

Endbericht des Modellvorhabens Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität Nr. 8

Nutzung des Stromspeichersystems zur Stabilisierung des Stromnetzes
Energiewirtschaftlichen Optimierung des Betriebes von Plusenergiehäusern
durch Vernetzung zu einem virtuellen Kraftwerk

Forschungsprogramm

Energie- und Klimafonds (EKF), Forschung und Untersuchungen im Rahmen des Energie- und Klimafonds, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Projektlaufzeit

20.10.2011 bis 15.12.2012

Aktenzeichen

SWD 10.08.81-11.5

im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

Dipl.-Ing. (FH) Tobias Langshausen, M. Sc. Markus Sinß, Transferstelle Bingen

Bericht zur

Energiewirtschaftlichen Optimierung des Betriebes von Plusenergiehäusern durch Vernetzung zu einem virtuellen Kraftwerk

Auftraggeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Projektnummer: 2190
Datum: 30.01.2014

Transferstelle Bingen • Berlinstr. 107a • 55411 Bingen • www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Tobias Langshausen
Tel: 06721 / 98424 - 261
Fax: 06721 / 98424 - 29
langshausen@tsb-energie.de

M. Sc. Markus Sinß
Tel: 06721 / 98424 - 275
Fax: 06721 / 98424 - 29
sinss@tsb-energie.de

im

Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH • Berlinstraße 107a • 55411 Bingen am Rhein

Inhaltsverzeichnis

Einleitung..... 3

1 Zielsetzung des Projektes 4

1.1 Vorgehensweise..... 4

2 Arbeitspaket 1 5

2.1 Zielsetzung Arbeitspaket 1 5

2.2 Beschreibung des Systems EC24 5

2.2.1 *Leitwarte* 6

2.2.2 *Leittechnik*..... 6

2.2.3 *Kommunikationsebene*..... 7

2.2.4 *Dezentrale Stromerzeuger bzw. –verbraucher für die Regelenergie*..... 9

2.3 Umsetzung Arbeitspaket 1 9

2.3.1 *Realisierung Ankopplung Erzeuger / Verbraucher im Plusenergiehaus*.....10

2.3.2 *Realisierung der Kommunikationsebene im Plusenergiehaus* 10

3 Arbeitspaket 212

3.1 Zielsetzung des Arbeitspaket 212

3.2 Umsetzung des AP 2.....12

3.2.1 *Definition der benötigten Informationen*.....12

3.2.2 *Übertragung und Speicherung der Daten*.....14

3.2.3 *Datenauswertung*15

3.2.3.1 *Energiebilanz*15

3.2.3.2 *Energiefluss*17

3.2.4 *Ansteuerung der Batterieanlage*.....18

4 Arbeitspaket 319

4.1 Vorgehensweise.....19

4.1.1 *Regelleistung (Minutenreserve)*.....19

4.1.2 *Spotmarkt Intradaymarkt*.....21

4.1.3 *Berechnung der Freiheitsgrade der Anlagen im Effizienzhaus Plus*.....22

4.2 Ergebnisse der Optimierung.....27

5 Arbeitspaket 430

5.1 Erlöspotenziale einer Vermarktung der Freiheitsgrade des Effizienzhaus Plus in Berlin30

6 Fazit / Ausblick32

Einleitung

Die Energiewirtschaft befindet sich im Wandel von einer zentralen Versorgung zu einer immer mehr dezentralen Erzeugung der Energie. Dies geschieht vor allem durch den Aufbau regenerativer Strom- und Wärmeerzeuger. Die regenerativen und oft fluktuierenden Stromerzeuger müssen jedoch in die Elektrizitätsnetze integriert werden. Notwendig hierfür ist der Aufbau von virtuellen Kraftwerken. Es wird hierbei neben den Stromnetzen eine kommunikative Ebene eingeführt. Hierbei können Netzengpässe oder Netzüberschüsse in Schaltbefehle für Verbraucher und Erzeuger elektrischer Energie umgewandelt werden. Dies bedeutet den Aufbau von bidirektionalen Kommunikationswegen zwischen Erzeuger und Verbraucher, welche die Möglichkeit zur Automatisierung und zentralen Steuerung des Netzes bieten, um Zeiten mit niedrigerer Stromproduktion bzw. Zeiten mit Überschussproduktion bewältigen zu können.

Dadurch entsteht eine neue Art der Energiewirtschaft mit einem wesentlich höheren Anteil regenerativer Energieerzeugung. Sie stellt vor allem die Verteilnetzbetreiber, d.h. die Stadtwerke und Regionalversorger vor viele neue Aufgaben. Sie wandeln sich vom reinen Stromverteiler zum regionalen bzw. lokalen Netzmanager. Der Ansatz der Integration von Batterien in Gebäuden wird deshalb von den Energieversorgern unterstützt. Diese Anlagen können aus zwei Blickwinkeln betrieben werden. Zum einen dienen sie einem Hausbesitzer, um beispielsweise den selbst erzeugten Strom einer Photovoltaikanlage auch während der Nacht im Gebäude zu nutzen. Zweitens kann diese Anlage aber auch aus dem Blickwinkel der Versorger zum Netzmanagement genutzt werden. Durch ihre Flexibilität können diese Aufgaben übernommen werden, was letztlich auch zusätzliche Wertschöpfungspotentiale für Batterien verursacht.

1 Zielsetzung des Projektes

Im Rahmen dieses Projektes wird eine Batterie des Plusenergiehauses des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung in ein virtuelles Kraftwerk integriert. Hierzu muss eine bidirektionale Kommunikation mit der Anlage erfolgen, so dass ihr Zustand und damit ihr möglicher elektrischer Leistungshub bestimmt werden kann. Die Anlage wird entsprechend ihrer Möglichkeiten zur Erbringung von Laständerungen im Sinne der Regelenergie angeregt. Damit ist die Batterie zur Erbringung von Systemdienstleistungen im Stromnetz vorbereitet, bzw. kann der Strom anderweitig vermarktet werden.

Mit den gewonnenen Erfahrungen aus der ersten Phasen des Projektes, bei der die Kommunikation realisiert wird und die Betriebsweise der Anlagen bewertet werden, wird ein mathematisches Modell zur Prognose des Verhaltens erstellt. Dieses Modell wird dann genutzt, um mögliche Laständerungen der Anlagen in den Bereich zu legen, bei welcher der Bedarf an Regelenergie im Netz am größten ist. Dies geschieht unter der Beachtung des wirtschaftlichen Gesamtoptimums. So wird der Eigenverbrauch des Gebäudes in diese Optimierung einbezogen.

Somit wird untersucht, ob auch mit Anlagen kleinerer Leistung, die zu einem virtuellen Kraftwerk verbunden werden, ein nennenswerter Beitrag zur Netzstabilität erreicht werden kann.

1.1 Vorgehensweise

Um die Projektziele zu erreichen wurden die Aufgaben in die nachfolgend aufgeführten 5 Arbeitspakete (AP) unterteilt:

- AP 1 Aufbau der Kommunikation, Integration in ein virtuelles Kraftwerk
- AP 2 Betrieb der Messtechnik, Auswertung von Laständerungen, Datensammlung
- AP 3 Entwicklung des energiewirtschaftlichen Optimierungsmodells
- AP 4 Technisches und betriebswirtschaftliche Potentialabschätzung
- AP 5 Dokumentation

2 Arbeitspaket 1

2.1 Zielsetzung Arbeitspaket 1

Die bei der Transferstelle Bingen vorhandene Technik des virtuellen Kraftwerks wird für den Aufbau genutzt. Die hierzu benötigte Steuersoftware EC24 ist vorhanden und wird zur Verfügung gestellt.

Die Anbindung an das EC24 wird auf der Softwareebene realisiert. Hierzu wird an das Gebäudeleitsystem / Energiemanagementsystem (EMS) angekoppelt, sodass die Daten der Batterie und der Energiebedarf des Gebäudes transparent werden. Die Kommunikation wird zur Zentrale des virtuellen Kraftwerks in Bingen konzipiert, mit den anderen Projektbeteiligten abgestimmt und aufgebaut.

2.2 Beschreibung des Systems EC24

Das System EC24 ist analog der Leittechnik in Kraftwerken oder der chemischen Industrie aufgebaut. Der Aufbau des Systems lässt sich grundsätzlich in die folgenden vier Ebenen aufteilen:

- Leitwarte
- Leittechnik
- Kommunikationsebene
- Dezentrale Erzeuger / Verbraucher

Die nachfolgende Abbildung zeigt die logische Verknüpfung inkl. der Kommunikation des virtuellen Kraftwerks vom Server zu den einzelnen Energieerzeugungsanlagen.

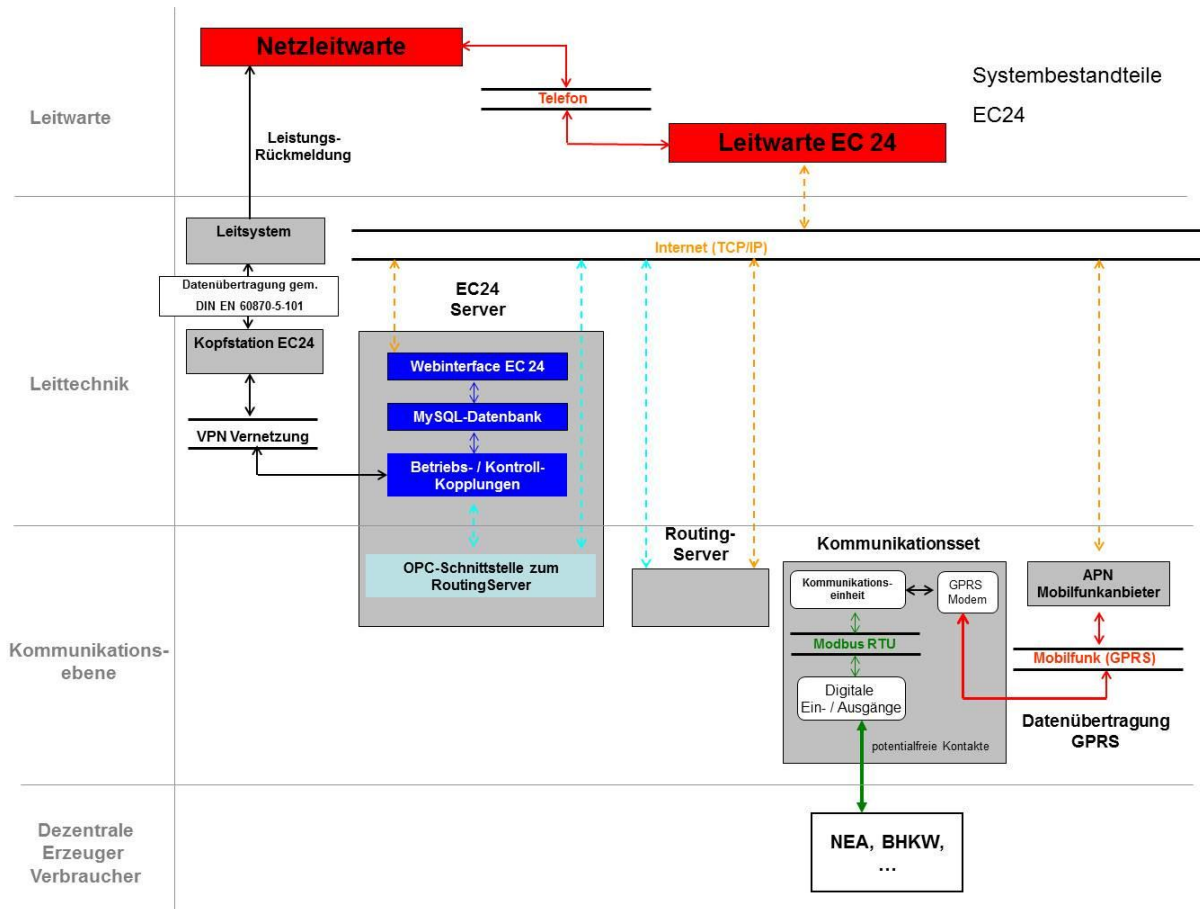


Abbildung 2-1: Bestandteile des Systems EC24

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Bestandteile beschrieben.

