletzung der oberen bzw. unteren Lastgrenze, indem für die Liegenschaften neue Schaltlasten berechnet werden. Werden die Lastgrenzen nicht verletzt, so wird vom Regler auch nicht eingegriffen und er hält die Last.

2. Fuzzy-Regler

Fuzzy-Regler sind Systeme, die mit einem vorgegebenen Regelwerk arbeiten. Hierbei werden die an sich ‚scharf‘ definierten Eingangs- und Ausgangsgrößen sprachlich umschrieben, und es ergeben sich ‚unscharfe‘ Definitionsmengen. Bei einer Heizungsregelung beispielsweise kann man die Eingangsgröße mit der Temperatur und die Ausgangsgröße mit Heizungsventilstellung festlegen. Als nächstes wird die Temperatur in die genannten Definitionsmengen eingeordnet, dies sind

z.B. ‚zu warm‘, ‚zu kalt‘ und ‚angenehm‘. Da diese Definitionen nicht genau abzugrenzen sind, werden Zugehörigkeitsfunktionen, dies sind Aussagen wie genau eine Klassifizierung zutrifft, benötigt. Diese Zugehörigkeitsfunktionen haben standardmäßig einen Wert zwischen 0 % und 100%, an den Punkten wo sie sich überlappen sollen sie sich auf 100% addieren. Auf die Temperaturregelung bezogen kann man für die genannten Definitionen festlegen:

- ‚zu kalt‘:
alles unter 10°C ist zu hundert Prozent zu kalt, über 20°C gilt diese Aussage gar nicht mehr
- ‚angenehm‘:
Diese Aussage könnte ab 10°C unter Umständen schon zutreffen, bei 20°C trifft sie auf jeden Fall zu, ab 30°C trifft diese Aussage nicht mehr zu
- ‚zu warm‘:
auch hier gilt, für manchen ist es schon ab 20°C zu warm, bei 30°C jedoch ist es auf jeden Fall zu warm und bei 10°C trifft diese Aussage nicht zu.

Die Ausgangsgrößen haben meist Zugehörigkeitsfunktionen, die immer 0 sind und nur an einer Stelle 100 % . Die Ausgangsgröße für die Temperaturregelung beispielsweise wird mit ‚Heizung aus‘, ‚Heizung mittel‘ und ‚Heizung an‘ angegeben, die das Heizungsventil auf 0%, 50% bzw. 100% stellen. Zunächst werden die für den gemessenen Wert zutreffenden Definitionsmengen bestimmt, danach erstellt der Fuzzy-Regler den Stellwert aus der auftretenden Regelabweichung durch das Abarbeiten eines zuvor erstellten Regelwerks. Dieses hieße für die Heizungsregelung beispielsweise

- a) Ist es zu kalt, drehe Heizungsventil auf (Heizungsventil auf 100% stellen)
- b) Ist es angenehm, drehe Heizungsventil auf mittel (Heizungsventil auf 50% stellen)
- c) Ist es zu warm, drehe Heizungsventil zu (Heizungsventil auf 0% stellen)

Danach wird aus den zutreffenden Regeln eine Gewichtung vorgenommen, die bestimmt wie stark welche Regel auf die Bestimmung des Ausgangswerts Einfluss nehmen soll. In dem genannten Beispiel können zum Beispiel die Regeln zu 50% ‚Heizung mittel‘ und zu 50% ‚Heizung an‘ aktiv sein, was zu einem Ausgangswert zwischen ‚mittel‘ und ‚an‘ führt und das Heizungsventil wird auf 75% gestellt.¹

Die bereits beschriebene kaskadierte Regelung, die in dem Modell vorliegt, führt dazu, dass beachtet werden muss, dass der übergeordnete Regler nicht zu schnell arbeitet, damit sich das System nicht aufschwingt und dadurch instabil wird. Dies wird durch eine zeitabhängige Schaltung gewährleistet. Die Daten werden zwar vom Regler zu jedem Zeitpunkt, in jeder Minute, erhalten und die neuen Ausgangsdaten berechnet. Eine Freigabe der Ausgänge erfolgt jedoch nur an bestimmten Zeitpunkten. Für die Zeitabfrage ist ein weiteres Subsystem verantwortlich, das in Bild 3.4 dargestellt ist. Dieses Subsystem bekommt als Parameter die aktuelle Minute der Viertelstunde und vergleicht sie mit vorgegebenen Minuten. Diese sind so gewählt, dass der Reglerausgang alle drei Minuten

¹vgl.: <http://de.wikipedia.org/wiki/Fuzzy-Regler>

freigegeben wird. Die letzte Freigabe in der Viertelstunde erfolgt in Minute 12. Die darauf folgende Freigabe erfolgt erst in der folgenden Viertelstunde. Dadurch wird verhindert, dass es zu einem Aufschwingen des Systems kommt, weil der Ausgang in zwei aufeinanderfolgenden Minuten freigegeben wird.

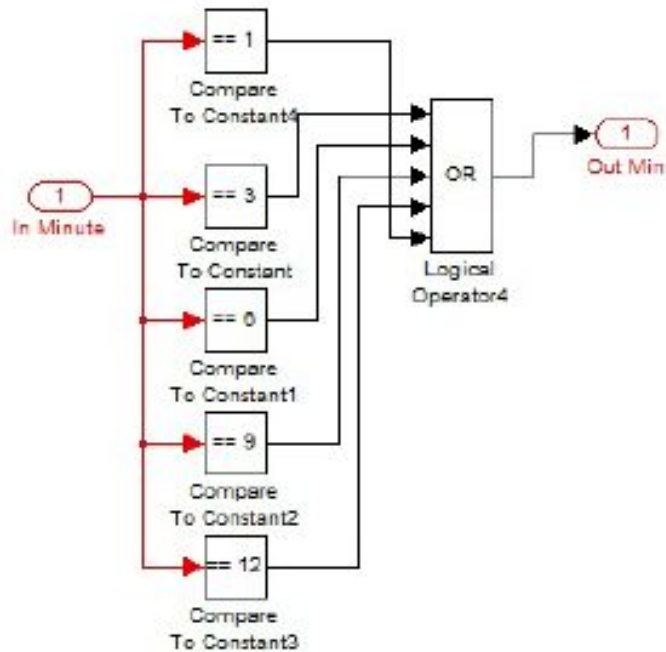


Bild 3.4: Timerschaltung zur Reglerfreigabe

4 Systemerweiterung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Erweiterung des Modells, um die Berücksichtigung der Sekundärregelleistung, erweiterter Version des Modells.

4.1 Welche Daten werden zusätzlich erfasst

Zusätzlich zu den ursprünglich erfassten Parametern, die für das Betreiben des Systems notwendig sind, wird die von der 50 Hz Transmission GmbH eingesetzte Sekundärregelleistung mit erfasst. Diese Daten werden für die Tage als Viertelstundenwerte veröffentlicht. Es wird für jede Viertelstunde die mittlere Leistung, in positive und negative Richtung, angegeben. Diese Daten werden im Modell als Minutenwerte in Relation zur Trendabweichung des Lastverlaufes vom Lastfahrplan gesetzt, hierbei wird die Laststrichung als Indikator genommen um zu ermitteln, ob eine Regelung im Bezug auf das Stromnetz sinnvoll ist. Eine allgemeine Abweichung des Netzes nach unten führt zum Einsatz positiver Regelleistung, eine allgemeine Abweichung des Netzes nach oben zum Einsatz negativer Regelleistung. Sind nun die Sekundärregelleistung und die Trendabweichung des Modells richtungsgleich, so soll der Regler auch wenn eigentlich eine Regelung ausgelöst wird nicht eingreifen, um den Bedarf an Regelenergie zu verringern, da diese Abweichung der allgemeinen Netzabweichung entgegenwirkt. Desweiteren wird der reBaP, der ebenfalls veröffentlicht wird, für die Kostenanalyse mit eingebunden.

4.2 Entwicklung der Datensätze der Sekundärregelleistung

Da die eingesetzte Sekundärregelleistung in Form mittlerer Leistungswerte je Viertelstunde veröffentlicht wird, ist es zunächst nötig, eine Möglichkeit zu finden, diese in Minutenwerte aufzuteilen.

4.2.1 Erstellung von Auswerteregeln für die eingesetzte Sekundärregelleistung

Um die eingesetzte Sekundärregelleistung hinsichtlich der minutenweise erbrachten Leistung bezüglich der Lieferung und des Bezuges von Leistung auszuwerten, ist es zunächst notwendig die möglichen Fälle der auftretenden Regelleistung in der Viertelstunde zu erfassen. Dazu werden die aktuelle Viertelstunde sowie die darauf folgende

Viertelstunde betrachtet. Generell sollen in der Viertelstunde möglichst wenig Richtungswechsel der Leistung auftreten, am Ende der Viertelstunde soll ein Richtungswechsel nach Möglichkeit vermieden werden und die Höhe der Leistung soll die Dauer der Richtung ergeben, d.h. je höher der Betrag des Leistungswertes, desto länger die Dauer vor dem nächsten Richtungswechsel. Um dies zu erreichen, ist eine Fallunterscheidung nach Tabelle 4.1 erforderlich. Daraus ergibt sich folgender Ansatz für die Umsetzung der generellen Voraussetzungen: Ist die eingesetzte Sekundärregelleistung in der vorangegangenen Viertelstunde positiv aber nicht negativ, in der nachfolgenden Viertelstunde ebenfalls positiv, dann ist zu erwarten, dass am Übergang zwischen den Viertelstunden ebenfalls eine positive Leistung anliegt. Ist in der folgenden Viertelstunde die Leistung nur negativ, so ist zu erwarten, dass am Anfang der Viertelstunde eine positive Sekundärregelleistung benötigt wird, zum Ende der Viertelstunde jedoch keine eingesetzt wird. Die Länge der Einsatzdauer bestimmt sich aus der insgesamt eingesetzten Leistung.

negative Sekundärregelleistung in der aktuellen $\frac{1}{4}$ h	positive Sekundärregelleistung in der aktuellen $\frac{1}{4}$ h	negative Sekundärregelleistung in der nächsten $\frac{1}{4}$ h	positive Sekundärregelleistung in der nächsten $\frac{1}{4}$ h	Fall
0	0	0	0	in der aktuellen $\frac{1}{4}$ h
0	0	0	1	kein Einsatz von SRL
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	in der aktuellen $\frac{1}{4}$ h
0	1	0	1	nur Einsatz positiver SRL
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	in der aktuellen $\frac{1}{4}$ h
1	0	0	1	nur Einsatz negativer SRL
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	in der aktuellen $\frac{1}{4}$ h
1	1	0	1	Einsatz positiver und negativer SRL
1	1	1	0	
1	1	1	1	

Tabelle 4.1: Fallunterscheidung

Für die Konvertierung der Datensätze wurde nach diesen Voraussetzungen ein C#-Programm erstellt, das zunächst die Maximalwerte der eingesetzten Sekundärregelleistung bestimmt und diesen, jeweils für die positive und negative Leistung, innerhalb festgelegter Leistungsgrenzen, einen Minutenwert zuweist. Tabelle 4.2 zeigt diese Aufteilung. Der dieser Arbeit zugrundeliegende Leistungswert für diese Entwicklung liegt bei ± 40 MW. Dieser ist so gewählt, um innerhalb von 15 Minuten die über das betrachtete Jahr aufgetretenen Leistungswerte gleichmäßig abdecken zu können, lediglich der Bereich für das Anliegen von Sekundärregelleistung über die komplette Viertelstunde ist größer gewählt, um auch die Maximalwerte je Leistungsrichtung erfassen zu können. Bild 4.1, 4.2

und 4.3 zeigen die Ausgaben der unterschiedlichen Stufen des Programms für einen Beispieltag, hier der 8. März 2011.

