

Abschlussbericht der **TU Ilmenau**

zum Verbundvorhaben

**Klimaentlastung durch den Einsatz  
erneuerbarer Energien im Zusammenwirken  
mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen**

im Rahmen des FuE-Programms  
**"Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität"**

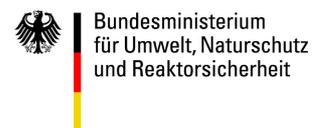
Ilmenau, Januar 2011

Kurztitel: Mini-E 1.0

Projektpartner: Bayerische Motoren Werke AG, München  
Vattenfall Europe Aktiengesellschaft, Berlin  
Technische Universität Chemnitz, Chemnitz  
Technische Universität Berlin, Berlin  
Technische Universität Ilmenau, Ilmenau

Projektlaufzeit: 01.11.2008 – 30.11.2010

Gefördert durch das:



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Westermann

FG Elektrische Energieversorgung  
Institut für Elektrische Energie- und Steuerungstechnik

Ilmenau, 31.01.2011

**Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit  
emissionsfreien Elektrofahrzeugen – MINI E 1.0**

-Schlussbericht –

**Teilprojekt 1.5 Gesteuertes Laden-  
Subtask 1.5.1.Einspeisung von Windenergie**

Eingereicht durch:

Technische Universität Ilmenau

am 31.01.2011

## Inhaltsverzeichnis

<b>I. Erzielte Technische Ergebnisse</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Architektur Steuerungssystems und Fernwirkkomponenten</b> .....	<b>11</b>
1.1.1 Teilredundantes Steuerungssystem und Ausfallwahrscheinlichkeit .....	11
1.1.2 Hardware-Eigenschaften .....	12
1.1.3 Engineering Autostrombox Fernwirkkomponente .....	12
1.1.4 Softwarearchitektur des Steuerungssystems .....	13
<b>1.2 Schnittstellen</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3 Kommunikationszuverlässigkeit</b> .....	<b>15</b>
<b>1.4 Funktionalitäten des Steuerungssystems</b> .....	<b>15</b>
1.4.1 Bedienoberfläche .....	15
1.4.2 Algorithmus für gesteuerten Ladevorgang .....	17
1.4.3 Integration Netzbelastung in W2V Steuerungssystem .....	19
<b>II. Erzielte Wissenschaftliche Ergebnisse</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 Kurzfassung zu den wissenschaftlichen Ergebnissen</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2 Erhebungsdetails</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3 Verfügbarkeit der Fahrzeuge für gesteuertes Laden</b> .....	<b>22</b>
2.3.1 Gültigkeitsbereich .....	22
2.3.2 Nutzung der ASBs .....	23
<b>2.4 Energiebedarf</b> .....	<b>29</b>
2.4.1 Gesamtenergiebedarf .....	29
2.4.2 Energiebedarf je ASB .....	32
<b>2.5 Nutzung der Nutzerfunktion</b> .....	<b>34</b>
2.5.1 Sofortladefunktion .....	34
<b>2.6 Störgrößenbehandlung</b> .....	<b>38</b>
2.6.1 Fehlerrechnung .....	38
2.6.2 Identifikation fehlerhafter Ladevorgänge .....	39
<b>2.7 Gesteuerte und ungesteuerte Last</b> .....	<b>39</b>
<b>2.8 Erfolgsindikatoren für Gesteuertes Laden</b> .....	<b>39</b>

---

2.8.1	Korrelationskoeffizient.....	40
2.8.2	Laden in grünen Fenstern .....	41
<b>2.9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick der wissenschaftlichen Ergebnisse .....</b>	<b>43</b>
<b>A.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>44</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ASB:	Autostrombox
GPRS:	General Packet Radio Service
MEB:	Mobile Messbox für Niederspannung
SCADA:	Supervisory Control and Data Acquisition
SPS:	Speicherprogrammierbare Steuerung
W2V:	Wind-to-Vehicle
kW:	Kilowatt
kWh:	Kilowattstunden

## Bildverzeichnis

Bild I.1	Lösungsansatz zur Realisierung des gesteuerten Ladens	9
Bild I.2:	Zustandsdiagramm Funktionsverteilung	12
Bild I.3:	Architektur der Autostrombox	13
Bild I.4:	Modularchitektur Steuerungssystem	14
Bild I.5:	Bedienoberfläche Fahrzeuge	16
Bild I.6:	Grundprinzip windgesteuerten Ladens im Feldversuch	18
Bild I.7:	Blockschaltbild des W2V Algorithmus	18
Bild I.8:	Zeitlicher Verlauf Strangströme an MEB	19
Bild II.1	Anzahl privater Fahrzeugnutzer über den Projektzeitraum	22
Bild II.2:	Plug-Ins (durchschnittlich) nach Wochentag	23
Bild II.3:	Gemittelte Plug-Ins je Tag nach Uhrzeit	23
Bild II.4:	Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Montag	24
Bild II.5:	Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Dienstag	24
Bild II.6:	Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Mittwoch	24
Bild II.7:	Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Donnerstag	25
Bild II.8:	Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Freitag	25
Bild II.9:	Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Samstag	25
Bild II.10:	Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Sonntag	26
Bild II.11:	Gesamtenergie nach Plug-In-Zeit.	26
Bild II.12:	Mittlere Energie nach Plug-In-Zeit	27
Bild II.13:	Mittlere Dauer nach Plug-In-Zeit	27
Bild II.14:	Gesamtenergiebedarf je Tag (20.07.09 – 10.09.10)	29
Bild II.15:	Energiebedarf je ASB (gesamter Projektzeitraum)	30
Bild II.16:	Mittlere Energie je Ladevorgang nach Wochentag	30
Bild II.17:	Gesamtenergie nach Dauer des Ladevorgangs Nutzerphase 1	31
Bild II.18:	Mittlere Energie nach Dauer Nutzerphase 1	32
Bild II.19:	Häufigkeit der Ladevorgänge nach Dauer	32
Bild II.20:	Geordnete Darstellung Gesamtenergie je ASB in Phase 1	33
Bild II.21	: Geordnete Darstellung Gesamtenergie je ASB in Phase 2	33
Bild II.22:	Geordnete Darstellung mittlere Energie je ASB und Ladevorgang Phase 1	34
Bild II.23:	Geordnete Darstellung mittlere Energie je ASB und Ladevorgang Phase 2	34
Bild II.24:	Anteil Ladevorgänge mit und ohne Sofortladen je ASB Phase 1	35
Bild II.25	Anteil Ladevorgänge mit und ohne Sofortladen je ASB Phase 2	36
Bild II.26:	Mittlere Ladevorgangsdauer bei Nutzung der Sofortladefunktion nach ASB in Phase 1	37
Bild II.27:	Mittlere Ladevorgangsdauer bei Nutzung der Sofortladefunktion nach ASB in Phase 1	37

---

Bild II.28:	Häufigkeit Sofortladevorgänge nach Uhrzeit der Aktivierung für Phase 1 und Phase 2	37
Bild II.29:	Kumulierte relative Häufigkeit des Korrelationskoeffizienten für Phase 1 und Phase 2	40
Bild A.1.40:	Gesamtenergie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für gesamte Nutzerphase.	45
Bild A.1.41:	Mittlere Energie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für gesamte Nutzerphase	46
Bild A.1.42:	Gesamtenergie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für Nutzerphase 1	47
Bild A.1.43:	Mittlere Energie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für Nutzerphase 1	48
Bild A.1.44:	Gesamtenergie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für Nutzerphase 2	49
Bild A.1.45:	Mittlere Energie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für Nutzerphase 2	50

## Tabellenverzeichnis

Tabelle I.1:	Geräteliste ASB	13
Tabelle I.2:	Symbole Fahrzeugzustand	16
Tabelle II.1:	Vergleich Spitzenlast ungesteuerter und gesteuerter Ladung	39
Tabelle A.1.4:	Einzelne Kommunikationszuverlässigkeit der MEBs	44
Tabelle A.1.5:	Einzelne Kommunikationszuverlässigkeit der ASBs	44
Tabelle A.1.6:	Gesamtenergie nach Plug-In-Zeit je ASB in der Nutzerphase 1	51
Tabelle A.1.7:	Mittlere Energie nach Plug-In-Zeit je ASB in der Nutzerphase 1	53
Tabelle A.1.8:	Gesamtenergie nach Plug-In-Zeit je ASB in der Nutzerphase 2	54
Tabelle A.1.9:	Mittlere Energie nach Plug-In-Zeit je ASB in der Nutzerphase 2	56

## Kurzfassung

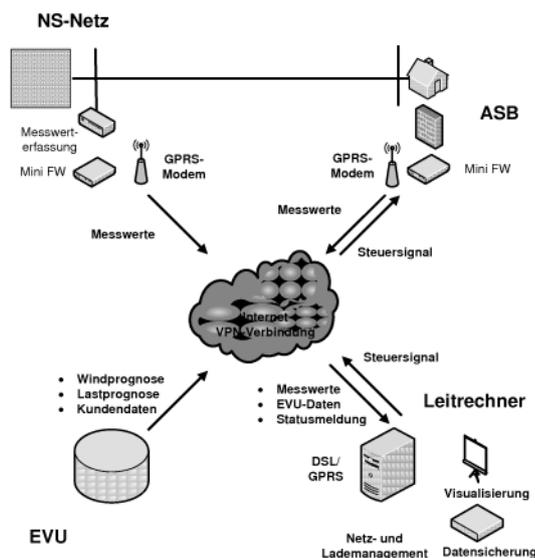
Elektromobilität im Zusammenwirken mit erneuerbaren Energien bietet die Möglichkeit einer nachhaltigen und Emissionsreduzierten Mobilität. Dies kann jedoch nur realisiert werden, wenn Elektrofahrzeuge frühzeitig in das bestehende System der Energieversorgung integriert werden. Im Rahmen des FuE-Programms „Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) nahm die TU Ilmenau am Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen – MINI E 1.0 teil. Ziel des Projekts war der Aufbau und Betrieb einer Infrastruktur, welche eine windinduzierte Ladung der Elektrofahrzeuge ermöglicht. Die TU Ilmenau zeichnete sich dabei verantwortlich für den Aufbau und Betrieb eines geeigneten Leitsystems, welches die hochdynamischen Anforderungen zuverlässig erfüllen kann. Der nachfolgende Schlussbericht schildert die gewonnenen technischen und wissenschaftlichen Ergebnisse. Dabei wird eingehend auf die Entwurf des Leitsystems und dessen Leistungsfähigkeit eingegangen sowie dargestellt, welche wissenschaftlichen Ergebnisse aus den erfassten Messwerten abgeleitet werden können.

## Ziele des Einzelvorhabens:

Mit dem Teilprojekt gesteuertes Laden im Verbundprojekt Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen – MINI E 1.0 sollte demonstriert werden, dass sich E-Autos zur Ausregelung des Windaufkommens nutzen lassen. Hierzu wurde im Rahmen des Projektes das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten (Fahrzeuge, Ladeinfrastruktur, Steuerungssystem, Verteilnetz) für Elektromobilität nachgewiesen. Ein Teil, der Ladeinfrastruktur wurde hierfür für das windorientierte gesteuerte Laden befähigt. Oberste Maxime für das gesteuerte Laden war es, ein Höchstmaß an Mobilität der Elektrofahrzeuge zu gewährleisten, d.h zu definierten Zeitpunkten immer eine Vollladung der Fahrzeuge unabhängig vom Verlauf des Windangebotes zu realisieren. Weiterhin sollte die Basis für eine möglichst flexible Netzsteuerung geschaffen werden, die ausgehend von einfachen Grundfunktionen sukzessive durch höherwertige Funktionen zur Netz- und Ladeoptimierung ergänzt werden konnte.

Der Lösungsansatz umfasste eine allgemeine erweiterbare Plattform für das Netz- und Lademanagement. Da für die Fahrzeuge in der realisierten Ausbausituation keine Kommunikationstechnische Anbindung an das Versorgungsnetz vorgesehen war, erfolgte die Ermittlung des Ladezustandes durch die messtechnische Erfassung des durch die Ladeinfrastruktur gelieferten Stromes. Der Indikator der Vollladung ergab sich dabei aus dem zeitlichen Verlauf des Stromes und war somit erst nach dessen Erreichen gesicherte bekannt. Unberücksichtigt blieben Einzelwirkungsgrade und physikalische Effekte, welche auf die Eigenschaften der Batterie zurückzuführen sind.

Der informationstechnische Lösungsansatz umfasst die leittechnische Erfassung der Leistungsflüsse im 0,4-kV-Strang (Strom und Spannung), sowie an der Ladeinfrastruktur. Diese Information wird der zentralen Einheit für Netz- und Laderegulation zur Verfügung gestellt. Dort erfolgt eine Berechnung des Einsatzmusters der angeschlossenen Elektrofahrzeuge. Die Kommunikation dieser zentralen Einheit zur Ladeinfrastruktur erfolgt mittels GPRS. Um dem Fahrzeugnutzer eine Eingriffsmöglichkeit auf das gesteuerte Laden zu geben wurde zudem ein Prioritätensignal (Sofortladen) vorgesehen, welches aktiviert werden konnte und damit die Funktion des gesteuerten Ladens außer Kraft setzte.



**Bild I.1** Lösungsansatz zur Realisierung des gesteuerten Ladens

# I. Erzielte Technische Ergebnisse

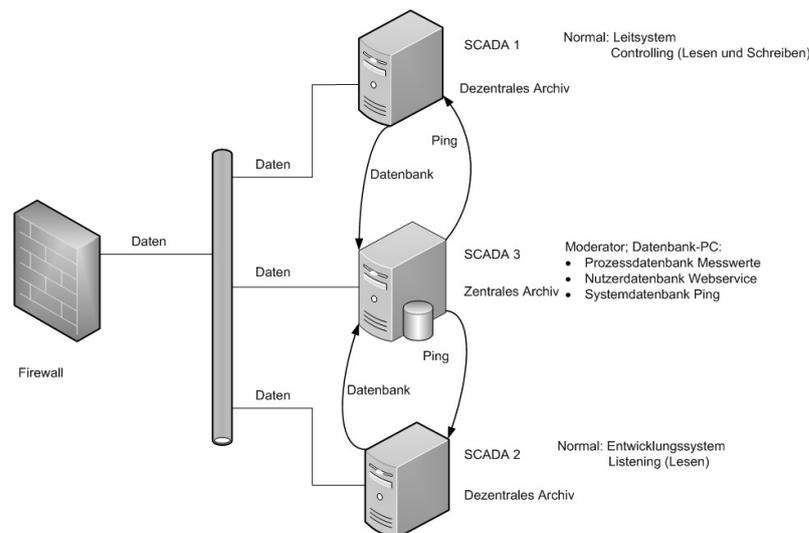
Gesteuertes Laden

TU-Ilmenau Steuerungssystem „Wind2Vehicle“

## 1.1 Architektur Steuerungssystems und Fernwirkkomponenten

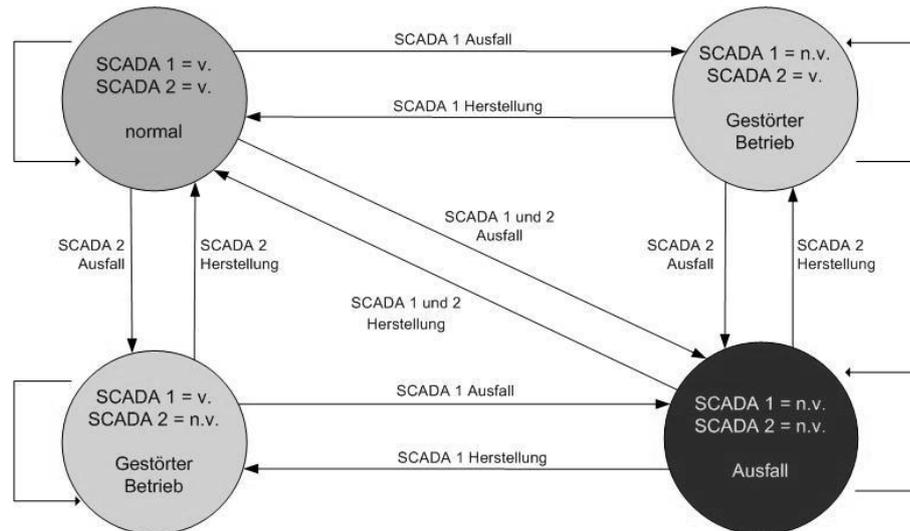
### 1.1.1 Teilredundantes Steuerungssystem und Ausfallwahrscheinlichkeit

Das Konzept des anzuwendenden Steuerungssystems sieht vor dieses teilredundant auszuführen. Ein zentraler Moderator, der zugleich zentrale Datenbank für Messwerte ist, bestimmt fortlaufend, welcher SCADA Prozess steuernd oder zuhörend ist. Weiterhin führt dieses System eine Nutzerdatenbank und ermittelt statistische Daten zur Verfügbarkeit aller Systemkomponenten. Die beiden im Einsatz befindlichen SCADA Systeme sind äquivalent und durch die Moderatorfunktion gegeneinander gesichert. Die Steuerung ist dadurch redundant ausgelegt. Ein jeweilig dezentral geführtes Archiv schützt vor Datenverlust beim Wechsel der Steuerinstanz. Die beschriebene Architektur ist in Bild I.1 dargestellt.