2.2.1 Leitwarte

Der operative Betrieb des Systems erfolgt durch eine Leitwarte. Diese überwacht das System und hält Kontakt zu allen Ansprechpartnern. Der Start und das Ende eines Aufrufs werden von der Leitwarte in die Wege geleitet.

2.2.2 Leittechnik

Die Software gliedert sich in verschiedene Bestandteile, die miteinander über definierte Schnittstellen kommunizieren. Die Speicherung von auswertbaren Leistungsdaten, sowie die Datenhaltung der Stammdaten werden in einer mySQL Datenbank durchgeführt. Die Steuerungssoftware kommuniziert mit dieser und prüft zyklisch Start- bzw. Stoppanforderungen, die automatisiert oder manuell generiert werden. Automatisiert oder per EC 24 Software

(C++ Anwendung) kann ein Pool-Aufruf generiert werden. Mittels eines in der Steuerungssoftware implementierten Algorithmus werden die im Pool vorhandenen und startbereiten Aggregate ausgesucht, die notwendig sind, um die Anforderung zu erfüllen. Diese werden daraufhin gestartet, gestoppt oder in ihrer Leistungserbringung angepasst. Über EC24 können auch einzelne Aggregate zum manuellen Starten, Stoppen oder Leistungsregelung außerhalb eines Poolaufrufs selektiert werden. Die Steuerungssoftware prüft zyklisch die Qualität der Verbindung auf Grundlage verschiedener Parameter und nimmt gegebenenfalls nicht erreichbare Aggregate aus dem Pool heraus und aktiviert in der Reserve befindliche Anlagen.

Ein Bestandteil der Steuerungssoftware stellt eine Kontroll-Instanz dar. Das Programm prüft zyklisch die Erreichbarkeit der Aggregate, sowie die Qualität der Kommunikation der Software-Komponenten untereinander in einstellbaren Zyklen.

Zustandsänderungen, wie Start, Stopp oder Leistungsänderung eines Aggregats, Aufruf bzw. Beendigung von Poolanforderungen, Kommunikationsstörungen und weitere werden an registrierte Benutzer des Systems mittels E-Mails und/oder SMS gesendet.

Zusätzlich werden bei Poolaufrufen und/oder Aktivierungen einzelner Aggregate Protokolle im PDF-Format bereitgestellt.

Ein weiterer Bestandteil der Steuerungssoftware ist die softwareseitige Kommunikationsschnittstelle zu dem Netzbetreiber. In einem definierbaren Takt fragt die Software über Netzwerk (TCP/IP) eine Fernwirkhardware ab. Über eine Protokollschnittstelle wird eine Pool-Anforderung oder Beendigung desselben dem Algorithmus mitgeteilt und die Resultate zurückgeschrieben. Das I/O-System ist mit dem System des Netzbetreibers verknüpft.

2.2.3 Kommunikationsebene

Der Hauptbestandteil der Kommunikationsebene ist das Kommunikationsset. Die zentrale Komponente im Kommunikationsset ist das Com.tom EC24. Diese Kommunikationseinheit hat digitale Ein- / Ausgänge sowie einen PWM Ausgang on board. Das PWM Signal wird über einen Messwertwandler in Form eines Normsignals 0(4)..20 mA / 0(2)..10 V ausgegeben. Über diese Ein- / Ausgänge werden Anforderung und Sollwert für as Aggregat gesendet und Meldungen sowie der entsprechende Wirkenergie-Impuls empfangen.

Die Interaktion mit dem Erzeuger ist über die direkte Verdrahtung der oben beschriebenen Ein- / Ausgänge mit der Regelung und der Wirkenergiezählung realisiert.

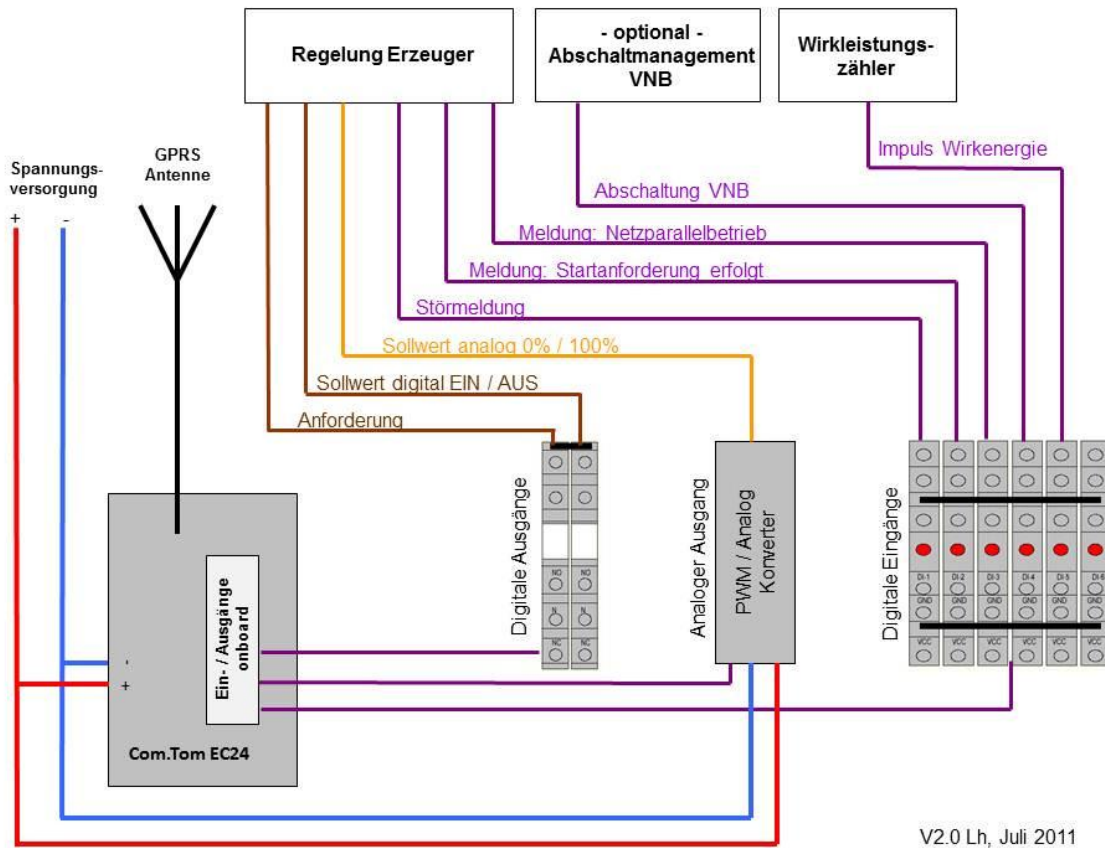


Abbildung 2-2: Kommunikationsset

Die Verbindung zum zentralen Routing Server erfolgt über GPRS. Hierzu wird das integrierte GPRS Modem verwendet. Zum stabilen Empfang des GPRS Signals ist eine externe (Außen) Antenne notwendig.

Zur Zeit werden generell, unabhängig ob Aufruf oder Bereitstellung:

- alle 5 Sekunden Meldungen von der Netzersatzanlage abgefragt. Dies sind, wie oben beschrieben, zum Beispiel Sammelstörungsmeldungen, Synchronisationsmeldungen sowie Startrückmeldungen.
- alle 60 Sekunden der Zählerstand vor Ort von der Kommunikationseinheit abgefragt.

Liegt keine Status- oder Zählerstandsänderung vor, werden keine Daten aus dem Feld übertragen.

Die Schaltbefehle ins Feld werden umgehend weitergeleitet.

Die Kommunikationseinheit kommuniziert zum Routing Server über ein proprietäres Protokoll, welches zudem durch einen gemeinsamen Schlüssel, der regelmäßig ausgewechselt wird, verschlüsselt ist. So ist die Sicherheit der Daten gewährleistet. Im Standardfall, bei der Kommunikation über GPRS sind IP Angriffe auf die Kommunikationseinheit generell nicht

möglich, da die Firewalls aller deutschen Mobilfunkprovider aus dem Internet nicht durchdrungen werden können. Die Kommunikationseinheit hat keine öffentliche IP Adresse. Eine Einwahl über GSM (Telefonnummer) ist nicht möglich.

Wird die Kommunikationseinheit alternativ über DSL oder LAN mit dem Internet verbunden, muss die IT des Netzwerkes, in dem sich die Kommunikationseinheit befindet generell für die erforderliche Sicherheit sorgen. Kommunikation zum Modul über Ethernet ist möglich und zwecks Konfiguration des Gerätes gewollt.

2.2.4 Dezentrale Stromerzeuger bzw. –verbraucher für die Regelenenergie

Um in den Pool für Regelenenergie aufgenommen zu werden, müssen die Aggregate gewisse Bedingungen erfüllen. Die Software ist in der Lage positive als auch negative Regelenenergie zu liefern. Es können somit Erzeuger wie netzparallele Netzersatzanlagen (nur positive Regelenenergie) als auch BHKW (positive und negative Regelenenergie) in den Pool aufgenommen werden. Es wird jeweils eine Mindestgröße von ca. 250 kW angestrebt.

2.3 Umsetzung Arbeitspaket 1

Um eine kostengünstige und einfache Anbindung an das zuvor beschriebene EC 24 System zu realisieren, haben wir uns zum Aufbau einer Vernetzung auf Softwareebene entschieden. Somit müssen nicht noch zusätzliche Hardwarekomponenten installiert und betrieben werden.

Im Vergleich zum produktiven EC 24 ergeben sich für diese Anwendung unterschiedliche Lösungen für die Kommunikationsebene und die Ankopplung der Erzeuger / Verbraucher. Nachfolgend werden diese beschrieben

2.3.1 Realisierung Ankopplung Erzeuger / Verbraucher im Plusenergiehaus

Der Signalaustausch mit den Erzeugern / Verbrauchern wird nicht über physikalische Ein- / Ausgänge des Kommunikationssets realisiert, sondern in diesem Falle über eine OPC Schnittstelle zum Energiemanagementsystem des Plusenergiehauses.

Um die gewünschten Informationen austauschen zu können, müssen die nachfolgend aufgelisteten Datenpunkte aus dem EMS über die OPC Schnittstelle zur Verfügung gestellt werden:

Tabelle 2-1: Datenpunkte Regelenergie

Pos	Signal	Beschreibung
1	Anforderungssignal Regelenergie	Digitales Signal (BOOL) Dauersignal
2	Sollwert Einspeisung ins Netz	Integer Wert / skalierte Leistung Dauersignal
3	Sollwert Bezug aus dem Netz	Integer Wert / skalierte Leistung Dauersignal
4	Rückmeldung Anforderungssignal	Digitales Signal (BOOL) Dauersignal
5	Netzsynchon-Meldung	Digitales Signal (BOOL) Dauersignal
6	Störmeldung / Nicht bereit Meldung	Digitales Signal (BOOL) Dauersignal
7	Abschaltung Verteilnetzbetreiber (VNB)	Digitales Signal (BOOL) Dauersignal
8	Zählerstand: Wirkenergiebezug aus dem Netz	Integer Wert / kWh Zählerstand
9	Zählerstand: Wirkenergielieferung ins Netz	Integer Wert / kWh Zählerstand
10	Ladezustand Batterieanlage	Integer Wert / kWh absolut oder %

2.3.2 Realisierung der Kommunikationsebene im Plusenergiehaus

Wie in Abbildung 2-1 zu sehen, ist der Routing Server der zentrale Bestandteil zur Vernetzung der Kommunikationssets zum EC24.