Wertebereich [MW]	Minutenwert
1 – 40	1
40-80	2
80-120	3
120-160	4
160-200	5
200-240	6
240-280	7
280-320	8
320-360	9
360-400	10
400-440	11
440-480	12
480-520	13
520-560	14
560-1200	15

Tabelle 4.2: Wertebereich und Minutenwerte

Diese so abgeschätzten Minutenwerte werden nun nach den bereits beschriebenen Grundvoraussetzungen, zum Verlauf der Leistung umgewandelt. Für das Modell und die darin erfolgende Bewertung der Leistung ist die Höhe der Leistung nicht von Bedeutung, sondern lediglich die Richtung der Leistung wird benötigt, daher werden dem Modell die zugeführten Daten die Minutenwerte als 1 für eine positive Leistung bzw. -1 für negative Leistung übergeben. Im Modell werden diese Daten zunächst in der Blackbox Energiebilanz bewertet und es wird dem System eine neue Variable namens Reglerstatus hinzugefügt, die auf den Regler als weitere Eingangsgröße zurückgeführt wird. Die in der Energiebilanz durchgeführte Sekundärregelungs-Bewertung erfolgt über eine Matlab-Funktion. Diese erhält als Eingangsparameter die zuvor erstellten Minutenwerte für die SRL sowie die vom System berechnete Trendabweichung des Lastganges vom Fahrplan. Die Abweichung wird nun verglichen mit der SRL, und der Variablen Reglerstatus wird der aufgetretene Fall zugewiesen. Bild 4.4 zeigt den Aufbau der Blackbox des Modells. Der Reglerstatus wird nun dem Regler als zusätzliche Eingangsgröße übergeben, und greift in sein Regelverhalten mit ein, indem auch bei einer eigentlichen Regelung der Regler durch das Anliegen des Regelstatus die Last hält. Durch dieses Eingreifen wird eine Regelung unterbunden, wenn die Abweichung des Modells zum Einsatz von Regelleistung entgegengesetzt der tatsächlich eingesetzten Regelleistung führt. Hierbei ist zu beachten, dass nur die Abweichung nicht ausgeregelt werden, aber unter keinen Umständen die Abweichung verstärkt werden soll. Auch beim Fuzzy-Regler wirkt der Regelstatus auf die Regelung und überbrückt die eigentlich auszulösende Regelung.