**Bild I.1:** Teilredundantes Steuerungssystem

Die Funktionalität des Moderators ist nicht redundant. Der alleinige Ausfall des Moderators (SCADA 3) berührt nur die ihm zugeordneten Funktionalitäten der Ausführung des Langzeitarchivs und Moderation der SCADA Systeme (SCADA 1 und 2). Die Ausfallzeit des Moderators beschränkt sich auf Systempflege und Wartung. Im Normalzustand sind beide SCADA Systeme verfügbar. Dabei befindet sich SCADA 1 im Controlling-Modus mit Lese- und Schreiboption, SCADA 2 im Listening-Modus verfügt lediglich über Leserechte. Fällt einer der beiden Rechner aus, übernimmt der funktionsfähige Rechner die Controlling-Funktion innerhalb des gestörten Betriebs. Siehe dazu auch Zustandsüberführungen in Bild I.2. Der Moderator und die beiden SCADA Systeme haben eine theoretische Einzelverfügbarkeit von 98,45% (bezogen auf ein Jahr). Damit ergibt sich für das Gesamtsystem eine theoretische Verfügbarkeit von 97,5% (355 Tage/Jahr).



**Bild I.2:** Zustandsdiagramm Funktionsverteilung v. = verfügbar; n.v. = nicht verfügbar

### 1.1.2 Hardware-Eigenschaften

SCADA 1 bis 3 sind baugleich und weisen folgende Hardware-Eigenschaften auf:

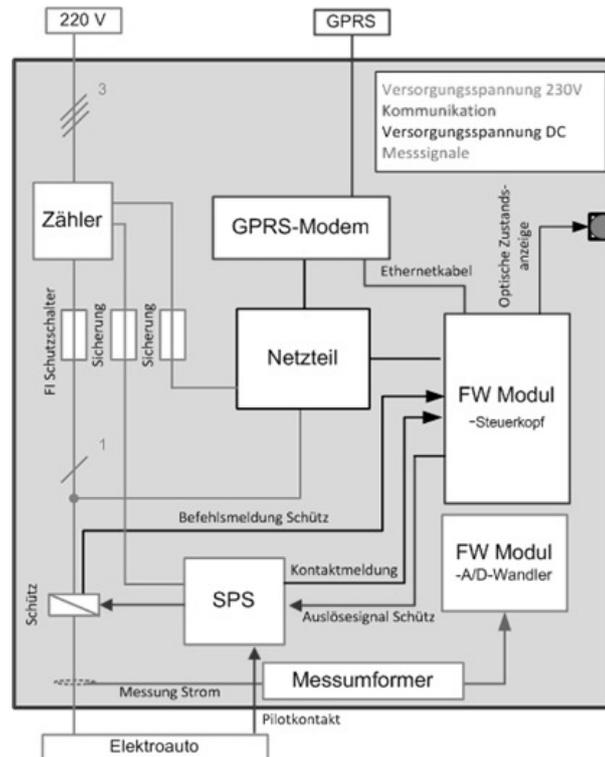
- Prozessor: Intel ® Xenon ® CPU 2x W3503 @ 2,40GHz
- RAM: 4GB
- HDD: RAID 1-System mit jeweils 500GB

### 1.1.3 Engineering Autostrombox Fernwirkkomponente

Die Autostrombox (ASB) ist mit einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) ausgerüstet, die zur Detektion des Anschluss' eines Fahrzeugs ein binäres Signal zur Verfügung stellt. Mittels eines im Strompfad zum Fahrzeug installierten steuerbaren Schützes kann der Strompfad unterbrochen werden. Damit wird der Ladevorgang hart steuerbar. Erfassung des binären Signals und Steuerung des Schütz' sind über ein Fernwirkmodul realisiert. Zusätzlich wird eine optische Statusanzeige bedient. Diese soll dem Benutzer optisch drei Zustände visualisieren:

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| a. Ein:                | Ladeschütz geschlossen |
| b. Aus:                | Ladeschütz offen       |
| c. Ein/Aus (blinkend): | Kommunikationsfehler   |

Die Ankopplung des Fernwirkmoduls an einen installierten Stromwandler erlaubt die Echtzeiterfassung des abgenommenen Stroms und Schätzung der Ladeleistung (siehe Bild I.3).



**Bild I.3:** Architektur der Autostrombox

Mittels GPRS Verbindung kommuniziert das Fernwirkmodul mit den SCADA-Systemen parallel. Dafür ist die Autostrombox mit einem GPRS-Modem erweitert worden, das über Ethernet eine TCP/IP Verbindung bereitstellt, über die IEC60870-5-104er Protokolldaten mit den SCADA Systemen ausgetauscht werden. Physisch kommen die in Tabelle I.1 aufgeführten Geräte zum Einsatz.

**Tabelle I.1:** Geräteliste ASB

Lfd. Nr.	Komponente	Typ	Typische Charakteristik
1	Messumformer	Sineax I 542	0...1 A / 5 A 0...20 mA
2	Fernwirkmodul	Siemens TM 1703 mic CP-6040 mit Modul AI6300	I/O-Modul: Analog input 2 x 2, ±20 mA/±10 mA/±10 V
3	DC Spannungsversorgung (Messumformer, Fernwirkmodul, GPRS-Modem)	Siemens TM 1703 PS-6630	Supply voltage 24–60 VDC EMC+
4	GPRS Modem	TAINY EMOD V2	Eingangsspannung: 12-60 VDC

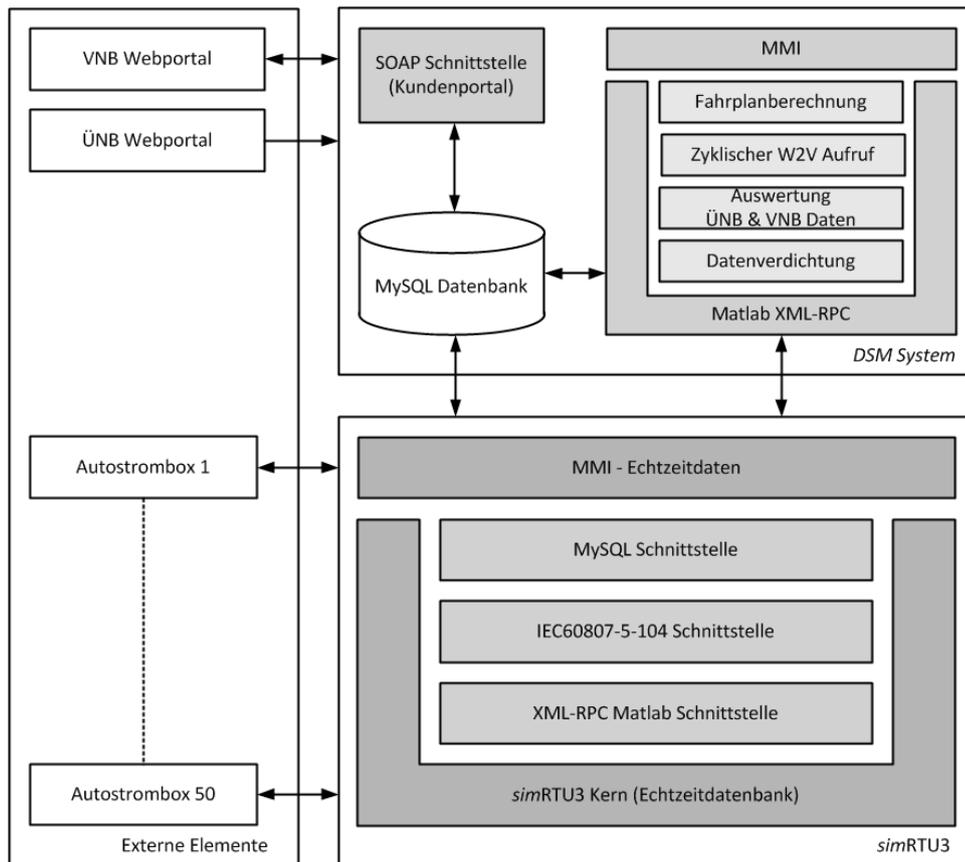
#### 1.1.4 Softwarearchitektur des Steuerungssystems

Auf den SCADA Rechnern (SCADA 1 & 2) und dem Moderator (SCADA 3) werden die folgenden Komponenten benötigt:

- Windows 2008 Server x64,

- JDK 6.0 x64,
- Matlab 2008a oder höher,
- MySQL Datenbank,
- Sun Application Server.

Die für die Steuerung eingesetzten Systeme SCADA 1 & 2 kommunizieren mittels IEC60870-5-104 Protokoll mit den Autostromboxen. Die Bereitstellung der Schnittstelle erfolgt über die Forschungs- und Entwicklungsplattform *simRTU3*. Das Steuerungssystem ist in Matlab/Simulink implementiert. Auf dem Moderator Rechner sind MySQL Datenbank und Sun Application Server installiert. In der MySQL Datenbank sind Langzeitarchive vorgehalten. Im Sun Application Server ist eine SOAP Schnittstelle die den Austausch von Kundendaten mit einem Vattenfall Backend umsetzt (siehe Bild I.4).



**Bild I.4:** Modulararchitektur Steuerungssystem

## 1.2 Schnittstellen

### *simRTU3* – Echtzeitdatenbank

Die im Programmpaket enthaltene Echtzeitdatenbank enthält zur Laufzeit alle Datenpunkte als Objekte im Speicher, die mit Modulen, die auf sie zugreifen bzw. auf Änderung des Wertes warten, verlinkt sind. Die Echtzeitdatenbank dient der zentralen Datenbereitstellung und Sammlung je Steuerungsinstanz.

### *simRTU3* – IEC60870-5-104

Im Programmpaket *simRTU3* sind die einzelnen Autostromboxen in der Datei „config\_iec60870“ zu parametrieren. Das Programmpaket unterstützt die Ausführung beliebig vieler Master und Slave Instanzen der 104er Implementierung. Im gesteuerten Laden wird ausschließlich die Masterfunktionalität genutzt. Eine Mas-

ter104Session ist eine individuelle Fernwirkverbindung, die entkoppelt von allen anderen Master104Sessions lauffähig ist.

#### *simRTU3* – Modul Matlab

In das Programmpaket *simRTU3* ist die Matlab Client Schnittstelle der RemoteMatlab Toolbox integriert worden. In Matlab werden die höheren Berechnungs- und Entscheidungsfunktionen ausgeführt. Die erfassten Daten werden im Kurzzeitarchiv gespeichert.

#### SOAP Webservice zum Vattenfall Webportal

Zwischen Leitsystem und Vattenfall Webportal werden SOAP Nachrichten ausgetauscht mit denen die Funktionen zum „SofortLaden“ und Übertragen der nächsten Abfahrtszeit realisiert werden. Die erfassten Daten werden im Langzeitarchiv gespeichert.

### 1.3 Kommunikationszuverlässigkeit

Die MEBs wurden ab 19.4.2010 schrittweise auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft und integriert. Die durchschnittliche Gesamtzuverlässigkeit beträgt 91,09%. Die durchschnittliche Gesamtzuverlässigkeit der ASBs beträgt 94,60%. Die einzelnen durchschnittlichen Zuverlässigkeit der MEBs und ASBs finden sich im Anhang wieder. Das Betriebstagebuch findet sich dort ebenfalls wieder. Das Datenvolumen ließ sich nicht gesondert erfassen. Die Referenz-ASB, welche zu Entwicklungszwecken um IuK-Energielabor platziert wurde verzeichnete einen Datendurchsatz von ca. 1 GB eingehender und ausgehender Datenpakete auf. Der Datendurchsatz anderer ASBs war nicht verfügbar.

### 1.4 Funktionalitäten des Steuerungssystems

#### 1.4.1 Bedienoberfläche

Die Bedienoberfläche wurde in Matlab implementiert. Sie visualisiert den aktuellen Systemzustand aller am Versuch teilnehmenden Fahrzeuge (siehe Bild I.5). Diese ist mit Leitsystemfunktionen versehen, die je Fahrzeug den aktuellen Zustand visualisieren. Die Übersicht fasst diese mit Hilfe einfacher Symboliken zusammen (siehe Tabelle I.2). Das entworfene Leitsystem dient während der Projektdurchführung als Steuerungszentrale. Damit ist es möglich schnell und effizient auf Fehler bzw. Kundenanfragen zum Fahrzeug oder Ladeinfrastruktur zu reagieren.

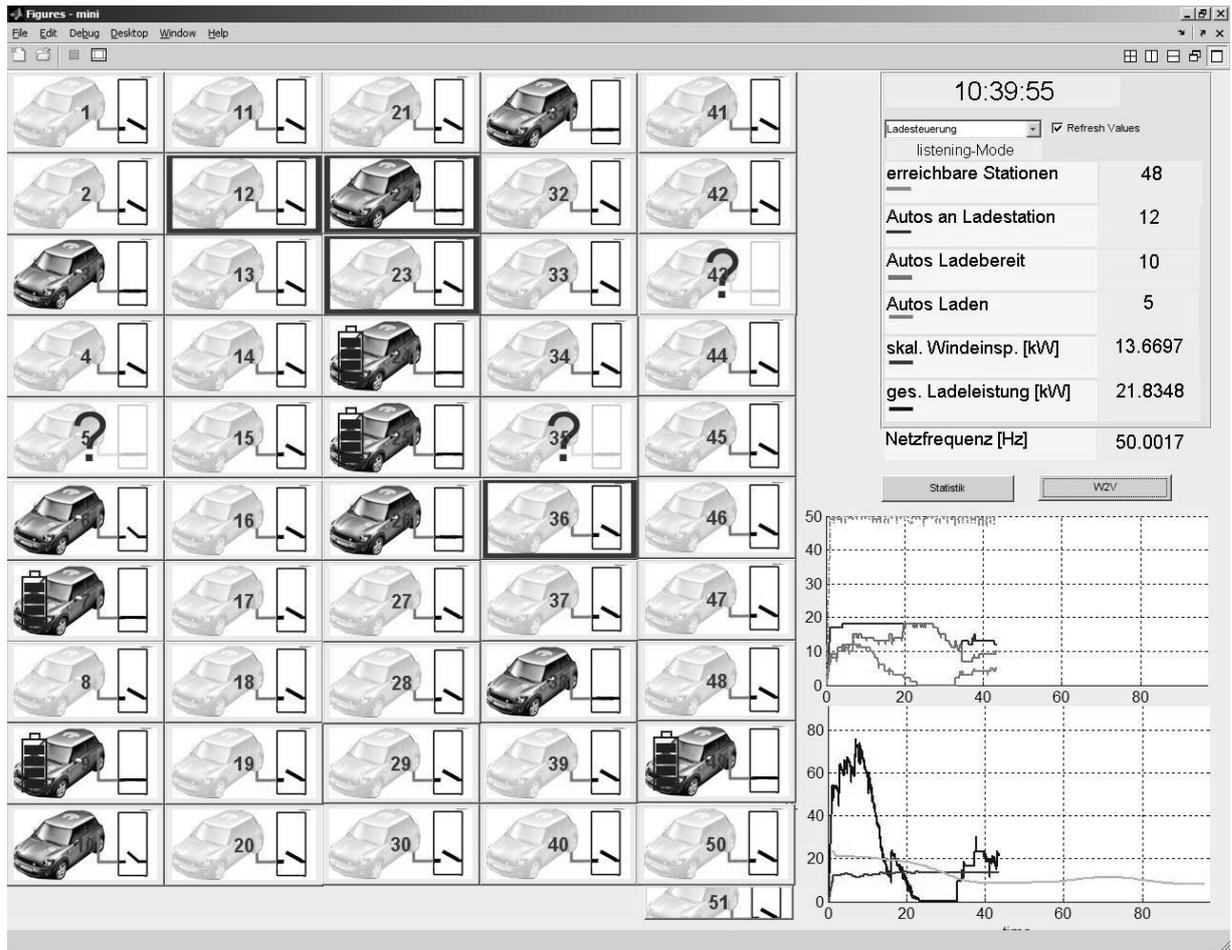
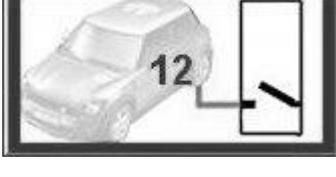