Da hier das Standard-Kommunikationsset nicht zum Einsatz kommt, muss eine alternative Datenübermittlung eingesetzt werden. Wie in Kap. 2.3.1 beschrieben wird die Schnittstelle zum EMS über OPC realisiert.

Um diese Daten jedoch zum EC 24 bzw. zum Routing Server des EC 24 zu übermitteln bedarf es eines Windows-Rechners bzw. einer Windows-Virtuellen Maschine, auf dem / der ein OPC Client läuft, welcher die Informationen mittels eines proprietären Protokolls zum EC 24 Routing Server übermittelt. Die Verbindung zum EC 24 Routing Server erfolgt über das Internet. Zwecks Administration / Wartung des Rechners / der Virtuellen Maschine ist ein Remote Zugriff notwendig.

Nachfolgend ist der Aufbau dargestellt.

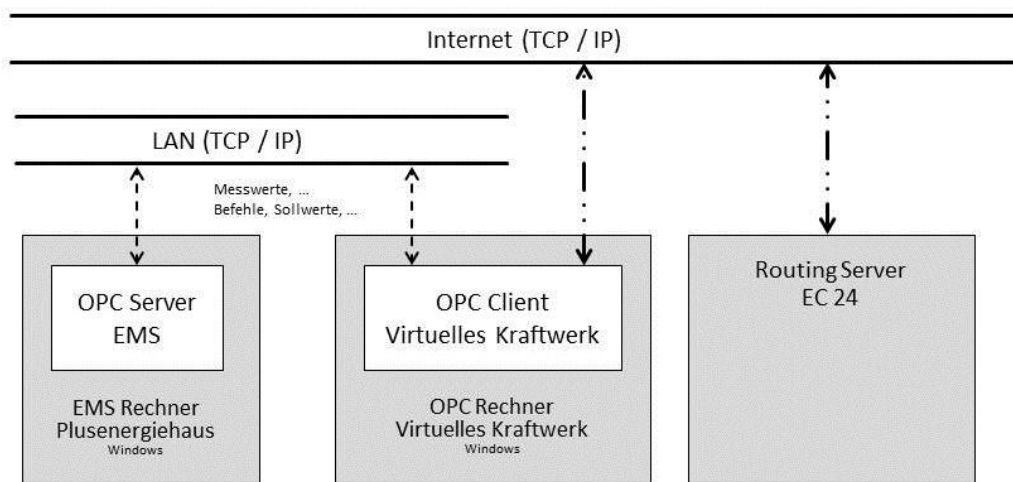


Abbildung 2-3: Kommunikationsebene Plusenergiehaus im Virtuellen Kraftwerk

3 Arbeitspaket 2

3.1 Zielsetzung des Arbeitspaket 2

In diesem Arbeitspaket wurden die für die nachfolgenden Arbeitspakete erforderlichen Datenpunkte definiert, auf der Schnittstelle und deren Übertragung in ein Energiedatenmanagementsystem eingerichtet. Dort werden die Daten archiviert. Das Energiedatenmanagementsystem dient weiterhin als Auswerte- und Visualisierungswerkzeug.

3.2 Umsetzung des AP 2

3.2.1 Definition der benötigten Informationen

Um die Datengrundlage für unsere Untersuchungen zu schaffen, haben wir zunächst in Zusammenarbeit mit dem Automatisierer vor Ort und der Hochschule Offenburg eine Liste der von uns zu übertragenden Datenpunkte erstellt.

Tabelle 3-1: Datenpunktliste TSB

Anlage	Signal	Zugriff TSB
Hausbatterie	Anforderungssignal Minutenreserveleistung (MRL)	schreiben
Hausbatterie	Sollwert Einspeisung ins Netz	schreiben
Hausbatterie	Sollwert Bezug aus dem Netz	schreiben
Hausbatterie	Rückmeldung Anforderungssignal	lesen
Hausbatterie	Netzsynchon-Meldung	lesen
Hausbatterie	Störmeldung / Nicht bereit Meldung	lesen
Hausbatterie	Abschaltung Verteilnetzbetreiber (VNB)	lesen
Hausbatterie	Zählerstand: Wirkenergiebezug aus dem Netz	lesen
Hausbatterie	Zählerstand:Wirkenergielieferung ins Netz	lesen
Hausbatterie	Ladezustand Batterieanlage	lesen
Ladestation / Autobatterie	Anforderungssignal Minutenreserveleistung (MRL)	schreiben
Ladestation / Autobatterie	Sollwert Einspeisung ins Netz	schreiben

Ladestation / Autobatterie	Sollwert Bezug aus dem Netz	schreiben
Ladestation / Autobatterie	Rückmeldung Anforderungssignal	lesen
Ladestation / Autobatterie	Netzsynchon-Meldung	lesen
Ladestation / Autobatterie	Störmeldung / Nicht bereit Meldung	lesen
Ladestation / Autobatterie	Abschaltung Verteilnetzbetreiber (VNB)	lesen
Ladestation / Autobatterie	Zählerstand:Wirkenergiebezug aus dem Netz	lesen
Ladestation / Autobatterie	Zählerstand:Wirkenergielieferung ins Netz	lesen
Ladestation / Autobatterie	Ladezustand Batterieanlage	lesen
Hausbatterie	Wochenplanung nächster Tag 0..4 Uhr	lesen
Hausbatterie	Wochenplanung nächster Tag 4..8 Uhr	lesen
Hausbatterie	Wochenplanung nächster Tag 8..12 Uhr	lesen
Hausbatterie	Wochenplanung nächster Tag 12..16Uhr	lesen
Hausbatterie	Wochenplanung nächster Tag 16..20 Uhr	lesen
Hausbatterie	Wochenplanung nächster Tag 20..0 Uhr	lesen
Ladestation / Autobatterie	Wochenplanung nächster Tag 0..4 Uhr	lesen
Ladestation / Autobatterie	Wochenplanung nächster Tag 4..8 Uhr	lesen
Ladestation / Autobatterie	Wochenplanung nächster Tag 8..12 Uhr	lesen
Ladestation / Autobatterie	Wochenplanung nächster Tag 12..16Uhr	lesen
Ladestation / Autobatterie	Wochenplanung nächster Tag 16..20 Uhr	lesen
Ladestation / Autobatterie	Wochenplanung nächster Tag 20..0 Uhr	lesen
Netz-Zähler	Zählerstand: Wirkenergiebezug aus dem Netz	lesen
Netz-Zähler	Zählerstand:Wirkenergielieferung ins Netz	lesen
Technik-Zähler	Zählerstand: Wirkenergiebezug aus dem Netz	lesen
PV-Zähler	Zählerstand:Wirkenergielieferung ins Netz	lesen

Lüftung-Zähler	Zählerstand: Wirkenergiebezug aus dem Netz	lesen
WP-Zähler	Zählerstand: Wirkenergiebezug aus dem Netz	lesen
Heizstab WW-Ber.-Zähler	Zählerstand: Wirkenergiebezug aus dem Netz	lesen
Aussentemperatur		lesen

In dieser Liste sind sowohl die für die MRL als auch für die weiteren Projektschritte notwendigen Datenpunkte enthalten.

Grundlage zur Definition dieser Datenpunktliste war u.a. die Dokumentation der im Haus verbauten Messstellen.

3.2.2 Übertragung und Speicherung der Daten

Die in Tabelle 3-1 aufgelisteten Datenpunkte werden auf dem in Kap. 2.3.2 beschriebenen Weg zur TSB übertragen. Dort werden die Daten in ein Energiedatenmanagementsystem eingelesen und können visualisiert und in eine Datenbank geschrieben werden.

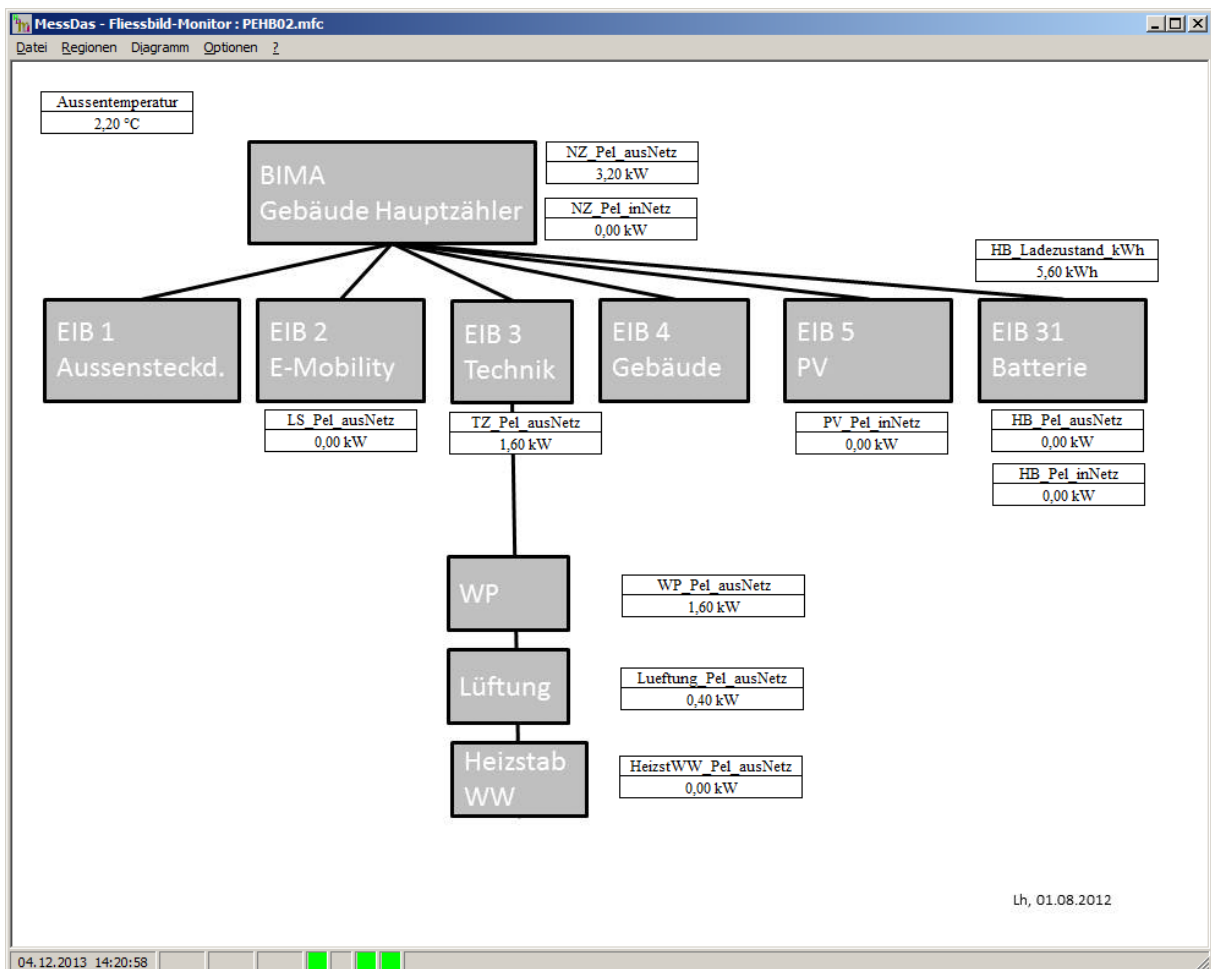


Abbildung 3-1 Daten Effizienzhaus Plus

3.2.3 Datenauswertung

Mit Hilfe des Energiedatenmanagementsystems können die Daten wie nachfolgend dargestellt visualisiert werden.

