

Diplomarbeit

Petrit Patrick Vuthi

Design und Implementierung

eines übergeordneten Reglers für ein Modell eines
Netzwerkes von Lastmanagement-Anlagen

in MATLAB/Simulink

Petrit Patrick Vuthi
Design und Implementierung
eines übergeordneten Reglers für ein Modell
eines Netzwerkes von Lastmanagement-Anlagen
in MATLAB/Simulink

Diplomarbeit eingereicht im Rahmen der Diplomprüfung
im Studiengang Informations- und Elektrotechnik
Studienrichtung Informationstechnik
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 19.03.2010

Petrit Patrick Vuthi

Thema der Diplomarbeit

Design und Implementierung eines übergeordneten Reglers für ein Modell eines Netzwerkes von Lastmanagement-Anlagen in MATLAB/Simulink

Stichworte

Lastmanagement-Anlage, Fahrplan, Kaskadenregelung, Bilanzkreis, Energieverbraucher, stufenschaltbarer Energieverbraucher

Kurzzusammenfassung

Es soll ein Modell in MATLAB/Simulink erstellt werden, dass die lastintensivsten Liegenschaften aus Hamburg mit einer Lastmanagement-Anlage nachbildet. Die Lastmanagement-Anlagen der einzelnen Liegenschaften sollen zu einem Netzwerk zusammen geschlossen werden. Dieses ist mit einem übergeordneten Regler verbunden. Der Regler hat die Aufgabe den Summenlastverlauf in ein vorgegebenes Summenlastband zu regeln. Dieses soll vom Regler realisiert werden, indem die Lastgrenzen der einzelnen Liegenschaften so gewählt werden, dass die Lastmanagement-Anlage in den Liegenschaften selbstständig ihre Verbraucher ab- bzw. zuschaltet.

Petrit Patrick Vuthi

Title of the paper

Design and implementation of a global controller for a model of a network of several load management systems within MATLAB/Simulink

Keywords

Load management system, time table, cascade control, accounting grid, energy consumer, step switched energy consumer

Abstract

Inside this report the construction of a model is described that re-builds the most power-intensive properties of the City State of Hamburg by a load management system. The model has been created within the computer simulation software MATLAB/Simulink. The Load management systems of all properties are merged into a network, which is connected with a global controller. The controller undertakes the task to regulate the sum of the load curves into a reference power band. The controller is enabled to regulate the load curves by defining load limits for the properties so that the load management system can independently switch its users off or on.

Petrit Patrick Vuthi

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS.....	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	VI
1 EINLEITUNG	1
1.1 Motivation	1
1.2 Forschungsprojekt INSEL	5
1.3 Zielsetzung	6
1.4 Aufbau der Arbeit.....	7
2 GRUNDLAGEN.....	9
2.1 Netzregelung.....	9
2.2 Energiemanagement & Energiemanagementsystem	13
2.3 Arbeit & Leistung	17
3 GRUNDLEGENDES ZUM AUFBAU UND DEN FUNKTIONEN DES MODELLS	19
3.1 Prinzipieller Aufbau des Modells	19
3.2 Ausgangsbasis des Modells	20
3.3 Eingangsdaten für das Modell	21
3.4 Hard- und Software	25
3.5 Fahrplanerzeugung.....	25
3.5.1 Anforderungen	25
3.5.2 Programmablauf	26
3.5.3 Fahrplananalyse	28
3.6 Regelung	30
3.6.1 Anforderungen	30
3.6.2 Kaskadenregelung	31
3.6.3 Innerer Regelkreis	32
3.6.4 Äußerer Regelkreis	34
3.6.5 Auswertung der Regelenergien aus den Liegenschaften	38

4	DETAILBESCHREIBUNG UND IMPLEMENTIERUNG DES MODELLS	40
4.1	Die Liegenschaft.....	40
4.1.1	Aufbau des Teilmodells einer Liegenschaft	40
4.1.2	Aufbau des Teilmodells einer Lastmanagement-Anlage	46
4.1.3	Aufbau des Teilmodells eines Energieverbrauchers	52
4.2	Die Liegenschaft Elbtunnel.....	66
4.2.1	Aufbau des Teilmodells der Liegenschaft	67
4.2.2	Aufbau des Teilmodells der Lastmanagement-Anlage	71
4.2.3	Aufbau des Teilmodells stufengeschaltete Energieverbraucher	74
4.3	Der übergeordnete Regler.....	82
4.3.1	Black Box „Regler Modus“	87
4.3.2	Black Box „Summenlastgrenze“	88
4.3.3	Black Box „Energiebilanz“	93
4.3.4	Black Box „Regler ON“	96
4.3.5	Black Box „Regler OFF“	105
4.3.6	Black Boxen „Regler Min Grenze“ und „Regler Max Grenze“	106
4.4	Modellparameter und Eingangsdaten	107
5	AUSWERTUNG DER SIMULATIONEN.....	109
6	ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT	122
7	LITERATURVERZEICHNIS	125
8	ANHANG.....	128
8.1	Einstellung der Liegenschaften	128
8.2	MATLAB Programme & Funktion.....	146
9	ERKLÄRUNG.....	153

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ENERGIENETZ LINKE SEITE DAMALS „ZENTRAL“, RECHTE SEITE HEUTE „ZENTRAL + DEZENTRAL“	2
ABBILDUNG 2: ENTWICKLUNG DER STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN IN DEUTSCHLAND	2
ABBILDUNG 3: ANTEILE INSTALLIERTER GESAMTLEITUNG ERNEUERBAREN ENERGIEN IN DEUTSCHLAND	3
ABBILDUNG 4: GLEICHGEWICHT DER NETZFREQUENZ	4
ABBILDUNG 5: DEUTSCHLANDKARTE DER REGELZONEN	10
ABBILDUNG 6: AUFTEILUNG DER REGELENERGIE	12
ABBILDUNG 7: KREISLAUF ENERGIEMANAGEMENT	14
ABBILDUNG 8: LASTVERLAUF OHNE EINWIRKUNG EINER LASTMANAGEMENT-ANLAGE ...	15
ABBILDUNG 9: LASTVERLAUF MIT EINWIRKUNG EINER LASTMANAGEMENT-ANLAGE	16
ABBILDUNG 10: GESAMTDARSTELLUNG DES MODELLS	19
ABBILDUNG 11: FLUSSDIAGRAMM FÜR DAS PROGRAMM FAHRPLANERZEUGUNG	27
ABBILDUNG 12: GESAMTDARSTELLUNG FÜR DIE OPTIMIERUNG	28
ABBILDUNG 13: FEHLERABWEICHUNG DER VIERTELSTUNDE	29
ABBILDUNG 14: BLOCKSCHALTBILD DES MODELLS	31
ABBILDUNG 15: TRENDBERECHNUNG	33
ABBILDUNG 16: BEREICHSDARSTELLUNG	34
ABBILDUNG 17: ALLGEMEINER ABLAUF DER ÄUßEREN REGELSCHLEIFE	35
ABBILDUNG 18: KENNLINIE UND SIGNALVERLAUF EINES DREIPUNKTREGLERS	36
ABBILDUNG 19: BLACK BOX EINER LIEGENSCHAFT	40
ABBILDUNG 20: EINGABE DER PARAMETER FÜR DIE LIEGENSCHAFT	42
ABBILDUNG 21: INNERER AUFBAU DER LIEGENSCHAFT	44
ABBILDUNG 22: INNERE STRUKTUR DES GEBÄUDES DER LIEGENSCHAFT	45
ABBILDUNG 23: INNEREN STRUKTUR EINER UNTERSTATION DER LIEGENSCHAFT	46
ABBILDUNG 24: BLACK BOX EINER LASTMANAGEMENT-ANLAGE AUS EINER LIEGENSCHAFT	46
ABBILDUNG 25: BERECHNUNG DER ABSCHALTMATRIX	49
ABBILDUNG 26: AUFBAU DER LASTMANAGEMENT-ANLAGE DER LIEGENSCHAFT	50
ABBILDUNG 27: AUFBAU REGELDIFFERENZ AUS DER LASTMANAGEMENT ANLAGE DER LIEGENSCHAFT	50
ABBILDUNG 28: AUFBAU DER TRENDARBEIT IN DER LASTMANAGEMENT-ANLAGE DER LIEGENSCHAFT	51
ABBILDUNG 29: AUFBAU DER E-MAX ANLAGE ABSCHALTEN AUS DER LASTMANAGEMENT- ANLAGE DER LIEGENSCHAFT	51
ABBILDUNG 30: AUFBAU REGLER AUS DER LASTMANAGEMENT-ANLAGE DER LIEGENSCHAFT	52
ABBILDUNG 31: BLACK BOX ENERGIEVERBRAUCHER EINER LIEGENSCHAFT	53
ABBILDUNG 32: BERECHNUNG DER VERFÜGBAREN ABSCHALTARBEIT DER EINZELNEN VERBRAUCHER	56
ABBILDUNG 33: EINGABE FÜR DIE PARAMETER DES VERBRAUCHERS	57
ABBILDUNG 34: DIE INNERE STRUKTUR DES VERBRAUCHERS	58
ABBILDUNG 35: BLACK BOX WORK_TIME FÜR DEN VERBRAUCHER	59
ABBILDUNG 36: BLACKBOX ABFRAGE WOCHENTAG FÜR DEN VERBRAUCHER	60
ABBILDUNG 37: BLACK BOX ABFRAGE JAHRESZEIT FÜR DEN VERBRAUCHER	60
ABBILDUNG 38: BLACK BOX ABFRAGE FERIE- UND WOCHENTAG FÜR DEN VERBRAUCHER	61
ABBILDUNG 39: ABFRAGE DER TEMPERATUR FÜR EIN ENERGIEVERBRAUCHER	61
ABBILDUNG 40: BLACK BOX TIMER FÜR DEN VERBRAUCHER	62
ABBILDUNG 41: BLACK BOX MRT FÜR DEN VERBRAUCHER	63

ABBILDUNG 42: BLACK BOX MST FÜR DEN VERBAUCHER.....	63
ABBILDUNG 43: BLACK BOX LAST UND ARBEIT FÜR DEN VERBRAUCHER	64
ABBILDUNG 44: BLACK BOX BERECHNUNG DER ABSCHALTLAST FÜR DEN VERBRAUCHER	64
ABBILDUNG 45: BLACK BOX BERECHNUNG DER AKTUELLEN MINUTE DER VIERTELSTUNDE FÜR DEN VERBRAUCHER.....	65
ABBILDUNG 46: BLACK BOX LAST UND ARBEIT FÜR DEN VERBRAUCHER	66
ABBILDUNG 47: BLACK BOX UNTERSTATION UND PRIORITÄT FÜR DEN VERBRAUCHER ERSTELLEN.....	66
ABBILDUNG 48: BLACK BOX DER LIEGENSCHAFT ELBTUNNEL.....	67
ABBILDUNG 49: AUFBAU DER LIEGENSCHAFT ELBTUNNEL	69
ABBILDUNG 50: GEBÄUDESTRUKTUR DER LIEGENSCHAFT ELBTUNNEL.....	70
ABBILDUNG 51: AUFBAU EINER RÖHRE FÜR DIE LIEGENSCHAFT ELBTUNNEL.....	70
ABBILDUNG 52: AUFBAU EINER UNTERSTATION FÜR DIE LIEGENSCHAFT ELBTUNNEL.....	71
ABBILDUNG 53: BLACK BOX LASTMANAGEMENT-ANLAGE DER LIEGENSCHAFT ELBTUNNEL	71
ABBILDUNG 54: AUFBAU REGELDIFFERENZ, LASTMANAGEMENT-ANLAGE DER LIEGENSCHAFTEN ELBTUNNEL.....	74
ABBILDUNG 55: BLACK BOX STUFENGESCHALTETER ENERGIEVERBRAUCHER	74
ABBILDUNG 56: EINGABEMASKE EINES STUFENSCHALTbaren VERBRAUCHERS	76
ABBILDUNG 57: INNERER AUFBAU EINES STUFENSCHALTbaren VERBRAUCHERS	77
ABBILDUNG 58: ARBEITSZEIT DES STUFENSCHALTbaren VERBRAUCHERS	78
ABBILDUNG 59: ABFRAGEBOX FÜR DIE LAST DER VORHERIGEN STUFE	78
ABBILDUNG 60: AUFBAU DER BLACK BOX TIMER DES STUFENSCHALTbaren VERBRAUCHERS	79
ABBILDUNG 61: AUFBAU DER BLACK BOX MRT DES STUFENSCHALTbaren VERBRAUCHERS	80
ABBILDUNG 62: AUFBAU DER BLACK BOX MST DES STUFENSCHALTbaren VERBRAUCHERS	80
ABBILDUNG 63: AUFBAU BERECHNUNG AB- UND ZUSCHALTARBEIT, STUFENSCHALTbaren VERBRAUCHER.....	82
ABBILDUNG 64: BLACK BOX ÜBERGEORDNETER REGLER	82
ABBILDUNG 65: EINGABEMASKE DES ÜBERGEORDNETEN REGLERS.....	85
ABBILDUNG 66: AUFBAU DES REGLERS.....	87
ABBILDUNG 67: AUFBAU DER BLACK BOX REGLER MODUS.....	88
ABBILDUNG 68: AUFBAU DER SUMMENLASTGRENZE FÜR DEN REGLER.....	89
ABBILDUNG 69: AUFBAU DER BLACK BOX LASTBAND	90
ABBILDUNG 70: AUFBAU DER BLACK BOX MINUTENRESERVE	90
ABBILDUNG 71: EINGABEMASKE FÜR DIE MINUTENRESERVE.....	91
ABBILDUNG 72: AUFBAU DER BLACK BOX KEINE MINUTENRESERVE	91
ABBILDUNG 73: AUFBAU DER BLACK BOX POSITIVE MINUTENRESERVE.....	92
ABBILDUNG 74: AUFBAU DER BLACK BOX NEGATIVE MINUTENRESERVE	93
ABBILDUNG 75: AUFBAU DER BLACK BOX ENERGIEBILANZ.....	94
ABBILDUNG 76: AUFBAU DER BLACK BOX MITTELWERTBILDUNG.....	95
ABBILDUNG 77: ABLAUFDIAGRAMM "MITTELWERTBILDUNG_15MIN.M"	96
ABBILDUNG 78: AUFBAU DER BLACK „BOX REGLER ON“	97
ABBILDUNG 79: AUFBAU DER BLACK BOX MINUTENRESERVE REGELUNG	98
ABBILDUNG 80: AUFBAU DER BLACK BOX DREIPUNKTREGLER	99
ABBILDUNG 81: AUFBAU DER BLACK BOX „REGLUNG NEGATIVEN MINUTENRESERVE“ ..	100
ABBILDUNG 82: AUFBAU DER BLACK BOX REGELUNG DER POSITIVEN MINUTENRESERVE	101
ABBILDUNG 83: AUFBAU DER BLACK BOX BERECHNUNG LASTGRENZEN & SCHALTLAST	102
ABBILDUNG 84: AUFBAU DER BLACK BOX INITIALISIERUNG	102

ABBILDUNG 85: AUFBAU DER BLACK BOX LASTGRENZEN & SCHALTLAST HALTEN.....	103
ABBILDUNG 86: AUFBAU DER BLACK BOX LASTGRENZEN ERHÖHEN & ZUSCHALTLAST AKTIVIEREN	103
ABBILDUNG 87: AUFBAU DER BLACK BOX LASTGRENZEN SENKEN & ABSCHALTLAST AKTIVIEREN	105
ABBILDUNG 88: AUFBAU DER BLACK BOX „REGLER OFF“	105
ABBILDUNG 89: AUFBAU DER BLACK BOX REGELUNG KEINE MINUTENRESERVE	106
ABBILDUNG 90: AUFBAU DER BLACK BOX „REGLER MIN GRENZE“	106
ABBILDUNG 91: AUFBAU DER BLACK BOX „REGLER MAX GRENZE“	107
ABBILDUNG 92: AUSWAHL CONFIGURATION PARAMETERS.....	107
ABBILDUNG 93: MATLAB WORKSPACE VERZEICHNIS	108
ABBILDUNG 94: FEHLERAUSWERTUNG FÜR DEN ZEITRAUM 01.07.2008 BIS 30.06.2009	110
ABBILDUNG 95: FEHLERVERTEILUNG FÜR DEN ZEITRAUM 01.07.2008 BIS 30.06.2009	110
ABBILDUNG 96: FEHLERAUSWERTUNG EINZELNER MONATE.....	111
ABBILDUNG 97: FEHLERVERTEILUNG EINZELNER MONATE	112
ABBILDUNG 98: FEHLERAUSWERTUNG FÜR DIE EINZELNEN WOCHENTAGE	113
ABBILDUNG 99: FEHLERVERTEILUNG FÜR DIE EINZELNEN WOCHENTAGE.....	114
ABBILDUNG 100: FEHLERAUSWERTUNG FÜR DIE EINZELNEN WOCHENTAGE INNERHALB DER EINZELNEN MONATE	115
ABBILDUNG 101: ANZAHL DER AUFGETRETENEN FEHLER FÜR JEDEN TAG FÜR JULI BIS SEPTEMBER 2008	115
ABBILDUNG 102: ANZAHL DER AUFGETRETENEN FEHLER FÜR JEDEN TAG FÜR OKTOBER BIS DEZEMBER 2008.....	116
ABBILDUNG 103: ANZAHL DER AUFGETRETENEN FEHLER FÜR JEDEN TAG FÜR JANUAR BIS MÄRZ 2009.....	116
ABBILDUNG 104: ANZAHL DER AUFGETRETENEN FEHLER FÜR JEDEN TAG FÜR APRIL BIS JUNI 2009.....	117
ABBILDUNG 105: VERTEILUNG DER PROGNOSEFEHLER, DER RESTLICHEN AUFGETRETENEN FEHLER UND KEINE FEHLER FÜR DEN ZEITRAUM 01.07.2008 BIS 30.06.2009	118
ABBILDUNG 106: GESAMTDARSTELLUNG MINIMALER SUMMENLASTVERLAUF WOCHENTAG	119
ABBILDUNG 107: GESAMTDARSTELLUNG MINIMALER SUMMENLASTVERLAUF WOCHENENDE	120
ABBILDUNG 108: GESAMTDARSTELLUNG MAXIMALER SUMMENLASTVERLAUF	121

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: AUFBAU DER DATEN FÜR DIE LIEGENSCHAFT.....	22
TABELLE 2: KODIERUNG DER WOCHENTAGE.....	23
TABELLE 3: KODIERUNG DER JAHRESZEITEN	23
TABELLE 4: KODIERUNG DER FERIEN- UND FEIERTAGE	23
TABELLE 5: KODIERUNG DER REIHENFOLGE DER LIEGENSCHAFTEN IM MODELL	24
TABELLE 6: ZU- UND ABSCHALTLAST DER LIEGENSCHAFTEN BEI SPITZENLASTBETRIEB...	39
TABELLE 7: PROGNOSEFEHLER AUFGELISTET NACH MONATEN.....	117

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BK	Bilanzkreis
BKV	Bilanzkreisverantwortlicher
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BSU	Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
bzw.	beziehungsweise
CO ₂	Kohlendioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
EEG	Erneuerbare Energie Gesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EVS	Elektrizitätsversorgungssystem
F	Führungsübertragungsfunktion
Fr.	Freitag
ggf.	gegebenenfalls
GSM	Gesamtschule Mümmelmannsberg
GSS	Gesamtschule Steilshoop
h	hour
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Hz	Hertz
ID	Identification
Ing.	Ingenieur
INSEL	Internetbasiertes System eines erweiterbaren Lastmanagements
ISO	International Standards Organisation
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde

LDM	Load Demand Management
LMA	Lastmanagement-Anlage
LVA	Landesversicherungsanstalt
Max	Maximal
MaxSt	Maximum Shutdown Time (auch MST)
Min	Minimal
min	Minute
MinSt	Minimum Shutdown Time
Mo.	Montag
MRL	Minutenreserveleistung
MRT	Minimum Running Time
MW	Megawatt
P	Power
Pmax	maximale Leistung
Prio	Priorität
RT	Running Time
T	Temperatur
t	time
TWh	Terrawattstunde
u. a.	unter anderem
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VV II+	Verbändevereinbarung II plus
W	Watt
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
z. Z.	zurzeit

1 EINLEITUNG

1.1 Motivation

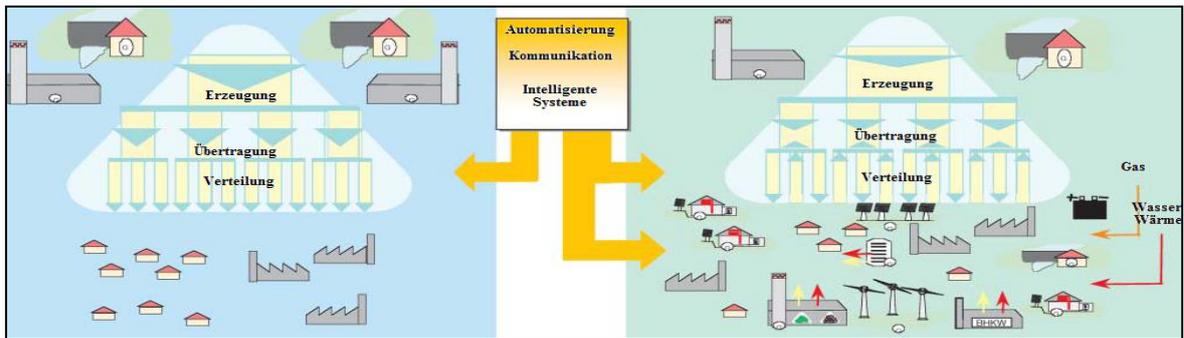
Der Strommarkt in Europa hat in den letzten Jahren einen großen Wandel erlebt. Früher waren die Stromversorger als Monopolisten dafür zuständig das Stromnetz bei Bedarf zu regeln. Dabei wurde die Stromerzeugung an den jeweiligen Strombedarf angepasst. Heute sind die großen Stromnetzbetreiber eigene Gesellschaften und im Zuge der Entwicklung von intelligenten Netzen („Smart Grids“) wird zur Anpassung der Netzbelastung vermehrt darüber nachgedacht auch auf der Verbraucherseite durch die Beeinflussung von Lasten regelnd einzugreifen.

Zwar werden als Energieträger nach wie vor primär Kohle, Gas, Öl und nukleare Brennstoffe verwendet. Durch die bekannten Umweltprobleme, die aus den primären Energieträgern entstanden sind, ist es aber zu einem Umdenken gekommen. Im Zuge dessen beschloss die Politik die Einführung des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)). Unter dem Ausdruck erneuerbarer Energien, auch bekannt als regenerative Energien, versteht man, dass sich die Energievorräte bei Energieentnahme wieder regenerieren (anders als bei den fossilen Brennstoffen). Dies schont die Umwelt, u. a. weil kein zusätzliches CO₂ in die Atmosphäre emittiert wird. Die regenerativen Energieträger beziehen ihre Energie aus Solarenergie, Wind- und Wasserkraft, Biomasse und Biogas. Ein wesentlicher Schwachpunkt einiger potenter erneuerbarer Energiequellen besteht darin, dass diese nicht konstant zur Verfügung stehen (Wind, Sonne).

Die Stromversorger sind durch das EEG jedoch verpflichtet den Strom vorrangig aus den erneuerbaren Energien ins Netz einzuspeisen. Ferner wurde durch das „*Gesetz zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität*“ vom 22. April 2002 entschieden die Atomkraftwerke bis ca. 2022 (Stand 23.02.2010) abzuschalten. Dabei stellt sich die Frage, wie in Zukunft eine klimafreundliche Stromversorgung sichergestellt werden soll [[05],[10],[15]].

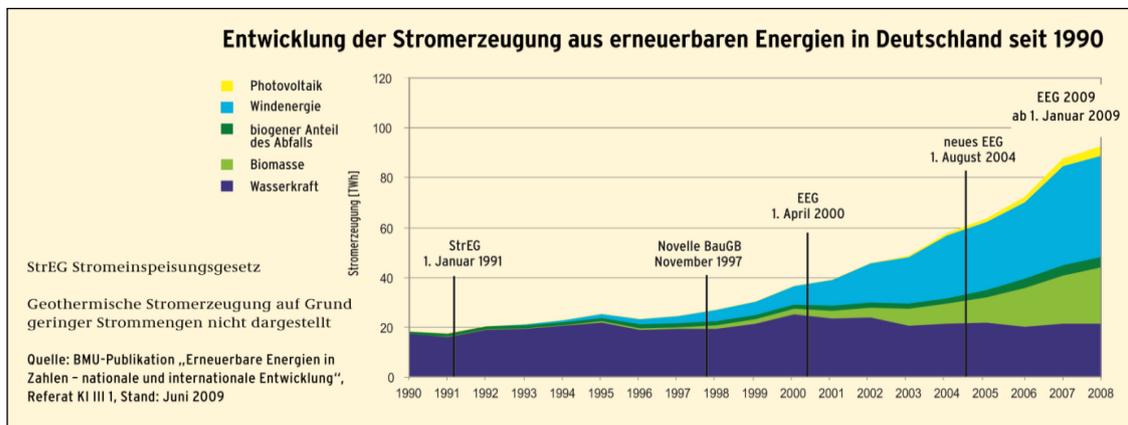
Die genannten Bestimmungen erzeugen Handlungsbedarf seitens der Stromversorger. So muss der Strommarkt von der Erzeugung über den Transport bis zum Verbrauch neu durchdacht werden. In der Abb. 1 wird auf der linken Seite das herkömmliche Stromnetz dargestellt. Die rechte Seite zeigt ein beispielhaftes Stromnetz der Zukunft. Hierbei wird ersichtlich, dass das Maß an Automatisierung, Kommunikation und die Intelligenz des

Systems gestiegen ist. Die Abbildung zeigt wie in Zukunft die Stromerzeugung über den Transport bis zum Verbrauch in der Verteilungsebene bis hin zur Übertragungsebene aussehen könnte. Dabei lässt sich die Stromerzeugung aus den erneuerbaren Energien in die Verbraucherebene einbinden und mit Hilfe der steuerbaren Verbraucher eine Netzstabilität erzeugen. Außerdem kann die dezentrale Stromerzeugung über die Übertragungsebene an andere dezentrale Verbraucher verteilt werden.



**Abbildung 1: Energienetz linke Seite damals „zentral“, rechte Seite heute „zentral + dezentral“
Quelle: [8]**

Die Förderung der erneuerbaren Energien durch das EEG spiegelte sich in der Entwicklung der Stromerzeugung in den letzten Jahren wieder. Die Stromerzeugung ist in dem Zeitraum vom 01. April 2000, bei der Einführung des EEGs, bis zum 01. Januar 2009 von ca. 35 TWh bis auf ca. 90 TWh angestiegen. Dagegen lag der Anstieg vor der Einführung von 1990 bis zum 01. April 2000 nur bei 17 TWh (18 TWh 1990 bis ca. auf 35 TWh 2000). Dies ist in der Abb. 2 in der Entwicklungskurve für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Zeitraum von 1990 bis 2009 dargestellt. Die Windenergie konnte in dem Zeitraum den größten Zuwachs in der Stromerzeugung erzielen. Dagegen blieb die Stromerzeugung durch die Wasserkraft im Gesamtzeitraum zwischen 1990 bis 2009 fast konstant bei ca. 20 TWh.



**Abbildung 2: Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland
Quelle: [3]**

Der rapide Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien lässt sich an der installierten Gesamtleistung ableiten. Diese ist in der Abb. 3 dargestellt. Bei der Einführung des EEGs lag die installierte Gesamtleistung bei 11,448 MW. Im Jahr 2008 lag sie bereits bei 37,448 MW, dem mehr als dreifachen Wert. In diesem Zeitraum wurden vor allem die Stromerzeugungskapazitäten aus Windenergie, aus Photovoltaik und aus Biomasse ausgebaut.

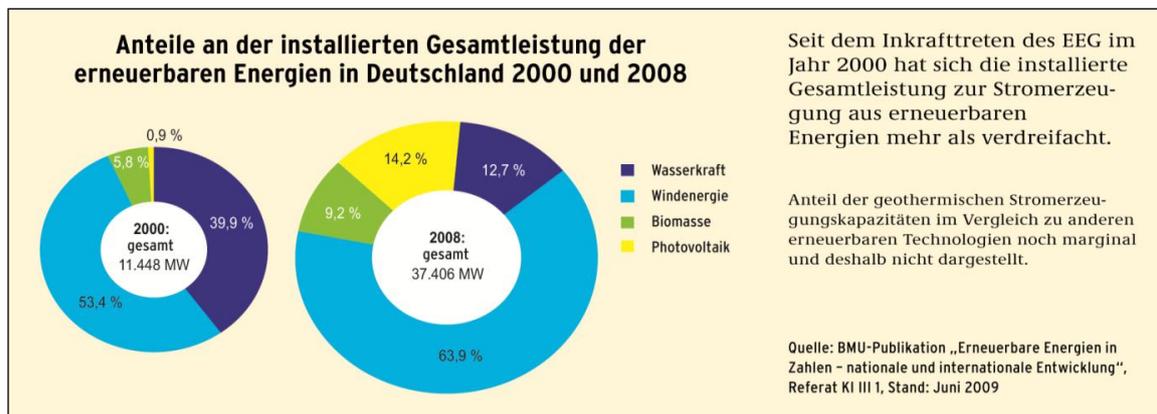


Abbildung 3: Anteile installierter Gesamtleistung erneuerbaren Energien in Deutschland
Quelle: [3]

Die Stromverteilungsnetzbetreiber haben die Aufgabe die Netzfrequenz stabil auf 50 Hz zu halten. Wie dies geregelt wird, soll anhand der Abb. 4 aufgezeigt werden. Tritt ein Ungleichgewicht zwischen dem Verbrauch und der Produktion auf, werden bei einer Netzfrequenz von 49.95 Hz bzw. 50.05 Hz, die Kraftwerke rauf oder runter geregelt. Wenn der Verbrauch bei gleichbleibender Stromerzeugung zunimmt, fällt die Netzfrequenz unter 50 Hz. Unterschreitet die Netzfrequenz 49 Hz, so werden überlastete Netzbereiche mit ihren Verbrauchern komplett abgeschaltet. Dadurch stellt sich das Gleichgewicht zwischen den Verbrauchern und der Produktion wieder her. Dasselbe muss geschehen, wenn bei gleichbleibendem Verbrauch die Produktion steigt. Steigt in diesem Fall die Netzfrequenz bis 51.5 Hz an, wird das Kraftwerk abgeschaltet, um somit wieder das Gleichgewicht herzustellen

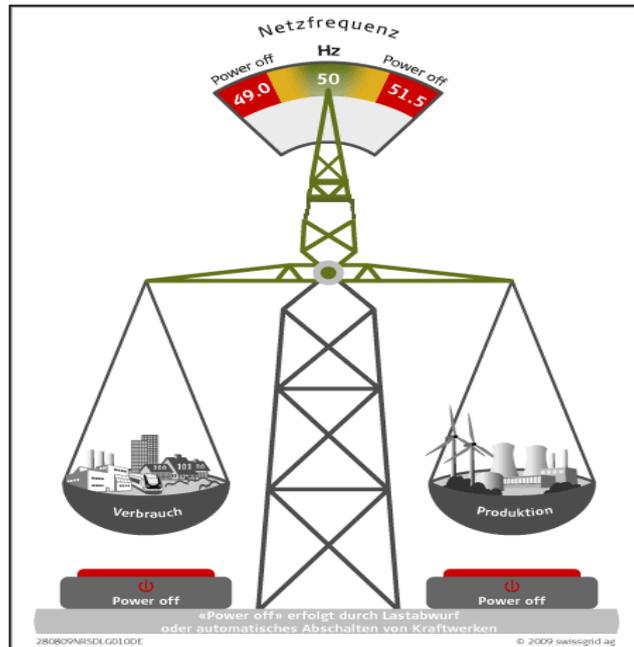


Abbildung 4: Gleichgewicht der Netzfrequenz
Quelle:[18]

Durch die Zunahme der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien, wird es in Zukunft vermehrt zu Einspeiseschwankungen kommen [17]. Diese Einspeiseschwankungen können bei der Windenergie abhängig von der Windstärke, bei der Solarenergie von der Tageszeit und bei Wasserkraft von den Gezeitenströmen sein. Aus diesem Grund ist es notwendig das Verhältnis zwischen Stromverbrauch und Stromproduktion flexibler, als bisher, ausgleichen zu können. Dazu kann eine verbesserte Regelfähigkeit der Verbraucherseite beitragen. In Deutschland wird diese verbesserte Regelfähigkeit in einigen Forschungsprojekten erforscht. Hier wird das sogenannte Themenfeld des Smart Grids (intelligentes Netz) untersucht. Ein Forschungsprojekt in diesem Gebiet, ist das an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften durchgeführte Forschungsprojekt **I**nternetbasiertes **S**ystem eines **e**rweiterbaren **L**astmanagements (INSEL). In den Zusammenhang dieses Forschungsprojekts war die vorliegende Arbeit eingebunden.

1.2 Forschungsprojekt INSEL

Das Forschungsprojekt INSEL wird an der HAW Hamburg im Studiendepartment Informations- und Elektrotechnik durchgeführt. Der offizielle Start des Forschungsprojektes INSEL war am 01. September 2006. Es soll voraussichtlich Ende Februar 2010 beendet werden. Der Leiter des Projektes ist Prof. Dr. –Ing. Franz Schubert.

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden die lastintensivsten Liegenschaften¹ der Freien und Hansestadt Hamburg in einem virtuellen Verbund betrachtet. Durch den Aufbau eines virtuellen Verbundes sollen die Liegenschaften als Großverbraucher betrachtet werden. Dieser Verbund wird als ein Modell eines Netzwerks von Lastmanagement-Anlagen simuliert.

Im Vorfeld der Simulation wurden Lastverläufe der Liegenschaften gesammelt. Einige der Liegenschaften sind mit einer Lastmanagement-Anlage ausgestattet. Die lastintensivsten Liegenschaften wurden mit einem Datenlogger versehen. Der Datenlogger zeichnet die aktuellen Lastgänge, die Verbrauchsdaten und die Anlagenzustände der Lastmanagement-Anlagen auf. Anschließend wurden die gesammelten Daten an eine Datenbank übertragen. Die gespeicherten Daten der Liegenschaften werden als Grundlage für deren Lastprognosen verwendet. Diese Lastprognosen werden für den jeweiligen nächsten Tag erstellt. Die Lastprognose wird auch Fahrplan genannt. Die Fahrpläne werden auf einer Viertelstunden-Basis erzeugt. Aus dem Fahrplan der einzelnen Liegenschaften wird ein Summenfahrplan gebildet. Dieser Summenfahrplan gilt für das Modell als Grundlage. Mit Hilfe des Modells sollen folgende Szenarien untersucht werden[[02],[07]]:

Szenario 1:

„Wie lassen sich die unabhängigen Lastmanagement-Anlagen so steuern, dass sie den Summenlastverlauf der Liegenschaften optimieren und nicht die Lastgänge der einzelnen Liegenschaften?“

Szenario 2:

„Wie viel Last kann zu welchem Zeitpunkt vom Netz genommen werden, um diese als Regelenergie (Minutenreserve²) vermarkten zu können?“

¹ Die Liegenschaft ist im Allgemeinen ein Grundstück das mit einem Gebäude versehen ist.

² Die Minutenreserve wird zum Regeln des Stromnetzes verwendet.

1.3 Zielsetzung

Es sollten die Ergebnisse aus den vorangegangenen Masterarbeiten „*Modelling of Load Management Systems for Building using MATLAB/SIMULINK*“ von Frau Ting Ye, „*Modeling the Load Pattern of a Network of Buildings with installed Load Management Devices using Matlab/Simulink*“ von Frau Iffat Hasnain und „*Java-basierte Lastprognose für eine geringe Anzahl von Liegenschaften*“ von Herrn Farid Naimi zusammengeführt und erweitert werden. Aus den bisherigen Arbeiten sind einzelne Elemente Endstanden die für das Gesamtmodell benötigt wurden. Die Masterarbeiten werden in Kapitel 3.2 kurz erläutert.

Das erste Ziel im Rahmen dieser Diplomarbeit war es, die 21 lastintensivsten Liegenschaften der Freien und Hansestadt Hamburg in einem MATLAB/Simulink Modell abzubilden. Jede Liegenschaft im Modell stellt ein Teilmodell dar. Dieses Teilmodell besteht aus einer Lastmanagement-Anlage und deren Energieverbrauchern. Damit die Teilmodelle erstellt werden konnten wurden im Vorfeld durch das Forschungsprojekt Begehungen in den Liegenschaften durchgeführt. Diese Daten dienen als Grundlage für den Aufbau der Teilmodelle.

Das zweite Ziel im Rahmen der Diplomarbeit war die Entwicklung eines übergeordneten Regelalgorithmus. Hierbei sollte angenommen werden, dass die 150 Liegenschaften einen eigenen Bilanzkreis³ bilden. Aus den 150 Liegenschaften wird ein prognostizierter Summenlastverlauf auf Minutenbasis gebildet, welcher in einen Viertelstundenmittelwert umgerechnet wird. Diese Viertelstundenmittelwerte werden als Summenfahrplan bezeichnet, welcher als Soll-Wert für den übergeordneten Regler dient. Im Kapitel 5 wird ein Programm erläutert das den Summenfahrplan für den Regler erzeugt.

In der „*Verbändevereinbarung II plus*“ wird für den Bilanzkreis ein Standard-Toleranzband von 5 Prozent auf den Fahrplanwert angesetzt. Mit Hilfe von 21 Liegenschaften aus den 150 Liegenschaften soll die Regelenergie, die durch das Ab- und Zuschalten der Energieverbraucher aus den Liegenschaften erzeugt wird, dazu verwendet werden, dass keine zusätzlich Ausgleichsenergie benötigt wird, um den Viertelstunden-Leistungsmittelwert in das Toleranzband zu regeln.

³ Der Bilanzkreis stellt einen Verbund von Unternehmen (Liegenschaften) dar und vertritt diese am Strommarkt.

Das letzte Ziel im Rahmen der Diplomarbeit ist es, anhand der historischen Daten vom 01.07.2008 bis zum 31.06.2009 zu überprüfen, ob das System funktioniert. Dabei sollen die Szenarien aus dem beschriebenen Forschungsprojekt überprüft werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung in diesem ersten Kapitel erläutert das Kapitel 2 „Grundlagen“ verschiedene Zusammenhänge, die zum weiteren Verständnis der Diplomarbeit notwendig sind. Im ersten Teil des Kapitels wird die „Netzregelung“ beschrieben. Dabei werden der Übertragungsnetzbetreiber, der Bilanzkreis und die Regelenergie in ihrer Funktion beschrieben. Im zweiten Teil „Energiemanagement & Energiemanagementsystem“ wird das Energiemanagement im Allgemeinen erläutert. Für die Vorstellung eines einfachsten Energiemanagementsystems wird die Lastmanagement-Anlage gewählt und diese in der Funktion beschrieben. Im letzten Teil des Kapitels werden die Zusammenhänge zwischen „Arbeit und Leistung“ näher erläutert, da diese in der Arbeit oft verwendet werden.

In dem Kapitel 3 „Das Modell“ wird im ersten Teil der prinzipielle Aufbau des Modells beschrieben. Die Vorarbeiten und die Erweiterungen für das Modell werden im zweiten Teil „Ausgangsbasis des Modells“ erläutert. Im dritten Teil des Kapitels werden die Eingangsdaten für das Modell erläutert. Die für die Simulation erforderliche Releaseversion von MATLAB/Simulink und die Anforderungen an die Rechnerhardware werden im vierten Teil erklärt. Der fünfte Teil „Fahrplanerzeugung“ gibt an wie die einzelnen Prognoselastverläufe verarbeitet und für das Modell aufbereitet werden. Dabei wird aus einem prognostizierten Lastverlauf der einzelnen Liegenschaften ein Summenlastverlauf erzeugt. Der entstandene Summenlastverlauf besteht aus Minutenwerten für den ganzen Tag und muss in einen Viertelstunden-Leistungswert umgerechnet werden. Dieser Viertelstunden-Leistungswert wird als „Soll Summenlastverlauf“ bzw. als Fahrplan für den Regler verwendet. Im sechsten Teil „Regelung“ wird prinzipiell die Regelung für das Modell beschrieben. Hierbei wird der Reglungsaufbau für das Modell aufgezeigt. Das Modell wird in einer Kaskadenregelung betrieben. Unter Kaskadenregelung versteht man eine Regelung, die aus zwei geschachtelten Regelschleifen besteht. Die erste Regelschleife wird als innere Regelschleife bezeichnet. Eine solche befindet sich im Teilmodell jeder Liegenschaft und befasst sich mit der Regelung in den Liegenschaften. Die zweite Regelschleife wird als äußere Regelschleife bezeichnet. Diese befasst sich mit der Regelung des

Summenlastverlaufs und der Regelung der Liegenschaften. Am Ende wird das Potential der Regelenergieerbringung durch die Liegenschaften beschrieben.

Im Kapitel 4 „Detailbeschreibung und Implementierung des Modells“ wird der Aufbau der Teilmodelle der Liegenschaften und des Teilmodells des übergeordneten Reglers vorgestellt. Hierzu werden eine allgemeine Beschreibung und die Implementierung aufgezeigt. Das Modell ist aus einzelnen Black Boxen zusammgebaut. Durch diese Struktur wird das Modell hierarchisch gegliedert. Es wird jede Black Box dargestellt und beschrieben. Im ersten Teil wird das Teilmodell einer Liegenschaft in seinen einzelnen Teilmodellen vorgestellt und die dazugehörige Implementierung in MATLAB/Simulink aufgezeigt. Im zweiten Teil wird die Liegenschaft Elbtunnel gesondert behandelt, weil diese Liegenschaft für diese Arbeit anders, als die anderen Liegenschaften im Modell aufgebaut werden musste. Der Elbtunnel besitzt ausschließlich stufengeschaltete Lüftungsanlagen. Diese werden anders beschrieben als die Energieverbraucher aus den Liegenschaften. Daran anschließend wird der Aufbau des übergeordneten Reglers näher beschrieben. Hierbei sind besonders die einzelnen Einstellungen wie Regler On, Regler Off, Regler Min und Regler Max zu betrachten. Im letzten Teil des Kapitels wird gezeigt wie die Eingangsdaten für das Modell eingelesen werden und welche Konfigurationseinstellung in MATLAB/Simulink notwendig ist.

In dem Kapitel 5 „Auswertung der Simulationen“ werden die Ergebnisse der Simulationen für den Zeitraum vom 01.07.2008 bis zum 30.06.2009 dargestellt. Für diesen Zeitraum wurde analysiert wie oft der Regler es geschafft hat den Viertelstundenmittelwert in das Soll Lastband zu regeln. Für jeden Tag wurde überprüft, ob und wenn wie oft der erreichte Viertelstundenleistungsmittelwert um mehr als 5% (in beiden Richtungen vom Fahrplan) abwich. Die Auswertungen wurden in Kreis- und Balkendiagrammen grafisch dargestellt.

Das Kapitel 6 „Zusammenfassung und Fazit“ stellt eine Zusammenfassung der Arbeit und eine abschließende Bewertung der Ergebnisse und der zu empfehlenden Alternativen dar.

Im Anhang sind die Einstellungen der Verbraucher aus den Liegenschaften und die MATLAB Funktionen, die für das Modell geschrieben wurden, hinterlegt.

2 GRUNDLAGEN

Zum besseren Verständnis der vorliegenden Arbeit werden die verwendeten Begriffe in diesem Kapitel erläutert und ihre Zusammenhänge dargestellt.

2.1 Netzregelung

Die Netzregelung wird durch das „*Energiewirtschaftsgesetz*“ (EnWG) und die „*Verbändevereinbarung II plus*“ (VV II+) definiert. Die VV II+ ist nicht wie das EnWG ein Gesetz, sondern eine Vereinbarung zur Bestimmung von Netznutzungsentgelten für die elektrische Energie und über Prinzipien der Netznutzung.

- **Übertragungsnetzbetreiber**

Die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) sind als Dienstleistungsunternehmen für die Infrastruktur des Energienetzes verantwortlich. Hierfür sind Pflichten im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) festgelegt. Zwei der wichtigsten Pflichten für das Betreiben des Energienetzes sind §11 und §12 des EnWGs.

Nach §11 Abs. 1 EnWG ist der ÜNB dazu verpflichtet ein zuverlässiges, leistungsfähiges und sicheres Energienetz zu betreiben. Um diese Pflicht auszuüben, setzt der ÜNB Regelenergie ein. Die Regelenergie wird für das Ausgleichen von Netzschwankungen verwendet. Dadurch sollen die Erhaltung und die Stabilität des Energienetzes sichergestellt werden.

Nach §12 Abs. 1 EnWG muss der ÜNB das Übertragungsnetz im nationalen und internationalen Verbund sichern. Der ÜNB soll durch diese Maßnahme zu einem zuverlässigen Elektrizitätsversorgungssystem (EVS) beitragen.

In der Abb. 5 ist eine Karte von Deutschland farblich unterteilt. Diese farbliche Unterteilung zeigt wie das Netz unter den vier ÜNBs aufgeteilt ist:

- Vattenfall Europe Transmission GmbH
- RWE Transportnetz Strom GmbH
- E.ON Netz GmbH
- EnBW Transportnetze AG



Abbildung 5: Deutschlandkarte der Regelzonen
Quelle:[01]

- **Bilanzkreis**

Ein Bilanzkreis (BK) setzt sich aus einer beliebigen Anzahl von Einspeise- bzw. Entnahmestellen zusammen. Ein BK kann nur in einer der vier Regelzonen gebildet werden. Diese Regelzonen sind in der Abb. 5 dargestellt. Somit bildet die Summe aller BK in einem Übertragungsnetz die Summe aller Einspeise und Entnahmestellen ab. Jeder BK hat einen Bilanzkreisverantwortlichen (BKV). Ein BK muss möglichst genaue Lastprognosen für den nächsten Tag erstellen. Eine Lastprognose wird auch als Fahrplan bezeichnet. Um die genaue Lastprognose wird ein Toleranzband gebildet. Die exakte Lastprognose kann so gut wie nicht eingehalten werden, deswegen wird eine Abweichung, die über das Toleranzband definiert wird, zugelassen. Das Toleranzband wird nach der „Verbändevereinbarung II plus“ festgelegt und nachstehend noch erläutert. Auf Grundlage der genauen Lastprognosen muss jede Viertelstunde die Leistungsbilanz in dem Toleranzband gehalten werden. Die Leistungsbilanz wird zwischen der Summe der Entnahme und der Summe der Einspeisung gebildet. Für das Modell wird die Bilanz zwischen dem Fahrplan und dem tatsächlichen Leistungsbedarf gebildet. Dies wird gemacht, weil davon ausgegangen wird, dass der Leistungsbedarf an den Fahrplan angepasst wird. Wenn die Summe der Einspeisung kleiner ist als die Summe der Entnahme, wird diese Unterspeisung genannt. Wenn die Summe der Einspeisung größer ist als die Summe der Entnahme, wird das als die Überspeisung bezeichnet. Die Abweichung aus der Leistungsbilanz kann durch Ungenauigkeiten in der Prognose entstehen. Der

Ausgleich der Unter- bzw. Überspeisung wird von dem ÜNB in Rechnung gestellt. Die Kosten werden auf Grundlage des Einsatzes von Regelenergie gebildet[06].

In dieser Arbeit soll der Verbund von den Liegenschaften aus der Freien und Hansestadt Hamburg als BK betrachtet werden. Somit müssen für diese Betrachtung folgende Regeln gelten:

- **Messperiode:**

Für jede Viertelstunde muss die Ermittlung einer möglichen Bilanz- bzw. Fahrplanabweichung erfolgen [06].

- **Toleranzband:**

Mit dem abgegebenen Fahrplan, kann ein Toleranzband ausgewählt werden. Standardmäßig gilt ein Toleranzband (Standard-Toleranzband) von 5% für den Tageshöchstwert. Für das Standard-Toleranzband sind die Kosten in den Netznutzungsentgelten beinhaltet. Es gibt die Möglichkeit zwischen anderen Toleranzbändern zu wählen. Das größte Toleranzband, was gewählt werden kann beträgt 20%. Dieses kann nur genommen werden, wenn der Maximalwert des Fahrplans nicht die 5 MW überschreitet [06].

- **Regelenergie**

Die Regelenergie soll das Ungleichgewicht zwischen erzeugter und entnommener Leistung im Energienetz ausgleichen. Das Ungleichgewicht kann von der Zeitdauer her schwanken. Deswegen gibt es für das Ausgleichen unterschiedliche Kategorien der Regelenergie. Die Regelenergie ist in die folgenden Kategorien eingeteilt:

1. Primärregelung
2. Sekundärregelung
3. Minutenreserve
4. Stundenreserve

Sobald ein Ungleichgewicht erscheint, fängt die Primärregelung an zu regeln. Die Primärregelung versucht in den ersten dreißig Sekunden das Ungleichgewicht selbständig aus zu regeln. Dauert das Ungleichgewicht länger als dreißig Sekunden an, versucht die Sekundärregelung mit der Primärregelung das Ungleichgewicht wieder auszugleichen. Die Primär- und die Sekundärregelung werden automatisch aktiviert. Reichen die Primär- und

die Sekundärregelung nicht aus, um das Ungleichgewicht in der ersten Viertelstunde abzustellen, wird die Minutenreserve manuell aktiviert. Die Minutenreserve soll die komplette Primärregelung und einen Teil der Sekundärregelung ablösen. Ab einer Viertelstunde bis zu einer vollen Stunde muss die Minutenreserve mit einem Teil der Sekundärregelung das Ungleichgewicht abgestellt haben. Dauert das Ungleichgewicht länger als eine volle Stunde an, löst die Stundenreserve den Teil der Sekundärregelung und die komplette Minutenreserve ab. In der Abb. 6 ist die zeitliche Aufteilung der Minutenreserve dargestellt.

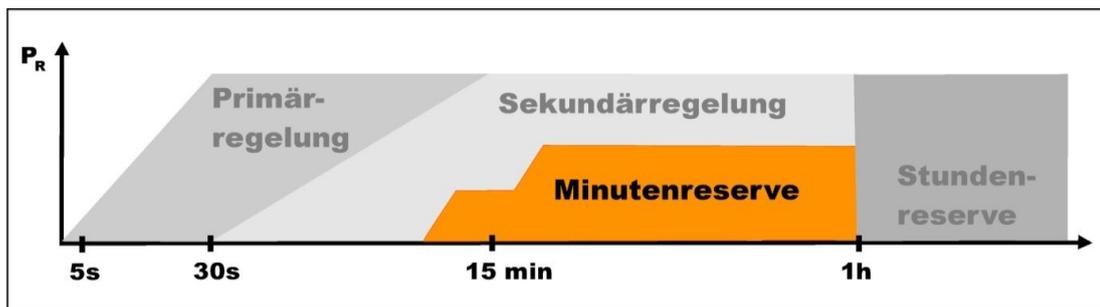


Abbildung 6: Aufteilung der Regelenergie
Quelle: [02]

- **Primärregelung**

Die Primärregelung wird über die Kraftwerke im gesamten Leistungsnetz aller ÜNBs aufgeteilt. Wenn in dem Leistungsnetz Kraftwerke ausfallen oder Schwankungen im Stromverbrauch vorhanden sind, wird dies über die Netzfrequenz sichtbar. Damit die Netzfrequenz konstant bleibt, erfolgt kontinuierlich eine Korrektur der Leistungseinspeisung von Seiten des Erzeugers. Hierfür werden geeignete Kraftwerke mit einer automatischen Turbinenregelung verwendet. Die Kraftwerke erkennen die Abweichung der Netzfrequenz selbständig und können dadurch innerhalb von Sekunden die Erzeugung anpassen. Dieser Vorgang wird Primärregelung genannt [15].

- **Sekundärregelung**

Die Sekundärregelung erfolgt nach dreißig Sekunden. Mit Hilfe der Sekundärregelung soll die Netzfrequenz auf 50 Hz zurückgeführt werden. Für die Sekundärregelung ist nur der ÜNB, bei dem das Ungleichgewicht entstand, verantwortlich. Dieser muss dafür Sorge tragen, dass nach kürzester Zeit das Ungleichgewicht mit eigenen Kraftwerksreserven aufgehoben wird [15].

- **Minutenreserve**

Die Minutenreserveleistung (MRL) wird von Erzeugungsanlagen oder von regelbaren Lasten erbracht. Dabei werden die komplette Primärregelung und ein Teil der Sekundärregelung freigegeben. Die MRL soll dazu beitragen das Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch wieder aufzuheben. Die MRL greift nicht automatisch wie die Primär- und Sekundärregelung ein. Der BK stellt die MRL bereit, die dann von dem ÜNB manuell angefordert werden muss. Innerhalb einer Viertelstunde muss die MRL von dem BK bereitgestellt werden. Die erbrachte MRL muss dem ÜNB mit den Ist-Daten online zur Verfügung stehen. Damit soll eine Erbringung der angeforderten MRL nachgewiesen werden [[15],[23]].

- **Stundenreserve**

Die Stundenreserve besteht aus Kraftwerken, die aus unwirtschaftlichen Gründen eigentlich nicht in das Energienetz einspeisen. Erst wenn das Ungleichgewicht länger als eine Stunde andauert, wird die Stundenreserve durch eine höhere Vergütung lukrativ. Im Gegenzug löst die Stundenreserve die Sekundärregelung und die Minutenreserve ab. Dadurch stehen dem ÜNB die Sekundärregelung und die Minutenreserve wieder in komplettem Umfang zur Verfügung. Der Einsatz der Stundenreserve ist sehr selten und wird bei längeren Kraftwerksausfällen oder bei Fehlprognosen für den Tageslastverlauf verwendet [15].

2.2 Energiemanagement & Energiemanagementsystem

Der Begriff Energiemanagement steht für die optimale Nutzung der verschiedenen Energieträger. Dabei soll kein Qualitäts- oder Komfortverlust entstehen. Ferner stehen die Gesichtspunkte „Ressourceneffizienz“ und „Umweltschonung“ im Vordergrund. Um den Anforderungen des Energiemanagements gerecht zu werden, müssen folgende Prozesse sichergestellt werden:

- **Messen:** Der Stromzähler misst den eigenen Stromverbrauch.
- **Erfassen:** Die Messdaten müssen erfasst werden.
- **Analysieren:** Die Messdaten werden mit Hilfe von Auswertungs- und Visualisierungssoftware verarbeitet.
- **Optimieren:** Nach der Analyse müssen aus den Erkenntnissen neue Verbesserungsansätze gebildet und umgesetzt werden.

Ein erfolgreiches Energiemanagement kann nur zum Einsatz kommen, wenn sich alle Prozesse in einem Kreislauf wiederholen. Nur dadurch lassen sich die genannten Anforderungen erfüllen. In der Abb. 7 wird der Kreislauf des Energiemanagements verdeutlicht [06].

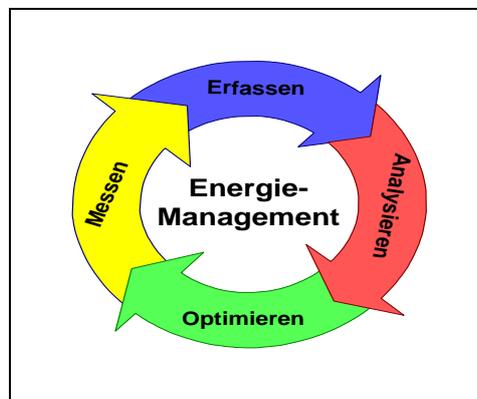


Abbildung 7: Kreislauf Energiemanagement
Quelle: Eigene Darstellung

- **Energiemanagementsystem**

Das Energiemanagementsystem hat die Aufgabe die Anforderungen aus dem Energiemanagement technisch zu lösen. Die einfachste Art eines Energiemanagementsystems ist eine Lastmanagement-Anlage. Die Lastmanagement-Anlage misst den aktuellen Lastverlauf. Diese gemessenen Lastwerte werden gespeichert. Anhand der gemessenen Lastwerte wird analysiert, ob die eingestellte Lastgrenze nicht verletzt wird. Wenn die Analyse ergibt, dass die Lastgrenze verletzt wird, optimiert die Lastmanagement-Anlage den Lastverlauf so, dass die eingestellte Lastgrenze eingehalten wird.

Die Lastmanagement-Anlage ist mit abschaltbaren Energieverbrauchern verbunden. Mit Hilfe der abschaltbaren Energieverbraucher soll eine Viertelstunden-Leistungsbegrenzung durchgeführt werden.

Um eine Viertelstunden-Leistungsbegrenzung zu erreichen, wird eine Abfolge von Leistungswerten von der Lastmanagement-Anlage zu einem Viertelstunden-Leistungstrendwert hochgerechnet. Wenn der Leistungstrendwert für die Viertelstunde den eingestellten Leistungssollwert überschreitet, schaltet die Lastmanagement-Anlage die verfügbaren Energieverbraucher ab. Die Energieverbraucher wurden im Vorfeld in Prioritäten eingeteilt. Die Priorität gibt an, in welcher Reihenfolge die Lastmanagement-Anlage den Energieverbraucher schalten soll. Das Abschalten der Energieverbraucher wird über die Abschaltausgänge der Lastmanagement-Anlage gesteuert. Die Abschaltausgänge

schalten die Energieverbraucher in der Reihenfolge der Prioritäten ab. Durch das Abschalten der Energieverbraucher, wird der Leistungsistwert gesenkt. Dieser kann nur so weit abgesenkt werden, bis alle Abschaltausgänge sämtliche angeschlossenen Energieverbraucher abgeschaltet haben. Wenn der Leistungstrendwert für die Viertelstunde gegenüber dem Leistungssollwert klein genug ist, werden die Energieverbraucher von der Lastmanagement-Anlage wieder angeschaltet.

In der Abb. 8 ist ein möglicher Lastverlauf in einem Zeitraum von 24 Stunden dargestellt. Die Darstellung zeigt einen Lastverlauf ohne Einwirkung einer Lastmanagement-Anlage. Der Leistungssollwert ist mit P_{max} beschrieben, welcher vom Lastverlauf mit einer großen und mehreren kleineren Lastspitzen verletzt wird.

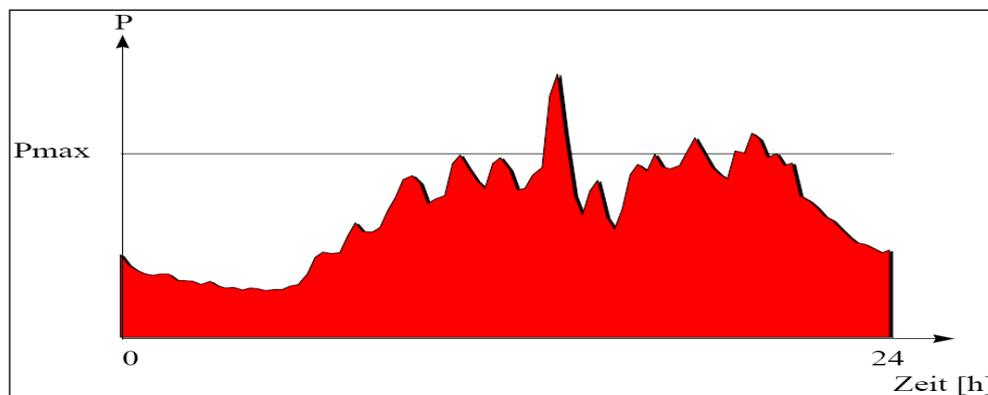


Abbildung 8: Lastverlauf ohne Einwirkung einer Lastmanagement-Anlage
Quelle: [12]

In der nachfolgenden Abb. 9 wird derselbe Lastverlauf nach Einwirken einer Lastmanagement-Anlage dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der vorgegebene Leistungssollwert (P_{max}) nicht überschritten wurde. Die Leistungsspitzen, die in der Abb. 8 ersichtlich sind, werden in der Abb. 9 von der Lastmanagement-Anlage abgeschnitten. In dieser Abbildung ist nicht ersichtlich, wie die Leistungsspitzen vermieden werden. Die Leistungsspitzen könnten, z. B. durch das Abschalten der Energieverbraucher vermieden werden oder indem der Arbeitspunkt in einen geringeren Leistungsverbrauch verschoben wird.

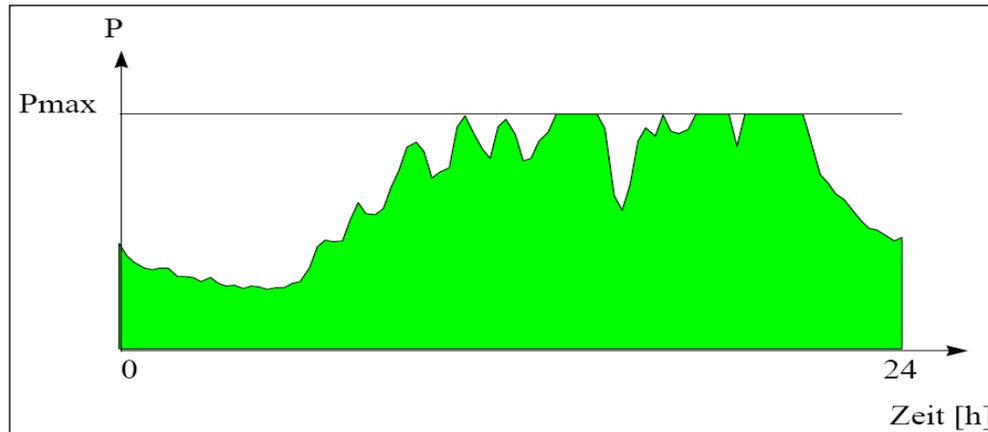


Abbildung 9: Lastverlauf mit Einwirkung einer Lastmanagement-Anlage
Quelle: [12]

Damit die Lastmanagement-Anlage die vorgesehene Viertelstunden-Leistung in einer Viertelstunden-Messperiode einhalten kann, verwendet die Lastmanagement-Anlage ein Trendberechnungsverfahren. Das Trendberechnungsverfahren verwendet den bisherigen Energieeinsatz aus der Viertelstunde, den aktuellen Leistungswert, die verfügbare Restarbeit aus den aktiven Energieverbrauchern, die abgeschaltet werden können und die restliche Zeit für die Viertelstunde. Unter der Verwendung dieser Daten wird der Leistungstrendwert für die Viertelstunde berechnet. Die Korrekturleistung wird zwischen dem Leistungstrendwert und dem eingestellten Leistungswert gebildet. Die Korrekturleistung und die damit einhergehenden Abschaltungen der Energieverbraucher werden anhand dieser Daten bis zum Ende der Viertelstunde festgelegt. Damit wird verhindert, dass der Leistungswert überschritten wird. Dadurch wird der Energieverbraucher zum spätestmöglichen Zeitpunkt ausgeschaltet und wird zum frühesten Zeitpunkt wieder angeschaltet.