Bild I.5: Bedienoberfläche Fahrzeuge

Tabelle I.2: Symbole Fahrzeugzustand

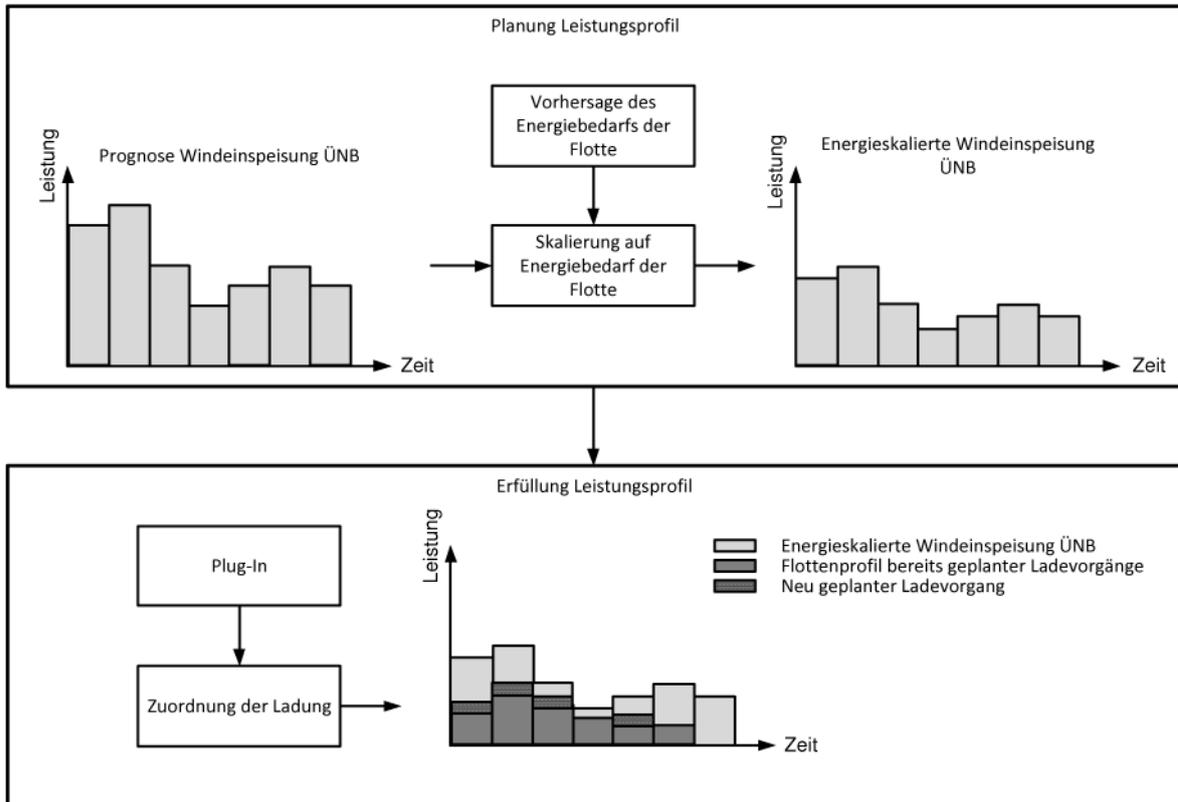
	<p>Fahrzeug 11 befindet sich nicht an der Ladestation.</p>
	<p>Fahrzeug 6 befindet sich an der Ladestation, Schütz ist geöffnet, kein Laden.</p>
	<p>Fahrzeug 26 befindet sich an der Ladestation, Schütz ist geschlossen und Ladung ist freigegeben. Auch wenn das Fahrzeug zu 100% geladen ist bleibt die Freigabe der Ladung aktiv.</p>

	<p>Fahrzeug 15 befindet sich an der Ladestation, Schütz ist geschlossen und Ladung ist freigegeben. Auch wenn das Fahrzeug zu 100% geladen ist bleibt die Freigabe der Ladung aktiv. Das Batteriesymbol gibt Aufschluss über eine aktive Ladung.</p>
	<p>Sofern ein Fahrzeug angeschlossen wird, wird es immer geladen. Unabhängig von der Zielfunktion des gesteuerten Ladens. Dies kann über die Bedienoberfläche je Fahrzeug definiert werden. Schütz geschlossen, Fahrzeug angeschlossen.</p>
	<p>Sofern ein Fahrzeug angeschlossen wird, wird es immer geladen. Unabhängig von der Zielfunktion des gesteuerten Ladens. Schütz ist offen.</p>
	<p>Zu ASB 35 besteht keine aktuelle Verbindung.</p>

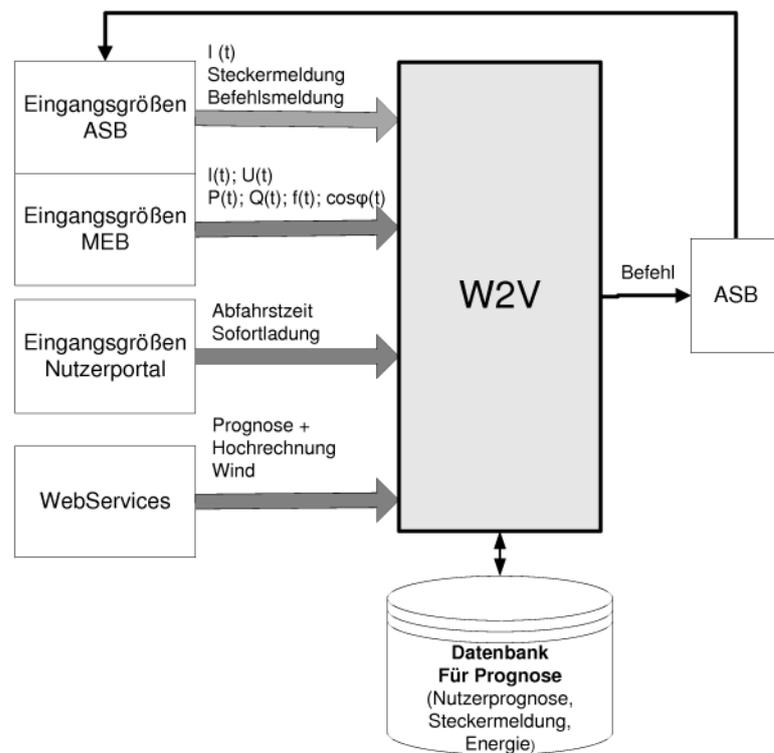
#### 1.4.2 Algorithmus für gesteuerten Ladevorgang

Der Algorithmus für gesteuertes Laden basiert im Wesentlichen auf Windprognosedaten. Aus der Datenbank in der alle über den Projektzeitraum erhobenen Messwerte hinterlegt werden, wird einmal täglich eine Prognose der Verfügbarkeit der Fahrzeuge an der ASB und deren Gesamtenergiebedarf ermittelt. Durch ein im W2V-Algorithmus integrierten Optimierer, ergibt die Prognose der ASB-Nutzung, sowie die Windprognose einen Ladefahrplan für die nächsten 24-Stunden. Dies geschieht in Abhängigkeit der tatsächlichen Verfügbarkeit des Fahrzeuges an der ASB, sowie dem geschätzten Ladezustand des Fahrzeuges. Niedere Ladezustände und Eingangsgrößen des Nutzerportals werden dabei priorisiert behandelt. Die Aktivierung der Sofort-Laden Funktion führt zu einem unverzüglichen Setzen des Ladebefehls für die entsprechende ASB. Bei der Berücksichtigung, der im Nutzerportal eingestellten Abfahrtszeit wird die verbleibende Zeit des Ladevorgangs ermittelt. Im letzten Schritt wird die Grenzwert Einhaltung der Belastung des Niederspannungsnetzes überprüft. Tritt eine Grenzwertverletzung auf, wird der Ladebefehl wieder zurückgesetzt bis der Grenzwert wieder im akzeptablen Bereich ist (Bild I.7).

Mangels verfügbarer a-priori Informationen der Fahrzeuge oder Fahrzeugnutzer über den Ladebedarf, die Plug-In Zeit, Dauer des Ladevorgangs und Ladeleistung der Fahrzeuge dienen historische Daten als Eingangsgrößen, um Verfügbarkeit und Ladebedarf zu schätzen. Das zugrunde liegende Prinzip ist die Maximierung der täglichen Korrelation zwischen Windeinspeisung und Flottenlast. Das allgemeine Grundprinzip ist in Bild I.6 und Bild I.7 dargestellt.



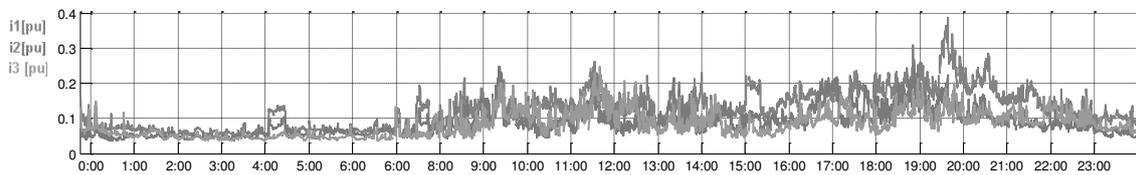
**Bild I.6:** Grundprinzip windgesteuerten Ladens im Feldversuch



**Bild I.7:** Blockschaubild des W2V Algorithmus

### 1.4.3 Integration Netzbelastung in W2V Steuerungssystem

Die Messwerte der MEBs wurden zuverlässig in das W2V Steuerungssystem integriert. Der Einfluss der Ladung der Elektrofahrzeuge auf die Netzlast kann vernachlässigt werden, da sich zumeist eine höhere Belastung aus unbekanntem elektrischen Verbrauchern ergeben hat. Siehe dazu Bild I.8. In dieser Abbildung ist der zeitliche Verlauf des Strangstromes, gemessen von einer MEB, dargestellt. Die Messung identifiziert den Anschluss der ASB an Phase L1. Während der Schwachlast (22:00 – 6:00 Uhr) ist der Beitrag des ASB-Ladestromes zur Belastung der Phase erkennbar, jedoch weit unterhalb des Bemessungsstroms. Während der Starklastphase (6:00 bis 22:00) lassen sich keine Ladevorgänge mehr aus dem Verlauf des Strangstromes ableiten. Eine Reduzierung der Betriebsmittelbelastung durch Herabsenken des zulässigen thermischen Grenzstromes wurde nicht vorgenommen, da aufgrund fehlender Lastprognosen für die erfasste Messstelle keine Vollladung der Fahrzeuge mehr gewährleistet werden konnte. Integriert in das W2V Steuerungssystem wurde eine Grenzwertüberwachung, welche bei Erreichen des tatsächlichen thermischen Grenzstromes eine Unterbrechung der Ladung veranlasst hätte. Dieser Fall trat nie ein.



**Bild I.8:** Zeitlicher Verlauf Strangströme an MEB

## II. Erzielte Wissenschaftliche Ergebnisse

Gesteuertes Laden

TU-Ilmenau Steuerungssystem „Wind2Vehicle“

## 2.1 Kurzfassung zu den wissenschaftlichen Ergebnissen

- In Phase 1 wurden täglich durchschnittlich 5,2 Kilowattstunden je verfügbare ASB geladen, in Phase 2 waren es 6,3 Kilowattstunden.
- Täglich wurden durchschnittlich 12,3 Ladevorgänge in Phase 1 und Ladevorgänge 13,7 in Phase 2 registriert.
- Ein durchschnittlicher Ladevorgang benötigte in Phase 1 14,6 kWh und in Phase 2 13,3 kWh
- In beiden Phasen erfolgten rund 30 % der Anschlüsse an die ASB in der Zeit von 20 Uhr bis 24 Uhr.
- Ein durchschnittlicher Ladevorgang dauerte 12 Stunden und 43 Minuten in Phase 1 und 11 Stunden und 49 Minuten in Phase 2
- 30 % der Ladevorgänge hatten eine Dauer von 8-12 Stunden, 12 % waren Kurzladungen (0-2 Stunden).
- Das Ladeverhalten an Werktagen unterscheidet sich deutlich von Wochenendtagen. An einem durchschnittlichen Tag am Wochenende fanden 47 % weniger Ladevorgänge als einem durchschnittlichen Werktag statt. Dabei wurden rund 15 % mehr Energie geladen. Der Dienstag zeigte sich als der Wochentag mit der höchsten Ladeaktivität.
- Die Sofortladenfunktion wurde nur selten in Anspruch genommen. Im gesamten Versuchszeitraum waren nur 5,69 % aller Ladevorgänge Sofortladungen. In Phase 1 waren es 8,19 % und in Phase 2 3,67%.
- Die Korrelation aus Windeinspeisung und Last der Elektrofahrzeuge je Tag betrug an 25% aller Tage mehr als 0,5
- Die Prognostizierbarkeit der täglichen Energiemenge durch die untersuchte Fahrzeugflotte ist unter den Projektvoraussetzungen gering

## 2.2 Erhebungsdetails

Von jeder installierten ASB wurde während deren Einsatzphase der Strangstrom in Ampere, die Steckermeldung als Digitalwert und die Befehlsmeldung als Digitalwert erhoben und als Zeitreihe abgespeichert. Zusätzlich wurden über das Nutzerportal der Zustand der Sofortladenfunktion, sowie die nächste gültige Abfahrzeit ermittelt und ebenfalls zeitlich archiviert.

## 2.3 Verfügbarkeit der Fahrzeuge für gesteuertes Laden

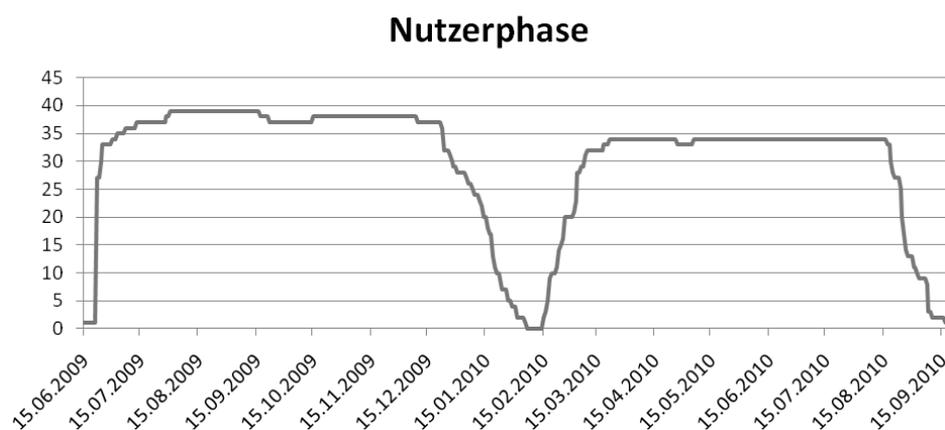
Aussagen zum durchschnittlichen Gebrauchsverhalten an der ASB lassen sich nur treffen wenn bekannt ist wie viele ASBs gleichzeitig am gesteuerten teilnehmen. Der Zeitraum der Teilnahme einer einzelnen ASB definiert sich aus Verfügbarkeit eines Fahrzeuges sowie der Verfügbarkeit der ASB. Bei Nichtvorliegen der Kenntnis über die zeitliche Verfügbarkeit einer oder beider Komponenten, fällt die ASB-Nummer aus der Betrachtung für Durchschnittswerte mit Zeitbezug der Flotte heraus. So ergibt sich für Phase 2 eine Flottengröße von 34 ASBs während jedoch 39 ASBs installiert waren. Bei fünf ASBs ist der Zeitraum der Verfügbarkeit von Fahrzeug oder ASB nicht eindeutig, daher werden die ASB-Nummern in Flottenbetrachtungen mit Zeitbezug nicht berücksichtigt.