3.2.3.1 Energiebilanz

Nachfolgend werden zunächst die im Energiedatenmanagementsystem aufgezeichneten Zählerstände im Zeitraum vom 01.12.2012 bis zum 01.09.2013 und die daraus resultierenden Monatsverbräuche dargestellt.

Tabelle 3-2 Zählerstände

Bezeichnung	PV Netzeinspeisung ZS [kWh]	E-Mob Ladesäule Netzbezug ZS [kWh]	Hauptzähler Netzbezug ZS [kWh]	Hauptzähler Netzeinspeisung ZS [kWh]	Technikzähler Netzbezug ZS [kWh]	Batterie Netzbezug ZS [kWh]	Batterie Netzeinspeisung ZS [kWh]
01.12.2012 00:00	13611,2	3674,5	8039	7440,7	6810	3391,4	2697,2
01.01.2013 00:00	13717,5	4111,8	10475,7	7458,6	7951	3590,7	2831,4
01.02.2013 00:00	13808,3	4418,8	12843,9	7477,6	9127,5	3763,3	2945,4
01.03.2013 00:00	13971	4646,2	14652,3	7497,6	10053,3	3949,8	3071
01.04.2013 00:00	14657	5063,4	16478	7593	11093,1	4278,1	3316,5
01.05.2013 00:00	15998,2	5306,6	17373,7	8294,8	11601,9	4444,4	3439,8
06.06.2013 00:00	17961,1	5560,6	17929,2	9118,3	11969,1	5000,8	3872,4
01.07.2013 00:00	19697	5618,7	18094,5	10111,1	12149,7	5396,2	4207,3
01.08.2013 00:00	21928,4	5702,8	18306,3	11258,4	12378,1	5794,4	4507,5
01.09.2013 00:00	23751,2	5799,6	18377	11963,5	12579,2	6348	4980,9

Tabelle 3-3 Monatsverbräuche

Bezeichnung	PV Netzeinspeisung ZS [kWh]	E-Mob Ladesäule Netzbezug ZS [kWh]	Hauptzähler Netzbezug ZS [kWh]	Hauptzähler Netzeinspeisung ZS [kWh]	Technikzähler Netzbezug ZS [kWh]	Batterie Netzbezug ZS [kWh]	Batterie Netzeinspeisung ZS [kWh]
Dez 12	106,3	437,3	2436,7	17,9	1141	199,3	134,2
Jan 13	90,8	307	2368,2	19	1176,5	172,6	114
Feb 13	162,7	227,4	1808,4	20	925,8	186,5	125,6
Mrz 13	686	417,2	1825,7	95,4	1039,8	328,3	245,5
Apr 13	1341,2	243,2	895,7	701,8	508,8	166,3	123,3
Mai 13	1962,9	254	555,5	823,5	367,2	556,4	432,6
Jun 13	1735,9	58,1	165,3	992,8	180,6	395,4	334,9
Jul 13	2231,4	84,1	211,8	1147,3	228,4	398,2	300,2
Aug 13	1822,8	96,8	70,7	705,1	201,1	553,6	473,4

3.2.3.2 Energiefluss

In den beiden Abbildungen ist jeweils der Zusammenhang zwischen Batteriekapazität, der gesamten erzeugten und ins Hausnetz eingespeisten Leistung (Erzeugung Gesamt), der gesamten aus dem Hausnetz gezogenen Leistung aller Verbraucher (Verbraucher gesamt) und der Netzeinspeisung (pos. Werte) / dem Netzbezug (neg. Werte) bezogen auf den Haupt-Stromzähler (Netzzähler) dargestellt.

„Erzeugung gesamt“ setzt sich aus der Batterieentladung und der PV Einspeisung ins Hausnetz zusammen.

„Verbraucher gesamt“ setzt sich aus dem Verbrauch der Technik, E-Mobility und Batterieladung zusammen.

Exemplarisch werden hier der 05.03.2013 und der 24.08.2013 dargestellt.

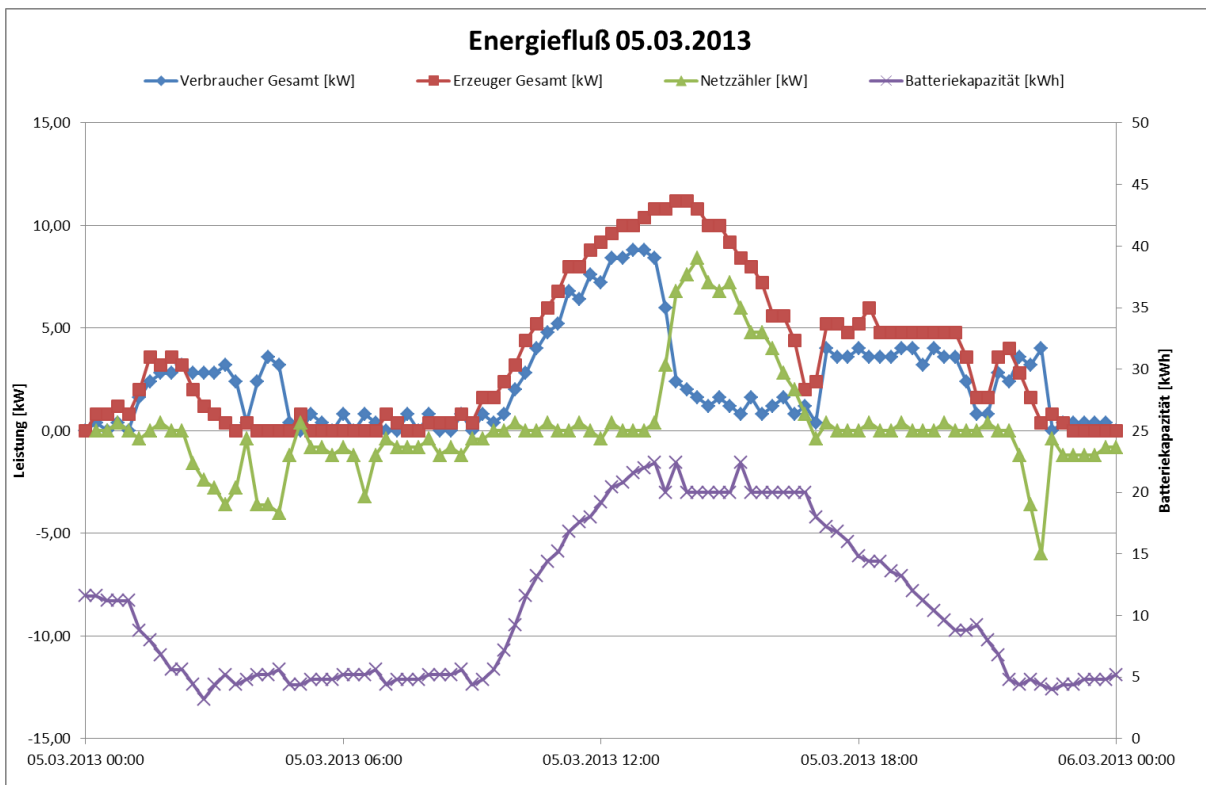


Abbildung 3-2 Energiefluss 05.03.2013

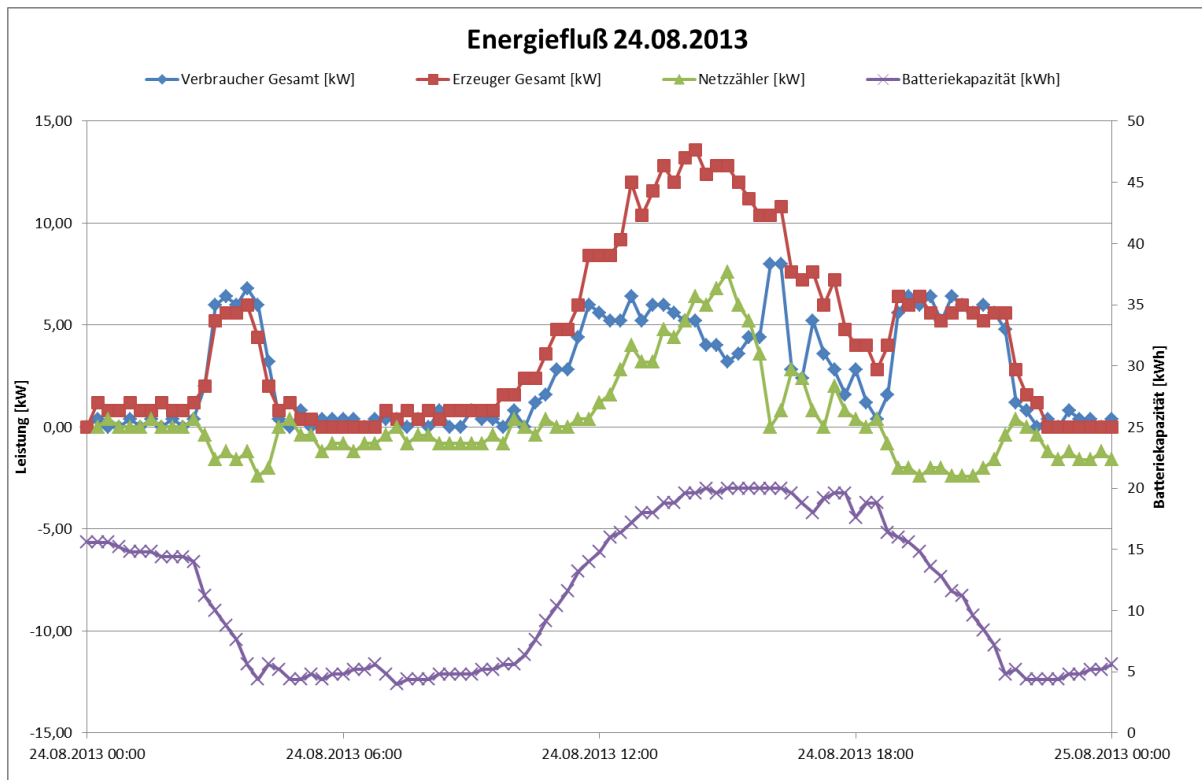


Abbildung 3-3 Energiefluss 24.08.2013

Diese beiden Abbildungen zeigen, dass der Lade- / Entladeregler der Batterieanlage versucht, den Netzbezug des Gebäudes auszugleichen. Es soll kein Strom aus dem öffentlichen Netz gezogen werden.

Es wird ebenfalls deutlich, dass die Batterie nicht ganz entladen und auch nicht bis zu ihrer Maximalkapazität von ~ 40 kWh geladen wird. Der Betrieb der Batterie erfolgt in einem Kapazitätsband von 12% - 50%.

3.2.4 Ansteuerung der Batterieanlage

Die Ansteuerung der Batterieanlage wurde mit den für die Erbringung von MRL notwendigen Parametern auf der Schnittstelle komplett definiert. Die Datenübermittlung wurde in beide Richtungen funktionsfähig eingerichtet.

Eine vollständige Ansteuerung der Batterieanlage mit Sollwerten für extern angestoßene Lade- bzw. Entladezyklen wurde jedoch nicht durchgeführt, da es mit der Lade- / Entladeregulierung der Batterieanlage nicht möglich war.

Um dies zu realisieren bedarf es der Installation einer genaueren Messtechnik.