Aus Sicherheits- und Funktionsgründen dürfen die Energieverbraucher nicht ohne Weiteres von der Lastmanagement-Anlage aus- oder angeschaltet werden. Aus diesem Grund müssen bestimmte Zeitdauern beim Schalten der Energieverbraucher berücksichtigt werden. Diese Zeitdauer kann durch Rückmeldung bestimmter Betriebszustände des Energieverbrauchers an die Lastmanagement-Anlage zurückgegeben werden. Die Energieverbraucher werden speziell programmiert. Die folgenden Programmierungen müssen für den Energieverbraucher festgelegt werden [12]:

- **Minimale Einschaltzeit:** Ist die Zeitdauer, die der Energieverbraucher mindestens eingeschaltet bleiben muss, bevor er durch die Lastmanagement-Anlage wieder abgeschaltet werden darf.

- **Maximale Ausschaltzeit:** Ist die Zeitdauer, die der Energieverbraucher maximal ausgeschaltet bleibt, bevor er durch die Lastmanagement-Anlage wieder eingeschaltet werden muss.
- **Minimale Ausschaltzeit:** Ist die Zeitdauer, die der Energieverbraucher mindestens ausgeschaltet bleiben muss, bevor er durch die Lastmanagement-Anlage wieder eingeschaltet werden darf.

2.3 Arbeit & Leistung

In dieser Arbeit werden oft die Begriffe Arbeit und Leistung verwendet. Im Folgenden sollen daher die Zusammenhänge zwischen der Arbeit und der Leistung näher erläutert und die Rechenwege für diese Arbeit dargestellt werden.

Im Allgemeinen wird die elektrische Leistung P in Watt (W) oder wie in dieser Diplomarbeit in Kilowatt ($1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$) angegeben. Die Leistung wird auch als Last bezeichnet. Sie beschreibt das Verhältnis der Arbeit W , die pro Zeit t verrichtet wurde. Betrachtet man die Leistung über die Zeit, lässt sich feststellen, dass diese nicht immer konstant ist. Verändert sich die Leistung nicht zeitlich, spricht man von einer Augenblicks- bzw. Momentanleistung. Für diese gilt:

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1)$$

Bleibt eine Leistung konstant über einen gewissen Zeitraum t , dann gilt:

$$P = \frac{W}{t} \quad (2)$$

Die elektrische Arbeit W wird in Kilowattstunde (kWh) angegeben. Wird eine Leistung über einen bestimmten Zeitraum verrichtet, beschreibt dies die Arbeit. Die Formel 2 wird dafür umgestellt.

$$W = P \times t \quad (3)$$

In dieser Diplomarbeit wird der Leistungswert umgerechnet. Der Viertelstunden-Arbeitswert muss in einen Leistungswert umgerechnet werden. Hierbei wurde folgenderweise vorgegangen:

$$P = \frac{W}{\frac{15}{60}} = W \times \frac{60}{15} = W \times 4 \quad (4)$$

Die Formel muss umgestellt werden, wenn aus dem Leistungswert ein Viertelstunden-Arbeitswert berechnet werden soll, dies ist in der Formel 5 dargestellt:

$$W = \frac{P}{4} \quad (5)$$

Des Weiteren wird aus dem Leistungswert der Arbeitswert für die Minute bestimmt. Dieses wird nach der Formel 3 berechnet.

$$W = P \times \frac{1}{60} \quad (6)$$

3 GRUNDLEGENDES ZUM AUFBAU UND DEN FUNKTIONEN DES MODELLS

3.1 Prinzipieller Aufbau des Modells

Das Modell ist in vier Bereiche eingeteilt. Diese sind die Teilmodelle „Prognose“, „Fahrplanerzeugung“, „Regelung“ und „Energiesystem“. Die Prognose sagt den Lastverlauf für die einzelnen Liegenschaften und den Summenlastgang für die nicht geregelten Liegenschaften vorher. Daraufhin werden die einzelnen prognostizierten Lastverläufe innerhalb des Teilmodells „Fahrplanerzeugung“ in einem Summenlastverlauf zusammengerechnet und zu einem Viertelstunden-Leistungswert umgerechnet. Dieser Viertelstunden-Leistungswert gilt als Fahrplan für die „Regelung“. Die „Regelung“ überwacht das „Energiesystem“ und greift ein sobald der Fahrplan nicht eingehalten werden kann. Das „Energiesystem“ besteht aus den Teilmodellen der „Liegenschaften“. Die Teilmodelle der „Liegenschaften“ werden aufgebaut durch ein Teilmodell einer „Lastmanagement-Anlage“, durch das Teilmodell einer „Unterstation“ und den dazugehörigen Teilmodellen der „Energieverbraucher“. In der Abb. 10 ist das Modell mit dem jeweiligen Kommunikationsverlauf dargestellt.

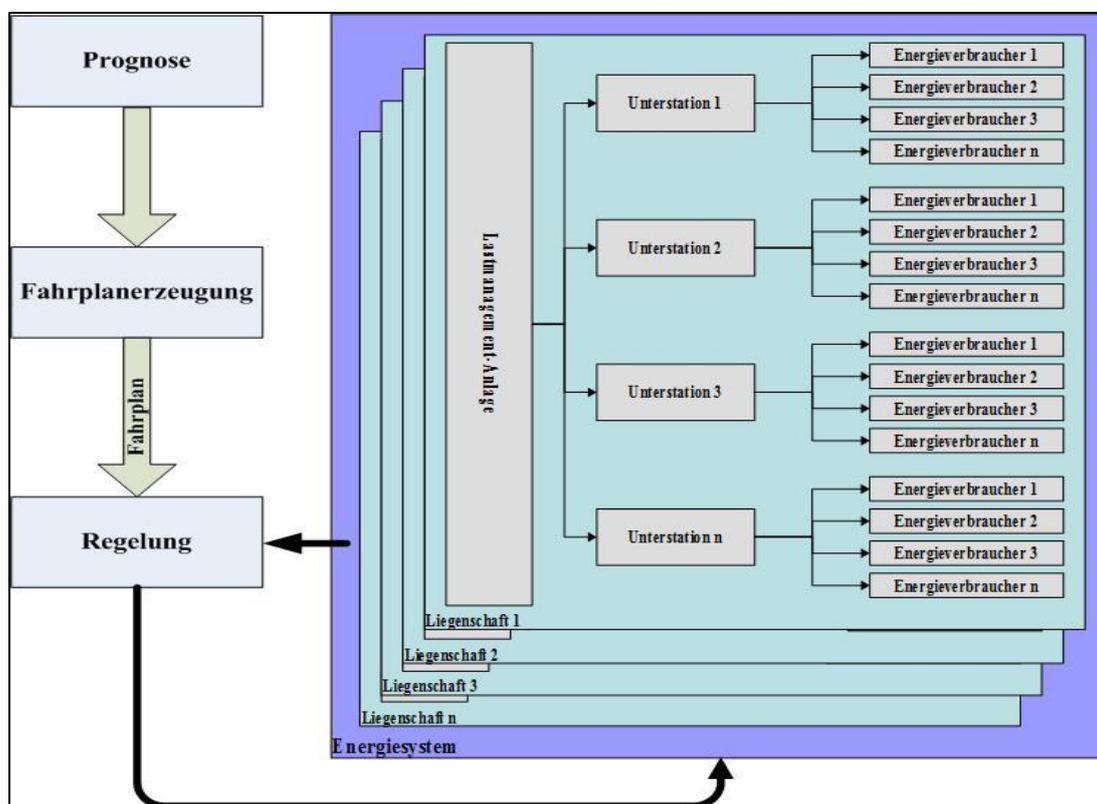


Abbildung 10: Gesamtdarstellung des Modells
Quelle: Eigene Darstellung

3.2 Ausgangsbasis des Modells

- **Vorarbeiten**

Die vorliegende Diplomarbeit baut auf den Ergebnissen von drei vorangegangenen Masterarbeiten auf, um das Gesamtmodell zu erstellen. Diese sind:

1. Ting Ye: *„Modelling of Load Management Systems for Building using MATLAB/SIMULINK“*
2. Iffat Hasnain: *„Modeling the Load Pattern of a Network of Buildings with installed Load Management Devices using Matlab/Simulink“*
3. Farid Naimi: *„Java-basierte Lastprognose für eine geringe Anzahl von Liegenschaften“*

Die Masterarbeit 3 lieferte das Teilmodell „Prognose“. Mit Hilfe der historischen Lastgänge wurde ein prognostizierter Lastverlauf für jede Liegenschaft in Minutenwerten erstellt. Diese prognostizierten Daten dienen dem Gesamtmodell als Grundlage und wurden für diese Arbeit als gegeben angesehen[14].

Die Masterarbeiten 1 und 2 wurden für die vorliegende Arbeit erweitert und miteinander verknüpft. Die Masterarbeit 1 umfasste die Erstellung einer ersten Version des Teilmodells „Lastmanagement-Anlage“ [25], wohingegen die Masterarbeit 2 die Erstellung eines Teilmodells eines dazugehörigen Energieverbrauchers (= Gebäude mit durch die „LMA“ regelbaren gebäudetechnischen Anlagen) zum Ziel hatte [11]. Insbesondere dieses Teilmodell konnte für diese Arbeit nicht einfach übernommen werden. Es musste im Rahmen dieser Arbeit überarbeitet werden. Die Lastmanagement-Anlage hingegen wurde im Wesentlichen übernommen und nur geringfügig erweitert. Mit Hilfe der genannten zwei Arbeiten wurde das Gesamtmodell des „Energiesystems“ aufgebaut. Vollständig neu zu entwickeln war in diesem Zusammenhang das Teilmodell des „übergeordneten Reglers“. Um ein besseres Verständnis für die vorliegende Arbeit zu bekommen, werden die wichtigsten Elemente in dem Kapitel 4.1 eingehender beschrieben.

- **Erweiterungen des Modells**

Um einen übergeordneten Regler für ein Netzwerk von „Lastmanagement-Anlagen“ nachbilden zu können, müssen vorerst verschiedene Parameter für eine „Lastmanagement-Anlage“ eingegeben werden. Dasselbe gilt für die „Energieverbraucher“, die mit der „Lastmanagement-Anlage“ verbunden sind. Die Teilmodelle der Liegenschaften besitzen nur die Fähigkeit den Lastverlauf abzusenken, weil „Lastmanagement-Anlagen“ originär

dazu entwickelt wurden Lastspitzen durch Lastabsenkung zu vermeiden. Damit der übergeordnete Regler den Summenlastverlauf rauf regeln kann, falls dieser unter dem Fahrplan ist, musste in dieser Arbeit ein Teilmodell erstellt werden, welches die Gegebenheiten in der Liegenschaft „Elbtunnel“ abbildet. Der Elbtunnel wurde deswegen gewählt, weil dieser in der Realität mit in Stufen geschalteten Lüftern ausgestattet ist. Diese werden bei Bedarf zu- und abgeschaltet. Diese Liegenschaft bietet als einzige die Möglichkeit den Lastverlauf selbstständig mit dem in Stufen schaltbaren Lüfter zu erhöhen, wenn mehr Last verbraucht werden soll. Im Teilmodell der „Liegenschaft Elbtunnel“ wurden Teilmodelle der in „Stufen schaltbaren Lüfter“ nachgebaut.

Mit Hilfe der Teilmodelle, die mit den „Lastmanagement-Anlagen“ der Liegenschaften und mit Hilfe des Teilmodells „Elbtunnel“ (zum Zuschalten von Leistung) sollte eine Regelung entwickelt werden, die für die Summe der Mittelspannungsliegenschaften den Lastverlauf einhalten kann.

3.3 Eingangsdaten für das Modell

Die Leistungsistwerte wurden von der Firma Envidatec zusammengestellt und aufbereitet. Die Leistungsistwerte wurden für die Liegenschaften aus Hamburg im Zeitraum vom 01.01.2005 bis 30.06.2009 aufgezeichnet. Die Leistungsistwerte sind im Zeitraum vom 01.01.2005 bis 01.01.2008 nur in Viertelstundenintervallen erfasst. Mit Hilfe eines Programms werden diese Werte in Minutenwerte umgerechnet, so dass sie in der Summe wieder dem Leistungsistwert der Viertelstunde entsprechen. Seit dem 01.01.2008 stehen für die 21 Liegenschaften die Leistungsistwerte in Minutenintervallen zur Verfügung.

- **Prognosedaten**

Die prognostizierten Lastverläufe werden durch ein Prognoseprogramm erstellt. Dieses war das Thema der Masterarbeit [14]. Das Programm bezieht sich auf die gesammelten Leistungsistwerte der Firma Envidatec.

Es werden für alle Liegenschaften Lastverläufe prognostiziert. Diese werden immer für einen ganzen Tag, von 00:00 Uhr bis 24:00 Uhr, in Minutenintervallen erstellt. Bei der Erstellung werden die Eigenschaften wie „Jahreszeit“, „Wochentag“, „Ferien- und Feiertag“ berücksichtigt. Ein wesentlicher Nachteil dieser Prognose ist, dass die Wettereinflüsse (Temperatur, Sonneneinstrahlung) nicht berücksichtigt werden. Dies könnte ein Grund sein, warum es an einigen Tagen zu einer großen Abweichung zwischen

Prognose und tatsächlichem Lastverlauf kommt. Das bedeutet je besser die Prognose für den Tag ist, desto weniger muss der übergeordnete Regler in seinen Fahrplan eingreifen.

Die erstellten Prognosen sind in einer Datenbank von der Firma Envidatec hinterlegt, damit diese mit den tatsächlichen Lastgängen verglichen werden können. Der Aufbau und die Funktionsweise sind nicht Thema dieser Arbeit und können bei Interesse aus der Masterarbeit von Herrn Farid Naimi entnommen werden[14]. Für das Testen der Regelung wurden die prognostizierten Lastverläufe im Zeitraum vom 01.07.2008 bis 30.06.2009 verwendet.

- **Fahrplan**

Die Fahrplandaten dienen dem übergeordneten Regler als Leistungswert (Fahrplan). Dabei wird die Leistungsprognose jeder einzelnen Liegenschaft in eine Summenlast aufgerechnet. In dem Kapitel 3.5 wird die Aufbereitung der Prognosedaten für das Modell beschrieben.

- **Codierung der Eingangsdaten für die Teilmodelle der Liegenschaften**

Für die Simulation sind die Lastverläufe aller Liegenschaften und die tagesspezifischen Informationen zusammen in einer Datei. Diese Daten sind im Minuten-Intervall für den ganzen Tag vorhanden. In der Tabelle 1 ist die Einteilung der Daten für die Liegenschaften zu sehen. Die tagesspezifischen Informationen werden für die Energieverbraucher in den Liegenschaften benötigt. Anhand dieser Daten erkennt das Modell die Betriebszeiten der Energieverbraucher.

Tabelle 1: Aufbau der Daten für die Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Wochentag	Jahreszeit	Ferien Tag	Temperatur	Liegenschaft 1	...	Liegenschaft n
-----------	------------	------------	------------	----------------	-----	----------------

Im Modell werden die Daten aus der Datei getrennt. Ein Bussignal beinhaltet die tagesspezifischen Informationen und das andere Bussignal die Lastverläufe der Liegenschaften. In den nächsten Abschnitten wird auf die Kodierung dieser Daten eingegangen.

- **Wochentag**

Damit der Energieverbraucher die Wochentage unterscheiden kann, mussten diese kodiert werden. Hierbei erhielt der Montag den Wert eins und der Sonntag den Wert sieben. Die Kodierung der einzelnen Wochentage ist in der Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Kodierung der Wochentage

Quelle: Eigene Darstellung

Montag	1
Dienstag	2
Mittwoch	3
Donnerstag	4
Freitag	5
Samstag	6
Sonntag	7

○ **Jahreszeit**

Für die Jahreszeiten wurden die meteorologischen Kalendermonate verwendet. Diese sind unterteilt in:

- Sommer: Juni-August
- Herbst: September-November
- Winter: Dezember-Februar
- Frühling: März-Mai

Die Kodierung für die Jahreszeiten beginnt mit einer Eins beim Sommer und endet mit der Vier für den Frühling. In der Tabelle 3 ist die Kodierung für die einzelnen Jahreszeiten dargestellt.

Tabelle 3: Kodierung der Jahreszeiten

Quelle: Eigene Darstellung

Sommer	1
Herbst	2
Winter	3
Frühling	4

○ **Feier- und Ferientag**

Die Feier- und Ferientage werden für das Teilmodell eines „Energieverbrauchers“ nicht unterschieden. Die Tabelle 4 zeigt die Werte und ihre Bedeutung.

Tabelle 4: Kodierung der Ferien- und Feiertage

Quelle: Eigene Darstellung

Ferien- & Feiertage an	1
Ferien- & Feiertage aus	0

○ **Temperatur**

Die Temperaturdaten stammen von der Wetterstation aus Bergedorf. Die Temperaturen werden in Grad Celsius angegeben. Die Datenreihen beinhalten die Minutenwerte des Außentemperaturverlaufs für den jeweiligen Tag.

- **Liegenschaften im Modell**

Die Aufteilung des Bussignals für die Lastverläufe der Liegenschaften ist in der Tabelle 5 dargestellt. Die Lastwerte für die Liegenschaften sind in Kilowatt (kW) angegeben.

Tabelle 5: Kodierung der Reihenfolge der Liegenschaften im Modell
Quelle: Eigene Darstellung

UNI Campus	1
Großmarkt	2
Elbtunnel	3
HAW Berliner Tor	4
Landespolizeiverwaltung	5
UNI Botanik	6
Kunsthalle	7
Hygieneinstitut	8
Landesversicherungsanstalt (LVA)	9
Gesamtschule Mümmelmannsberg (GSM)	10
HAW Bergedorf	11
Staatsoper	12
Berufsschulzentrum Bergedorf	13
Gesamtschule Steilshoop (GSS)	14
Seeschifffahrt und Hydrografie	15
Angewandte Physik	16
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU)	17
Experimentalphysik	18
UNI Stellingen	19
Musikhalle	20
Planten und Blomen	21
Summenlastverlauf der restlichen Liegenschaften	22

- **Minutenreserve**

Die Minutenreserve ist für den ganzen Tag gültig. Das Anbieten der Minutenreserveleistung erfolgt in sechs Vierstundenblöcken. Die Minutenreserveleistung für die jeweiligen Vierstundenblöcke wird im Teilmodell des „übergeordneten Reglers“ in der Höhe der Leistung eingestellt. Die Aktivierung der Minutenreserveleistung erfolgt über eine Datei, die die Werte null (keine Minutenreserveleistung) und eins (anfordern der Minutenreserveleistung) besitzt.

3.4 Hard- und Software

MATLAB/Simulink ist ein bekanntes Softwaresystemen im technisch-wissenschaftlichen Bereich. Es wird für die Berechnung und Simulation von Daten verwendet.

In dieser Arbeit wird mit der MATLAB/Simulink Version 7.0 gearbeitet. Das gesamte Modell wurde mit MATLAB/Simulink erstellt, weil die vorangegangenen Arbeiten schon mit MATLAB/Simulink erstellt wurden. Mit Hilfe von MATLAB/Simulink lassen sich Funktionen anhand der Simulationsmöglichkeiten kontrollieren. Dabei können Verbesserungen oder Erweiterungen schnell und problemlos programmiert bzw. simuliert werden. Für weitere Informationen zu MATLAB/Simulink wird auf die Literaturquelle [19] verwiesen.

Damit das Modell simulieren kann, wird ein PC mit mindestens vier Gigabyte Arbeitsspeicher vorausgesetzt. Für die Erstellung dieser Arbeit wurde ein PC mit folgenden Systemdaten verwendet:

- Hersteller: Packard Bell
- Modell: IMEDIA X6601 GE
- Prozessor: Intel® Core™² Quad CPU Q8200 2.33GHz 2.34GHz
- Arbeitsspeicher: 4 GB
- Systemtyp: 64 Bit
- Betriebssystem: Windows Vista™ Home Premium

3.5 Fahrplanerzeugung

In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, wie die Daten aus der Prognose zu einem Summenfahrplan verarbeitet werden. Dabei werden die einzelnen prognostizierten Lastverläufe von den Liegenschaften zu einem Summenlastverlauf (Summenfahrplan) generiert. Dieser dient der Regelung als Sollwert.

3.5.1 Anforderungen

Es wurde aus den Prognosen der einzelnen Liegenschaften der Summenlastverlauf für den Tag bestimmt. Nach der Ermittlung des Summenlastverlaufs wird der jeweilige Viertelstunden-Summenleistungsmittelwert errechnet. Dieser gilt als Fahrplan für die Regelung. Um diesen Fahrplanwert wird das „Standard-Toleranzband“ von 5 Prozent gelegt.

Für das Teilmodell der „Liegenschaft Elbtunnel“ wird aus den historischen Minutenwerten ein separater Viertelstunden-Leistungsmittelwert (Fahrplan) errechnet, da diese Viertelstunden-Leistungsmittelwerte das Teilmodell für diese Liegenschaft den Lastverlauf anhand des Fahrplans selber nachfährt (siehe hierzu Kapitel 4.2).

3.5.2 Programmablauf

In der Abb. 11 ist der Ablaufplan des Programms für die Optimierung dargestellt. Beim Start des Programms wird der vorhandene Speicher gelöscht, um keine falschen Werte in die Berechnung einfließen zu lassen. Es werden die Variablen, Konstanten und Dateipfade für das Einlesen des historischen und prognostizierten Lastverlaufs angelegt. Die Dateipfade für das Abspeichern des Summenfahrplans und den Fahrplan des Elbtunnels werden ebenfalls angelegt. Der prognostizierte und der tatsächliche historische Lastverlauf der einzelnen Liegenschaften werden eingelesen. Dabei wird bestimmt wie viele Minuten für den Tag berücksichtigt werden müssen, weil die Tage bei der Zeitumstellung (Sommerzeit/Winterzeit) eine unterschiedliche Anzahl an Minuten für den Tag besitzen.

In der Schleifenanweisung werden für jede Viertelstunde folgende Berechnungen angestellt: Aus dem prognostizierten Lastverlauf wird der Viertelstunden-Leistungswert (Fahrplan) berechnet. Dazu wird das Standard-Toleranzband von 5 Prozent ermittelt. In der Simulation werden aus je 15 Minutenwerten des tatsächlichen historischen Lastverlaufs die historischen Viertelstunden-Leistungswerte bestimmt. Der Vergleich der simulierten Viertelstundenwerte mit dem Fahrplanwert ergibt dann die Fahrplanabweichung in Prozent für die jeweilige Viertelstunde. Anschließend wird in der Schleife aus dem historischen Lastverlauf der einzelnen Liegenschaften der Lastverlauf des Elbtunnels ausgelesen. Der erhaltene Lastverlauf wird zu Grunde gelegt, um daraufhin den historischen Viertelstunden-Leistungswert für den Elbtunnel zu berechnen. Diese Schleife läuft solange bis der Fahrplan für den ganzen Tag berechnet wurde.

Ist der Tag durchlaufen, werden zwei Grafiken ausgegeben. Diese sind in der Abb. 12 und der Abb. 13 dargestellt. Die erste Grafik gibt den historischen und den prognostizierte Summenlastverlauf und den berechneten Summenfahrplan mit dem Standard-Toleranzband aus. Die zweite Grafik zeigt die berechnete Fahrplanabweichung zwischen dem Summenfahrplan und dem historischen Viertelstunden-Leistungsmittelwert in Prozent. Am Ende des Programms werden der Summenfahrplan und der Fahrplan für den Elbtunnel abgespeichert.

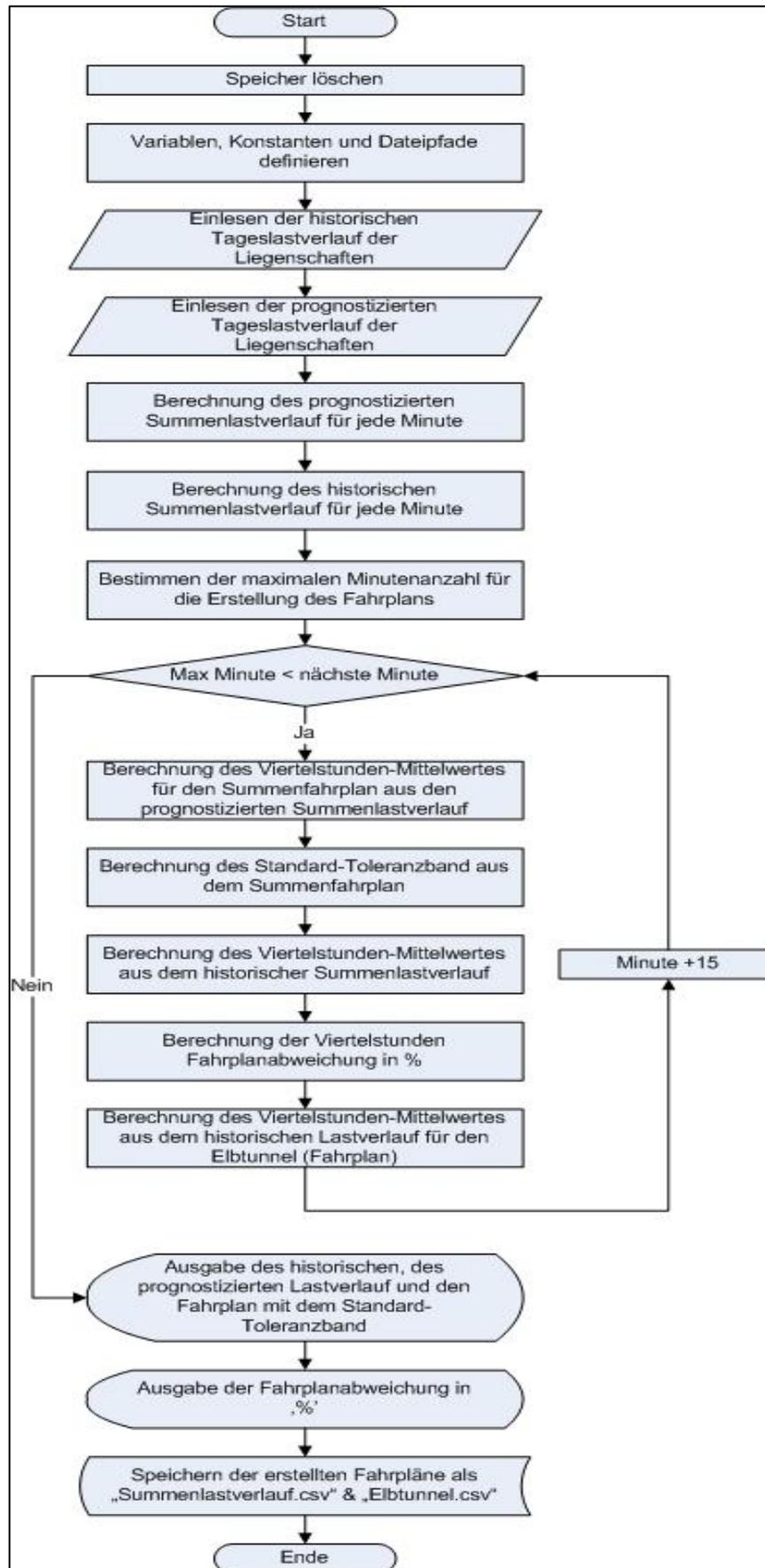


Abbildung 11: Flussdiagramm für das Programm Fahrplanerzeugung
Quelle: Eigene Darstellung

3.5.3 Fahrplananalyse

Als Simulationsergebnisse werden zwei grafischen Auswertungen ausgegeben. Anhand der grafischen Auswertungen sollen der historische Lastverlauf, der prognostizierte Lastverlauf, der Fahrplan und das Standard-Toleranzband genauer betrachtet werden können. Beispielhafte Auswertungen sind in der Abb. 12 und der Abb. 13 dargestellt. Die Auswertung in der Abb. 12 ist ein Kurvendiagramm das den Summenlastverlauf zeigt. Zur Darstellung der Viertelstunden-Fahrplanabweichung wurde ein Balkendiagramm gewählt.

In der Abb. 12 sind fünf Kurven ersichtlich. Diese haben folgende Bedeutungen:

- Rote Kurve: Summenlastverlauf der historischen Lastverläufe aus allen Liegenschaften zusammenaddiert
- Gelbe Kurve: Summenlastprognose der prognostizierten Lastverläufe aus allen Liegenschaften zusammenaddiert
- Schwarze Kurve: Summenlastfahrplan des Viertelstunden-Leistungswerts der Summenlastprognose (Summenfahrplan)
- Lila Kurve: Obere Lastgrenze, +5% des Summenfahrplans (Standard-Toleranzband)
- Grüne Kurve: Untere Lastgrenze, -5% des Summenfahrplans (Standard-Toleranzband)

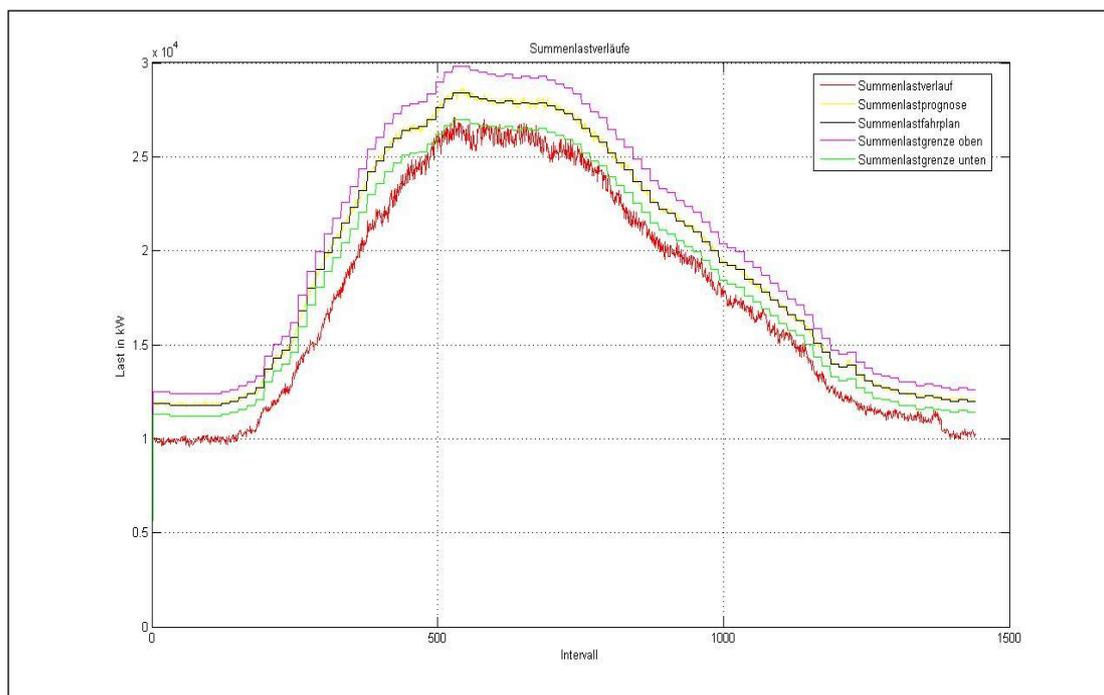


Abbildung 12: Gesamtdarstellung für die Optimierung
Quelle: Eigene Darstellung

Hierbei lässt sich schon im Vorfeld beurteilen wie gut der prognostizierte Summenlastverlauf ist, ob sich der historische Summenlastverlauf im Standard-Toleranzband befindet oder ob es grobe Abweichungen gibt. Weicht der Summenlastverlauf grob ab, muss der Summenlastverlauf vom Regler so verändert werden, dass der Summenlastverlauf wieder in das Standard-Toleranzband geregelt wird. In der Abb. 13 wird die Abweichung des Summenfahrplans in Prozent dargestellt. Es wird betrachtet in welcher Viertelstunde das Standard-Toleranzband nicht eingehalten wird. Dadurch lässt sich erkennen, dass der Regler eingreifen musste. Ferner lässt sich dadurch die Qualität der Prognose bewerten.

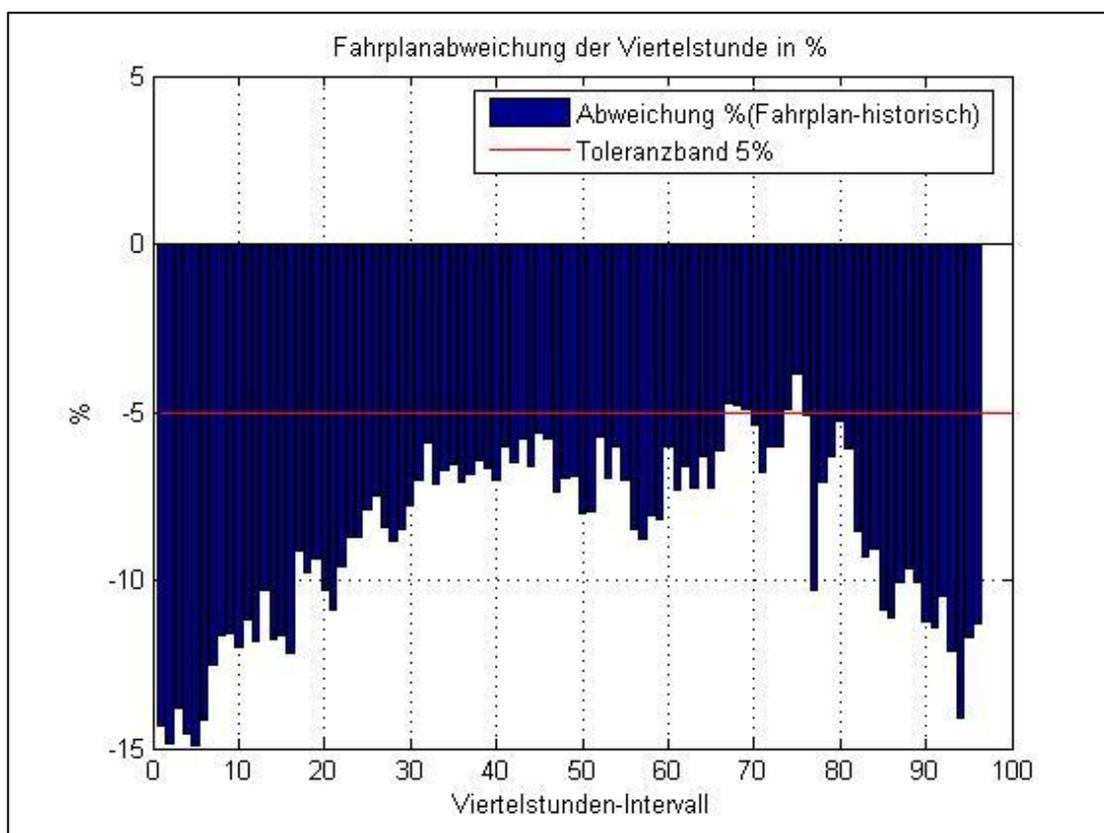


Abbildung 13: Fehlerabweichung der Viertelstunde
Quelle: Eigene Darstellung

In den Abbildungen 12 und 13 ist zu sehen, dass die Prognose sehr schlecht für den ganzen Tag ermittelt wurde. Hierbei lag der historische Summenlastverlauf den ganzen Tag unterhalb der Prognose. In diesem Fall müsste der Regler den ganzen Tag versuchen mehr Strom zu verbrauchen.

3.6 Regelung

In diesem Abschnitt wird die Regelung im Modell beschrieben. Im Zuge dieser Beschreibung werden die Anforderungen an das Teilmodell für den „übergeordneten Regler“ erläutert. Es wird erläutert in welcher Art die Regelung für das Modell aufgebaut ist.

3.6.1 Anforderungen

Der „übergeordnete Regler“ muss im Stande sein, die zwei Szenarien aus dem Kapitel 1.2 umzusetzen. Somit müssen Einstellungsmöglichkeiten für den Regler vorhanden sein. Des Weiteren muss der Regler erweiterbar sein, ohne dass große Änderungen vorgenommen werden müssen. Dies wird erreicht, indem die Regelung in einzelne Prozesse eingeteilt wird. Dadurch lassen sich die einzelnen Prozesse besser in ihrer Funktionalität überprüfen und anschließend zusammenführen.

Die Regelstrecke im Modell wird durch das Teilmodell „Energiesystem“ dargestellt. Dieses setzt sich aus den Teilmodellen der einzelnen „Liegenschaften“ zusammen. Jedes Teilmodell einer „Liegenschaft“ besitzt eine „Lastmanagement-Anlage“. Diese „Lastmanagement-Anlage“ regelt den Lastverlauf für die Liegenschaft so, dass der Viertelstunden-Leistungsmittelwert nicht über die für die Liegenschaft eingestellte Lastgrenze ansteigt.

Die Liegenschaften senden im Minutentakt die aktuellen Lastwerte an das Teilmodell des „übergeordneten Reglers“. Diese Regelung hat die Aufgabe den Summenlastverlauf so zu regeln, dass sich der Viertelstunden-Summenleistungsmittelwert, aus dem Summenlastverlauf, in dem vorgegebenen Toleranzband befindet. Das Toleranzband wird aus den Fahrplanwerten, die vom Optimierungsmodul kommen, erzeugt. Für den Summenfahrplan lassen sich drei Toleranzbänder zum Einstellen auswählen.

- Das Standard-Toleranzband, mit einem Lastband von $\pm 5\%$ vom aktuellen Fahrplanwert in der Viertelstunde
- Das Erweiterte-Toleranzband, mit einem Lastband von $\pm 20\%$ vom aktuellen Fahrplanwert in der Viertelstunde
- Das Konstante-Toleranzband, mit einem Lastband von $\pm 5\text{MW}$ vom aktuellen Fahrplanwert in der Viertelstunde

Das ausgewählte Toleranzband beschreibt den erlaubten Bereich, in dem die Regelung den Summenlastverlauf nicht beeinflussen muss. Für jede Viertelstunde muss der Mittelwert aus dem aktuellen Lastverlauf gebildet werden. Diese müssen sich in dem zulässigen Bereich befinden. Sollten Störungen auftreten, die zu einer Fahrplanabweichung führen, muss die Regelung in der Lage sein durch eine Festlegung neuer Lastgrenzen für die einzelnen Liegenschaften (= neue Vorgaben für die inneren Regelschleifen) und eine Schaltlast für den Elbtunnel zu bestimmen, um so den Summenfahrplan wieder einzuhalten.

3.6.2 Kaskadenregelung

Jedes Teilmodell einer Liegenschaft stellt in der Regelung einen Teil der Regelstrecke dar. Jedes Teilmodell ist mit einem eigenen Regler versehen. Im Falle der vorliegenden Diplomarbeit besteht jeder Regler aus einer „Lastmanagement-Anlage“ (LMS). Alle Liegenschaften weisen ein unterschiedliches dynamisches Verhalten auf. Da die Dynamik der Liegenschaften unterschiedlich ist, liegt es nahe, die unterschiedlichen Anteile der Teilregelstrecke mit verschiedenen Regeleinstellungen zu regeln. Die zugrunde liegende Regelstrategie ist in unserem Fall, dass die „Lastmanagement-Anlage“ für die jeweilige Liegenschaft dafür sorgt, dass der Lastverlauf der Liegenschaft die Lastgrenze nicht überschreitet. Aber gleichzeitig überwacht der „übergeordnete Regler“, dass das Toleranzband eingehalten wird. Dies führt zu einer Regelstruktur, die als Kaskadenregelung bezeichnet wird. In der folgenden Abb. 14 ist so eine Kaskadenregelung abgebildet.

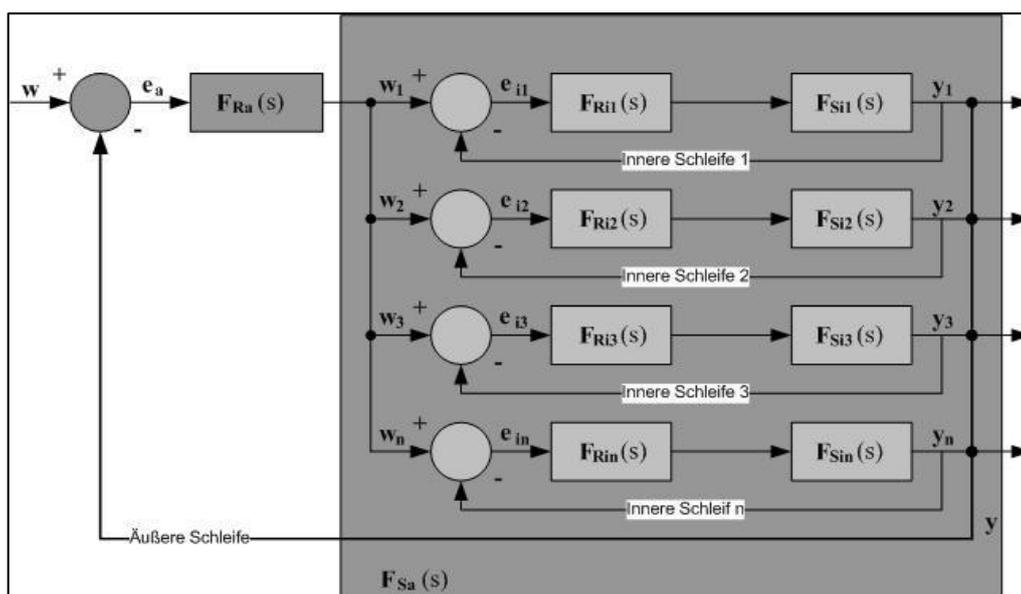


Abbildung 14: Blockschaltbild des Modells
Quelle: Eigene Darstellung

Das Blockschaltbild in der Abb. 14 zeigt die Struktur von überlagerten Regelschleifen die sich aus dem Modell ableiten lassen. Jede innere Regelschleife muss ihre Messgröße $y_n(t)$ aus der Teilstrecke $F_{Sx}(s)$ mit Hilfe seines Reglers $F_{Rix}(s)$ verarbeiten. In der Regelung stellt die innere Schleife im Vergleich mit der äußeren Schleife immer den schnelleren Bereich dar. Ist die äußere Regelung „schneller“ als die innere Regelung kann dieses zu unerwünschten großen Amplituden führen. Wird die Stellgröße für den inneren Regler berechnet, verändert dieser Regler dadurch die Führungsübertragungsfunktionen $F_{Sax}(s)$ für die Teilstrecke. Alle Führungsübertragungsfunktionen $F_{Sax}(s)$ zusammen ergeben die neue Gesamtregelstrecke $F_{SA}(s)$. Durch die Entstehung der Führungsübertragungsfunktionen der einzelnen Teilstrecken, ergeben sich kleinere Zeitkonstanten. Dadurch wird die äußere Regelschleife auch die langsamere Regelschleife. Die wichtigsten Voraussetzungen für diese Anwendung sind, dass die Regelgröße $y(t)$ als auch die Hilfsgrößen $y_n(t)$ gemessen werden [16].

Durch diese Regelungsart ergeben sich folgende Vorteile gegenüber der Einschleifenregelung [16]:

- Die Stabilität wird für die innere Regelschleife verbessert
- Durch die Unterteilung der zwei Teilstrecken $F_{SA}(s)$ und $F_{Si}(s)$ wird der Reglerentwurf erleichtert.
- Störgrößen die im Inneren der Schleife auftreten, werden durch die innere Schleife ausgeregelt.
- Die gesamte Regelung kann schrittweise von innen nach außen getestet werden.

3.6.3 Innerer Regelkreis

Die einzelnen inneren Regeschleifen sind vom Aufbau her immer gleich. Die Regelstrecke stellt die Liegenschaft dar und der innere Regler die „Lastmanagement-Anlage“. Als Führungsgröße wird die Lastgrenze oder wie im Falle des Elbtunnels die Schaltlast gewählt. Der Elbtunnel rechnet die Schaltlast mit in die Lastgrenze ein. Somit ist gewährleistet, dass alle Liegenschaften auf Lastgrenzen reagieren. Bevor mit der Führungsgröße eine Differenz mit der Regelgröße gebildet werden kann, müssen folgende Vorberechnung für die Regelgröße angestellt werden.

In der nachfolgenden Abb. 15 ist die Berechnung der Trendarbeit für die Viertelstunde aus der Masterarbeit [25] dargestellt.

$$W_{diff\ 1/4}(t_i) = W_{Grenze\ 1/4}(t_i) - W_{Trendarbeit\ 15min}(t_i) \quad (11)$$

Die einzelnen Energieverbraucher aus den Liegenschaften senden anhand der Priorität und der Unterstation die verfügbare Zu- und Abschaltarbeit für die restliche Viertelstunde an den Regler. Wenn somit $W_{diff\ 1/4}(t_i) < 0$ ist, schaltet der Regler anhand der einzelnen Abschaltarbeiten aus den Prioritäten und den Unterstationen die Energieverbraucher ab. Wenn $W_{diff\ 1/4}(t_i) > 0$ ist, werden die Energieverbraucher nicht sofort zugeschaltet, erst wenn eine größere Differenz vorliegt (im Modell wird der Wert 50 kWh angenommen) schaltet der Regler die Energieverbraucher wieder in umgekehrter Reihenfolge der Prioritäten an. Anhand dieser Regelung kann der Lastverlauf in der Liegenschaft angehoben oder abgesenkt werden.

3.6.4 Äußerer Regelkreis

Der übergeordnete Regler befindet sich in der äußeren Regelschleife. Dieser hat die Aufgabe die Regelabweichung anhand seiner Führungsgröße (Summenfahrplan) und dem Viertelstunden-Leistungsmittelwert so gering wie möglich zu halten. Dies kann nur erreicht werden, wenn genügend Regelenergie in beiden Richtungen vorhanden ist. Die Regelenergien setzen sich aus der Summe der verfügbaren Ab- und Zuschaltarbeit der Liegenschaften zusammen. Somit gilt, dass der Summenfahrplan in dem Regelenergiebereich liegen muss:

$$x_{min} \leq \text{Summenfahrplan} \leq x_{max}$$

Das Ziel der äußeren Regelschleife besteht darin, den Viertelstunden-Leistungsmittelwert auf den geplanten Summenfahrplanwert zu bewegen. Da der Summenfahrplanwert nicht exakt getroffen werden kann, wird versucht den Viertelstunden-Leistungsmittelwert in ein Gebiet $\pm \varepsilon$ um den Summenfahrplan zu bewegen. Der Ablauf wird in der Abb. 16 gezeigt.

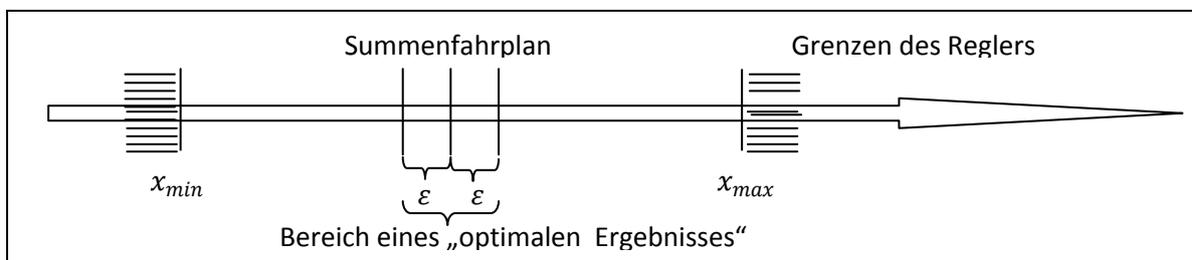


Abbildung 16: Bereichsdarstellung
Quelle: Eigene Darstellung

Prinzipieller Ablauf

1. Es wird die aktuelle Last aus allen Liegenschaften gemessen und zu einer Summenlast umgerechnet.
2. Aus der Summenlast wird die Trendarbeit für die Viertelstunde berechnet.
3. Die berechnete Trendarbeit wird mit dem umgerechneten Fahrplanwert verglichen.
4. Bewegt sich die Abweichung nicht im Gebiet $\pm \varepsilon$ des Summenfahrplans entscheidet die Schwellwertgrenze beim Überschreiten der Lastobergrenze, ob Last abgeschaltet werden soll oder beim Unterschreiten der Lastuntergrenze, ob Last zugeschaltet werden soll.
5. Mit Hilfe der verfügbaren Zu- und Abschaltlasten der einzelnen Liegenschaften werden die neuen Lastgrenzen und die Schaltlast für den Elbtunnel berechnet.
6. Die neuen Lastgrenzen werden an die Liegenschaften und die Schaltlast an den Elbtunnel gesendet.

In der Abb. 17 ist der prinzipielle Ablauf dargestellt.

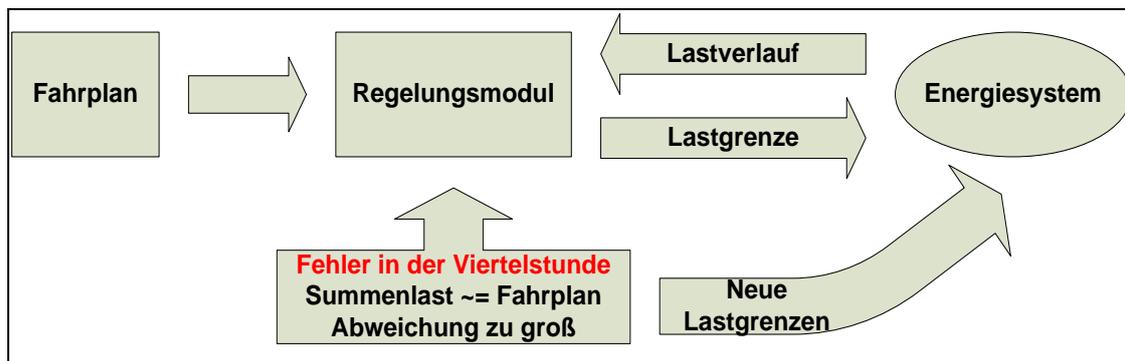


Abbildung 17: Allgemeiner Ablauf der äußeren Regelschleife
Quelle: Eigene Darstellung

Da der Regler sich auf der äußeren Regelschleife befindet, kann dieser Vorgang nicht für jede Minute wiederholt werden. Der Regler für die innere Regelschleife benötigt mindestens eine Minute, um die neu berechnete Führungsgröße umzusetzen. Eine weitere Minute wird mindestens benötigt bevor der äußere Regler eine Lastveränderung bemerkt. Aus diesem Grund arbeitet der Regler auf der äußeren Regelschleife jede dritte Minute in einer Viertelstunde. Für die Berechnung der Trendarbeit aus dem Summenlastverlauf wird dasselbe Verfahren verwendet wie in Kapitel 3.6.3 für die einzelnen Liegenschaften bereits beschrieben.

Da es sich hierbei um eine Begrenzungsregelung handelt, bietet es sich an, einen schaltenden Regler zu verwenden. Solche Regler-Typen werden auch als „unstetige

Regler“ bezeichnet [16]. Diese können nur wenige diskrete Werte für die Stellgrößen annehmen, so dass das Lastverhalten der Regelstrecke nur schrittweise verändert werden kann. Anhand der Anzahl der Zustände die eine Stellgröße annehmen kann, werden die Regler dann als „Zwei“- , „Drei“- oder „Mehrpunktregler“ bezeichnet.

Es werden folgende Zustände für die äußere Regelschleife betrachtet:

1. Summenlastgrenze wird überschritten
2. Summenlastgrenze wird nicht über- oder unterschritten
3. Summenlastgrenze wird unterschritten

Da es sich um drei Zustände handelt, muss um diese zur Erkennung ein Dreipunktregler verwendet werden. Liegt die Regeldifferenz in dem Bereich

$\varepsilon_{min} < \text{Summenfahrplan} < \varepsilon_{max}$, so liegt das Stellglied in Ruhe. In diesem Bereich werden keine Veränderungen an den Lastgrenzen und an der Schaltlast vorgenommen. Überschreitet die Regeldifferenz den positiven oder negativen Ansprechwert, so werden für die Liegenschaften die Lastgrenze und für den Elbtunnel die Schaltlast neu berechnet. Somit werden durch den Dreipunktregler nur die nötigsten Schalthandlungen durchgeführt. In der Abb. 18 ist auf der linken Seite der Abbildung die Kennlinie und auf der rechten Seite der Signalverlauf für einen derartigen Dreipunktregler dargestellt [10].

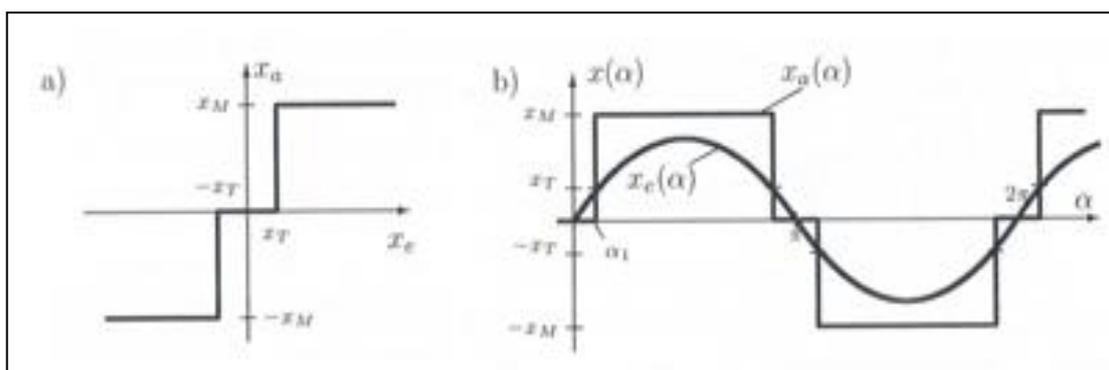


Abbildung 18: Kennlinie und Signalverlauf eines Dreipunktreglers
Quelle: [10]

Wenn die untere Soll Summenlastgrenze durch den Trend berührt wird, sendet der „Dreipunktregler“ ein Minus-Eins aus. In diesem Fall muss der Viertelstundenmittelwert angehoben werden damit dieser wieder in dem Soll Lastband ist. Die Regeldifferenz wird erst mal auf alle Liegenschaften bis auf den Elbtunnel verteilt. Das Teilmodell der Liegenschaft „Elbtunnel“ soll nur dann einspringen, wenn die Liegenschaften nicht mehr

genügend Kapazität zum Anheben des Viertelstundenmittelwertes haben. Dieses Verfahren wurde deswegen gewählt, da sich so der Strom effizienter nutzen lässt. Hierzu werden die Lastgrenzen soweit angehoben, dass die Liegenschaften alle Energieverbraucher die zur Verfügung stehen wieder anschalten. Sollten keine Energieverbraucher mehr zum Zuschalten vorhanden sein, wird die fehlende Zuschaltlast durch das Teilmodell der Liegenschaft „Elbtunnel“ ergänzt.

Nachdem die Zuschaltlast aktiviert wurde, sollte beim nächsten Messintervall der Trend aufwärts gehen und sich innerhalb des Toleranzbands befinden. Ist dies eingetroffen, zeigt der „Dreipunktregler“ eine Null am Ausgang an. In diesem Fall werden die berechneten Einstellungen aus dem vorherigen Messintervall beibehalten. Wenn der Trend die obere Soll Summenlastgrenze berührt, sendet der „Dreipunktregler“ eine Eins aus. In diesem Fall wird die entstandene Regeldifferenz auf alle Liegenschaften verteilt. Für die Verteilung der Regeldifferenz muss abgefragt werden, ob noch positive Schaltlast am Elbtunnel aktiv ist, wenn dies zutrifft muss die Regeldifferenz davon abgezogen werden.

$$W_{\text{neue Regeldifferenz}}(t) = W_{\text{Regeldifferenz}}(t) - W_{\text{Schaltarbeit Elbtunnel}}(t-1) \quad (12)$$

Bei der Berechnung der Lastgrenzen und der Schaltlast muss zunächst die Summe aller verfügbaren Abschaltarbeiten der Liegenschaften ermittelt werden:

$$W_{\text{gesamt Abschaltarbeit}}(t) = \sum_1^n W_{\text{Abschaltarbeit Liegenschaft}}(t) \quad (13)$$

Mit Hilfe der Arbeitsregeldifferenz und der berechneten gesamten Abschaltarbeit, kann ein Verhältnisfaktor (Schaltfaktor) berechnet werden:

$$\text{Schaltfaktor}(t) = \frac{W_{\text{Regeldifferenz}}(t)}{W_{\text{gesamte Abschaltarbeit}}(t)} \quad (14)$$

In Fällen in denen der Schaltfaktor > 1 ist, wird er automatisch auf 1 gesetzt, denn es kann nur die verfügbare Abschaltarbeit in den Liegenschaften abgeschaltet werden. Es gilt also, dass der Schaltfaktor zwischen 0 und 1 liegt. Die Berechnung der Schaltarbeit für jede Liegenschaft ergibt sich dann zu:

$$W_{\text{Schaltarbeit Liegenschaft}}(t) = \text{Schaltfaktor}(t) \times W_{\text{Abschaltarbeit Liegenschaft}}(t) \quad (15)$$

Dadurch ist die Schaltarbeit jeder einzelnen Liegenschaft bekannt. Die Schaltarbeit wird verwendet, um die Lastgrenzen für die Liegenschaften zu berechnen. Zunächst wird mit der Schaltarbeit die Schaltlast für den Elbtunnel wie folgt berechnet:

$$P_{\text{Schaltlast Elbtunnel}}(t) = W_{\text{Schaltarbeit Elbtunnel}}(t) \times \frac{60}{15} \quad (16)$$

Damit die neuen anzusetzenden Lastgrenzen berechnet werden können, muss die Trendarbeit für die Viertelstunde der einzelnen Liegenschaften bekannt sein. Zur Berechnung der neuen Arbeitsgrenzen für jede Liegenschaft wird von der aktuellen Trendarbeit der Liegenschaft die berechnete Schaltarbeit für die Liegenschaft subtrahiert. Man erhält die neue Arbeitsgrenze also aus:

$$W_{\text{Arbeitsgrenze Liegenschaft}}(t) = W_{\text{Trendarbeit 15 min Liegenschaften}}(t) - W_{\text{Schaltarbeit Liegenschaft}}(t) \quad (17)$$

Wenn die neue Arbeitsgrenze berechnet wurde, wird diese in die neue Lastgrenze der Liegenschaft umgerechnet:

$$P_{\text{Lastgrenze Liegenschaften}}(t) = W_{\text{Arbeitsgrenze Liegenschaft}}(t) \times \frac{60}{15} \quad (18)$$

Wurden diese Berechnungen durchgeführt, werden die neuen Lastgrenzen an die Liegenschaften und die neue Schaltlast an den Elbtunnel weitergeleitet.

3.6.5 Auswertung der Regelennergien aus den Liegenschaften

Die Regelstrecke mit den Teilmodellen für die Liegenschaften wurde im Rahmen des Forschungsprojekts von der Firma Sumbi Ingenieure untersucht. Die Regelstrecke besteht aus insgesamt 121 Liegenschaften. Für 21 Liegenschaften von diesen 121 Liegenschaften wurde eine Lastmanagement-Anlage modelliert. Die restlichen 100 Liegenschaften wurden dem Energiesystem als Summenlastverlauf zugeführt. Im Modell wird von den 21 Liegenschaften nur der Großmarkt nicht in dieser Arbeit berücksichtigt. Zur Modellbildung wurden Begehungen in den Liegenschaften durchgeführt. Bei diesen Begehungen wurden die einzelnen Energieverbraucher für jede Liegenschaft aufgenommen. Diese Daten wurden von der Firma Sumbi Ingenieure ausgewertet und für diese Arbeit zur Verfügung gestellt. In der Tabelle 6 wurde anhand der historischen Lastverläufe die Spitzenlast für jede Liegenschaft bestimmt. Mit Hilfe der aufgenommenen Energieverbraucher wurde die mögliche Ab- bzw. Zuschaltlast ermittelt. Die Auswertung

ergab, dass bei einer Gesamtspitzenlast von ca. 40 MW eine mögliche Summenabschaltlast von ca. 9.6 MW und eine Summenzuschaltlast von ca. 7.9 MW durch die Liegenschaften erreicht werden kann. Dadurch kann die Gesamtspitzenlast bis auf etwa 30,4 MW verringert bzw. bis auf etwa 47,9 MW erhöht werden.

Tabelle 6: Zu- und Abschaltlast der Liegenschaften bei Spitzenlastbetrieb
Quelle: Sumbi Ing.