### 2.3.1 Gültigkeitsbereich

Nachfolgend soll die Verfügbarkeit der Elektrofahrzeugflotte an den ASBs während der Projektlaufzeit dargestellt werden. Eine Nutzerphase definiert sich durch die Schnittmenge der Installationszeit der ASB und der Nutzungszeit der privatgenutzten Fahrzeuge. Die Nutzerphasen wurden in zwei Zeiträume eingeteilt:

- Phase 1: vom 20.07.2009 bis 31.01.2010,
- Phase 2: vom 15.02.2010 bis 10.09.2010.

Unter Berücksichtigung der verfügbaren Anzahl der Nutzer im Zeitraum vom 15.06.2009 bis 17.09.2010 ergibt sich in Bild II.1, der zeitliche Verlauf der Anzahl der am gesteuerten Laden teilnehmenden Fahrzeugnutzer



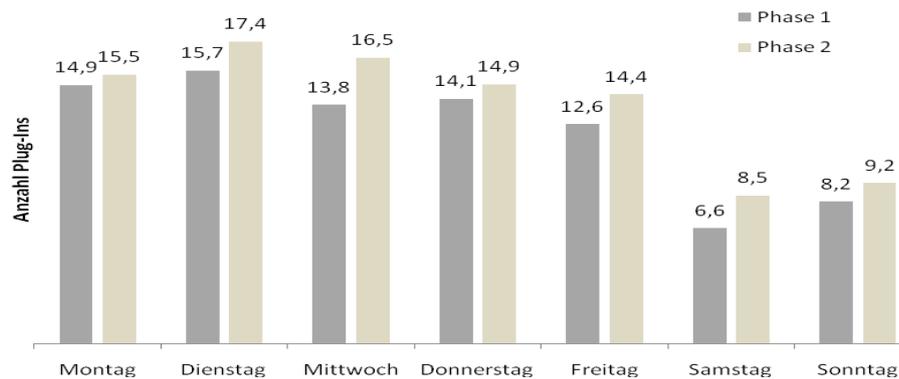
**Bild II.1** Anzahl privater Fahrzeugnutzer über den Projekthorizont

In der nachfolgenden Auswertung der Ergebnisse basieren normierte Werte stets auf der jeweiligen Nutzeranzahl. Für gültige Messwerte muss die ASB für das gesteuerte Laden verfügbar sein und die Ladevorgänge in den Privathaushalten stattfinden.

### 2.3.2 Nutzung der ASBs

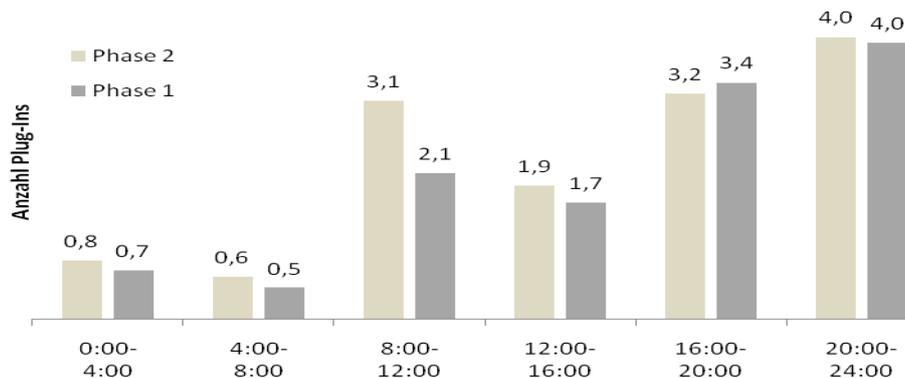
Der Beginn des Ladevorganges wird durch den Anschluss der Fahrzeuge an die ASB initiiert. Der Zeitpunkt wird nachfolgend als Plug-In bezeichnet (Anschlusszeit). Der Ladevorgang wird durch unterbrechen der Verbindung zwischen ASB und Fahrzeug beendet.

Bild II.2 zeigt die durchschnittliche wochentägliche Anzahl registrierter Plug-Ins unterschieden nach Phase 1 und 2. Insgesamt verzeichnet Phase 2 (durchschnittlich 13,7 Plug-Ins je Tag) eine häufigere Nutzung der ASB als Phase 1 (durchschnittlich 12,3 Plug-Ins je Tag). Innerhalb beider Nutzerphasen ist ein deutlicher Unterschied zwischen Werktagen und Wochenendtagen ersichtlich. In beiden Nutzerphasen stellte sich der Dienstag als nutzungsstärkster Wochentag für den Anschluss an die ASB heraus.



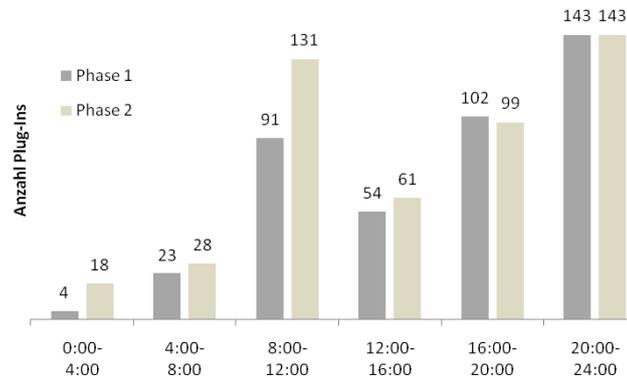
**Bild II.2:** Plug-Ins (durchschnittlich) nach Wochentag

In Bild II.3 ist die stündliche Verteilung der Plug-In-Zeiten für beide Nutzerphasen dargestellt. Es wurde eine Klassierung von 4-Stunden-Intervallen gewählt. Es ist eine Häufung der Plug-Ins in den Abendstunden zu verzeichnen. Im Durchschnitt wurden zwischen 20:00 Uhr und 24:00 Uhr ca. vier Fahrzeuge an die ASB angeschlossen. Im Zeitraum zwischen 16:00 Uhr und 20:00 waren ca. drei Fahrzeuge. Ein offensichtlicher Unterschied zwischen Phase 1 und Phase 2 besteht dabei nicht. Der Zeitraum zwischen 8:00 Uhr und 12:00 lässt jedoch einen sichtbaren Unterschied zwischen Phase 1 und Phase 2 erkennen. Während in Phase 1 durchschnittlich ca. zwei Fahrzeuge angeschlossen wurden, so waren es in Phase 2 bereits drei. Die Zeitintervalle 0:00Uhr-4:00Uhr, 4:00Uhr-8:00Uhr, sowie 12:00Uhr-16:00Uhr verhalten sich in beiden Phasen gleich und verzeichnen eine geringe Häufung des Anschlusses an die ASB.

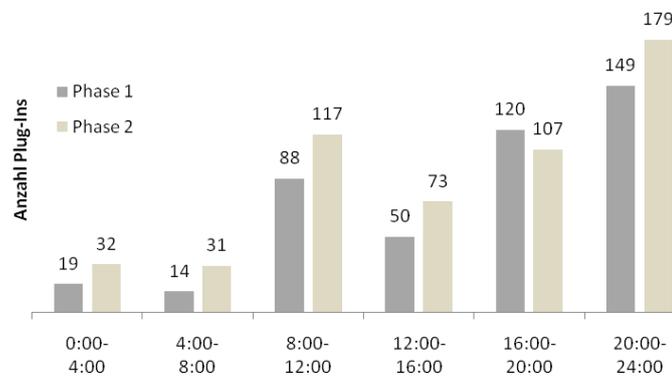


**Bild II.3:** Gemittelte Plug-Ins je Tag nach Uhrzeit

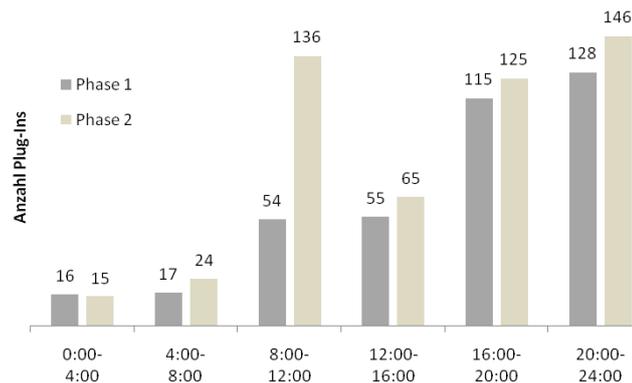
Nachfolgend werden die absoluten Häufigkeiten der Plug-Ins für jeden Wochentag einzeln dargestellt.



**Bild II.4:** Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Montag



**Bild II.5:** Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Dienstag



**Bild II.6:** Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Mittwoch

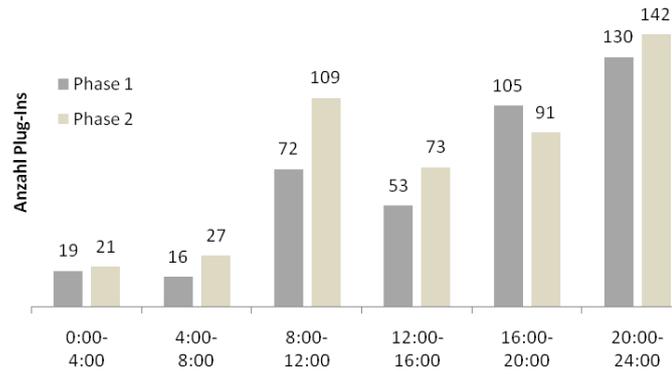


Bild II.7: Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Donnerstag

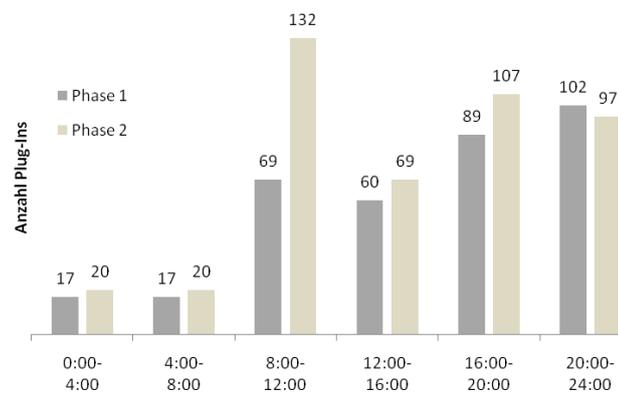


Bild II.8: Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Freitag

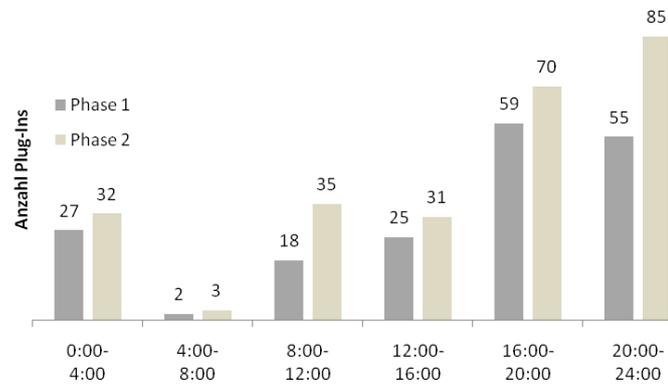
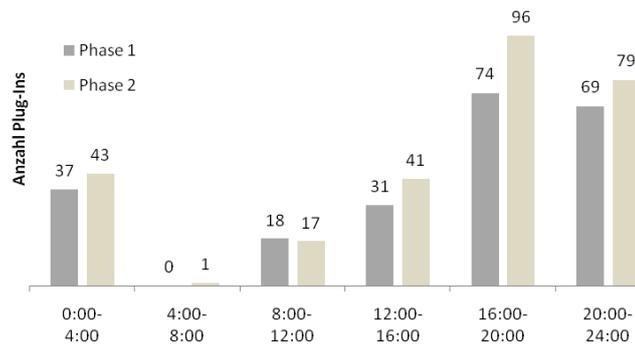


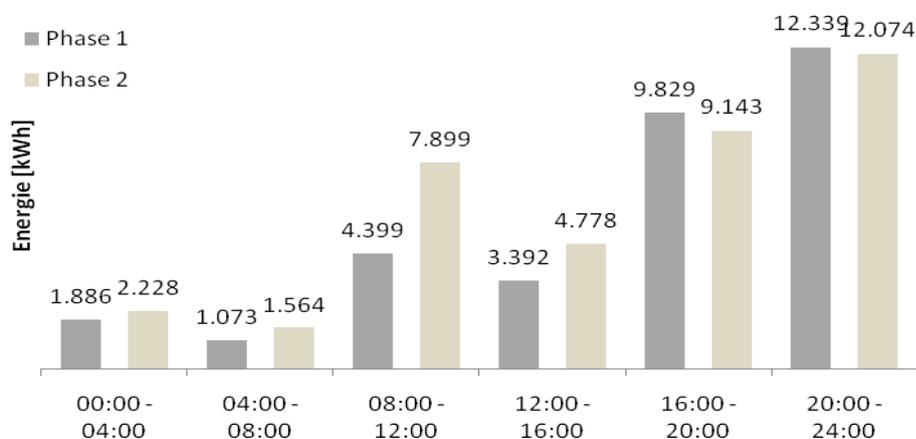
Bild II.9: Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Samstag



**Bild II.10:**Häufigkeiten Plug-In-Zeiten Sonntag

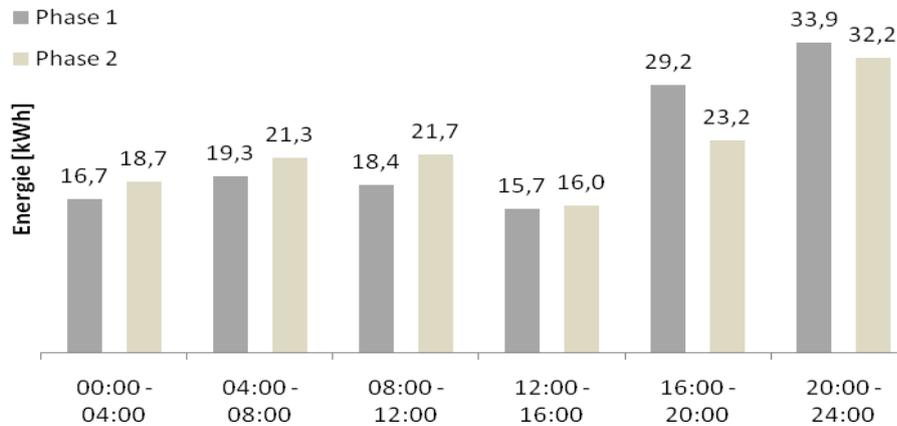
Die dargestellten Häufigkeiten der Plug-Ins für Dienstag und Donnerstag unterscheiden sich kaum vom dem in Bild II.3 dargestellten gemitteltem Verlauf. Im Zeitintervall 0:00Uhr-4:00Uhr wurden an Montagen die wenigsten Ladevorgänge gestartet. Nur etwa jeder vierzigste, an einem Montag registrierte Plug-In liegt in diesem Zeitintervall. Die Häufigkeit der Plug-Ins innerhalb der übrigen Intervalle ist durchschnittlich. Offensichtliche Unterschiede zwischen Phase 1 und Phase 2 bestehen nicht. Im Zeitintervall 8:00Uhr-12:00Uhr wurden am Mittwoch eine überdurchschnittliche Häufung der Plug-Ins in Phase 2 festgestellt. Die Häufigkeit der Plug-Ins innerhalb der übrigen Intervalle ist ebenfalls als durchschnittlich zu bewerten. Im Zeitintervall 0:00Uhr-4:00Uhr wurden an Samstagen und Sonntagen überdurchschnittliche häufige Plug-Ins registriert. Die Häufigkeit der Plug-Ins innerhalb der übrigen Intervalle ist als durchschnittlich zu bewerten. Offensichtliche Unterschiede zwischen Phase 1 und Phase 2 bestehen nicht.

Die während der Ladevorgänge umgesetzte Energiemenge soll nachfolgend in Abhängigkeit der Plug-Ins dargestellt werden. Die ist vor allem für die Bewertung der im elektrischen Energieversorgungsnetz zu erwarten Lastspitzen von Bedeutung. In Bild II.11 ist der summierte Energiebedarf der Fahrzeugflotte in Abhängigkeit der klassierten Plug-In Zeiten dargestellt. Wie vorhergehend beschrieben, häufen sich die Plug-Ins in den Zeiträumen 16:00-20:00Uhr und 20:00-24:00Uhr, somit ergibt sich in dieser Zeit eine hoher Energiebedarf Rund 43.400 kWh von insgesamt 70.600 kWh wurden im letzten Tagesdrittel aufgeladen (entspricht 61,4 %).