4 Arbeitspaket 3

In diesem Arbeitspaket wurde die Struktur für die Implementierung eines Optimierers erstellt, welcher die Daten des Plusenergiehauses und Prognosen zu Erzeugung und Verbrauch verarbeitet und eine optimierte Vermarktung ermöglicht.

4.1 Vorgehensweise

In der energiewirtschaftlichen Optimierung wurden der Stromeinkauf und die PV-Strom Eigennutzung mit Zwischenpufferung durch die Batterie als Standardvariante der Stromversorgung und Batterienutzung angenommen. Durch eine energiewirtschaftliche Optimierung können zusätzliche Erlöse erzielt werden, welche maßgeblich von den Freiheitsgraden der Batterie und der Prognosegüte des Verbrauchs und der Erzeugung am Folgetag abhängen. Für die Optimierung wurden der Minutenreservemarkt (Vermarktung am Folgetag) und der Spotmarkt (Vermarktung in der Folgestunde) herangezogen.

4.1.1 Regelleistung (Minutenreserve)

Die Regelleistung zur Frequenzhaltung der Norm Frequenz von 50 Hertz auf Übertragungsebene besteht aus drei in zeitlicher Abfolge nacheinander eintretenden Arten: der Primärregelleistung (PRL), der Sekundärregelleistung und der Minutenreserveleistung (MRL). In zeitlicher Abfolge nach der Minutenreserveleistung erfolgt die Frequenzhaltung durch den Bilanzkreisverantwortlichen, in dessen Bilanzkreis die Frequenzstörung aufgetreten ist.

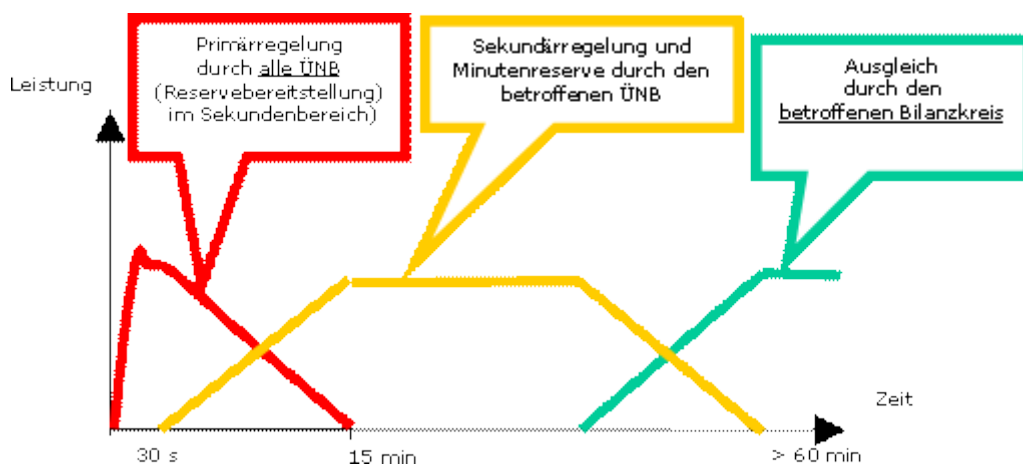


Abbildung 4-1: Zeitliche Abfolge der Regelleistungsarten¹

Die Anforderungen an die Technik sowohl der Anlagen als auch der Kommunikationstechnik, im Falle der Realisierung durch ein virtuelles Kraftwerk, sinken mit der zeitlichen Abfolge. Die

¹ <https://www.regelleistung.net/ip/action/static/techaspects>

technische Tauglichkeit der Anlagen zur Regelleistungserbringung muss in einem Präqualifikationsverfahren der jeweiligen Regelleistungsart dargestellt werden.

Minutenreservemarkt:

Die Minutenreserve (auch Tertiärregelleistung genannt) ist bei der Regelleistung in zeitlicher Abfolge das letzte Instrument der Frequenzhaltung auf Übertragungsebene. Sie kommt zum Einsatz um die Sekundärregelleistung abzulösen und für den Ausgleich neuer Frequenzabweichungen verfügbar zu machen.

Der Minutenreservemarkt ist zum einen als Kapazitätsmarkt aufgebaut, bei welchem die reine Anlagenleistung vermarktet wird und nur im Bedarfsfall auch ein Abruf der Leistung erfolgt. Zum anderen ist er als Auktionsmarkt aufgebaut, bei dem jeder Teilnehmer werktätlich bis 10 Uhr seine Gebote für den Folgetag abgeben muss. Ein Gebot besteht aus der Leistung die angeboten wird, einem Leistungspreis und einem Arbeitspreis.

Nach dem Ende der Gebotsfrist um 10 Uhr erfolgt die Bekanntgabe der Auktionsgewinner. Dazu werden alle Gebote nach dem Leistungspreis sortiert und die günstigsten Gebote bis zum Erreichen der ausgeschriebenen Leistung erhalten den Zuschlag für den Vertragszeitraum vgl. Abbildung 4-2 blaue Gebote. Für jedes Angebot in der Vorhaltung bekommt der Anbieter den Leistungspreis gezahlt, den er angeboten hat. Dieses Verfahren nennt sich „pay-as-bid“.

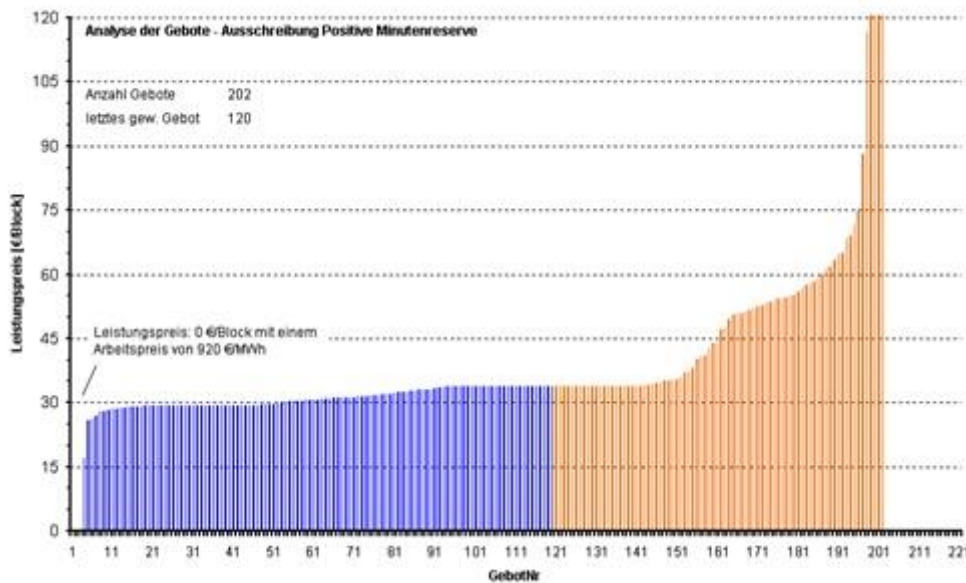


Abbildung 4-2: Ergebnisse Ausschreibung, blaue Gebote in der Vorhaltung, rote Gebote nicht in der Vorhaltung

Der Minutenreservemarkt ist in 6 Zeitscheiben pro Tag mit einer Länge von je 4 Stunden, jeweils in positive und negative Leistungsrichtung unterteilt. Für jede Zeitscheibe eines Tages muss ein gesondertes Gebot abgegeben werden. Die Gebote in der Vorhaltung müssen dann in dem Vertragszeitraum betriebsbereit zur Verfügung stehen.

Findet ein Abruf der vorgehaltenen Leistung in der jeweiligen Zeitscheibe statt, werden die Gebote in Vorhaltung nach dem Arbeitspreis sortiert und die günstigsten zuerst aufgefördert

ihre Leistung zu erbringen. Auch bei dem Arbeitspreis wird nur der angebotene Arbeitspreis gezahlt („pay-as-bid“).

Die Minutenreserve folgt in der zeitlichen Abfolge als letzte der drei Regelleistungsarten. Danach übernimmt im Bedarfsfall der Bilanzkreisverantwortliche, aus dessen Bilanzkreis die Frequenzstörung kommt, die Leistungserbringung. Die Minutenreserve stellt die geringsten Anforderungen an die Anlagen. Dies hängt maßgeblich von der zur Verfügung stehenden Zeit bis zur Leistungserbringung ab.

Die Anforderungen an die Anlagen stellen sich wie folgt dar:

- Volle Leistungserbringung nach 15 Minuten
- Poolung von Anlagen in einem virtuellen Kraftwerk möglich

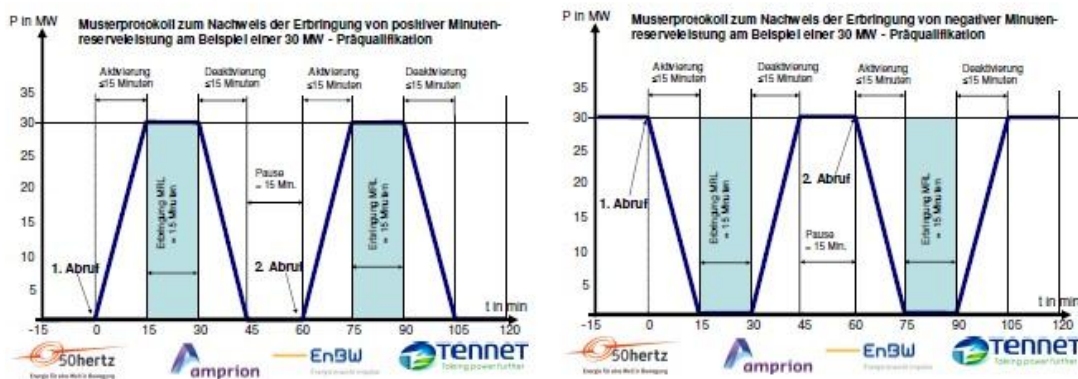


Abbildung 4-3: Doppelhub der Minutenreserve Präqualifikation, links positive und rechts negative Minutenreserve²

4.1.2 Spotmarkt Intradaymarkt

Die deutsche EEX Power Derivatives GmbH (European Energy Exchange) in Leipzig und die EPEX Spot SE (European Power Exchange) in Paris sind elektronische Marktplätze für den Energiehandel von ganz Mitteleuropa. Der Handel erfolgt analog zur Wertpapierbörse und unterliegt ebenfalls der Börsenaufsicht. Je größer das Handelsvolumen an den Marktplätzen ist, desto interessanter wird die Strombörse für Stromhändler, da sich erst bei ausreichendem Volumen ein liquider Markt bildet und demnach auch marktübliche Preise entstehen. Dies ist an der Strombörse in der Regel gegeben. Gehandelt wird an der Strombörse ausschließlich Strom ohne die Eigenschaft dass dieser regenerativ erzeugt wurde.

² Musterprotokoll zum Nachweis der Erbringung von Minutenreserveleistung

EPEX-Intraday-Markt:

Der Intraday Markt stellt den kurzfristigsten Spotmarkt der Strombörse dar. Am Intraday Markt ist der Handel von Strommengen bis zu 45 Minuten vor Beginn der Stromlieferung möglich, ab 15 Uhr eines Tages können Strommengen für den Folgetag gehandelt werden. Die Mindestleistung zum Markteintritt beträgt 0,1 MW³. Die Markteintrittsgrenzen, können bei kleineren Anlagen über ein virtuelles Kraftwerk erreicht werden.

4.1.3 Berechnung der Freiheitsgrade der Anlagen im Effizienzhaus Plus

Die Freiheitsgrade geben an, welches Potenzial in positiver und negativer Leistungsrichtung vorhanden ist um Leistungshübe zu vermarkten. Die Berechnung erfolgt zum einen für den Folgetag und zum anderen auch für die Folgestunde. Die Freiheitsgrade werden aus den Messdaten der Anlagen im Effizienzhaus Plus und den Prognosen für Verbrauch und Erzeugung des Hauses, welche von der Hochschule Offenburg durchgeführt werden, berechnet.