Liegenschaften	Spitzenlast MW	Abschaltlast MW	Zuschaltlast MW
UNI Campus	5,7	2	0
Großmarkt	3,39	0,8	1,5
Elbtunnel	2,54	2	6
HAW Berliner Tor	1,69	0,8	0
Landespolizeiverwaltung	1,22	0,7	0
UNI Botanik	0,91	0,35	0
Kunsthalle	0,88	0,5	0
Hygienisches Institut	0,816	0,28	0
Landesversicherungsanstalt	0,686	0,35	0
Gesamtschule Mümmelmannsberg	0,511	0,25	0
HAW Bergedorf	0,724	0,2	0
Staatsoper	0,852	0,15	0
Berufsschulzentrum Bergedorf	0,494	0,2	0
Gesamtschule Steilshoop	0,564	0,12	0
Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie	0,115	0,05	0
Angewandte Physik	0,8	0,1	0
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt	0,44	0,2	0
Experimental Physik	0,36	0,1	0
UNI Stellingen	0,308	0,04	0
Musikhalle	0,447	0,15	0
Planten & Blumen	0,588	0,26	0
Restliche Liegenschaften(100)	16,035	0	0
Summe	40,07	9,6	7,5

4 DETAILBESCHREIBUNG UND IMPLEMENTIERUNG DES MODELLS

In diesem Kapitel werden die Beschreibungen und die Implementierungen der einzelnen Teilmodelle vorgestellt. Für die Darstellung der Funktionsweise der Teilmodelle wurden keine Flowcharts erstellt, weil die Logik aus den Verschaltungen der einzelnen Simulink Blöcke gut nachvollziehbar ist.

4.1 Die Liegenschaft

Im Modell sind die Liegenschaften (bis auf dem Elbtunnel) einheitlich aufgebaut und in ihrer Funktionsweise identisch. So besteht das Teilmodell einer Liegenschaft stets aus den Teilmodellen „Lastmanagement-Anlage“ und dem Teilmodell für die abschaltbaren „Energieverbraucher“. In diesem Abschnitt werden daher die beiden Teilmodelle zunächst beschrieben. Dabei wird insbesondere herausgestellt, wo die entscheidenden Weiterentwicklungen zum Stand der vorangegangenen Masterarbeiten erfolgten.

4.1.1 Aufbau des Teilmodells einer Liegenschaft

Für den Aufbau der Liegenschaften im Modell wurde festgelegt, wie die Liegenschaften im Modell beschrieben werden sollen. Dazu musste überlegt werden, was für Eigenschaften und welche Eingangs- und Ausgangssignale eine Liegenschaft benötigt. Jedes Teilmodell einer Liegenschaft besteht aus einer Black Box. In der Abb. 19 ist die Black Box mit den Eingangs- und Ausgangssignalen für eine Liegenschaft dargestellt. Diese Black Box ist mit der ID und dem Namen der Liegenschaft gekennzeichnet.



Abbildung 19: Black Box einer Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Nachfolgend werden die Eingangs- und Ausgangssignale für das Teilmodell einer Liegenschaft erklärt:

- **„In Bus Tagesdaten“:** Dieses Eingangsbussignal gibt der Liegenschaft die spezifischen Tagesinformationen vor. Diese sind „Wochentag“, „Jahreszeit“, „Ferien- und Feiertag“ und „Temperatur“. Der genauere Aufbau und die Codierung sind im Kapitel 3.3 erläutert.
- **„In Aktuelle Minute des Tages“:** Mit dem Eingangssignal wird die aktuelle Minute des Tages an die Lastmanagement-Anlage und den Verbrauchern übergeben.
- **„In Tageslastverlauf“:** Dieses Eingangssignal beinhaltet den gemessenen Lastverlauf für den aktuellen Tag.
- **„In E-MAX Grenze“:** Dieses Eingangssignal wird vom Regler an die Liegenschaft übergeben und beinhaltet den Wert für die einzuhaltende Lastgrenze für die Lastmanagement-Anlage.
- **„Out Lastverlauf ohne LSM“:** Der Ausgangskanal gibt den Lastverlauf ohne Beeinflussung der Lastmanagement-Anlage aus. Es handelt sich um den Lastverlauf, der an dem Eingang In Tageslastverlauf vorliegt. Dieser stellt den realen Lastverlauf für den Tag da.
- **„Out Lastverlauf mit LMS“:** Dieser Ausgangskanal gibt den Lastverlauf mit Beeinflussung der Lastmanagement-Anlage aus. Hierbei wird die Summenabschaltlast, die von der Lastmanagement-Anlage aktiviert wurde, vom Tageslastverlauf abgezogen.
- **„Out Abschaltlast“:** Der Ausgangskanal gibt die Summe der Nennleistung als Abschaltlast aller Verbraucher in der Liegenschaft aus, wenn diese von der Lastmanagement-Anlage abgeschaltet wurden.
- **„Out verfügbare Zuschaltarbeit“:** Die verfügbare Zuschaltarbeit gibt die Summe der Zuschaltarbeiten aller Verbraucher an.
- **„Out verfügbare Abschaltarbeit“:** Die verfügbare Abschaltarbeit gibt die Summe der Abschaltarbeiten aller Verbraucher an.
- **„Out Trendarbeit“:** Der Ausgangskanal übergibt die Trendarbeit die in der Viertelstunde erreicht werden kann. Diese wird in jeder Minute neu berechnet.

Das Verhalten des Teilmodells einer Liegenschaft wird durch folgende Parameter beeinflusst:

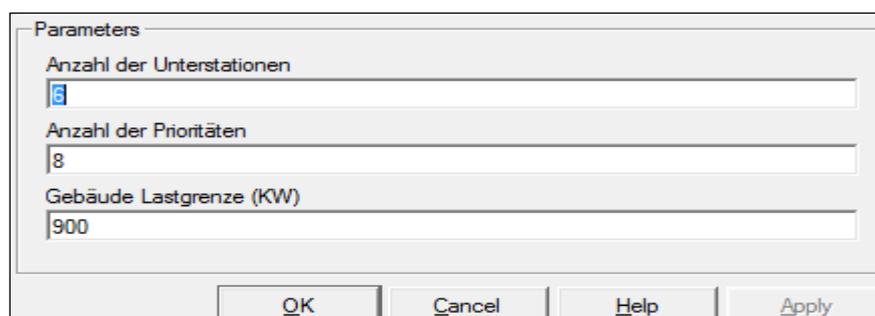
- **„Prioritäten“:** Dieser Parameter gibt die Anzahl der vorhandenen Prioritäten für die Liegenschaft an.
- **„Unterstation“:** Der Parameter gibt an wie viele Unterstationen in einer Liegenschaft vorhanden sind. An diese Unterstation sind die schaltbaren Energieverbraucher angeschlossen.
- **„Lastgrenze“:** Dieser Parameter gibt die ursprüngliche Lastgrenze an, die als Default Wert aktiv ist, solange vom Regler keine andere E-MAX Grenze vorgegeben ist.

Die Funktionsweise einer Liegenschaft sieht im Modell wie folgt aus:

Es wird für die Liegenschaft der reale Tageslastverlauf („In Tageslastverlauf“) verwendet. Dieser dient als Grundlage für die weiteren Berechnungen einer Liegenschaft. Der Tageslastverlauf wird bei Bedarf vom Regler um die Summenabschaltlast („Out Abschaltlast2) verringert, wodurch ein veränderter Lastverlauf („Lastverlauf mit LMS2) entsteht. Die Abschaltlast kann über die Lastmanagement-Anlage von den schaltbaren Energieverbrauchern abgerufen werden.

Im Folgenden wird nun die Implementierung einer Liegenschaft in MATLAB/Simulink erläutert.

Die Eingabemaske einer Liegenschaft lässt sich mit einem Doppelklick auf die Black Box öffnen. Über diese Eingabemaske werden die beschriebenen Parameter für das Verhalten des Teilmodells einer Liegenschaft festgelegt. Die Eingabemaske ist in der Abb. 20 dargestellt.



The image shows a 'Parameters' dialog box with the following content:

Parameter	Value
Anzahl der Unterstationen	6
Anzahl der Prioritäten	8
Gebäude Lastgrenze (KW)	900

Buttons: OK, Cancel, Help, Apply

Abbildung 20: Eingabe der Parameter für die Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Um in das Innere der Black Box zu gelangen muss mit einem Rechtsklick auf die Black Box das Kontextmenu aufgerufen werden. Wenn das Kontextmenu sichtbar ist, wird der Punkt „Look Under Mask“ angewählt. In der Abb. 21 ist der innere Aufbau einer Liegenschaft dargestellt. Diese setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Der erste Teil stellt das „Gebäude“ dar. In diesem Gebäude befinden sich die „Unterstationen“ mit den Energieverbrauchern. Der zweite Teil stellt die „Lastmanagement-Anlage“ dar. Über diese Lastmanagement-Anlage sollen die Energieverbraucher gesteuert werden. Jede Liegenschaft bekommt ihren Lastverlauf über das Signal „In Tageslastverlauf“. Wenn die Verbraucher von der Lastmanagement-Anlage abgeschaltet werden, wird dieses durch das Signal „Summenabschaltlast“ angezeigt. Die Summenabschaltlast wird vom Tageslastverlauf abgezogen. Dadurch ist es möglich den Tageslastverlauf zu ändern. Der daraus entstandene neue Lastverlauf wird der Lastmanagement-Anlage weitergeleitet. Die verfügbare Ab- und Zuschaltarbeit wird der Lastmanagement-Anlage vom Gebäude übergeben. Das Signal beinhaltet die Verbraucher sortiert nach Prioritäten und Unterstationen. Gleichzeitig wird die verfügbare Summenzuschaltarbeit und Summenabschaltarbeit für die Liegenschaft berechnet. Nachdem alle Ausgangssignale vorliegen, werden diese mit Hilfe eines Muxers⁴ zusammengeführt, über einen Scope ausgegeben und für eine spätere Auswertung in ein CSV-File geschrieben. Dieses CSV-File besitzt immer die ID und den Namen der Liegenschaft. Um die Signalverläufe besser nachverfolgen zu können, wurden die Signale mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet.

⁴ Ein Muxer ist eine Schaltung die nacheinander bestimmte Eingangssignale an ihren Ausgang weitergibt.

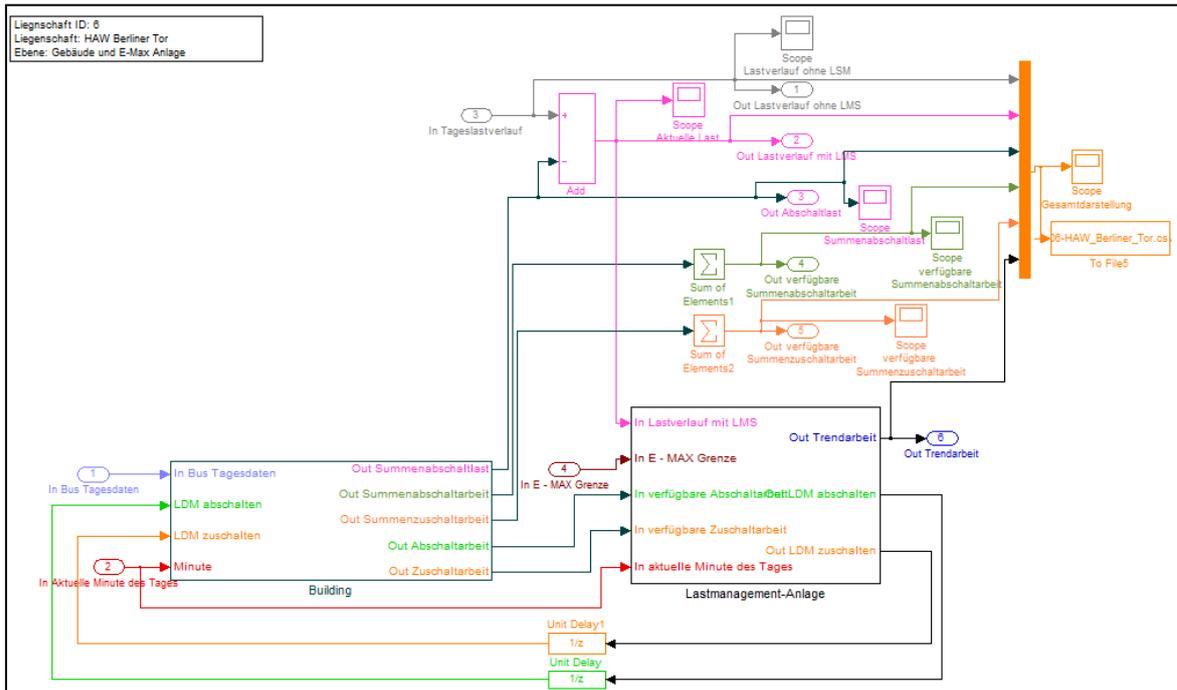


Abbildung 21: Innerer Aufbau der Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Um in die Black Box „Gebäude“ zu gelangen, muss mit einem Doppelklick die Box aktiviert werden. Die innere Struktur des Gebäudes ist in der Abb. 22 dargestellt. Das Gebäude hat die Eingänge In „Bus Tagesdaten“, In „Aktuelle Minute des Tages“, „LDM zuschalten“ und „LDM abschalten“. Ein Busselektor trennt das Bussignal „LDM zu- und abschalten“ für die einzelnen Unterstationen. Damit die Unterstationen richtig angesprochen werden können, muss über eine Eingabemaske die ID für die Unterstation festgelegt werden. Durch diese ID wissen die Energieverbraucher zu welcher Unterstation sie gehören. Außerdem werden die Signale „Aktuelle Minute des Tages“ und „Bus Tagesdaten“ an die Unterstationen weitergeleitet. Die Ausgänge „Out Summenabschaltlast“, „Out Abschaltarbeit“ und „Out Zuschaltarbeit“ sind zusammengeführte jeweilige Werte der einzelnen Unterstationen. Dabei wird die Abschaltlast aus jeder Unterstation über einen Addierer zur Summenabschaltlast der Liegenschaft aufaddiert. Die Zu- und Abschaltarbeit wird für beide Signale jeweils über einen Muxer zusammengeführt. Über dieses Signal melden die jeweiligen Energieverbraucher in welcher Unterstation mit welcher Priorität wie viel Ab- bzw. Zuschaltarbeit anliegt. Nach dem alle Verbraucher aus allen Unterstationen über einen Muxer geschaltet wurden, wird dieses Signal ein weiteres Mal auf einen Muxer geführt, zusammen mit dem Eingangsparameter der Liegenschaft für die „Anzahl der Unterstationen“ und der „Anzahl der Prioritäten“. Mit Hilfe der MATLAB Funktion-Box

wird die Funktion „get_matrix“ aufgerufen. Diese sortiert die Verbraucher so, dass eine Matrix entsteht die nach Unterstationen zu Prioritäten aufgebaut ist. In diesen Matrixfeldern steht dann die jeweilige zur Verfügung stehende Zu- bzw. Abschaltarbeit. Diese Zustandsmatrix wird an die „Lastmanagement-Anlage“ übergeben.

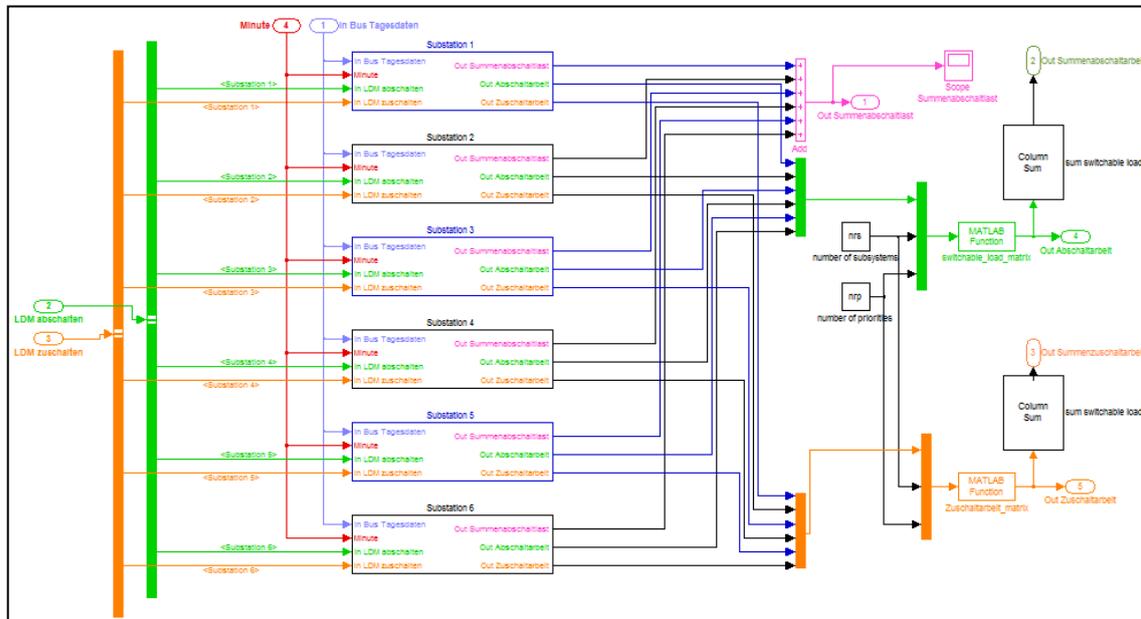


Abbildung 22: Innere Struktur des Gebäudes der Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Um in das Innere der Black Box „Unterstation“ zu gelangen muss mit Rechtsklick auf die Black Box das Kontextmenu aufgerufen werden. Wenn das Kontextmenu sichtbar ist, wird der Punkt „Look Under Mask“ ausgewählt. Das Innere der Black Box „Unterstation“ ist in der Abb. 23 dargestellt. In dieser Ebene befinden sich die einzelnen Verbraucher die zu einer Unterstation zusammengehören. Die Eingangssignale „aktuelle Minute des Tages“ und „Bus Tagesdaten“ sind mit jedem Verbraucher verbunden. Die Signale „LDM zuschalten“ und „LDM abschalten“ sind nochmals auf einen Busselektor geschaltet. Mit diesem Busselektor lassen sich eine der vorhandenen Prioritäten auswählen mit der der Verbraucher verbunden werden soll. Für das Ausgangssignal „Summenabschaltlast“ wird die Summenabschaltlast von allen Verbrauchern ausgegeben. Dieses wird über ein Scope ausgegeben. Die Ausgangssignale werden wieder wie in der oberen Schicht zusammengeschaltet. Die Zu- und Abschaltarbeit wird für beide Signale jeweils über einen Muxer zusammengeschaltet. Über dieses Signal melden die jeweiligen Verbraucher in welcher Unterstation mit welcher Priorität wie viel Ab- bzw. Zuschaltarbeit anliegt.

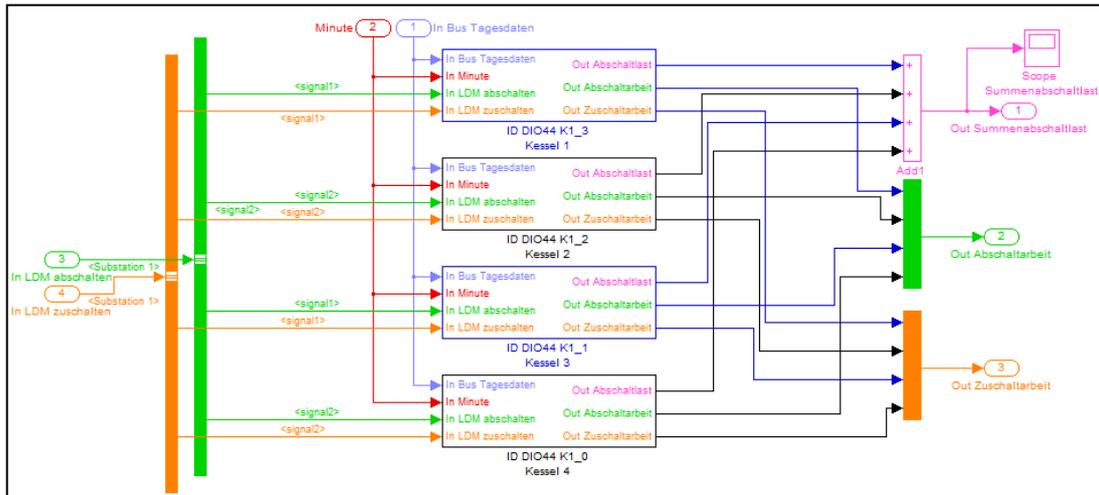


Abbildung 23: Inneren Struktur einer Unterstation der Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

4.1.2 Aufbau des Teilmodells einer Lastmanagement-Anlage

Das Teilmodell „Lastmanagement-Anlage“ muss im Modell mit dem Teilmodell des Aufbaus einer Liegenschaft zusammengebracht werden. Dafür wurden die Parameter, die Eingangs- und Ausgangssignale für eine Lastmanagement-Anlage entsprechend definiert. In der Abbildung 24 ist die Black Box mit den Eingangs- und Ausgangssignalen für das Teilmodell „Lastmanagement-Anlage“ dargestellt.



Abbildung 24: Black Box einer Lastmanagement-Anlage aus einer Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Nachfolgend werden die Eingangs- und Ausgangssignale des Teilmodells „Lastmanagement-Anlage“ beschrieben:

- **„In Lastverlauf mit LMS“:** Das Eingangssignal gibt der Lastmanagement-Anlage die aktuelle Last pro Minute an.
- **„In E-MAX Grenze“:** Das Eingangssignal legt die Lastgrenze fest, welche vom Regler vorgegeben wird. Der Lastverlauf soll nicht die Lastgrenze überschreiten.
- **„In verfügbare Abschaltarbeit“:** Das Eingangssignal gibt die verfügbare Abschaltarbeit in einer Matrix an. Diese Eingangsmatrix ist aufgebaut nach Unterstation und Prioritäten. Anhand dieser Eingangsmatrix bestimmt die Lastmanagement-Anlage, in welcher Unterstation welche Priorität abzuschalten ist.

- **„In verfügbare Zuschaltarbeit“:** Das Eingangsbussignal gibt die verfügbare Zuschaltarbeit in einer Matrix an. Diese Eingangsmatrix ist genauso aufgebaut wie im vorangegangenen Fall. Anhand dieser Eingangsmatrix bestimmt die Lastmanagement-Anlage, in welcher Unterstation welche Priorität anzuschalten ist.
- **„In Aktuelle Minute des Tages“:** Dieses Eingangssignal gibt die aktuelle Minute des Tages an die Lastmanagement-Anlage weiter. Mit der aktuellen Minute des Tages wird die Trendarbeit für die Viertelstunde berechnet.
- **„Out Trendarbeit“:** Das Ausgangssignal gibt die Trendarbeit für die aktuelle Viertelstunde aus. Die Trendarbeit wird mit Hilfe der Lastwerte aus dem Signal „Lastverlauf mit LMS“ von der Lastmanagement-Anlage für jede Minute neu berechnet.
- **„Out LDM abschalten“:** Das Ausgangsbussignal ist eine Matrix, welche aufgebaut ist nach Unterstation und Priorität. Die Matrix gibt an in welchen Unterstationen welche Prioritäten abzuschalten sind. Dieses Ausgangssignal wird im Folgenden „Abschaltmatrix“ genannt. Durch die Abschaltmatrix werden die Energieverbraucher angesprochen.
- **„Out LDM zuschalten“:** Das Ausgangsbussignal ist eine Matrix, welche nach Unterstation und Priorität aufgebaut ist. Dieses gibt an in welchen Unterstationen welche Prioritäten anzuschalten sind. Dieses Ausgangsbussignal wird im Folgenden „Zuschaltmatrix“ genannt. Durch die Zuschaltmatrix werden die Energieverbraucher angesprochen.

Das Verhalten des Teilmodells einer „Lastmanagement-Anlage“ wird von folgenden Parametern beeinflusst:

- **„Priorität“:** Der Parameter gibt an wie viele Prioritäten die Lastmanagement-Anlage zur Verfügung hat, um die Energieverbraucher anzusprechen. Dieser Parameter wird für die Erzeugung der Ab- und Zuschaltmatrix benötigt.
- **„Unterstation“:** Dieser Parameter legt die Anzahl der Unterstationen für die jeweilige Liegenschaft fest. Diese wird benötigt, um die Energieverbraucher anzusprechen die sich an den jeweiligen Unterstationen befinden. Dieser Parameter wird für die Erzeugung der Ab- und Zuschaltmatrix benötigt.
- **„Lastgrenze“:** Dieser Parameter gibt die Lastgrenze für die Liegenschaft vor und gilt nur dann, wenn keine E-MAX Grenze vom Regler vorgegeben wird.

Die Funktionsweise einer Lastmanagement-Anlage sieht im Modell wie folgt aus:

Die Lastmanagement-Anlage berechnet aus dem aktuellen Lastverlauf (Eingangssignal „Lastverlauf mit LMS“) und der aktuellen Minute des Tages (Eingangssignal „In aktuelle Minute des Tages“) die Trendarbeit für die aktuelle Viertelstunde. Die Methode zur Berechnung der Trendarbeit wurde Masterarbeit [25] übernommen und wird in Kapitel 3.6.3 beschrieben.

Die Lastgrenze wird von dem Regler (Eingangssignal „In E-Max Grenze“) vorgegeben. Wenn der übergeordnete Regler keiner Lastgrenze vorgibt, wird die eingestellte Lastgrenze (der Parameter „Lastgrenze“) verwendet. Die eingestellte Lastgrenze soll verwendet werden, wenn das Verhalten einer Liegenschaft nur für sich betrachtet werden soll. Die Lastgrenze muss in einen Viertelstunden-Arbeitsgrenzwert umgerechnet werden. Die Trendarbeit der Viertelstunde wird von dem Arbeitsgrenzwert der Viertelstunde subtrahiert.

Die daraus resultierende Differenz bildet die sogenannte Schaltarbeit. Wenn die Schaltarbeit positiv ist, müssen die Energieverbraucher abgeschaltet werden. Es wird die verfügbare Abschaltarbeit der Energieverbraucher, die nach Unterstation zu Priorität sortiert sind, verwendet und zusätzlich dazu die Schaltarbeit. Die Prioritäten werden in aufsteigender Reihenfolge der Unterstationen abgeschaltet bis die Schaltarbeit abgedeckt ist. Das Ausgangsbussignal ist in einer Matrix nach Unterstation zu Priorität aufgebaut. Diese Matrix wird auch Abschaltmatrix genannt. Die Abschaltmatrix kann nur den Wert null oder eins annehmen. Die Null steht für das Ausschalten und die Eins für das Nicht-Eingreifen in den Energieverbraucher. Die Abschaltmatrix wird über das Bussignal „LDM abschalten“ ausgegeben und ist mit den Energieverbrauchern verbunden.

Wenn die Schaltarbeit einen eingestellten negativen Wert überschreitet, werden die Energieverbraucher wieder zugeschaltet. Es wird die verfügbare Zuschaltarbeit der Energieverbraucher, die nach Unterstation zu Priorität sortiert sind, verwendet und die Schaltarbeit. Die Prioritäten werden in absteigender Reihenfolge der Unterstationen zugeschaltet bis die Schaltarbeit abgedeckt ist. Dieses Ausgangsbussignal ist wieder eine Matrix, die nach Unterstation zu Priorität aufgebaut ist. Die „Zuschaltmatrix“ besteht aus den Werten null und eins. Die Eins steht für das Zuschalten und die Null steht für das Nicht-Eingreifen in den Energieverbraucher. Die Zuschaltmatrix wird über das Bussignal „LDM zuschalten“ ausgegeben und ist mit den Energieverbrauchern verbunden.

In der Abb. 25 wird der Signalverlauf für eine Lastmanagement-Anlage dargestellt. Sie zeigt wie die Abschaltmatrix berechnet wird. In der Abbildung wird angenommen, dass die berechnete Trendarbeit bei 1.050 kWh und die E-Max Grenze bei 1.000 kWh liegt. Die Differenz zwischen den beiden beträgt 50 kWh. Die Lastmanagement-Anlage muss die Priorität 1 aus den Unterstationen 1, 2 und 4 und die Priorität 2 aus der Unterstation 1 aktivieren. Die Summe aus den aktivierten Prioritäten beträgt 61 kWh. Dadurch ist die Schaltarbeit abgedeckt. Diese wird in der Abschaltmatrix, wie in der Abb. 25 rechts ersichtlich, ausgegeben.

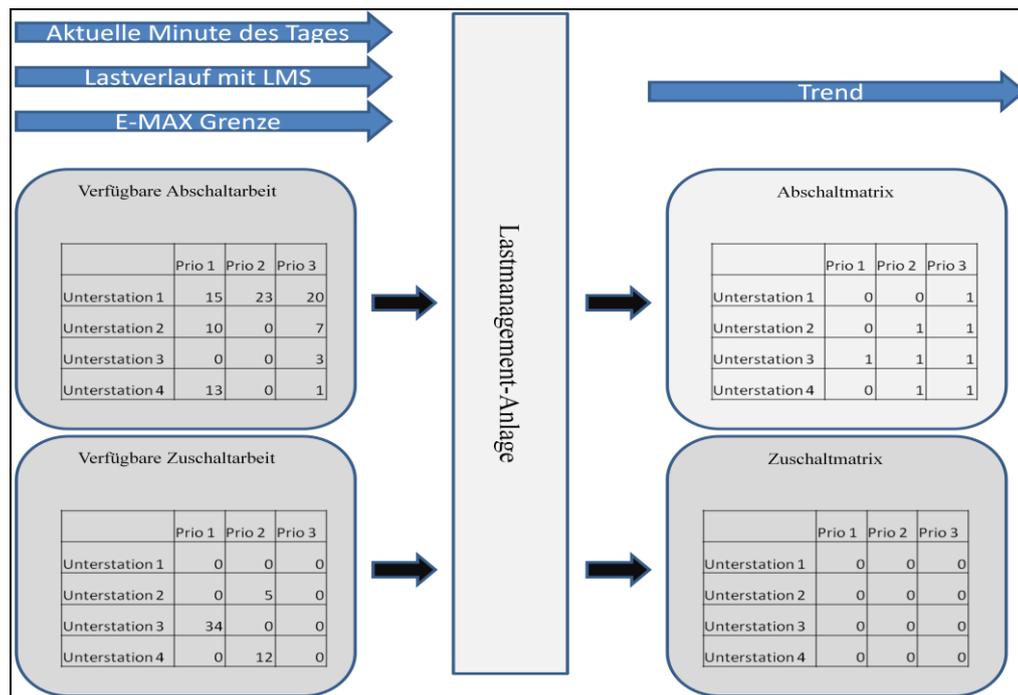


Abbildung 25: Berechnung der Abschaltmatrix
Quelle: Eigene Darstellung

Nachfolgend wird die Implementierung des Teilmodells einer Lastmanagement-Anlage erklärt. Für die Umsetzung der Funktionsweise des Teilmodells einer Lastmanagement-Anlage wurde die Black Box wie folgt aufgebaut.

Per Doppelklick auf die Black Box „E-MAX Anlage“ gelangt man in das Innere der Black Box. Der innere Aufbau der Black Box ist in der Abb. 26 dargestellt. Sie besteht aus den Black Boxen „Regeldifferenz“, „E-MAX Anlage abschalten“ und „E-MAX Anlage zuschalten“.

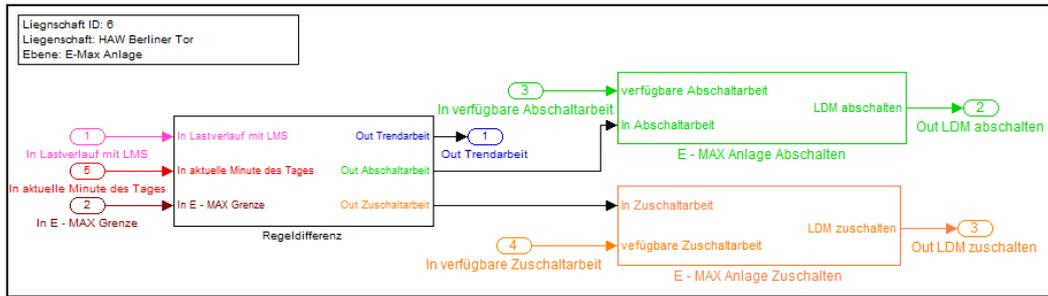


Abbildung 26: Aufbau der Lastmanagement-Anlage der Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Das Innere der Black Box „Regeldifferenz“ ist in der Abb. 27 dargestellt. Die E-MAX Grenze wird mittels einer Umrechnungsbox vom Leistungswert in einen Arbeitswert für die Viertelstunde umgerechnet. Mit der anliegenden Summenlast und der aktuellen Minute des Tages wird die Trendarbeit für die Viertelstunde berechnet. Diese wird von der umgerechneten E-Max Grenze subtrahiert. Die daraus resultierende Differenz wird für zwei Fälle betrachtet. Ist die Differenz größer gleich 0 kWh, wird aus der Differenzarbeit die Abschaltarbeit und die Zuschaltarbeit beträgt null. Ist die Differenz kleiner -50 kWh, wird die Differenzarbeit zur Zuschaltarbeit und die Abschaltarbeit beträgt null. Es wurde bewusst dieser Puffer zwischen -50 kWh und 0 kWh gewählt, da sonst nicht die Lastgrenzen richtig von der Liegenschaft eingehalten werden können.

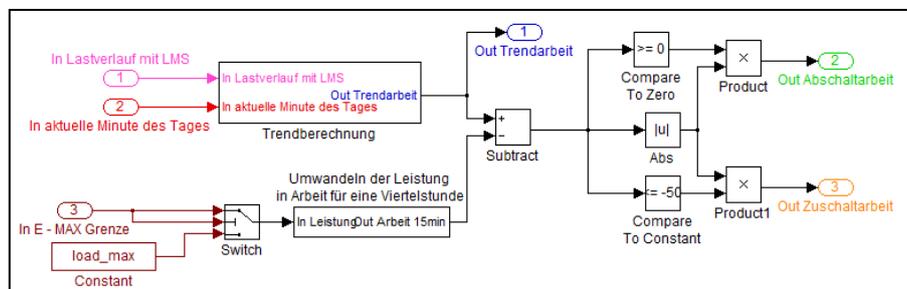


Abbildung 27: Aufbau Regeldifferenz aus der Lastmanagement Anlage der Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Die Abb. 28 zeigt wie die Trendarbeit berechnet wird. Hierfür wird eine Funktion box aus MATLAB/Simulink verwendet. Mit dieser Box lassen sich geschriebene Funktionen (als Programmcode) in ein Modell einbinden. In diesem Fall heißt diese Funktion „estimate.m“. Damit die Funktion in das Modell eingebunden werden kann, muss die Funktion „estimate.m“ in der Zeile „MATLAB function“ eingetragen werden. Diese Funktion konnte aus der Masterarbeit [25] unverändert übernommen werden. Die Script-Datei der Funktion kann im Anhang 8.2 nachgelesen werden. Die Funktion benötigt die aktuelle Last, die aktuelle Minute des Tages und die Summe der geleisteten Arbeit innerhalb einer Viertelstunde. Mit Hilfe dieser Daten wird die Trendarbeit für die

Viertelstunde und die gesamte geleistete Arbeit in der Viertelstunde berechnet. In dem Kapitel 3.2 ist die Trendberechnung erläutert

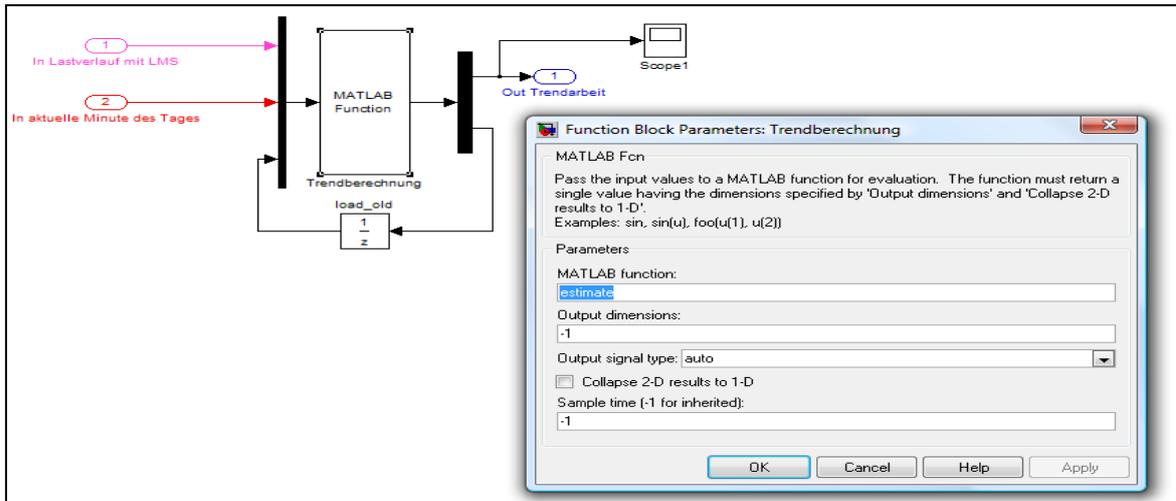


Abbildung 28: Aufbau der Trendarbeit in der Lastmanagement-Anlage der Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Die Black Box „E-MAX Anlage abschalten“ und die Black Box „E-MAX Anlage zuschalten“ ist identisch aufgebaut. Aus diesem Grund wird der Aufbau anhand der „E-MAX Anlage abschalten“ beschrieben. Die Black Box ist in der Abb. 29 dargestellt. Dem Regler werden die Eingangssignale Abschaltarbeit und verfügbare Abschaltarbeit übergeben, anhand dieser Werte wird eine Schaltmatrix für die einzelnen Verbraucher berechnet. Diese Schaltmatrix wird mit einem Demuxer aufgesplittet. Die Signale werden in Reihenfolge der Prioritäten für jede Unterstation über Busselektor zusammenschaltet und als Ausgangssignal LDM abschalten weitergeleitet.

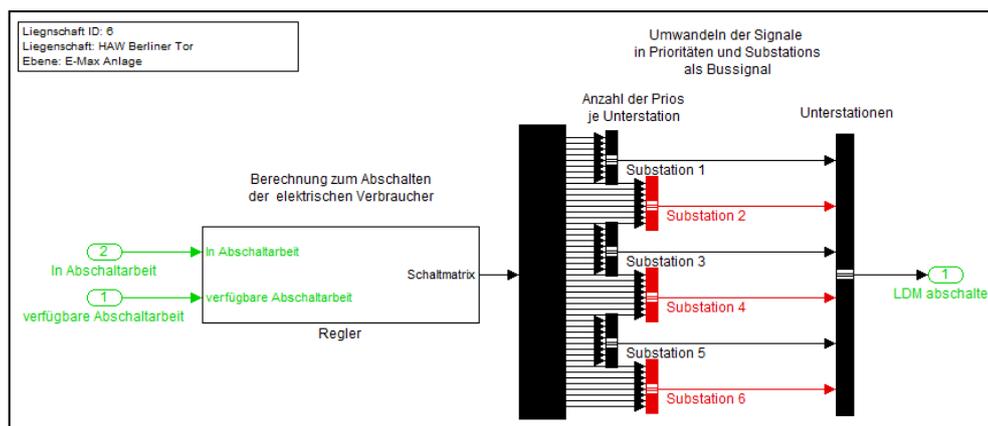


Abbildung 29: Aufbau der E-MAX Anlage abschalten aus der Lastmanagement-Anlage der Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Die Black Box „Regler“ ist in der Abb. 30 dargestellt. Damit die Schaltmatrix berechnet werden kann, wird eine Funktionsbox aus MATLAB/Simulink verwendet. Diese benötigt die Eingangssignale „Abschaltarbeit“, „Anzahl der Unterstationen“, „Anzahl der Prioritäten“ und die „verfügbare Abschaltarbeit“. Für die Berechnung der Schaltmatrix wird die Priorität aufsteigend für jede Unterstation durchlaufen. Wenn die berechnete Abschaltarbeit erreicht wird, werden die anderen Prioritäten aus den Unterstationen nicht angesprochen. Die Schaltmatrix kann entweder den Wert eins oder null annehmen. Für eins gilt, dass der Verbraucher nicht abgeschaltet wird und für null, dass er abgeschaltet wird. Die Funktion für die Berechnung der Schaltmatrix hat den Namen „Abschaltbox.m“. Die Black Box „E-MAX Anlage zuschalten“ berechnet die Schaltmatrix in umgekehrter Reihenfolge der Prioritäten wie in der Black Box „E-MAX Anlage abschalten“. Die Funktion für die Berechnung dieser Schaltmatrix hat den Namen „Zuschaltbox.m“. Die Funktionen können im Anhang 8.2 nachgeschaut werden.

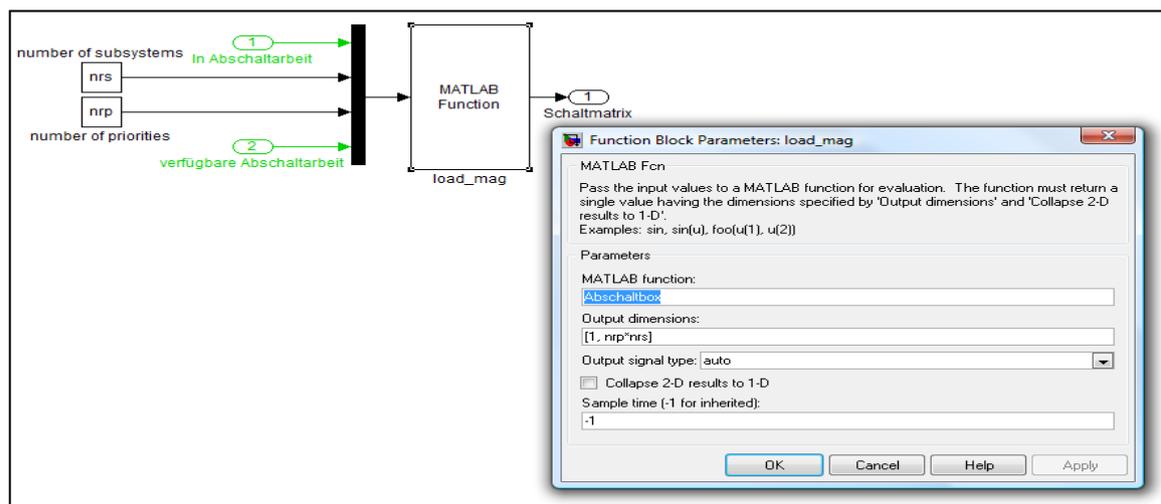


Abbildung 30: Aufbau Regler aus der Lastmanagement-Anlage der Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

4.1.3 Aufbau des Teilmodells eines Energieverbrauchers

Das Teilmodell „Energieverbraucher“ muss im Modell mit dem Teilmodell des Aufbaus einer Liegenschaft zusammengebracht werden. Dabei musste eine Kommunikation zwischen dem Teilmodell „Energieverbraucher“ und dem Teilmodell „Lastmanagement-Anlage“ hergestellt werden. Im Modell ist es möglich Verbrauchergruppen mittels der Teilmodelle „Unterstationen“ zu bilden. Diese Verbrauchergruppen werden nur von dem Teilmodell einer Lastmanagement-Anlage ein- oder ausgeschaltet. Die Lastgänge der Verbrauchergruppen können über die Lastmanagement-Anlage so beeinflusst werden, dass es zu keiner Überschreitung des maximalen Leistungswertes kommt. In der Abb. 31 ist

die Black Box mit ihren Eingangs- und Ausgangssignalen für das Teilmodell eines Energieverbrauchers dargestellt.

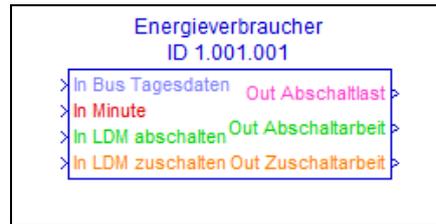


Abbildung 31: Black Box Energieverbraucher einer Liegenschaft
Quelle: Eigene Darstellung

Das Verhalten des Teilmodells „Energieverbraucher“ wird durch folgende Parameter beeinflusst:

- **„Leistung“:** Dieser Parameter beschreibt die tatsächliche Leistung des Energieverbrauchers.
- **„Priorität“:** Der Parameter legt fest, ab wann die Lastmanagement-Anlage den Energieverbraucher abschaltet. Bei Bedarf werden Lasten anhand der Prioritätenliste solange zu- oder abgeschaltet bis keine Lasten mehr ab- bzw. zugeschaltet werden können.
- **„Minimale Abschaltzeit“:** Dieser Parameter definiert ein Zeitintervall. Hierbei wird festgelegt, wie lange der Energieverbraucher mindesten für die Leistungsreduktion abzuschalten ist. Erst danach kann er wieder angeschaltet werden.
- **„Maximale Abschaltzeit“:** Der Parameter definiert ein Zeitintervall. Mit diesem wird festgelegt, wie lange der Energieverbraucher maximal für die Leistungsreduktion abzuschalten ist. Danach muss der Verbraucher wieder angeschaltet werden.
- **„Minimale Einschaltzeit“:** Dieser Parameter definiert das Zeitintervall, in dem der Energieverbraucher mindestens laufen muss bevor dieser wieder abgeschaltet werden darf.
- **„Einschaltzeit“:** Der Parameter gibt an, ab welcher Tageszeit der Energieverbraucher betrieben wird und damit für die Leistungsreduktion zur Verfügung steht. Dieser Parameter wird jeweils in Stunde und Minute eingegeben.
- **„Ausschaltzeit“:** Dieser Parameter beschreibt bis zu welcher Tageszeit der Energieverbraucher für die Leistungsreduktion zur Verfügung steht. Dieser Parameter wird jeweils in Stunde und Minute eingegeben

- **„Wochentag“:** Diese Parameter legen fest an welchen Wochentagen der Energieverbraucher betrieben wird und damit für die Leistungsreduktion zur Verfügung steht. Hierbei lassen sich die Tage von Montag bis Sonntag auswählen.
- **„Jahreszeit“:** Mit diesem Parameter wird festgelegt zu welcher Jahreszeit der Energieverbraucher für die Leistungsreduktion verfügbar ist. Hierbei lassen sich die Jahreszeiten Frühling, Sommer, Herbst und Winter auswählen.
- **„Ferien- und Feiertag“:** Dieser Parameter beschreibt, ob der Energieverbraucher betrieben wird und damit an einem Ferien- oder Feiertag zur Leistungsreduktion verfügbar ist.
- **„Temperatur“:** Mit diesem Parameter wird beschrieben in welchem Temperaturbereich der Energieverbraucher betrieben wird und damit für die Leistungsreduktion zur Verfügung steht. Dies muss mit einer Start- und End-Temperatur definiert werden.
- **„sid“:** Der Parameter gibt dem Energieverbraucher an, an welche Unterstation er angeschlossen ist.

Nachstehend werden die Eingangs- und Ausgangssignale des Teilmodells „Energieverbraucher“ dargestellt:

- **„In Bus Tagesdaten“:** Das Eingangsbussignal übergibt dem Energieverbraucher die tagesspezifischen Informationen, wie Wochentag, Jahreszeit, Ferien- und Feiertag und Temperatur. Mit den genannten eingestellten Parametern werden die Tagesdaten verglichen und der Verbraucher „weiß“, ob er an dem Tag für die Lastmanagement-Anlage zur Verfügung steht. Der Aufbau und die Codierung der Daten sind in Kapitel 3.3 beschrieben.
- **„In Minute“:** Dieses Eingangssignal gibt die aktuelle Minute des Tages für den Energieverbraucher an. Die Uhrzeit wird mit den Parametern Ein- und Ausschaltzeit verglichen und der Verbraucher weiß, ob er an dem Tag für die Lastmanagement-Anlage zur Verfügung steht.
- **„In LDM abschalten“:** Das Eingangssignal meldet von der Lastmanagement Anlage aus, wann der Energieverbraucher ausgeschaltet wird.
- **„In LDM zuschalten“:** Dieses Eingangssignal meldet von der Lastmanagement-Anlage aus, wann der Energieverbraucher wieder angeschaltet wird. Dies kann nur

geschehen, wenn der Energieverbraucher sich zwischen der minimalen und maximalen Abschaltzeit befindet.

- **„Out Abschaltlast“:** Das Ausgangssignal gibt die tatsächliche Leistung als Abschaltlast des Energieverbrauchers aus, wenn dieser von der Lastmanagement-Anlage abgeschaltet wird. Diese Abschaltlast wird von dem aktuellen Lastverlauf abgezogen, somit wird der Leistungswert eingehalten.
- **Out „Abschaltarbeit“:** Dieses Ausgangssignal teilt der Lastmanagement-Anlage mit wie viel Abschaltarbeit in welcher Unterstation und in welcher Priorität noch für den Rest der Viertelstunde vorliegt.
- **„Out Zuschaltarbeit“:** Das Ausgangssignal teilt der Lastmanagement-Anlage mit wie viel Zuschaltarbeit in welcher Unterstation und in welcher Priorität noch für den Rest der Viertelstunde vorliegt, bevor die maximale Abschaltzeit abgelaufen ist.

Die Funktionsweise eines Energieverbrauchers sieht im Modell wie folgt aus:

Der Energieverbraucher kann in seiner Tätigkeit durch bestimmte Parameter beeinflusst werden. Diese Parameter sind die Startzeit und der Endzeitpunkt des täglichen Betriebs, die Wochentage, die Jahreszeiten, Ferien- und Feiertag und ggf. die Außentemperaturabhängigkeit des Betriebs. Mit Hilfe dieser Parameter lässt sich der Energieverbraucher in seinen Betriebszeiten definieren. Diese Parameter werden mit den Tagesdaten (In Bus Tagesdaten) verglichen. Nur wenn die ausgewählten Parameter mit den Tagesdaten und der passenden Betriebszeit (= Minute des Tages) übereinstimmen steht der Energieverbraucher für die Lastmanagement-Anlage zur Verfügung. Die Parameter „minimale Laufzeit“, „minimale und maximale Abschaltzeit“, die „Priorität“, die „Unterstation“ und die „Leistung“ stellen die Einflussgrößen für die mögliche Abschaltarbeit eines Energieverbrauchers dar.

Durch den Abschalt- bzw. Zuschalteingang wird der Energieverbraucher von der Lastmanagement-Anlage aus- bzw. angeschaltet. Wird der Energieverbraucher von der Lastmanagement-Anlage ausgeschaltet, gibt der Energieverbraucher die eingestellte Leistung als Abschaltlast aus. Der Energieverbraucher muss die minimale Abschaltzeit einhalten und kann bis zur maximalen Abschaltzeit ausgeschaltet bleiben. Wenn zwischen der minimalen und maximalen Abschaltzeit die Lastmanagement-Anlage über den Zuschalteingang den Verbraucher anschaltet, wird dieser automatisch nach dem Erreichen

der maximalen Abschaltzeit wieder angeschaltet und die Abschaltlast ist null. Die Berechnung der Abschaltarbeit erfolgt über die restliche Zeit für eine Viertelstunde, die maximale Abschaltzeit und der Leistung für den Energieverbraucher. Die Zuschaltarbeit kann nur im Intervall zwischen der minimalen und maximalen Abschaltzeit berechnet werden. Dazu werden die Parameter Leistung und die restlichen Minuten der Viertelstunde benötigt. Die Ab- und Zuschaltarbeit wird jeweils mit der Priorität und der Unterstation versehen.

Es werden alle Energieverbraucher jeweils mit ihrer Ab- und Zuschaltarbeit über ein Bussignal zusammengeführt. Dieses Bussignal wird an einen Sortierer angeschlossen. Dieser Sortierer erstellt eine Matrix, die nach Unterstation zu Prioritäten aufgebaut ist. Anhand dieser Matrix wird die jeweilige Ab- und Zuschaltarbeit der Energieverbraucher eingeordnet und aufaddiert. In der folgenden Abb. 32 werden die einzelnen Energieverbraucher über den Sortierer für die Lastmanagement-Anlage aufbereitet. Hierbei wird das soeben beschriebene Prinzip für die Abschaltarbeit aufgezeigt.

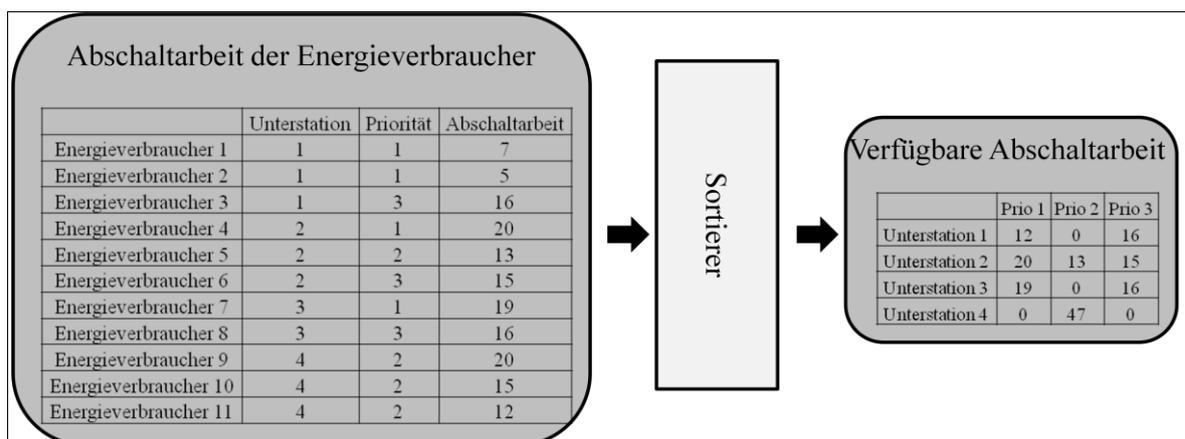


Abbildung 32: Berechnung der verfügbaren Abschaltarbeit der einzelnen Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

Zur Sicherstellung der Funktionsweise eines Energieverbrauchers wurde der Energieverbraucher in der Implementierung wie folgt aufgebaut.

Die Eingabemaske eines Energieverbrauchers wird mit einem Doppelklick auf den Verbraucher geöffnet. Mit Hilfe der Eingabemaske werden die beschriebenen Parameter für das Verhalten des Energieverbrauchers festgelegt. Jeder Energieverbraucher kann in seinem Verhalten beliebig eingestellt werden. Diese Eingabemaske ist in der Abb. 33 dargestellt. Die Ein- und Ausschaltzeit wird über die Eingabefelder „Start Hour“ und „Start Min“ und „End Hour“ und „End Min“ festgelegt. Hierbei muss die Einschaltzeit kleiner als

die Ausschaltzeit sein, z. B. Start Hour = 10, Start Min = 30, End Hour = 20, End Min = 30, dies ergibt den Zeitraum 10:30 Uhr bis 20:30 Uhr in dem der Verbraucher zur Verfügung steht. Die „Minimum Running Time“ (im Folgenden „MRT“ abgekürzt), die „Minimum Shutdown Time“ (im Folgenden „MinST“ abgekürzt) und die „Maximum Shutdown Time“ (im Folgenden „MST“ oder „MaxSt“) werden in ganzen Minuten angegeben. Die „Minimum Running Time“ beschreibt die minimale Laufzeit. Die „Minimum“ und „Maximum Shutdown Time“ beschreibt die minimale und maximale Abschaltzeit. Das Eingabefeld „Power“ gibt die Leistung in kW an. Die Priorität wird in „Prio“ festgelegt. Diese muss immer gleich sein mit der des anliegenden Signals in „LDM ab- und zuschalten“, Sonst kann der Verbraucher nicht richtig angesprochen werden. Die nächsten Einstellungen sind die Enable Kästchen für Wochentage, Jahreszeiten und Ferien- und Feiertag. Durch diese Kästen kann spezifisch ausgewählt werden, wann der Verbraucher zur Verfügung steht. Wird das Enable Kästchen für „Temp Enable“ aktiviert, muss mit „Temp Start“ eine Starttemperatur und mit „Temp End“ eine Endtemperatur definiert werden.

The image shows a software configuration window with two panes. The left pane, titled 'Subsystem (mask)', contains a 'Parameters' section with the following fields: Start Hour (0), Start Min (0), End Hour (24), End Min (1), Minimum Running Time (min) (11), Minimum Shutdown Time (min) (3), Maximum Shutdown Time (min) (10), Power (KW) (60), and Prio (1). The right pane contains a list of days (Montag, Dienstag, Mittwoch, Donnerstag, Freitag, Samstag, Sonntag) and seasons (Sommer, Herbst, Winter, Frühling) with checkboxes, and Temp Start (0) and Temp Ende (0) fields. Both panes have OK, Cancel, Help, and Apply buttons at the bottom.

Abbildung 33: Eingabe für die Parameter des Verbrauchers

Quelle: Eigene Darstellung

Um in das Innere der Black Box eines Verbrauchers zu gelangen muss mit Rechtsklick auf die Black Box das Kontextmenu aufgerufen werden. Wenn das Kontextmenu sichtbar ist, wird der Punkt „Look Under Mask“ ausgewählt. Der Innere Aufbau des Verbrauchers ist

in der Abb. 34 dargestellt und ist in vier verschiedene Boxen aufgeteilt. Hierbei handelt es sich um die Black Boxen „work_time“, „Timer“, „Last und Arbeit“ und „Unterstation und Priorität“. Die Black Box „work_time“ überprüft anhand der eingestellten Parameter der Eingangsmaske und der Eingänge Bus Tagesdaten und aktuelle Minute des Tages, wann der Verbraucher für die Lastmanagement-Anlage zur Verfügung steht. Mit Hilfe des Signals „Arbeitszeit“ werden die Black Boxen Timer und Last und Arbeit aktiviert. Das Signal Startimpuls soll die Black Box Timer starten und das Signal Endimpuls soll die Black Box Timer reseten.

Die Black Box „Timer“ achtet auf die eingestellten Mindestlauf und Abschaltzeiten sowie die maximale Abschaltzeit aus den eingestellten Parametern der Eingangsmaske des Verbrauchers. Erst wenn die die Black Box „Timer“ den Verbraucher freigibt (also die Lauf und Abschaltzeiten eingehalten wurden), kann über die Eingangssignale „LDM zu- bzw. LDM abschalten“ der Verbraucher an- oder ausgeschaltet werden. Nachdem über die Black Box „Timer“ bekannt ist, ob der Verbraucher an- oder ausgeschaltet werden kann, werden für die Berechnung der für den Rest der Viertelstunde zur Verfügung stehenden Zu- und Abschaltarbeit die verbleibenden Minuten der jeweiligen eingestellten Lauf- und Abschaltzeiten übergeben Anhand dieser wird die Ab- und Zuschaltarbeit für die Viertelstunde berechnet. Das Signal „Status Device“ gibt an, ob der Verbraucher an oder ausgeschaltet werden soll. Dieses wird dann mit der eingestellten Leistung in der Black Box Last und Arbeit über das Signal „Power“ ausgegeben. Die Black Box „Unterstation und Priorität“ erzeugt ein Signal, das die eingestellte Priorität aus der Eingangsmaske und die angemeldete Unterstation ausgibt. Dieses Signal wird für Identifikationszwecke der Ab-und Zuschaltarbeit benötigt. Deswegen werden die Zu- und Abschaltarbeit mit dem Signal „Priorität“ auf einen Muxer zusammengeschaltet.

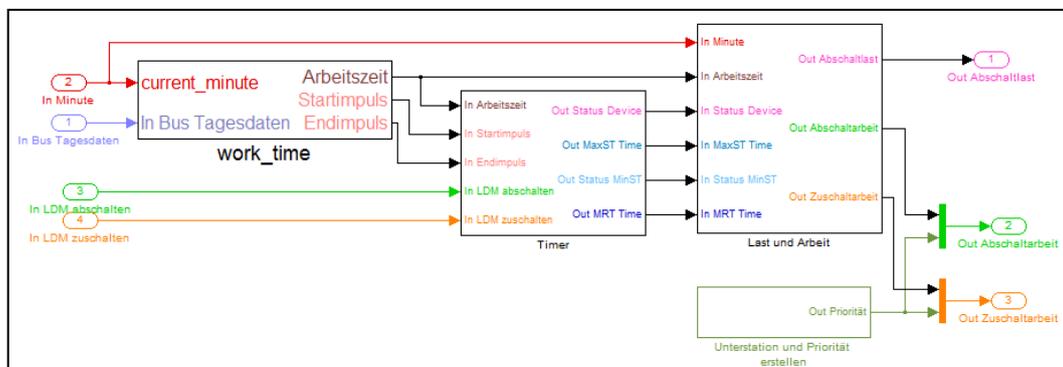


Abbildung 34: Die innere Struktur des Verbrauchers
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „work_time“**

Die Abb. 35 zeigt den internen Aufbau der Black Box „work_time“, Es werden die eingestellten Parameter für die „Start“ und „Endzeit“ in Minutenwerte für den Tag umgerechnet. Diese wird mit dem Eingangssignal der „aktuellen Minute des Tages“ verglichen. Solange sich diese Zeit in einem gültigen Zeitbereich befindet, wird das Signal für Start und Endzeit aktiviert. Mit dem Bus Tagesdaten werden die eingestellten Parameter „Wochentag“, „Jahreszeit“, „Ferien-oder Feiertag“ und „Temperatur“ verglichen, sollten alle gewählten Einstellungen zutreffen wird der Energieverbraucher aktiviert. Der Startimpuls wird nur über die Startzeit aktiviert und der Endimpuls wird nur über die Endzeit aktiviert.