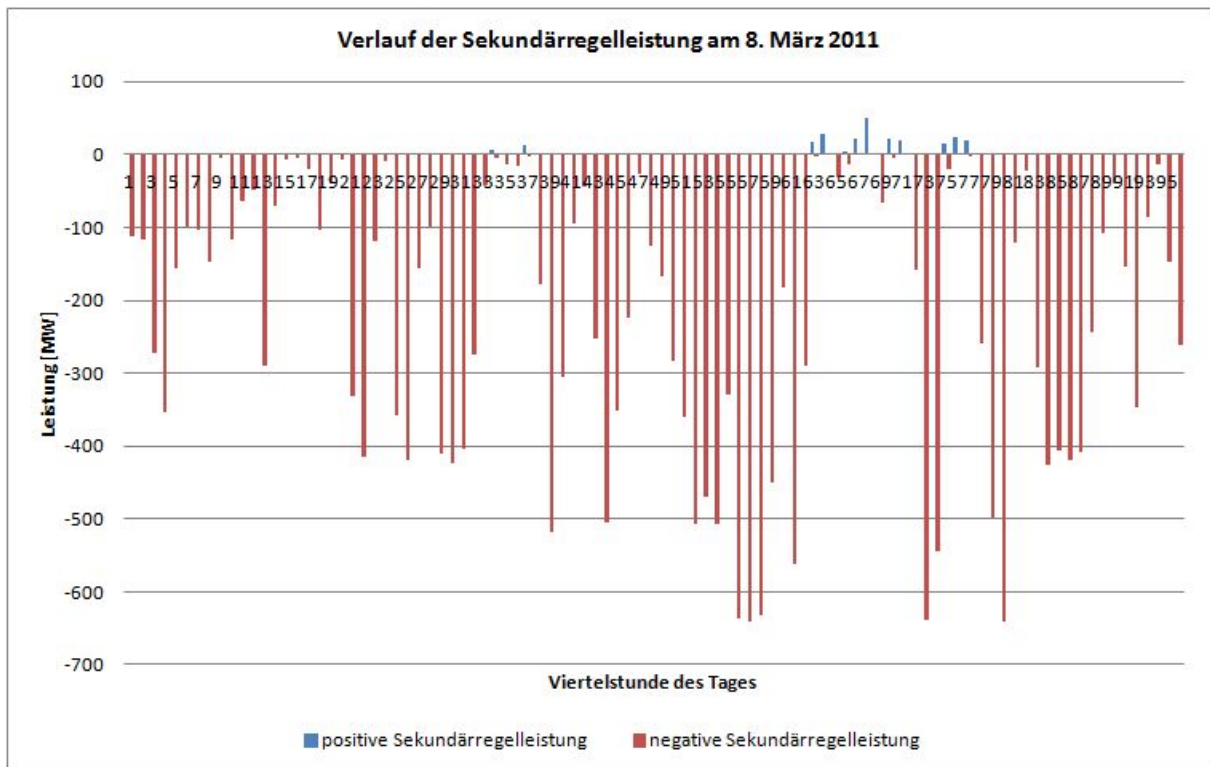


Bild 4.1: Verlauf der Sekundärregelleistung

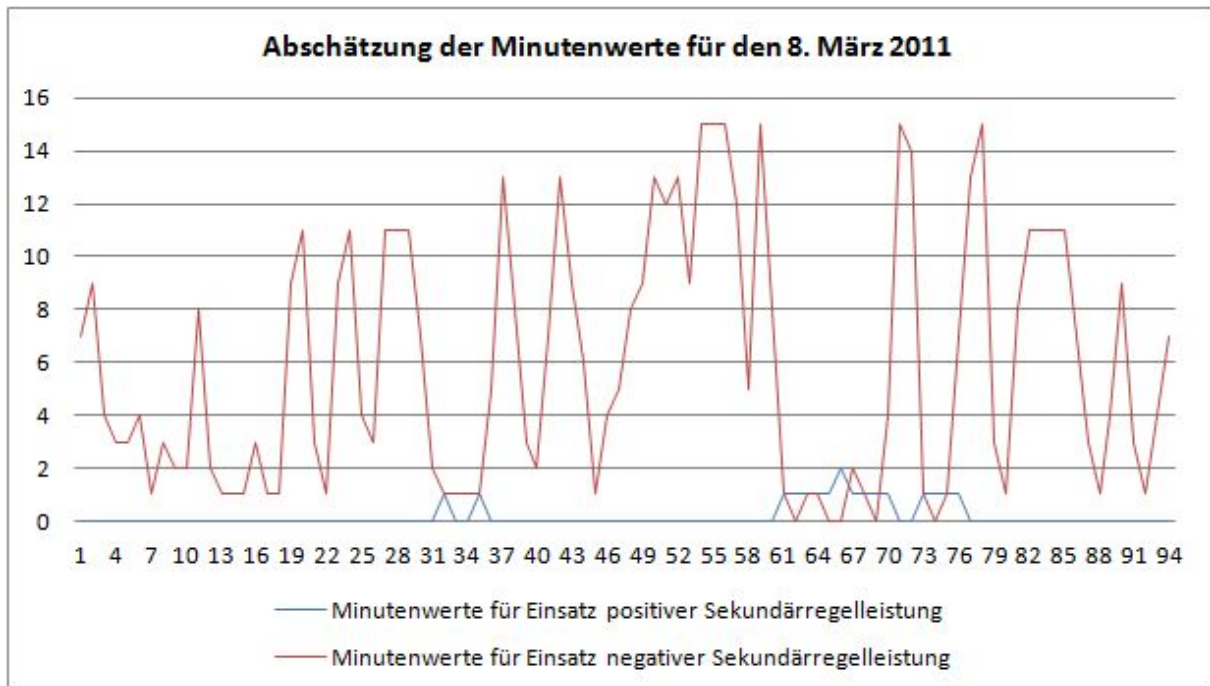


Bild 4.2: Minutenwertabschätzung

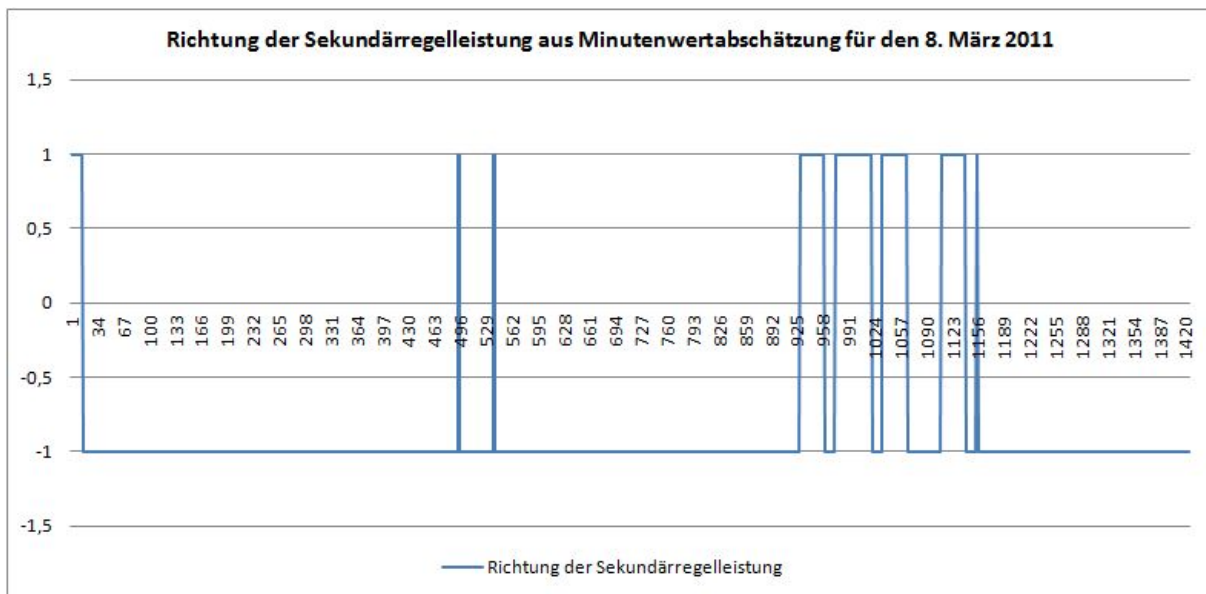


Bild 4.3: Richtung der Sekundärregelleistung

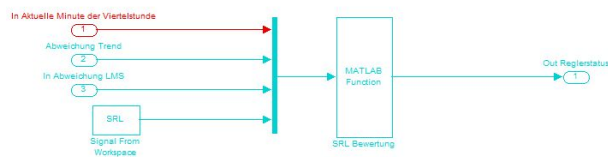


Bild 4.4: Blackbox Enable

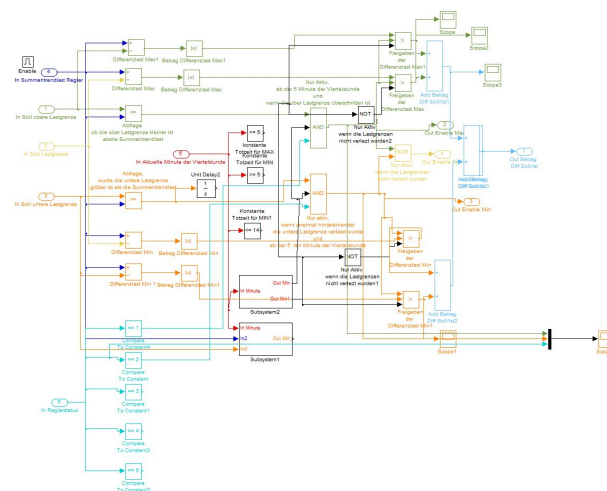


Bild 4.5: erweiterter Dreipunktregler im Modell

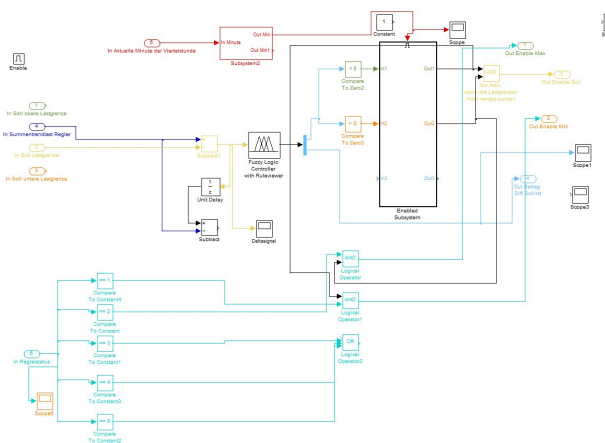


Bild 4.6: erweiterter Fuzzy-Regler im Modell

4.3 Die Analyse der Kosten

Die Analyse der Kosten für die Ausgleichsenergie erfolgt wiederum in Matlab über ein Skriptfile. Die Berechnung der Kosten und Erlöse erfolgt über den veröffentlichten regelzoneneinheitlichen Bilanzausgleichsenergiepreis (reBaP). Das Modell zur Berechnung der Ausgleichsenergiepreise der vier Übertragungsnetzbetreiber¹, benennt vier Grundkriterien für dieses Modell.

1. Einfachheit und Nachvollziehbarkeit des Berechnungsalgorithmus für Außenstehende.
2. Möglichkeit eines sowohl positiven als auch negativen Ausgleichsenergiepreises.
3. Schaffung eines Anreizes für die BKV, den Bilanzkreis ausgeglichen zu führen.
4. Umlage von Sekundärreserve- und Minutenreservearbeit möglichst vollständig an die BKV.

Für die Bilanzkreis-Abrechnung ergeben sich daraus zwei grundlegende, vom Ausgleichsenergiepreis abhängige, Zahlungsrichtungen. Ist der Ausgleichsenergiepreis positiv, dann erzielt ein überdeckter Bilanzkreis Erlöse, ein unterdeckter verursacht Kosten. Ist der Ausgleichsenergiepreis negativ, so erzielt ein unterdeckter Bilanzkreis Erlöse und ein überdeckter verursacht Kosten.

4.4 Kostenrechnung

Zunächst ergibt sich die Frage, wann der BK unter- und wann er überdeckt ist. Wie bereits in Kapitel 2.3 erläutert ist ein BK dann unterdeckt, wenn die Summe der Einspeisungen kleiner ist als die Summe der Entnahme, also wenn der Istwert kleiner ist als der Sollwert. Entsprechend ist der BK überdeckt, wenn die Summe der Einspeisungen größer ist als die Summe der Entnahme, also der Istwert größer ist, als der Sollwert.

¹vgl.: http://www.50hertz.com/de/file/Modell_zur_Berechnung_der_Ausgleichspreise_der_4_UeNB.pdf

Daraus ergibt sich für die Abweichung der Entnahmen von der Einspeisung für die Unterdeckung $IST - SOLL < 0$ und für die Überdeckung $IST - SOLL > 0$. Da die Fahrplanabweichung in der Viertelstunde vom Modell als Differenz von Sollwert zu Istwert ausgegeben ist folgt, dass der durch das Modell erzeugte BK überdeckt ist, wenn die Abweichung in der Viertelstunde einen negativen Wert hat und unterdeckt ist, wenn die Abweichung einen positiven Wert hat. Der angegebene Arbeitspreis, der ebenso, wie die Sekundärregelleistungsdaten von der 50Hz-Transmissions GmbH stammen, ist in ct/kWh angegeben. Die Abweichung ist als Leistung in kW angegeben. Um nun die Kosten und Erlöse zu bestimmen wird die Abweichung anstatt als Leistung als Arbeit benötigt. Dies erfolgt über die Formel

$$W_{15min} = P_{15min} * \frac{15}{60} \Rightarrow W_{15min} = P_{15min} * \frac{1}{4}$$

Der Arbeitspreis wird durch eine Division durch 100 in Euro/kWh Stunde umgerechnet, so dass die Kosten und Erlöse direkt in Euro angegeben werden. Die Berechnung der Kosten erfolgt also nachdem überprüft wurde ob der BK unterdeckt oder überdeckt ist und ob der Ausgleichsenergiepreis negativ oder positiv ist, nach folgender Berechnungsvorschrift.

$$Kosten = |Abweichung| * \frac{1}{4} * |Preis| * \frac{1}{100}$$

5 Analyse und Auswertung

5.1 Zusammenhang zwischen Netzfrequenz und Sekundärregelleistung

In Kapitel 2.1 werden die Regelenergiearten bereits beschrieben, hier soll noch einmal der Zusammenhang zwischen der eingesetzten Sekundärregelleistung, der Netzfrequenz und der Bilanzkreisabweichung in Bezug auf die Richtung der Regelleistung genauer betrachtet werden. Ist die Einspeisung höher als die Entnahme, so steigt die Netzfrequenz auf über 50 Hz. Für die allgemeine Leistungsabweichung im Stromnetz bedeutet dies, dass diese steigt und damit ein positiver Leistungswert für die Abweichung vorliegt. Dem entsprechend ist bei einer Frequenz, die größer ist 50,02Hz, und nicht durch die Primärregelleistung innerhalb von 30 Sekunden ausgeglichen werden kann, der Einsatz negativer Sekundärregelleistung notwendig. Entsprechend umgekehrt verhält es sich für Fall, dass die Einspeisung niedriger als die Entnahme ist, die allgemeine Leistungsabweichung ist dann negativ und die Netzfrequenz sinkt unter 50 Hz. Ist die Frequenz kleiner als 49,98 Hz und kann nicht durch die Primärregelleistung ausgeglichen werden, so wird der Einsatz positiver Sekundärregelleistung notwendig.

5.2 Bewertung der Datensätze

Die Berücksichtigung der Sekundärregelleistung findet über selbstentwickelte Datensätze statt, die hinsichtlich ihrer Qualität zunächst zu bewerten sind. Um die Datensätze bewerten zu können, muss zunächst einmal der Netzfrequenzverlauf eines Tages ausgewertet werden. Über die Quelle www.netzfrequenzmessung.de war es möglich, einen solchen Beispielerlauf für den 8. März 2011 zu bekommen. Legt man nun die entwickelten Datensätze zusammen mit dem Frequenzverlauf in ein Diagramm (Bild 5.1), so ist zu erkennen, dass die Datensätze nur sehr unzureichend den Verlauf der Sekundärregelleistung abbilden. Es werden von 24 längerfristigen Störungen neun nicht in der richtige Ausrichtung erfasst. Ebenso gibt es Zeitpunkte, an denen keine Verletzung der Frequenztoleranz vorliegt, der Datensatz aber den Bedarf an Regelleistung angibt. Ebenso ist ersichtlich, dass der Datensatz die Sekundärregelleistung zu langfristig anliegen lässt, die SRL ist nach 15 Minuten durch die Minutenreserve abzulösen, in dem Verlauf für den 8. März 2011 jedoch liegt über mehrere Viertelstunden dauerhaft Sekundärregelleistung vor. Bei der Abschätzung der Minutenwerte fließt ebenfalls die zuvor ausgelöste Primärregelung nicht mit ein, so dass direkt beim Auftreten einer Änderung der Frequenz der Einsatz von Sekundärregelleistung angenommen wird. Daraus lässt sich schließen,

dass die entwickelten Datensätze für die Sekundärregelleistung, die für die Simulation genutzt wurden, und als Regelparameter mit in die Regelung eingegriffen haben, ebenso mit Fehlern behaftet sind.