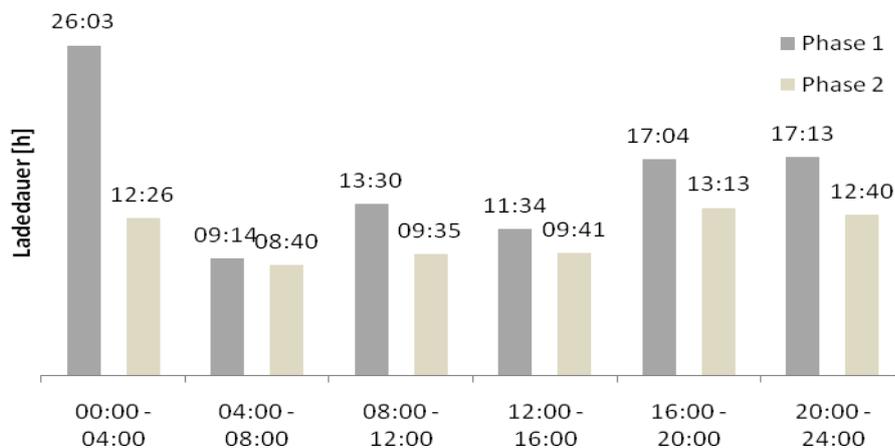
**Bild II.11:**Gesamtenergie nach Plug-In-Zeit.

Ein Unterschied zwischen Phase 1 und Phase 2 besteht bei diesen Klassen nicht. Die aufgenommene Energiemenge verhält sich damit annähernd gleich zur Häufigkeit der Plug-Ins. Um daher die absolute Häufigkeit als Einflussfaktor zu eliminieren, erfolgt in Bild II.12 die Darstellung der Energiemenge bezogen auf die Anzahl der Plug-Ins als mittlerer Energiemenge nach Plug-In-Zeit.



**Bild II.12:** Mittlere Energie nach Plug-In-Zeit

Dabei ergibt sich der höchste mittlere Energiebedarf in der Zeitklasse 20:00 bis 24:00Uhr, sowohl für Phase 1 (33,9 kWh) als auch für Phase 2 (32,2 kWh). In der Zeitklasse 16:00-20:00Uhr liegt der Wert von Phase 1 (29,2 kWh) deutlich höher als in Phase 2 (23,2 kWh). Innerhalb der übrigen Zeitklassen ist ein geringfügig höherer Energiebedarf in Phase 2 zu verzeichnen. Es leitet sich ein generell hoher Energiebedarf der Fahrzeuge während der Nachtstunden ab. Auftretende Plug-Ins vor 16:00Uhr sind allgemein mit einem deutlich geringeren Energiebedarf verbunden. Zwischen 12:00 und 16:00Uhr liegt der Energiebedarf teilweise unter 50% des Wertes aus der Zeit zwischen 20:00 und 24:00Uhr. Für eine gesteuerte Ladung von Elektrofahrzeugen ist neben der Kenntnis der Plug-Ins und des Energiebedarf während eines Ladevorgangs ebenfalls die Dauer des Ladevorgangs von Bedeutung. Je länger der Ladevorgang, also die Standzeit an der Ladeinfrastruktur, desto höher der Freiheitsgrad der Steuerung. Bild II.13 zeigt die mittlere Dauer des Ladevorgangs in Abhängigkeit der klassierten Plug-In-Zeit.



**Bild II.13:** Mittlere Dauer nach Plug-In-Zeit

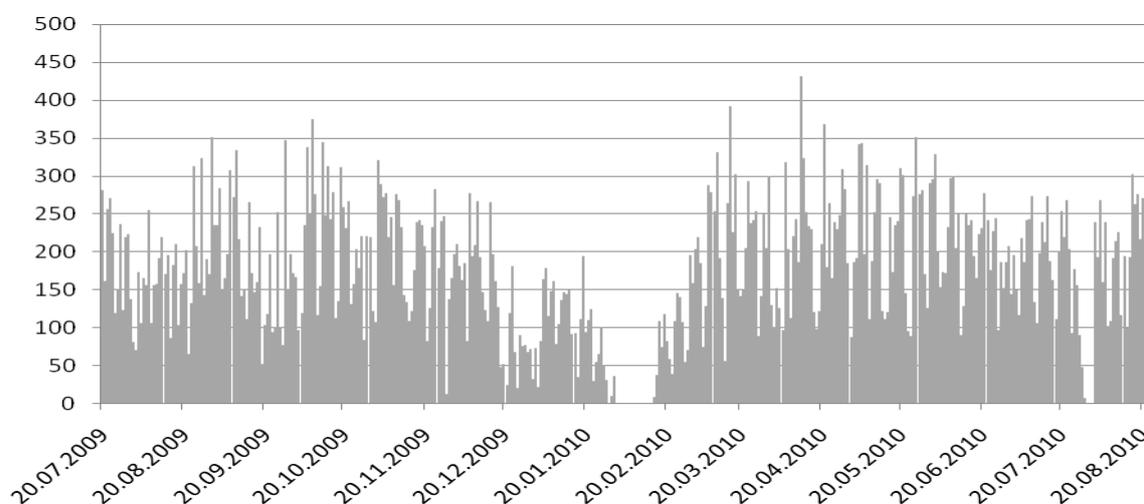
Die längste Dauer des Ladevorgangs zeigt sich bei einem Plug-In in der Klasse 0:00-04:00 für Phase 1. Die mittlere Standzeit betrug hier ca. 26h. Dies kann aufgrund der starken Abweichung zu Phase 2 und einer geringen absoluten Anzahl an Plug-Ins in der dieser Klasse als statisch nicht relevant angesehen werden. Die mittlere Dauer der Ladevorgänge in Phase 1 liegt in jeder Klasse oberhalb der Dauer der Ladevorgänge in Phase 2. Feststellen lässt sich, dass eine Plug-In Zeit in den Klassen 16:00-20:00 und 20:00-24:00 zu einer Ladedauer zwischen 13h und 17h führt. Nennenswert ist die Klasse 08:00-12.00Uhr, dort lag die absolute Häufigkeit der Plug-Ins deutlich über der Häufigkeit aus Phase 1 jedoch ist wie in Bild II.13 ersichtlich, gleichzeitig eine geringere Dauer des Ladevorgangs gegeben. In Phase 1 betrug die mittlere Anzahl Plug-Ins 2 und die mittlere Dauer des Ladevorgangs 13,5h während es in Phase 2 eine mittlere Anzahl von drei Plug-Ins und eine mittlere Dauer von 9,5h gab. Insgesamt erscheinen die mittleren Dauern der Ladevorgänge jedoch sehr hoch, was generell auf eine sporadische Nutzung des Fahrzeuges und damit verbundene hohe Standzeiten hinweist.

## 2.4 Energiebedarf

Die Erfassung des Energiebedarfs der Fahrzeuge erfolgte aufgrund der Erfassung des Strangstromes an der ASB. Die Netzspannung und der Leistungsfaktor wurden dabei als konstant angenommen. Der dadurch auftretende Messfehler kann Abschnitt 2.6 entnommen werden.

### 2.4.1 Gesamtenergiebedarf

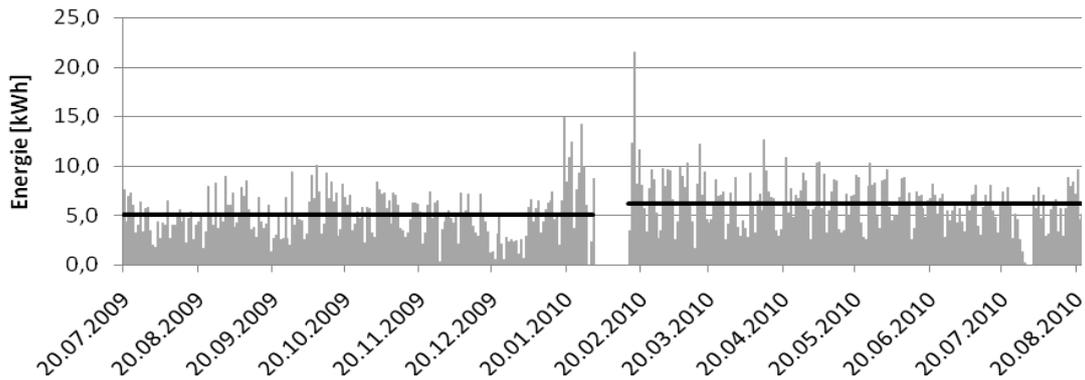
Der Gesamtenergiebedarf ist der summierte Energiebedarf der Fahrzeugflotte während der Teilnahme am gesteuerten Laden. Der Gesamtenergiebedarf in der ersten Nutzerphase betrug am Tag durchschnittlich 169,6 kWh (normiert: 5,2 kWh je ASB und Tag), in der zweiten Nutzerphase 183,9 kWh (normiert 6,3 kWh je ASB und Tag). Bild II.14 zeigt den Gesamtenergiebedarf täglich im Zeitverlauf über die gesamte Versuchsphase.



**Bild II.14:** Gesamtenergiebedarf je Tag (20.07.09 – 10.09.10)

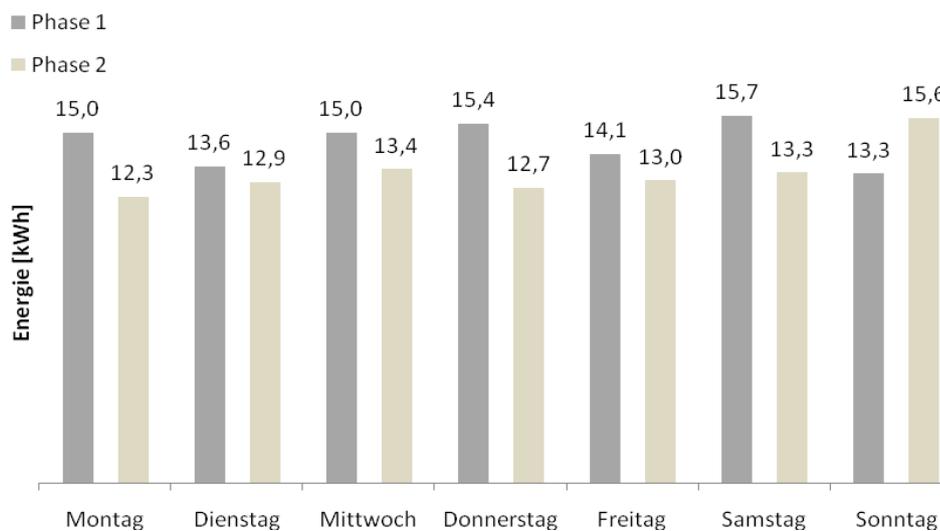
Besonders auffällig an der Abbildung ist die hohe Fluktuation des täglichen Energiebedarfs der Flotte über den gesamten Erhebungszeitraum. Für den Zeitraum zwischen dem 20.12.09 und 20.02.10 ging der tägliche Energiebedarf aufgrund des Wechsels der Nutzer zurück und erreichte schlussendlich einen Wert von 0 kWh. In Bild II.15 ist daher die tägliche Energiemenge auf die Anzahl der am gesteuerten Laden teilnehmenden ASBs normiert. Damit kann der Einfluss wechselnder Nutzer auf den Energiebedarf gefiltert werden und es lassen sich nutzerwechselbedingte Änderungen im Energiebedarf erkennen.

Eingetragen in Bild II.15 ist zusätzlich der mittlere Energiebedarf je ASB für Phase 1 und Phase 2. Jahreszeitlich bedingte Änderungen des Energiebedarfes lassen sich nicht feststellen. Starke Ausschläge zum Ende von Phase 1 und Beginn Phase 2 lassen sich mit einer geringen Anzahl teilnehmender Nutzer erklären.



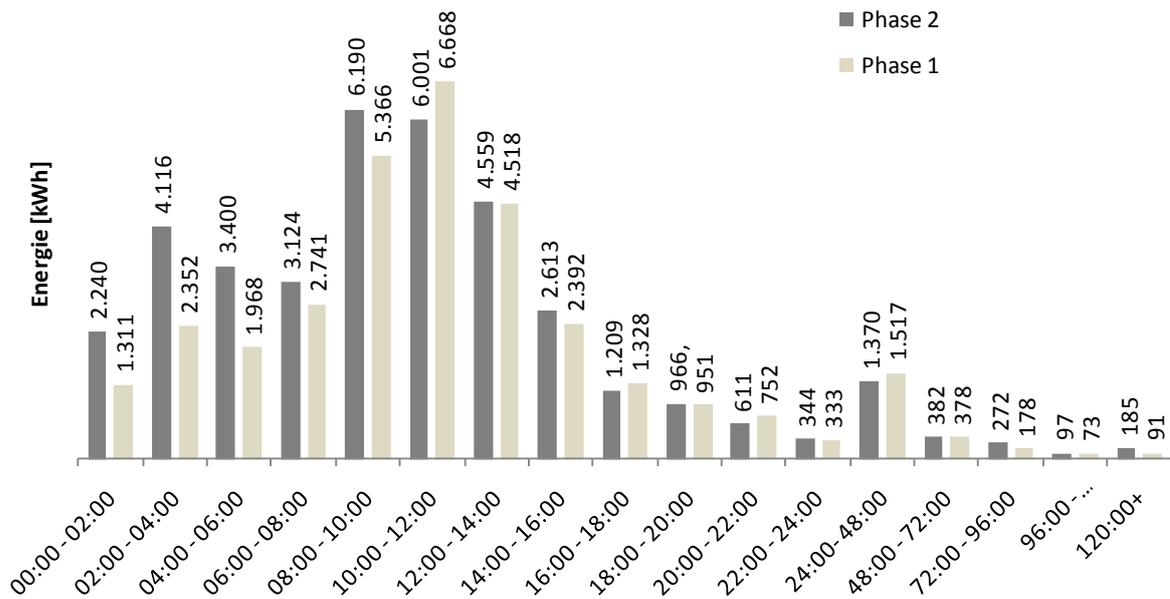
**Bild II.15:** Energiebedarf je ASB (gesamter Projektzeitraum)

Eine unterwöchige Darstellung des mittleren Energiebedarfs je Ladevorgang ist aus Bild II.16 ersichtlich. Obwohl die Anzahl der Ladevorgänge über die gesamte Versuchsphase während der Werktage größer war als an Wochenendtagen, unterscheiden sich die dabei aufgenommen mittleren Energiemengen kaum (Mittelwert Phase 1: 14,6 kWh, Mittelwert Phase 2: 13,3 kWh). Unter Berücksichtigung des mittleren Fehlers von 10,6% bei der Ermittlung der Energiemenge eines Ladevorgangs lässt sich im Energiebedarf je ASB kein offensichtlicher Unterschied zwischen den Wochentagen feststellen.



**Bild II.16:** Mittlere Energie je Ladevorgang nach Wochentag

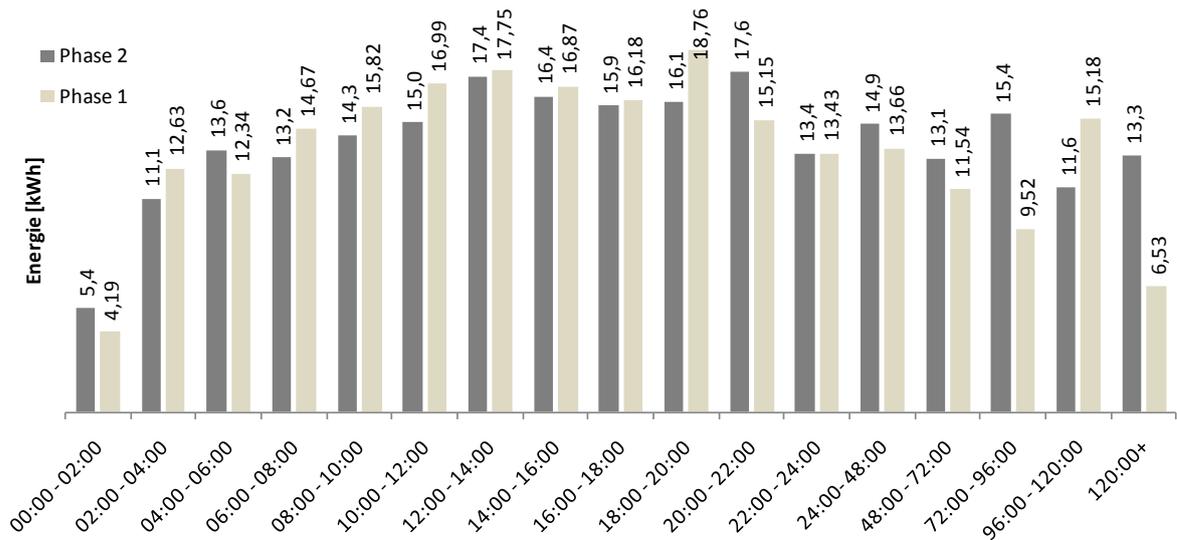
In Bild II.17 ist die durch die ASBs aufgenommene Energiemenge in Abhängigkeit der Dauer der Ladevorgänge für Phase 1 und Phase 2 dargestellt. Dabei wurde wieder eine Klassierung der Zeiten vorgenommen. Dauer des Ladevorgangs < 1 Tag wurden in 2-Stunden-Intervallen zusammengefasst, darüber hinaus gehende Standzeiten wurden addiert. Ersichtlich ist, dass die größten Energiemengen während Dauer des Ladevorgangs von 8-10h (5.366 kWh) und 10-12h (6.668 kWh) in Phase 1 umgesetzt wurden. In Phase 2 liegen die Zeiten der höchsten Energiezufuhr in den Intervallen von 8-10h (6.190 kWh) und 10-12h (6.001 kWh). In den übrigen Klassen ergeben sich für beide Phasen deutlich geringere Werte. Die Verteilung erklärt sich über die absoluten Häufigkeiten der für die jeweiligen Ladedauer-Klassen gezählten Ladevorgänge und den Durchschnittswerten der dabei geladenen Energiemenge.