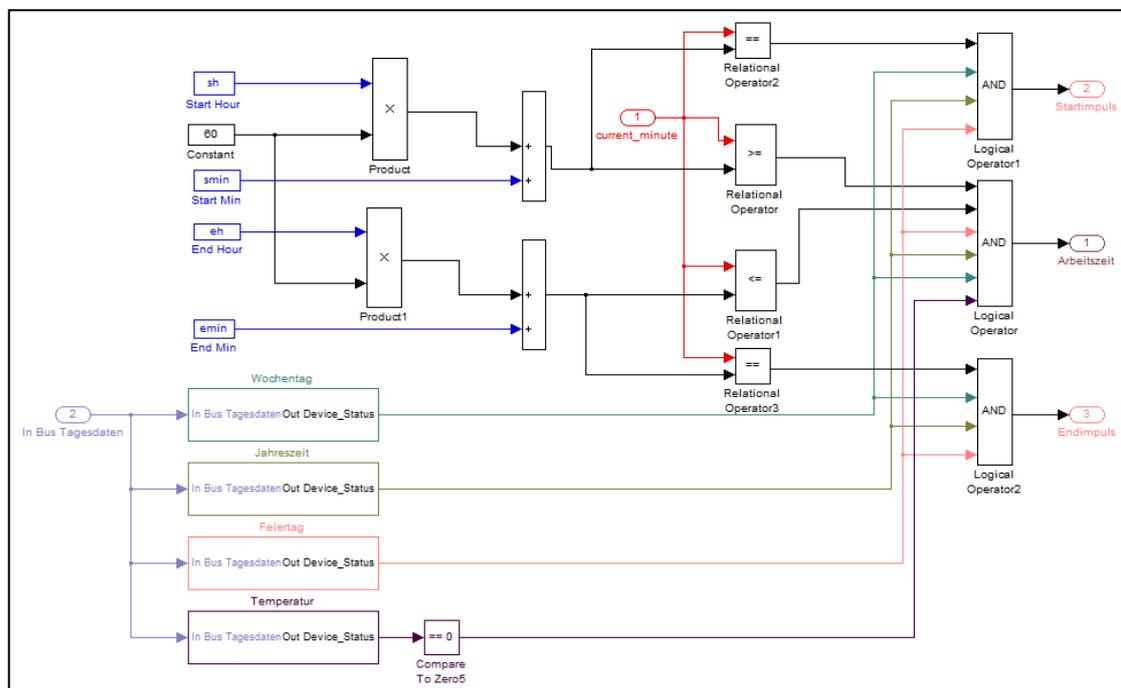


Abbildung 35: Black Box work_time für den Verbraucher
 Quelle: Eigene Darstellung

Die Black Box „Wochentag“ vergleicht die eingestellten Parameter für den Wochentag des Verbrauchers mit Bustagesdaten und dem Signal für den aktuellen Wochentag. Wenn die Signale zutreffen, wird ein Signal mit dem Wert eins am Ausgang ausgegeben. Dieses ist in der Abb. 36 dargestellt.

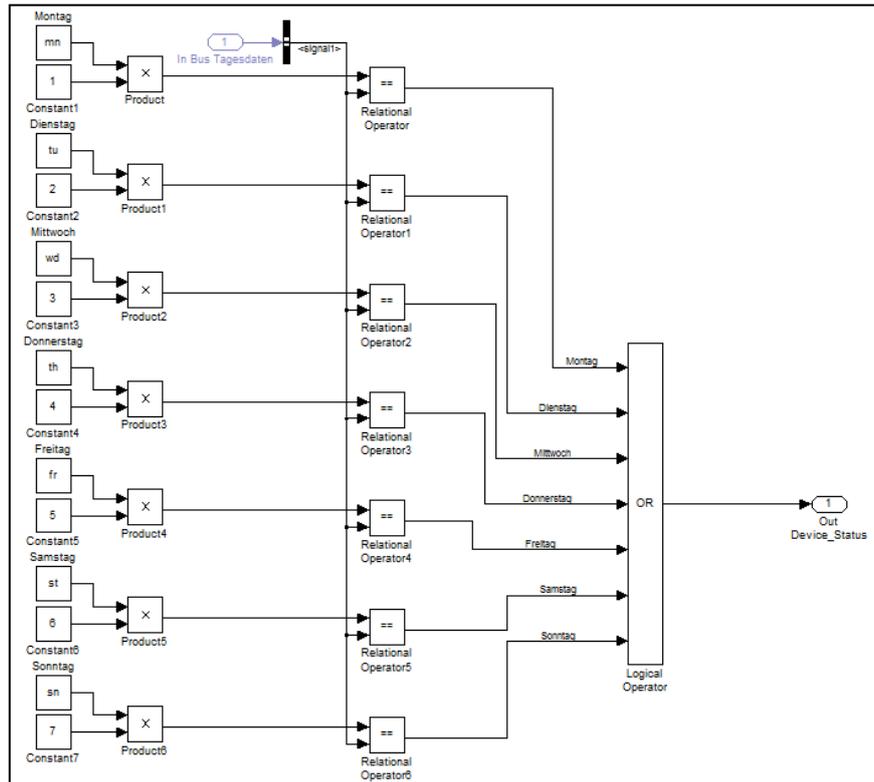


Abbildung 36: Blackbox Abfrage Wochentag für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

In der Abb. 37 ist die Black Box „Jahreszeit“ dargestellt. Diese Funktionsweise ist genauso wie bei der Black Box „Wochentag“. Es werden hier nur ein anderes Signal aus dem Bus Tagesdaten und die eingestellten Jahreszeitenparameter verwendet.

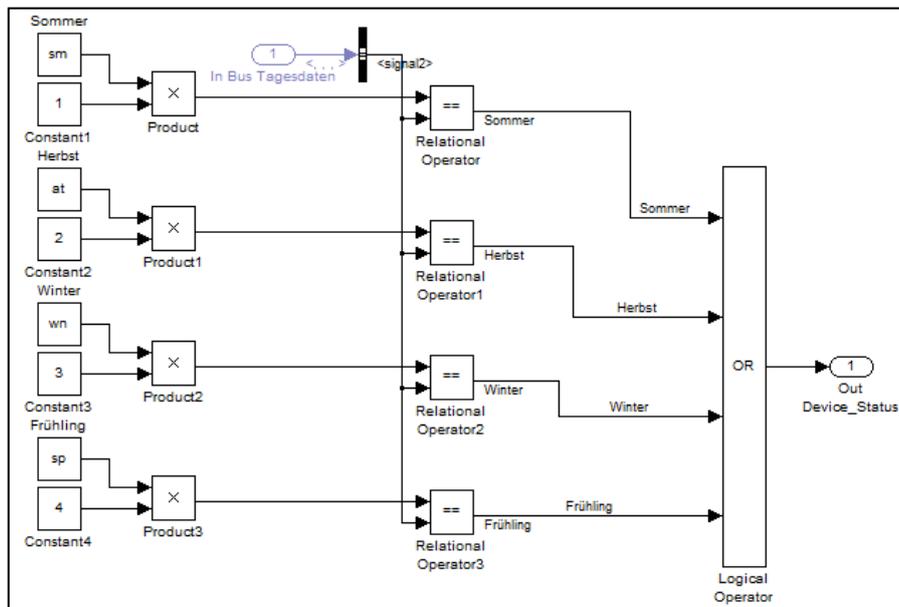


Abbildung 37: Black Box Abfrage Jahreszeit für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

Die Black Box „Ferien- und Feiertag“ vergleicht den eingestellten Parameter des Verbraucher Ferien- und Feiertag mit dem Signal „Ferien- und Feiertag“ vom Bussignal

Tagesdaten. Das Ausgangssignal darf nur null sein, wenn der Parameter „Ferien- und Feiertag“ nicht angewählt ist und an dem Tag ein Ferien- oder Feiertag vorliegt. Für alle anderen Möglichkeiten soll eine eins ausgegeben werden. In der Abb. 38 ist die Black Box „Ferien- oder Feiertag“ dargestellt.

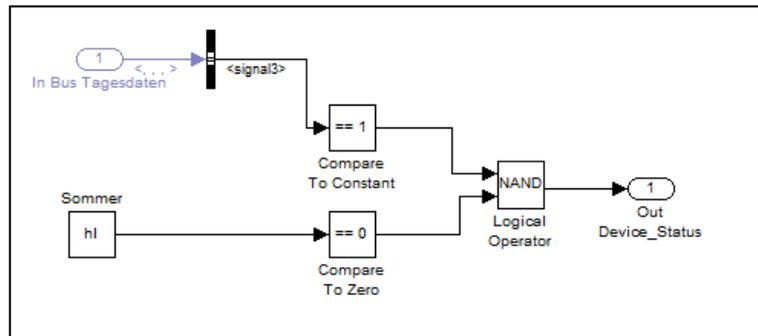


Abbildung 38: Black Box Abfrage Ferien- und Wochentag für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

Die Black Box „Temperatur“ überprüft die eingestellten Parameter für die Temperatur und dem Signal „Temperatur“ vom Bussignal. Wenn sich die außen Temperatur zwischen den eingestellten Temperaturgrenzen befindet wird ist der Energieverbraucher angeschaltet. In der Abb. 39 ist das Innere der Black Box „Temperatur“ dargestellt.

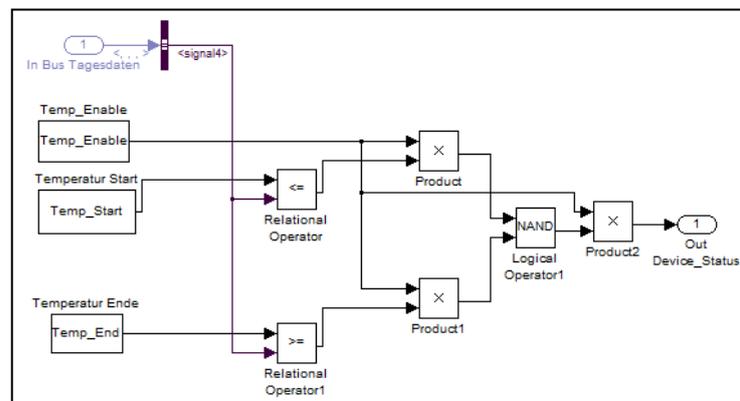


Abbildung 39: Abfrage der Temperatur für ein Energieverbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Timer“**

Die Black Box „Timer“ besteht aus den Black Boxen „MRT“ und „MST“. Beide Boxen werden über einen Enable Eingang mit dem Signal „Arbeitszeit“ aktiviert. Die Black Box „MRT“ ist für die eingestellte „Minimum Running Time“ zuständig und wird mit dem „Startimpuls“ aktiviert. Erst wenn die „Minimum Running Time“ abgelaufen ist, wird die Black Box „MST“ aktiviert. Diese wartet solange mit dem Start des Timers bis das Signal „LDM abschalten“ aktiviert wird. In diesem Moment wird das Ausgangssignal „Status Device“ eins. Wenn die eingestellte „Minimum Shutdown Time“ erreicht ist, kann der

Timer „MST“ durch das Signal „LDM zuschalten“ unterbrochen werden, ansonsten läuft der Timer bis die „Maximum Shutdown Time“ erreicht ist. Daraufhin wird über das „Timer Enable“ Signal der Timer „MRT“ wieder aktiviert und das Ausgangssignal „Status Device“ ist null. Mit Hilfe des Endimpulses werden beide Timer resetet. Der Timer muss zurückgesetzt werden, wenn mehrerer Tage hintereinander simuliert werden. Ansonsten würde der letzte erreichte Timerwert gespeichert bleiben und wieder für den nächsten Tag von dort beginnen. Die Ausgänge „MRT Time“ und „MaxST Time“ geben die verbleibende Restzeit aus. Das Signal Status MinST signalisiert, dass der Verbraucher bei Bedarf wieder zugeschaltet werden kann. das innerer der Black Box „Timer“ ist in der Abb. 40 dargestellt.

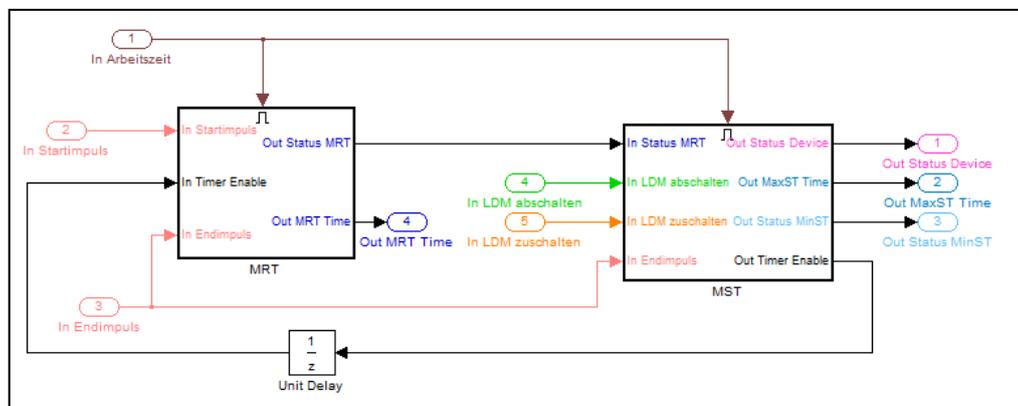


Abbildung 40: Black Box Timer für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

Die Abb. 41 stellt den Aufbau der Black Box „MRT“ dar. Die Zeit wird einmal für den Tag mittels eines Startimpulses gestartet. Dadurch zählt der Timer von eins aufwärts. Mit Hilfe der eingestellten „Minimum Running Timer“ wird eine Differenz gebildet. Dadurch läuft die eingestellte „Minimum Running Time“ Rückwärts. Wenn die Differenz Null erreicht wird das Signal „Status MRT“ eins, ansonsten ist es Null.

Der Timer startet erneut, wenn aus der Black Box „MST“ über das Signal „Timer Enable“ ein neuer Startimpuls ausgegeben wird. Das Ausgangssignal „MRT Time“ gibt die verbleibende Restzeit für die „Minium Running Time“ aus. Das Signal Endimpuls dient zum Reseten des Timers. Da die Verbraucher zeitgesteuert sind, wie z. B. Start 8:00 Uhr und Ende 20:00 Uhr, wird aus Sicherheitsgründen der Timer beim Erreichen der Endzeit zurückgesetzt.

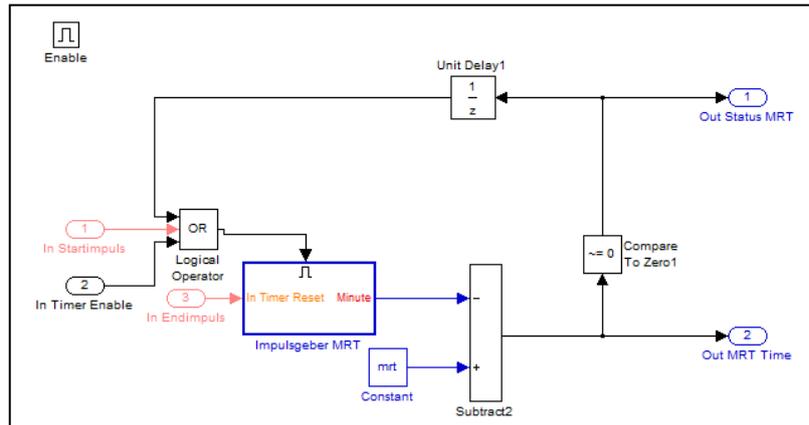


Abbildung 41: Black Box MRT für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

Wenn das Signal Status „MRT“ gleich null ist, steht der Energieverbraucher bereit zum Abschalten. Der Timer „MST“ startet erst, wenn über das Signal „LDM abschalten“ eine Null übergeben wird. Einen Takt bevor die eingestellte „Minimum Shutdown Time“ erreicht wird, signalisiert der Timer über das Signal „Status MinST“, dass der Energieverbraucher in der nächsten Minute wieder angeschaltet werden kann. Kommt für die nächste Minute bis zur „Maximum Shutdown Time“ das Signal „LDM zuschalten“, wird der Energieverbraucher wieder zugeschaltet. Das Signal „Timer Enable“ eins. Der Timer in der Black Box „MST“ wird zurückgesetzt. Läuft die eingestellte Zeit für die „Maximum Shutdown Time“ ab, wird ebenfalls das Signal „Timer Enable“ ist eins. Der Timer muss nicht mehr zurückgesetzt werden, da er seinen eingestellten Endwert erreicht hat. Die Abb. 42 zeigt den beschriebenen Aufbau der Black Box MST.

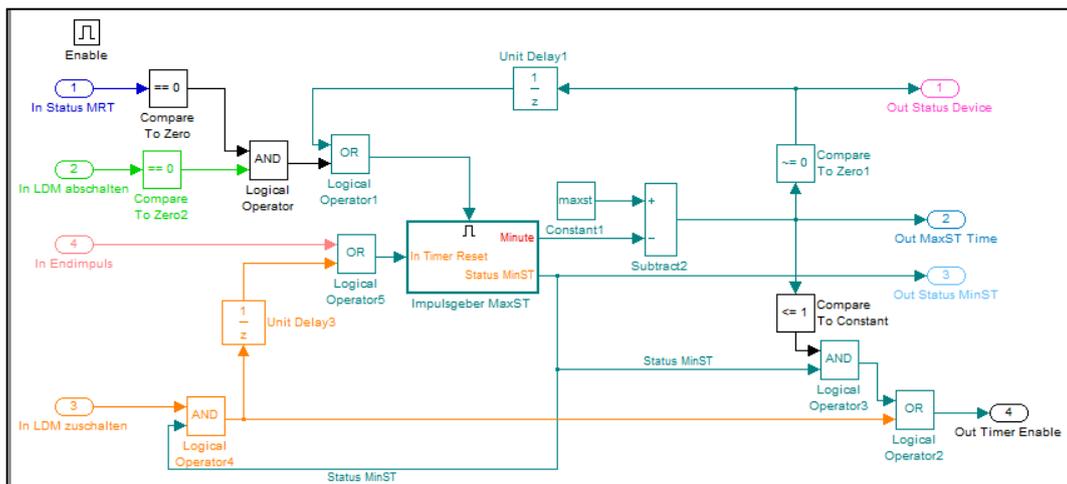


Abbildung 42: Black Box MST für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

• **Black Box „Last und Arbeit“**

Die Black Box „Last und Arbeit“ besteht aus den Black Boxen „Berechnen der Abschaltlast“, „Berechnung der aktuellen Minute der Viertelstunde“ und „Subsystem1“ (Berechnung der Ab- und Zuschaltarbeit) Diese Box soll die von diesem Geräte in der aktuellen Viertelstunde leistbare Ab- und Zuschaltarbeit berechnen und die Abschaltlast ausgeben, wenn dies vom Signal „Status Device“ signalisiert wird. In der Abb. 43 ist der innere Aufbau der Black Box „Last und Arbeit dargestellt.

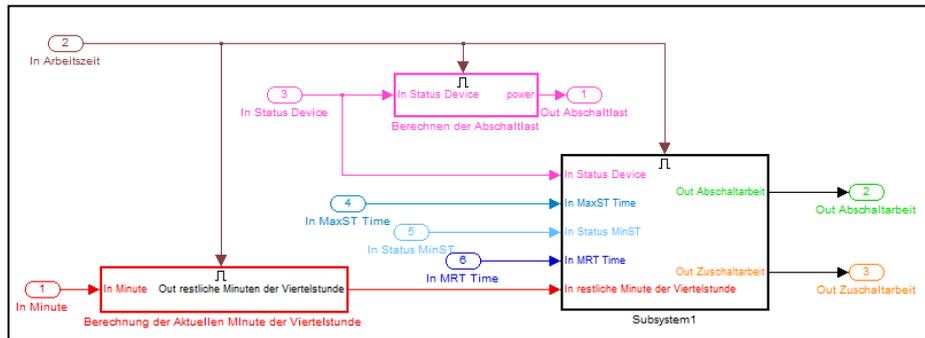


Abbildung 43: Black Box Last und Arbeit für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

Wenn bei der Berechnung der Abschaltlast das Signal „Status Device“ eins ist, wird die eingestellt Leistung als Abschaltlast über das Signal „Power“ ausgegeben. In der Abb. 44 ist der Aufbau der Black Box „Berechnung der Abschaltlast“ dargestellt.

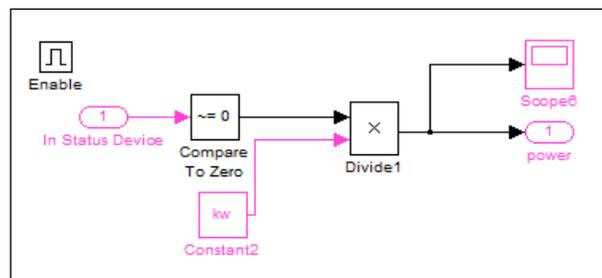


Abbildung 44: Black Box Berechnung der Abschaltlast für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

Die Black Box „Berechnung der aktuellen Minute“ soll die restliche verbleibende Zeit der Viertelstunde berechnen. Dazu wird das Eingangssignal „In Minute“, das die aktuelle Minute des Tages anzeigt, umgerechnet in die aktuelle Minute der laufenden Viertelstunde. Die Differenz zwischen dem Minutenwert und der Viertelstunde ergibt die restlichen Minuten der verbleibenden Viertelstunde. Die Abb. 45 stellt diese Berechnung in der Black Box dar.

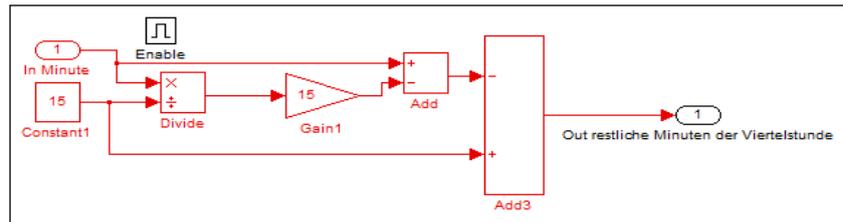


Abbildung 45: Black Box Berechnung der aktuellen Minute der Viertelstunde für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

In der Abb. 46 ist die Black Box „Subsystem1“ dargestellt. Diese Box soll die Ab- und Zuschaltarbeit eines Verbrauchers berechnen. Für ihre Berechnung müssen zwei unterschiedliche Zustände berücksichtigt werden. Diese Zustände werden über das Signal „Status Device“ gemeldet. Das Signal wird über eine Action Box „Case of“ abgefragt. Wenn Status Device null ist gilt die Black Box „Fall I“:

In diesem Fall ist der Verbraucher angeschaltet. Die Abschaltarbeit wird in zwei Fälle unterschieden. Um diese unterscheiden zu können, müssen die restlichen Minuten der Viertelstunde und der „MRT Timer“ von einander subtrahiert werden. Ist der Wert größer gleich der eingestellten „Maximum Shutdown Time“, liegt die volle Abschaltarbeit in dem Intervall der „restlichen Minuten der Viertelstunde“ an. Ist der Wert kleiner, muss der Differenzwert aus den „restlichen Minuten der Viertelstunde“ und der verbleibenden „MRT Time“ zum Berechnen der Abschaltarbeit verwendet werden. Da der Verbraucher angeschaltet ist kann in diesem Fall keine Zuschaltarbeit vorhanden sein.

Wenn das Signal „Status Device“ eins ist, gilt die Black Box „Fall II“:

In diesem Fall ist der Verbraucher ausgeschaltet und es können Abschalt- und Zuschaltarbeit berechnet werden. Die Abschaltarbeit wird berechnet, in dem die „Minimum Running Time“ als konstanter Wert und der aktuelle Timer Wert von „MaxST“ von „der restlichen Viertelstunde“ abgezogen werden. Sollte der berechnete Wert größer null sein, kann das Gerät bei Bedarf nochmals für die Viertelstunde abgeschaltet werden.

Für die Zuschaltarbeit müssen zwei Zustände unterschieden werden. Um diese Zustände zu unterscheiden, werden die „restlichen Minuten der Viertelstunde“ von dem konstanten Wert „Maximum Shutdown Time“ abgezogen. Wenn dieser Wert größer null ist, muss für die Zuschaltarbeit der Timer Wert von „Max ST“ verwendet werden. In diesem Fall liegt das Intervall vom Timer „Max ST“ in der restlichen Viertelstunde. Wenn der Wert kleiner gleich null ist, liegt das Intervall vom Timer „Max ST“ nicht mehr in „der restlichen Viertelstunde“. In diesem Fall muss die Zuschaltarbeit aufgeteilt werden. Dabei wird zunächst die Zuschaltarbeit über das Intervall der restlichen Viertelstunde berechnet. In dem Moment wo die neue Viertelstunde angelaufen ist, wird die Zuschaltarbeit über die

Zeit des Timers „MaxST“ berechnet. Aus der Black Box „Default“ wird der Wert null ausgegeben.

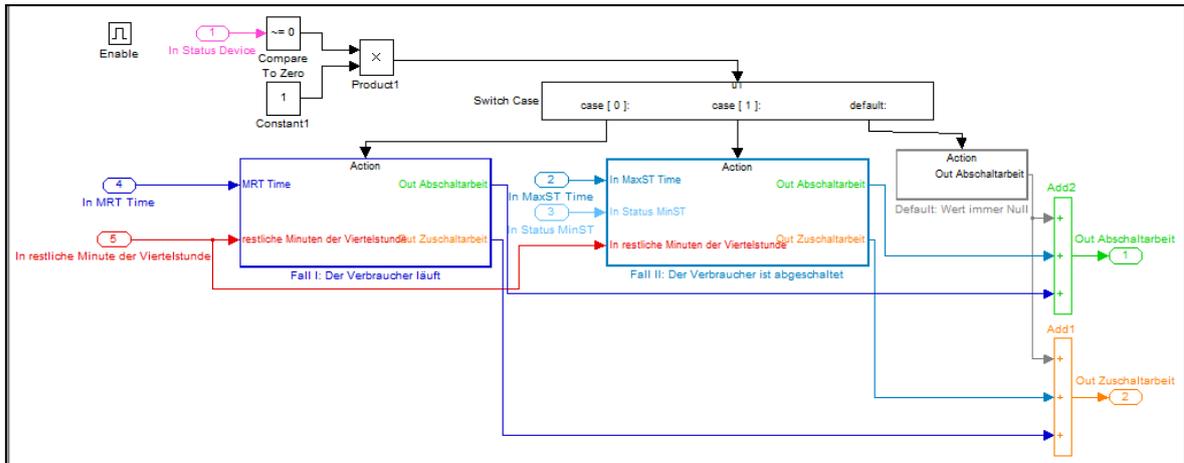


Abbildung 46: Black Box Last und Arbeit für den Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Unterstation und Priorität erstellen“**

Mit dem Signal „Priorität“ signalisiert der Energieverbraucher in welcher Unterstation und Priorität er ist. Dies wird realisiert indem eine Kodierung vorgenommen wird. Die letzten beiden Stellen sind für die Priorität reserviert. Die ab der drittletzten Stelle (Hunderter) werden für die Unterstationen angegeben. Als Beispiel gilt, dass wenn die Unterstation (sid) gleich eins und die Priorität (p) gleich zwei ist, sich das Signal 102 ergibt. Die Abb. 47 zeigt wie die Black Box dieses Signal erzeugt.

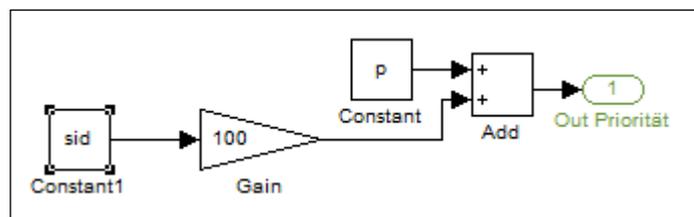


Abbildung 47: Black Box Unterstation und Priorität für den Verbraucher erstellen
Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Die Liegenschaft Elbtunnel

Die Liegenschaft Elbtunnel konnte nicht wie die anderen Liegenschaften aufgebaut werden. Zum einen sind die Energieverbraucher im Elbtunnel stufengeschaltet. Zum anderen musste es für das Modell möglich gemacht werden, dass wenn der Summenfahrplan über dem tatsächlichen Lastverlauf liegt (also mehr Strom verbraucht werden sollte), der Regler auf diese Abweichung mit Zuschalten von Leistung reagieren kann. In diesem Abschnitt werden das Teilmodell für den Elbtunnel mit der Lastmanagement-Anlage und den stufenschaltbaren Energieverbraucher beschrieben.

4.2.1 Aufbau des Teilmodells der Liegenschaft

Prinzipiell ist der Ablauf des Teilmodells der Liegenschaft Elbtunnel identisch mit dem Teilmodell einer Liegenschaft aus dem Kapitel 4.1. Es mussten Änderungen vorgenommen werden um die oben beschriebenen Funktionen umzusetzen. In der Abb. 48 ist die Black Box mit den Eingangs- und Ausgangssignalen für das Teilmodell der Liegenschaft Elbtunnel dargestellt.



Abbildung 48: Black Box der Liegenschaft Elbtunnel
Quelle: Eigene Darstellung

Das Teilmodell der Liegenschaft Elbtunnel wird nicht mehr, wie im Kapitel 4.1.1 mit einer E-Max Grenze vom Regler angesprochen, sondern mit einer Schaltlast. Bei dem Ausgangssignal gibt es die Abschaltlast nicht mehr, da nun das Ausgangssignal Schaltlast eingeführt wurde.

Für das Teilmodell der Liegenschaft Elbtunnel werden nur die Änderungen des Eingangs- und Ausgangssignals beschrieben:

- **In „Schaltlast“:** Dieses Eingangssignal gibt der Lastmanagement-Anlage vor wie viel Last zu- oder abgeschaltet wird.
- **Out „Schaltlast“:** Das Ausgangssignal gibt die tatsächliche Leistung für das Zu- und Abschalten der Energieverbraucher in der aktuellen Minute aus.

Für das Verhalten der Liegenschaft Elbtunnel wird ein neuer Parameter eingeführt

- **„Elbtunnel“:** Dieser Parameter gibt den Fahrplan vor, der vom Teilmodell der Lastmanagement-Anlage umgesetzt wird. Dieser wird bei im Kapitel 3.5 erzeugt und ist dort erläutert.

Die Funktionsweise der Liegenschaft Elbtunnel sieht im Modell wie folgt aus:

Für die Liegenschaft Elbtunnel wird der reale Tageslastverlauf (In Tageslastverlauf) als Vergleichswert verwendet. Die Liegenschaft Elbtunnel erhält den Tageslastverlauf in Form

eines Viertelstunden-Leistungswerts. Dieser wurde aus dem realen Tageslastverlauf von der Liegenschaft Elbtunnel berechnet. Der Viertelstunden- Leistungswert wird auch Fahrplan („Elbtunnel“) genannt. Der Fahrplan wird mit Hilfe der Lastmanagement-Anlage und den stufengeschalteten Energieverbrauchern eingehalten. Wird vom Regler an das Eingangssignal „Schaltlast“ ein positiver bzw. negativer Wert angegeben, soll der Lastverlauf um den Wert angehoben bzw. verringert werden.

Nachstehend wird nun die Implementierung des Teilmodells der Liegenschaft Elbtunnel erläutert.

Die Eingabemaske für die Parameter der Liegenschaft Elbtunnel wird wie in Kapitel 4.1.1 aufgerufen und definiert. In der Abb. 49 ist der Aufbau der Liegenschaft Elbtunnel dargestellt. Die grundsätzliche Struktur des inneren Aufbaus der Liegenschaft Elbtunnel wurde im Wesentlichen beibehalten.

Die anderen Liegenschaften fahren den realen Tageslastverlauf nach und verändern diesen mit Hilfe der Abschaltlast. Der Elbtunnel dagegen orientiert sich an einem Fahrplanwert Viertelstundenmittelwert und versucht diesen realen Tageslastverlauf selbständig mit seinen Verbrauchern nachzufahren. Mit Hilfe der Schaltlast, die mit der Lastmanagement-Anlage verbunden ist, soll dann dieser Lastverlauf verändert werden. Zum Berechnen der Schaltlast wird eine Differenz zwischen der aktuellen Last und der aktuellen Last aus der vorherigen Minute gebildet. Dadurch wird sichtbar, wann welcher Schaltverhalt vorlag. Wenn die Schaltlast negativ ist wurde abgeschaltet und bei einer positiven Schaltlast wurde zugeschaltet.

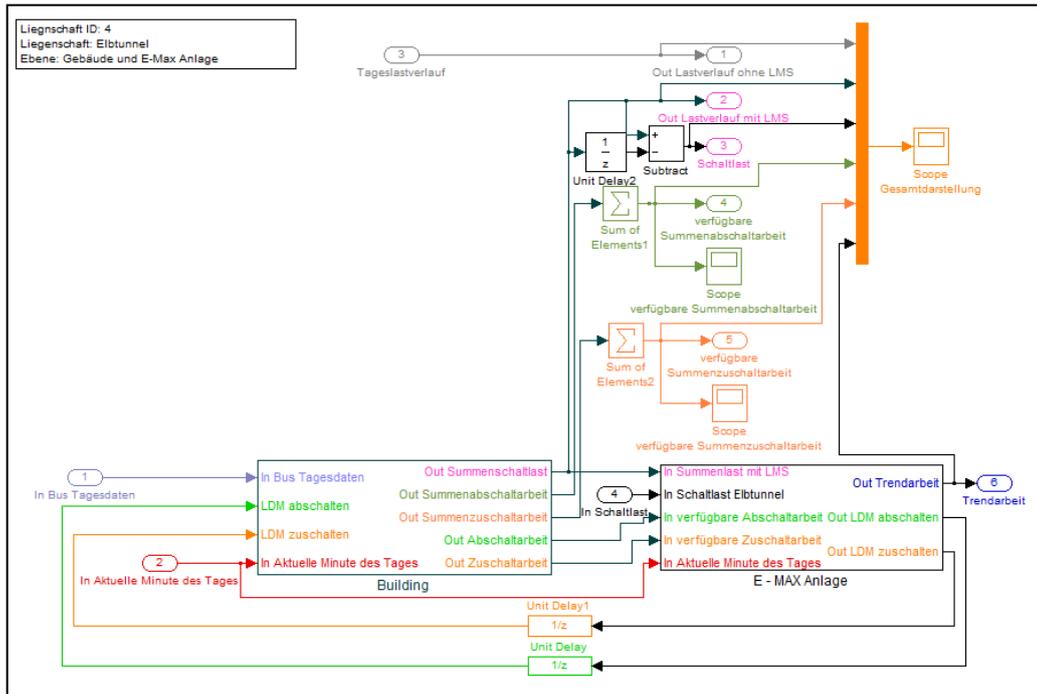


Abbildung 49: Aufbau der Liegenschaft Elbtunnel
Quelle: Eigene Darstellung

Mit einem Doppelklick auf die Black Box „Building“ gelangt man in das Innere der Black Box. Das Innere der Box ist in der Abb. 50 dargestellt. Der Elbtunnel besteht in der Realität aus vier Röhren mit zahlreichen Lüftungsanlagen. Die Tunnelröhren heißen „Weströhre“, „Mittlröhre“, „Oströhre“ und „vierte Röhre“. Die Teilmodelle für jede Tunnelröhre sind mit den „Bus Tagesdaten“, der „aktuellen Minute des Tages“, „LDM abschalten“ und „LDM zuschalten“ verbunden. Als Ausgangssignal werden die „Summenschaltlast“, die „Abschaltarbeit“ und die „Zuschaltarbeit“ aus jeder Röhre zusammengeführt. Die MATLAB Function Box mit der Funktion „get_matrix“ ist dieselbe wie die in den Liegenschaften zuvor in dem Kapitel 4.1.1 erwähnt wurde.

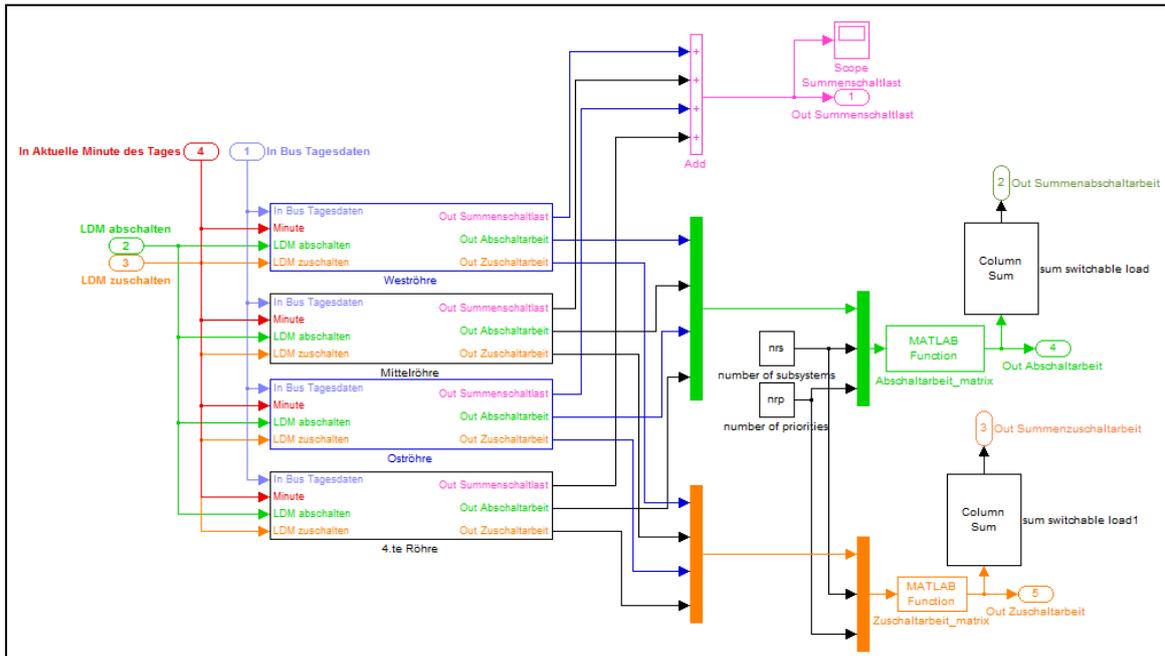


Abbildung 50: Gebäudestruktur der Liegenschaft Elbtunnel
 Quelle: Eigene Darstellung

In jeder dieser Röhren sind mehrere Unterstationen zusammengefasst, diese sind identisch aufgebaut und werden auch genauso angesprochen, wie die Unterstationen aus den Liegenschaften aus dem Kapitel 4.1.1. In der Abb. 51 ist der Aufbau einer dieser Röhren mit seinen dazugehörigen Unterstationen dargestellt.

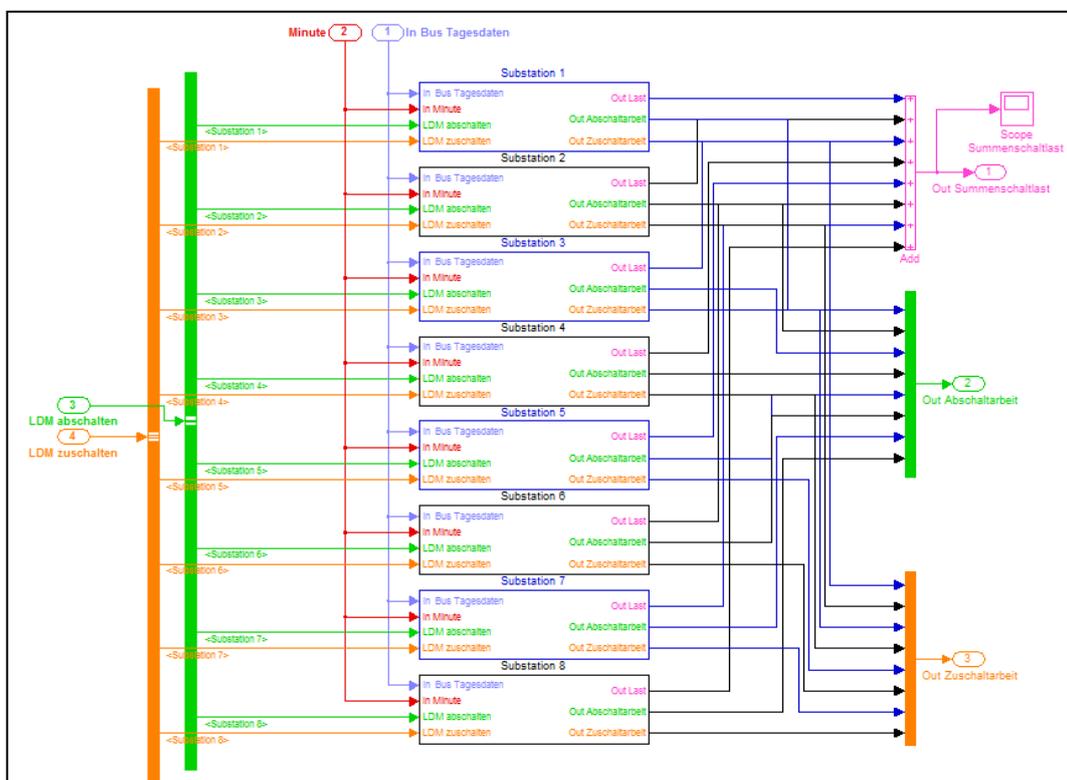


Abbildung 51: Aufbau einer Röhre für die Liegenschaft Elbtunnel
 Quelle: Eigene Darstellung

Jede Unterstation ist mit einem Energieverbraucher ausgestattet. Jeder dieser Energieverbraucher besteht aus mehreren Laststufen. Dies soll die in Stufen geschalteten Lüftungsanlagen des realen Elbtunnels im Modell abbilden. In der Abb. 52 ist ein Energieverbraucher mit drei Stufen dargestellt. Die Stufen müssen in Reihe mit dem Signal „Last“ verbunden werden. Ansonsten sind die Stufen wie die Verbraucher aus den Liegenschaften zu verwenden. Die Signale Last, die Abschaltarbeit und die Zuschaltarbeit werden zusammengeführt.

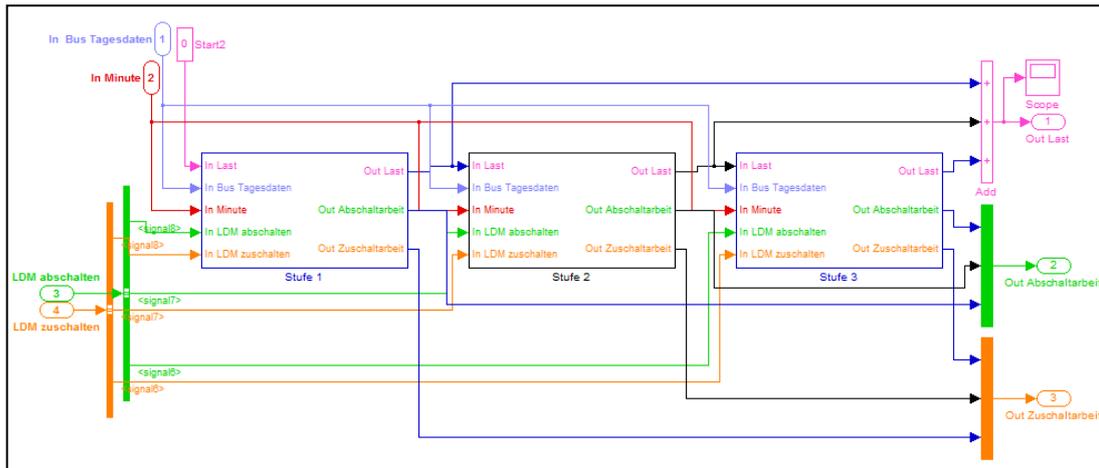


Abbildung 52: Aufbau einer Unterstation für die Liegenschaft Elbtunnel
Quelle: Eigene Darstellung

4.2.2 Aufbau des Teilmodells der Lastmanagement-Anlage

Um Das Teilmodell einer Lastmanagement-Anlage für das Teilmodell der Liegenschaft Elbtunnel eindeutig beschreiben zu können, wurden die Parameter und die Eingangs- und Ausgangssignale aus dem Kapitel 4.1.2 übernommen. Der Unterschied der Anlage besteht darin, dass keine E-MAX Grenze mehr von außen vorgegeben wird, sondern das Teilmodell über eine Schaltlast vom Regler angesprochen wird. Mit der Zuweisung von sinnvollen Werten an die Parameter und den Eingangs- und Ausgangssignalen entsteht ein funktionstüchtiges Teilmodell einer Lastmanagement-Anlage. Die Abb. 53 stellt die Black Box mit den Eingangs- und Ausgangssignalen für die Lastmanagement-Anlage dar.



Abbildung 53: Black Box Lastmanagement-Anlage der Liegenschaft Elbtunnel
Quelle: Eigene Darstellung

Im Folgenden werden für die Liegenschaft Elbtunnel nur die Änderungen der Lastmanagement-Anlage beschrieben:

- **In „Schaltlast“:** Dieses Eingangssignal gibt der Lastmanagement-Anlage vor wie viel Last zu- oder abgeschaltet werden soll. Diese wird mit dem vorgegebenen Fahrplan für den Elbtunnel addiert.

Das Verhalten der Lastmanagement-Anlage für den Elbtunnel wird durch diesen Parameter beeinflusst:

- **„Elbtunnel“:** Dieser Parameter stellt eine Datei dar. Diese beinhaltet die Viertelstunde-Leistungswerte (Sollwerte) für den ganzen Tag. Das Teilmodell der Lastmanagement-Anlage soll die stufengeschalteten Energieverbraucher so steuern, dass der tatsächlichen Viertelstunden-Leistung an den Sollwert aus dem Fahrplan erreicht wird. Die Erstellung des Fahrplans für das Teilmodell der Liegenschaft Elbtunnel wird in Kapitel 3.5 erläutert.

Die Funktionsweise der Lastmanagement-Anlage für die Liegenschaft Elbtunnel gilt im Modell wie folgt:

Die Funktionsweise des Teilmodells der Lastmanagement-Anlage ist mit dem Teilmodell einer Lastmanagement-Anlage der Liegenschaften aus dem Kapitel 4.1.2 identisch. Diese Lastmanagement-Anlage wurde nur erweitert damit der Fahrplan und die Schaltlast umgesetzt werden kann. Aus diesem Grund wird nur auf die Erweiterung eingegangen.

Die Lastmanagement-Anlage soll einen vorgegebenen Fahrplanwert erreichen. Es wird die Differenz zwischen dem Fahrplanwert und der Trendarbeit für eine Viertelstunde gebildet. Gleichzeitig wird die Differenz zwischen der eingestellten Lastgrenze und der Trendarbeit für die Viertelstunde gebildet. Diese Schaltarbeit wird für die Fälle positive und negative Schaltlast unterschieden. Wenn die Schaltarbeit positiv ist, wird die Schaltarbeit als Abschaltarbeit verwendet. Durch die Abschaltarbeit und die verfügbare Abschaltarbeit der Energieverbraucher, wird die Abschaltmatrix für die Stufenschaltbaren Energieverbraucher bestimmt. Wenn die Schaltarbeit negativ ist, wird die Schaltarbeit als Zuschaltarbeit verwendet. Mit Hilfe der Zuschaltarbeit und der verfügbaren Zuschaltarbeit der Energieverbraucher, wird die Zuschaltmatrix für die stufenschaltbaren Energieverbraucher bestimmt.

Wenn der Regler von außen eine Schaltlast vorgibt, sollen die stufengeschalteten Energieverbraucher ab- bzw. zugeschaltet werden. Hierbei kommt es darauf an, ob die Schaltlast positiv oder negativ ist. Die Schaltlast wird auf den Fahrplanwert und die eingestellte Lastgrenze addiert. Dadurch lassen sich alle oben beschriebenen Abläufe ohne Änderungen übernehmen.

Nachstehend wird nun die Implementierung des Teilmodells der Lastmanagement-Anlage der Liegenschaft Elbtunnel erläutert.

Die Lastmanagement-Anlage von der Liegenschaft Elbtunnel ist in derselben Form aufgebaut, wie bei den anderen Liegenschaften. Aus diesem Grund wird nachfolgend für die Implementierung nur die Erweiterung in der Black Box „Regeldifferenz“ erklärt.

Der Aufbau der Black Box „Regeldifferenz“ ist in der Abb. 54 dargestellt. Der Viertelstundenmittelwert (Fahrplan) für den Elbtunnel wird über die Variable Elbtunnel angegeben und wird zu einem Viertelstunden Arbeitswert umgerechnet. Dasselbe wird mit der Lastgrenze (`load_max`) und der Schaltlast gemacht.

Die umgerechnete Schaltlast wird mit dem umgerechneten Fahrplanwert addiert. Dadurch wird ein neuer Fahrplanwert vorgegeben. Damit die Lastgrenze nicht in den neuen Fahrplan eingreift, wird die umgerechnete Schaltlast zu der umgerechneten Lastgrenze addiert. Der neu berechnete Fahrplan wird an die Black Box Überwachung der Grundlast weitergeleitet. Diese Box achtet darauf, dass der neue Fahrplan nicht die Grundlast des Elbtunnels unterschreitet. Wenn dies zutreffen sollte, wird die Grundlast als Fahrplan vorgegeben. Anschließend wird die Differenz zwischen der Trendarbeit der Viertelstunde und dem neuen Fahrplanwert berechnet. Diese wird an die Black Box Elbtunnel weitergeleitet.

Damit die Black Box aktiviert werden kann wird vorher abgefragt, ob die Trendarbeit der Viertelstunde größer ist als die eingestellte Lastgrenze. Wenn dies nicht zutrifft ist die Black Box „Elbtunnel“ aktiv und ansonsten ist die Black Box „E-MAX“ aktiv. Die Differenzarbeit, die an dem Eingang der Black Box „Elbtunnel“ anliegt, wird für zwei Fälle untersucht. Wenn die Differenzarbeit größer gleich null ist, wird daraus die Abschaltarbeit und die Zuschaltarbeit ist null. Wenn aber die Differenzarbeit kleiner null ist, wird daraus die Zuschaltarbeit und die Abschaltarbeit ist null.

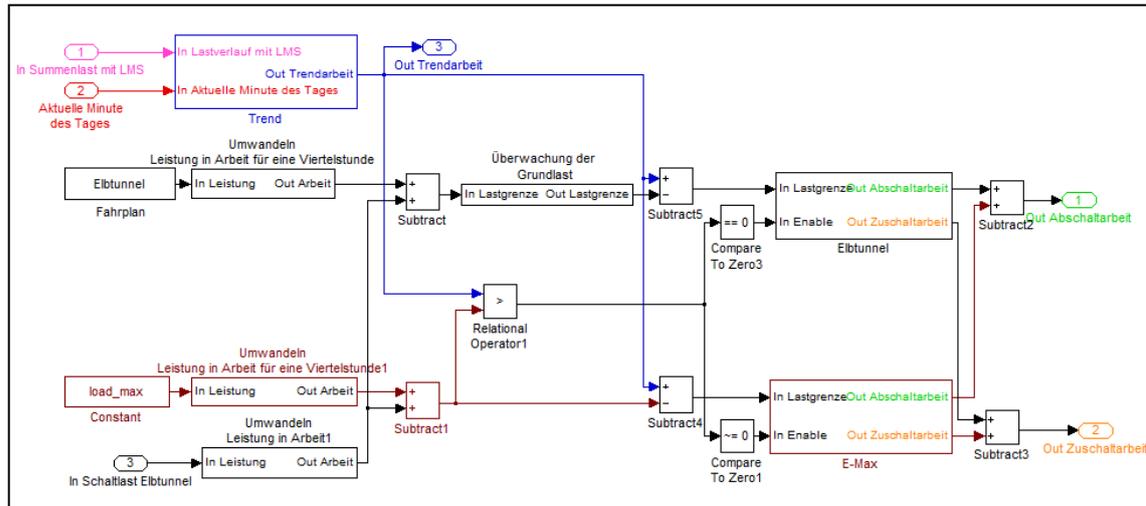


Abbildung 54: Aufbau Regeldifferenz, Lastmanagement-Anlage der Liegenschaften Elbtunnel
 Quelle: Eigene Darstellung

4.2.3 Aufbau des Teilmodells stufengeschaltete Energieverbraucher

Das Teilmodell eines stufengeschalteten Energieverbrauchers für das Teilmodell der Liegenschaft Elbtunnel besitzt dieselben Parameter und Eingangs- und Ausgangssignale, wie das Teilmodell eines Energieverbrauchers aus dem Teilmodell einer Liegenschaft in Kapitel 4.1.3 beschrieben. Der Unterschied zwischen den Teilmodellen eines stufenschaltbaren Energieverbrauchers und eines schaltbaren Energieverbrauchers aus der Liegenschaft liegt darin, dass die einzelnen Stufen in Abhängigkeit zu einander stehen. Jede Stufe wird von einem Verbraucher dargestellt und kann immer nur von dem Teilmodell der Lastmanagement-Anlage aktiviert werden, wenn die vorherige Stufe eingeschaltet war. Hierbei müssen für die unterschiedlichen Stufen unterschiedliche Prioritäten vergeben werden. Der Parameter maximale Abschaltzeit ist nicht mehr vorhanden. Dafür wurde der Parameter maximale Laufzeit eingeführt. In der Abb. 55 ist die Black Box mit den Eingangs- und Ausgangssignalen für eine schaltbare Stufe eines Energieverbrauchers dargestellt.



Abbildung 55: Black Box stufengeschalteter Energieverbraucher
 Quelle: Eigene Darstellung

Die Änderungen zu dem Teilmodell eines Energieverbrauchers im Verhalten des Teilmodells einer Stufe werden durch folgende Parameter beeinflusst:

- **„Stufe“:** Dieser Parameter gibt die aktuelle Stufe des Verbrauchers an.
- **„Maximale Laufzeit“:** Der Parameter gibt das Zeitintervall an, wie lang die Stufe des Energieverbrauchers maximal laufen darf.

Die Änderungen zu dem Teilmodell eines Energieverbrauchers für die Ein- und Ausgangssignale des Teilmodells einer Stufe sind:

- **In „Last“:** Das Eingangssignal beschreibt die Last von der vorherigen Stufe des Energieverbrauchers. Erst wenn eine vorgelagerte Stufe angeschaltet ist, kann die nächste Stufe angeschaltet werden.
- **Out „Last“:** Dieses Ausgangssignal gibt die tatsächliche Leistung der Stufe aus.

Die Funktionsweise einer schaltbaren Stufe im Modell gilt wie folgt:

Der stufengeschaltete Energieverbraucher wird in seiner Betriebszeit erweitert. Dazu dient der Parameter „Stufe“ und das Eingangssignal „Last“. Mit diesem Parameter wird angegeben, welche Stufe beschrieben wird. Die Stufen werden in Reihe geschaltet mit dem Ausgangssignal „Last“ von der vorherigen Stufe zum Eingangssignal „Last“ der aktuellen Stufe. Dadurch wird eine Abhängigkeit zwischen den Stufen geschaffen. Erst wenn die vorherige Stufe angeschaltet wird, steht die aktuelle Stufe bereit um angeschaltet zu werden. Wird über den Parameter „Stufe“ die erste Stufe definiert, ist kein Eingangssignal „Last“ notwendig. Die Einflussgröße wird für den stufenschaltbaren Energieverbraucher geändert. Es wird die maximale Laufzeit eingeführt. Die maximale Abschaltzeit wird für diese Funktionsweise nicht benötigt. Die restlichen Betriebszeiten und Einflussgrößen wurden vom Energieverbraucher aus dem Kapitel 4.1.3 übernommen.

Die Abschalt- bzw. Zuschalteingänge werden zum Aus- bzw. Einschalten der Stufe verwendet. Wird die erste Stufe von der Lastmanagement-Anlage angeschaltet, gibt die Stufe die eingestellte Leistung über das Ausgangssignal „Last“ aus. Die erste Stufe muss die minimale Laufzeit einhalten und kann bis zur maximalen Laufzeit angeschaltet bleiben. Solange die Stufe angeschaltet ist kann die nachfolgende Stufe zugeschaltet werden. Wenn die Stufe durch den Abschalteingang abgeschaltet wird, beträgt die Leistung für diese Stufe null. Wenn die nachfolgenden Stufen angeschaltet sind, werden diese beim Abschalten mit ausgeschaltet. Die kleinste Stufe muss die minimale Abschaltzeit

durchlaufen bevor diese wieder von der Lastmanagement-Anlage angeschaltet werden darf.

Die Berechnungen der Ab- und Zuschaltarbeit erfolgt im selben Prinzip wie für das Teilmodell eines Energieverbrauchers im Kapitel 4.1.3 erläutert.

Untenstehend wird die Implementierung eines stufengeschalteten Energieverbrauchers erklärt.

Die Eingabemaske des in Stufen schaltbaren Verbrauchers wird mit Doppelklick auf die Stufe geöffnet. In der Eingabemaske dieser Stufe, werden dieselben Parameter wie bereits in Kapitel 4.1.3 definiert. Aus diesem Grund werden in diesem Abschnitt nur die neuen Parameter, welche das Verhalten der Stufe beeinflussen erklärt. Die Parameter können beliebig für jede schaltbare Stufe eingestellt werden.

Damit die Stufe sich merken kann, welche Stufe sie darstellen soll, gibt es den Parameter „Aktuelle Stufe“. Hierbei ist es wichtig, dass der Verbraucher für die erste Stufe auch diese zugewiesen bekommt, da diese Stufe keine vorherige Stufe besitzt und somit nicht auf eine Eingangslast angewiesen ist.

Die „Maximum Running Time“ (im Folgenden auch MaxRT abgekürzt) beschreibt die maximale Laufzeit. Die Eingabe für die „Maximum Running Time“ erfolgt in ganzen Minuten. In der Abb. 56 ist die Eingabemaske für eine Stufe dargestellt.

Parameters	
Aktuelle Stufe	Stufe 1
Start Hour	00
Start Min	00
End Hour	26
End Min	00
Power (KW)	19
Prio	8
Minimum Sutdown Time (min)	3
Maximum Running Time (min)	1444
Minimum Running Time (min)	10
Montag	<input checked="" type="checkbox"/>
Dienstag	<input checked="" type="checkbox"/>
Mittwoch	<input checked="" type="checkbox"/>
Donnerstag	<input checked="" type="checkbox"/>
Freitag	<input checked="" type="checkbox"/>
Samstag	<input checked="" type="checkbox"/>
Sonntag	<input checked="" type="checkbox"/>
Sommer	<input checked="" type="checkbox"/>
Herbst	<input checked="" type="checkbox"/>
Winter	<input checked="" type="checkbox"/>
Frühling	<input checked="" type="checkbox"/>
Feiern- und Feiertag	<input checked="" type="checkbox"/>
Temp Enable	<input type="checkbox"/>
Temp Start	0
Temp Ende	0
OK Cancel Help Apply	

Abbildung 56: Eingabemaske eines stufenschaltbaren Verbrauchers
Quelle: Eigene Darstellung

Um in das Innere der Black Box zu gelangen, muss durch Rechtsklick auf die Black Box das Kontextmenu aufgerufen werden. Wenn das Kontextmenu sichtbar ist, wird der Punkt „Look Under Mask“ ausgewählt. Das Innere der Stufe ist in der Abb. 57 dargestellt. Die Stufe besteht aus der Black Box „Arbeitszeit“, „Timer“, „Last und Arbeit“ und „Unterstation und Prioritäten erstellen“. Prinzipiell ist der Aufbau des stufengeschalteten Energieverbrauchers identisch mit dem Aufbau des Energieverbrauchers aus dem Kapitel 4.1.3. Aus diesem Grund werden hier nur die Erweiterungen und Änderungen für den stufengeschalteten Energieverbraucher beschrieben.

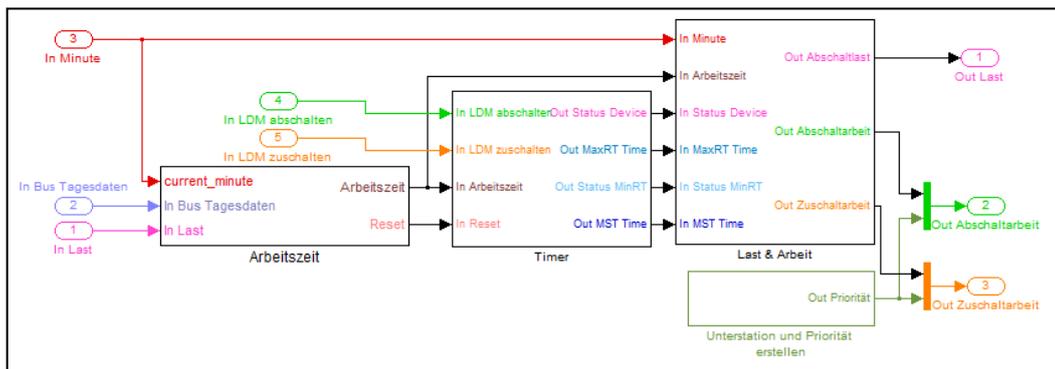


Abbildung 57: Innerer Aufbau eines stufenschaltbaren Verbrauchers
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Arbeitszeit“**

Die Black Box Arbeitszeit wurde für die schaltbaren Stufen überarbeitet. Die Funktionsweisen für die Boxen „Wochentag“, „Jahreszeit“, „Ferien- und Feiertag“ und „Temperatur“ sind vom Verbraucher aus den Liegenschaften übernommen und können im Kapitel 4.1.3 nachgelesen werden. Um zu erkennen, ob die Stufe freigegeben ist, wird das Signal „Last“ benötigt. An diesem Signal wird die Last von der vorherigen Stufe angezeigt. Wenn die vorherige Stufe an ist, werden zwei Signale aus der Black Box Stufe ausgegeben. Es handelt sich hierbei um die Signale Enable mit einer eins und Reset mit einer null. Wenn jetzt die anderen eingestellten Parameter übereinstimmen wird das Signal Arbeitszeit freigegeben. Das Signal Reset wird erst aktiviert, wenn keine Last von der vorherigen Stufe vorliegt oder die eingestellte Endzeit für die Stufe erreicht wurde. In der Abb. 58 ist diese beschriebene Logik in der Blockdarstellung der Box nachzuvollziehen dargestellt.