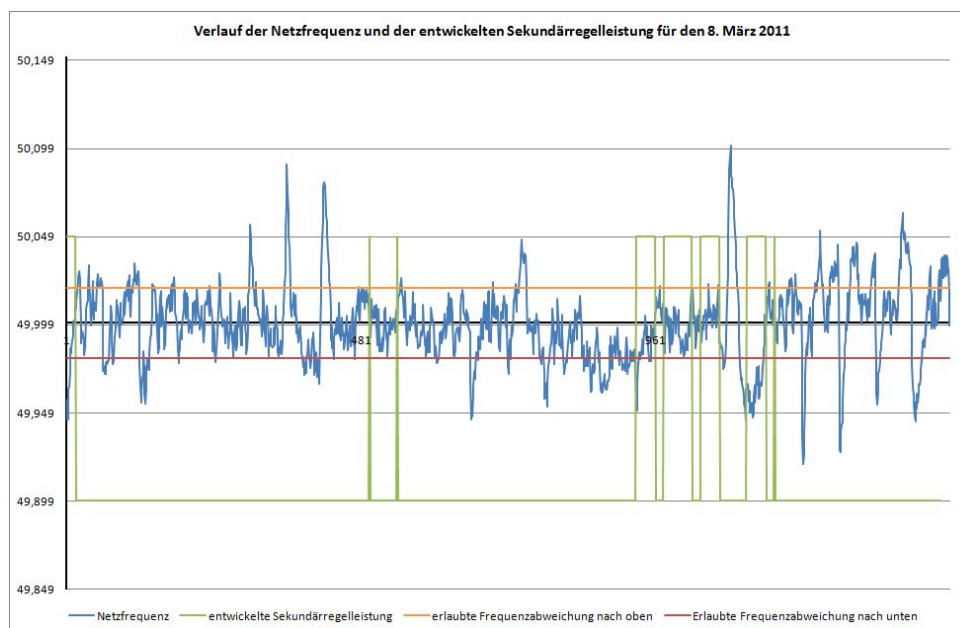


Bild 5.1: Vergleich zwischen Netzfrequenz und Sekundärregelleistungsdaten

5.3 Ergebnisse der Kostenanalyse

Die Durchführung der im vorigen Kapitel beschriebenen Kostenanalyse erbrachte für die ursprünglich implementierten Regler die in Tabelle 5.1 angegebenen Ergebnisse.

Kosten unregelt Regler [Euro]	Erlöse Dreipunkt Regler [Euro]	Kosten Dreipunkt Regler [Euro]	Erlöse Fuzzy Regler [Euro]	Kosten Fuzzy [Euro]	Erlöse unregelt [Euro]
220060	128380	109410	60476	92203	52847

Tabelle 5.1: Reglerkosten der ursprünglichen Regler

Von den Reglern, die zusätzlich noch die Sekundärregelleistung berücksichtigen wird erwartet, dass die Kosten gesenkt und die Erlöse erhöht werden. Im Idealfall werden die Kosten auf den derzeitigen niedrigsten Wert sinken und die Erlöse auf den höchsten Wert steigen. Es zeigt jedoch, dass sich mit der Berücksichtigung der SRL, zwar die Erlöse steigern lassen, jedoch ebenso die Kosten steigen. In Tabelle 5.2 sind diese aufgeführt. Betrachtet man die Auswirkungen auf die Qualität der Regelung indem man die fehlerhaften Viertelstunden auswertet, so ist zu erkennen, dass die Regler, die zusätzlich die Sekundärregelleistung berücksichtigen, eine höhere Fehlerrate haben als die Ursprungsregler. Die Fehlerauswertung erfolgt über eine Matlab-Routine, die den prozentualen Fehler der Fahrplanabweichung auswertet. Hierzu ist der Fehler in die Kategorien 0 %

bis 1%, 1 % bis 2%, 2% bis 3%, 3 % bis 4%, 4% bis 5% und > 5 % unterteilt, tritt in einer Viertelstunde einer der Fehler aus, so wird ein Zähler für die jeweilige Kategorie um 1 erhöht. Nachdem das Jahr geprüft wurde, enthalten diese Zähler zusammen die Gesamtanzahl der Fehler über das Jahr, und die Ergebnisse werden als Graphiken ausgegeben, zum einen als prozentuale Häufigkeit der Fehlerverteilung und zum andern in absoluten Zahlenwerten. Bei der Betrachtung der Fehlerauswertung ist zu erkennen, dass insbesondere die Fehler in den Kategorien > 4 % ansteigen. Am stärksten macht sich diese Tatsache beim Fuzzy-Regler bemerkbar, bei dem auch der Anstieg der Kosten am stärksten ist. Sieht man sich die Tageslastverläufe an, so erkennt man, dass der Fuzzy-Regler, durch die Steuerung von außen nicht in dem Maße beeinflusst wird wie der Dreipunktregler. Durch den Eingriff des Entscheiders durch das Enable Signals, das eine Regelung unterdrückt, wenn die Abweichung bestehen bleiben soll, wird beim Fuzzy-Regler, die Abweichung verstärkt. Dies lässt sich nur verhindern indem die SRL mit in die Fuzzy-Regeln eingebunden wird, so dass bei der Entscheidung für eine Regelung, die SRL direkt berücksichtigt werden kann. Der Dreipunkt-Regler hingegen behält die Abweichung bei, wenn er sie nicht ausregeln soll, daher ist es verständlich, dass auch hier die Anzahl der fehlerhaften Viertelstunden steigen muss, auch hier ist ein Anstieg in den Kategorien > 4 % zu verzeichnen. Da hier die Entscheidungskriterien für eine Regelung ‚scharf‘ definiert sind, kann von außen eingegriffen werden, um trotzdem eine Regelung zu unterbinden. Die durch die kaskadierte Regelung notwendige Beschränkung, dass der Regler nur alle drei Minuten eingreifen darf,¹ führt zusätzlich dazu, dass Regelungen, die eigentlich von dem Entscheider freigegeben würden, nicht ausgelöst werden können. Hauptursächlich sind jedoch die Missstände in den SRL-Datensätzen. Durch falsche Bewertung werden Frequenzabweichungen falsch berücksichtigt: Obwohl eigentlich positive SRL aufgebracht wird, bekommt das System die Information es würde negative SRL aufgewendet, und unterdrückt so unter Umständen eine Regelung die hätte ausgelöst werden müssen. Es ist davon auszugehen, dass dies der Hauptgrund für die steigenden Kosten ist.

Kosten ungeregelt Regler [Euro]	Erlöse Dreipunkt Regler [Euro]	Kosten Dreipunkt Regler [Euro]	Erlöse Fuzzy Regler [Euro]	Kosten Fuzzy [Euro]	Erlöse ungeregelt [Euro]
220060	128380	206450	135550	1120900	174540

Tabelle 5.2: Kosten und Erlöse des um die Sekundärregelung erweiterten Modells

¹vgl. Seite 27

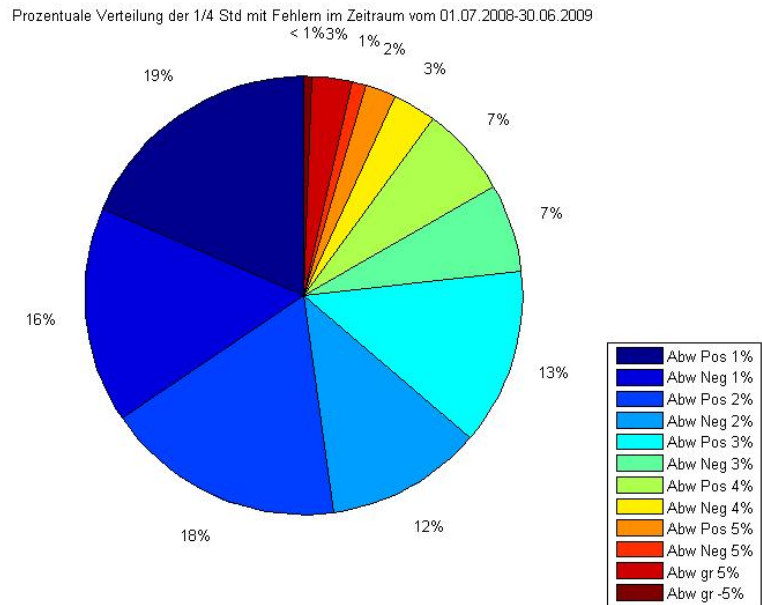


Bild 5.2: Auswertung der fehlerhaften Viertelstunden im Jahr beim Dreipunktregler

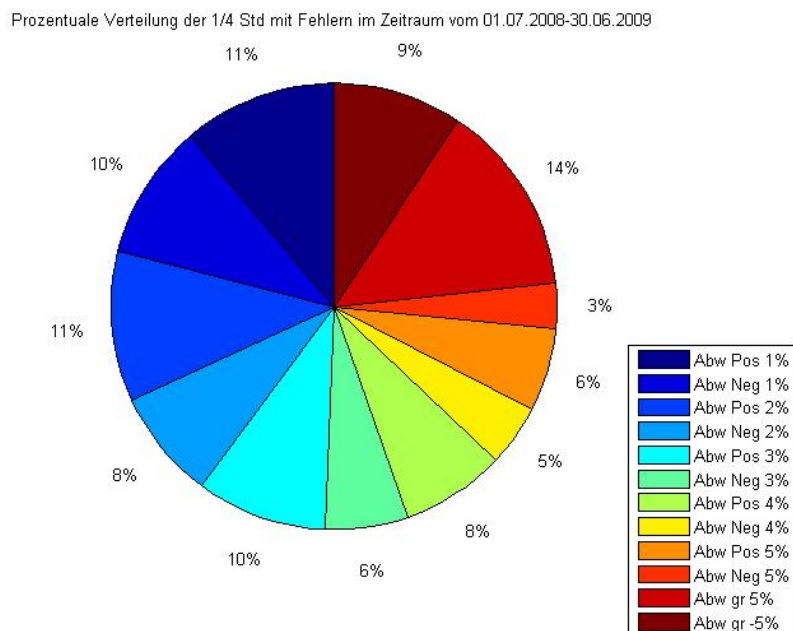


Bild 5.3: Auswertung der fehlerhaften Viertelstunden im Jahr beim neu implementierten Dreipunktregler