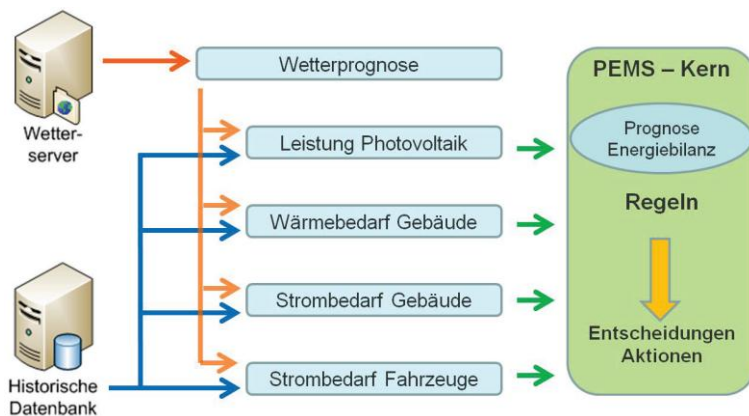


Abbildung 4-4 Prädiktives Energiemanagementsystem Hochschule Offenburg

Abbildung 4-4 zeigt schematisch das Prädiktive Energiemanagementsystem der Hochschule Offenburg, welches die Prognosen zu Verfügung stellt. Die Prognoseergebnisse werden in einer SQL Datenbank abgelegt, aus welcher unser Prozess die notwendigen Angaben für die Optimierung ausliest.

Die Berechnung der Freiheitsgrade für den Folgetag dient der Teilnahme am Minutenreservermarkt, dieser Markt wurde ausgewählt weil eine recht kurzfristige Vorhersage der Freiheitsgrade von einem Tag ausreicht um die Teilnahme an diesem zu ermöglichen. Weitere Märkte der Regelleistung (Sekundärregelleistung und Primärregelleistung) wurden nicht untersucht, da für diese ein Freiheitsgrad mindestens für eine Woche bestehen und dieser auch prognostiziert werden muss. Dies wäre mit den gegebenen Prognosen und mit der geringen Leistung und Kapazität des Effizienzhauses Plus bzw. der Batterie im Effizienzhaus Plus nur bedingt umsetzbar.

Sollte die Berechnung der Freiheitsgrade an einem Freitag durchgeführt werden, werden die täglichen Freiheitsgrade für die Tage Samstag, Sonntag und Montag berechnet, da die Aus-

³ <http://www.epexspot.com/de/produkte/intraday-handel/deutschland>

schreibung der Minutenreserve für das Wochenende und den Montag immer Freitags durchgeführt werden.

Die Freiheitsgrade für die Folgestunde dienen der kurzfristigen Optimierung am Spotmarkt (Intraday-Markt), dort können zu jeder Zeit des Tages Strommengen für die Folgestunde, aber auch einen längeren Zeitraum gehandelt werden.

Tägliche Optimierung:

Für die Tägliche Optimierung wurde nur der Minutenreservemarkt betrachtet, die Strombörse wurde hier noch nicht betrachtet, da an der Börse auch noch kurz vor der Leistungserbringung gehandelt werden kann, am Intraday Markt.

Bei der täglichen Optimierung erfolgt eine Vermarktung der Freiheitsgrade in der Minutenreserve in positiver und negativer Richtung. Dazu wurde ein Preisranking der Zeitscheiben durchgeführt, bei dem die wirtschaftlich interessanteste (auf den Leistungspreis bezogen) Zeitscheibe (vier Stunden⁴) als erstes Vermarktet wird.

Tabelle 4-1: Angebotsreihenfolge der Zeitscheiben der Minutenreserve

Reihenfolge	Positive Leistungsrichtung	Negative Leistungsrichtung
1	Zeitscheibe3, 08 bis 12 Uhr	Zeitscheibe1, 00 bis 04 Uhr
2	Zeitscheibe5, 16 bis 20 Uhr	Zeitscheibe2, 04 bis 08 Uhr
3	Zeitscheibe4, 12 bis 16 Uhr	Zeitscheibe6, 20 bis 24 Uhr
4	Zeitscheibe6, 20 bis 24 Uhr	Zeitscheibe5, 16 bis 20 Uhr
5	Zeitscheibe2, 04 bis 08 Uhr	Zeitscheibe4, 12 bis 16 Uhr
6	Zeitscheibe1, 00 bis 04 Uhr	Zeitscheibe3, 08 bis 12 Uhr

Der berechnete Freiheitsgrad gibt an, in wie vielen Stunden eines Tages die Leistung in positiver und negativer Leistungsrichtung vermarktet werden kann. Wenn der angegebene Freiheitsgrad nicht für eine weitere Zeitscheibe der Minutenreserve ausreicht, wird eine Durchschnittsleistung berechnet, die über die Dauer einer Zeitscheibe angeboten werden kann. Somit ist immer gewährleistet das das größte mögliche Potenzial ausgeschöpft wird. Durch die Mindestleistung der Minutenreserveausschreibung muss die Batterie zur Vermarktung in ein virtuelles Kraftwerk integriert werden.

Stündliche Optimierung:

Bei der Stündlichen Optimierung wird der Intraday-Markt betrachtet, ein Handel ist bis 45 Minuten vor Erbringung der Leistung möglich, was einen Handel in der Vorstunde möglich macht. Bedingt durch die Kontraktgröße von mindestens 100 kW⁵ muss evtl. über externe Händler oder OTC-Intraday-Märkte gehandelt werden.

⁴

<https://www.regelleistung.net/ip/action/static/ausschreibungMrl;jsessionid=vP2TR5hcbdn9ZSrmv2b2k1S3ZMqNhLGyJPQSc5y2NJ4vB5Z6mGI!-676929674!255857486>; 06.03.2013

⁵ <http://www.epexspot.com/de/produkte/intraday-handel/deutschland>; 06.03.2013

Im Intraday-Markt bilden sich im Vergleich zum Day-Ahead-Markt geringfügig extremere Preisspitzen (hohe und niedrige Spitzen), diese Preisspitzen sind die, für die Nutzung der Flexibilität interessanten Preise. So wird in der stündlichen Optimierung in positiver Leistungsrichtung vermarktet, wenn der Intraday Preis über dem Maximum aus Strombezug von dem Energieversorger und den Photovoltaikstromgestehungskosten liegt, da der zum Verkauf stehende Strom aus einer dieser Quellen stammt. Ein Stromeinkauf über den Intraday-Markt, findet nur statt, wenn der Intraday Preis zuzüglich Stromnebenkosten unter dem Minimum aus Energieversorgerpreis und PV-Gestehungskosten liegt.

Ein Handel mit den stündlichen Freiheitsgraden findet nur statt, wenn die Freiheitsgrade nicht am Vortag für diese Zeit schon in der Minutenreserve vermarktet wurden, damit kein Konflikt bei einem Abruf der Minutenreserveleistung entstehen kann.