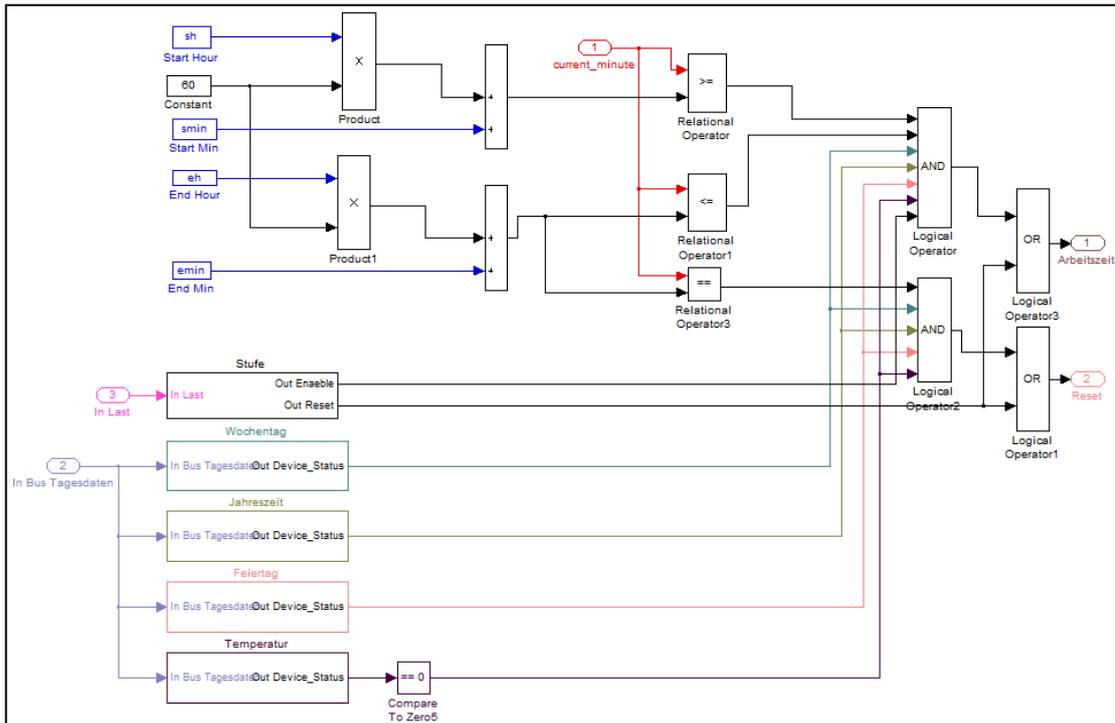


Abbildung 58: Arbeitszeit des stufenschaltbaren Verbrauchers
Quelle: Eigene Darstellung

In der Abb. 64 ist das Innere der Black Box „Stufe“ dargestellt. Mit Hilfe eines Schalters wird die eingestellte Stufe abgefragt. Ist die eingestellte Stufe eins, kann es keine vorherige Stufe geben. In diesem Fall wird die Arbeitszeit mit einer Konstanten auf eins und das Reset auf null gesetzt. Wenn aber eine höhere Stufe eingestellt ist wird das Eingangssignal Last abgefragt. In diesem Fall kann nur das Enable Signale eins sein, wenn die Last anliegt, ansonsten ist dieses null, das Signal Reset wird bei keiner Last eins und ansonsten ist es null.

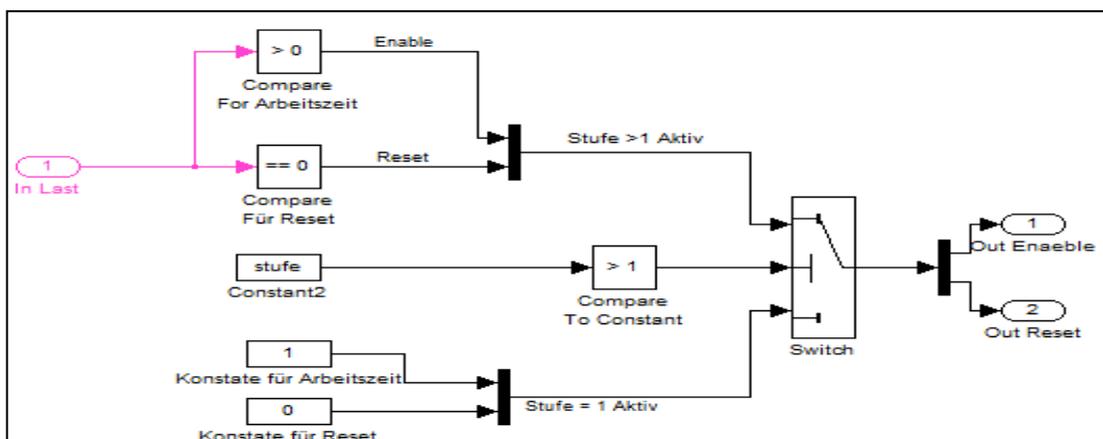


Abbildung 59: Abfragebox für die Last der vorherigen Stufe
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Timer“**

Die Funktionsweise für die Black Box „Timer“ musste wegen der Einführung der „Maximum Running Time“ erweitert werden. Ferner entfällt nachfolgend die „Maximum Shutdown Time“. Im Folgenden wird erklärt wie die Timer Boxen funktionieren.

Die Black Box „MRT“ ist für die eingestellte „Minimum“ und „Maximum Running Time“ verantwortlich. Die Black Box „MST“ ist für die „Minimum Shutdown Time“ zuständig. Durch die Enable Signale werden beide Boxen aktiviert. Wenn das Signal „LDM zuschalten“ aktiviert wird, startet der Timer „MRT“ und das „Status Device“ ist eins. Erst wenn die „Minimum Running Time“ durchgelaufen ist, kann die Stufe über das Signal „LDM abschalten“ den Timer beenden und mit dem Signal „Out Timer Enable“ kann der Timer in der Black Box „MST“ gestartet werden. Nun ist das „Status Device“ Signal null. Ist die eingestellte „Minimum Shutdown Time“ durchgelaufen, steht die Stufe wieder bereit zum Zuschalten. Über die Ausgangssignale „MaxRT Time“ und „MST Time“ wird die verbleibende Zeit der jeweiligen Timer weitergeleitet. Mit dem Signal „MinRT“ wird nur signalisiert, ab wann die „Minimum Running Time“ abgelaufen ist. Mit Hilfe des Reset werden beide Timer zurückgesetzt. In der Abb. 60 ist der Aufbau der Black Box Timer dargestellt.

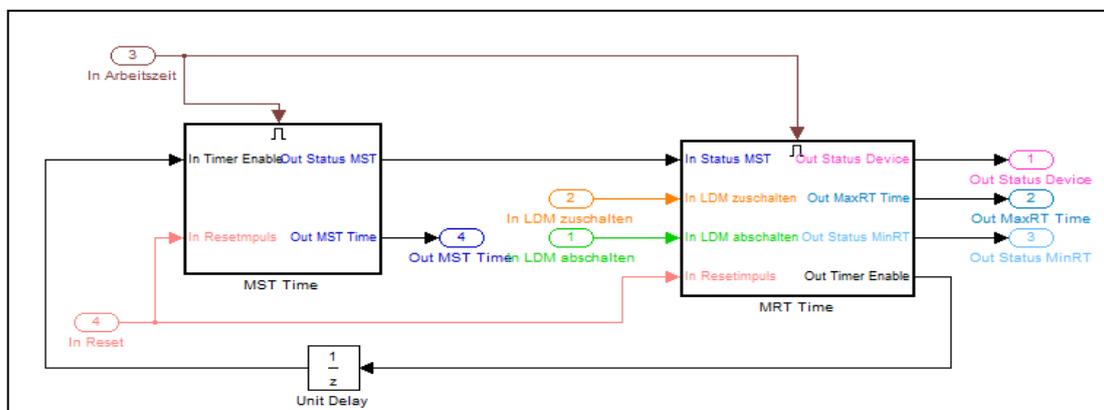


Abbildung 60: Aufbau der Black Box Timer des stufenschaltbaren Verbrauchers
 Quelle: Eigene Darstellung

Der Aufbau der Black Box „MRT Time“ ist im Prinzip derselbe wie der Aufbau der Black Box „MST“, welcher bereits im Kapitel 4.1.3 erklärt wurde. Der Unterschied ist nur, dass jetzt die „Minimum und Maximum Running Time“ verwendet wird und das sich die Schaltzustände für die Signale „LDM abschalten“ und „LDM zuschalten“ getauscht haben. Dadurch wird ermöglicht, dass die Stufe nach ablaufen der „Minimum Shutdown Time“ durch das Signal „LDM zuschalten“ angeschaltete werden kann. Das Signal „LDM

abschalten“ kann den Timer erst unterbrechen wenn die „Minimum Running Time durchgelaufen ist. Dieses ist in der Abb. 61 dargestellt.

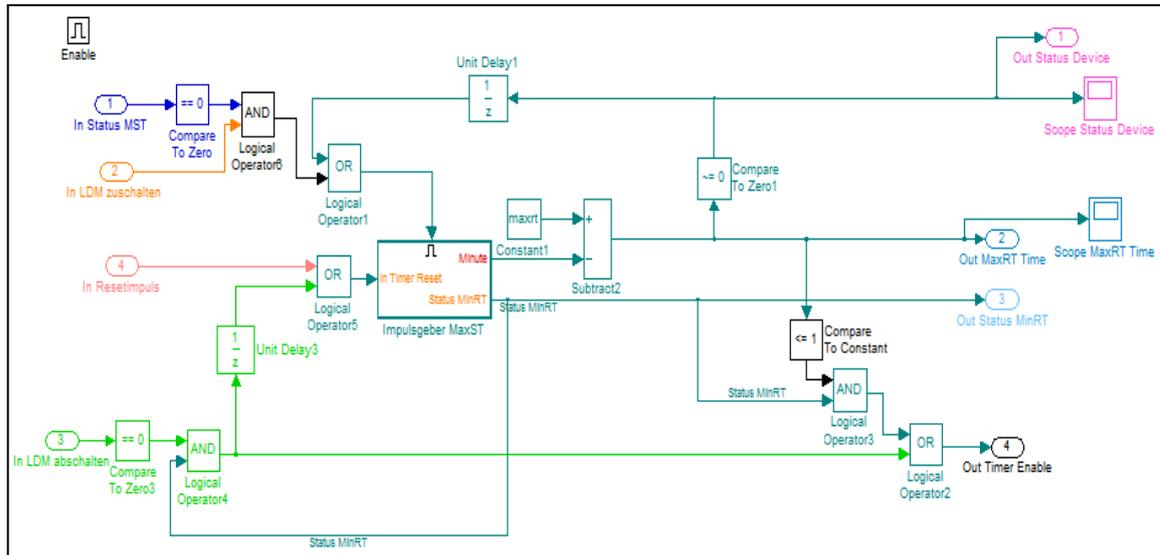


Abbildung 61: Aufbau der Black Box MRT des stufenschaltbaren Verbrauchers
Quelle: Eigene Darstellung

In der Abb. 62 wird der Aufbau für die MST Box dargestellt. Diese ist genauso aufgebaut wie die im Kapitel 4.1.3 erläuterte Black Box „MRT“. Der Unterschied ist, dass die „Minimum Shutdown Time“ statt der „Minimum Running Time“ für den Timer verwendet wird.

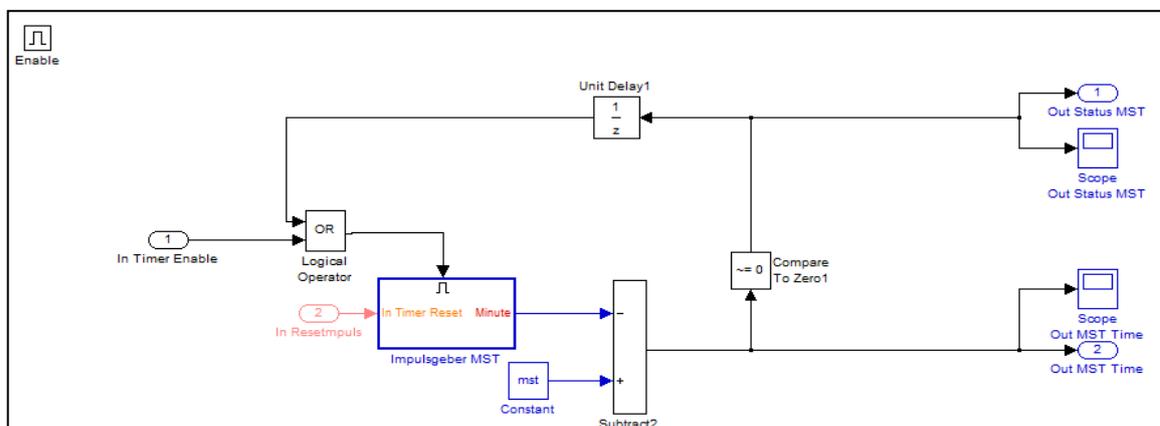


Abbildung 62: Aufbau der Black Box MST des stufenschaltbaren Verbrauchers
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Last und Arbeit“**

Die Black Box „Last und Arbeit“ musste ebenfalls verändert werden. Hierbei betrifft es nur die Black Box „Subsystem1“ (Berechnung der Ab- und Zuschaltarbeit). Es musste die „Maximum Running Time“ berücksichtigt werden und ferner entfällt die „Maximum Shutdown Time“ für die Berechnung der Ab- und Zuschaltarbeit.

In der Abb. 63 ist die Black Box „Subsystem1“ von der übergeordneten Black Box „Last und Arbeit“ dargestellt. Für die Berechnung der Ab- und Zuschaltarbeit müssen zwei unterschiedliche Zustände berücksichtigt werden. Die Zustände werden über das Signal „Status Device“ gemeldet. Dieses Signal wird über eine Action Box „Case of“ abgefragt. Wenn Status Device null ist, gilt die Black Box Fall I.

In diesem Fall ist die Stufe ausgeschaltet. Die Zuschaltarbeit muss für zwei Fälle unterschieden werden. Um die Fälle unterscheiden zu können, müssen die „restlichen Minuten der Viertelstunde“ und der „MST Timer“ von einander subtrahiert werden. Ist der Wert größer gleich der eingestellten „Maximum Running Time“, liegt die volle Zuschaltarbeit in dem Intervall der restlichen Minuten der Viertelstunde an. Ist der Wert kleiner, muss der Differenzwert aus den „restlichen Minuten der Viertelstunde“ und der verbleibenden „MRT Time“ zum Berechnen der Zuschaltarbeit verwendet werden. Wenn die Stufe ausgeschaltet ist, kann keine Abschaltarbeit vorhanden sein.

Wenn das „Status Device“ eins ist, gilt die Black Box Fall II.

In diesem Fall ist der Verbraucher angeschaltet und es können die Abschaltarbeit und die Zuschaltarbeit berechnet werden. Die Zuschaltarbeit wird berechnet indem die „Minimum Shutdown Time“ als konstanter Wert und der aktuelle Timer Wert von „MaxRT“ von der „restlichen Zeit der Viertelstunde“ subtrahiert werden. Ist der berechnete Wert größer Null, kann die Stufe bei Bedarf nochmals in der Viertelstunde zugeschaltet werden. Ansonsten beträgt die Zuschaltarbeit null.

Die Abschaltarbeit muss ebenfalls für zwei Zustände in einer Viertelstunde betrachtet werden. Um diese Zustände unterscheiden zu können, werden die „restlichen Minuten der Viertelstunde“ von dem konstanten Wert „MaxRT“ subtrahiert. Ist dieser Wert größer Null muss für die Abschaltarbeit der Timer Wert von „Max RT“ verwendet werden. In diesem Fall liegt das Intervall vom „Timer Max RT“ in der restlichen Viertelstunde. Ist der Wert kleiner gleich Null, liegt das Intervall vom „Timer Max RT“ nicht mehr vollständig in der restlichen Viertelstunde. In diesem Fall muss die Abschaltarbeit aufgeteilt werden. Zuerst wird die Abschaltarbeit über das Intervall der restlichen Viertelstunde berechnet. Dies geschieht mit Hilfe des Timers „restliche Minuten der Viertelstunde“. Ist die Viertelstunde abgelaufen, wird für die neue Viertelstunde die Abschaltarbeit über das Intervall des „Timers Max RT“ berechnet. Aus der Black Box Default wird der Wert null ausgegeben.

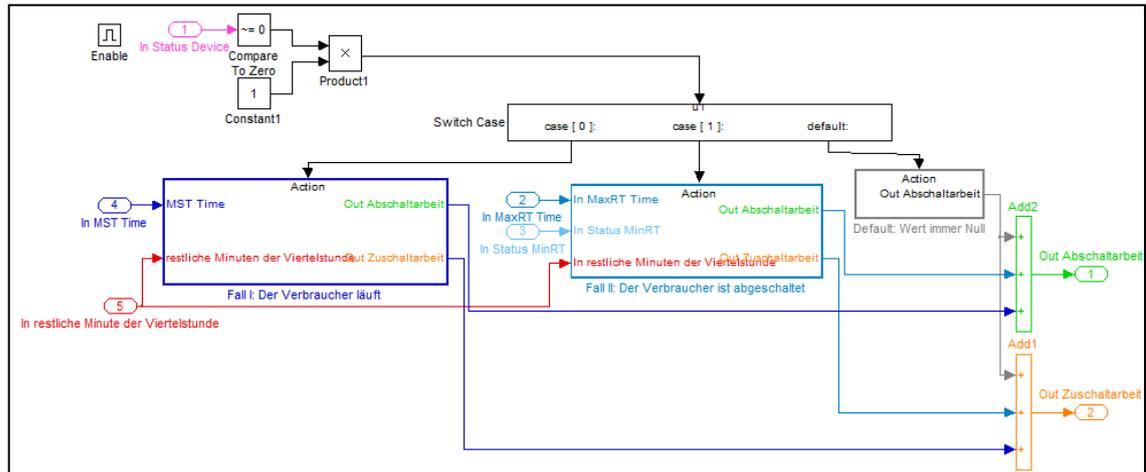


Abbildung 63: Aufbau Berechnung Ab- und Zuschaltarbeit, stufenschaltbaren Verbraucher
Quelle: Eigene Darstellung

4.3 Der übergeordnete Regler

Das Teilmodell des übergeordneten Reglers soll den Summenlastverlauf regeln. Dazu werden die Teilmodelle der Liegenschaften von dem Teilmodell des übergeordneten Reglers angesprochen. Damit das Teilmodell des übergeordneten Reglers im Modell abgebildet werden kann, muss dieser genauso wie die Teilmodelle der Liegenschaften eindeutig definiert werden. In der Abb. 64 ist die Black Box mit den Eingangs- und Ausgangssignalen für das Teilmodell eines übergeordneten Reglers dargestellt.

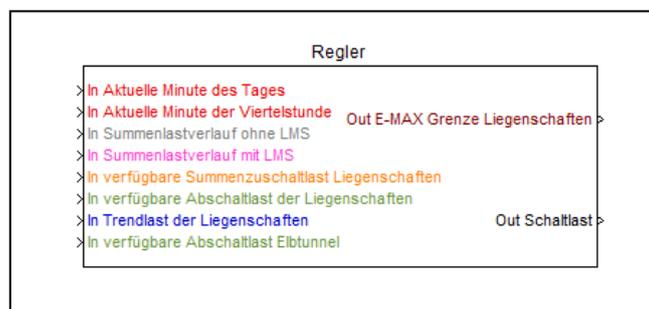


Abbildung 64: Black Box übergeordneter Regler
Quelle: Eigene Darstellung

Nachfolgend werden die Eingangs- und Ausgangssignale des Teilmodelles des übergeordneten Reglers aufgezeigt:

- **„In Aktuelle Minute des Tages“:** Dieses Eingangssignal gibt die aktuelle Minute des Tages an, diese wird für die Einteilung der Minutenreserve benötigt.
- **„In Aktuelle Minute der Viertelstunde“:** Das Eingangssignal gibt die aktuelle Minute in der Viertelstunde an.

- **„In Summenlastverlauf ohne LMS“:** Das Eingangssignal gibt die Summe aller Liegenschaften des realen Lastverlaufes für den Tag an. Dieser wird nicht von der Lastmanagement-Anlage beeinflusst.
- **„In Summenlastverlauf mit LMS“:** Dieses Eingangssignal gibt die Summe der aktuellen Last aus allen Liegenschaften an. Dies ist der beeinflusste Lastverlauf des realen Tageslastverlaufs der Liegenschaft.
- **„In verfügbare Summenzuschaltlast Liegenschaften“:** An diesem Eingangssignal liegt die zur Verfügung stehende Zuschaltlast aus jeder Liegenschaft, außer die des Elbtunnels, an.
- **„In verfügbare Abschaltlast der Liegenschaften“:** An diesem Eingangssignal liegen die zur Verfügung stehenden Abschaltlasten aus jeder Liegenschaft, ausgenommen die des Elbtunnels, an.
- **„In Trendlast der Liegenschaften“:** Dieses Eingangssignal gibt für jede Liegenschaft die Trendlast für eine Viertelstunde an.
- **„In verfügbare Abschaltlast Elbtunnel“:** An diesem Eingangssignal liegt die verfügbare Abschaltlast des Elbtunnels an.
- **„Out E-MAX Grenzen Liegenschaften“:** Dieses Ausgangsbussignal sendet die Lastgrenzen an die Liegenschaften.
- **„Out Schaltlast“:** Dieses Ausgangssignal gibt der Liegenschaft Elbtunnel an, wie viel Last zu- oder abgeschaltet werden soll.

Das Verhalten des Teilmodells des übergeordneten Reglers wird durch folgende Parameter beeinflusst:

- **„Modus Regler“:** Dieser Parameter besitzt vier Zustände. Es lassen sich die Zustände „Regler ON“, „Regler OFF“, „Regler Min Grenze“ und „Regler Max Grenze“ einstellen. Wenn „Regler ON“ ausgewählt wurde, gilt das ausgewählte Lastband aus dem Parameter „Modus Lastband“. Der Regler soll jeden Viertelstunden-Leistungsmittelwert in dieses Lastband regeln. Wenn der Modus „Regler OFF“ gewählt wurde, ist der Regler ausgeschaltet. Der Modus „Regler Min Grenze“ soll den Summenlastverlauf so weit wie möglich absenken. Wenn der Modus „Regler Max Grenze“ gewählt wurde, wird der Summenlastverlauf so weit wie möglich angehoben.

- **„Modus Last Band“:** Der Parameter Modus Lastband besitzt drei Zustände. Diese sind Lastband 5%, Lastband 20% und Lastband 5 MW. Anhand dieser Einstellung wird für die Summenlastgrenze ein Lastband von 5%, 20% oder von 5 MW erzeugt.
- **„Aktive Minutenreserve“:** Dieser Parameter gibt an, ob an dem Tag Minutenreserve berücksichtigt werden soll oder nicht.
- **„Summenlastgrenze“:** Die Summenlastgrenze wird über einer Datei eingelesen und gibt den Sollwert für den Regler vor (Fahrplan).
- **„Minutenreserve“:** die Minutenreserve wird über eine Datei eingelesen und gibt an, wann am Tag Minutenreserve beansprucht wurde.

Für die Funktionsweise des übergeordneten Reglers im Modell gilt wie folgt:

Der übergeordnete Regler orientiert sich an einem Summenlastverlauf (Fahrplan). Die Einstellung „Regler On“ berücksichtigt für den Fahrplan das ausgewählte Lastband. Es wird aus dem aktuellen Summenlastverlauf eine Trendlast für eine Viertelstunde berechnet. Diese Trendarbeit wird genauso berechnet wie die Trendarbeit bei der Lastmanagement-Anlage und ist in Kapitel 3.6.3 beschrieben. Es wird abgefragt, ob das Lastband von der Trendlast verletzt wird. Liegt die Trendlast über der oberen Lastgrenze, müssen die Lastgrenzen für die Liegenschaften und die Schaltlast für den Elbtunnel neu berechnet werden. Dabei müssen die Lastgrenzen und die Schaltlast so berechnet werden, dass der Summenlastverlauf verringert und somit der Viertelstunden-Leistungsmittelwert in das Lastband geregelt ist. Wenn die Trendlast unter der unteren Lastgrenze liegt, müssen ebenfalls die Lastgrenzen der Liegenschaften und die Schaltlast für den Elbtunnel neu berechnet werden. Hierbei müssen die Lastgrenzen so berechnet werden, dass der Summenlastverlauf ansteigt und somit der Viertelstunden-Leistungsmittelwert in das Lastband geregelt ist. Werden keine Lastgrenzen verletzt, werden die berechneten Lastgrenzen für die Liegenschaften und die Schaltlast für den Elbtunnel nicht verändert. Wenn die Minutenreserve ausgewählt wird, muss diese in derselben Art berücksichtigt werden.

Die Einstellung „Regler Off“ soll den Lastverlauf der Liegenschaften nicht von außen beeinflussen. Nur wenn die Minutenreserve ausgewählt wird, soll bei der Anforderung geregelt werden. Die Einstellungen „Regler Min Grenze“ und „Regler Max Grenze“ sollen den minimalen und maximalen Summenlastverlauf bestimmen.

Untenstehend wird die Implementierung des übergeordneten Reglers erläutert.

Per Doppelklick auf die Black Box „Regler“ öffnet sich die Eingabemaske. Über diese Eingabemaske lassen sich die vorher beschriebenen Parameter für das Teilmodell des übergeordneten Reglers einstellen. In der Abb. 65 ist die Eingabemaske mit allen Parametern zum Auswählen dargestellt.

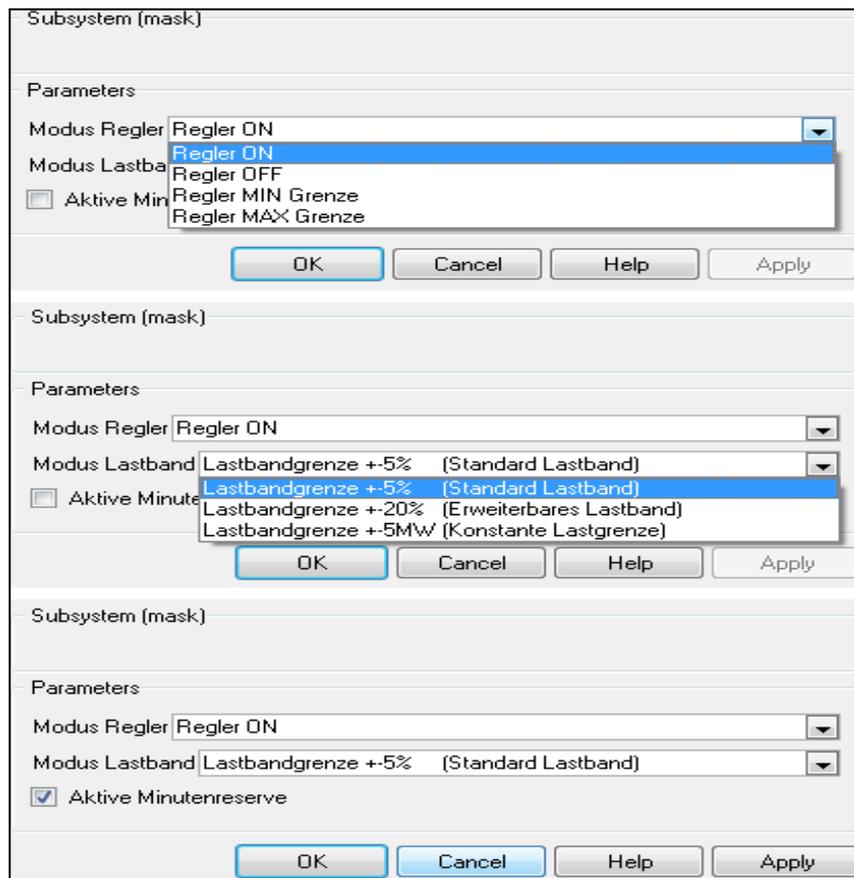


Abbildung 65: Eingabemaske des übergeordneten Reglers
Quelle: Eigene Darstellung

Um in das Innere der Black Box zu gelangen, muss mit dem Rechtsklick das Kontextmenu geöffnet und der Punkt „Look Under Mask“ mit Linksklick ausgewählt werden. Die Abb. 66 zeigt den inneren Aufbau des Reglers. Dieser besitzt sechs weitere Unterboxen. Diese sind die Black Boxen „Summenlastgrenze“, der „Regler Modus“, die „Energiebilanz“ und die „Regler ON“, „Regler OFF“, „Regler Min Grenze“ und „Regler Max Grenze“. Diese werden in den nächsten Unterkapiteln beschrieben.

Die Black Box „Summenlastgrenze“ berechnet das Soll Lastband und die Minutenreserve, wenn diese angefordert werden.

Die Black Box „Energiebilanz“ wertet die Fahrplanabweichung und die geleistete Minutenreserve aus. Die berechneten Ergebnisse aus dem Teilmodell werden zu einem

Bussignal zusammengeführt und auf einen Scope (grafische Darstellung) ausgegeben. Gleichzeitig wird das Bussignal in einer CSV-Datei abgespeichert.

Die Black Box „Regler ON“, „Regler OFF“, „Regler Min Grenze“ und „Regler Max Grenze“ werden alle über einen Enable Eingang aktiviert. Diese werden von der Black Box „Regler Modus“ getriggert. Dazu wertet das Teilmodell den eingestellten Regler Modus aus der Eingabemaske aus.

Die Black Box „Regler ON“ soll durch folgende Anforderungen die E-Max Grenzen für die Liegenschaften und die Schaltlast des Elbtunnels berechnen: Einhaltung des Soll Lastbands und Erbringung der Minutenreserve.

Die Black Box „Regler OFF“ regelt den Summenlastverlauf nicht. In diesem Modus arbeitet jede Liegenschaft für sich.

Die Black Box „Regler Min Grenze“ soll den Summenlastverlauf minimieren. Hierzu wird erzwungen, dass jeder verfügbare Verbraucher immer wieder abgeschaltet wird, sobald er zur Abschaltung wieder verfügbar ist.

Die Black Box „Regler Max Grenze“ soll den maximalen Summenlastverlauf bestimmen. Dabei werden alle verfügbaren Energieverbraucher angeschaltet.

Mit Hilfe der Black Boxen „Regler Min Grenze“ und „Regler Max Grenze“ sollen durch den maximalen und minimalen Summenlastverlauf die verfügbare Minutenreserve für den Tag bestimmt werden.

Nach dem einer der Regler die „E-Max Grenzen“ für die Liegenschaften und die „Schaltlast“ für den Elbtunnel berechnet hat, werden diese über einen Addierer zu den Ausgangssignalen „Out E-MAX Grenze Liegenschaften“ und „Out Schaltlast“ weitergeleitet.

In den folgenden Unterkapiteln werden die so ebenen beschriebenen Black Boxen dargestellt und erläutert.

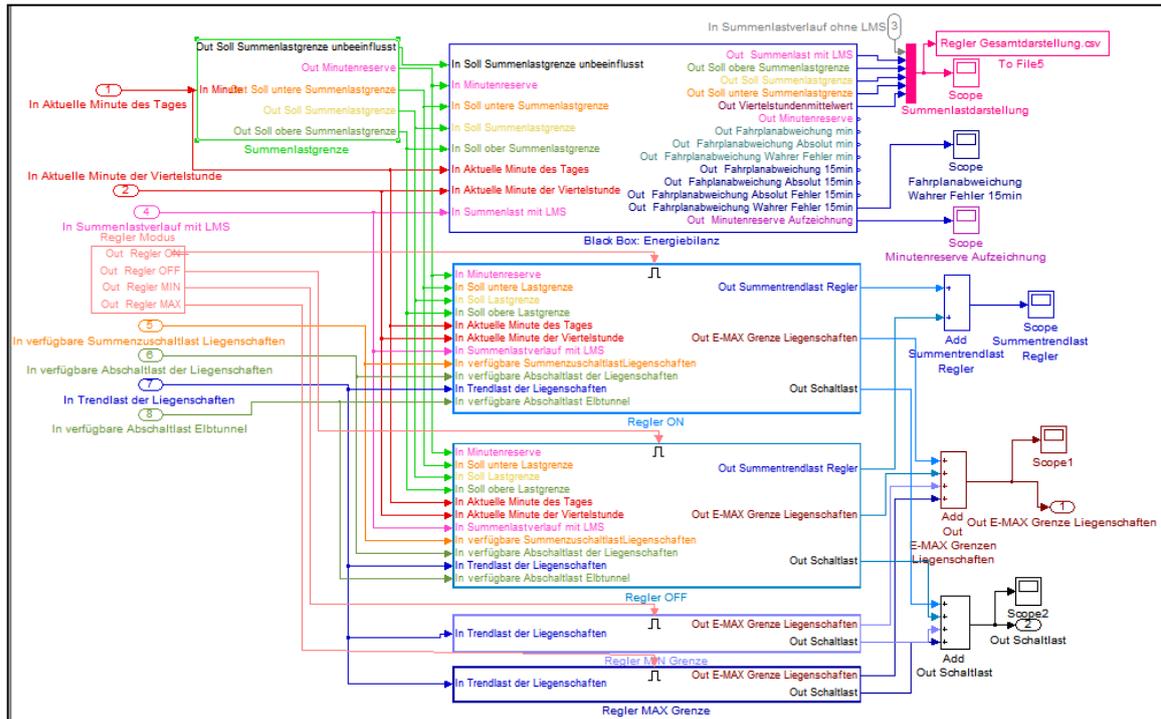


Abbildung 66: Aufbau des Reglers
Quelle: Eigene Darstellung

4.3.1 Black Box „Regler Modus“

Die Black Box „Regler Modus“ besitzt keine Eingänge. Die Ausgänge dieser Black Box sind „Out Regler MAX“, „Out Regler MIN“, „Out Regler OFF“ und „Out Regler ON“. Diese Black Box erhält ihren Wert über das Eingabefeld „Regler Modus“ aus der Eingabemaske des Reglers und ist für die Auswahl der Regelung zuständig. Es ist immer nur ein Ausgang zurzeit auf eins. Mit dem Doppelklick auf die Black Box „Regler Modus“ gelangt man in das Innere der Box, welche in der Abb. 67 dargestellt ist. Der Modus für den Regler wird über die Variable Regler Modus bestimmt. Wird über die Eingabemaske des Reglers „Regler ON“ gewählt ist die Variable eins, bei „Regler OFF“ ist es zwei, bei „Regler Min Grenze“ ist es drei und bei „Regler Max Grenze“ ist es vier. Um die ausgewählte Eingabe zu erkennen, wird die variabel mit einem konstanten Wert für jede gewünschte Einstellung abgefragt. Mit Hilfe des Displays Status lässt sich erkennen, welcher Ausgang aktiviert wurde.

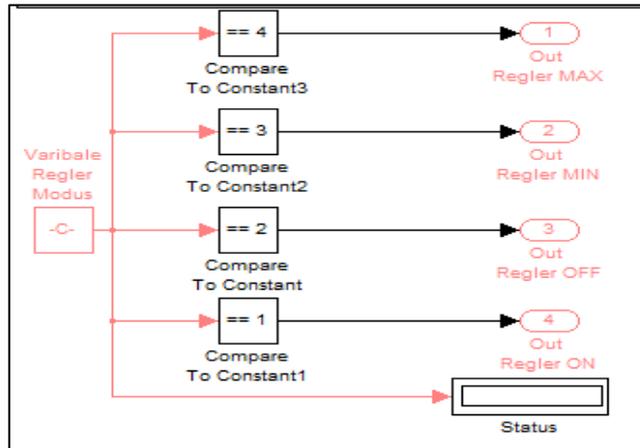


Abbildung 67: Aufbau der Black Box Regler Modus
Quelle: Eigene Darstellung

4.3.2 Black Box „Summenlastgrenze“

Die Black Box „Summenlastgrenze“ beinhaltet den Eingang „In Minute“ (In Aktuelle Minute des Tages) und die Ausgänge „Out Soll Summenlastgrenze“, „Out Minutenreserve“, „Out Soll untere Summenlastgrenze“, „Out Soll Summenlastgrenze“ und „Out Soll obere Summenlastgrenze“.

Mit einem Doppelklick auf die Black Box „Summenlastgrenze“ gelangt man in das Innere der Box. Die Abb. 68 zeigt den inneren Aufbau der Black Box. Die Box besitzt fünf weitere Unterboxen. Es handelt sich dabei um die Black Boxen „Lastband“, „Minutenreserve“, „keine Minutenreserve“, „positive Minutenreserve“ und „negative Minutenreserve“. Die Black Box „Lastband“ gibt das Lastband für die aktuelle Minute aus. Dies wird weitergeleitet als Eingangssignal an die Black Box „keine Minutenreserve“. Das Signal „Soll Lastgrenze“ aus der Black Box „Lastband“ wird weitergeleitet als Eingangssignal an die Black Box „positive und negative Minutenreserve“.

Das Eingangssignal „In Minute“ der Black Box „Summenlastgrenze“ gibt die aktuelle Minute des Tages an. Dieses Signal ist auch an die Black Box Minutenreserve angeschlossen. Mit Hilfe der Minute wird das Tagesintervall weitergeleitet, damit die richtige Minutenreserve zur richtigen Zeit aktiviert werden kann sobald sie angefordert wird. Das Signal „Minutenreserve“, aus der Black Box „Minutenreserve“, wird an die Black Boxen „keine“, „positive“ und „negative Minutenreserve“ als Eingangssignal angeschlossen. Dadurch ist immer nur eine der drei Boxen aktiviert.

Ist das Signal „Minutenreserve“ null, wird die Black Box „keine Minutenreserve“ aktiviert. Die Box leitet das Eingangssignal Soll Lastgrenze, Soll untere und obere Lastgrenze von der Black Box „Lastband“ weiter.

Ist die Minutenreserve kleiner null (negativ), wird die Black Box „negative Minutenreserve“ aktiviert. Das Eingangssignal „Soll Lastgrenze“ soll um die Minutenreserve gesenkt werden. Dabei werden die Soll Lastgrenze und die dazugehörigen Lastgrenzen berechnet.

Ist die Minutenreserve größer null (positiv), wird die Black Box „positive Minutenreserve“ aktiviert. Das Eingangssignal „Soll Lastgrenze“ wird um die Minutenreserve erhöht. Es wird dabei die Soll Lastgrenze und das dazugehörigen Lastband berechnet. Die Signale „Soll obere Lastgrenze“, „Soll Lastgrenze“ und „Soll untere Lastgrenze“ werden aufaddiert und an die Ausgangssignale „Out Soll obere Lastgrenze“, „Out Soll Lastgrenze“ und „Out Soll untere Lastgrenze“ weitergegeben. Außerdem wird die „Minutenreserve“ und die „unbeeinflusste Soll Lastgrenze“ als Ausgangssignal ausgegeben.

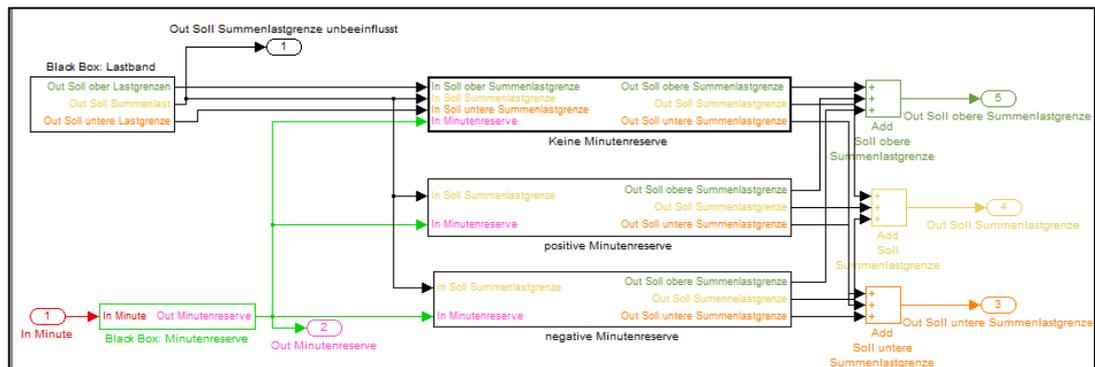


Abbildung 68: Aufbau der Summenlastgrenze für den Regler
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Lastband“**

Die Black Box „Lastband“ besitzt keine Eingänge. Ihre Ausgänge sind die „Out Soll obere Lastgrenze“, die „Out Soll Lastgrenze“ und die „Out Soll untere Lastgrenze“. Mit einem Doppelklick auf die Black Box „Lastband“ gelangt man in das Innere der Box. Die Abb. 69 zeigt den inneren Aufbau der Black Box „Lastband“. Der Summenfahrplan ist über eine variable Summenlastgrenze im MATLAB Workspace Verzeichnis bekannt. Die Summenlastgrenze ist ein Vektor der für den ganzen Tag gilt. Jedes Vektorfeld wird in jeder Minute einmal aufgerufen, somit muss für jede Minute das Lastband bestimmt werden. Das Lastband wird über die Variable „Modus Lastband“ bestimmt. Diese wird über die Eingabe Maske des Reglers gewählt. Wenn ein Lastband von 5% über die Eingabemaske gewählt wurde, ist die Variabel eins. Wird das Lastband von 20% gewählt, ist die Variable zwei. Wird die Lastband Konstante 5 MW gewählt ist die Variable drei. Es kann immer nur ein Lastband für eine Simulation gewählt werden. Wird die Einstellung

5% bzw. 20% gewählt wird eine Fahrplanabweichung von 5% bzw. 20% berechnet. Wird die Einstellung 5 MW ausgewählt, ist die Abweichung 5000. Der Fahrplanwert wird mit der Abweichung addiert und daraus ergibt sich die „obere Soll Summenlastgrenze“. Die „untere Soll Summenlastgrenze“ wird durch eine Differenz des Fahrplanwertes und der Abweichung gebildet.

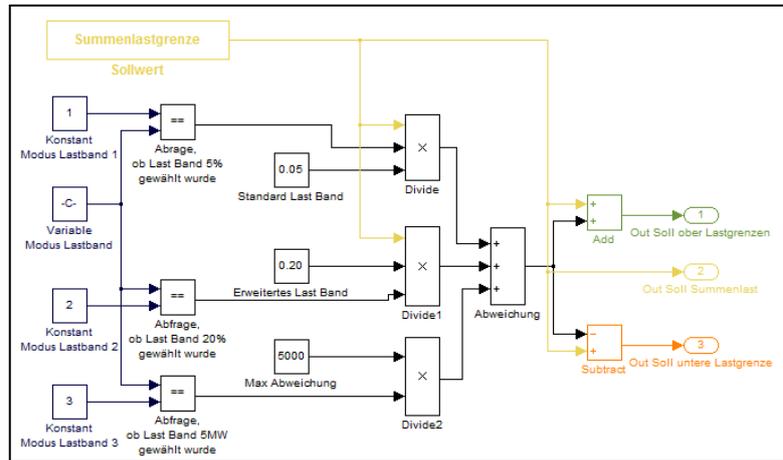


Abbildung 69: Aufbau der Black Box Lastband
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Minutenreserve“**

Die Black Box „Minutenreserve“ enthält den Eingang „In Minute“ und den Ausgang „Out Minutenreserve“. Das Signal „In Minute“ ist das Signal „In Aktuelle Minute des Tages“. Mit einem Doppelklick auf die Black Box „Minutenreserve“ gelangt man in das Innere der Box. Der innere Aufbau der Black Box „Minutenreserve“ ist in der Abb. 70 dargestellt. Die Minutenreserve ist über die Variable „Minutenreserve“ im MATLAB Workspace Verzeichnis bekannt. Die Minutenreserve wird im 6 x 4 Stunden Intervall für den Tag angeboten. Aus diesem Grund sind sechs Minutenreserve-Blöcke vorhanden. Jede Box besitzt die Eingänge „In Minuten“ und „In Status Minutenreserve“.

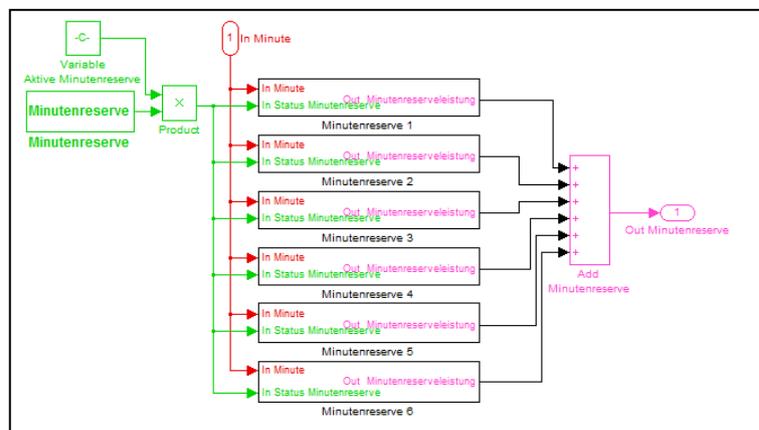


Abbildung 70: Aufbau der Black Box Minutenreserve
Quelle: Eigene Darstellung

Mit einem Doppelklick auf die Black Box Minutenreserve 1 bis 6 öffnet sich ein Dialogfenster. Hier lassen sich die Parameter Start- und Endzeit für die Minutenreserve angeben. Über das Signal „Power“ wird die gewünschte Leistung in kW für die Minutenreserve definiert und anschließend mit dem Linksklick auf OK bestätigt. Die Abb. 71 zeigt dieses Dialogfenster mit den Eingabeparametern. Wenn die eingestellte Zeit mit der Minute übereinstimmt und in dem Moment über das Signal „Status Minutenreserve“ eine eins gesendet wird, gibt die Black Box die eingestellte Leistung für die Minutenreserve aus.

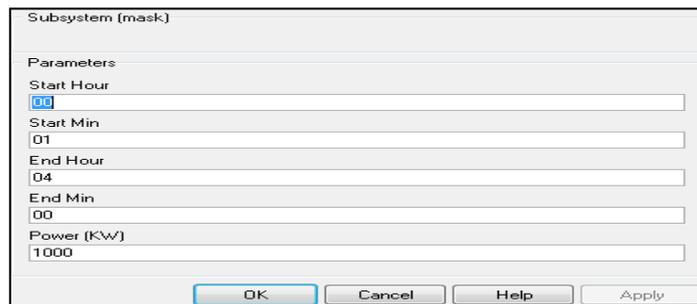


Abbildung 71: Eingabemaske für die Minutenreserve
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „keine Minutenreserve“**

Die Black Box „keine Minutenreserve“ besitzt die Eingänge „In Soll obere Summenlastgrenze“, „In Soll Summenlastgrenze“, „In Soll untere Summenlastgrenze“ und „In Minutenreserve“. Ihre Ausgänge sind „Out Soll obere Summenlastgrenze“, „Out Soll Summenlastgrenze“ und „Out Soll untere Summenlastgrenze“. Per Doppelklick auf die Black Box keine Minutenreserve wird das Innere der Box angezeigt, dies wird in der Abb. 72 dargestellt. Das Lastband soll unverändert weitergeleitet werden, dies wird ermöglicht indem das Eingangssignal „In Minutenreserve“ auf null abgefragt und anschließend mit den Eingangssignalen multipliziert wird.

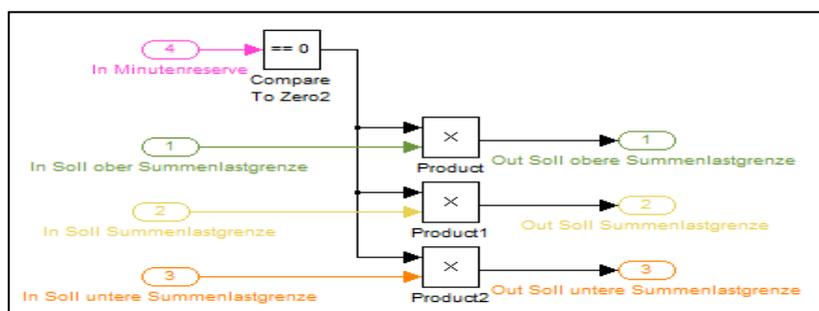


Abbildung 72: Aufbau der Black Box keine Minutenreserve
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „positive Minutenreserve“**

Die Black Box „positive Minutenreserve“ besitzt dieselben Eingangs- und Ausgangssignal wie die Black Box keine Minutenreserve. Mit dem Doppelklick auf die Black Box „positive Minutenreserve“ gelangt man in das Innere der Box. Diese ist in der Abb. 73 dargestellt. Die untere Soll Summenlastgrenze wird anhand der vorgegebenen Soll Summenlastgrenze und der positiven Minutenreserve berechnet. Beide Werte werden aufaddiert. Die Minutenreserve wird nach größer null abgefragt und mit der neuen Summenlastgrenze multipliziert. Daraus entsteht die untere Soll Summenlastgrenze. Über die untere Soll Lastgrenze wird mit einem Verstärker die neue Soll Summenlastgrenze berechnet. Hierbei beträgt die Verstärkung $1/0.95$. Aus dieser Summenlastgrenze soll die obere Summenlastgrenze mit einer weiteren Verstärkung berechnet werden. Diese Verstärkung beträgt 1.05 . Durch diese zwei Verstärker wird ein Lastband um die Soll Summenlastgrenze von fünf Prozent erzeugt.

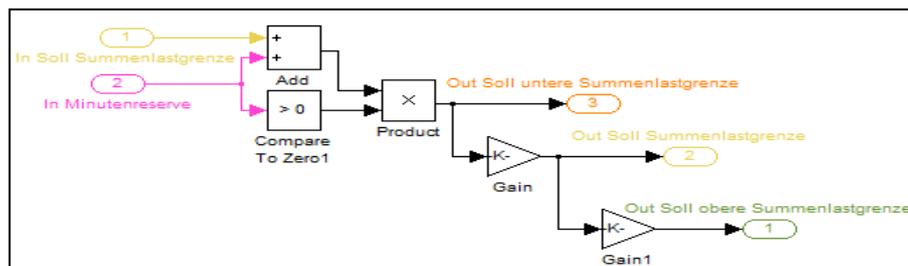


Abbildung 73: Aufbau der Black Box positive Minutenreserve
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „negative Minutenreserve“**

Die Black Box „negative Minutenreserve“ besitzt die Eingangs- und Ausgangssignale wie die Black Box „keine Minutenreserve“. Mit dem Doppelklick auf die Black Box „positive Minutenreserve“ gelangt man in das Innere der Box, welche in der Abb. 74 dargestellt ist. Die neue Soll Summenlastgrenze wird, anhand der vorgegebenen Soll Summenlastgrenze und der negativen Minutenreserve berechnet. Beide Werte werden aufaddiert. Die Minutenreserve wird nach kleiner null abgefragt und mit der neuen Summenlastgrenze multipliziert. Daraus entsteht die obere Soll Summenlastgrenze. Über die obere Soll Lastgrenze wird mit einem Verstärker die neue Soll Summenlastgrenze berechnet. Hierbei beträgt die Verstärkung $1/1.05$. Aus dieser Summenlastgrenze soll die untere Summenlastgrenze mit einer weiteren Verstärkung berechnet werden. Diese Verstärkung beträgt 0.95 . Durch diese zwei Verstärker wird ein Lastband um die Soll Summenlastgrenze von fünf Prozent erzeugt.

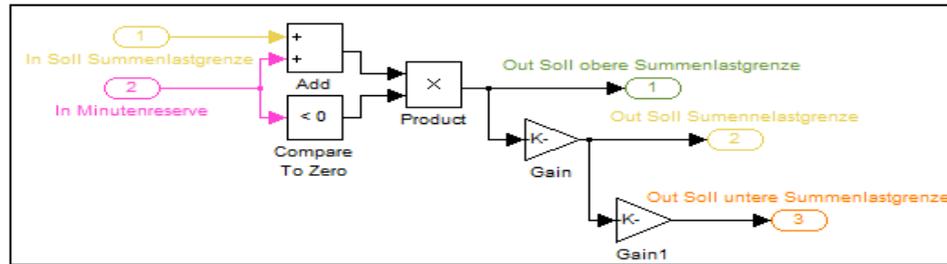


Abbildung 74: Aufbau der Black Box negative Minutenreserve
Quelle: Eigene Darstellung

4.3.3 Black Box „Energiebilanz“

Die Black Box „Energiebilanz“ besitzt die Eingänge „In Soll Summenlastgrenze unbeeinflusst“, „In Minutenreserve“, „In Soll untere Summenlastgrenze“, „In Soll Summenlastgrenze“, „In Soll obere Summenlastgrenze“, „In Aktuelle Minute des Tages“, „In Aktuelle Minute der Viertelstunde“ und „In Summenlast mit LMS“. Die Ausgänge sind „Out Summenlast mit LMS“, „Out Soll obere Summenlastgrenze“, „Out Soll Summenlastgrenze“, „Out Soll untere Summenlastgrenze“, „Out Viertelstundenmittelwert“, „Out Minutenreserve“, „Out Fahrplanabweichung min“, „Out Fahrplanabweichung absolut min“, „Out Fahrplanabweichung absolut Fehler min“, „Out Fahrplanabweichung wahrer Fehler min“, „Out Fahrplanabweichung 15min“, „Out Fahrplanabweichung Absolut 15min“, „Out Fahrplanabweichung absolut Fehler 15min“, „Out Fahrplanabweichung wahrer Fehler 15min“ und „Out Minutenreserve Aufzeichnung“. Die Black Box „Energiebilanz“ ist für die Auswertung des Summenlastverlaufs zuständig. Dabei werden die Fahrplanabweichungen, der Viertelstundenmittelwert und die geleistete Minutenreserve berechnet.

Mit dem Doppelklick auf die Black Box „Energiebilanz“ gelangt man in das Innere der Box, welche in der Abb. 75 dargestellt ist. Die „Aktuelle Minute des Tages“ wird für die Freigabe der Berechnungen benötigt. Die Berechnungen dürfen erst ab der zweiten Minute des Tages anfangen.

Im Inneren der Box befindet sich eine weitere Black Box mit dem Namen „Mittelwertbildung“. Diese berechnet den Viertelstundenmittelwert anhand der aktuellen Summenlastverläufe und der aktuellen Minute der Viertelstunde. Die Fahrplanabweichung pro Minute wird anhand der „Soll Summenlastgrenze“ und der Summenlast gebildet. Anschließend wird der Betrag gebildet, um die absolute Abweichung zu berechnen. Daraufhin wird die Fahrplanabweichung in Prozent umgerechnet. Dasselbe wird für den Viertelstundenmittelwert gebildet.

Um die geleistete Minutenreserve zu berechnen, muss der Summenlastverlauf von der „Soll Summenlastgrenze“ unbeeinflusst subtrahiert werden. Diese Differenzlast wird nun mit der angeforderten „Minutenreserve“ zu einem Signal zusammengeführt. Daran lässt sich erkennen, ob und wie die „Minutenreserve“ eingehalten wurde. Die Eingangssignale „In Summenlast mit LMS“, „In Soll obere Summenlastgrenze“, „In Soll Summenlastgrenze“, „In Soll untere Summenlastgrenze“ und „In Minutenreserve“ werden unverändert als Ausgangssignal weitergeleitet.

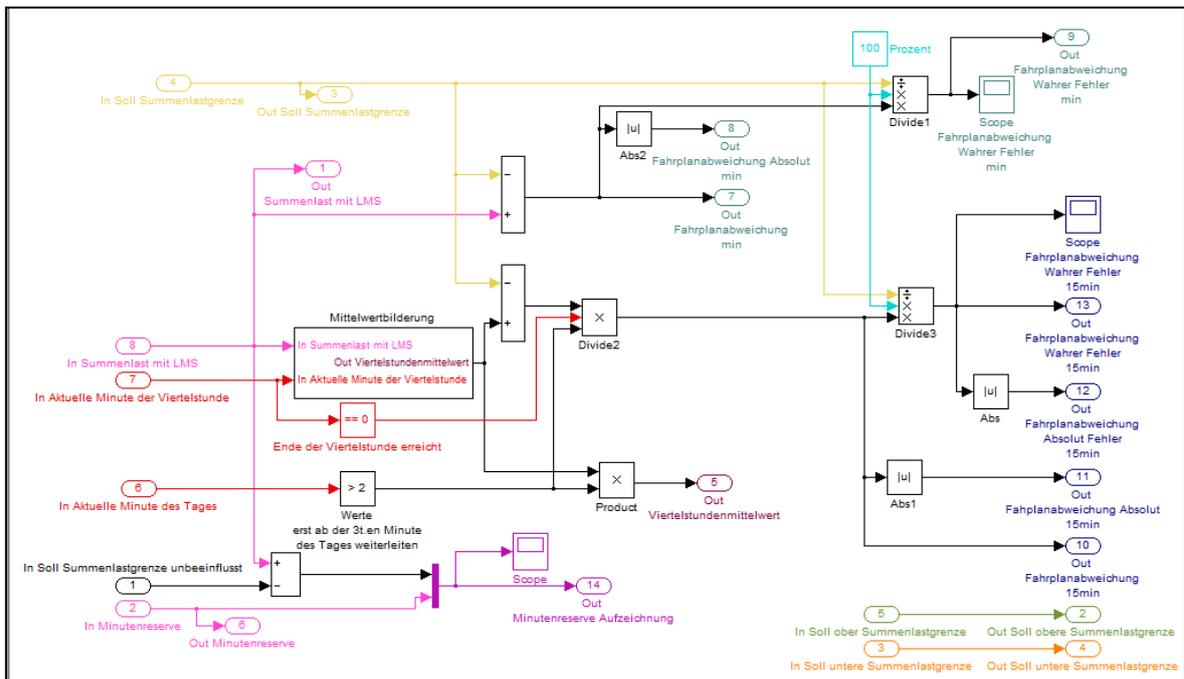


Abbildung 75: Aufbau der Black Box Energiebilanz

Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Mittelwertbildung“**

Die Black Box „Mittelwertbildung“ hat die Eingänge „In Summenlast mit LMS“ und die „In Aktuelle Minute der Viertelstunde“ und den Ausgang „Out Viertelstundenmittelwert“. Diese Box berechnet den Viertelstundenmittelwert.

Per Doppelklick auf die Black Box „Mittelwertbildung“ gelangt man in das Innere der Box, welche in der Abb. 76 dargestellt ist. Zur Berechnung des Viertelstundenmittelwertes wird eine MATLAB Funktionsbox verwendet. Mit Hilfe dieser Funktionsbox lässt sich im Modell eine Script Datei einbinden. Die Funktionsbox lässt sich mit einem Doppelklick öffnen. Bei den Parametern MATLAB function muss die Funktion eingetragen werden, damit die Funktion verwendet werden kann.

Die Funktionsbox hat lediglich einen Eingang und einen Ausgang. Damit mehrere Eingangssignale verwendet werden können, werden die Signale über einen Muxer

zusammengeschaltet. Um mehrere Ausgangssignale wieder zu trennen wird ein Demuxer verwendet.

Für die Funktionsbox werden drei Eingangswerte benötigt und zwei Ausgangswerte ausgegeben. Das zweite Ausgangssignal übergibt nach jedem Takt die aufaddierten Summenlastwerte an den dritten Eingang der Funktionsbox.

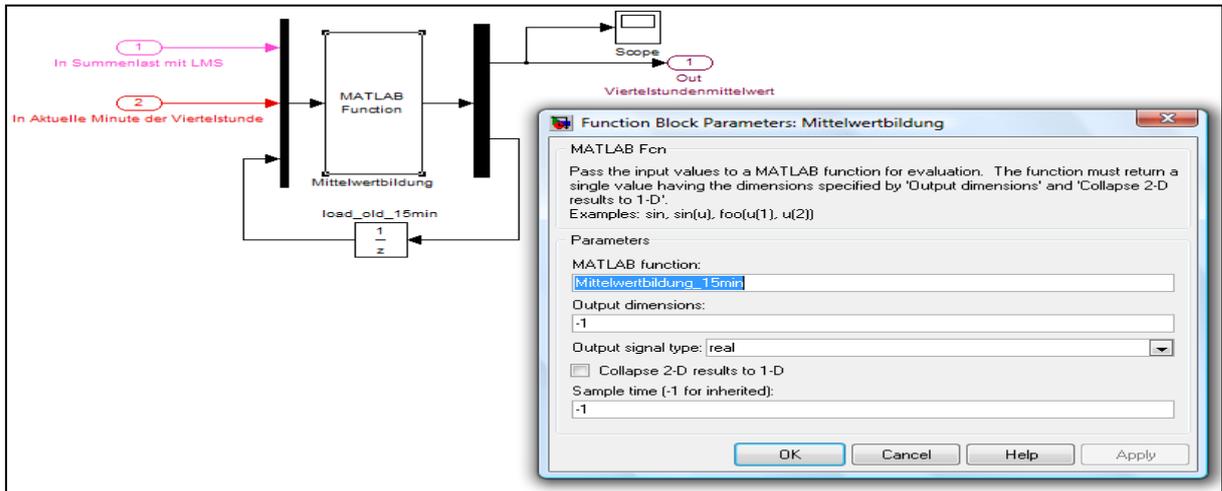


Abbildung 76: Aufbau der Black Box Mittelwertbildung
Quelle: Eigene Darstellung

In der Abb. 77 ist das Ablaufdiagramm zur Funktion „Mittelwert_15min.m“ dargestellt. Zunächst werden die Daten aktuelle „Summenlast“, „die aktuelle Minute der Viertelstunde“ und die Summe der bisherigen verrichteten Arbeit in einer Viertelstunde eingelesen. Daraufhin wird die Summe anhand der bisherigen Summenlast und der aktuellen Summenlast gebildet. Wenn die aktuelle Minute der Viertelstunde gleich Null ist, wird der Mittelwert aus der Viertelstunde gebildet und die Summenlast neu wird auf null gesetzt. Ist die Viertelstunde noch nicht erreicht, wird der Viertelstundenmittelwert gleich null gesetzt. Anschließend werden der Viertelstundenmittelwert und die Summenlast neu ausgegeben. Die Summenlast neu wird mit einer Taktverzögerung an die Funktion als Summenlast alt wieder zurückgegeben. Dies wiederholt sich bis die eingestellte maximale Intervallzeit im Modell erreicht wurde. Der Programmcode zur Funktion „Mittelwert_15min.m“ ist im Anhang 8.2 einzusehen.