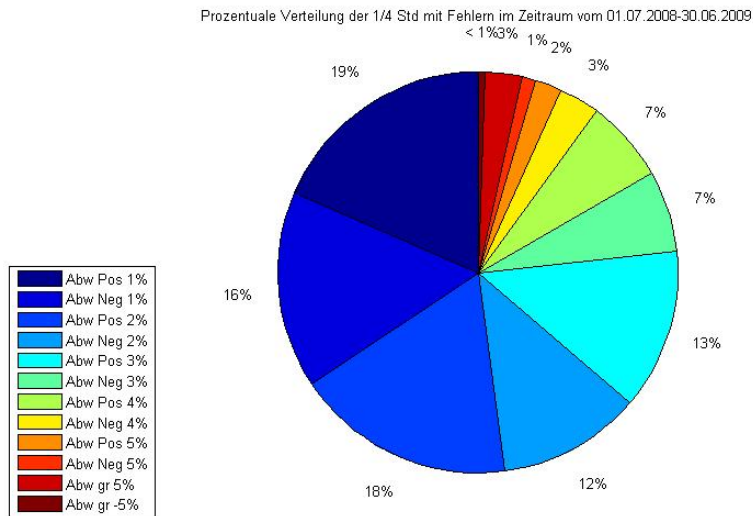


Bild 5.4: Auswertung der fehlerhaften Viertelstunden im Jahr beim Fuzzy-Regler

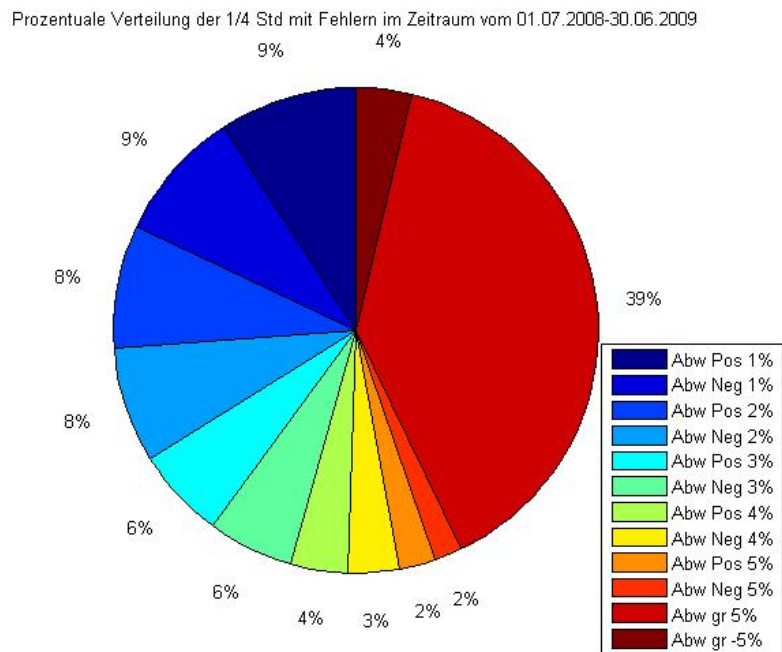


Bild 5.5: Auswertung der fehlerhaften Viertelstunden im Jahr beim neu implementierten Fuzzy-Regler