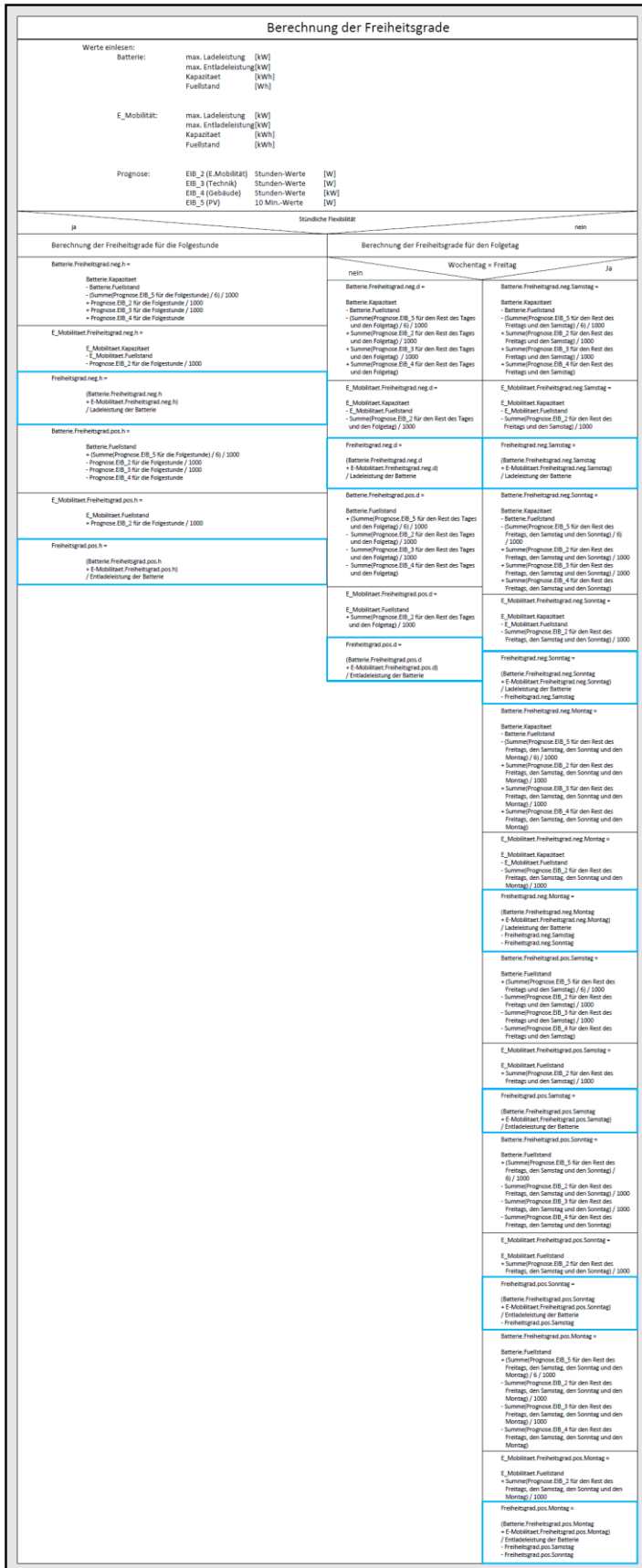


Abbildung 4-5: Struktogramm der Bestimmung der Freiheitsgrade

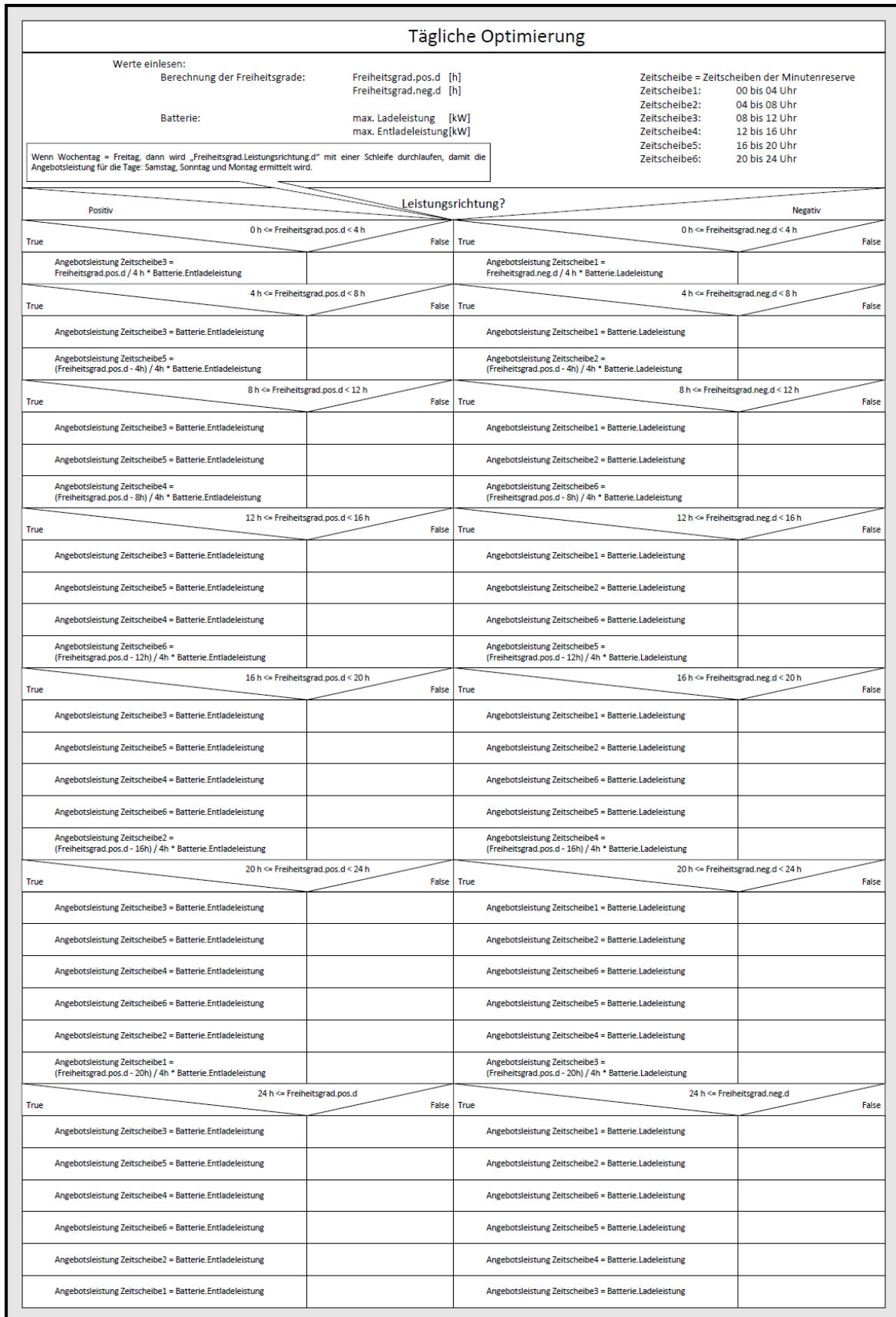


Abbildung 4-6: Struktogramm der täglichen Optimierung

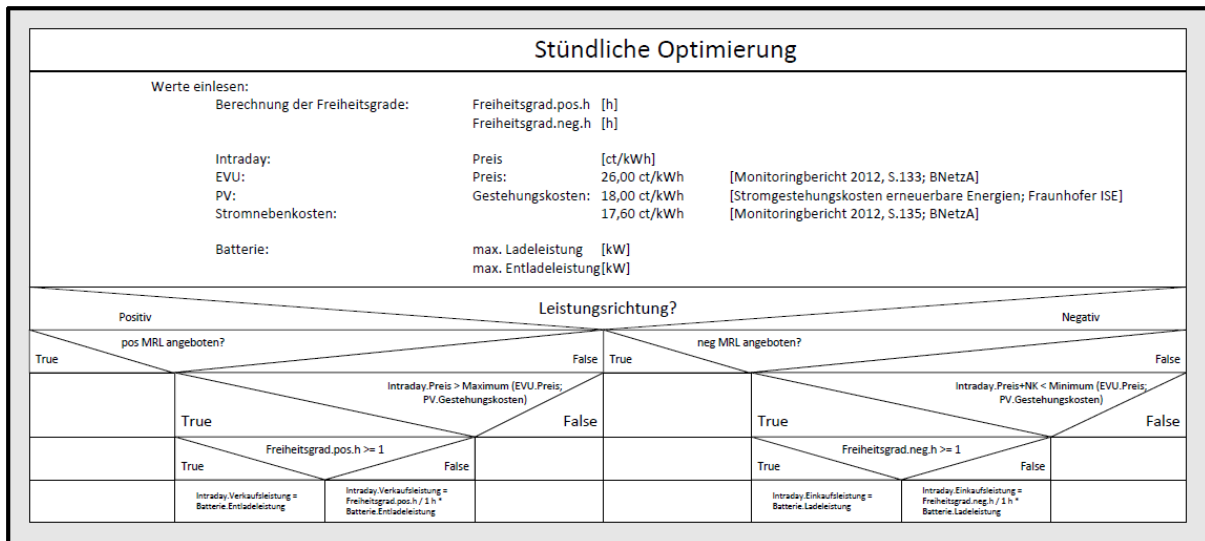


Abbildung 4-7: Struktogramm der stündlichen Optimierung

Die von dem energiewirtschaftlichen Optimierer berechneten Daten werden in eine Datenbank geschrieben und können bei Bedarf weiterverarbeitet werden.

4.2 Ergebnisse der Optimierung

Die Ergebnisse der Leistung, die vermarktet werden kann, werden immer um 9 Uhr des Vortages berechnet, damit diese rechtzeitig für die Vermarktung in der Regelleistung (Minutenreserve) zur Verfügung stehen. Der energiewirtschaftliche Optimierer verarbeitet aktuelle Messwerte aus dem Energiehaus Plus und ebenso die vorhandenen Prognosewerte des Verbrauchs und der Erzeugung. Auf Basis dieser Werte werden die zu vermarktenden Leistungen in den einzelnen Zeitscheiben der Minutenreserve berechnet. Dazu wurde ein Ranking der Zeitscheiben nach deren Einnahmepotenzial erstellt:

Tabelle 4-2: Angebotsreihenfolge der Zeitscheiben der Minutenreserve

Reihenfolge	Positive Leistungsrichtung	Negative Leistungsrichtung
1	Zeitscheibe3, 08 bis 12 Uhr	Zeitscheibe1, 00 bis 04 Uhr
2	Zeitscheibe5, 16 bis 20 Uhr	Zeitscheibe2, 04 bis 08 Uhr
3	Zeitscheibe4, 12 bis 16 Uhr	Zeitscheibe6, 20 bis 24 Uhr
4	Zeitscheibe6, 20 bis 24 Uhr	Zeitscheibe5, 16 bis 20 Uhr
5	Zeitscheibe2, 04 bis 08 Uhr	Zeitscheibe4, 12 bis 16 Uhr
6	Zeitscheibe1, 00 bis 04 Uhr	Zeitscheibe3, 08 bis 12 Uhr

Nach einem Probetrieb des Optimierers im Zeitraum 01.08.2013 bis 05.08.2013 ergaben sich folgende Ergebnisse für eine mögliche Vermarktung in der Regelleistung für den Folgetag.

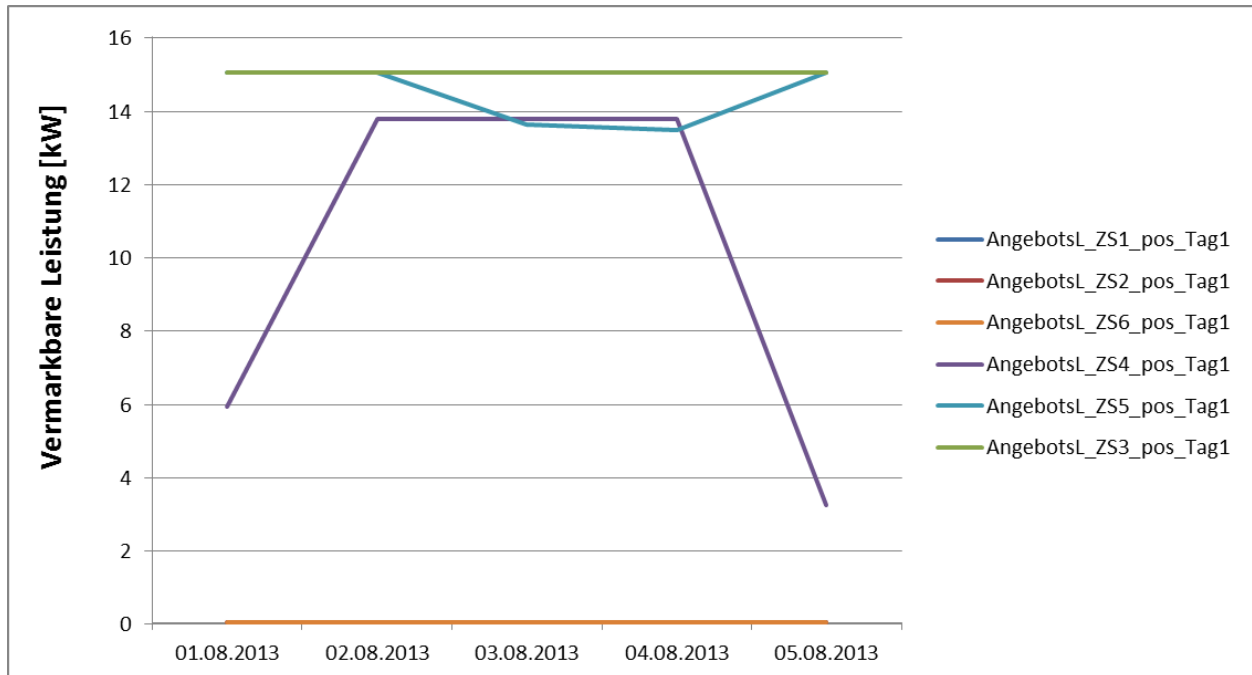


Abbildung 4-8: Vermarktbare Leistung nach Zeitscheiben in der positiven Minutenreserve

In Zeitscheibe 3, kann immer die Maximalleistung positive Minutenreserveleistung (maximale Leistung der Batterie) vermarktet werden, in Zeitscheibe 5 und 4 kann die gesamte Leistung bzw. nur ein Teil dieser vermarktet werden. In Zeitscheibe 6, 2 und 1 kann keine Vermarktung stattfinden, da die vorhandene Flexibilität in den anderen Zeitscheiben bereits vermarktet wird.

In der negativen Minutenreserve stellt sich das Ergebnis etwas anders dar, dort ist eine Vermarktung lediglich Anteilig in einer Zeitscheibe pro Tag Möglich. Dies ist vor allem bedingt durch die Prognosen für Erzeugung und Verbrauch, diese lassen eine Vermarktung von Freiheitsgraden in negativer Leistungsrichtung nur bedingt zu.