**Bild II.17:** Gesamtenergie nach Dauer des Ladevorgangs Nutzerphase 1

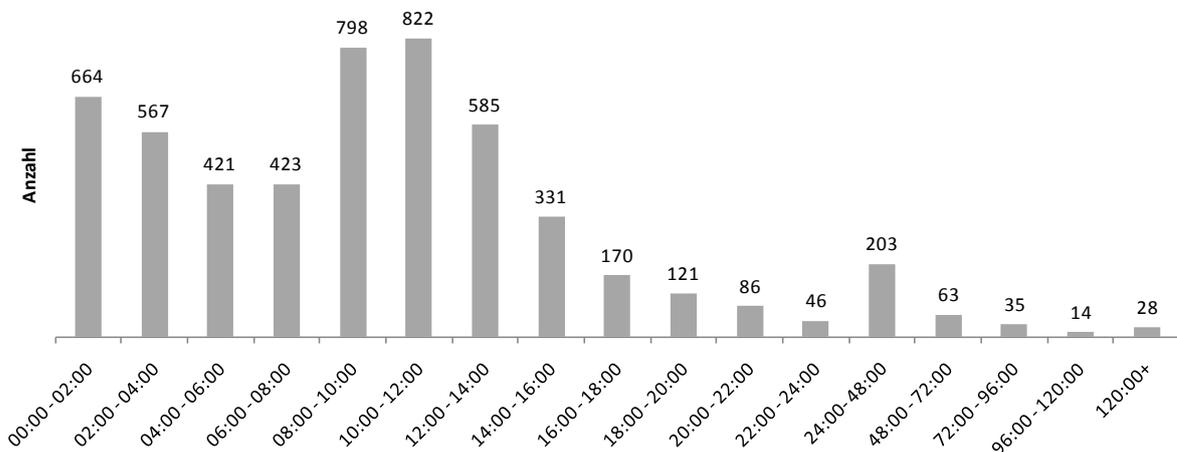
Ein Unterschied zwischen beiden Phasen besteht vor allem bei den Klassen von Ladevorgangsdauern kleiner 8-Stunden. In Phase 2 wurde hierbei eine deutlich höhere Menge an Energie zugeführt. Das Nutzungsverhalten der ASBs unterscheidet sich damit hinsichtlich kürzerer Ladevorgänge deutlich von Phase 1. Bei höherer Ladevorgangsdauer kann es als gleichartig angesehen werden.

Die Darstellung der mittleren Energiemenge je Ladevorgang ist Bild II.18 für Phase 1 und Phase 2 ersichtlich. Dabei fällt auf das Ladevorgänge mit Dauern von 18:00-20:00-Stunden in beiden Phasen zur höchsten Energiezufuhr je Ladevorgang führten (18,8 kWh/Ladevorgang 17,6 kWh/Ladevorgang). Die geringe Anzahl an Ladevorgängen und damit verbunden geringen Gesamtenergie während dieser Klasse der Ladevorgangsdauer, lassen kaum verallgemeinerte Schlussfolgerungen zu. Die bereits beschriebene insgesamt geringere Energiemenge je Ladevorgang in Phase 2 zeigt sich auch in der Verteilung der Energiezufuhr je Dauer des Ladevorgangs. Besonders Ladevorgänge mit Dauern kleiner 12 Stunden weisen eine geringe Energiezufuhr je Ladevorgang auf. Ladevorgänge mit Dauern kleiner 2 Stunden weisen in beiden Phasen eine deutliche geringer Energiezufuhr auf. Da die Klasse nicht weiter unterteilt wurde kann nicht eindeutig bestimmt werden ob der Ladevorgang vor Erreichen der Vollladung abgebrochen wurde, oder ob es sich dabei tatsächlich um ein systematisches Phänomen handelt.



**Bild II.18:** Mittlere Energie nach Dauer Nutzerphase 1

Im Bild II.19 sind die absoluten Häufigkeiten der nach ihrer zeitlichen Dauer klassierten Ladevorgänge aufgeführt. Es dominieren Dauern der Ladevorgänge von 8-14 Stunden Dauer. Dabei sind 2205 von 5379 insgesamt registrierten Ladevorgängen in diesem Bereich anfällig geworden, das entspricht 41%. Weiterhin dauerten 1231 Ladevorgänge weniger als 4-Stunden, das entspricht 23% der gesamten Ladevorgänge. Unter Berücksichtigung der Plug-In Zeit lässt sich damit eine häufige Ladung in der Zeiten zwischen 16:00 und 8:00 Uhr ableiten.

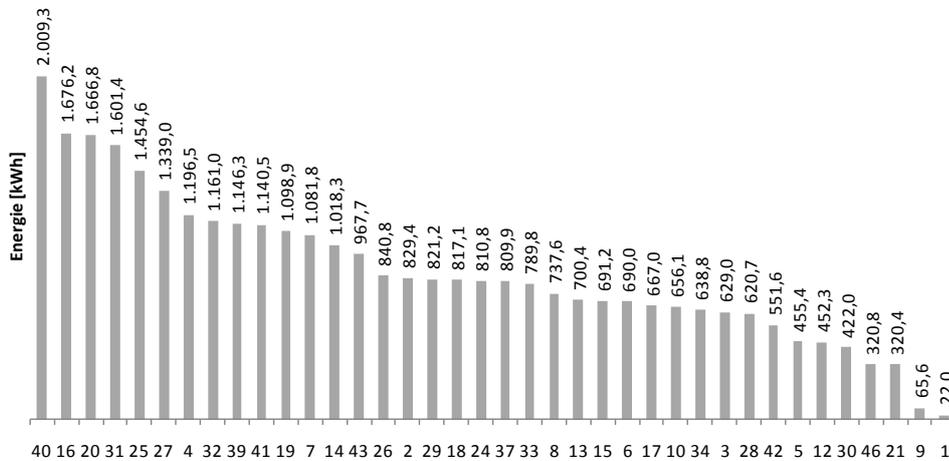


**Bild II.19:** Häufigkeit der Ladevorgänge nach Dauer

#### 2.4.2 Energiebedarf je ASB

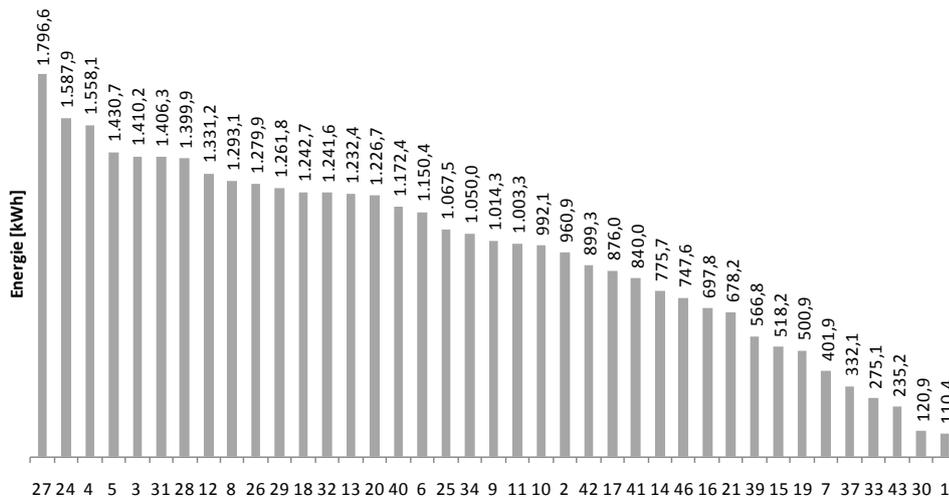
Bisher wurde nur das Verhalten der Fahrzeugflotte betrachtet. Von Interesse ist jedoch ob die die Fahrzeugflotte ein homogenes Verhalten hat oder ob einzelne Nutzungen der ASB ein stark abweichendes Verhalten aufweisen. Eine vollständige Auflistung bezüglich der Gesamtenergie und der mittleren Energie nach Ladedauer für Phase 1 und Phase 2 sowie die Matrizen für die Gesamt- sowie mittlere Energie nach Plug-In-Zeit je ASB für Nutzerphase 1 und 2 sind im Anhang zu finden. In Bild II.20 ist die geordnete Darstellung der Gesamtenergie je ASB dargestellt. ASB 40 weist dabei einen besonders hohen Energiebedarf auf (2009,3 kWh). Während ASB 1

und ASB 9 einen unterdurchschnittlichen Energieverbrauch aufweisen. Diese können als Ausreißer bewertet werden.



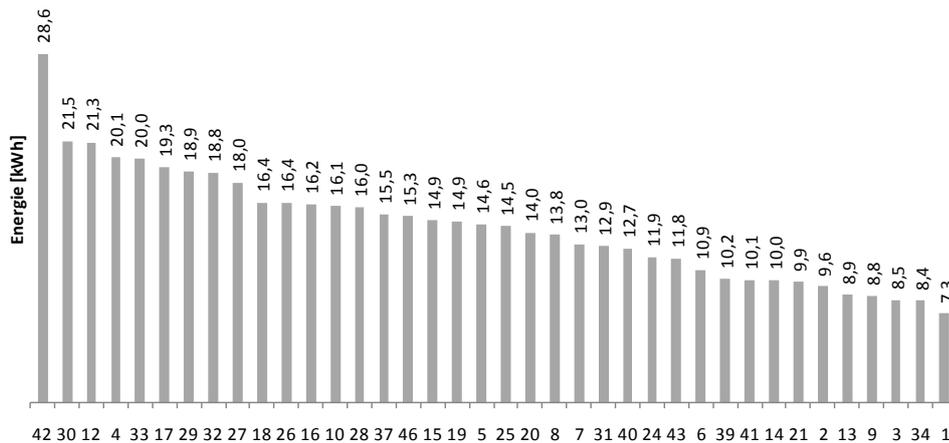
**Bild II.20:** Geordnete Darstellung Gesamtenergie je ASB in Phase 1

Für Phase 2 ist die geordnete Darstellung der Energie je ASB in Bild II.21 dargestellt.



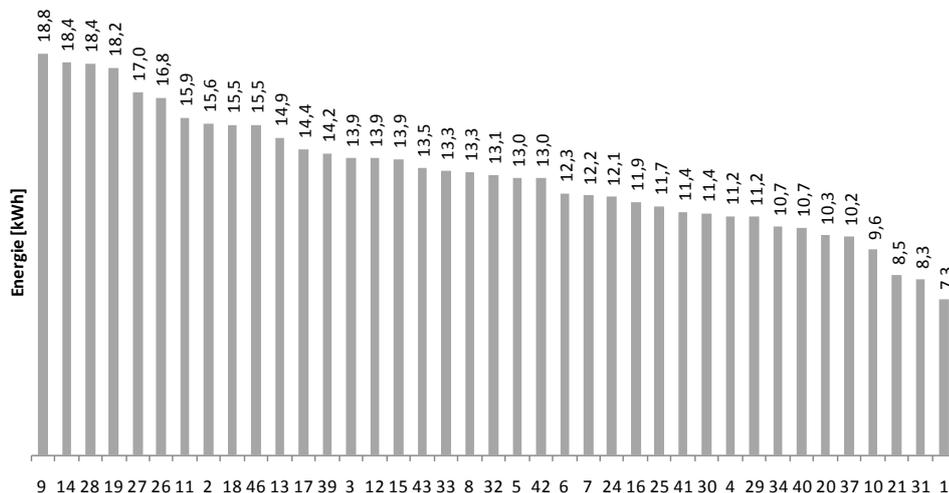
**Bild II.21 :** Geordnete Darstellung Gesamtenergie je ASB in Phase 2

Im Gegensatz zu Phase 1 sind hier keine besonders auffälligen ASBs zu verzeichnen. ASB 27 konsumierte mit 1.796,6 kWh die größte Menge Energie, während ASB 1 einen Verbrauch von 110,4 kWh aufwies. Bild II.22 zeigt die geordnete Darstellung der mittleren Energie je ASB für Phase 1. Während ASB 40 die größte Menge Energie konsumierte, so stellt sich doch für ASB 42 der größte Energiebedarf je Ladevorgang ein. Die genannte ASB benötigte 28,6 kWh je Ladevorgang und hebt sich damit stark vom Durchschnitt ab. Die Streuung vom Maximum zum Mittelwert (13,7 kWh) beträgt 14,9 kWh und vom Minimalwert zum Mittelwert 6,4 kWh. Wichen die Werte der ASB 1 und ASB 9 bei der Gesamtenergie deutlich von der sich einstellenden Verteilung ab, so kann für die mittlere Energiemenge ein der Verteilung entsprechendes Verhalten festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass die ASBs nur sporadisch genutzt wurden. Fraglich ist ob die Fahrzeuge an alternativen Ladeinfrastrukturen geladen wurden oder ob das Fahrzeug einer sporadischen Nutzung unterlag.



**Bild II.22:** Geordnete Darstellung mittlere Energie je ASB und Ladevorgang Phase 1

Bild II.23 zeigt die geordnete Darstellung der mittleren Energie je ASB für Phase 2.