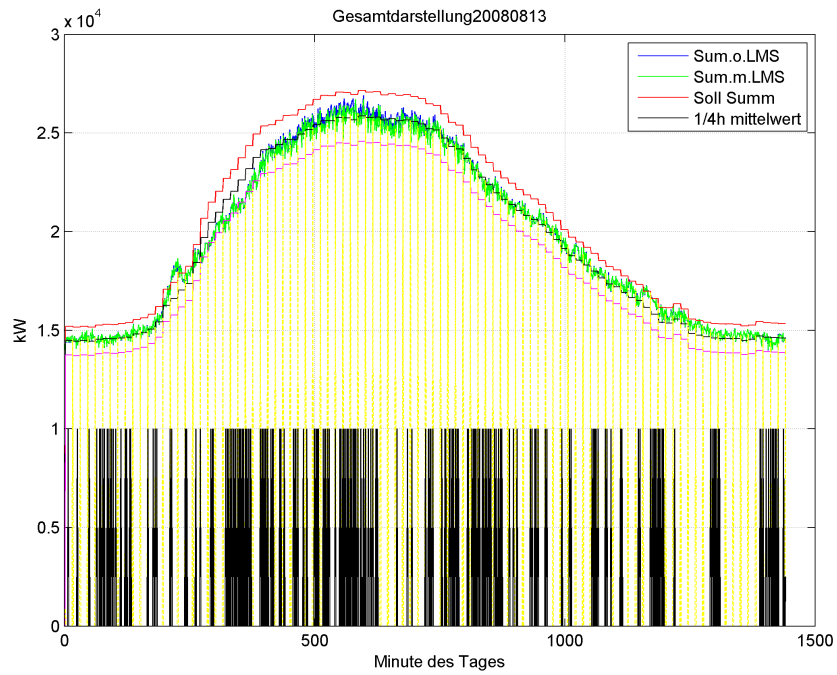


Bild 5.6: Tageslastverlauf des neu implementierten Dreipunktreglers

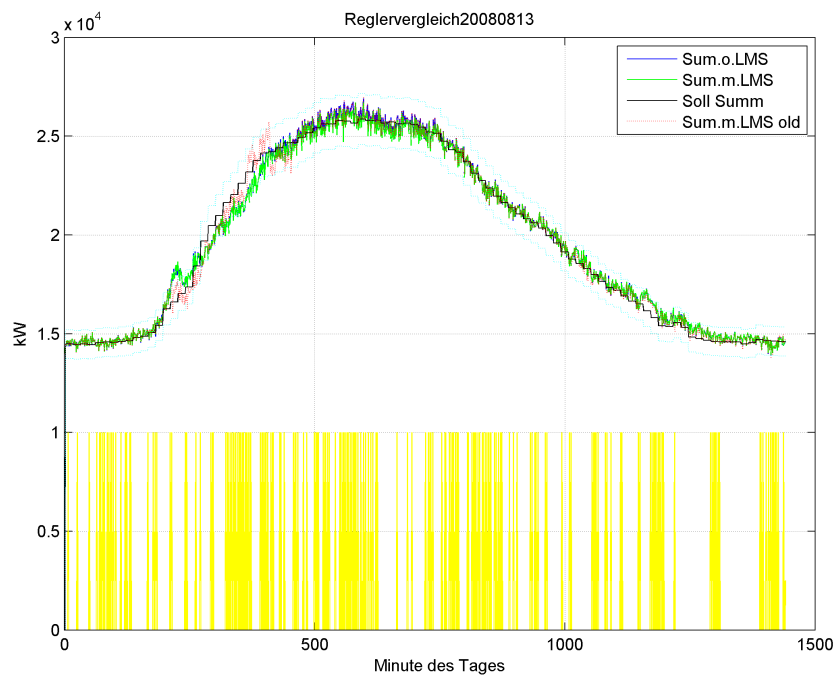


Bild 5.7: Vergleich der Dreipunktregler im Tageslastverlauf



Bild 5.8: Tageslastverlauf des neu implementierten Fuzzy-Reglers

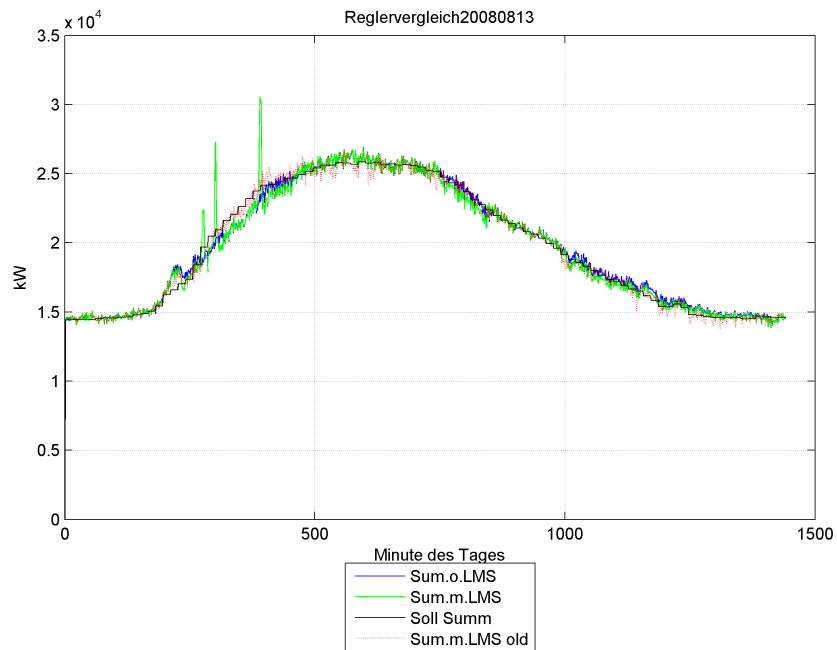


Bild 5.9: Vergleich der Fuzzy-Regler im Tageslastverlauf

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

In dieser Diplomarbeit wurde für das Forschungsprojekt InSeL mittels eines Matlab/Simulink Modells untersucht, ob ein übergeordneter Regler für einen Verbund lastintensiver Liegenschaften, so gesteuert werden kann, dass durch die Berücksichtigung der Sekundärregelleistung die Kosten für den Bezug von Ausgleichsenergie verringert werden können. Der Grundgedanke hinter diesem Forschungsprojekt ist, die Regelung des Energienetzes von der Kraftwerksseite auf die Verbraucherseite zu verlagern. Damit das Energienetz nicht zusammenbricht, darf die Netzfrequenz nur in einer Toleranz von ± 20 mHz um die Nennfrequenz von 50 Hz schwanken. Wird mehr Energie vom Energieversorger angefordert als dieser liefern kann, so fällt die Netzfrequenz unter ihren Nennwert, wird andererseits mehr Energie geliefert als verbraucht werden kann, dann steigt die Netzfrequenz über ihren Nennwert. In diesen Fällen wird der Einsatz von Regelenergien notwendig, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. Die zweite Stufe des Regelenergieeinsatzes ist die Sekundärregelung, diese wird ausgelöst, wenn die erste Stufe (die Primärregelung) innerhalb von 30 Sekunden nicht ausgereicht hat, um das Ungleichgewicht zu beheben. Schafft auch die Sekundärregelung es innerhalb eines gewissen Zeitraumes nicht das Gleichgewicht wieder herzustellen, dann wird die dritte Stufe (die Minutenreserve) ausgelöst und löst die Sekundärregelung ab. Für den Einsatz von Regelleistungen entstehen den Bilanzkreisen, dies sind zusammengefasste Einspeise- und Entnahmestellen innerhalb einer Regelzone, Kosten. Diese Kosten entstehen durch die Abweichungen innerhalb des Bilanzkreises, sofern sie der eingesetzten Regelleistung nicht entgegenwirken. Der Bilanzkreisverantwortliche ist dazu angehalten, nach den Bestimmungen der Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV) in jeder Viertelstunde die Energiebilanz seines Bilanzkreises ausgeglichen zu halten, also die Summe der Entnahmen genau so groß zu halten wie die Summe der Einspeisungen. Gelingt dieses nicht und die Summe der Einspeisungen ist größer als die Summe Entnahmen spricht man von einer Überdeckung des Bilanzkreises. Andernfalls, also wenn die Summe der Einspeisungen größer ist als die Summe der Entnahmen, spricht man von einer Unterdeckung des Bilanzkreises. Es kommt aufgrund der Menge der Bilanzkreise und deren Abweichungen innerhalb der Regelzonen zu sich ausgleichenden Energieflüssen, die dazu führen, dass nicht die gesamte Abweichung eines Bilanzkreise zu Regelenergieeinsatz führt, sondern nur der verbleibende Rest von Abweichungen. Auch wenn keine Regelenergie benötigt wird, kann jedoch Ausgleichsenergie fließen, der Ausgleichsenergiebedarf ist die Summe der Abweichungen eines Bilanzkreises zwischen der tatsächlichen Einspeisung und den an den Übertragungsnetzbetreiber gemeldeten Fahrplänen. Der Ausgleichsenergiebedarf wird daher zu jeder Viertelstunde als mittlerer Leistungswert erfasst, und mit dem

Bilanzkreisverantwortlichen abgerechnet. Diese Abrechnung verursacht entweder Kosten oder erzielt Erlöse, dies ist abhängig vom Ausgleichsenergiepreis und von der Über- oder Unterdeckung des Bilanzkreises.

Wenn man nun die Sekundärregelleistung als Regelparameter mit in Betracht zieht, so kann man anhand der Richtung der eingesetzten Leistung Rückschlüsse auf die allgemeine Situation der Netzfrequenz ziehen, denn steigt die Netzfrequenz auf über 50 Hz, so ist die Einspeisung höher als die Entnahme und es liegt eine allgemeine Leistungsabweichung nach oben vor, aus der folgt, dass negative Regelleistung erbracht werden muss. Entsprechend verhält es sich für den entgegengesetzten Fall, wenn die Einspeisung niedriger als die Entnahme ist, dann ist die allgemeine Leistungsabweichung negativ, die Netzfrequenz sinkt unter 50 Hz und es wird der Einsatz positiver Regelleistung notwendig. Unter diesen Voraussetzungen lässt sich davon ausgehen, dass es sinnvoll ist, eine der allgemeinen Netzabweichung entgegenwirkende Abweichung auch einmal nicht auszuregeln, um dem Einsatz von Regelarbeit entgegenzuwirken. Denn der Ausgleichsenergiepreis ist abhängig von den Arbeitskosten für die Regelenergie, und dem relevanten Saldo an Regelenergiemenge.

Die Ermittlung der eingesetzten Sekundärregelleistung pro Minute erfolgte über ein C#-Programm, das die mittleren Leistungswerte je Viertelstunde hinsichtlich ihrer Richtung auf die Maximalwerte untersucht und diesen dann jeweils für die positive und negative Leistung innerhalb festgelegter Leistungsgrenzen Minutenwerte zuweist. Die so entstandenen Minutenwerte werden nach den entwickelten Grundvoraussetzungen zum Verlauf der Leistung umgewandelt, hierbei ist nur die Richtung, nicht jedoch die Höhe relevant, daher werden sie dem Modell als 1 für positive und -1 für negative Leistung übergeben. Diese Werte werden im Modell an eine Matlab-Routine übergeben, die sie mit dem Wert der Trendabweichung des Systems vergleicht, und der Variablen Reglerstatus einen Wert zuweist. Dieser Wert wird auf die Regler übertragen, und ist ausschlaggebend dafür, ob eine Regelung ausgelöst wird oder nicht. Bekommt der Regler den Befehl, nicht zu regeln, so erhält er damit zeitgleich die Anweisung, den Lastwert so bei zu behalten wie er ist, also in keinem Fall die Abweichung zu verstärken. Die Kostenanalyse erfolgt ebenfalls in einer eigenen Matlab-Routine, die den veröffentlichten Arbeitspreis für die Viertelstunde und die Abweichung in der Viertelstunde vom Fahrplan verrechnet. Hierbei ist es wichtig, anhand der Abweichung zu prüfen, ob der BK über- oder unterdeckt war, da mit der Einführung negativer Arbeitspreise, je nach Arbeitspreisrichtung und Zustand des BK Erlöse erzielt werden können. Es wird zunächst anhand der Abweichung überprüft, ob der Bilanzkreis über- oder unterdeckt ist, und ob der Arbeitspreis positiv oder negativ ist, bevor der Arbeitspreis mit der Abweichung verrechnet wird. Diese Überprüfung ist notwendig, da sie die Zahlungsrichtung bei der Bilanzkreisabrechnung bestimmt. Bei einem negativen Ausgleichsenergiepreis erzielen unterdeckte BK Erlöse und überdeckte haben Kosten. Bei einem positiven Ausgleichsenergiepreis verhält sich dies umgekehrt. Die Analyse der Kosten ergibt, dass entgegen den Erwartungen es nicht dazu kommt, dass durch die Berücksichtigung der Sekundärregelleistung die Kosten gesenkt und die Erlöse erhöht werden. Es zeigt sich, dass zwar die Erlöse steigen, jedoch auch die Kosten sich erhöhen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die abgeschätzten Minutenwerte für die Sekundärregelleistung nicht hinreichend genau einen Verlauf der Frequenzabweichungen wiedergeben. Hierdurch werden Frequenzabweichungen unter Umständen

falsch interpretiert. Dadurch kommt es zur Unterdrückung von Regelungen, die eigentlich ausgelöst werden müssen und dann zu einer Reduktion der Kosten führen, da die für die Kostenrechnung relevante Abweichung sich verringert.

6.2 Ausblick

Wie kann man nun erreichen, dass sich die Kosten für die Ausgleichsenergie senken lassen. Anstatt die Regelung durch abgeschätzte Werte für den Einsatz von Sekundärregelleistung zu beeinflussen, ist es sinnvoll bei der Regelung die Netzfrequenz zu betrachten und als Regelparameter einzubinden. Durch diese Betrachtung, kann das System genau auf die vorherrschenden Abweichungen im Netz reagieren. Und es kommt nicht zu Fehlinterpretationen des Netzzustandes. Eine Netzfrequenzmessung sollte in einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde stattfinden, um auch den Einsatz von Primärregelleistung mit zu berücksichtigen und um diesen gegebenenfalls bei der Anwendung nicht berücksichtigen zu können. Bei einer zeitlichen Auflösung von einer Minute, wird der Primärregelungseinsatz immer aufgrund des Verlaufes von Regelenergieeinsatz mit berücksichtigt werden müssen.

Literaturverzeichnis

- [Amprion 2011a] AMPRION, GmbH: Ausgleichsenergiepreisabrechnung gegenüber Bilanzkreisverantwortlichen. (2011). – URL
<http://www.amprion.de/ausgleichsenergiepreis>, Stand 5. Dezember 2011
- [Amprion 2011b] AMPRION, GmbH: Beschaffung von Regelleistung und -energie in Deutschland. (2011). – URL
<http://www.amprion.de/systemdienstleistungen-regelenergie>, Stand 5. Dezember 2011
- [Bundesjustizministerium 2005a] BUNDESJUSTIZMINISTERIUM: § 21a EnWG (Energiewirtschaftsgesetz). (2005). – URL
http://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/__21a.html, Stand 5. Dezember 2011
- [Bundesjustizministerium 2005b] BUNDESJUSTIZMINISTERIUM: Stromnetz Entgelt Verordnung (StromNEV). (2005). – URL
<http://www.gesetze-im-internet.de/stromnev/>, Stand 5. Dezember 2011
- [Bundesjustizministerium 2008] BUNDESJUSTIZMINISTERIUM: Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). (2008). – URL
http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2009/, Stand 5. Dezember 2011
- [Bundesnetzagentur 2010] BUNDESNETZAGENTUR: Netzregelverbund. (2010). – URL
http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Presse/Publikationen/aktuell/aktuell_201001/4Netzregelverbund/Netzregelverbund_node.html, Stand 5. Dezember 2011
- [GmbH 2011] GMBH, 50Hertz T.: Modell zur Berechnung der Ausgleichsenergie der 4 ÜNB. (2011). – URL
http://www.50hertz.com/de/file/Modell_zur_Berechnung_der_Ausgleichspreise_der_4_UeNB.pdf, Stand 5. Dezember 2011
- [Gobmaier 2011] GOBMAIER, Thomas: Netzfrequenzmessung. (2011). – URL
www.netzfrequenzmessung.de, Stand 5. Dezember 2011
- [Preuss 2010] PREUSS, Oliver: *Regelungstechnische Optimierung des übergeordneten Reglers im Forschungsprojekt InSeL*, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg, Diplomarbeit, 2010
- [Schubert 2009] SCHUBERT, Franz: Projektziel E-Island. (2009). – URL
<http://www.e-island.eu/?Projekt:Projektziel>