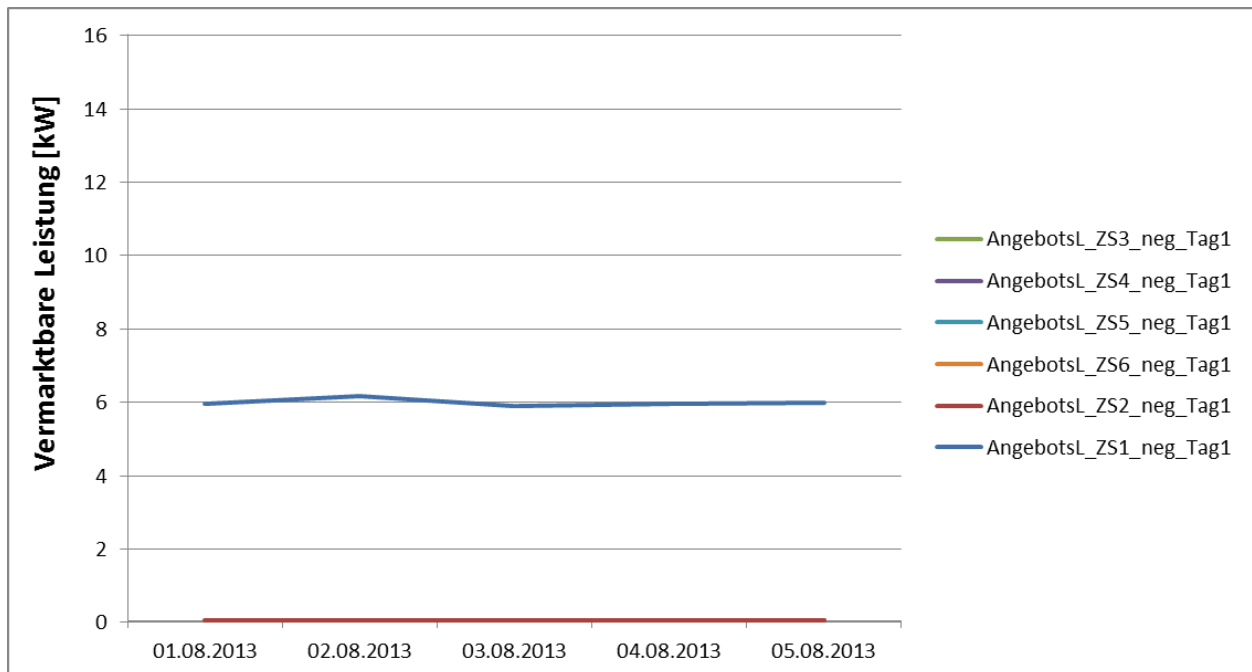


Abbildung 4-9: Vermarktbarer Leistung nach Zeitscheiben in der negativen Minutenreserve

Wenn eine Vermarktung stattfindet, und die angebotene Leistung in der Minutenreserve abgerufen wird, können sich die Freiheitsgrade für die folgenden Tage verändern. In der Regel wird es so sein, dass der Freiheitsgrad in derselben Leistungsrichtung kleiner wird und der der anderen Leistungsrichtung größer. Diese Änderungen werden durch den Optimierer direkt erfasst und verarbeitet, da dieser auf die aktuellen Messwerte des Hauses zugreift.

Die Untertägliche Vermarktung am Intradaymarkt kann erfolgen, wenn die Anlagenleistung in derselben Leistungsrichtung noch nicht in der Minutenreserve vermarktet worden ist. Da in der Betrachtung davon ausgegangen wird, dass eine Vermarktung in der Minutenreserve stattfindet, ist keine Vermarktung am Intradaymarkt möglich, da die Freiheitsgrade der Anlagen bereits veräußert sind. Interessant ist die Vermarktung am Intradaymarkt dann, wenn die Angebote in der Minutenreserve durch zu hohe Leistungspreise keinen Zuschlag bekommen.

5 Arbeitspaket 4

5.1 Erlöspotenziale einer Vermarktung der Freiheitsgrade des Effizienzhaus Plus in Berlin

Die Anlagen in dem Effizienzhaus Plus in Berlin besitzen Freiheitsgrade, um den Strombezug bzw. Verbrauch zeitlich zu verschieben. Diese können genutzt werden und an den Strommärkten angeboten werden. Dazu müssen diese Anlagen in einem virtuellen Kraftwerk integriert und vermarktet werden. Um die Freiheitsgrade berechnen zu können, muss eine Prognose der Erzeugung und des Verbrauches der Anlagen in dem Haus durchgeführt werden.

Eine Vermarktung dieser Freiheitsgrade wurde in unserer Untersuchung in der Regelleistung, speziell in der Minutenreserve berechnet, da dieser Markt heute bereit liquide und transparent ist und dort genau diese Freiheitsgrade vermarktet werden können.

Im Ersten Schritt wurden die Freiheitsgrade der Batterie bestimmt, diese errechnen sich aus dem Ladezustand der Batterie und anderen Werte vgl. Kapitel: 4.1.3, dieser Ladezustand kann als positiver Leistungshub vermarktet werden, die übrige, freie Kapazität kann in negativer Leistungsrichtung vermarktet werden. Eine Berechnung dieser Freiheitsgrade muss an dem aktuellen Tag für den Folgetag ermittelt werden, da die Angebotsabgabe für die Minutenreserve um 10 Uhr des Vortages endet.

Der Minutenreservemarkt ist in positiver und negativer Leistungsrichtung mit je sechs Zeitscheiben pro Tag aufgebaut. Dieser Markt ist ein Auktionsmarkt, der nach der Merit Order und der „pay as bid“ Regel funktioniert vgl. Kapitel 4.1.1. Der Minutenreservemarkt ist als Markt mit einem Leistungs- und einem Arbeitspreis aufgebaut, dies bedeutet, dass auch für die reine Bereitschaft Minutenreservearbeit zu erbringen schon ein Leistungspreis gezahlt wird und erst im Falle eines Aufrufes ein Arbeitspreis für die tatsächlich erbrachte Arbeit gezahlt wird.

Bedingt durch die geringe Leistung muss die Anlage an einen Pool (virtuelles Kraftwerk) angeschlossen werden um in der Minutenreserve vermarktet werden zu können.

Je nach Angebotsstrategie können unterschiedliche Erlöse erzielt werden, diese sind vor allem abhängig vom gebotenen Arbeitspreis. Bei einem niedrigen Arbeitspreis finden relativ viele Abrufe statt, bei einem hohen Arbeitspreis relativ wenige bis keine.

Die Möglichkeiten für verschiedene Angebotsstrategien beziehen sich vor allem auf den Arbeitspreis. Die Bereitstellungsstunden können nur bedingt flexibilisiert werden, da wenn eine Anlage über eine Zeitscheibe vermarktet ist die Leistung auch für diese Zeitscheibe zur Verfügung stehen muss.

Variante mit hohem Arbeitspreis und niedrigen Abrufstunden:

Ein Angebot der Leistung findet nur in den berechneten Zeitscheiben mit der Berechneten Leistung statt, damit die Leistung in diesen Zeitscheiben auch tatsächlich bereitgestellt werden kann und die Batterie im Falle eines Aufrufes diesen bedienen kann.

Durch einen Abruf können neue Freiheitsgrade in der entgegengesetzten Leistungsrichtung entstehen, können aber kurzfristig nicht in der Regelenergie vermarktet werden.

Mit der gegebenen Batterie und deren Freiheitsgraden könnten mit dieser Angebotsvariante bei einem Arbeitspreis von 1.000 €/MWh in positiver und einem von -1.000 €/MWh in negativer Leistungsrichtung etwa **150 €/a** an Zusatzerlösen generiert werden, dies wäre mit einer Abrufdauer von etwa 3 Stunden verbunden. Von diesem Erlös noch ein Anteil von 30 - 50 % an den jeweiligen Minutenreserve Händler für dessen Dienstleistung.

Variante mit niedrigem Arbeitspreis und hohen Abrufstunden:

Wie bei der ersten Variante, wird auch in dieser nur die tatsächlich zur Verfügung stehende Leistung vermarktet.

Bei dieser Variante wurde ein Arbeitspreis von 500 €/MWh für die positive und -500 €/MWh für die negative Minutenreserve angenommen, dieser Preis führt zu einer höheren Abrufstundenzahl.

Mit dieser Variante und der gegebenen Batterie mit den entsprechend berechneten Freiheitsgraden, wären jährliche Erlöse von etwa **175 €/a** bei ca. 10 Abrufstunden möglich. Auch von diesem Wert gehen ca. 30 - 50 % an den jeweiligen Händler der Minutenreserve.

Diese Werte geben eine Größenordnung des Einnahmenpotenzials an diese Potenzial ist allerdings von vielen Einflussfaktoren abhängig und kann auch durch Preisänderungen am Markt sowie durch Änderungen des Marktdesign beeinflusst werden.

Bei einer Vermarktung einer Vielzahl solcher Batterien kann die Angebotsleistung und Dauer mit einer Wahrscheinlichkeit eines Abrufes belegt werden. Somit kann beispielsweise eine etwas reduzierte Leistung (der Rest ist als Sicherheitsleistung verfügbar) über eine längere Dauer angeboten werden. Bei einem länger andauerndem Abruf der Leistung kann die Sicherheitsleistung als Unterstützung dienen; ein Restrisiko, dass die geforderte Leistung nicht erbracht werden kann, bleibt bei solch einer Variante bestehen. Es sind auch andere Angebotsstrategien mit einer Vielzahl von Batterien möglich, mit denen die Erlöse leicht erhöht werden können.

6 Fazit / Ausblick

Die Freiheitsgrade des Effizienzhauses Plus könnten schon heute einer Vermarktung zugeführt werden, aber bedingt durch die niedrige Leistung, die aufwändigen Prognosen, die Prognoseungenauigkeiten ist ein solches Vermarktungsmodell derzeit nicht wirtschaftlich umsetzbar. Die Prognoseungenauigkeiten können auch dazu führen, dass keine Leistung bereitgestellt werden kann, deshalb wäre dieses Vermarktungsmodell nur mit einer hohen Anzahl an ähnlichen Häusern möglich, da die große Anzahl für eine vergleichmäßigung sorgt und so immer ein Teil der Leistung einer Vermarktung zugeführt werden kann.

Eine Möglichkeit die Flexibilität im Effizienzhaus Plus zu erhöhen, ist die Optimierung der E-Mobility Ladesäule. Das im Haus eingesetzte System lädt die daran angeschlossenen Fahrzeuge direkt auf, bis diese komplett geladen sind.

Wenn die Ladesäule mit einer Schnittstelle gemäß IEC 61851-1 Mode 3 ausgestattet ist, kann diese die Ladung der Autobatterie ansteuern. D.h. es kann der Ladestrom vorgegeben werden.

Somit wäre der Zeitpunkt des Ladevorgangs und der Verlauf der Ladeleistung beeinflussbar und kann somit aktiv zur Regelung des Netzbezugs des Gebäudes beitragen.

Weiterhin wäre mit solch einer Ladetechnik auch eine Erhöhung der Freiheitsgrade und somit der Flexibilitäten, die in dem Haus bereitgestellt werden können möglich. Dies würde das Einnahmepotenzial der Vermarktung der Freiheitsgrade weiter erhöhen. Auch wäre langfristig denkbar, dass die Batterie des Elektroautos als zusätzliche Batterie vermarktet werden kann und diese somit auch entladen werden kann, wenn dies zeitlich und wirtschaftlich sinnvoll erscheint.

Zukünftig wäre auch die Einführung von Typpräqualifizierung in der Regelleistung sinnvoll, da diese die Kosten für den Eintritt in den Regelleistungsmarkt deutlich senken könnten. So könnten beispielsweise Anlagen eines Typs oder einer Baureihe direkt vom Hersteller bei den Übertragungsnetzbetreibern präqualifiziert werden, sodass dies nicht im Nachhinein mit erhöhtem Aufwand auf Anlagenbetreiberseite, wie auch auf Übertragungsnetzbetreiberseite erfolgen muss. Somit wäre einer der Beiden großen Kostenfaktoren zur Einbindung in ein virtuelles Regelleistungskraftwerk stark reduziert.

Eine Bessere Ausnutzung der Freiheitsgrade kann erfolgen, wenn über eine Schnittstelle eines Smart-Meter ein Tarifsignale an die Batteriesteuerung gesendet werden würde. So wäre es möglich, zusätzlich zu der Regelleistungsbereitstellung den Strombezug möglichst kostengünstig darzustellen. Grundsätzlich wäre auch denkbar, dass mehrere Märkte, mit gleichen Handelszeiten, bedient werden können. So könnte mittels eines Optimierers eine Merit-Order der verschiedenen Märkte zu jeder Stunde dargestellt werden und immer an dem attraktivsten Markt teilgenommen werden.