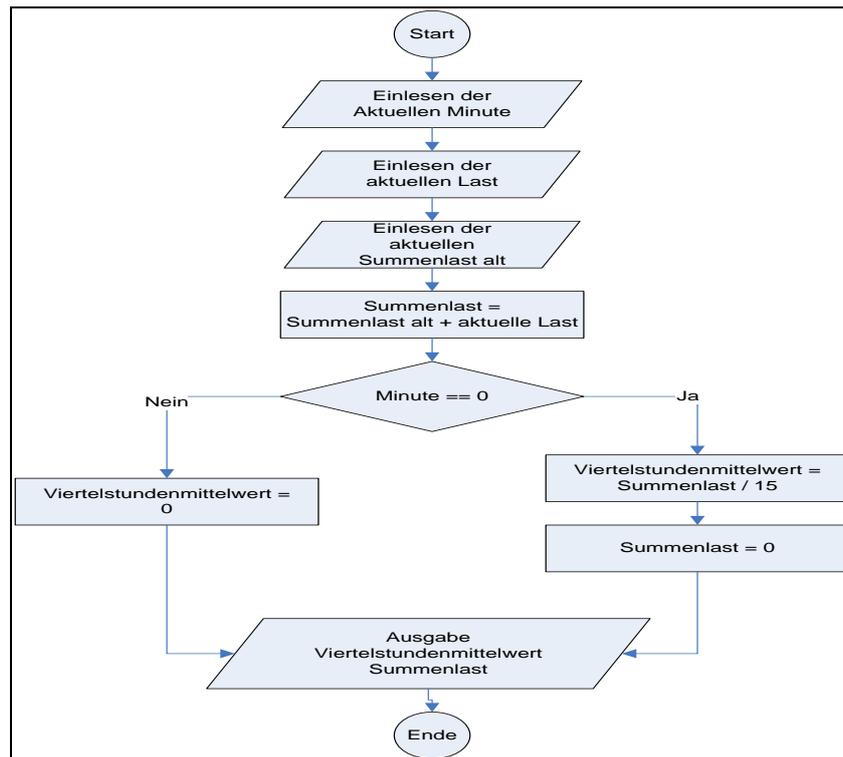


Abbildung 77: Ablaufdiagramm "Mittelwertbildung_15min.m"
Quelle: Eigene Darstellung

4.3.4 Black Box „Regler ON“

Die Black Box „Regler ON“ hat die Eingänge „In Minutenreserve“, „In Soll untere Summenlastgrenze“, „In Soll Summenlastgrenze“, „In Soll obere Summenlastgrenze“, „In Aktuelle Minute des Tages“, „In Aktuelle Minute der Viertelstunde“, „In Summenlastverlauf mit LMS“, „In verfügbare Summenzuschaltlast Liegenschaften“, „In verfügbare Abschaltlast der Liegenschaften“, „In Trendlast der Liegenschaften“ und „In verfügbare Abschaltlast Elbtunnel“. Die Ausgänge sind „Out Summentrendlast Regler“, „Out E-MAX Grenze Liegenschaften“ und „Out Schaltlast“. Die Box hat die Aufgabe den Viertelstundenmittelwert in dem Lastband zu regeln. Um dieses zu erreichen werden die „E-MAX Grenzen“ und die „Schaltlast“ berechnet.

Mit einem Doppelklick auf die Black Box „Regler On“ gelangt man in das Innere der Box, welche in der Abb. 78 dargestellt ist. Diese ist mit sechs weiteren Teilmodellen versehen. Es sind die Black Boxen „Trendberechnung der Summenlast“, „Minutenreserve Regelung“, „positive Minutenreserve“, „negative Minutenreserve“, „Dreipunktregler“ und „Berechnung Lastgrenzen & Schaltlast“. Diese Teilmodelle werden in den nächsten Abschnitten erläutert.

Die Black Box „Trendberechnung der Summenlast“ berechnet die Summentrendlast für eine Viertelstunde. Diese dient als Vergleichswert für die Regelboxen.

Die Black Box „Minutenreserve Regelung“ analysiert das Signal der „Minutenreserve“ und „die aktuelle Minute des Tages“. Die Black Box triggert damit die einzelnen Regler Boxen und initialisiert die Lastgrenzen und die Schaltlast.

Die Black Box „Dreipunktregler“ hat die Aufgabe den Viertelstunden-Leistungsmittelwert in das Lastband zu regeln. Dabei wird bestimmt wie groß die Regeldifferenz ist und welche Lastgrenze verletzt wurde.

Die Black Box „Regelung negative Minutenreserve“ soll dafür sorgen, dass die negative Minutenreserve eingehalten wird. Es wird die Regeldifferenz bestimmt und welche Lastgrenze verletzt wurde.

Die Black Box „Regelung positive Minutenreserve“ bestimmt die Regeldifferenz und sorgt dafür dass die positive Minutenreserve eingehalten wird.

Die Ausgänge der einzelnen Boxen der Regelentscheidungen werden an vier Addierer zugeschaltet. Es werden die jeweiligen Signale „Out Betrag Diff. Soll/Ist(Differenzlast)“, „Out Enable Min“, „Out Enable Max“ und „Out Enable Soll“ aufaddiert. Die Signale werden zur Black Box „Berechnung Lastgrenzen & Schaltlast“ weitergeleitet. Mit Hilfe dieser Black Box werden nun die jeweiligen Lastgrenzen und die Schaltlast für das jeweilige aktive Enable Signal berechnet.

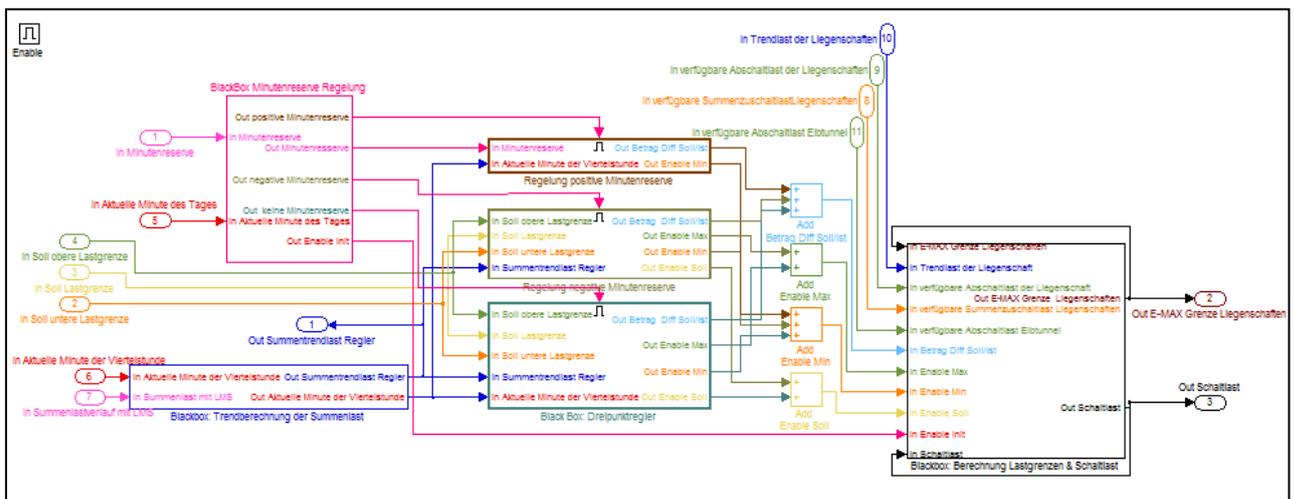


Abbildung 78: Aufbau der Black „Box Regler ON“
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Trendberechnung der Summenlast“**

Die Black Box „Trendberechnung der Summenlast“ besitzt die Eingänge „In aktuelle Minute der Viertelstunde“ und „In Summenlast mit LMS“ und ferner die Ausgänge „Out Summentrendlast Regler“ und „Out Aktuelle Minute der Viertelstunde“. Diese Box berechnet die Summentrendlast für die Viertelstunde. Die Berechnung der Trendarbeit für

die Viertelstunde beinhaltet dasselbe Verfahren, welches bereits für die Liegenschaften verwendet wird und kann in der Funktion in Kapitel 3.5.3 nachgelesen werden.

- **Black Box „Minutenreserve Regelung“**

Die Black Box „Minutenreserve Regelung“ besitzt die Eingänge „In Minutenreserve“ und „In Aktuelle Minute des Tages“. Die Ausgänge sind „Out Minutenreserve“, „Out positive Minutenreserve“, „Out negative Minutenreserve“ und „Out keine Minutenreserve“. Die Box analysiert durch das Signal „Minutenreserve“ welche Minutenreserve vorliegt.

Per Doppelklick auf die Black Box „Minutenreserve Regelung“ gelangt man in das Innere der Box. Diese ist in der Abb. 79 dargestellt. Die Minutenreserve wird ab der zweiten Minute nach gleich null für „keine Minutenreserve“ nach kleiner null für „negative Minutenreserve“ und nach größer null für „positive Minutenreserve“ abgefragt. In der ersten Minute des Tages sind alle Ausgänge null und das Signal „Enable Init“ ist aktiviert. Ab der zweiten Minute des Tages wird die Minutenreserve analysiert.

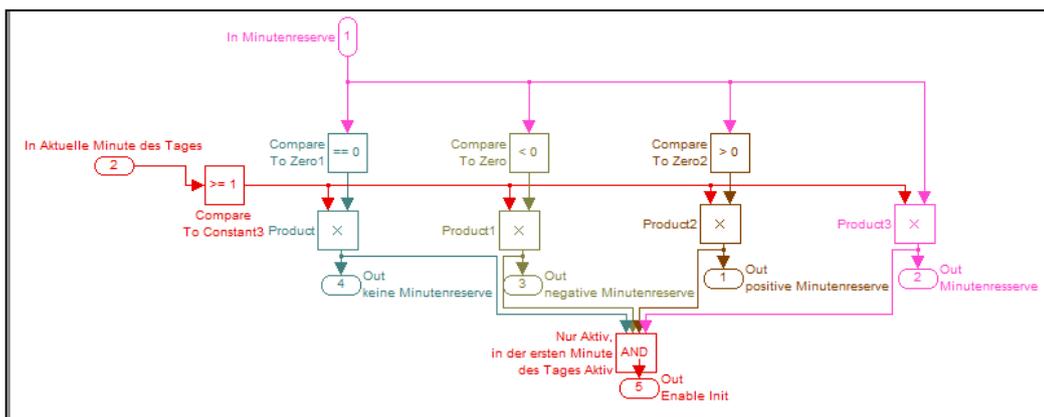


Abbildung 79: Aufbau der Black Box Minutenreserve Regelung
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Dreipunktregler“**

Die Black Box „Dreipunktregler“ besitzt die Eingänge „In Soll obere Lastgrenze“, „In Soll Lastgrenze“, „In untere Soll Lastgrenze“, „In Summentrendlast Regler“ und „In Aktuelle Minute der Viertelstunde“. Die Ausgänge sind „Out Betrag Diff Soll/Ist“, „Out Enable Max“, „Out Enable Min“ und „Enable Soll“. Die Box soll die Summentrendlast mit den Lastgrenzen abfragen und bei Verletzung der Lastgrenzen soll die Regeldifferenzlast und das jeweilige dazugehörige Enable Signal ausgegeben werden.

Per Doppelklick auf die Black Box „Dreipunktregler“ Regelung gelangt man in das Innere der Box, welche in der Abb. 80 dargestellt ist. Das Eingangssignal „aktuelle Minute der Viertelstunde“ ist mit der Black Box „Takt“ verbunden. Diese sorgt dafür, dass der Dreipunktregler nicht für jede Minute der Viertelstunden anfängt zu regeln. Alle

Liegenschaften benötigen mindestens drei Minuten bis sie auf die neuen Lastgrenzen und die Schaltlast reagieren können. Dieses wurde in Kapitel 3.5.4 erläutert. Deswegen berechnete der „Dreipunktregler“ innerhalb einer Viertelstunde nur in den Minuten eins, drei, sechs, neun und zwölf. Dies wird über das Signal „Out min“ freigegeben. Der zweite Ausgang aus dieser Box wird als „Enable Regeldifferenz“ bezeichnet. Diese gibt an wann welche Regeldifferenz verwendet wird.

Wenn die „obere Solllastgrenze“ kleiner als die „Summentrendlast Regler“ ist, wird das Signal „Out Enable Max“ eins. In diesem Fall müssen die Lastgrenzen gesenkt werden und muss die Abschaltlast aktiviert werden. Hierbei wird über das Signal „Enable Regeldifferenz“ entschieden, ob die Differenz der „Summentrendlast Regler“ und der „Soll Summenlastgrenze“ oder die Differenz der „Soll obere Summenlastgrenze“ und der „Summentrendlast Regler“ verwendet wird.

Wenn die „untere Solllastgrenze“ größer als die „Summentrendlast Regler“ ist, wird das Signal „Out Enable Min“ aktiviert. In diesem Fall müssen die Lastgrenzen erhöht und die Zuschaltlast muss aktiviert werden. Hierbei wird über das Signal „Enable Regeldifferenz“ entschieden, ob die Differenz der „Summentrendlast Regler“ und der „Soll Summenlastgrenze“ oder die Differenz der „Soll untere Summenlastgrenze“ und der „Summentrendlast Regler“ verwendet wird.

Sind „Out Enable Min“ und „Out Enable Max“ gleich null, dann ist „Out Enable Soll“ gleich eins. In diesem Fall befindet sich die Summentrendlast in dem Lastband und die Lastgrenzen und die Schaltlast müssen nicht verändert werden.

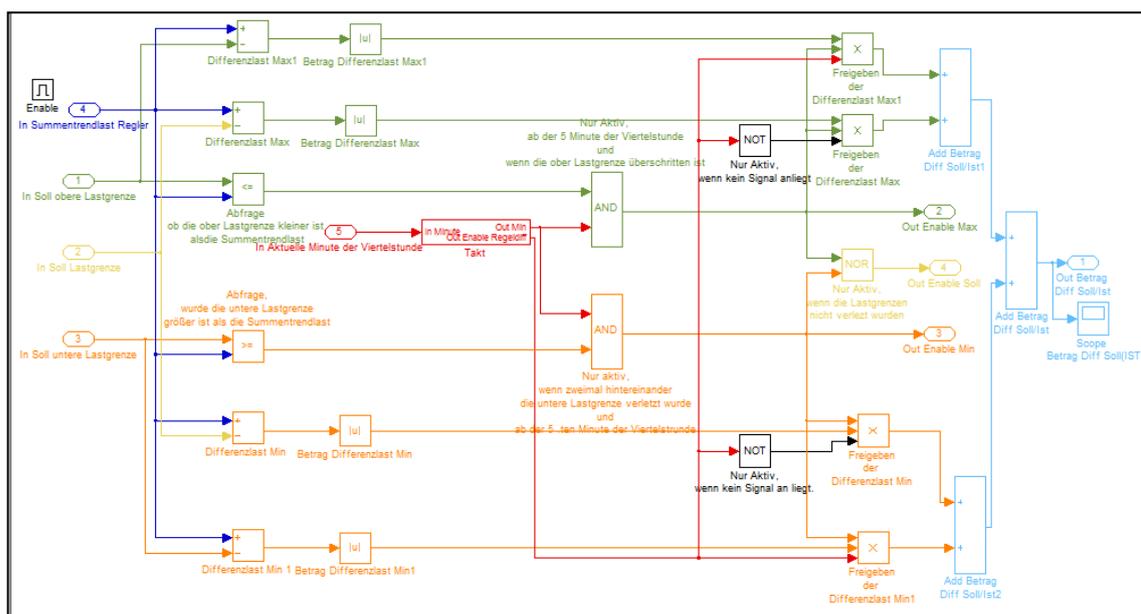


Abbildung 80: Aufbau der Black Box Dreipunktregler
Quelle: Eigene Darstellung

• **Black Box „Regler negative Minutenreserve“**

Die Black Box „Regler negative Minutenreserve“ besitzt dieselben Ein- und Ausgangssignale wie die Black Box „Dreipunktregler“. Es wird nur nicht das Ausgangssignal „In Aktuelle Minute der Viertelstunde“ berücksichtigt.

Per Doppelklick auf die Black Box „Regler negative Minutenreserve“ gelangt man in das Innere der Box, welche in der Abb. 81 dargestellt ist. Es wird die Regeldifferenzlast aus der „Summentrendlast Regler“ und der „Soll Summenlastgrenze“ gebildet. Wenn die „obere Solllastgrenze“ kleiner als die „Summentrendlast Regler“ ist, wird das Signal „Out Enable Max“ eins. In diesem Fall müssen die Lastgrenzen gesenkt werden und muss die Abschaltlast aktiviert werden.

Ist die „untere Solllastgrenze“ größer als die „Summentrendlast Regler“ und im vorigen Takt auch schon gewesen, wird „Out Enable Min“ eins. In diesem Fall müssen die Lastgrenzen erhöht werden und muss die Zuschaltlast aktiviert werden. Dazu wird die Regeldifferenzlast aus der „unteren Soll Summenlastgrenze“ und der „Summentrendlast Regler“ verwendet.

Sind „Out Enable Min“ und „Out Enable Max“ gleich null, dann ist „Out Enable Soll“ gleich eins. In diesem Fall verläuft die Summentrendlast in dem Lastband und somit müssen die Lastgrenzen und die Schaltlast nicht verändert werden. Diese Regelung wird für jede Minute durchlaufen um sicher zu stellen, dass die Minutenreserve geleistet werden kann.

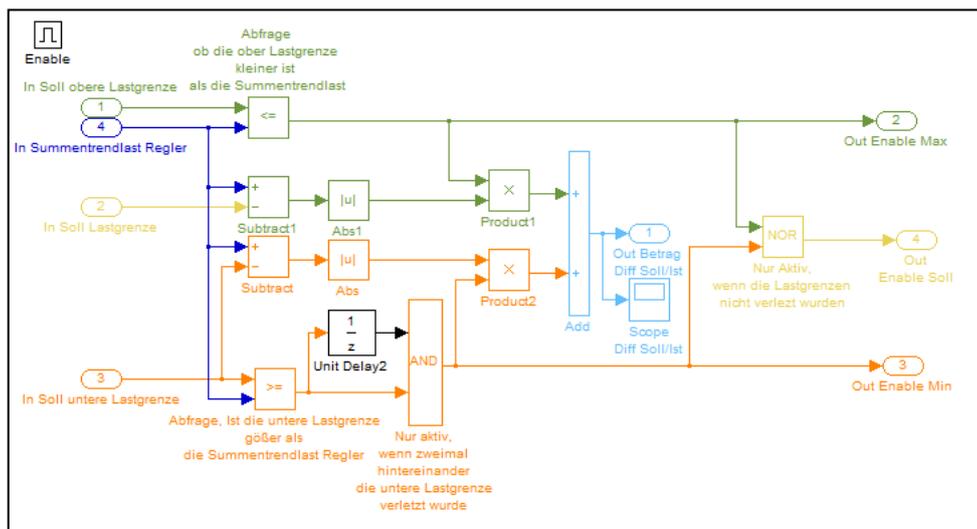


Abbildung 81: Aufbau der Black Box „Reglung negativen Minutenreserve“
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Regler positive Minutenreserve“**

Der Aufbau der Black Box „Reglung positiven Minutenreserve“ ist in der Abb. 82 dargestellt. Die Black Box besitzt die Eingänge „In Minutenreserve“ und „In Aktuelle Minute der Viertelstunde“. Die Ausgänge sind „Out Enable Min“ und „Out Betrag Diff Soll/Ist“.

Wenn positive Minutenreserve am Eingang anliegt, wird das Signal „Out Enable Min“ eins. Wenn das Signal „Out Enable Min“ in der vorherigen Minute null und in der aktuellen Minute eins ist, wird die Black Box „Vergleicher“ aktiviert. Die Black Box „Vergleicher“ läuft so lange bis das Ende der aktuellen Viertelstunde erreicht ist.

So lange wie die erste Viertelstunde nicht beendet ist, wird die Minutenreserve um ein Zehntel verkleinert, damit die Last innerhalb der Liegenschaft Elbtunnel nicht zu sehr ansteigen. Ab der neuen Viertelstunde wird die gesamte angeforderte Minutenreserve weitergeleitet.

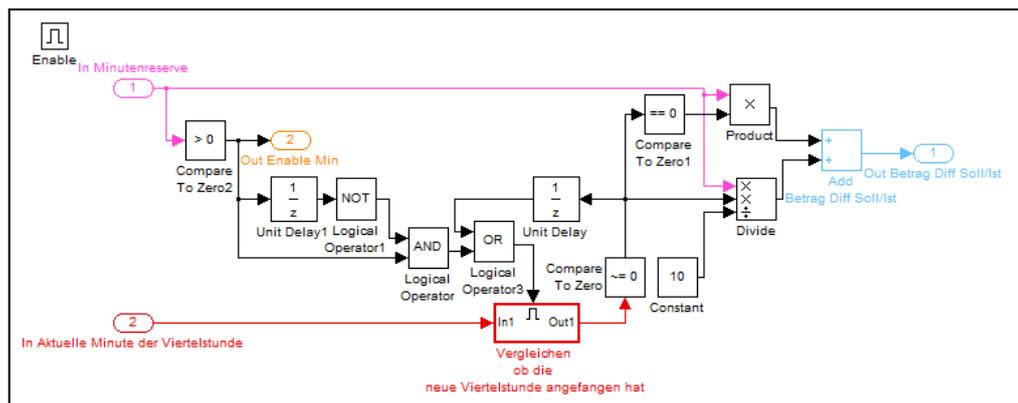


Abbildung 82: Aufbau der Black Box Regelung der positiven Minutenreserve
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Berechnung Lastgrenzen & Schaltlast“**

Der Aufbau der Black Box „Berechnung der Lastgrenzen & Schaltlast“ ist in der Abb. 83 dargestellt. Die Black Box hat die Eingänge „In Trendlast der Liegenschaft“, „In Betrag Diff Soll/Ist“, „In verfügbare Abschaltlast der Liegenschaft“, „In verfügbare Abschaltlast Elbtunnel“, „In Enable Max“, „In Aktuelle Minute der Viertelstunde“, „In verfügbare Summenschaltlast Liegenschaften“, „In Enable Min“, „In E-MAX Grenze Liegenschaften“, „In Enable Soll“, „In Schaltlast“, „In Enable Init“. Die Ausgänge sind „Out E-MAX Grenze Liegenschaften“ und „Out Schaltlast“.

Diese Box besteht aus den weiteren Black Boxen „Initialisierung“, „Lastgrenzen und Schaltlast halten“, „Lastgrenzen erhöhen und Schaltlast aktivieren“ und „Lastgrenzen senken und Abschaltlast“ aktivieren. Für jede Minute kann immer nur eine dieser Boxen

aktiviert sein, dies wird durch die Signale „Enable Max“, „Enable Min“, „Enable Soll“ und „Enable Init“ realisiert. Jede dieser Boxen berechnet beim Aufruf die Schaltlast für die Liegenschaft Elbtunnel und die Lastgrenzen für die Liegenschaften. Somit wird nur ein Signal für die Lastgrenzen der Liegenschaften und die Schaltlast für den Elbtunnel weitergeleitet. Die einzelnen Boxen werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

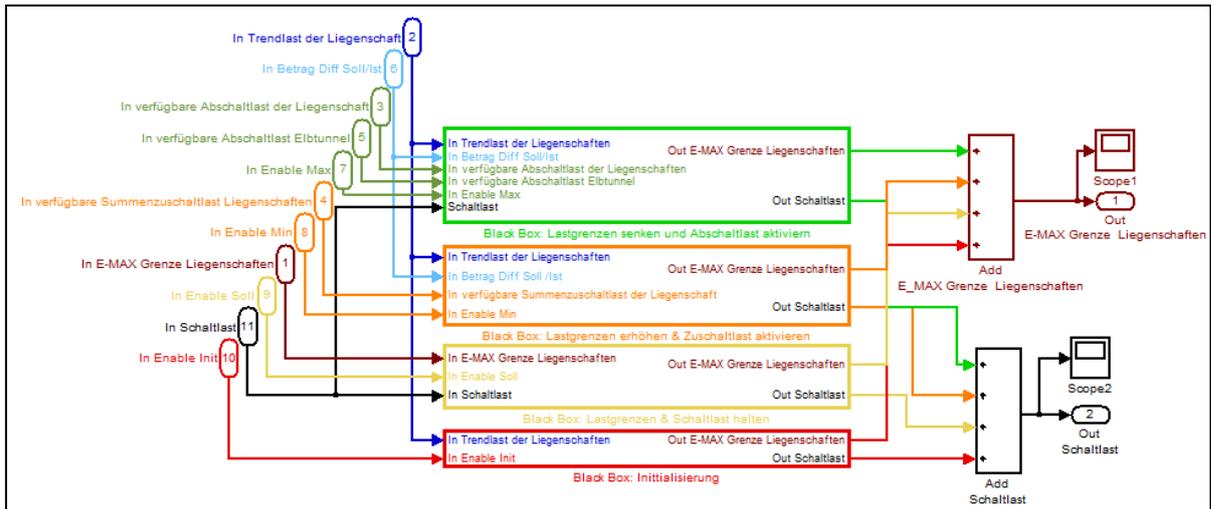


Abbildung 83: Aufbau der Black Box Berechnung Lastgrenzen & Schaltlast
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Initialisierung“**

Die Abb. 84 zeigt den Aufbau der Black Box „Initialisierung“. Diese lässt sich erst aktivieren, wenn dies vom Signal „Enable Init“ signalisiert wird. Die Black Box hat die Aufgabe dem System Startwerte zu geben. Für die Liegenschaften werden die Lastgrenzen rauf gesetzt, damit die Liegenschaft zunächst unbeeinflusst starten kann. Dasselbe soll für die Liegenschaft Elbtunnel passieren, weshalb die Schaltlast gleich null ist.

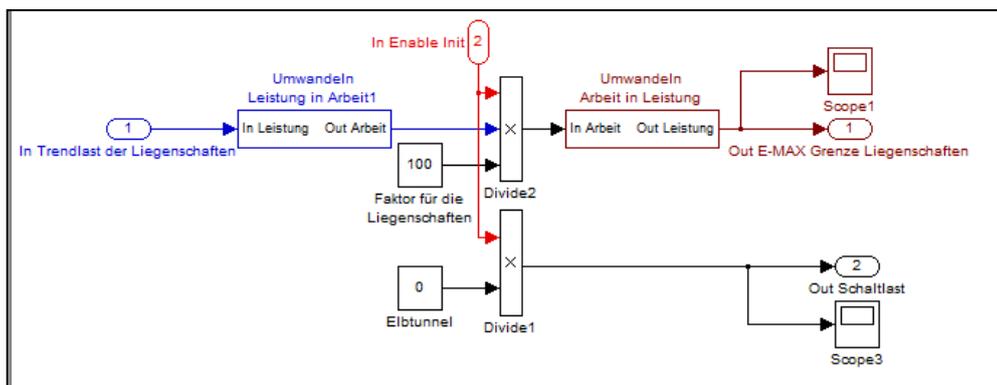


Abbildung 84: Aufbau der Black Box Initialisierung
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Lastgrenzen & Schaltlast halten“**

In der Abb. 93 ist der Aufbau der Black Box „Lastgrenzen & Schaltlast halten“ dargestellt. Die Eingangswerte werden mittels einer zeitlichen Verzögerung weitergeleitet. Dadurch

werden die vorher berechneten Lastgrenzen für die Liegenschaften und die Schaltlast für den Elbtunnel unverändert weitergeleitet. Dies gilt jedoch nur, wenn das Signal „Enable Soll“ aktiv ist.

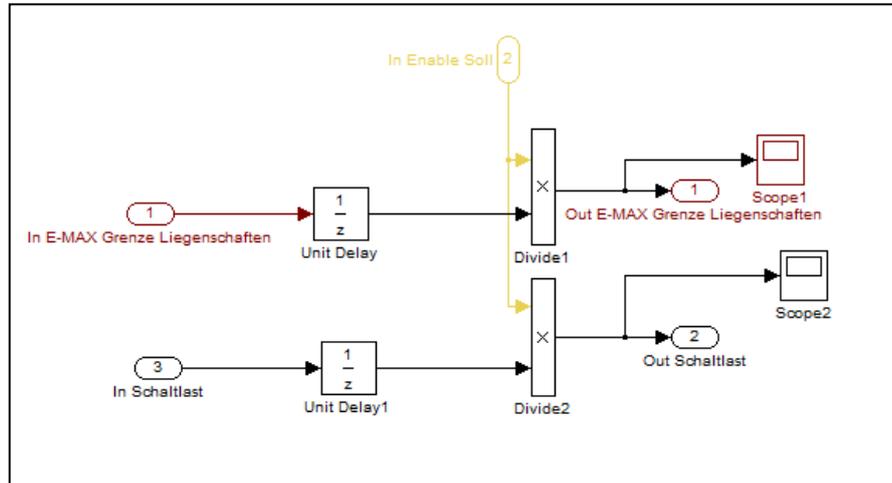


Abbildung 85: Aufbau der Black Box Lastgrenzen & Schaltlast halten
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Lastgrenzen erhöhen & Zuschaltlast aktivieren“**

In der Abb. 86 ist der Aufbau der Black Box „Lastgrenzen erhöhen und Zuschaltlast aktivieren“ dargestellt. Die Black Box ist erst aktiv, wenn dies vom Signal „Enable Min“ signalisiert wird. Um den Viertelstundenmittelwert anzuheben, werden zuerst die Lastgrenzen für die Liegenschaften raufgesetzt, so dass die Verbraucher aus den Liegenschaften wieder angeschaltete werden. Wenn keine Zuschaltlast mehr aus den Liegenschaften vorhanden ist und der Viertelstundenmittelwert immer noch nicht im Lastband ist, greift der Elbtunnel ein. Hierbei wird dann die Regeldifferenz zur Schaltlast.

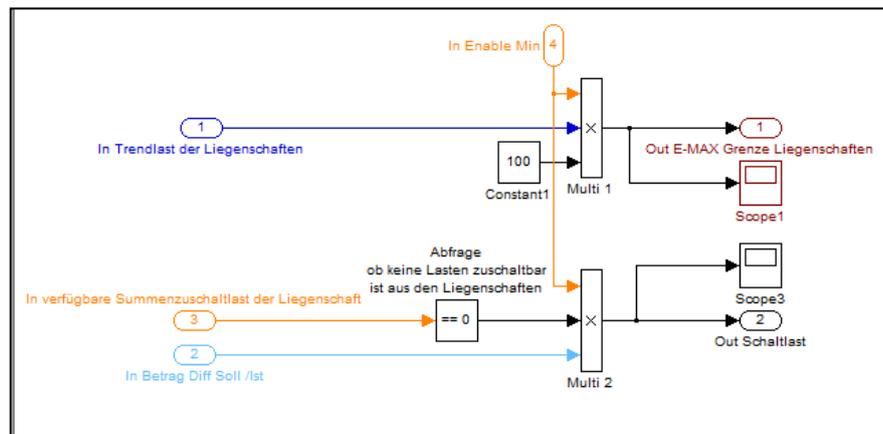


Abbildung 86: Aufbau der Black Box Lastgrenzen erhöhen & Zuschaltlast aktivieren
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box Lastgrenzen senken & Abschaltlast aktivieren**

In der Abb. 87 ist der Aufbau der Black Box „Lastgrenzen senken & Abschaltlast aktivieren“ dargestellt. Die Black Box besitzt die Eingänge „In Trendlast der Liegenschaften“, „In Betrag Diff Soll/Ist“, „In verfügbare Abschaltlast der Liegenschaften“, „In verfügbare Abschaltlast Elbtunnel“, „In Enable Max“ und die „Schaltlast“. Die Ausgänge der Black Box sind „Out E-MAX Grenzen Liegenschaften“ und „Out Schaltlast“.

In dieser Black Box müssen die neuen Lastgrenzen für die Liegenschaften und die Schaltlast für den Elbtunnel berechnet werden. Hierfür werden zunächst allen Eingangslasten in eine Arbeit für die Viertelstunde umgerechnet. Dafür sind die Boxen „Umwandeln Leistung in Arbeit“ zuständig. Die umgerechnete Regeldifferenzarbeit vom Signal „Diff Soll/Ist“ muss von der anliegenden umgerechneten „Schaltarbeit“ subtrahiert werden. Dies ist notwendig, da vielleicht die positive Zuschaltlast von der vorherigen Minute noch vorhanden ist. Wenn die Differenz zwischen diesen beiden noch positiv ist, ist diese Differenz daraus die neue Schaltlast und die Lastgrenzen für die Liegenschaften bekommen das Eingangssignal „Trendlast der Liegenschaften“ zugewiesen. Ist die Differenz negativ, wird diese als Betrag für die Berechnung der neuen Lastgrenzen und der Schaltlast verwendet.

Die Eingänge „In verfügbare Abschaltlast der Liegenschaften“ und „In verfügbare Abschaltlast Elbtunnel“ werden zu einem Bussignal zusammengeführt. Das Bussignal bildet die Summe der Abschaltarbeiten. Aus der Differenzarbeit und der Summenabschaltarbeit soll ein Abschaltfaktor berechnet werden. Dieser Abschaltfaktor wird anschließend mit dem Bussignal der Abschaltarbeit der einzelnen Liegenschaften multipliziert. Dadurch wird die Abschaltarbeit für jede Liegenschaft berechnet.

Die Black Box Signaltrennen ist dafür zuständig, dass der Elbtunnel wieder aus dem Bussignal herausgefiltert wird.

Die Abschaltarbeit für den Elbtunnel wird mit dem Wert Minus-Eins multipliziert, damit das Signal einen negativen Wert erhält und die Information erhält, dass die Verbraucher abgeschaltet werden sollen. Anschließend wird die Abschaltarbeit in die Abschaltlast umgerechnet, dies wird durch die Black Box „Arbeit in Leistung“ realisiert.

Um die neuen Lastgrenzen für die Liegenschaften zu bestimmen, wird die Trendlast der Liegenschaften benötigt. Diese gibt an wo sich die Last für jede Liegenschaft am Ende der Viertelstunde befinden wird. Die daraus entstandene Trendarbeit der Liegenschaften

wird von der berechneten Abschaltarbeit für jede Liegenschaft subtrahiert. Dadurch entsteht eine neue Trendarbeit für das Ende der Viertelstunde. Die Black Box „Schutz“ soll sicherstellen, dass keine der neuen Trendarbeiten kleiner Null ist, ansonsten wird die Trendarbeit für die jeweilige Liegenschaft auf eins gesetzt. Anschließend wird die Trendarbeit in Trendleistung umgerechnet und wird zu dem Signal „Out E-MAX Grenzen Liegenschaften“.

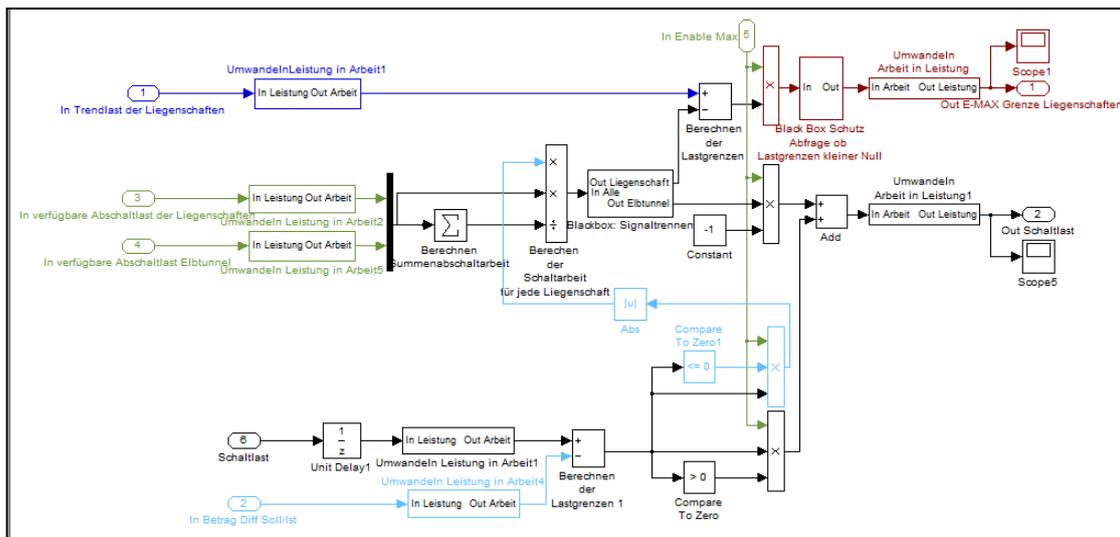


Abbildung 87: Aufbau der Black Box Lastgrenzen senken & Abschaltlast aktivieren
Quelle: Eigene Darstellung

4.3.5 Black Box „Regler OFF“

Die Black Box „Regler OFF“ hat dieselben Eingangs- und Ausgangssignale wie die Black Box „Regler ON“ und ist prinzipiell auch so aufgebaut. Diese wurde in dem Kapitel 4.3.4 beschrieben. Mit einem Doppelklick auf die Black Box „Regler OFF“ gelangt man in das Innere der Box und ist in der Abb. 88 dargestellt. Es wurde lediglich die Black Box „Dreipunktregler“ gegen die Black Box „Regler keine Minutenreserve“ ausgetauscht. Diese wird im nächsten Abschnitt erläutert.

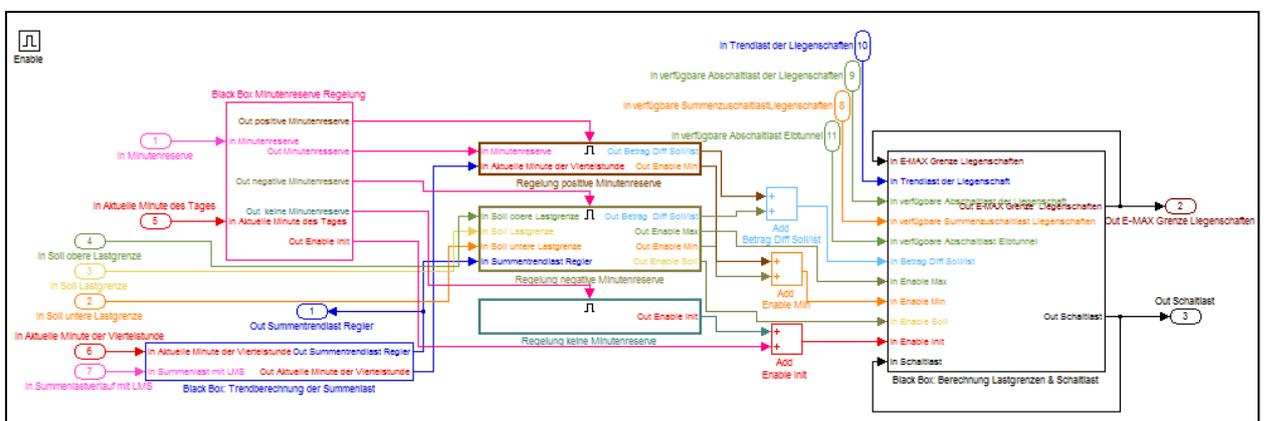


Abbildung 88: Aufbau der Black Box „Regler OFF“
Quelle: Eigene Darstellung

- **Black Box „Regler keine Minutenreserve“**

Die Black Box besitzt keine Eingänge und ein Ausgangssignal „Out Enable Init“. Die Black Box wird über einen Enable Eingang aktiviert. Mit einem Doppelklick auf der Black Box „Regler keine Minutenreserve“ gelangt man in das Innere der Box, welche in der Abb. 89 dargestellt ist. Die Box gibt ein Signal mit dem Wert eins über den Ausgang „Out Enable Init“ aus.

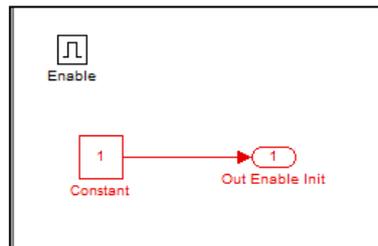


Abbildung 89: Aufbau der Black Box Regelung keine Minutenreserve
Quelle: Eigene Darstellung

4.3.6 Black Boxen „Regler MIN Grenze“ und „Regler MAX Grenze“

Die Black Boxen „Regler MIN Grenze“ und „Regler MAX Grenze“ dienen der Analyse, inwiefern sich die Summenlast runter und rauf regeln lassen. In der Abb. 90 ist der Aufbau der Black Box „Regler MIN Grenze“ dargestellt. Damit alle verfügbaren Verbraucher zu jedem Zeitpunkt ausgeschaltet werden können, werden die Lastgrenzen für die Liegenschaften auf eins gesetzt. Die Schaltlast für den Elbtunnel wurde dagegen mit einer hohen negativen Schaltlast versehen.

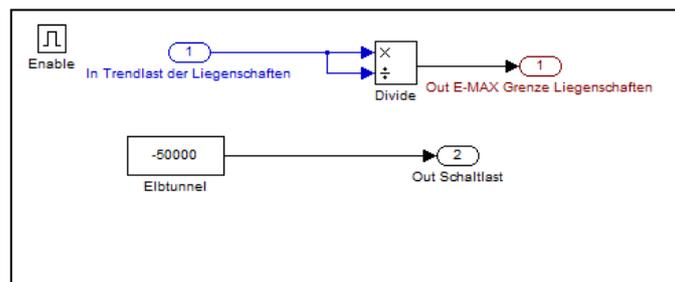


Abbildung 90: Aufbau der Black Box „Regler MIN Grenze“
Quelle: Eigene Darstellung

Die Abb. 91 zeigt den Aufbau der Black Box „Regler MAX Grenze“. Damit alle verfügbaren Verbraucher zu jedem Zeitpunkt angeschaltete bleiben, werden die Lastgrenzen für die Liegenschaften soweit raufgesetzt, dass durch die Lastgrenze kein Abschalten verursacht wird. Die Schaltlast für den Elbtunnel dagegen wurde mit einer hohen positiven Schaltlast versehen.

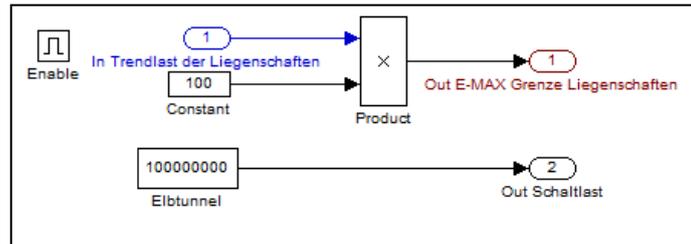


Abbildung 91: Aufbau der Black Box „Regler MAX Grenze“
Quelle: Eigene Darstellung

4.4 Modellparameter und Eingangsdaten

Bevor das Modell simulieren kann, müssen vorher die Einstellungen der Parameter überprüft und die benötigten Eingangsdaten geladen werden.

Die Einstellungsparameter für die Simulation lassen sich über die Simulation und den Auswahlpunkt Configuration Parameters aufrufen. Dies ist in der Abb. 92 dargestellt. Es ist wichtig, dass die Stop time den Wert 1440 erhält. Dieser Wert gibt den Durchlauf für den ganzen Tag an ($24\text{std} \times 60\text{min} = 1440\text{min}$). Für die Solver Option muss für Type „Fixed-step“ und für Solver „discrete“ ausgewählt werden.

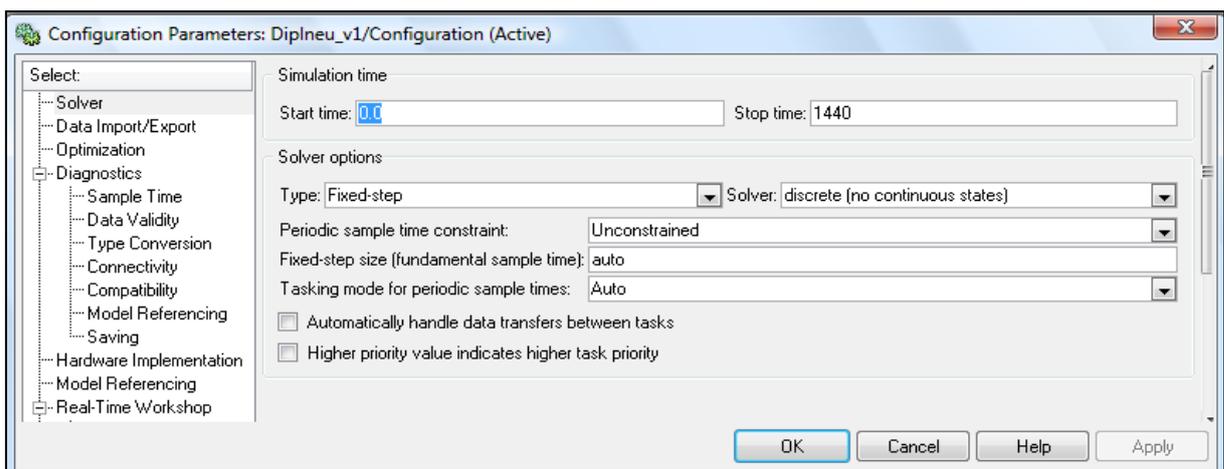


Abbildung 92: Auswahl Configuration Parameters
Quelle: Eigene Darstellung

Die Eingangsdaten für das Modell müssen über das Workspace von MATLAB geladen werden. Dazu muss im Workspace Verzeichnis der Button Import Data ausgewählt werden. Danach öffnet sich das Import Data Fenster. Von dort aus muss der Ordner „Matfiles“ ausgewählt werden. In diesem Ordner sind die Eingangsdaten als MAT-Files für die Liegenschaften und der Summenfahrplan für den Regler vom 01.07.2008 bis 30.06.2009 abgespeichert. Es muss nun eine dieser Dateien ausgewählt werden und mit dem Öffnen wird diese in das Workspace geladen. In der Abb. 93 ist dies dargestellt.

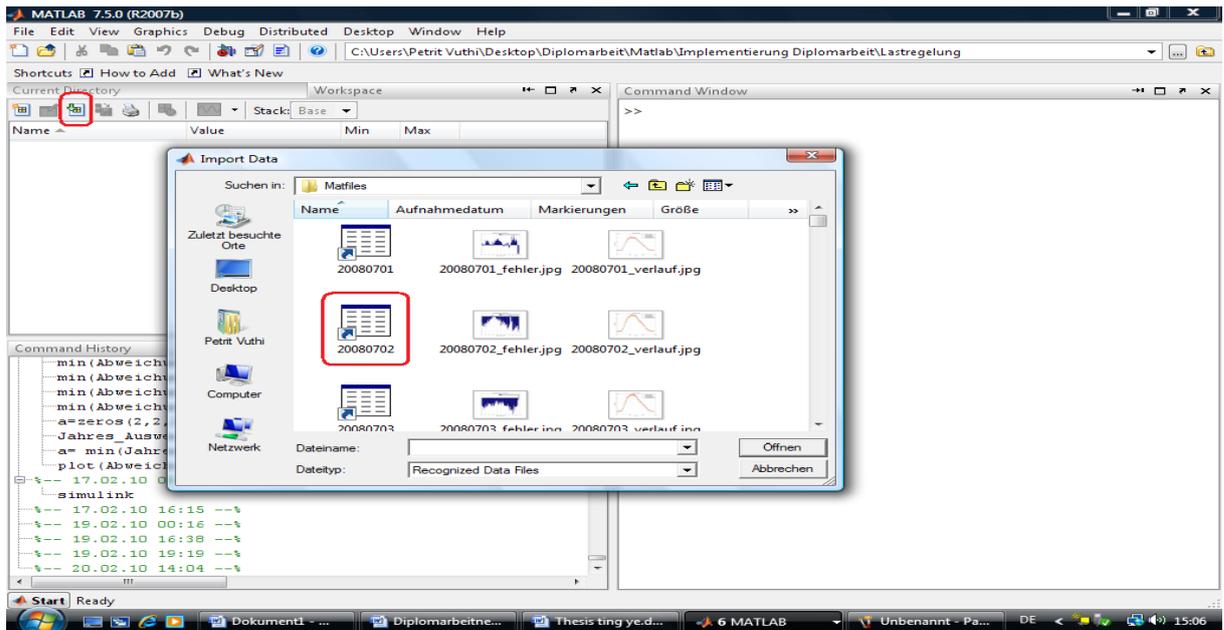


Abbildung 93: MATLAB Workspace Verzeichnis
Quelle: Eigene Darstellung

Die Minutenreserve wird auf dieselbe Art und Weise eingebunden wie das „MAT-File“. Hierbei muss nur die Datei „Minutenreserve.mat“ aus dem aktuellen Arbeitsverzeichnis ausgewählt werden.

5 AUSWERTUNG DER SIMULATIONEN

Für die Auswertung wurden Simulationsläufe für den Zeitraum vom 01.07.2008 bis zum 30.06.2009 durchgeführt. Es wurden die folgenden Reglereinstellungen gewählt: Für den Modus Lastband gilt „Standard-Toleranzband 5%“, für den Regler Modus gilt „Regler ON“ und für die aktive Minutenreserve gilt „keine Minutenreserve“. Während der Simulation wurden für jeden Tag des Jahres die Gesamtdarstellung und der wahre Fehler für die Viertelstunde abgespeichert. Um das Jahr auswerten zu können wurde in MATLAB ein Programm geschrieben, welches die Dateien für den Fehler der Viertelstunde analysiert. Hierbei sollte überprüft werden, an welchen Tagen der Regler nicht den Viertelstundenmittelwert innerhalb des Lastbandes eingehalten hat. Wurden alle Viertelstunden-Leistungswerte des Tages in das Lastband geregelt ist dies ein guter Tag (kein Fehler). Ansonsten gibt es insgesamt drei Fehlerarten, welche nachfolgend kurz erklärt werden. Ein „Min Fehler“ liegt vor, wenn mindestens ein Viertelstundenmittelwert des Tages unter dem Lastband lag. Bei einem „Max Fehler“ lag mindestens ein Viertelstundenmittelwert des Tages über dem Lastband. Trat an dem betrachteten Tag sowohl ein Min als auch ein Max Fehler auf, wird dieser als Min & Max Fehler gewertet. Die Abb. 94 zeigt welche Fehler an den Tagen aufgetreten sind. Dabei wurde als Darstellungsart das Balkendiagramm gewählt. Die Y-Achse beschreibt die Anzahl der Tage und die X-Achse beschreibt die Art des Fehlers. Im Zeitraum vom 01.07.2008 bis zum 30.06.2009 hat der Regler erreicht, dass an 223 Tagen alle Viertelstundenmittelwerte mit Hilfe der Regelenergie in das Lastband geregelt werden konnten. An 72 Tagen des genannten Zeitraums lagen die Viertelstundenmittelwerte mindestens einmal über der Soll Summenlastgrenze des Tages. An 55 Tagen waren die Viertelstundenmittelwerte mindestens einmal unter der Soll Summenlastgrenze für einen Tag. An 15 Tagen lagen die Viertelstundenmittelwerte sowohl einmal unter als auch einmal über der Soll Summenlastgrenze für den Tag.

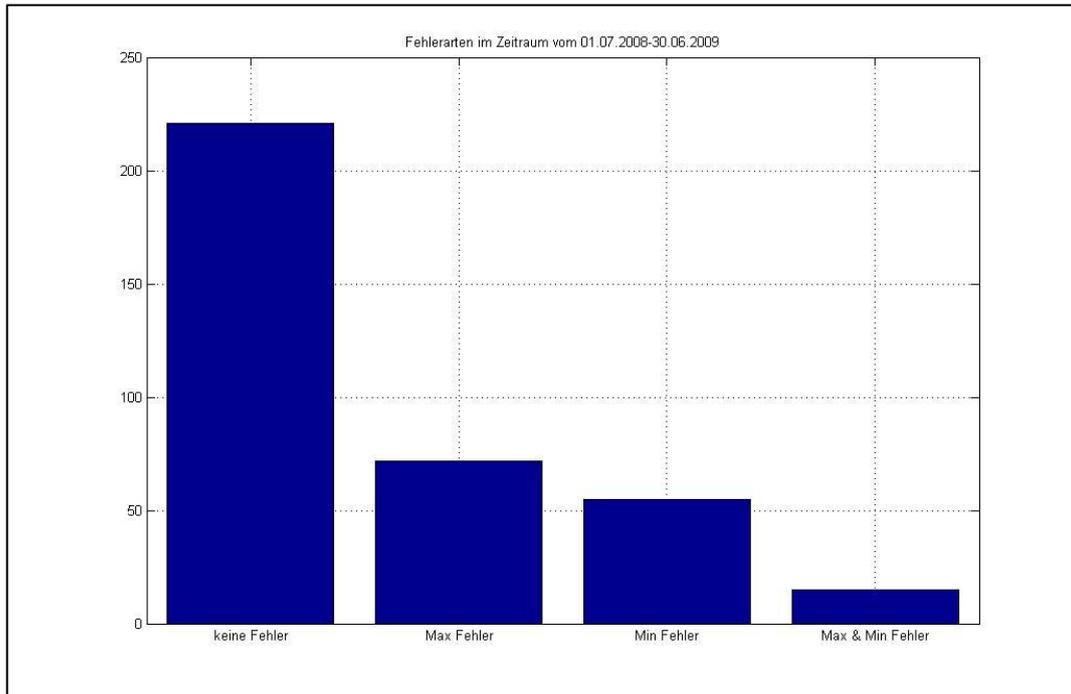


Abbildung 94: Fehlerauswertung für den Zeitraum 01.07.2008 bis 30.06.2009
Quelle: Eigene Darstellung

In der Abb. 95 ist das prozentuale Verhältnis der Fehlerarten abgebildet. Es ergab sich ein Anteil von 61% in dem die Viertelstundenmittelwerte im Lastband waren, 20% der Tage lagen sie mindestens einmal über der Soll Summenlastgrenze, bei 15% mindestens einmal unterhalb der Soll Summenlastgrenze und bei 4% lagen sie sowohl unter als auch über der Soll Summenlastgrenze.

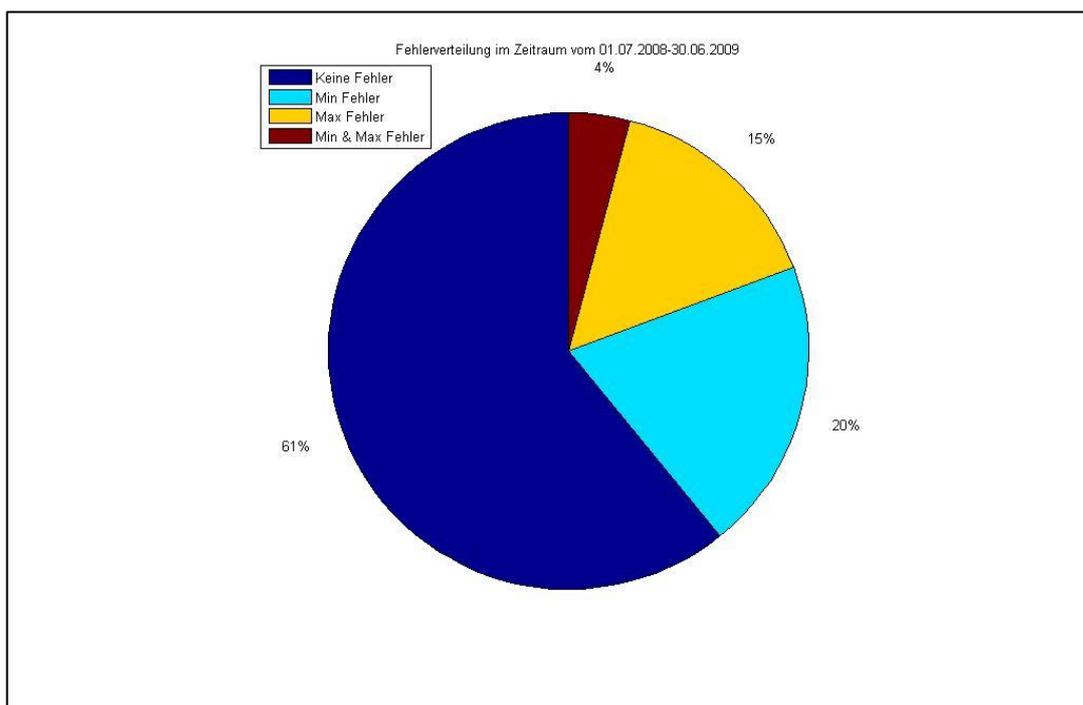


Abbildung 95: Fehlerverteilung für den Zeitraum 01.07.2008 bis 30.06.2009
Quelle: Eigene Darstellung

Nachdem für den Regler der gesamte Zeitraum analysiert wurde, wurden einzelne zeitliche Abschnitte näher untersucht. Dazu wurden zunächst die Fehlerverteilungen in den einzelnen Monaten näher betrachtet. In der Abb. 96 werden die Fehlerarten nach Monaten sortiert und gezählt. In der Abb. ist zu sehen, dass in den Monaten Juli, August, November und Dezember die wenigsten Fehler auftraten. Hierbei hat der Regler, für den Juli 2008 22 Tage, für den August 2008 24 Tage, für den November 2008 24 Tage und für den Dezember 2008 23 Tage die Viertelstundenmittelwerte in das Lastband geregelt. Der schlechteste Monat war der April 2009. In diesem Monat konnte der Regler nur an 10 Tagen die Viertelstundenmittelwerte in das Lastband regeln. Dabei fällt auf, dass an 10 Tagen der Viertelstundenmittelwert mindesten einmal über der Soll Summenlastgrenze liegt. Der Januar 2009 zeigt an 8 Tagen diesen Fehler. In dem Monat September 2008 lag der Viertelstundenmittelwert an 11 Tagen, im Juli 2008 an 10 Tagen, im Mai 2009 an 9 Tagen und im Oktober 2008 an 8 Tagen mindestens einmal unter der Soll Summenlastgrenze. In den Monaten Oktober 2008, April 2009 und Mai 2009 gab es je 3 Tage an denen dieser Fehler auftrat. Im Juli 2008, September 2008, Dezember 2008 und Februar 2008 gab es keine Max & Min Fehler.

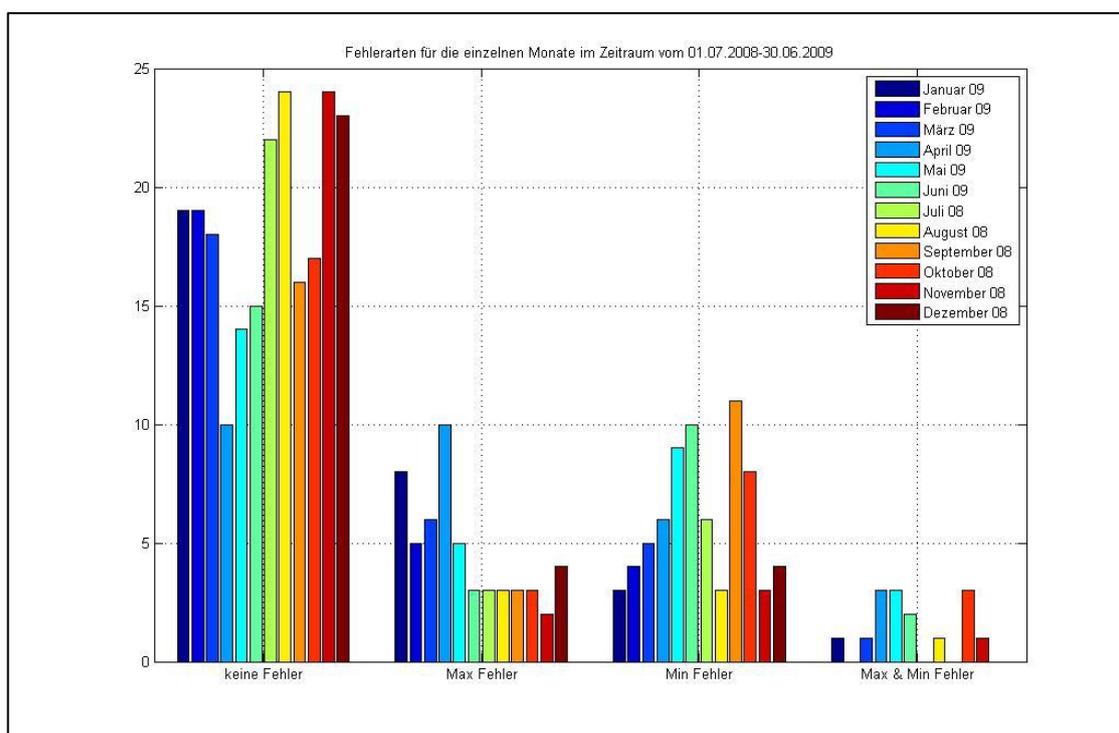


Abbildung 96: Fehlerauswertung einzelner Monate
Quelle: Eigene Darstellung

Die Abb. 97 zeigt die Kreisdiagramme und die anteiligen Verhältnisse der Fehler für die einzelnen Monate. Dabei wird je ein Kreisdiagramm pro Monat dargestellt. In der Grafik wird noch einmal veranschaulicht, dass der beste Monat der November 2008 und der

schlechteste Monat der April 2009 war. Im November konnte der Regler 80% und im April 34% erfolgreiche Tage erreichen. Ferner konnte der Regler in den Monaten Juli 2008, August 2008, November 2008, Dezember 2008 und Februar 2008 das Lastband sehr gut einhalten. Für die Monate September 2008, Oktober 2008, Januar 2009 und März 2009 konnte der Regler nur befriedigende Ergebnisse erzielen. Sehr schlechte Ergebnisse wurden für die Monate April 09, Mai 2009 und Juni 2009 erzielt.