- [Unbehauen 1997] UNBEHAUEN, Heinz: *Regelungstechnik 1 Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelsysteme*. Vieweg, 1997. – ISBN 3-528-83332-7
- [Vuthi 2010] VUTHI, Petrit: *Design und Implementierung eines übergeordneten Reglers für ein Modell eines Netzwerks von Lastmanagement-Anlagen in MATLAB/Simulink*, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg, Diplomarbeit, 2010. – URL
<http://opus.haw-hamburg.de/volltexte/2010/976/>.
<http://opus.haw-hamburg.de/volltexte/2010/976/>
- [Wikipedia 2011] WIKIPEDIA: Fuzzy-Regler. (2011). – URL
<http://de.wikipedia.org/wiki/Fuzzy-Regler>, Stand 5. Dezember 2011

A Anhang

A.1 Matlab Routinen

A.1.1 Kostenrechnung_new3.m

```
clear

ersterTag = 20080701;
letzterTag = 20090630;
i=16; %Start beim ersten Viertelstd-Wert Laufindex Abweichung
j=1; % Laufindex Preis und Bedarf Preis(j,1)=Bedarf; Preis(j,2)=Preis
k=1;

test = 96:2;
Getestete_Tage = 0;
Preisverlauf=0;
Summe = 0;
%====EINGABEPFADE=====
inPath2 = 'Preis/';
%inPath = 'Ergebnis_ungeregelt/Gesamtdarstellung/';
%inPath = 'Ergebnis_Dreipunkt/Gesamtdarstellung/';
%inPath='Ergebnis_Dreipunkt/Dispatched/V9/Gesamtdarstellung/';
%inPath = 'Ergebnis_Fuzzy_1MB2b/Gesamtdarstellung/';
inPath = 'Ergebnis_Dreipunkt/Dispatched/V12Fuzzy/Gesamtdarstellung/';

%====AUSGABEPFADE=====
%outPath ='Ergebnis_Dreipunkt/Dispatched/Kosten/Ergebnis_ Kostenrechnung/ungeregelt/'
%outPath ='Ergebnis_Dreipunkt/Dispatched/Kosten/Ergebnis_ Kostenrechnung/Dreipunkt/'
%outPath ='Ergebnis_Dreipunkt/Dispatched/Kosten/Ergebnis_ Kostenrechnung/Dispatched_Dreipunkt/'
%outPath ='Ergebnis_Dreipunkt/Dispatched/Kosten/Ergebnis_ Kostenrechnung/Fuzzy/'
outPath ='Ergebnis_Dreipunkt/Dispatched/Kosten/Ergebnis_ Kostenrechnung/dispatchedFuzzy/'

aktuellerTag = ersterTag;

while aktuellerTag <= letzterTag

    try
        flag = 0;
    %====Einlesen von Abweichung, Bedarf und Preis=====

        % Abweichung = csvread(strcat(inPath1, strcat(num2str(aktuellerTag), '_Abweichung.csv')));
        Preis = csvread(strcat(inPath2, strcat(num2str(aktuellerTag), '_Arbeitspreis.csv')));
        Abweichung1 = csvread(strcat(inPath, strcat(num2str(aktuellerTag), '_Gesamtdarstellung.csv')));
        Bedarf= csvread(strcat(inPath2, strcat(num2str(aktuellerTag), '_Regelzonensaldo.csv')));

    %==ZEilen und Spaltenzahl erfassen=====
        [max_zeile,max_spalte] = size(Preis);
        [max_zeile1,max_spalte1] = size(Abweichung1);
        %Durchlauf zum  $Z\sqrt{h}$ len der Viertelstundenwerte an einem Tag
```

```

%=====

max_zeile;
max_zeile1;

    while ( i <= max_zeile1)

        test;
%==POSITIVE ABWEICHUNGEN =====

        if ( (Abweichung1(i,14) > 0) && (Preis(j,2) > 0) )

            Kosten = (abs(Abweichung1(i,14))*(1/4))*(abs(Preis(j,2)*1/100));
            Erloes=0;
            % Abweichung kW umgewandelt nach kWh * ,Ç"/kWh
            test (j,2) = Erloes;
            test(j,1)= Kosten;
        end

        if ( (Abweichung1(i,14) > 0) && (Preis(j,2)) < 0 )

            Kosten= 0;
            Erloes= (abs(Abweichung1(i,14))*(1/4))*(abs(Preis(j,2)*1/100));
            %Preisverlauf = (abs(Abweichung(i,14))*(1/4))*(Preis(j,2)*1/100);
            test(j,2) = Erloes;
            test(j,1)= Kosten;
        end

%==NEGATIVE ABWEICHUNGEN =====

        if ((Abweichung1(i,14) < 0) && (Preis(j,2)> 0))

            % Abweichung kW umgewandelt nach kWh * ,Ç"/kWh
            Kosten= 0;
            Erloes= (abs(Abweichung1(i,14))*(1/4))*(abs(Preis(j,2)*1/100));

            test (j,2) = Erloes;
            test(j,1)= Kosten;
        end

        if ((Abweichung1(i,14) < 0) && (Preis(j,2) < 0))

            Kosten = (abs(Abweichung1(i,14))*(1/4))*(abs(Preis(j,2)*1/100));
            Erloes=0;
            % Abweichung kW umgewandelt nach kWh * ,Ç"/kWh
            test (j,2) = Erloes;
            test(j,1)= Kosten;
        end

    end

d
    kosten=sum(test(:,1));
    erlose=sum(test(:,2));

%
    Write(1,1)=kosten;
    Write(1,2)=erlose;

    k=sum(test);
    Summe = k;

    i = i+15; % n√§chster Viertelstd – Wert der Abweichung
    j = j+1; % n√§chster Wert Preis und Bedarf
end

```

```
    i=16; % Laufindex zur✓°cksetzen f✓°r n✓§chsten Tag
    j=1; % Laufindex zur✓°cksetzen f✓°r n✓§chsten Tag

test;
    Getestete_Tage = Getestete_Tage + 1;
%====TAGESVERLAUF SCHREIBEN =====
csvwrite(strcat(outPath,strcat(num2str(aktuellerTag),'_Tageskosten.csv'),test);

%=====TAGESSUMME SCHREIBEN=====
csvwrite(strcat(outPath,strcat(num2str(aktuellerTag),'_Tagessumme.csv'),Write);

catch
    fprintf(strcat(num2str(aktuellerTag),' ERROR!!\n'));
end

    if mod(aktuellerTag-31, 100)==0
        aktuellerTag = aktuellerTag + 69;
        if mod(aktuellerTag-1300, 10000)==0
            aktuellerTag = aktuellerTag + 8800;
        end
    end
end
csvwrite(strcat(outPath,strcat(num2str(aktuellerTag),'_Tageskosten.csv'),test);

    aktuellerTag = aktuellerTag+1;

end
    fprintf('completed...!\n');
% end
```

A.1.2 SRL.m

```
function out=SRL(in)

% Einlesen der Eingangswerte

    Minute_Aktuell = in(1);
    Trend_Abweichung = in(2);
    Abweichung_Aktuell = in(3);
    SRL_Aktuell= in(4);
    % i=1;
%-----

%   if ( Minute_Aktuell ~= 1 ) && (Minute_Aktuell ~= 3) && (Minute_Aktuell ~= 6) && (Minute_Aktuell ~= 9)
%       Regler = 1;
%       ReglerON == 1;
%       ReglerOff==0;
%   else
%if Minute_Aktuell >= 0
if ( Minute_Aktuell == 0 ) || (Minute_Aktuell == 3) || (Minute_Aktuell == 6) || (Minute_Aktuell == 9) ||
    if (Trend_Abweichung > 0 && SRL_Aktuell > 0)
        Regler = 1;
        ReglerON == 1;
        ReglerOff==0;
    end
    if (Trend_Abweichung < 0 && SRL_Aktuell < 0)
        Regler = 2;
        ReglerON == 1;
        ReglerOff==0;
    end

    if (Trend_Abweichung > 0 && SRL_Aktuell < 0)
        Regler = 3;
        ReglerON == 0;
        ReglerOff==1;
    end

    if (Trend_Abweichung < 0 && SRL_Aktuell > 0)
        Regler = 4;
        ReglerON == 0;
        ReglerOFF==1;
    end

    if (Trend_Abweichung == 0 || SRL_Aktuell==0 )
        Regler = 5;
        ReglerON == 0;
        ReglerOff==1;
    end
end
else
    Regler = 0;
end

% Ausgang definieren
    out=zeros(1,1);
    out(1)=Regler;
%   out=zeros(2,1);
%   out(1) = ReglerON
%   out(2) = ReglerOFF;

return;
```