**Bild II.23:** Geordnete Darstellung mittlere Energie je ASB und Ladevorgang Phase 2

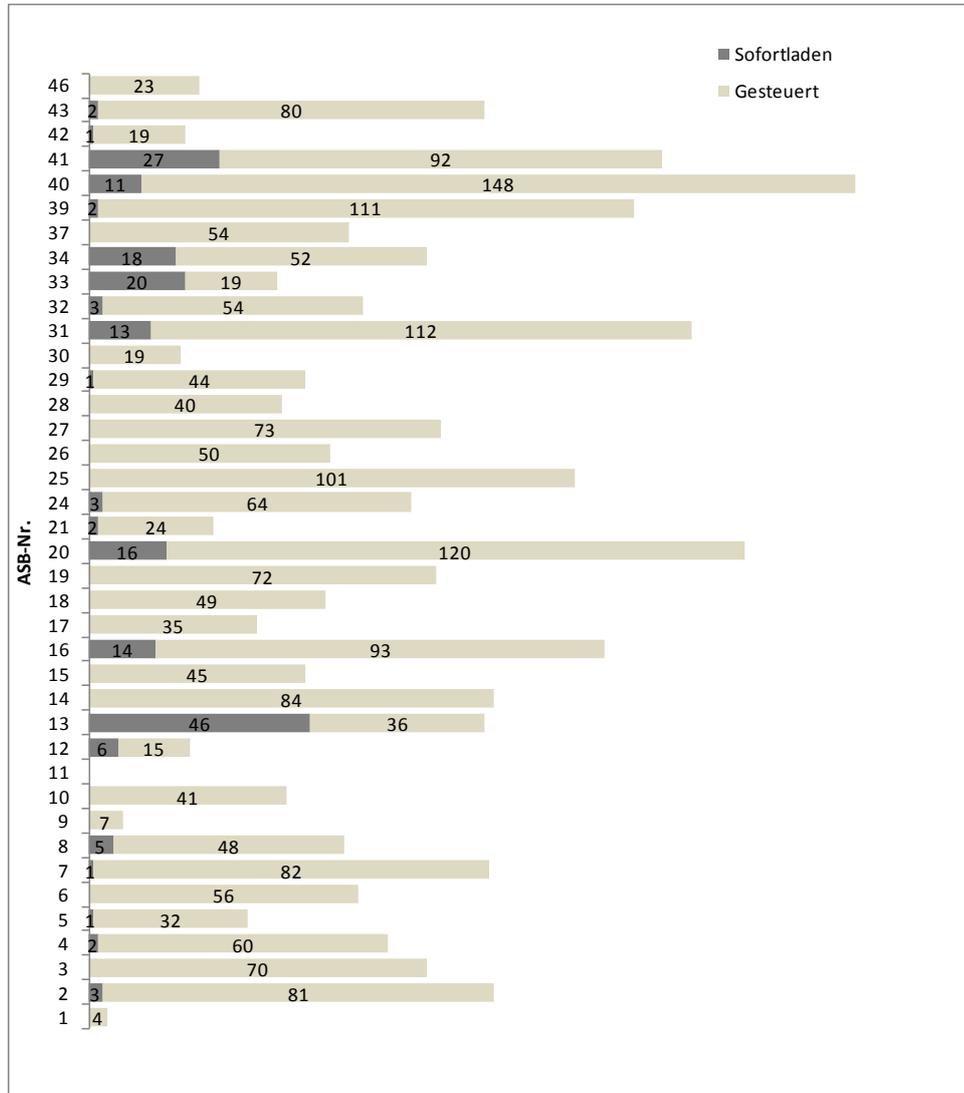
Während ASB 27 die größte Menge Energie konsumierte, so stellt sich doch für ASB 9 der größte Energiebedarf je Ladevorgang ein. Die genannte ASB benötigte 18,8 kWh je Ladevorgang gleich sich aber der Verteilung über allen Fahrzeuge an. Es sind keine Ausreißer feststellbar. Die Streuung vom Maximum zum Mittelwert (12,7 kWh) beträgt 6,1 kWh und vom Minimalwert zum Mittelwert 5,4 kWh. Die Verteilung des Individualenergiebedarfs zeigt, dass sie der größte Teil der Fahrzeugflotte sich dem Verhalten des Mittelwertes annähert jedoch die starke Streuung nur bedingt Verallgemeinerungen zulässt.

## 2.5 Nutzung der Nutzerfunktion

### 2.5.1 Sofortladefunktion

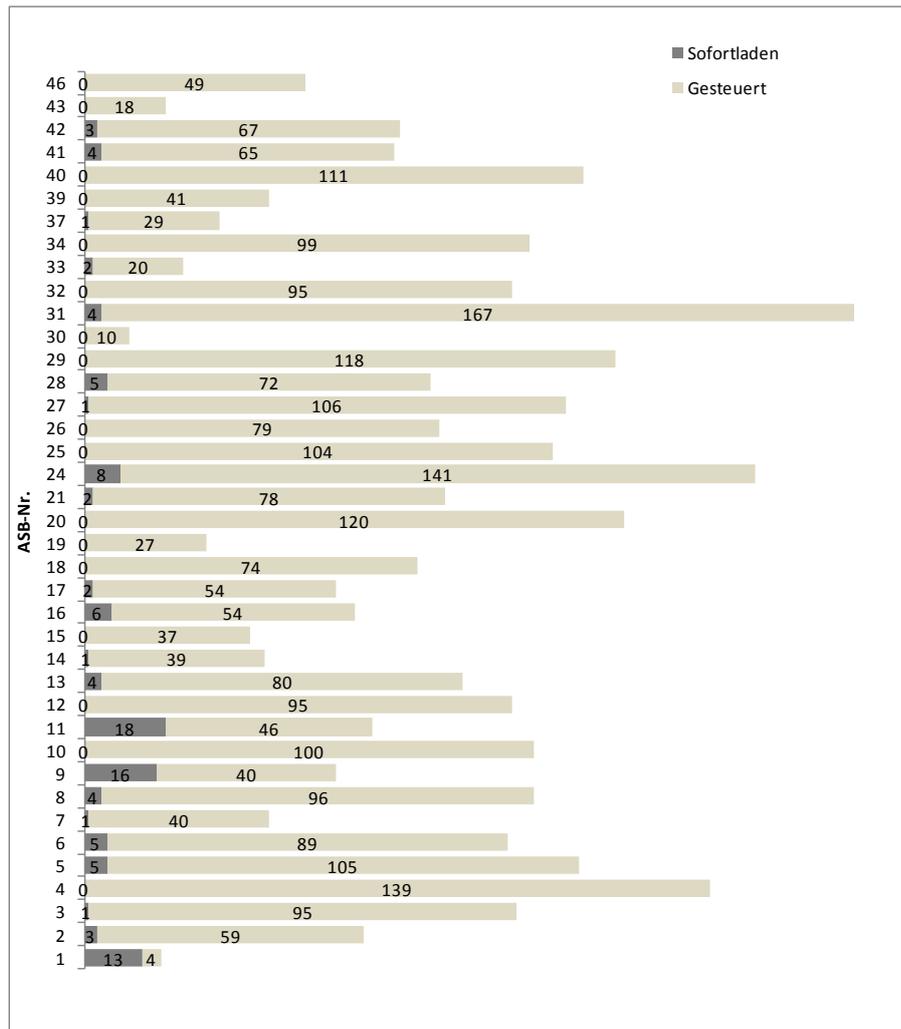
Die Sofortladefunktion war für die Fahrzeugnutzer über das Nutzerportal verfügbar. Bei einer Nutzung der Funktion wurde der W2V-Algorithmus für die entsprechende ASB deaktiviert und die Ladung nach erfolgreichem Plug-In an der ASB unverzüglich veranlasst. Der Anteil der Ladevorgänge mit Nutzung von Sofortladen betrug während der gesamten Versuchsphase 5,7 %, wobei in Phase 1 8,2% und in Phase 2 3,7% der Ladevorgänge

durch Sofortladen induziert wurden. Allgemein ist festzustellen, dass die Sofortladefunktion im Vergleich zu der durch W2V gesteuerten Ladung eher selten genutzt wurde. Abweichend davon verzeichnet während Phase 1, die ASB 13, mit 46 Sofortladevorgängen zu 36 gesteuerten Ladevorgängen einen ungewöhnlich hohen Nutzungsanteil. Dies ist aus Bild II.24 ersichtlich. Bei 17 von 38 ASBs wurde die Sofortladen Funktion jedoch nie genutzt.



**Bild II.24:** Anteil Ladevorgänge mit und ohne Sofortladen je ASB Phase 1

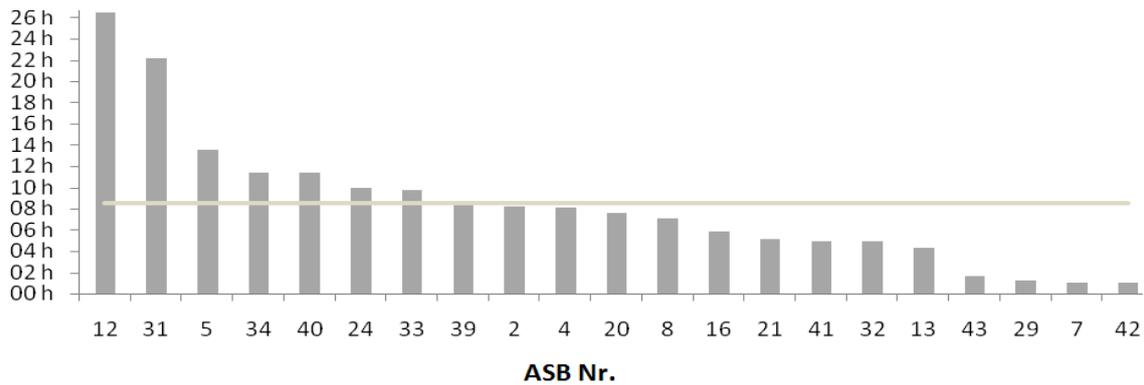
Während Phase 2 war allgemein eine geringe Nutzung des Sofortladen zu verzeichnen. Bild II.25 schlüsselt die Nutzung je ASB auf. Es stellt sich dabei eine gleichmäßigere Verteilung auf die ASBs ein, so dass an keiner ASB eine überproportionale Nutzung der Funktion „Sofortladen“ stattfand. Bei 17 von 39 ASBs wurde die Sofortladen-Funktion nie genutzt.



**Bild II.25** Anteil Ladevorgänge mit und ohne Sofortladen je ASB Phase 2

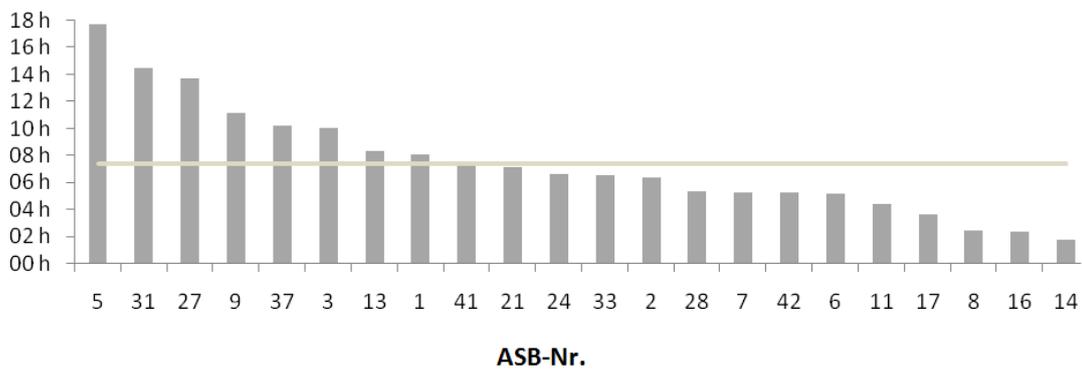
Eine Darstellung der Nutzung von Sofortladen und der Dauer des Ladevorgangs ist aus Bild II.26 ersichtlich. Bei Nutzung von Sofortladen dauert der Ladevorgang im Mittel 8,5 Stunden, wobei ASB 13 mit der häufigsten Nutzung des Sofortladens eine mittlere Ladevorgangsdauer von vier Stunden

Rund zwei Drittel der Nutzer beschränkten sich dabei auf eine Dauer des Ladevorgangs, die weniger als 8 Stunden betrug. Für die ASB 12 und 31 in Phase 1 wurden die höchsten durchschnittlichen Standzeiten bei Nutzung der Sofortladefunktion registriert, wobei ASB 12 eine geringe Gesamtzahl an Ladevorgängen aufweist. Die Anzahl der Ladevorgänge an ASB 31 war mit 125 sehr hoch.



**Bild II.26:** Mittlere Ladevorgangsdauer bei Nutzung der Sofortladefunktion nach ASB in Phase 1

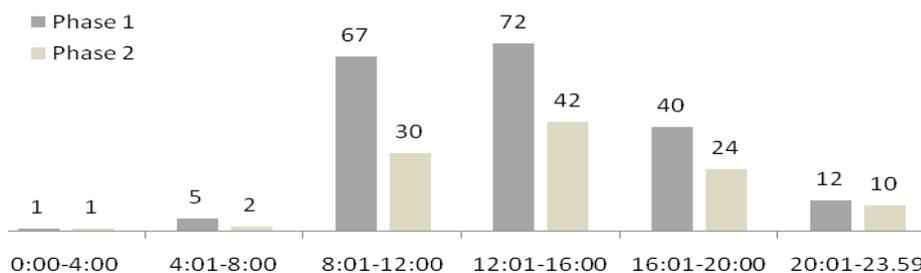
In Phase 2 dauert Nutzung von Sofortladen der Ladevorgang im Mittel 7,5 Stunden. Ersichtlich aus Bild II.27 ist zudem eine geringe Streuung um den Mittelwert im Vergleich zu Phase 1. Der Maximalwert der Nutzung von Sofortladen wurde bei ASB 5 mit ca. 18 Stunden registriert.



**Bild II.27:** Mittlere Ladevorgangsdauer bei Nutzung der Sofortladefunktion nach ASB in Phase 1

In Bild II.28 ist die Abhängigkeit der Nutzung von Sofortladen von der Uhrzeit der Aktivierung dargestellt. Zum größten Teil wurde die Sofortladefunktion zwischen 12 und 16 Uhr, sowie zwischen 8:00 und 12:00 Uhr genutzt. Die Verteilungen für Phase 1 und Phase 2 unterscheiden sich dabei lediglich in der absoluten Anzahl. Eine Nutzung von Sofortladen während der Zeit zwischen 0:00 und 04:00 findet faktisch nicht statt.

**Häufigkeit Sofortladevorgänge nach Uhrzeit**



**Bild II.28:** Häufigkeit Sofortladevorgänge nach Uhrzeit der Aktivierung für Phase 1 und Phase 2

## 2.6 Störgrößenbehandlung

### 2.6.1 Fehlerrechnung

Die erfasste Ladeleistung wird indirekt durch den in der Autostrombox installierten Stromwandler gemessen.

Die zur Leistungsberechnung  $P = U \cdot I$  verwendete Spannung  $U$  ist nicht gemessen worden. Für die Berechnung ist angenommen worden, dass diese der Nennspannung  $U_N = 230V$  entspricht. Nach DIN EN 50160

beträgt der Vertrauensbereich  $\Delta U = 10\% \cdot U_N$  im Verteilnetz. Die Strommesswerte sind zyklisch alle 10 Sekunden

erfasst worden. Damit werden je  $\frac{1}{4}h$ -Intervall  $l$  90 Messwerte  $I_k$  erfasst, die zu einem mittleren  $\frac{1}{4}h$ -

Wert  $\bar{I}$  verrechnet werden. Dabei gilt für einen  $\frac{1}{4}h$  Zyklus:

$$\bar{I}_l = \frac{1}{90} \sum_{k=1}^{90} I_k \quad (1)$$

Unterbrechungen der Messungen durch Zusammenbruch der GPRS Kommunikation und/oder einzelne Fehlmessungen sind zu detektieren und mit Ersatzwertbildung zu plausibilisieren. Für jeden Ladevorgang erfolgt eine Schätzung des Fehlers der berechneten Energiemenge innerhalb einzelner Messzyklen nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz. Die Unsicherheit  $\Delta I$  des gemittelten Stroms über einen Messzyklus bei 90 Tastpunkten ist:

$$s = \sqrt{\frac{1}{90-1} \sum_{k=1}^{90} (I_k - \bar{I})^2} \quad (2)$$

$$\Delta I = \frac{1,985}{\sqrt{90}} s \quad (3)$$

Die berechnete Energiemenge ist:

$$E = U_N \cdot \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^L \bar{I}_l \quad (4)$$

Mit einem Vertrauensbereich:

$$\Delta E = \sqrt{\sum_{i=1}^L \left( \frac{\partial E}{\partial \bar{I}_l} \cdot \Delta I \right)^2 + \left( \frac{\partial E}{\partial U_N} \cdot \Delta U_N \right)^2} \quad (5)$$

$$\Delta E = \frac{1}{4} \sqrt{\sum_{i=1}^L (U_N \cdot \Delta I)^2 + \left( \sum_{i=1}^L \bar{I}_i \cdot \Delta U_N \right)^2} \quad (6)$$

$\Delta E$  wird in Prozent bezogen auf die ermittelte Energiemenge  $E$  angegeben. Der mittlere prozentuale Vertrauensbereich aller Ladevorgänge betrug 2,94%, der mittlere Fehler betrug im Versuchszeitraum 10,65%.

### 2.6.2 Identifikation fehlerhafter Ladevorgänge

Ladevorgänge, deren Ladung größer als 43,7 kWh geschätzt wurde (entspricht einer Vollladung bei einem Systemwirkungsgrad von 0.8) sind als fehlerhaft einzustufen. Ladevorgänge, deren Vertrauensbereich  $\Delta E$  größer als die zweifache Standardabweichung der Vertrauensbereiche aller Ladevorgänge ist sind ebenfalls fehlerhaft. Nach Anwendung der Filterung verbleiben von 7183 Ladevorgängen 7116 (rund 99%). Nach Anwendung der Filterung beträgt der mittlere prozentuale Vertrauensbereich 2,66%. Die Fahrzeuge laden im Normalfall mit einem Ladestrom von 32A. Einzelne Ladevorgänge weichen davon ab. Dies berührt nicht die Erfassung des Ladevorgangs und ist lediglich eine Störgröße bei der Steuerung der Ladung.