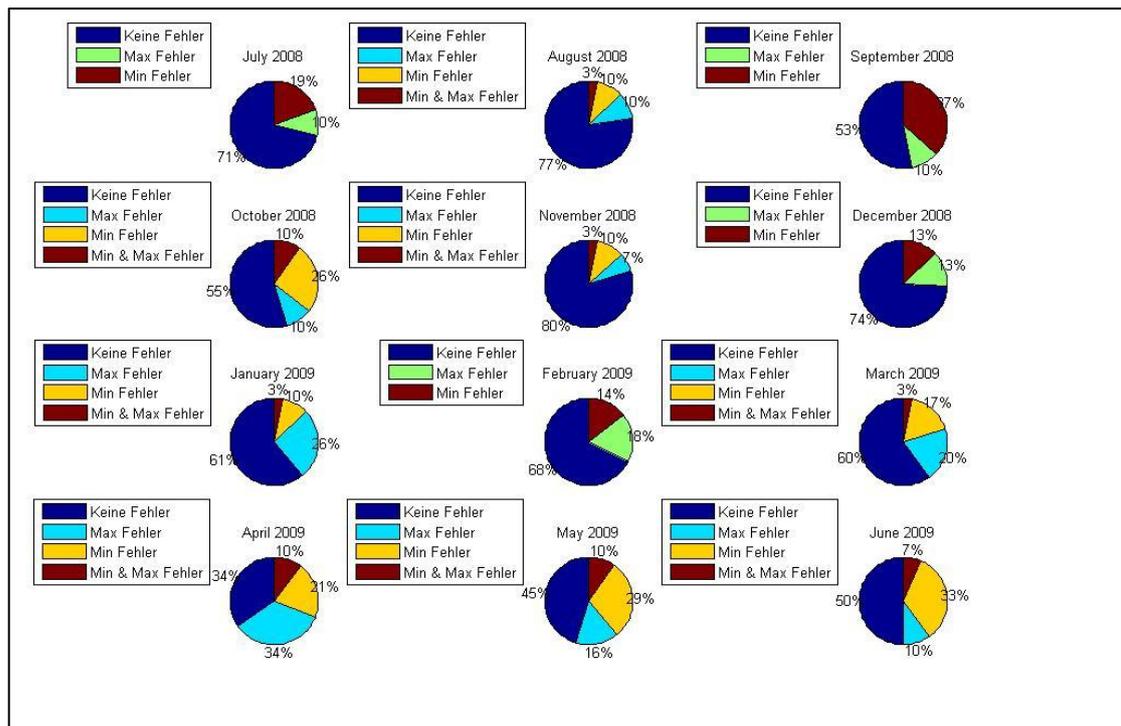


Abbildung 97: Fehlerverteilung einzelner Monate
Quelle: Eigene Darstellung

In der nachfolgenden Abb. 98 werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt und an welchen Wochentagen welche Fehlerarten auftraten. Es wird überprüft an welchen Wochentagen eine gute oder schlechte Regelung stattfand. An dieser Grafik wird deutlich, dass die Wochentage Montag und Freitag generell schlecht zu regeln waren. Es konnten nur 19 Montags- und 22 Freitags- fehlerfrei simuliert werden. Dagegen konnten die Wochentage Dienstag 32 mal, der Mittwoch 38 mal, der Donnerstag 35 mal, der Samstag 38 mal und der Sonntag 37 mal fehlerfrei dem Fahrplan nachgeführt werden.

An jeweils 6 Montagen, Samstagen und Sonntagen und an 13 Diensten, 9 Mittwochen, 11 Donnerstagen und an 4 Freitagen wurde die obere Soll Summenlastgrenze mindestens einmal pro Tag durch den Viertelstundenmittelwert verletzt.

Die untere Soll Summenlastgrenze wurde an 18 Montagen, 6 Diensten, 2 Mittwochen, 6 Donnerstagen, 24 Freitagen, 7 Samstagen und Sonntagen mindestens einmal pro Tag durch den Viertelstundenmittelwert verletzt.

Ein Max & Min Fehler kommt insgesamt an 7 Montagen, 2 Dienstagen, 3 Mittwochen, an keinem Donnerstag, an 2 Freitagen, an keinem Samstag und an einem Sonntag vor.

Aus dieser Auswertung lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass der Montag und der Freitag sehr schwer zu regeln sind. Im Allgemeinen waren der Mittwoch und der Samstag die besten Tage zum Regeln.

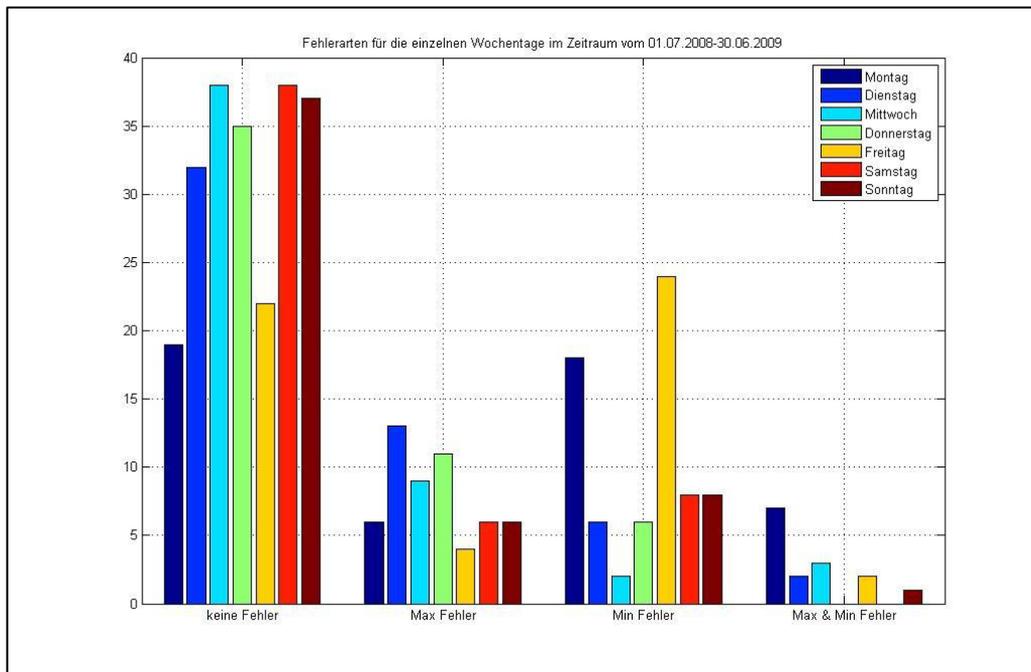


Abbildung 98: Fehlerauswertung für die einzelnen Wochentage
Quelle: Eigene Darstellung

Die Ergebnisse aus der Untersuchung der einzelnen Wochentage wurden in der Abb. 99 in einem Kreisdiagramm nochmals verdeutlicht. Hier wurden die Fehlerarten im Verhältnis zueinander betrachtet. Es ist ersichtlich, dass die besten Wochentage Mittwoch und Samstag jeweils 73% erreicht haben, indem der Viertelstundenmittelwert in das Soll Lastband geregelt werden konnte. Die beiden schlechtesten Wochentage Montag und Freitag erreichten nur 38% und 42%.

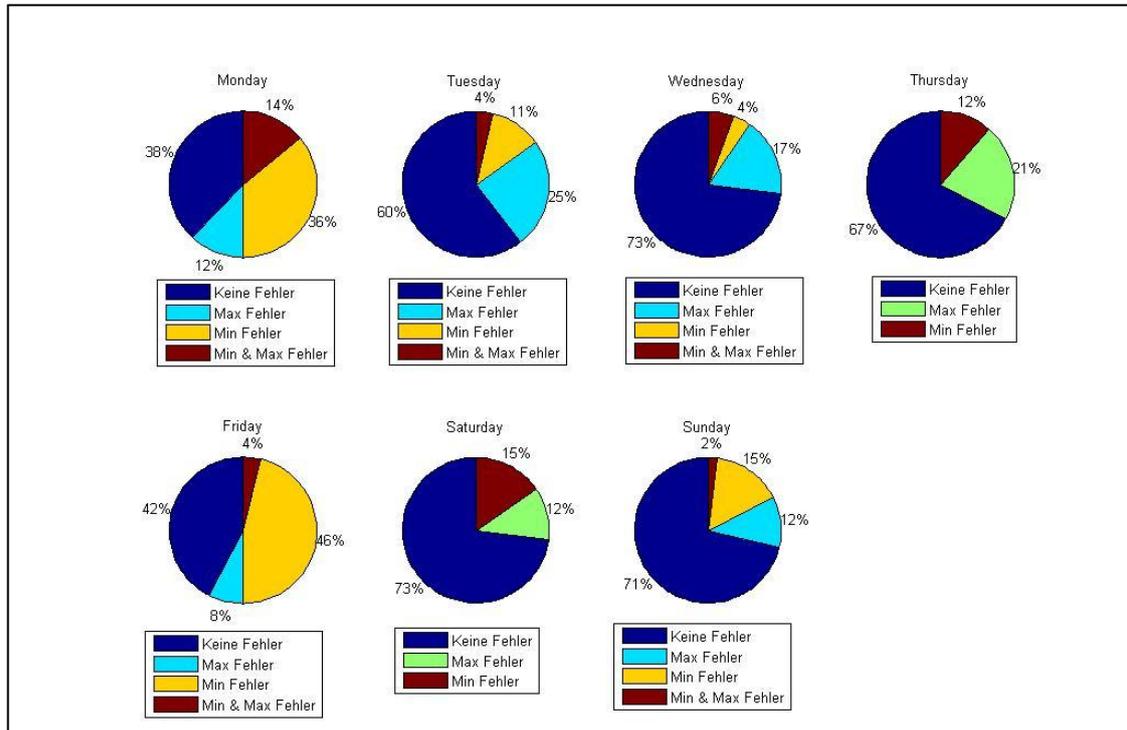


Abbildung 99: Fehlerverteilung für die einzelnen Wochentage
Quelle: Eigene Darstellung

In der Abb. 100 wird dargestellt welche Ergebnisse resultieren, wenn die beiden vorgestellten Untersuchungen der Fehlerhäufung nach Monaten und Wochentagen zusammengeführt werden. Es wird deutlich, dass der schlechteste Monat und der schlechteste Wochentag zusammenpassen. Es zeigt sich, dass nicht ein Montag aus dem Monat April erfolgreich geregelt werden konnte. Wird dagegen der beste Monat mit dem besten Wochentag betrachtet, wären dies der Monat November und der Wochentag Mittwoch. Es lässt sich bestätigen, dass sich alle Mittwoche des Monats November erfolgreich (also ohne Fehler) regeln ließen.

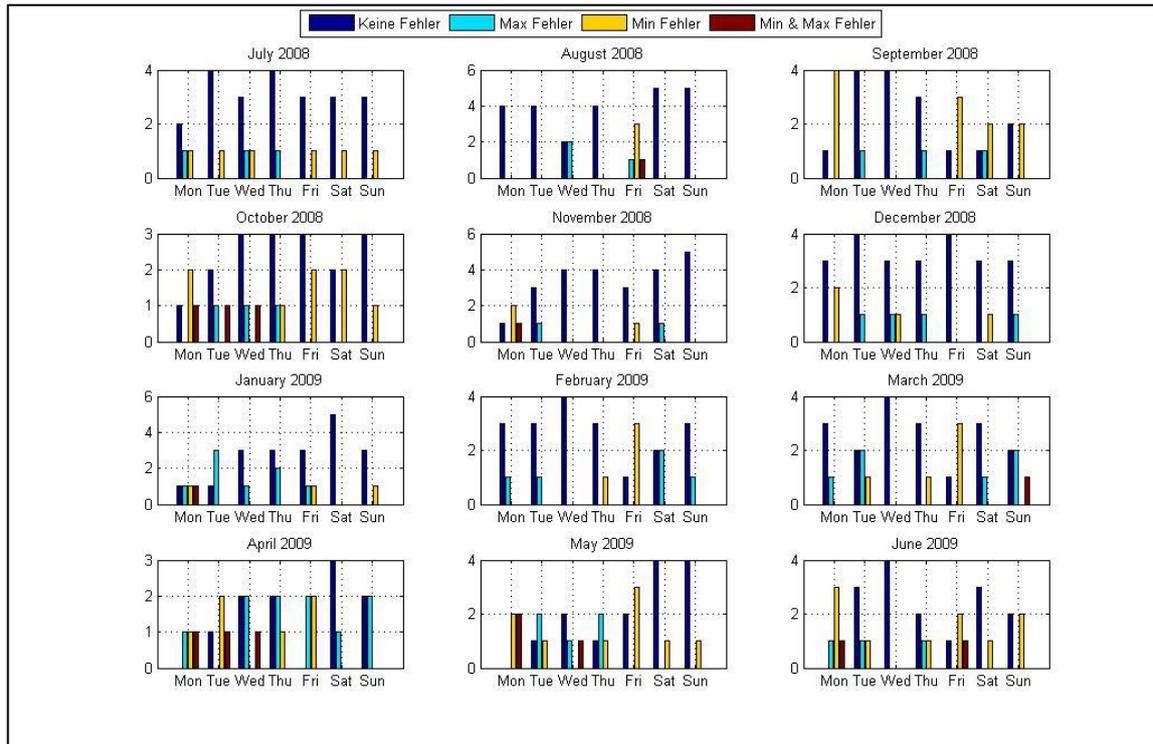


Abbildung 100: Fehlerauswertung für die einzelnen Wochentage innerhalb der einzelnen Monate
 Quelle: Eigene Darstellung

Um besser zu erkennen an welchen Tagen eine schlechte Prognose vorlag, wurde untersucht wie häufig und welche Fehlerart an dem Tag für die einzelnen Monate auftrat. Diese wurden in den Abbildungen 101 bis 104 quartalsweise dargestellt.

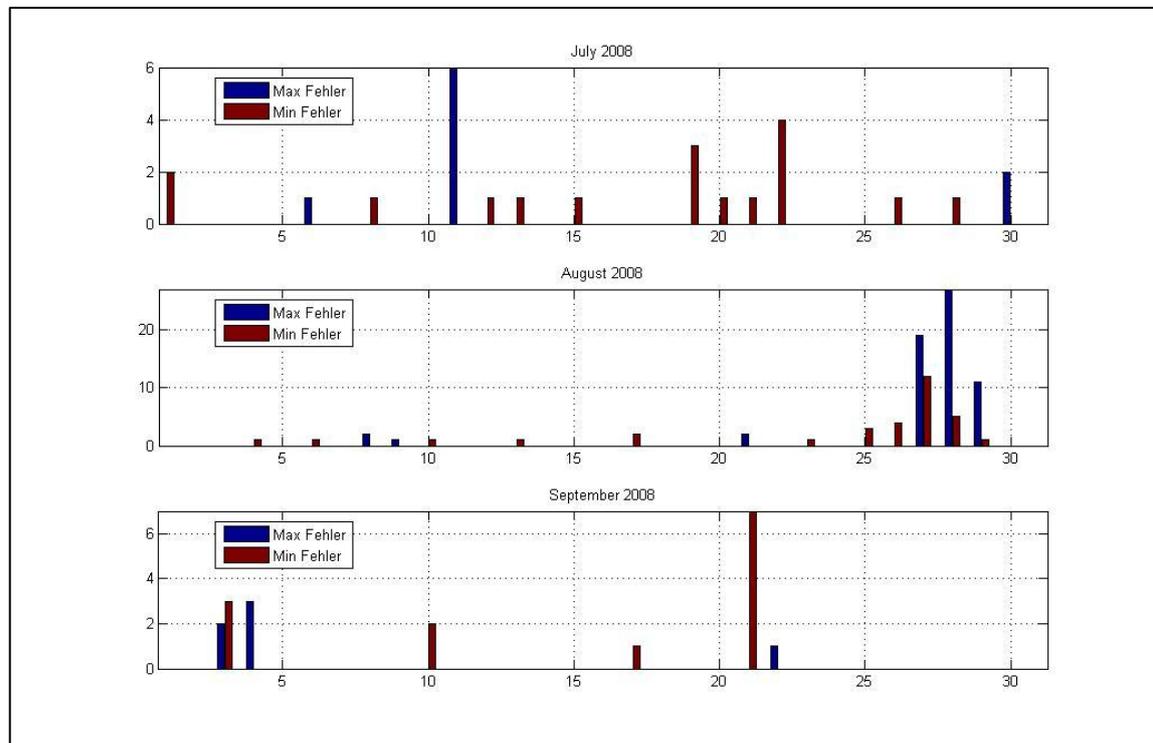


Abbildung 101: Anzahl der aufgetretenen Fehler für jeden Tag für Juli bis September 2008
 Quelle: Eigene Darstellung

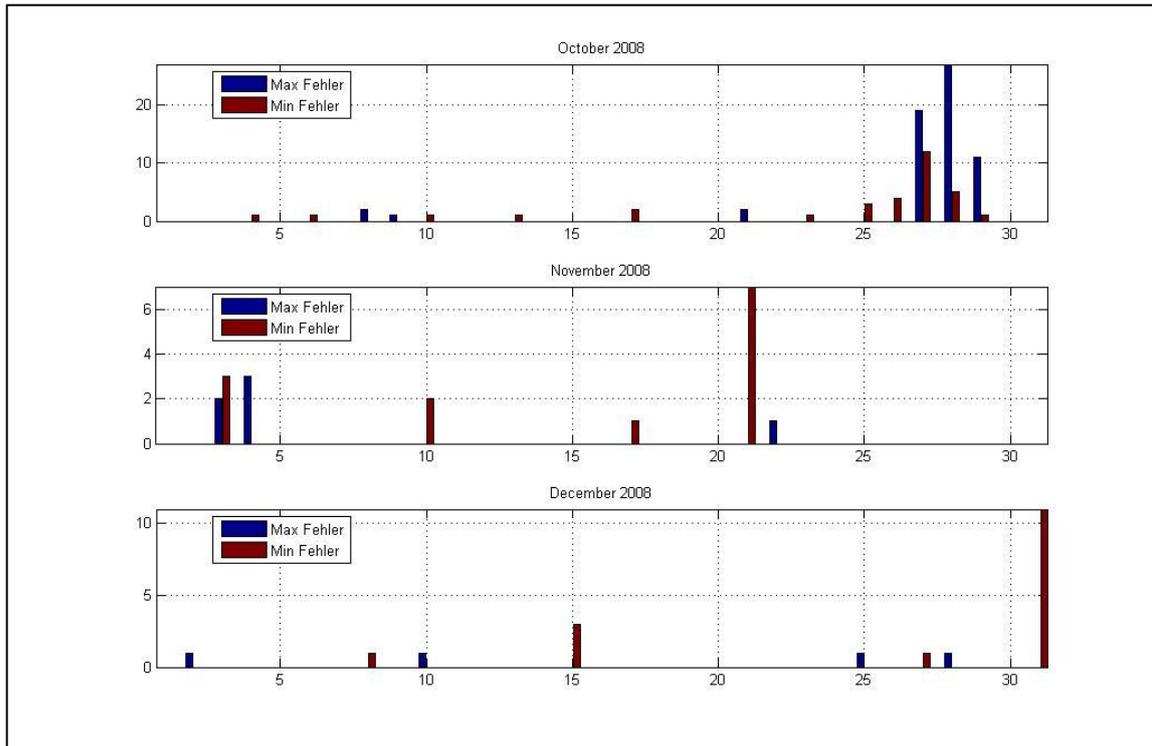


Abbildung 102: Anzahl der aufgetretenen Fehler für jeden Tag für Oktober bis Dezember 2008
Quelle: Eigene Darstellung

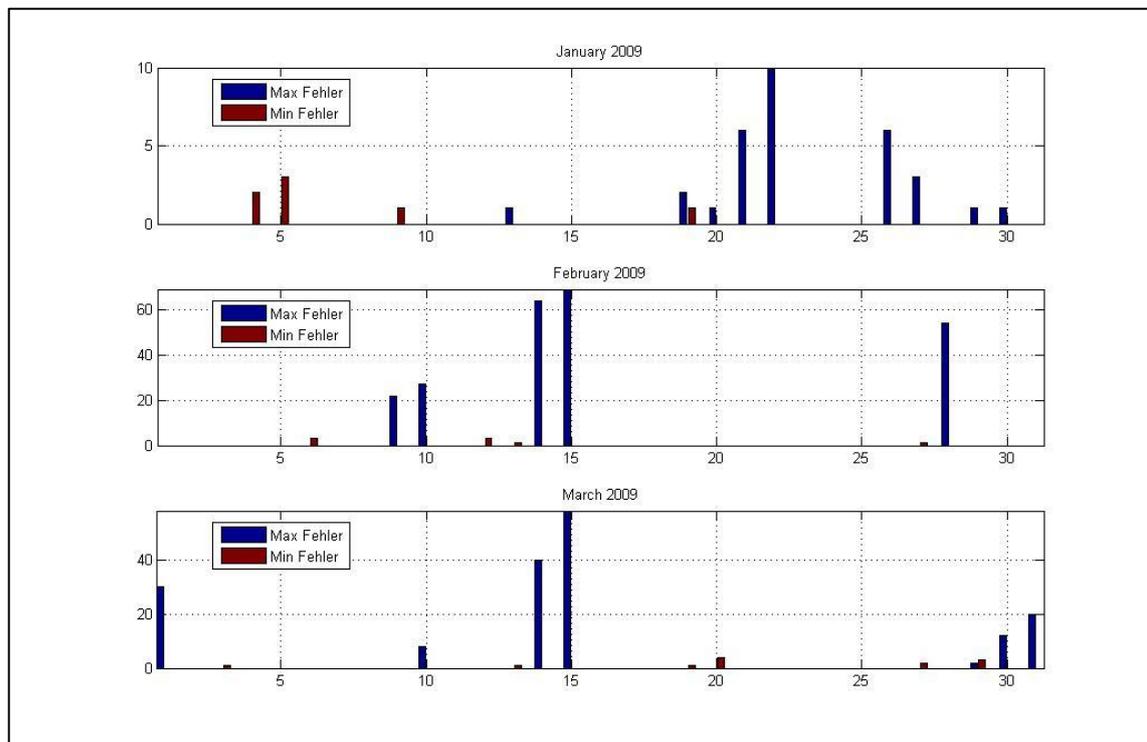


Abbildung 103: Anzahl der aufgetretenen Fehler für jeden Tag für Januar bis März 2009
Quelle: Eigene Darstellung

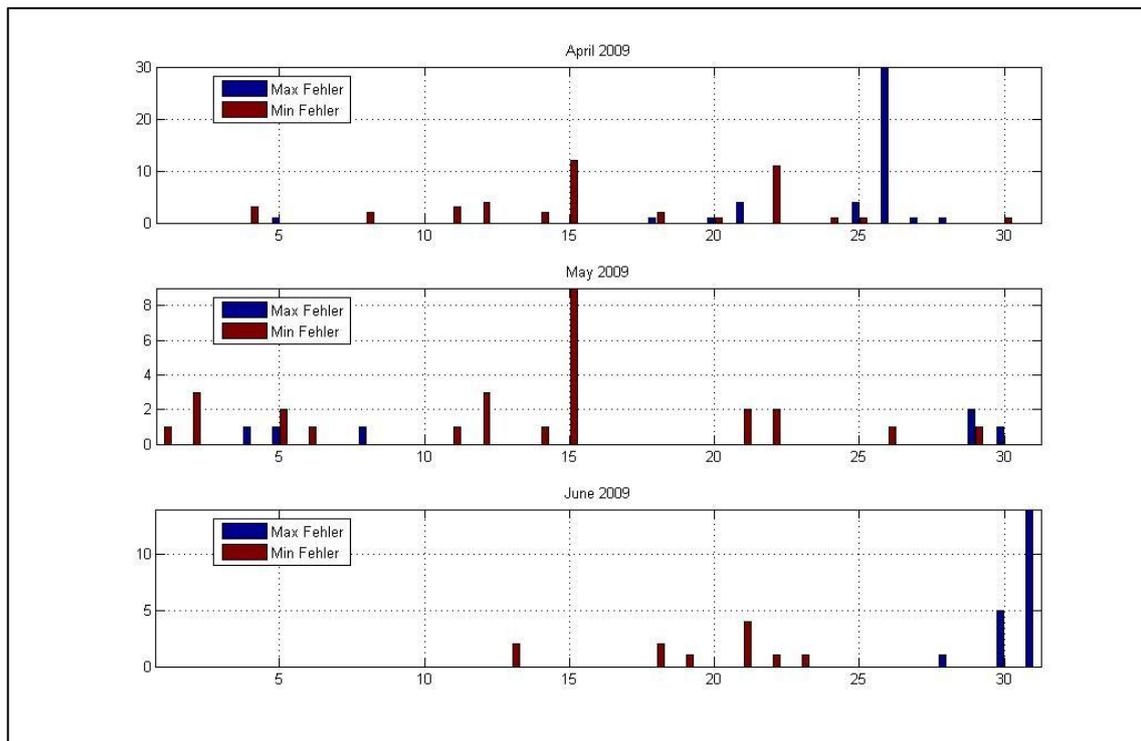


Abbildung 104: Anzahl der aufgetretenen Fehler für jeden Tag für April bis Juni 2009
 Quelle: Eigene Darstellung

Es wird davon ausgegangen, dass bei einem Auftreten von mehr als 5 Fehlern (die zusammen aus Min Fehler und Max Fehler bestehen) für einen Tag, eine schlechte Prognose für das Modell vorlag und also aufgrund der schlechten Prognose bereits keine erfolgreiche Regelung mehr zustande kommen konnte. Legt man diese (zunächst willkürliche) Regel zugrunde lassen sich folgende Anzahlen für Tage mit schlechten Prognosen für die einzelnen Monate feststellen:

Tabelle 7: Prognosefehler aufgelistet nach Monaten
 Quelle: Eigene Darstellung

Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.
2	1	1	3	2	1	3	5	7	4	4	1

Auf dieser Grundlage lässt sich z. B. feststellen, dass für den Monat März 2009 an 7 Simulationstagen schlechte Prognosen vorlagen. Insgesamt ergibt sich, dass an 34 Simulationstagen eine schlechte Prognose vorlag. In der Abb. 105 wurde in einem Kreisdiagramm dargestellt, wie die Fehlerverteilung (keine Fehler, Tage mit schlechter Prognose nach der oben getroffenen Definition und restliche Fehler) über den gesamten Simulationszeitraum war. Es wird ersichtlich, dass in dem untersuchten Zeitraum ca. 9% an schlechten Prognosen für einzelne Tage vorlagen. Der Fehleranteil „Rest“ beinhaltet

alle Tage an denen mindestens ein- bis viermal fehlerhafte Viertelstundenmittelwerte vorkamen. Dieser Restanteil beträgt 30%. Die Gründe dafür sind, dass an den Tagen entweder kurzzeitig eine schlechte Prognose vorlag, die Regelenergie zu schwach war oder der Regler einfach schlecht geregelt hat.

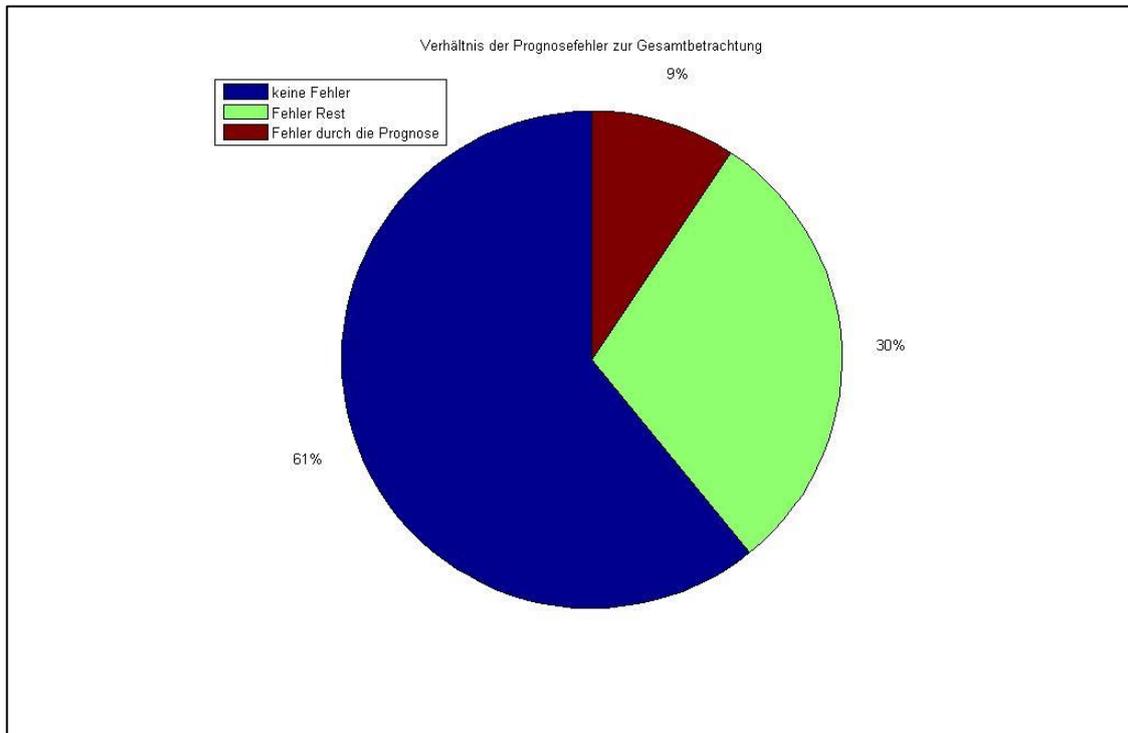


Abbildung 105: Verteilung der Prognosefehler, der restlichen aufgetretenen Fehler und keine Fehler für den Zeitraum 01.07.2008 bis 30.06.2009
Quelle: Eigene Darstellung

Für die Minutenreserveleistung (MRL) wurden einige Tage angesehen, an denen alle Viertelstunden-Leistungswerte an den Fahrplan angepasst werden konnten. Die Minutenreserveleistung wurde analysiert indem die Reglereinstellungen Min & Max Grenze gewählt wurden. Anhand dieser Einstellungen wird der minimale und maximale Summenlastverlauf erzeugt. Die negative Minutenreserve wird mit Hilfe des minimalen Summenlastverlaufes bestimmt. In der Abb. 106 ist beispielhaft der minimale Summenlastverlauf für den 15.09.2008 dargestellt.

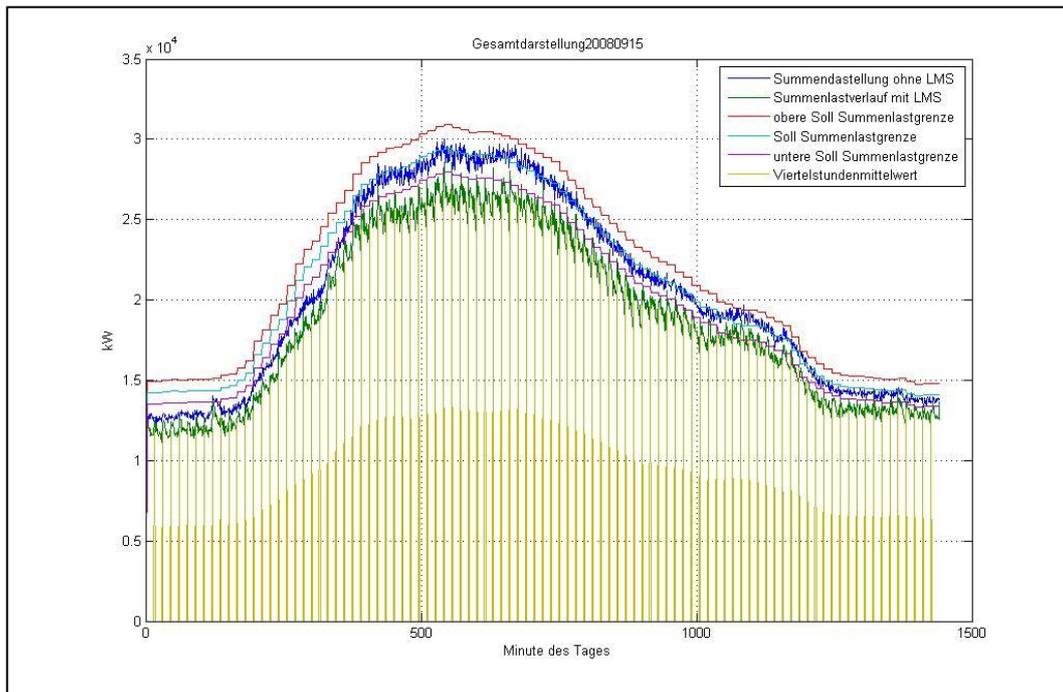


Abbildung 106: Gesamtdarstellung minimaler Summenlastverlauf Wochentag
Quelle: Eigene Darstellung

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass eine größere Menge negative MRL etwa zwischen Minute 400 bis etwa Minute 1000 geleistet werden könnte. Für die restliche Zeit des Tages sollte die Abschaltlast als Regelenergie für den Regler verwendet werden. Durch die Aktivierung des minimalen Summenlastverlaufes tritt ein starkes Lastrauschen auf. Dieses Verhalten fand auch bei anderen Simulationstagen in der Woche statt. Wenn der Fahrplan nicht berücksichtigt wird, lässt sich in den Zeiträumen zwischen 0 bis 400 und 1000 bis 1440 bis ca. 1 MW anbieten und im Zeitraum zwischen Minute 400 bis Minute 1000 könnte etwa 1.5 MW angeboten werden. In der Abb. 107 ist der minimale Summenlastverlauf für einen Wochenendtag dargestellt. An einem Wochenende steht weniger Abschaltlast aus den Liegenschaften zur Verfügung. Im Zeitraum zwischen Minute 400 und Minute 1000 lässt sich etwa 1 MW anbieten. Für die restliche Zeit des Tages sollte die Abschaltlast für die Regelenergie verwendet werden. Wenn kein Fahrplan berücksichtigt wird, lässt sich im Zeitraum zwischen Minute 0 und Minute 400 sowie Minute 1000 bis Minute 1440 etwa 0.5 MW und im Zeitraum von Minute 400 bis Minute 1000 etwa 1.5 MW anbieten. Dieses Verhalten ließ sich auch an anderen Simulationstagen vom Wochenende beobachten.

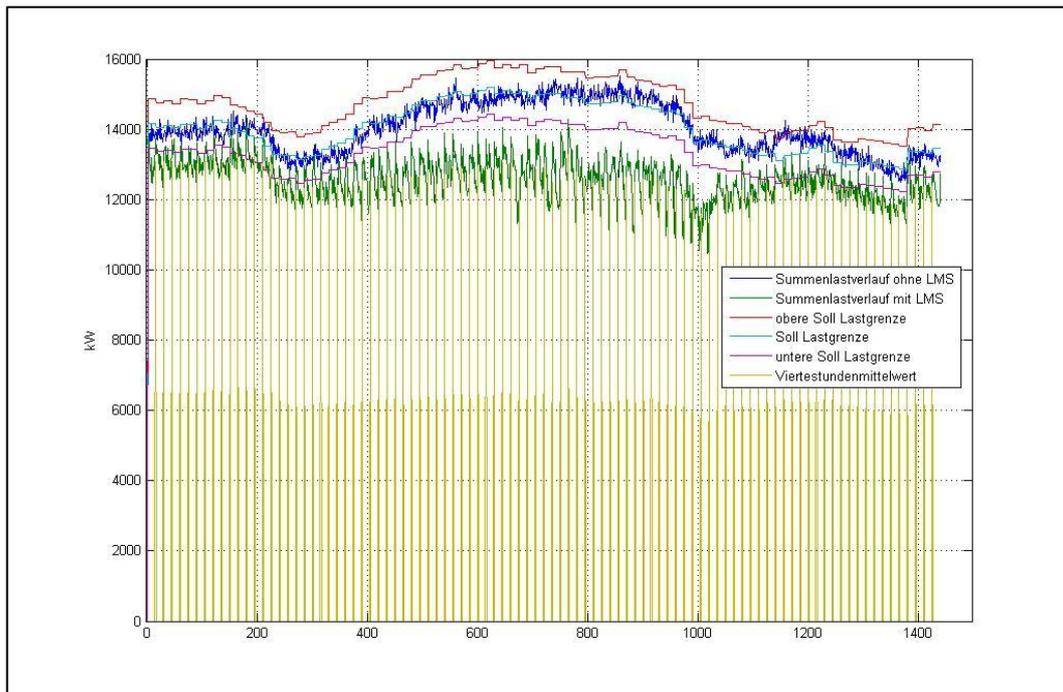


Abbildung 107: Gesamtdarstellung minimaler Summenlastverlauf Wochenende
Quelle: Eigene Darstellung

Anders sieht es bei der positiven MRL aus. Hierfür wird der maximale Summenlastverlauf bestimmt. In der Abb. 108 ist der maximale Summenlastverlauf für den 15.09.2008 dargestellt. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass die positive MRL den ganzen Tag angeboten werden kann. Dabei lässt sich der Summenlastverlauf konstant um 6 MW anheben. Dieses Verhalten konnte auch für andere Simulationstage in der Woche und am Wochenende beobachtet werden und es könnten etwa 5 MW angeboten werden, die restliche Zuschaltlast sollte als Reserve für die Regelenergie verwendet werden.

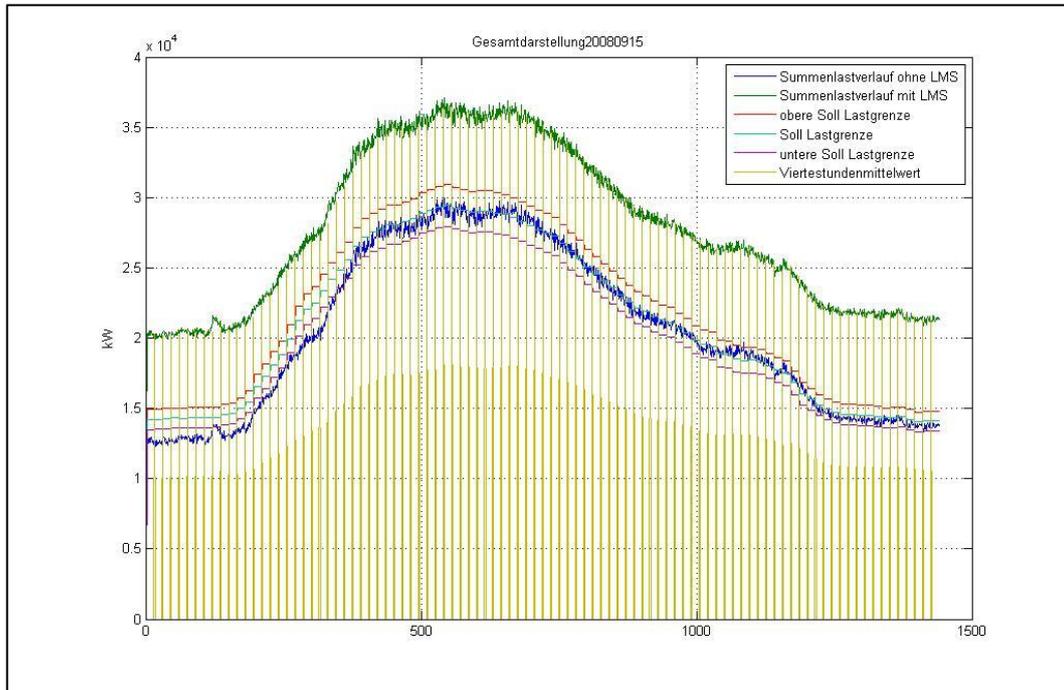


Abbildung 108: Gesamtdarstellung maximaler Summenlastverlauf
Quelle: Eigene Darstellung

Die MRL kann nur in den ermittelten Größen angeboten werden, wenn der historische Summenlastverlauf (Summenlastverlauf ohne LMS) in den Grenzen des Lastbandes liegt. Denn je größer die Abweichung zum Fahrplan ist, desto mehr Regelenergie wird benötigt um den Viertelstunden-Leistungswert in das Lastband zu regeln. Daraus ergibt sich, je mehr Regelenergie zum Regeln benötigt wird, desto weniger MRL lässt sich vermarkten.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

In der vorliegenden Diplomarbeit wurde ein Modell in MATLAB/Simulink erstellt, in dem die 21 lastintensivsten öffentlichen Liegenschaften der Freien und Hansestadt Hamburg nachgebildet sind. Die jeweiligen Teilmodelle der Liegenschaften bestehen jeweils aus dem Teilmodell einer Lastmanagement-Anlage die verbunden ist mit den Teilmodellen der Energieverbraucher der Liegenschaft. Die Lastverläufe der Liegenschaften werden im Modell über die Lastmanagement-Anlagen geregelt. Diese 21 regelbaren Liegenschaften bilden mit 100 nichtregelbaren Liegenschaften der Freien und Hansestadt Hamburg das Gesamtmodell eines gemeinsamen Bilanzkreises.

Die Teilmodelle der Liegenschaften können über die Lastmanagement-Anlage lediglich Last abschalten. Aus diesem Grund wurde zum Zuschalten von Leistung das Teilmodell Elbtunnel entwickelt. In dieser Liegenschaft befinden sich zahlreiche in verschiedenen Laststufen schaltbare Lüftungsanlagen. Diese wurden als Verbraucher für das Teilmodell dieser Liegenschaft so nachgebildet, dass sie sich auch in höhere Leistungsstufen schalten lassen und so bei Bedarf eine erhöhte Leistungsaufnahme im Bilanzkreis erreicht werden kann.

Die Liegenschaften werden im Modell mit Hilfe eines übergeordneten Reglers so geregelt, dass durch das Zu- und Abschalten von Leistung, der Summenlastverlauf aller 121 Liegenschaften so beeinflusst werden kann, dass der resultierende Viertelstunden-Leistungswert in ein Toleranzband um einen vorher festgelegten Fahrplan geregelt wird. Dazu wurde die Regelstrategie einer kaskadierenden Regelung angewandt. Um die Teilmodelle der Liegenschaften regeln zu können, bestimmt in den Simulationsläufen das Teilmodell eines übergeordneten Reglers die aktuell von den Lastmanagementanlagen der Liegenschaften einzuhaltende Lastgrenze, sowie zusätzlich die für das Teilmodell des Elbtunnels ermittelte Schaltlast.

Der Fahrplanwert den der übergeordnete Regler in den Simulationsläufen einzuhalten versucht, basiert auf Lastprognosen für die jeweiligen Tage. Diese wurden mittels historischer Lastverläufe aus den Liegenschaften erstellt. Diese prognostizierten Lastverläufe dienen also dem Programm als Grundlage, um einen Viertelstunden-Summenleistungswert (Summenfahrplan) für den ganzen Tag zu erstellen. Dieser Summenfahrplan wird als Sollwert für den übergeordneten Regler verwendet.

Anhand des beschriebenen Modells sollten folgende Szenarien analysiert werden:

- 1. Ist es möglich durch genügend Regelenergie, Prognoseabweichungen zwischen Fahrplan und tatsächlichem Lastverlauf auszugleichen?*
- 2. Wie viel Regelenergie könnte von einem solchen System für den Regelenergiemarkt (Minutenreserve) bereit gestellt werden?*

Die beiden Fragen lassen sich zusammenfassend wie folgt beantworten: Bezüglich der ersten Frage wurde ermittelt, dass das Toleranzband von 5% für die Viertelstundenmittelwerte in dem Zeitraum vom 01.07.2008 bis zum 30.06.2009 an 61% der Tage eingehalten werden konnte. Das bedeutet, dass der Fahrplan in 39% der Fälle in dem genannten Zeitraum nicht eingehalten werden konnte. Von den 39% lag bei einem Anteil von 9% eine deutlich fehlerhafte Prognose vor. In den restlichen 30% der Fälle konnten mehrere weitere Gründe für das Nichteinhalten des Fahrplans gefunden werden. Entweder war die Gesamtkapazität der zur Verfügung stehenden Leistung für das Ausregeln ausgeschöpft, oder der Regler hat an den betroffenen Tagen seine Regelaufgabe schlecht erfüllt (z. B. auftretendes Einschwingverhalten) oder die Prognose eines einzelnen kleineren Tagessegments (morgens, abends) war für den jeweiligen Tag stark fehlerhaft. Um ein besseres Ergebnis zu erzielen, gibt es daher drei Ansatzpunkte:

1. Die Verwendung einer besseren Prognosesoftware könnte einen besseren Fahrplan ermöglichen, der dann auch geringere Toleranzbandverletzungen zur Folge hätte. Denn je genauer der Summenlastverlauf für den nächsten Tag bestimmt werden kann, desto einfacher lassen sich kleine Schwankungen im Summenlastverlauf für den Viertelstunden-Leistungswert regeln.
2. Eine weitere Verbesserung ergäbe vermutlich die Erarbeitung eines intelligenteren Regelalgorithmus. Dieser sollte frühzeitig Regelabweichungen erkennen und dadurch stärkeres Einschwingverhalten des Summenlastverlaufes verhindern.
3. Zusätzlich könnte das Netzwerk der bisherigen regelbaren Liegenschaften erweitert werden. Wenn weitere Liegenschaften mit in das Netzwerk aufgenommen werden, lässt sich die Gesamtkapazität für die Regelenergie vergrößern. Dadurch können auch größere Fahrplanabweichungen ausgeregelt werden.

Die Beantwortung der zweiten Frage beinhaltet folgende Schwierigkeit: Der prognostizierte Summenlastverlauf darf für eine sinnvolle MRL Lieferung nur gering vom realen Summenlastverlauf abweichen. Denn je weniger Regelenergie für das Ausregeln des Summenlastverlaufes benötigt wird, desto mehr kann als MRL vermarktet werden. Deswegen wurden zur Beantwortung dieser Frage auch nur für einige Tage simuliert in denen es keine großen Abweichungen zwischen Fahrplan und tatsächlichem Lastgang gab. Dabei wurde der Summenlastverlauf durch den Regler jeweils an seine oberen und unteren Grenzen gebracht. Bei der Fahrplanberücksichtigung lässt sich eine negative MRL zwischen 0.5 und 1 MW und eine positive MRL von etwa 4 MW, je nach Abhängigkeit des Tages, vermarkten. Sollte jedoch der Fahrplan nicht berücksichtigt werden, kann eine negative MRL zwischen 0.5 und 1.5 MW und eine positive MRL von etwa 5 MW je nach Abhängigkeit des Tages vermarktet werden.

Wenn die MRL in der Simulation aufgerufen wurde, trat der Effekt eines größeren Lastrauschens auf. Dies fiel besonders bei der negativen MRL auf. Der Grund dafür sind die Schalthandlungen, die durch die Lastmanagement-Anlagen in den Liegenschaften mit Hilfe der Prioritäten verursacht werden. Das Lastrauschen könnte ggf. durch eine Änderung der gewählten Prioritäten und Schaltzeiten der einzelnen Energieverbraucher reduziert werden.

Dagegen wird bei der positiven MRL durch das Teilmodell der Liegenschaft Elbtunnel ein geringeres Lastrauschen erzeugt. Dies liegt vor allem an der Tatsache, dass der Lastgang des Elbtunnels durch die Verwendung von stufenschaltbaren Energieverbrauchern genauer angepasst werden kann. Wenn in den anderen Teilmodellen die Liegenschaften auch mit stufenschaltbaren Energieverbrauchern ausgestattet wären, könnte sich auch eine Minimierung des Lastrauschens für die negative MRL ergeben.

Wenn diese gewonnenen Erkenntnisse in einer anderen Arbeit erweitert werden, sollte sich eine deutliche Verbesserung für die Regelbarkeit des untersuchten Simulationszeitraumes ergeben.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- [01] academic dictionaries and encyclopedias
http://de.academic.ru/pictures/dewiki/114/regelzonen_deutscher_ubertragungsnetzbetreiber.jpg Stand: 17.03.2010
- [02] Bundesministerium für Bildung und Forschung
Projektbeschreibung: Insel Internetbasiertes System eines erweiterbaren Lastmanagements zur Integration in virtuelle Kraftwerke
<http://www.e-island.eu>, Stand: 21.02.2010
- [03] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung, Stand Juni 2009
http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen.pdf, Stand: 21.02.2010
- [04] Bundesumweltministerium
Klimaagenda 2020, Der Umbau der Industriegesellschaft, Berlin April 2007
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_klimaagenda.pdf, Stand: 21.02.2010
- [05] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/kernenergie.did=156022.html>
Stand: 23.02.2010
- [06] DIN EN 16001: Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung, Deutsche Fassung EN 16001: 2009, August 2009
- [07] E Forum: Magazin des Department Informations- Elektrotechnik Jahrgang 2007
- [08] ForschungsVerbund erneuerbare Energien
Themen2001: Integration erneuerbarer Energien
<http://www.fvee.de/publikationen/publikation/download/themen-2001-integration-erneuerbarer-energien>, Stand: 21.02.2010
- [09] Gabler Wirtschaftslexikon
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/public-private-partnership.html>,
Stand: 23.02.2010

- [10] Hable, M.: Beitrag zur Energieeinsatzoptimierung mit evolutionären Algorithmen in lokalen Energiesystemen
Technische Universität Bremen , 2004
- [11] Hasnain, I.: Modeling the Load Pattern of a Network of Buildings with installed Load Management Devices using Matlab/Simulink, Masterarbeit
Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2008
- [12] Heindler, F.: Energiemanagement und Stromeinkauf im liberalisierten Markt, Diplomarbeit, Technische Universität Graz, 2001
- [13] Merz, L. & Jaschek, H.: Grundkurs der Regelungstechnik Einführung in die praktischen Methoden
14.Auflage, OldenbourgVerlag München Wien, 2003
- [14] Naimi, F.: Java-basierte Lastprognose für eine geringe Anzahl von Liegenschaften, Masterarbeit
Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2008
- [15] Paparsijan, F.: Projektierung eines virtuellen Kraftwerks „Freie & Hansestadt Hamburg“ basierend auf dem Ansatz des Forschungsprojektes „Insel“, Diplomarbeit
HTWG Konstanz
- [16] Schulz, Gerd: Regelungstechnik 1 Lineare und Nichtlineare Regelung
Rechnergestützter Reglerentwurf
3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Oldenbourg Verlag München Wien, 2007
- [17] Splett M.: Einspeiseverhalten von Offshore-Windparks, Ein Modell zur Analyse der fluktuierenden Einspeisung von geographischen verteilten Offshore-Windparks
Doktorarbeit
http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=996989315&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=996989315.pdf
f Stand: 17.03.2010
- [18] swissgrid ag Nationale Netzgesellschaft Schweiz
http://www.swissgrid.ch/power_market/grid_operation/ Stand: 21.02.2010
- [19] U. Stein: Einstieg in das Programmieren mit MATLAB
Carl Hanser Verlag München, 2007
- [20] Einsatzmöglichkeiten Regenerativer Energien für eine klimaverträgliche Elektrizitätsversorgung in Deutschland
<http://www.volker-quasching.de/downloads/index.html>, Stand: 21.02.2010

- [21] Unbehauen, H.: Regelungstechnik II Zustandsregelungen, digitale und nichtlineare Regelungssysteme
8. Auflage, Vieweg & Sohn Verlag, 2000

- [22] V. Bühner: Anforderungen an dezentrale Einspeisung bezüglich der Betriebsführung in „Virtuellen Kraftwerken“, VDI-Berichte Nr. 1929, 2006 49

- [23] VDN: Kommentarband Umsetzung der Verbändevereinbarung über Kriterien zu Bestimmung der Netznutzungsentgelten für elektrische Energie und über Prinzipien der Netznutzung vom 13.Dezember 2001(VV II+)

- [24] Verbändevereinbarung über Kriterien zu Bestimmung der Netznutzungsentgelten für elektrische Energie und über Prinzipien der Netznutzung vom 13.Dezember 2001

- [25] Ye, T.: Modelling of Load Management Systems for Building using MATLAB/SIMULINK, Masterarbeit
Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2008

8 ANHANG

8.1 Einstellung der Liegenschaften

Liegenschaft : Uni Stadt

ID: 1

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Küchengeräte	1.001.001	1	84	33,6	1	3,0	2,0	0,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00, Wahrsch 0,5
Küchengeräte	1001002	1	76	30,4	1	3,0	1,0	0,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00, Wahrsch 0,5
Lüftung	1001003	1	97,7	78,16	1	8,0	7,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1001004	1	3,8	3,04	2	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1002001	2	46,25	37	2	8,0	7,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Boiler	1002002	2	222	88,8	2	3,0	3,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 Wahrscheinlichkeit 0,5
Lüftung	1002003	2	26,05	20,84	3	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1002004	2	27	21,6	3	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1003001	3	11,9	9,52	3	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1003002	3	25	20	4	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1003003	3	40	32	4	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1003004	3	32	25,6	4	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1004001	4	29,5	23,6	5	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1004002	4	43	34,4	5	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Kältemaschinen	1004003	4	248,5	198,8	8	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 T>20
Kältemaschinen	1004004	4	331	264,8	8	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 T>20
Lüftung	1005001	5	17,6	14,08	5	8,0	7,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1005001	5	77,3	61,84	6	12,0	3,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1005001	5	28,7	22,96	6	12,0	3,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1005001	5	41,2	32,96	6	12,0	3,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1006001	6	33,8	27,04	6	12,0	3,0	1,0	Mo. - Fr. 07:00-15:00
Lüftung	1006002	6	71,6	57,28	7	12,0	3,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1006003	6	48,3	38,64	7	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1006004	6	50,2	40,16	7	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Küchengeräte	1007001	7	36	14,4	7	3,0	1,0	0,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00, Wahrsch 0,5
Kühlgeräte	1007002	7	17	1,36	8	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 Wahrscheinlichkeit 0,1
Kältemaschine	1007003	7	30	24	8	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 T> 20°C
Heizungspumpen	1007004	7	8,2	6,56	8	1,0	60,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00; -30 < T < 15
Kühlgeräte	1008001	8	54	4,32	8	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 Wahrsch 0,1
Wärmegeräte	1008002	8	20	16	8	1,0	14,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Luftkompressoren	1008003	8	15	12	8	8,0	7,0	0,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Kühlgeräte	1008004	8	59	4,72	8	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 Wahrsch 0,1

Anhang

Heizungspumpen	1.009.001	9	13,80	11,04	1	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00, -30<T<15
Luftbefeuchter	1.009.002	9	42,00	33,6	1	0,0	0,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.009.003	9	6,20	4,96	1	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Kältemaschinen	1.009.004	9	116,00	92,8	8	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.010.001	10	8,50	6,8	2	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.010.002	10	24,20	19,36	2	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.010.003	10	8,00	6,4	2	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.010.004	10	20,00	16	3	1,0	60,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.011.001	11	17,50	14	3	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Boiler	1.011.002	11	18,00	7,2	3	1,0	0,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 Wahrscheinlichkeit 0,5
Trockenschränke	1.011.003	11	800,00	640	-	1,0	0,0	1,0	Einschaltsperrern, Schaltsteuerungen
Trockenschränke	1.011.004	11	252,00	201,6	-	1,0	0,0	1,0	Einschaltsperrern, Schaltsteuerungen
Kühlgeräte	1.012.001	12	29,00	2,32	8	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 Wahrsch 0,1
Lüftung	1.012.002	12	13,50	10,8	4	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.012.003	12	9,60	7,68	4	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.012.004	12	15,20	12,16	4	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.013.001	13	12,00	9,6	5	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.013.002	13	12,00	9,6	5	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.013.003	13	9,00	7,2	6	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.013.004	13	7,50	6	6	5,0	10,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Kältemaschinen	1.014.001	14	89,00	71,2	8	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 T>20°C
Kältemaschinen	1.014.002	14	120,00	96	8	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00 T>20°C
Hebeanlagen	1.014.003	14	16,50	13,2	7	7,0	8,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	1.014.004	14	3,70	2,96	7	12,0	3,0	1,0	Mo. - So. 0:00 - 24:00

Liegenschaft: Berliner Tor**ID:6**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Kessel 1	DIO44 K1_3	1	36	28,8	1	2	2	1	8 – 12h, Wahrscheinlichkeit 1
Kessel 2	DIO44 K1_2	1	36	28,8	2	2	2	1	9 – 12h, Wahrscheinlichkeit 1
Kessel 3	DIO44 K1_1	1	13,5	10,8	1	2	2	1	10 – 12h, Wahrscheinlichkeit 1
Kessel 4	DIO44 K1_0	1	13,5	10,8	2	2	2	1	11 – 12h, Wahrscheinlichkeit 1
Kessel 5	DIO44 K2_2	2	48	38,4	1	2	2	1	12 – 12h, Wahrscheinlichkeit 1
Kessel 6	DIO44 K2_3	2	8	6,4	2	2	2	1	13 – 12h, Wahrscheinlichkeit 1
Elektro Herd	DIO44 K2_0	2	8	6,4	2	1	1	1	8 – 12h
Kombidämpfer	DIO44 K2_1	2	46	36,8	6	3	1	1	8 - 13h
Kippbratpfanne 1	DIO44 K3_0	3	13,5	10,8	2	2	2	1	8 – 12h
Kippbratpfanne 2	DIO44 K3_1	3	13,5	10,8	3	2	2	1	8 – 12h
Lüftung 1 Küche	LSC Hub01 00	4	20	16	6	10	5	3	6 -17h
Lüftung 2 Kaffeeshop	LSC Hub01 01	4	20	16	5	10	5	3	6 -17h
Lüftung 3 Mensa	LSC Hub01 02	4	20	16	4	11	4	3	6 -17h
Lüftung 4 Bibliothek	LSC Hub01 03	4	20	16	4	11	4	3	6 -17h
Lüftung 5a Hauptlüftung	LSC Hub01 04	4	55	44	3	10	5	3	6 -17h
Lüftung 5b Hauptlüftung	LSC Hub01 05	4	55	44	3	10	5	3	6 -17h
Lüftung 6a Hauptlüftung	LSC Hub01 06	4	37	29,6	5	11	4	3	6 -17h
Lüftung 6b Hauptlüftung	LSC Hub01 07	4	37	29,6	5	11	4	3	6 -17h
Lüftung 7a Hauptlüftung	LSC Hub02 00	5	75	60	4	10	5	3	6 -17h
Lüftung 7b Hauptlüftung	LSC Hub02 01	5	75	60	4	10	5	3	6 -17h
Lüftung Traforaum	LSC Hub02 02	5	10	8	8	11	4	3	6 -17h
Lüftung 1165 Umluftkühler	LSC Hub02 03	5	4	3,2	3	11	4	3	6 -17h
Lüftung 1105 Umluftkühler	LSC Hub02 04	5	4	3,2	3	10	5	3	6 -17h
Lüftung 110G. Umluftkühler	LSC Hub02 05	5	4	3,2	3	10	5	3	6 -17h
Kälte K2	LSC Hub02 06	5	600	480	5	11	4	3	6 -17h, ab 25°C Außentemperatur
Lüftung Kälte DG	LSC Hub03 00	6	10	8	4	11	4	3	7 -17h, ab 25°C Außentemperatur

Liegenschaft: Landespolizeiverwaltung (LPV)**ID: 8**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Kälte 1	8.001.001	1	158	126,4	4	5	8	4	Temperaturabhängig ab Ta > 30°C Nach Bedarf entweder Nachtfreikühlung, 1 KM 2KM oder sehr selten auch 3 KM
Kälte 2	8.001.002	1	158	126,4	3	5	8	4	Temperaturabhängig ab Ta > 35°C Nach Bedarf, entweder Nachtfreikühlung, 1 KM, 2KM oder sehr selten auch 3 KM
Kälte 3	8.001.003	1	158	126,4	2	5	8	4	Temperaturabhängig ab Ta > 40°C Nach Bedarf, entweder Nachtfreikühlung, 1 KM, 2KM oder sehr selten auch 3 KM
Lüftung 5 zu	8.002.001	2	15	12	2	4	6	2	0 – 24h
Lüftung 5 ab	8.002.002	2	11	8,8	2	4	6	2	0 – 24h
Lüftung 5 Dampf	8.002.003	2	38	30,4	2	4	0	2	nicht im Modell Nach Bedarf
Lüftung 4 zu	8.003.001	3	15	12	3	5	7	2	0 – 24h
Lüftung 4 ab	8.003.002	3	11	8,8	3	5	7	2	0 – 24h
Lüftung 4 Dampf	8.003.003	3	38	30,4	3	5	0	3	Nach Bedarf
Lüftung 3 zu	8.004.001	4	15	12	4	6	8	2	0 – 24h
Lüftung 3 ab	8.004.002	4	11	8,8	4	6	8	2	0 – 24h
Lüftung 3 Dampf	8.004.003	4	38	30,4	4	6	0	2	Nach Bedarf
Lüftung 2 zu	8.005.001	5	15	12	1	4	6	2	0 – 24h
Lüftung 2 ab	8.005.002	5	11	8,8	1	4	6	2	0 – 24h
Lüftung 2 Dampf	8.005.003	5	38	30,4	1	4	0	2	Nach Bedarf
Lüftung 1 zu	8.006.001	6	15	12	6	8	12	2	0 – 24h
Lüftung 1 ab	8.006.002	6	11	8,8	6	8	12	2	0 – 24h
Lüftung 1 Dampf	8.006.003	6	43	34,4	6	8	0	2	Nach Bedarf
Lüftung 6 zu	8.070.001	7	5	4	5	5	7	2	6 – 18h
Lüftung 6 ab	8.070.002	7	5	4	5	5	7	2	6 – 18h
Lüftung 7 zu	8.070.003	7	8	6,4	5	4	6	2	0 – 24h
Lüftung 7 ab	8.070.004	7	8	6,4	5	4	6	2	0 – 24h
Lüftung 8 zu	8.008.001	8	5	4	2	7	9	2	6 – 18h
Lüftung 8 ab	8.008.002	8	5	4	2	7	9	2	6 – 18h
div Heizungspumpen	8.008.003	8	30	19,2	1	3	3	1	von -20°C bis +15°C Wahrscheinlichkeit 0,8
Küchenzuluft	8.009.001	9	4	3,2	7	4	6	2	5.30 – 14h
Küchenabluft	8.009.002	9	4	3,2	7	4	6	2	5.30 – 14h
Druckbraiserie	8.010.001	10	18,4	7,36	7	10	2	2	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 0,5