A.2 C# - Programm zur SRL- Entwicklung

```
using System;
using System.Windows.Forms;

namespace Bente
{
    public partial class Durchschnittswerte : Form
    {
        public Durchschnittswerte()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            label2.Text = "";
            try
            {
                //mit dem Faildialog die datein  $\sqrt{\text{dfnen}}$ 
                //cden filter auf csv datein und alle datein stellen
                openFileDialog1.Filter = "csv files (*.csv)|*.csv|All files (*.*)|*.*";
                //filter Index auf 1 Stellen
                openFileDialog1.FilterIndex = 1;
                openFileDialog1.RestoreDirectory = true;
                if (openFileDialog1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
                {
                    String readline = "";
                    saveFileDialog1.Filter = "csv files (*.csv)|*.csv|All files (*.*)|*.*";
                    saveFileDialog1.FilterIndex = 1;
                    saveFileDialog1.RestoreDirectory = true;
                    if (saveFileDialog1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
                    {
                        int spruenge = Convert.ToInt32(sprung.Value);

                        System.IO.StreamWriter myFile = new
                        System.IO.StreamWriter(saveFileDialog1.FileName);

                        System.IO.StreamReader sr = new
                        System.IO.StreamReader(openFileDialog1.FileName);

                        String[] splitline = null;
                        int wert;
                        int wert2;
                        bool wert1true = true;
                        bool wert2true = true;
                        int max = 0;
                        int min = 0;
                        int[] plus_schritte = new int[1000];
                        int[] minus_schritte = new int[1000];
                        //f $\sqrt{\text{or}}$  die kopfzeilen
                        readline = sr.ReadLine();
                        readline = sr.ReadLine();

                        //Solange lesen bis ende der datei ericht ist
                        while ((readline = sr.ReadLine()) != null)
                        {
                            // String an den stellen ; splitten
                            splitline = readline.Split(';');
                            try
                            {
                                wert = Convert.ToInt32(splitline[3]);
```

```
        wert2 = Convert.ToInt32(splitline[4]);
        if (max <= wert)
            max = wert;

        if (min > wert2)
            min = wert2;
    }
    catch
    {
        label2.Text = "";
    }
    if (max <= (min * -1))
        max = min*-1;
}
sr.BaseStream.Position = 0;

readline = sr.ReadLine();
readline = sr.ReadLine();
while ((readline = sr.ReadLine()) != null)
{
    wert1true = true;
    wert2true = true;
    splitline = readline.Split(';');
    try
    {
        wert = Convert.ToInt32(splitline[3]);
        wert2 = Convert.ToInt32(splitline[4]);

        for (int i = 2000; (i >= 0) ; i = i - spruenge)
        {
            if (i <= wert && (wert1true == true))
            {
                plus_schritte[i / spruenge]++;
                wert1true=false;
            }
            if (((i * -1) >= wert2)&&(wert2true == true))
            {
                minus_schritte[i / spruenge]++;
                wert2true=false;
            }
        }
    }
    catch
    {
        myFile.Write("fehler in zeile: " + readline + "\r\n");
    }
}
myFile.Write("zeile1 gibt Anchor in welchen bereich man sich befindet \r\n die

for (int i = 0; (i <= (max / spruenge)); i++)
{
    myFile.Write(i * spruenge);
    myFile.Write(";");
}
myFile.Write("\r\n");
for (int i = 0; i <= (max / spruenge); i++)
{
    myFile.Write(plus_schritte[i]);
    myFile.Write(";");
}
myFile.Write("\r\n");
for (int i = 0; i <= (max / spruenge); i++)
{
    myFile.Write(minus_schritte[i]);
```

```

        myFile.Write(";");
    }
    myFile.Write("\r\n");
    sr.Close();
    myFile.Close();
}
}
}
}
catch
{
    label2.Text = "Fehler Datei kann nicht ge\o\dfnet oder beschrieben werden";
}
}

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label2.Text = "";
    int[] minusbereiche = new int[15];
    int[] plusbereiche = new int[15];
    // daten einlesen von der oberfl\o\che
    plusbereiche[0] = Convert.ToInt32(minute1.Value);
    plusbereiche[1] = Convert.ToInt32(minute2.Value);
    plusbereiche[2] = Convert.ToInt32(minute3.Value);
    plusbereiche[3] = Convert.ToInt32(minute4.Value);
    plusbereiche[4] = Convert.ToInt32(minute5.Value);
    plusbereiche[5] = Convert.ToInt32(minute6.Value);
    plusbereiche[6] = Convert.ToInt32(minute7.Value);
    plusbereiche[7] = Convert.ToInt32(minute8.Value);
    plusbereiche[8] = Convert.ToInt32(minute9.Value);
    plusbereiche[9] = Convert.ToInt32(minute10.Value);
    plusbereiche[10] = Convert.ToInt32(minute11.Value);
    plusbereiche[11] = Convert.ToInt32(minute12.Value);
    plusbereiche[12] = Convert.ToInt32(minute13.Value);
    plusbereiche[13] = Convert.ToInt32(minute14.Value);
    plusbereiche[14] = Convert.ToInt32(minute15.Value);

    minusbereiche[0] = Convert.ToInt32(minus1.Value);
    minusbereiche[1] = Convert.ToInt32(minus2.Value);
    minusbereiche[2] = Convert.ToInt32(minus3.Value);
    minusbereiche[3] = Convert.ToInt32(minus4.Value);
    minusbereiche[4] = Convert.ToInt32(minus5.Value);
    minusbereiche[5] = Convert.ToInt32(minus6.Value);
    minusbereiche[6] = Convert.ToInt32(minus7.Value);
    minusbereiche[7] = Convert.ToInt32(minus8.Value);
    minusbereiche[8] = Convert.ToInt32(minus9.Value);
    minusbereiche[9] = Convert.ToInt32(minus10.Value);
    minusbereiche[10] = Convert.ToInt32(minus11.Value);
    minusbereiche[11] = Convert.ToInt32(minus12.Value);
    minusbereiche[12] = Convert.ToInt32(minus13.Value);
    minusbereiche[13] = Convert.ToInt32(minus14.Value);
    minusbereiche[14] = Convert.ToInt32(minus15.Value);

    label2.Text = "";
    try
    {
        openFileDialog1.Filter = "csv files (*.csv)|*.csv|All files (*.*)|*.*";
        openFileDialog1.FilterIndex = 2;
        openFileDialog1.RestoreDirectory = true;
        if (openFileDialog1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
        {
            String readline = "";
            saveFileDialog1.Filter = "csv files (*.csv)|*.csv|All files (*.*)|*.*";

```

```
saveFileDialog1.FilterIndex = 1;
saveFileDialog1.RestoreDirectory = true;
if (saveFileDialog1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
{
    System.IO.StreamWriter myFile = new
    System.IO.StreamWriter(saveFileDialog1.FileName);

    System.IO.StreamReader sr = new
    System.IO.StreamReader(openFileDialog1.FileName);

    int wert;
    int wert2;
    bool wert1true = true;
    bool wert2true = true;
    int max = 0;
    int min = 0;
    int plus = 0;
    int minus = 0;
    String[] splitline = null;

    readline = sr.ReadLine();
    readline = sr.ReadLine();

    myFile.Write("minutenumrechnung in den grenzen\r\n");
    myFile.Write("-1 - ");
    for (int i = 14; i >= 0; i--)
    {
        myFile.Write(minusbereiche[i] + ";");
    }
    myFile.Write("\r\n");
    for (int i = 14; i >= 0; i--)
    {
        myFile.Write(plusbereiche[i] + ";");
    }
    myFile.Write("\r\n");
    myFile.Write("Datum" + ";" + "Uhrzeit" + ";" + ";" + "plus" + ";" + "minus" +
    myFile.Write("; " + "von" + ";" + "bis" + ";" + "\r\n");
    //den Maximal und den Minimalen Wert der Datei bestimmen

    while ((readline = sr.ReadLine()) != null)
    {
        splitline = readline.Split(';');
        try
        {
            wert = Convert.ToInt32(splitline[3]);
            wert2 = Convert.ToInt32(splitline[4]);
            if (max <= wert)
                max = wert;
            if (min > wert2)
                min = wert2;
        }
        catch
        {
            label2.Text = "";
        }

        if (max <= (min * -1))
            max = min * -1;
    }
    //zum anfang der Datei Springen
    sr.BaseStream.Position = 0;

    //anfangszeilen  $\sqrt{\circ}$ berspringen
```



```
readline = sr.ReadLine();
readline = sr.ReadLine();

while ((readline = sr.ReadLine()) != null)
{
    wert1true = true;
    wert2true = true;

    splitline = readline.Split(';');
    try
    {
        wert = Convert.ToInt32(splitline[3]);
        wert2 = Convert.ToInt32(splitline[4]);

        if (wert != 0)
        {
            for (int i = 0; i < 15 ; i++)
            {
                if (plusbereiche[i] >= wert && (wert1true == true))
                {
                    plus = i+1 ;
                    wert1true = false;
                }
            }
        }
        else
        {
            plus = 0;
        }
        if (wert2 != 0)
        {
            for (int i = 0; (i < 15); i++)
            {
                if ((minusbereiche[i] <= wert2) && (wert2true == true))
                {
                    minus=i+1;
                    wert2true = false;
                }
            }
        }
        else
        {
            minus = 0;
        }
        if (plus + minus > 15)
        {
            if (plus < minus)
            {
                minus = minus - ((minus + plus) - 15);
            }
            else
            {
                plus = plus - ((minus + plus) - 15);
            }
        }
        myfile.Write(splitline[0] + ";" + splitline[1] + ";" + splitline[2] + ";");
    }
    catch
    {
        myfile.Write("fehler in zeile: ;" + readline + "\r\n");
    }
}
```

```
        myFile.Write("\r\n");
        sr.Close();
        myFile.Close();
    }
}

catch
{
    label2.Text = "Fehler Datei kann nicht ge\o\ufnet oder beschrieben werden \r\n Bitte schli\sseln";
}

private void label19_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label19.Text = Convert.ToString(minute1.Value);
}

private void label20_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label20.Text = Convert.ToString(minute2.Value);
}

private void label21_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label21.Text = Convert.ToString(minute3.Value);
}

private void label22_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label22.Text = Convert.ToString(minute4.Value);
}

private void label23_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label23.Text = Convert.ToString(minute5.Value);
}

private void label24_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label24.Text = Convert.ToString(minute6.Value);
}

private void label25_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label25.Text = Convert.ToString(minute7.Value);
}

private void label26_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label26.Text = Convert.ToString(minute8.Value);
}

private void label27_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label27.Text = Convert.ToString(minute9.Value);
}

private void label28_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label28.Text = Convert.ToString(minute10.Value);
}

private void label29_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label29.Text = Convert.ToString(minute11.Value);
}
```

```
private void label30_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label30.Text = Convert.ToString(minute12.Value);
}

private void label31_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label31.Text = Convert.ToString(minute13.Value);
}

private void label32_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label32.Text = Convert.ToString(minute14.Value);
}

private void label34_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label35_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label49_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label49.Text = Convert.ToString(minus1.Value);
}

private void label50_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label50.Text = Convert.ToString(minus2.Value);
}

private void label51_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label51.Text = Convert.ToString(minus3.Value);
}

private void label52_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label52.Text = Convert.ToString(minus4.Value);
}

private void label53_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label53.Text = Convert.ToString(minus5.Value);
}

private void label54_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label54.Text = Convert.ToString(minus6.Value);
}

private void label55_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label55.Text = Convert.ToString(minus7.Value);
}

private void label56_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label56.Text = Convert.ToString(minus8.Value);
}
```

```
private void label57_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label57.Text = Convert.ToString(minus9.Value);
}

private void label58_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label58.Text = Convert.ToString(minus10.Value);
}

private void label59_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label59.Text = Convert.ToString(minus11.Value);
}

private void label60_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label60.Text = Convert.ToString(minus12.Value);
}

private void label61_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label61.Text = Convert.ToString(minus13.Value);
}

private void label62_Click(object sender, EventArgs e)
{
    label62.Text = Convert.ToString(minus14.Value);
}

private void durchschnittswerte_Load(object sender, EventArgs e)
{
}

private void tabPage2_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void tabPage1_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void tabPage3_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

}
}
```

/hilfsmittel

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, 15. Dezember 2011

Ort, Datum

Unterschrift