Anhang

Druckbraiserie	8.010.002	10	18,4	7,36	7	11	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 0,5
Wasserbad fahrbar	8.010.003	10	3,2	2,56	7	3	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 1
Herd Glaskeramik	8.010.004	10	20	16	7	1	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 1
Grillplatte	8.011.001	11	8	3,2	7	1	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 0,5
Fritteuse	8.011.002	11	16	11,52	7	5	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 0,9
Fritteuse	8.011.003	11	16	11,52	7	5	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 0,9
Kochkessel 40l	8.011.004	11	13	10,4	7	1	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 1
Kochkessel 40l	8.012.001	12	13	10,4	7	1	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 1
Kochkessel 100l	8.012.002	12	16	12,8	7	1	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 1
Kochkessel 100l	8.012.003	12	16	12,8	7	1	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 1
Hochdruckdämpfer	8.012.004	12	12	9,6	7	10	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 1
Hochdruckdämpfer	8.013.001	13	12	9,6	7	10	2	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 1
Kombidämpfer	8.013.002	13	38	24,32	7	11	3	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 0,8
Kombidämpfer	8.013.003	13	38	24,32	7	11	3	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 0,8
Heißgetränkeautomat	8.013.004	13	15	6	7	10	3	1	6.30 bis 12.00h, Wahrscheinlichkeit 0,5

Liegenschaft: Uni Botanik

ID: 10

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Küchengeräte	10.001.001	1	61,0	39,04	1	3	1	1	Mo. - Fr. 07:00-15:00, Wahrscheinlichkeit 0,8
Küchengeräte	10.001.002	1	80,0	51,2	1	3	1	1	Mo. - Fr. 07:00-15:00, Wahrscheinlichkeit 0,8
Küchengeräte	10.001.003	1	41,0	26,24	2	3	2	1	Mo. - Fr. 07:00-15:00, Wahrscheinlichkeit 0,10
Küchengeräte	10.001.004	1	110,0	70,4	2	3	2	1	Mo. - Fr. 07:00-15:00, Wahrscheinlichkeit 0,11
Küchengeräte	10.002.001	2	60,0	38,4	3	3	2	1	Mo. - Fr. 07:00-15:00, Wahrscheinlichkeit 0,12
Küchengeräte	10.002.002	2	130,0	83,2	3	3	2	1	Mo. - Fr. 07:00-15:00, Wahrscheinlichkeit 0,13
Kältemaschinen	10.002.003	2	41,0	32,8	8	5	8	4	Mo. - So. 0:00 - 24:00; Temp >20°C
Kältemaschinen	10.002.004	2	37,0	29,6	8	5	8	4	Mo. - So. 0:00 - 24:00; Temp >20°C
Heizungspumpen	10.003.001	3	50,0	40	4	3	3	1	Mo. - So. 0:00 - 24:00, Temp -20 bis +15 °C
Luftkompressor	10.003.002	3	37,0	29,6	4	6	5	2	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	10.003.003	3	19,0	15,2	5	4	6	2	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	10.003.004	3	59,0	47,2	5	5	7	2	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	10.004.001	4	27,0	21,6	6	4	6	2	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	10.004.002	4	11,0	8,8	6	5	7	2	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	10.004.003	4	12,0	9,6	7	6	8	2	Mo. - So. 0:00 - 24:00
Lüftung	10.004.004	4	15,0	12	7	6	8	2	Mo. - So. 0:00 - 24:00

Liegenschaft: Kunsthalle**ID: 11**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten
									(Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Kältemaschine	11.001.001	1	370	296	8	5	8	4	0 – 24h, bei T > 20
Kältemaschine 41	11.002.001	2	104	83,2	6	4	9	3	0 – 24h T > 20°
Kältem. 42+43	11.002.002	2	104	83,2	6	6	10	4	0 – 24h T > 20°
Kältemaschine 44	11.002.003	2	33	26,4	7	5	8	4	0 – 24h T > 20°
Kältem.50+60	11.003.001	3	80	64	7	6	11	3	0 – 24h T > 20°
Div Heizungspumpen	11.003.002	3	3	2,4	1	3	3	1	0 - 24 h T < 15°C
Div Heizungspumpen	11.003.003	3	2	1,6	5	3	3	1	dto
Div Heizungspumpen	11.003.004	3	2	1,6	6	3	3	1	dto
Anlage 1	11.004.001	4	49	39,2	3	4	6	2	0 – 24h
Anlage 1	11.004.002	4	41	32,8	1	4	6	2	0 – 24h
Anlage 2	11.004.003	4	35	28	3	7	9	3	0 – 24h
Anlage 2	11.004.004	4	23	18,4	2	4	6	2	0 – 24h
Anlage 4.1	11.005.001	5	29	23,2	1	5	7	2	0 – 24h
Anlage 4.1	11.005.002	5	18	14,4	3	5	7	2	0 – 24h
Anlage 4.2	11.005.003	5	13	10,4	2	5	7	3	0 – 24h
Anlage 4.2	11.005.004	5	11	8,8	4	4	6	2	0 – 24h
Anlage 4.3	11.006.001	6	10	8	2	6	8	2	0 – 24h
Anlage 4.4	11.006.002	6	12	9,6	1	7	5	2	0 – 24h
Anlage 50	11.007.001	7	6	4,8	1	5	8	3	0 – 24h
Anlage 50	11.007.002	7	5	4	2	4	6	2	0 – 24h
Anlage 60	11.007.003	7	3	2,4	4	4	6	2	0 – 24h

Liegenschaft: Hygiene Institut**ID: 13**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten
									(Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Kaltwassersatz 1	13.001.001	1	59	47,2	8	6	5	3	0 – 24h
Ventilator Kühlturm 1	13.001.003	1	3,8	3,04	8	6	5	3	0 – 24h
10 Kühlräume	13.002.001	2	11	4,4	5	10	7	4	0 – 24h, Wahrscheinlichkeit 0,5
4 Wärmeschränke	13.002.002	2	20	8	6	6	5	3	0 – 24h, Wahrscheinlichkeit 0,5
2 Dampfbefeuchter	13.002.003	2	46	23	5	4	6	2	6 – 18h
Zuluftanlage	13.002.004	2	12	9,6	1	4	6	2	6 – 18h
Labor Zuluftanlage	13.003.001	3	12	9,6	1	4	6	2	6 – 18h
Labor Abluftanlage	13.003.002	3	3	2,4	1	4	6	2	6 – 18h
Messräume Zuluftanlage	13.003.003	3	5	4	3	4	6	2	6 – 18h
Messräume Abluftanlage	13.003.004	3	3,7	2,96	3	4	6	2	6 – 18h
Zuluftanlage 1	13.004.001	4	20	16	4	5	10	2	6 – 18h
Zuluftanlage 2	13.004.002	4	20	16	4	5	10	2	6 – 18h
Abluftanlage	13.004.003	4	7,8	6,24	4	5	10	2	6 – 18h
Labor Zuluftanlage	13.005.001	5	12	9,6	2	5	7	3	6 – 18h
Labor Abluftanlage	13.005.002	5	2,6	2,08	2	5	7	3	6 – 18h

Liegenschaft: Landes Versicherungsanstalt (LVA)**ID: 14**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten
									(Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	(wg. FU nur 50%)		<i>Min</i>	<i>Min</i>	<i>Min</i>	
Lüftung L01 Zuluft	14.001.001	1	11	5,5	1	3	7	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L01 Abluft	14.001.002	1	11	5,5	1	3	7	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L02 Zuluft	14.002.001	2	15	7,5	2	3	9	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L02 Abluft	14.002.002	2	15	7,5	2	3	9	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L03 Zuluft	14.001.003	1	15	7,5	3	2	8	3	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L03 Abluft	14.001.004	1	15	7,5	3	2	8	3	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L04 Zuluft	14.005.001	5	1,8	0,9	4	3	7	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L04 Abluft	14.005.002	5	1,8	0,9	4	3	7	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L05 Abluft	14.004.001	4	7,5	3,75	2	3	8	3	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L05 Abluft	14.004.002	4	7,5	3,75	2	3	8	3	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L06 Abluft	14.003.001	3	5,5	2,75	4	2	7	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L06 Abluft	14.003.002	3	5,5	2,75	4	2	7	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L07 Abluft	14.004.003	4	11	5,5	1	3	7	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L07 Abluft	14.004.004	4	11	5,5	1	3	7	2	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Lüftung L10 Abluft	14.003.003	3	14	7	3	3	8	3	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00

Anhang

Lüftung L10 Abluft	14.003.004	3	14	7	3	3	8	3	Mo. bis Fr. 06:00 - 16:00
Abgasventilator 1	14006001 (a+b)	6	27	21,6	2	3	9	2	Mo. - Fr. 7:00 - 8:45 ; 14:30 - 16:00
Abgasventilator 2	14006002 (a+b)	6	27	21,6	2	3	9	2	Mo. - Fr. 7:00 - 8:45 ; 14:30 - 16:00
Rampenheizung	14007001 (a+b)	7	98	78,4	3	4	10	2	Mo. - Fr. 6:30 - 9:45 ; 12:45 - 16:00 bei Feuchtigkeit (Regen) und $-30 < T < 1,5^{\circ}\text{C}$
Kältemaschine 1	14.008.001	8	130	65	8	2	10	2	24 h im Sommer ab ca. 9°C AT verriegelt gegen 3+4 $T > 20$
Kältemaschine 2	14.008.002	8	130	65	8	2	10	2	24 h im Sommer ab ca. 9°C AT verriegelt gegen 3+4 $T > 20$
Kältemaschine 3	14.008.003	8	70	35	8	2	10	2	24 h im Sommer ab ca. 9°C AT verriegelt gegen 1+2; $9 < T < 20$
Kältemaschine 4	14.008.004	8	70	35	8	2	10	2	24 h im Sommer ab ca. 9°C AT verriegelt gegen 1+2; $9 < T < 20$
Teichpumpe 1	14.009.001	9	5,5	4,4	1	1	14	1	März bis November durchgehend
Teichpumpe 2	14.009.002	9	3	2,4	1	1	14	1	März bis November durchgehend
Wäscherpumpe	14.004.005	4	2,2	1,76	8	3	7	2	immer
Kältemaschine für Kühlräume 1	14.010.001	10	3,7	0,888	4	2	10	2	immer
Kältemaschine für Kühlräume 2	14.010.002	10	3,7	0,888	5	2	10	2	immer
Kältemaschine für Kühlräume 3	14.010.003	10	3,7	0,888	6	2	10	2	immer
Kältemaschine für Kühlräume 4	14.010.004	10	2,5	0,6	7	2	10	2	immer
Schnellkochtopf 1	14.011.001	11	30	21,60	1	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Schnellkochtopf 2	14.011.002	11	15	10,80	2	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Schnellkochtopf 3	14.011.003	11	14,2	10,22	3	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Schnellkochtopf 4	14.011.004	11	11,4	8,21	4	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Kippbratpfanne 1	14.012.001	12	10,6	7,63	1	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Kippbratpfanne 2	14.012.002	12	16,2	11,66	2	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Drucksteamer	14.012.003	12	15	10,80	3	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Wärmestation 1	14.012.004	12	5	3,60	1	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Wärmestation 2	14.013.001	13	5	3,60	2	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Wärmestation 3	14.013.002	13	5	3,60	3	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Kombidämpfer 1	14.013.003	13	36,6	26,35	4	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Kombidämpfer 2	14.013.004	13	19	13,68	5	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Kombidämpfer 3	14.014.001	14	19	13,68	8	1	1	1	nur selten im Betrieb
Warmhalte 1	14.014.002	14	2	1,44	1	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Warmhalte 2	14.014.003	14	2	1,44	1	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Warmhalte 3	14.014.004	14	2	1,44	1	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Warmhalte 4	14.015.001	15	2	1,44	1	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Warmhalte 5	14.015.002	15	2	1,44	1	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Warmhalte 6	14.015.003	15	2	1,44	1	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Fritteuse 1	14.015.004	15	5,5	2,48	2	1	1	1	Mo. - Fr. 06:00 - 13:30

Anhang

Fritteuse 2	14.016.001	16	5,5	2,48	3	1	1	1	Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Fritteuse 3	14.016.002	16	5,5	2,48	4	1	1	1	Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Fritteuse 4	14.016.003	16	5,5	2,48	5	1	1	1	Mo. - Fr. 06:00 - 13:30
Bandspülmaschine	14.016.004	16	21	0,00	2	1	1	1	Dibalog System, Mo. - Fr. 06:00 - 13:30

Liegenschaft: Gesamtschule Mümmelmannsberg (GSM)

ID:15

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten
									(Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Lüftungsanlage Zul. vorne	15.001.001	1	11	8,8	4	9	6	3	Mo-Fr 5:00 – 22h teilweise Sa u. So auch
Lüftungsanlage Abluft vorne	15.001.002	1	5,5	4,4	4	9	6	3	Mo-Fr 5:00 – 22h teilweise Sa u. So auch
Lüftungsanlage Zuluft hinten	15.001.003	1	22	17,6	4	10	5	3	Mo-Fr 5:00 – 22h teilweise Sa u. So auch
Lüftungsanlage Abluft hinten	15.001.004	1	11	8,8	4	10	5	3	Mo-Fr 5:00 – 22h teilweise Sa u. So auch
Hörsaal Zuluft	15.002.001	2	18,5	14,8	4	10	6	3	6:30 – 17h
Hörsaal Abluft	15.002.002	2	7,5	6	4	10	6	3	6:30 – 17h
Küche Zuluft	15.002.003	2	7,5	6	3	10	6	3	6:30 – 17h
Küche Abluft	15.002.004	2	3	2,4	3	10	6	3	6:30 – 17h
Werkstätten Abluft	15.003.001	3	5,5	4,4	3	9	6	3	6:30 – 17h
Musik Zuluft	15.003.002	3	7,5	6	1	10	6	3	6:30 – 17h
Musik Abluft	15.003.003	3	2,2	1,76	1	10	6	3	6:30 – 17h
Arbeitslehre man B Zuluft	15.003.004	3	30	24	1	11	4	3	6:30 – 17h
Arbeitslehre man B Abluft	15.004.001	4	5,5	4,4	1	11	4	3	6:30 – 17h
NW Zuluft	15.004.002	4	90	72	7	12	3	3	6:30 – 17h
NW Abluft	15.004.003	4	45	36	7	12	3	3	6:30 – 17h
Arbeitslehre Zuluft	15.004.004	4	18,5	14,8	3	10	5	3	6:30 – 17h
Arbeitslehre Abluft	15.005.001	5	7,5	6	3	10	5	3	6:30 – 17h
Abluft WC 1	15.006.001	6	1,7	1,36	1	9	6	3	6:30 – 17h
Abluft WC 2	15.006.002	6	3,5	2,8	1	9	6	3	6:30 – 17h
Allg. Unterricht Zuluft	15.006.003	6	15	12	4	10	6	3	6:30 – 17h
Allg. Unterricht Abluft	15.006.004	6	7,5	6	4	10	6	3	6:30 – 17h
Essenzzone Zuluft	15.007.001	7	18,5	14,8	3	10	5	3	6:30 – 17h
Essenzzone Abluft	15.007.002	7	7,5	6	3	10	5	3	6:30 – 17h
Pausenhalle Zuluft	15.007.003	7	11	8,8	3	9	4	3	6:30 – 17h
Pausenhalle Abluft	15.007.004	7	4	3,2	3	9	4	3	6:30 – 17h
Küche Fortluft	15.008.001	8	5,5	4,4	6	11	5	3	6:30 – 17h
Spühhküche Abluft	15.008.002	8	1,1	0,88	6	11	5	3	6:30 – 17h
Sprachlabor Zuluft	15.008.003	8	15	12	2	10	6	3	6:30 – 17h
Sprachlabor Abluft	15.008.004	8	5,5	4,4	2	10	6	3	6:30 – 17h
Allg. Unterricht hinten Zuluft	15.009.001	9	75	60	5	11	6	3	6:30 – 17h
Allg. Unterricht hi Abl	15.009.002	9	45	36	5	11	6	3	6:30 – 17h

Anhang

Pausenhalle hi Zuluft	15.009.003	9	37	29,6	2	11	8	3	6:30 – 17h
Pausenhalle hi Abluft	15.009.004	9	37	29,6	2	11	8	3	6:30 – 17h
Kessel	15.010.001	10	10	6,4	4	1	1	1	10 – 12h
Kessel	15.010.002	10	11,2	7,17	3	1	1	1	10 – 12h
Combi Dämpfer	15.010.003	10	9,4	6,02	7	5	1	1	8 – 13h
Combi Dämpfer	15.010.004	10	19	12,16	7	5	1	1	8 – 13h
Herd	15.011.001	11	12	7,68	5	1	1	1	8 – 11:30h
Herd	15.011.002	11	15	12	4	1	1	1	8 – 11:30h
Geschirrspüler	15.011.003	11	36	28,8	5	1	0	0,16	10 – 15h
Kältekompressor	15.012.001	12	60	24	2	12	0	3	Tags Mo-Fr im Sommer T >20°C
Kühlwasserpumpe	15.012.002	12	4	1,6	2	12	3	3	Tags Mo-Fr im Sommer T >20°C
Kühlwasserpumpe	15.012.003	12	4	1,6	2	12	3	3	Tags Mo-Fr im Sommer T >20°C
Kühlwasserpumpe	15.012.004	12	4	1,6	2	12	3	3	Tags Mo-Fr im Sommer T >20°C
Kühlwasserpumpe	15.013.001	13	5,5	2,2	2	12	3	3	Tags Mo-Fr im Sommer T >20°C
Kühlwasserpumpe	15.013.002	13	5,5	2,2	2	12	3	3	Tags Mo-Fr im Sommer T >20°C
Kühlwasserpumpe	15.013.003	13	5,5	2,2	2	12	3	3	Tags Mo-Fr im Sommer T >20°C

Liegenschaft: HAW Bergedorf

ID: 16

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung kW	tat. Leistung kW	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
Grundwasser Pumpe1	16.001.001	1	10	2,25	1	3	12	5	24h, 10 Minuten je Stunde, 5 Minuten Laufzeit, Wahrsch 0,25
Lüft. Halle 1	16.002.001	2	11	8,8	2	5	45	5	7:30 - 15:00
Lüft. Halle 2	16.002.002	2	11	8,8	2	5	45	5	7:30 - 15:00
Lüft. Halle 3	16.003.001	3	11	8,8	2	5	45	5	7:30 - 15:00
Lüft. Halle 4	16.003.002	3	11	8,8	2	5	45	5	7:30 - 15:00
Lüft. Seminarraum 4.1	16.004.001	4	3	2,4	4	5	10	5	7:30 - 15:00
Lüft. Hörs. 20-22	16.003.003	3	20	16	4	5	10	5	7:30 - 15:00
Lüft. Hörs. 22-24	16.003.004	3	11	8,8	4	5	10	5	7:30 - 15:00
Lüft. Bibliothek EG	16.004.002	4	15	12	3	5	10	5	7:30 - 15:00
Lüft Bibliothek ZwG	16.004.003	4	8	6,4	3	5	10	5	7:30 - 15:00
Lüft. Mensa EG	16.005.001	5	5	4	4	5	10	5	7:30 - 15:00

Anhang

Lüft. Mensa ZwG			5	4	4	5	10	5	7:30 - 15:00
	16.005.002	5							
Kälteanlage 1			65	52	30	15	15	5	7:30 - 15:00 bei T>20°C
	16.006.001	6							
Lüft Hörsaal 15-17			13	10,4	4	5	10	5	7:30 - 15:00
	16.004.004	4							
Kälteanlage 2			65	52	30	15	15	5	7:30 - 15:00 bei T> 20°C
	16.006.002	6							
Kochkessel 80l			14	11,2	3	4	1	1	09:00 - 14:00
	16.007.001	7							
Kochkessel 60l			14	11,2	3	4	1	1	09:00 - 14:00
	16.007.002	7							
Kochkessel 40l			14	11,2	3	4	1	1	09:00 - 14:00
	16.007.003	7							
Kochkessel 4			14	11,2	3	4	1	1	09:00 - 14:00
	16.007.004	7							
Kochkessel 5			14	11,2	3	4	1	1	09:00 - 14:00
	16.008.001	8							
6-Plattenherd			15	12	3	4	1	1	09:00 - 14:00
	16.008.002	8							
Kippbratpfannen			28	0	8 (999)	4	1	1	09:00 - 14:00
	16.008.003	8							
Kombidämpfer 1			61	0	8 (999)	3	2	1	09:00 - 14:00
	16.008.004	8							
Geschirrsp. 1			52	0	8 (999)	2	3	1	09:00 - 14:00
	16.009.001	9							
Tellerwärmer			7	5,6	3	4	1	1	09:00 - 14:00
	16.009.002	9							
Kombidämpfer 2			30	0	8 (999)	3	2	0	09:00 - 14:00
	16.009.003	9							
Geschirrsp. 2			36	0	8 (999)	4	1	1	09:00 - 14:00
	16.009.004	9							

Liegenschaft: Staatsoper

ID: 18

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten
									(Tag, Woche, Jahreszeiten)
Div. Umwälzpumpen (15stk. A 400W)	18001001-18.001.015	1	6,00	4,80	1 bis 3	3,00	3,00	1,00	07:30-23:00 Kleiner 15°C
Kältemaschinen (4stk a 50KW)	18.002.001-18.002.004	2	200,00	160,00	5 bis 8	5/6/7/8	4/5/6/7	8/9/10/11	07:30-23:00 ab 15 x2, 20x2
Kältepumpen (4stk a 5KW)	18.002.005-18.002.008	2	20,00	16,00	5 bis 8	5/6/7/8	4/5/6/7	8/9/10/11	07:30-23:00 ab 15 x2, 20x2
Rückkühlwerk (24stk Lüfter a 0,67/0,33kW)	18.003.001-18.003.004	3	16,00	12,80	5 bis 8	5/6/7/8	4/5/6/7	8/9/10/11	07:30-23:00 ab 15 x2, 20x2 6 Lüfter für ein Kühlwerk
Kochfeld	18.004.001	4	21,00	15,12	7,00	1,00	1,00	1,00	07:00-15:00
Kippbrat	18.004.002	4	20,00	14,40	7,00	1,00	1,00	1,00	07:00-15:00
Kochkessel	18.004.003	4	11,40	8,21	8,00	1,00	1,00	1,00	07:00-15:00

Anhang

Konvektomat	18.004.004	4	19,00	13,68	8,00	1,00	1,00	1,00	07:00-15:00
B1 Probebühne Ab/Zuluft	18.005.001/002	5	9,60	6,14	1,00	4,00	6,00	2,00	07:30-23:00
B2 Aufbauraum Ab/Zuluft	18.005.003/004	5	7,40	4,74	2,00	5,00	7,00	2,00	07:30-23:00
B3 Probebühne Ab/Zuluft	18.006.001/002	6	3,55	2,27	3,00	4,00	6,00	2,00	07:30-23:00
B4 Probebühne Ab/Zuluft	18.006.003/004	6	3,35	2,14	4,00	8,00	12,00	4,00	07:30-23:00
B5 Probenraum/Foyer Zuluft	18.007.001	7	5,80	3,71	2,00	4,00	6,00	2,00	07:30-23:00
B5 Probenraum/Foyer Abluft	18.007.002	7	3,70	2,37	2,00	4,00	6,00	2,00	07:30-23:00
B6 Chorsaal, Probenraum Ab/Zuluft	18.007.001/002	8	12,50	2,50	5,00	3,00	5,00	1,00	07:30-23:00
B7 Ballettsaal Ab/Zuluft	18.007.003/004	8	6,80	1,36	6,00	6,00	8,00	3,00	07:30-23:00
B8 Werkstätten Zuluft	18.008.001	9	11,00	2,75	3,00	3,00	5,00	1,00	07:30-23:00
B8 Werkstätten Abluft	18.008.002	9	3,00	2,40	3,00	3,00	5,00	1,00	07:30-23:00
B9 Lager Div. Ab/Zuluft	18.008.003/004	9	10,60	8,48	2,00	6,00	10,00	4,00	07:30-23:00
B10 Tagesmanagement Ab/Zuluft	18009001/002	10	3,55	2,84	1,00	4,00	6,00	2,00	07:30-23:00
B11 Lager Ab/Zuluft	18009003/004	10	6,40	5,12	4,00	5,00	8,00	1,00	07:30-23:00
B14 Küche Zuluft	18.010.001	11	5,30	3,39	1,00	7,00	9,00	2,00	07:30-23:00
B14 Küche Abluft	18.010.002	11	3,70	2,37	1,00	7,00	9,00	2,00	07:30-23:00
B15 WC/Umkleiden	18.010.003	11	5,30	4,24	5,00	4,00	6,00	2,00	07:30-23:00
Abluft Zuschauer (6stk. Ventilatoren a 1,5kW)	18.010.004	11	9,00	5,76	6,00	4,00	6,00	2,00	07:30-23:00
Zuluft Zuschauer	18.010.005	11	22,50	14,40	6,00	4,00	6,00	2,00	07:30-23:00

Liegenschaft: Berufschulzentrum Bergedorf

ID: 20

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten
									(Tag, Woche, Jahreszeiten)
E-Herd	20.007.002	7	2,6	1,872	7	3	1	1	8 – 11.30h
Kombidämpfer	20.007.004	7	5,4	3,888	8	6	1	1	8 – 11.30h
Kühltheke 1	20.008.001	8	1,3	0,2925	3	3	1	1	0 – 24h
Kühltheke 2	20.008.002	8	1,3	0,2925	3	3	1	1	0 – 24h
Kühltheke 3	20.008.003	8	1,3	0,2925	3	3	1	1	0 – 24h
Kühltheke 4	20.008.004	8	1,3	0,2925	3	3	1	1	0 – 24h
Kochkessel 1	20.009.001	9	17	12,24	5	1	1	1	8 – 11.30h
Kochkessel 2	20.009.002	9	17	12,24	6	1	1	1	8 – 11.30h
E-Herd 1	20.009.003	9	22	15,84	7	1	1	1	8 – 11.30h
E-Herd 2	20.009.004	9	16	11,52	8	1	1	1	8 – 11.30h
Backschrank	20.010.001	10	10	7,2	7	4	1	1	5 – 8.30 je nach Stundenplan
Kühlraum (Plus- und Minuskühlung)	20.010.002	10	11,8	2,655	5	3	1	1	0 – 24h
E-Herd mit Backofen, 9 Stk	20.011.001	11	18	12,96	6	1	1	1	8 – 11.30h

Anhang

E-Herd groß	20.011.002	11	11,5	8,28	8	2	1	1	8 – 11.30h
E-Herd	20.012.001	12	6,5	4,68	7	1	1	1	8 – 11.30h
Kombidämpfer	20.012.002	12	9,4	6,768	8	6	1	1	8 – 11.30h
Küche Abluft	20.015.001	15	10,9	8,72	4	11	4	3	6.30 – 16h, bei Bedarf bis 17h
Küche Zuluft	20.015.002	15	12,8	10,24	4	11	4	3	6.30 – 16h/17h
Pausenhalle Abluft	20.016.001	16	2,6	2,08	1	9	6	3	6.30 – 16h/17h
Pausenhalle Zuluft	20.016.002	16	3,7	2,96	1	9	6	3	6.30 – 16h/17h
Lüftung Wäscherei	20.018.001	18	2,9	2,32	5	11	4	3	6.30 – 16h/17h
Umkleideräume Abluft	20.019.001	19	2,9	2,32	2	10	5	3	6.30 – 16h/17h
Umkleideräume Zuluft	20.019.002	19	3,8	3,04	2	10	5	3	6.30 – 16h/17h
Textil Abluft	20.023.001	23	3,9	3,12	3	9	6	3	6.30 – 16h/17h
Textil Zuluft	20.023.002	23	4,9	3,92	3	9	6	3	6.30 – 16h/17h
Lüftung Musik	20.024.001	24	0,9	0,72	1	7	5	3	6.30 – 16h/17h
Lüftung Nebenräume	20.024.002	24	1,7	1,36	1	7	5	3	6.30 – 16h/17h

Liegenschaft: Gesamtschule Steilshoop

ID:

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Garderobe Zuluft	21.001.001	1	7,5	6	2	4	6	2	7 – 17h
Garderobe Abluft	21.001.002	1	5,5	4,4	2	5	7	3	7 – 17h
Sozialräume Zuluft	21.001.003	1	15	12	3	4	6	2	7 – 17h
Sozialräume Abluft	21.001.004	1	11	8,8	3	5	7	3	7 – 17h
Essen Zuluft	21.002.001	2	5,5	4,4	3	6	8	2	7 – 17h
Essen Abluft	21.002.002	2	4	3,2	3	3	5	2	7 – 17h
Pausenhalle Zuluft	21.002.003	2	7,5	6	2	3	5	2	7 – 14h
Pausenhalle Abluft	21.002.004	2	5,5	4,4	2	5	7	3	7 – 14h
Küche	21.003.001	3	9	7,2	6	2	4	2	7 – 14h
Uml. Sporth. SW	21.004.001	4	7,5	6	1	4	6	2	7 – 22h
Uml. Sporth. Mitte	21.004.002	4	7,5	6	1	5	7	3	7 – 22h
Umluft Sporth. SO	21.004.003	4	7,5	6	1	6	8	3	7 – 22h
Umluft Gymn.halle	21.004.004	4	7,5	6	1	3	6	2	7 – 22h
Zuluft Sozialräume	21.005.001	5	5,5	4,4	1	5	5	3	7 – 22h
Zul. Regio.-sporth.	21.005.002	5	18,5	14,8	6	8	5	3	7 – 22h
Abluft Regionalsporthalle	21.005.003	5	15	12	6	8	5	3	7 – 22h

Liegenschaft: See Hydro**ID: 22**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Kältekompressor Kantine	22.001.001	1	15	12	7	2	5	1	Mo-Fr. 7-17:00, T>20°C
Vario Streamer 1	22.001.001	1	15	9,6	5	1	2	0,5	Mo-Fr. 7-17:00 Wahrsch 0,8
Vario Streamer 2	22.001.001	1	15	9,6	6	1	2	0,5	Mo-Fr. 7-17:00 Wahrsch 0,8
Kombidämpfer Rational 1	22.001.001	1	18,4	11,776	5	1	1	0,5	Mo-Fr. 7-17:00 Wahrsch 0,8
Kombidämpfer Rational 2	22.002.001	2	18,4	11,776	6	1	1	0,5	Mo-Fr. 7-17:00 Wahrsch 0,8
Fritteuse	22.002.002	2	12	7,68	8	1	2	0,5	Mo-Fr. 7-17:00 Wahrsch 0,8
Warmhaltegeräte, insgesamt 8 Stück	22.003.001	3	2	1,6	5	1	5	0,5	Mo-Fr. 7-17:00 Wahrsch 0,8
Abluft Küche	22.004.001	4	11	8,8	4	2	3	1	07-17:00
Zuluft Küche	22.004.002	4	7	5,6	4	2	5	1	07-17:00
Abluft Speisesaal	22.005.001	5	2	1,6	2	2	4	1	07-17:00
Abluft Cafeteria	22.004.003	4	2	1,6	1	2	5	1	07-17:00
Zuluft Cafeteria	22.004.003	4	2	1,6	1	2	6	1	07-17:00
WILO Pumpe für RZ 1	22.006.001	6	5,5	4,4	3	5	8	4	0-24:00
WILO Pumpe für RZ 2	22.006.002	6	5,5	4,4	3	5	8	4	0-24:00
WILO Pumpe für RZ 3	22.006.003	6	5,5	4,4	2	10	7	4	0-24:00, T>25
WILO Pumpe für RZ 4	22.006.004	6	5,5	4,4	2	10	7	4	0-24:0 T >25
Lüftung Rechenzentrum	22.007.001	7	50	40	3	10	7	4	0-24:00
Kälte Rechenzentrum 1	22.003.001	7	64	51,2	3	5	8	4	0-24:00
Kälte RZ 2	22.007.002	7	64	51,2	3	5	8	4	0-24:01
Kälte Rechenzentrum 3	22.003.001	7	40	32	2	10	7	4	0-24:00 T> 25
Kälte RZ 4	22.003.001	7	40	32	2	10	7	4	0-24:00 T> 26

Liegenschaft: Angewandte Physik**ID: 23**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	(Tag, Woche, Jahreszeiten)
Kälteanlage Geb. 11 B+C	23.001.001	1	37	29,6	5	5	10	3	7 – 17h; T> 20°C
Kompressor Druckluft	23.001.002	1	17,3	3,46	3	7,5	7,5	3	7 – 17h Wahrscheinlichkeit 0,25
Kompressor Heliumbereitung	23.001.003	1	24	19,2	4	7,5	7,5	3	7 – 17h
Kompressor Heliumbereitung	23.002.001	2	18,5	14,8	2	7,5	7,5	3	7 – 17h
Kompressor Heliumbereitung	23.002.002	2	15	12	1	7,5	7,5	3	7 – 17h

Liegenschaft: BSU**ID: 27**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung kW	tat. Leistung kW	Prio	min. Laufzeit min	max. Auszeit min	Min. Auszeit min	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
Kältekompressor	27.001.001	1	4,1	3,28	7	5	8	4	Mo-Fr. 6-18 T>15
Kältekompressor	27.001.002	1	4,1	3,28	8	5	8	4	Mo-Fr. 6-18 T>15
Kältekompressor	27.001.003	1	4,1	3,28	7	6	9	4	Mo-Fr. 6-18 T>15
Lüft. Kopierer	27.002.001	2	4,6	3,68	1	4	6	2	Mo-Fr. 6-18
Lüft. Kopierer	27.002.002	2	3,9	3,12	1	4	6	2	Mo-Fr. 6-18
Lüftung Küche Zuluft	27.003.001	3	4,3	3,44	5	4	6	2	Mo-Fr. 6-18 3 Stufen 1,4 / 2,3 / 6,6
Lüftung Küche Abluft	27.003.002	3	4,3	3,44	5	4	6	2	Mo-Fr. 6-18 1,4 / 2,3 /
Kombidämpfer klein	27.004.001	4	10	6,40	7	2	1	1	Mo-Fr. 6-13
Kombidämpfer mittel	27.004.002	4	19	12,16	7	2	1	1	Mo-Fr. 6-13
Kippbratpfanne 3	27.001.018	4	14,4	9,22	5	2	1	1	Mo-Fr. 6-13
Kombidämpfer groß	27.005.001	5	38	24,32	7	2	1	1	Mo-Fr. 6-13
Wärmewagen 1	27.005.002	5	2,3	1,47	1	1	2	1	Mo-Fr. 6-13
Wärmewagen 2	27.005.003	5	2,3	1,47	2	1	2	1	Mo-Fr. 6-13
Wärmewagen 5	27.005.004	5	2,3	1,47	3	1	2	1	Mo-Fr. 6-13
Wärmewagen 3	27.006.001	6	2,3	1,47	1	1	2	1	Mo-Fr. 6-13
Wärmewagen 4	27.006.002	6	2,3	1,47	2	1	2	1	Mo-Fr. 6-13
Tellerwagen 1	27.006.003	6	0,9	0,58	1	1	5	1	Mo-Fr. 6-13
Tellerwagen 4	27.006.004	6	0,9	0,58	2	1	5	1	Mo-Fr. 6-13
Friteuse 2	27.007.001	7	10	6,40	8	3	1	1	Mo-Fr. 6-13
Tellerwagen 2	27.007.002	7	0,9	0,58	1	1	5	1	Mo-Fr. 6-13
Tellerwagen 3	27.007.003	7	0,9	0,58	2	1	5	1	Mo-Fr. 6-13
Mellita	27.007.004	7	9,5	6,08	2	3	2	1	Mo-Fr. 6-13
E-Herd	27.008.001	8	19,4	12,42	5	2	1	1	Mo-Fr. 6-13
Friteuse 1	27.008.002	8	10	6,40	8	3	1	1	Mo-Fr. 6-13
Kippbratpfanne 1	27.009.001	9	14,4	9,22	4	2	1	1	Mo-Fr. 6-13
Kippbratpfanne 2	27.009.002	9	14,4	9,22	5	2	1	1	Mo-Fr. 6-13
Kältekompressor	27.010.001	10	4,1	1,64	7	10	7	4	Mo-Fr. 6-18
Kältekompressor	27.010.002	10	4,1	1,64	7	10	7	4	Mo-Fr. 6-18
Kältekompressor	27.010.003	10	4,1	1,64	8	10	7	4	Mo-Fr. 6-18
Kältekompressor	27.010.004	10	4,1	1,64	8	10	7	4	Mo-Fr. 6-18
Kältekompressor	27.011.001	11	2	0,8	8	10	7	4	Mo-Fr. 6-18
Kältekompressor	27.012.001	12	8	6,4	4	5	8	4	Mo-Fr. 6-18
Kältekompressor	2.701.202	12	8	6,4	4	5	8	4	Mo-Fr. 6-18
Lüftung Keller	27.013.001	13	1,1	0,88	1	2	10	1	Mo-Fr. 6-18
Lüftung großer Saal	27.013.002	13	4	3,2	1	2	9	1	Mo-Fr. 6-18
Lüftung kleiner Saal	27.013.003	13	4	3,2	1	2	8	1	Mo-Fr. 6-18
Lüftung Senatorin	27.013.004	13	4	3,2	1	2	7	1	Mo-Fr. 6-18

Liegenschaft: Experimental Physik**ID: 28**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Klimagerät f. Labore	28.001.001	1	8,27	6,616	5	5	8	4	Läuft durch, T> 15°C
Klimagerät f. Erdgeschoss	28.002.002	2	5,18	4,144	1	6	9	3	Täglich durchlaufend, T >20
Kompressor Druckluft Werkstatt	28.003.001	3	10,5	2,1	7	10	5	3	Nach Bedarf, Wahrsch 0,25
Kälteanlage (Kompressor)	28.004.001	4	1,47	1,176	2	9	6	3	T >20°C
Lüftermotor Ab DUHM und UKE	28.004.002	4	4	3,2	1	4	6	2	24
Lüftermotor Zu DUHM und UKE	28.004.003	4	0,75	0,6	1	4	6	2	24
Nacherhitzer Lüftung	28.004.004	4	22,67	18,136	3	4	6	2	T < 15°C, 5 -17 Uhr
Kaltwasserpumpe	28.005.001	5	2,2	1,76	5	5	8	4	T > 20°C
Kompressor Druckluft UKE u. Werkstatt	28.005.002	5	14,72	2,944	7	10	5	3	Nach Bedarf Wahrsch 0,25
Lüftermotor Zu Kontrollraum UKE	28.005.003	5	0,75	0,6	3	9	6	3	6.00-17.00
Lüftermotor Ab Kontrollraum UKE	28.005.004	5	0,55	0,44	3	9	6	3	6.00-17.00
Lüftermotor Ab Gleichrichterraum	28.006.001	6	1,1	0,88	1	6	6	2	6.00-17.00
Lüftermotor Zu Gleichrichterraum	28.006.002	6	2,2	1,76	1	6	6	2	6.00-17.00
Trockner f. Kompressor	28.006.003	6	0,46	0,368	2	5	10	3	Ständig
Lüftermotor Zu Techn. Räume	28.006.004	6	3	2,4	3	4	6	2	5.00-17.00
Lüftermotor Ab Techn. Räume	28.007.001	7	0,75	0,6	3	4	6	2	5.00-17.00
Lüftermotor Zu Umkl. Räume	28.007.002	7	1,5	1,2	1	3	7	2	5.00-17.00
Lüftermotor Ab Umkl. Räume	28.007.003	7	0,75	0,6	1	3	7	2	5.00-17.00
Lüftermotor Zu Mediz. Räume	28.008.001	8	3	2,4	5	9	6	3	5.00-17.00
Lüftermotor Ab Mediz. Räume	28.008.002	8	2,2	1,76	5	9	6	3	5.00-17.00
Kälteanlage (Kompressor)	28.008.003	8	8,9	7,12	2	5	8	4	Nach Bedarf T >20°C
Klimagerät f. Labore	28.009.001	9	0,37	0,296	6	11	4	3	T >15°C

Liegenschaft: Uni Stellingen**ID: 31**

Beschreibung	Verbraucher ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Küchengeräte	31.001.001	1	30	19,2	1	3	2	1	7 – 15h, Wahrscheinlichkeit 0,8
Küchengeräte	31.001.002	1	24	15,36	2	3	2	1	7 – 15h, Wahrscheinlichkeit 0,8
Lüftermotoren	31.002.001	2	30	24	1	5	10	2	24h
Küchengeräte	31.002.002	2	12	7,68	3	3	1	1	7 – 15h, Wahrscheinlichkeit 0,8
Pumpstation	31.003.001	3	70	44,8	1	5	10	1	24
Küchengeräte	31.003.002	3	18	11,52	4	3	1	1	7 – 15h, Wahrscheinlichkeit 0,8
Küchengeräte	31.004.001	4	18	11,52	3	3	1	1	7 – 15h, Wahrscheinlichkeit 0,8
Kälteanlage	31.004.002	4	28	22,4	4	5	10	1	24h (Serverkühlung)

Liegenschaft: Musikhalle**ID: 33**

Beschreibung	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
		<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Abluft 1	1	5	4	1	2	5	3	7.30 -13 und 18 - 22.30
Abluft 2	1	5	4	2	4	6	2	7.30 -13 und 18 - 22.30
Abluft 3	1	5	4	3	2	5	3	7.30 -13 und 18 - 22.30
Abluft 4	1	5	4	4	4	6	2	7.30 -13 und 18 - 22.30
Abluft 5	2	5	4	5	2	5	3	7.30 -13 und 18 - 22.30
Abluft 6	2	5	4	6	2	5	3	7.30 -13 und 18 - 22.30
Wäscherpumpe 1	2	3	2,4	1	1	4	1	7.30 -13 und 18 - 22.30
Wäscherpumpe 2	2	3	2,4	2	1	4	1	7.30 -13 und 18 - 22.30
Wäscherpumpe 3	3	3	2,4	3	1	4	1	7.30 -13 und 18 - 22.30
Wäscherpumpe 4	3	3	2,4	4	1	4	1	7.30 -13 und 18 - 22.30
Kältepumpe 1	3	5,5	4,4	5	1	5	3	7.30 -13 und 18 - 22.30 T>10°C
Kältepumpe 2	3	5,5	4,4	6	1	5	3	7.30 -13 und 18 - 22.30 T>15°C
Kältekompressor	4	230	184	3	3	5	3	7.30 -13 und 18 - 22.30 T<10°C
Zuluft Kleiner Saal	6	9	7,2	3	2	5	3	18 -22.30
Abluft kleiner Saal	6	9	7,2	3	4	6	2	18 -22.30

Liegenschaft: Pflanzen und Blumen**ID: 44**

Beschreibung	Verbraucher-ID	Unterstation	Nennleistung	tat. Leistung	Prio	min. Laufzeit	max. Auszeit	Min. Auszeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
			<i>kW</i>	<i>kW</i>		<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	
Kälte Eisbahn	44.001.001	1	70	56	1	7	8	1	24h T> 0°C
Kälte Eisbahn	44.001.002	1	70	56	2	8	7	1	24h T> 5°C
Kälte Eisbahn	44.001.003	1	70	56	3	8	7	1	24h T> 10°C

Liegenschaft: Elbtunnel**ID: 3**

Beschreibung	Unterstation V ID	Nennleistung	Nennleistung	Nennleistung	Nennleistung	Prio	min. Auszeit	max. Laufzeit	min. Laufzeit	Betriebszeiten (Tag, Woche, Jahreszeiten)
		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4					
Zuluft West 0	1	19	80			8 7	3	1444	10 5	24h
Zuluft West 1	2	12	60	200		8 7 6	3	1444	10 3 3	24h
Zuluft West 2	3	10	50	160		8 7 3	3	1444	10 5 3	24h
Zuluft West 3	4	10	50	160		8 7 5	3	1444	10 5 2	24h
Zuluft West 4	5	12	60	200		8 7 6	3	1444	10 5 2	24h
Abluft West 0	6	9	45			8 7	3	1444	10 3	24h
Abluft West 12	7	10	50	160		8 7 6	3	1444	10 4 2	24h
Abluft West 34	8	14	80	250		8 7 1	3	1444	10 5 2	24h
Zuluft Mitte 0	9	9	45			6 5	3	1444	10 3	24h
Zuluft Mitte 1	10	14	80	250		8 5 1	3	1444	10 5 1	24h
Zuluft Mitte 2	11	12	60	200		8 7 5	3	1444	10 5 2	24h
Zuluft Mitte 3	12	15	90	320		7 4 2	3	1444	10 4 2	24h
Zuluft Mitte 4a	13	10	50	160		6 5 3	3	1444	10 5 2	24h
Zuluft Mitte 4b	14	10	50	160		6 3 2	3	1444	10 3 1	24h
Abluft Mitte 0	15	9	45			8 5	3	1444	10 5	24h
Abluft Mitte 12a	16	20	115	400		8 6 1	3	1444	10 7 5	24h
Abluft Mitte 12b	17	20	115	400		8 7 3	3	1444	10 5 2	24h
Abluft Mitte 34a	18	12	60	200		7 4 2	3	1444	10 6 5	24h
Abluft Mitte 34b	19	12	60	200		6 5 4	3	1444	10 8 4	24h
Zuluft Ost 1	20	55	320			4 1	3	1444	10 2	24h
Zuluft Ost 2	21	37	250			5 2	3	1444	10 5	24h
Zuluft Ost 3	22	75	400			6 3	3	1444	10 1	24h

Zuluft Ost 4a	23	10	50	160		8 6 5	3	1444	10 2 2	24h
Zuluft Ost 4b	24	10	50	160		7 4 1	3	1444	10 4 3	24h
Abluft Ost 0	25	37				8	3	1444	10	24h
Abluft Ost 12a	26	30	132	400		7 6 5	3	1444	10 7 5	24h
Abluft Ost 12b	27	30	132	400		4 3 2	3	1444	10 2 1	24h
Abluft Ost 34a	28	55	320			5 4	3	1444	10 5	24h
Abluft Ost 34b	29	55	320			7 6	3	1444	10 5	24h
Strahllüfter 1	30	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 2	31	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 3	32	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 4	33	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 5	34	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 6	35	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 7	36	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 8	37	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 9	38	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 10	39	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 11	40	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 12	41	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 13	42	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 14	43	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 15	44	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h
Strahllüfter 16	45	30	60	90	120	8 3 2 1	3	1444	10	24h

8.2 MATLAB Programme & Funktion

- **Funktion „get_matrix.m“**

```
function out=get_matrix(in)
% Bestimmen die Größe der Eingangsdaten
len=length(in);
% Erzeugen einer Matrix in der Größe Unterstation, Priorität
x=zeros(len-1,len);

for i=2:2:len-2
    if in(i)>100
        % Bestimmen der Unterstation
        a=floor(in(i)/100);
        % Bestimmen der Priorität
```

```
b=mod(in(i),100);
% Ab- oder Zuschaltarbeit in das Matrix feld
% Unterstation, Priorität einfügen und den vorhanden Wert
% aufaddieren
x(a,b)=in(i-1)+x(a,b);
end
end
% Ausgabe der Matrix
out=x;
return;
```

- **Funktion: „estimate.m“ (Trendberechnung)**

```
function out=estimate(in)
%disp(sprintf('\n***** start ***** '));
% Aktuelle Leistung einlesen
power_minute=in(1);
% Aktuelle Minute des Tages einlesen
time=in(2);
% Einlesen der Summe der alten Arbeitswerte aus der gleaufenden
% Viertelstunde
work_minute_old=in(3);
% Bestimmen der Minute aus die Viertestunde
minute=mod(time,15);
%disp(sprintf('current minuter is %d',time));
%disp(sprintf('current power is %d',power_minute));
% Die aktuelle Leistung umrechnen in Arbeit für diese minute
work_minute=power_minute*(1/60);
% Summe der geleisteten Arbeit bilden
work_minute=work_minute+work_minute_old;
if minute==0
    work_minute=work_minute-work_minute_old;
end
%disp(sprintf('current work is %f',work_minute));
%disp(sprintf('work for last minute is %f',work_minute_old));
% Abfrage ob die Viertelstunde zu Ende ist
if minute==0
    % wenn ja, dann ist die Summe der geleisteten Arbeit gleich der
    % erreichte Viertelstunden wert
    power_actual=work_minute;
else
    % wenn nein, mus die Differenz zwischen der alten Gesamarbeit und
    % der bis dahin geleisteten Arbeit gebildet werden

    power_actual=work_minute-work_minute_old;% because t=1 min, power_actual is equal to the
difference of work
end
out=zeros(2,1);
% Viertelstunden Trendarbeit ausgeben
out(1)=(14-minute)*power_actual+work_minute;
%disp(sprintf('work estimate for the 15 minute is %d ',out(1)));
% Ausgeben der bis dahingeleistete Gesamarbeit

out(2)=work_minute;
return;
```

- **Funktion „Abschaltbox.m“**

Anhang

```
% Name: Petrit Vuthi
% Programmbeschreibung:
% Dieses Programm soll die Verbraucher abschalten um die Lastgrenze zu
% senken.

function out = Abschaltbox(in)

% Einlesen der benötigten Abschaltarbeit
Var_Abschaltarbeit = in(1);
% Anzahl der Unterstationen einlesen

Var_Unterstation = in(2);
% Anzahl der Prioritäten

Var_Prio = in(3);
% Einlesen der Abschaltarbeit aufgeteilt nach Unterstation x Prio

% Erzeugen einer Null Matrix Unterstation x Prio
Mat_Arbeit = zeros(Var_Unterstation,Var_Prio);
%zaheler = 4; % Ab dem vierten Eingang stehen die Werte zum einlesen
%Mat_Schaltmatrix_string = zeros(1,Var_Unterstation*Var_Prio);
%for j=1:Var_Unterstation*Var_Prio
% Mat_Arbeit(j)=in(j+3);
%end
Mat_Arbeit(1:Var_Unterstation*Var_Prio)=in(4:Var_Unterstation*Var_Prio+3);
%--- Einlesen der Eingangsdaten beendet -----
% Variabel für die Berechnung der Aktivierten Zuschaltarbeit

Var_Arbeit = 0;
% Erzeugen der Schaltmatrix um die Verbraucher anzusteuern

Mat_Schaltmatrix = zeros(Var_Unterstation,Var_Prio);
for Prio = 1:1:Var_Prio
for Unterstation = 1:1:Var_Unterstation
if (Var_Arbeit < Var_Abschaltarbeit) && (Mat_Arbeit(Unterstation,Prio) ~= 0)
Var_Arbeit = Var_Arbeit + Mat_Arbeit(Unterstation,Prio);
Mat_Schaltmatrix(Unterstation,Prio) = 0;
else
Mat_Schaltmatrix(Unterstation,Prio) = 1;
end %if Var_Arbeit < Var_Abschaltarbeit
end %for Unterstation = 1:1:Var_Unterstation
end %Prio = 1:1:Var_Prio

%--- Berechnung der Zuschaltlast beendet -----
Mat_Schaltmatrix = Mat_Schaltmatrix';
%Mat_Schaltmatrix_string = Mat_Schaltmatrix;
out=ones(1,Var_Unterstation*Var_Prio);
%for zaehler = 1:1:Var_Unterstation*Var_Prio
% out(zaehler) = Mat_Schaltmatrix(zaehler);
%end %for zaehler = 1:1:Var_Unterstation*Var_Prio
out (1:Var_Unterstation*Var_Prio) = Mat_Schaltmatrix(1:Var_Unterstation*Var_Prio);
clear Mat_Schaltmatrix;
clear Var_Arbeit;
clear Var_Unterstation;
clear zaheler;
clear Mat_Arbeit;
clear Var_Abschaltarbeit;
return
```

- **Funktion „Zuschaltbox.m“**

```
% Name: Petrit Vuthi
% Programmbeschreibung:
% Dieses Programm soll die Verbraucher zuschalten um die Lastgrenze wieder
% anzuheben.

function out = Zuschaltbox(in)

% Einlesen der benötigten Zuschaltarbeit
  Var_Zuschaltarbeit = in(1);
% Anzahl der Unterstationen einlesen

  Var_Unterstation = in(2);
% Anzahl der Prioritäten

  Var_Prio = in(3);
% Einlesen der Zuschaltarbeit aufgeteilt nach Unterstation x Prio

  % Erzeugen einer Null Matrix Unterstation x Prio
  Mat_Arbeit = zeros(Var_Unterstation,Var_Prio);
  Mat_Arbeit(1:Var_Unterstation*Var_Prio)=in(4:Var_Unterstation*Var_Prio+3);
  %zaheler = 4; % Ab dem vierten Eingang stehen die Werte zum einlesen

  %for j=1:Var_Unterstation*Var_Prio
  %  Mat_Arbeit(j)=in(j+3);
  %end

%--- Einlesen der Eingangsdaten beendet -----
% Variabel für die Berechnung der Aktivierten Zuschaltarbeit

  Var_Arbeit = 0;
% Erzeugen der Schaltmatrix um die Verbraucher anzusteuern

  Mat_Schaltmatrix = zeros(Var_Unterstation,Var_Prio);
  for Prio = Var_Prio:-1:1
    for Unterstation = 1:1:Var_Unterstation
      if (Var_Arbeit < Var_Zuschaltarbeit) && (Mat_Arbeit(Unterstation,Prio) ~= 0)
        Var_Arbeit = Var_Arbeit + Mat_Arbeit(Unterstation,Prio);
        Mat_Schaltmatrix(Unterstation,Prio) = 1;
      else
        Mat_Schaltmatrix(Unterstation,Prio) = 0;
      end %if Var_Arbeit < Var_Zuschaltarbeit
    end %for Unterstation = 1:1:Var_Unterstation
  end %Prio = 1:1:Var_Prio

%--- Berechnung der Zuschaltlast beendet -----
  Mat_Schaltmatrix = Mat_Schaltmatrix';
  out=ones(1,Var_Unterstation*Var_Prio);
  out(1:Var_Unterstation*Var_Prio) = Mat_Schaltmatrix(1:Var_Unterstation*Var_Prio);
%for zaehler = 1:1:Var_Unterstation*Var_Prio
%  out(zaehler) = Mat_Schaltmatrix(zaehler);
%end %for zaehler = 1:1:Var_Unterstation*Var_Prio

clear Mat_Schaltmatrix;
clear Var_Arbeit;
clear Var_Unterstation;
clear zaehler;
clear Mat_Arbeit;
```

```
clear Var_Abschaltarbeit;
return
```

- **Funktion „Mittelwert_15min.m“**

```
function out=Mittelwertbildung_15min(in)

% Einlesen der Eingangswerte
Leistung_Aktuell = in(1);
Minute_Aktuell = in(2);
Leistung_Summe_Alt = in(3);
%-----
% Berechnung des Mittelwertes
if Minute_Aktuell == 0
    Leistungsmittelwert = (Leistung_Summe_Alt+Leistung_Aktuell) / 15;
    Leistung_Summe_Alt =0;
else
    Leistungsmittelwert = 0;
    Leistung_Summe_Alt = Leistung_Summe_Alt + Leistung_Aktuell;
end

% Ausgang definieren
out=zeros(2,1);
out(1) = Leistungsmittelwert;
out(2) = Leistung_Summe_Alt;

return;
```

- **Programm zur Fahrplanerzeugung**

```
% Programm zum generieren eines Fahrplans
%-----
% Programm beginn
%-----
% Alles aus dem aktuellen Speicher Löschen
clear;
% Pfad zum Auslesen der Prognosedaten
Pfad_Lastprognose = 'forecast20090604.csv';
% Pfad zum Auslesen der Aktuellen Lastverlauf
Pfad_Lastverlauf = 'history20090604.csv';
% Pfad zum Abspeichern der Lastoptimierung
Pfad_Abspeichern = '20000.mat';
Pfad_Abspeichern_Lastoptimierung = 'Summenlastgrenze.csv';
Pfad_Abspeichern_Elbtunnel='Elbtunnel.csv';
%-----
% Einlesen der Lastprognose,
% Lastprognose_num beinhaltet nur die Zahlenwerte
% Lastprognose_txt beinhaltet nur den Text
% Beide Werte stellen eine Matrix da.
Mat_Lastprognose = csvread(Pfad_Lastprognose);
Mat_Lastverlauf = csvread(Pfad_Lastverlauf);
% Bestimmen der Matrixgröße von Prognose und History
[Lastprognose_zeile,Lastprognose_spalte]=size(Mat_Lastprognose);
[Lastverlauf_zeile,Lastverlauf_spalte] = size(Mat_Lastverlauf);
% Bestimmen wieviel Minuten berücksichtigt werden soll
Max_Minute=Lastverlauf_zeile-1;
```

Anhang

```
% Berechnung der tatsächlichen Summenlast für jede Minute
Vec_Summe_Lastverlauf = sum(Mat_Lastverlauf(:,5:Lastverlauf_spalte));
% Berechnung der Summenlastprognose für jede Minute
Vec_Summe_Lastprognose = sum(Mat_Lastprognose(:,5:Lastprognose_spalte));
% Berechnung der Mittelwerte
n=1;
for Minute= 1:15:Max_Minute
    %Berechnung der Mittelwerte (Fahrplan)
    Vec_Mittelwert_Prognose(Minute:Minute+15)=mean(Vec_Summe_Lastprognose(Minute:Minute+15));
    %Berchnung des Standard-Toleranzband (+/-5% vom Fahrplan)
    Mat_Lastband(Minute:Minute+15,1)=Vec_Mittelwert_Prognose(Minute:Minute+15)*1.05;
    Mat_Lastband(Minute:Minute+15,2)=Vec_Mittelwert_Prognose(Minute:Minute+15)*0.95;
    %Bestimmen des Viertelstunden Mittelwertes
    Vec_Mittelwert_Lastverlauf(Minute:Minute+15)=mean(Vec_Summe_Lastverlauf(Minute:Minute+15));
    %Bestimmen des Viertelstunden Mittelwertes für den Elbtunnel
    Vec_Mittelwert_Elbtunnel(Minute:Minute+15)=mean(Mat_Lastverlauf(Minute:Minute+15,7));
    %Berechnung der Abweichung zwischen Fahrplan und tatsächlichen Mittelwert
    Vec_Fahrplanabweichung(n)= (Vec_Mittelwert_Lastverlauf(Minute)-
Vec_Mittelwert_Prognose(Minute))*100/Vec_Mittelwert_Prognose(Minute);
    n=n+1;
end

% Ausgabe: Summenlastverläufe
figure;
% Ausgabe tatsächlicher Summenlastverlauf
plot(Vec_Summe_Lastverlauf,'r');
% weitere Kurven in die selbe Ausgabe einfügen
hold on;
% Ausgabe der Summenlastprognose
plot(Vec_Summe_Lastprognose,'y');
% Ausgabe Fahrplan
plot(Vec_Mittelwert_Prognose,'black');
% Ausgabe Standard-Tolernazband
plot(Mat_Lastband(:,1),'m')
plot(Mat_Lastband(:,2),'g')
%keine weiteren Kurven in die selbe Ausgabe
hold off;
%Gitterlinien einschalten für die Ausgabe
grid on;
%Überschrift für die Ausgabe
title('Summenlastverläufe')
%Beschriftung x-Achse
xlabel('Intervall');
%Beschrfitung y-Achse
ylabel('Last in kW');
%Beschriftung der Legende
legend('Summenlastverlauf','Summenlastprognose','Summenlastfahrplan','Summenlastgrenze
oben','Summenlastgrenze unten');
%-----
%Neue Ausgabe: Fahrplanabweichung
figure
% Ausgabe der Fahrplanabweichung in einem Balkendiagramm
bar(Vec_Fahrplanabweichung);
%Überschrift für die Ausgabe
x(1:100)=5;
hold on
plot(x,'r');
plot(-x,'r');
hold off
title('Fahrplanabweichung der Viertelstunde in %');
```

```
% Beschriftung x-Achse
xlabel('Viertelstunden-Intervall');
% Beschriftung y-Achse
ylabel('%')
% Gitterlinien einschalten für die Ausgabe
grid on;
% Beschriftung der Legende
legend('Abweichung %(Fahrplan-historisch)', 'Toleranzband 5%');
%-----
% Abspeicherung des Summenfahrplans
% csvwrite(Pfad_Abspeichern_Lastoptimierung, Vec_Mittelwert_Prognose);
% Abspeicherung des Fahrplans für den Elbtunnel
% csvwrite(Pfad_Abspeichern_Elbtunnel, Vec_Mittelwert_Elbtunnel);
Elbtunnel = Vec_Mittelwert_Elbtunnel;
Summenlastgrenze = Vec_Mittelwert_Prognose;
Lastverlauf = Mat_Lastverlauf;
% Unter Pfad_Abspeichern muss der Dateiname eingetragen werden, dass
% MAT-File wird erzeugt.
save 2000.mat Elbtunnel Summenlastgrenze Lastverlauf;
% speicher freigeben
clear;
%-----
fprintf('Programm für die Lastoptimierung ist beendet\n');
% Programm Ende
```

9 ERKLÄRUNG

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen unter Angabe kenntlich gemacht.

Hamburg, 19.03.2010

Petrit Patrick Vuthi