### 2.7 Gesteuerte und ungesteuerte Last

Die Messwerte der Ladevorgänge wurden permanent für den Betrieb des gesteuerten Ladens erfasst. Zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der Steuerung muss jedoch ein Vergleich zum ungesteuerten Fall herangezogen werden.

Aus den ermittelten Ladevorgängen konnte ein ungesteuertes Lastprofil der Fahrzeugflotte ermittelt werden. Dafür wurden alle Ladevorgänge mit der ermittelten Energiemenge auf den Zeitpunkt des Plug-Ins verlagert. Die Summierung der Einzellasten der ASBs ergab dann das Summenprofil. Der dabei ermittelte Spitzenwert der Last durch die ASBs im ungesteuerten und gesteuerten Fall kann aus Tabelle II.1 entnommen werden.

**Tabelle II.1:** Vergleich Spitzenlast ungesteuerter und gesteuerter Ladung

Nutzerphase	Spitzenlast [kW]	Spitzenlast [kW]
	ungesteuert	gesteuert (W2V)
Phase 1	86,4	82,75
Phase 2	79,2	72,42

Der Vergleich aus gesteuertem und ungesteuertem Laden gilt nachfolgend als Vergleichswert zur Bewertung der Erfolgsindikatoren.

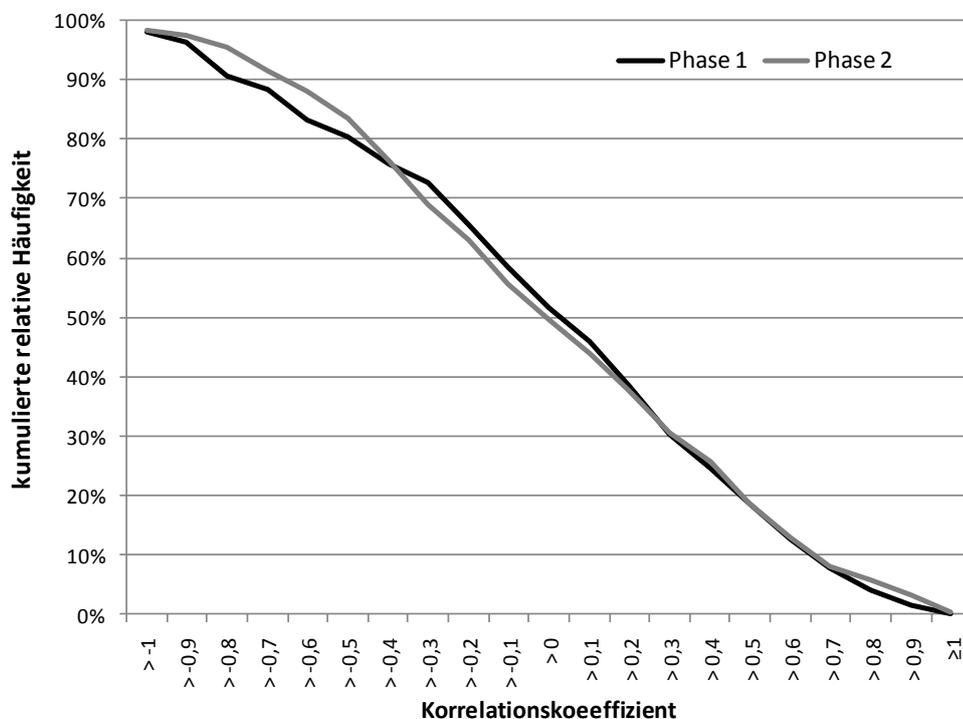
### 2.8 Erfolgsindikatoren für Gesteuertes Laden

Eine Festlegung auf einen Erfolgsindikator ist aufgrund unterschiedlicher Anforderungen an das gesteuerte Laden schwierig. Da der reale Einfluss auf das Gesamtsystem der elektrischen Energieversorgung vernachlässigbar klein ist, kann auch kein direkter Erfolg anhand von Systemgrößen gemessen werden. Der Steuerungsalgorithmus wird zunächst unter Verwendung des Korrelationskoeffizienten zwischen Windeinspeisung und kumu-

lierter Last der Elektrofahrzeuge bewertet. Dabei soll vor allem heraus gestellt werden welche Faktoren den Korrelationskoeffizienten maßgeblich beeinflussen.

### 2.8.1 Korrelationskoeffizient

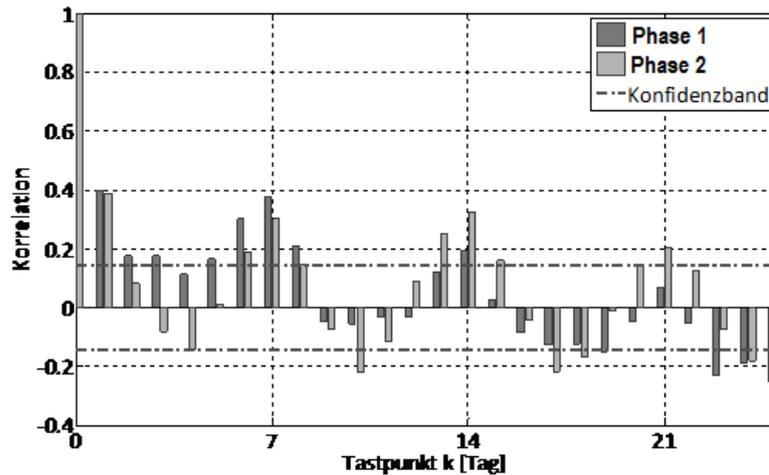
Es wurden Algorithmen entwickelt, welche das Speicherpotential der Elektrofahrzeuge ausnutzen und somit den Nutzen durch erneuerbare Energien steigern. Dies bedeute im Einzelnen, dass die Fahrzeuge so angesteuert wurden, dass eine möglichst hohe Korrelation zwischen Windeinspeisung und kumulierter Ladeleistung vorliegt. Da die installierte Windeinspeisung in der Vattenfall Regelzone die kumulierte Ladeleistung der Fahrzeuge deutlich übersteigt, wird ein dimensionsunabhängigen Korrelationskoeffizienten eingeführt. Durch die Verwendung der Korrelation als Erfolgsindikator ist zudem gewährleistet, dass sich mittlere Änderungen der Windeinspeisung unmittelbar auf die Steuerung der Ladung auswirken. In Bild II.29 ist die kumulierte relative Häufigkeit über den erreichten Korrelationskoeffizienten je Tag in Phase 1 und Phase 2 abgetragen.



**Bild II.29:** Kumulierte relative Häufigkeit des Korrelationskoeffizienten für Phase 1 und Phase 2

Deutlich erkennbar ist, dass die Korrelation an ca. 25% der Tage einen Wert größer 0,5 erreichte, sowohl in Phase 1 als auch in Phase 2. Eine Korrelation größer 0,9 stellt sich in Phase 1 zu 4,2% und in Phase 2 zu ca. 5,3% der Tage ein. Im Gesamtdurchschnitt erreichte die Korrelation in Phase 1 einen Wert von 0,05 und in Phase 2 einen Wert von 0,04.

Das Ergebnis birgt noch weiteres Optimierungspotential. Das im Feldversuch umgesetzte Betriebskonzept der W2V-Applikation setzt voraus, dass historische Daten über die Verfügbarkeit und den Flottenladebedarf zur Verfügung stehen. Die technische Ausprägung lieferten von Nutzerseite keine a-priori Informationen, so dass die Prognose aus den im Verlauf ermittelten Messwerten abgeleitet werden musste. Die Prognostizierbarkeit des täglichen Energiebedarfes illustriert die Anwendung der Autokorrelationsfunktion des zeitlichen Verlaufs, siehe dazu Bild II.30.



**Bild II.30:** Autokorrelation der täglichen Energieaufnahme privater Nutzer  $\alpha=0.05$

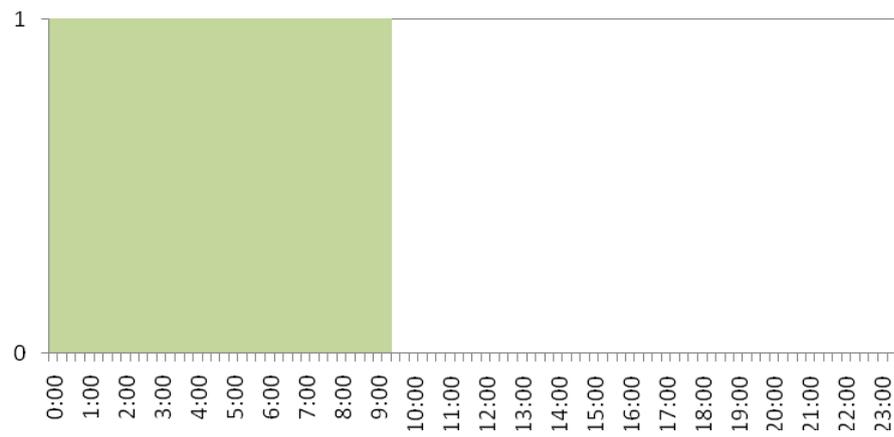
Der lineare Zusammenhang der täglichen Energieaufnahme zwischen zwei Tastpunkten ist in beiden Versuchsperioden stark abfallend. Die Tastpunkte eins und vielfache von sieben implizieren ein wöchentliches Muster mit signifikanten Korrelationen außerhalb des Konfidenzband. Mit Werten kleiner 0,4 deutet dies eher auf einen stochastischen Prozess hin in dem 60% der Werte zufällig zueinander in Bezug stehen. Die Prognostizierbarkeit, der für die W2V-Anwendung immanenten Information, lässt in dem gegebenen Versuchsumfeld, nur in geminderter Qualität umsetzen. Die besten Vorhersagewerte erreicht man bei Berücksichtigung des Energiebedarfs des letzten Tages und des Tageswertes vor einer Woche, welche in ihrer Gesamtqualität jedoch zu gering ausgeprägt sind.

Die Anwendung der W2V Steuerung mit dem Ziel eine der Windvorhersage folgende korrelierende Last zu erzeugen kann insgesamt als erfolgreich bezeichnet werden; bedingt jedoch noch Optimierungspotential. Insbesondere die Qualität der Prognose von benötigter Energie und Verfügbarkeit der Fahrzeuge könnte sich durch Erweiterung der Versuchsmasse verbessern.

### 2.8.2 Laden in grünen Fenstern

Das Laden in grünen Fenstern definiert sich durch den aktuellen Stromerzeugungsmix zur Zeit der Energieabnahme durch eine einzelne ASB. Bei einem Anteil größer 17,33% der Windeinspeisung am Gesamtmix (Durchschnitt in der Regelzone 50 Hertz Transmission) definiert sich der Ladevorgang als ein Ladevorgang im „grünen Fenster“. In diesem grünen Fenster ist der Anteil regenerativer Einspeisung überdurchschnittlich hoch. Die Häufigkeiten zur Verfügbarkeit und Nutzung grüner Fenster gibt Aufschluss, inwiefern das Ziel, die Beladung der Elektroautos mit Windenergie, aus Sicht eines Fahrzeugnutzers realisieren zu wollen, erreicht werden konnte. Über den gesamte Projektzeitraum war die durchschnittliche Verfügbarkeit grüner Fenster 38%. Fast immer konnten diese registriert und zur Beladung der Fahrzeugflotte genutzt werden.

Das Bild II.31 zeigt das zeitliche Auftreten grüner Fenster exemplarisch für den Tag des 02. Juli 2009. Der Windanteil im Netz lag im ersten Tagesdrittel über dem 17,33-prozentigen Jahresdurchschnittswert



**Bild II.31:** Verteilung grüner Fenster am 02.07.2009

## 2.9 Zusammenfassung und Ausblick der wissenschaftlichen Ergebnisse

Die beschriebenen wissenschaftlichen Ergebnisse haben gezeigt, dass eine windinduzierte Ladung von Elektrofahrzeugen mit der entworfenen Infrastruktur möglich ist. Die verwendete Systemarchitektur lieferte zuverlässig Messwerte an das Leitsystem und Steuerbefehle an die Autostrombox (ASB). Dabei konnten grundlegende Erkenntnisse zur Nutzung einer festinstallierten Ladeinfrastruktur im privaten Umfeld gewonnen werden.

Es hat sich gezeigt welcher mittlere Energiebedarf je Tag und Ladevorgang an einer ASB anfällig wird, sowie zu welchen Zeiten die Ladevorgänge beginnen und enden. Des Weiteren konnte der Eingriff in das Steuerungssystem durch den ASB-Nutzer ermittelt werden. Dabei hat sich heraus gestellt, dass diese Funktion sehr selten und auch nicht von allen Nutzern genutzt wurde.

Der hier entworfene und eingesetzte Steueralgorithmus garantiert unabhängig vom Windangebot die Mobilität eines Einzelnen bei gleichzeitiger klimaentlastenden Wirkung. Das stochastische Verhalten der Fahrzeugnutzer wirkte einem aus technischer bzw. ökologischer Sicht optimalem Betriebsverhalten oftmals entgegen. Eine Steigerung der ökologischen Wirkung erscheint nur durch Änderung der Versuchsparameter möglich.

Zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit einer windinduzierte Ladung muss der Informationsgehalt des Steuerungssystems deutlich erhöht werden. Die Umsetzung von fahrzeugseitiger Kommunikation mit dem Leitsystem, sowie die Verfügbarkeit von verlässlichen Prognosemodellen, können dazu einen wesentlichen Beitrag leisten und werden im einen nachfolgenden Vorhaben untersucht und erprobt.

## A. Anhang

**Tabelle A.II.2:** Einzelne Kommunikationszuverlässigkeit der MEBs

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	94,50		82,27		13,46	96,91			89,62	97,00
Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
%	92,84	87,29	98,54	87,33	94,10	96,25		98,54		97,74
Nr.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
%	58,22	99,68	99,68	95,45	98,28	92,87	98,74	98,27	98,64	96,15
Nr.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
%	73,92	94,49	98,66	98,53	99,68	99,68	92,00	99,68	99,68	66,10
Nr.	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
%		97,14	81,72		96,26			99,68	99,68	84,49

**Tabelle A.II.3:** Einzelne Kommunikationszuverlässigkeit der ASBs

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	97,82	96,28	98,27	96,97	96,60	95,30	97,84	97,52	98,06	97,83
Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
%	97,39	96,53	97,56	97,53	95,59	97,96	98,23	97,96	95,44	97,88
Nr.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
%	95,78	98,48	98,37	97,14	97,78	97,88	97,73	97,82	98,24	95,57
Nr.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
%	97,40	96,79	97,81	97,91	0,08	98,33	88,32	91,66	97,86	96,67
Nr.	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
%	97,84	97,40	78,72	91,73	97,74	97,53	97,48	97,74	97,58	94,02

Dauer: ASB:	00:00 - 02:00	02:01 - 04:00	04:01 - 06:00	06:01 - 08:00	08:01 - 10:00	10:01 - 12:00	12:01 - 14:00	14:01 - 16:00	16:01 - 18:00	18:01 - 20:00	20:01 - 22:00	22:01 - 24:00	24:01 - 48:00	48:01 - 72:00	72:01 - 96:00	96:01 - 120:00	120:01+ Summe	
1	15,06	0,00	16,15	10,83	18,03	0,00	55,14	17,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	132,40	
2	38,16	50,41	26,53	89,13	481,75	456,01	240,24	298,95	64,89	33,51	10,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1790,24	
3	107,71	208,01	195,65	287,81	245,36	702,44	97,57	50,64	19,00	58,92	9,01	0,00	30,35	0,00	5,25	21,36	2039,10	
4	91,22	61,04	125,20	110,79	687,03	629,32	313,60	243,64	199,07	107,32	144,64	9,96	31,84	0,00	0,00	0,00	2754,67	
5	28,93	119,88	58,50	133,37	292,29	573,27	431,37	202,87	0,00	23,62	0,00	0,00	22,04	0,00	0,00	0,00	1886,14	
6	235,85	288,70	171,22	106,04	112,70	153,35	403,46	155,61	83,61	115,72	31,90	59,21	109,92	24,70	49,82	25,30	13,23	1840,34
7	44,23	59,47	87,22	160,87	159,25	295,83	337,57	73,05	68,70	33,03	9,52	10,43	79,59	56,13	2,58	6,20	0,00	1483,66
8	92,38	437,55	582,10	351,68	220,92	93,68	0,00	61,70	25,77	21,45	0,00	0,00	29,17	33,52	36,22	0,00	44,54	2030,67
9	84,23	108,68	93,37	62,92	33,69	13,56	69,60	48,49	73,29	63,24	150,00	0,00	239,06	0,00	17,09	0,00	22,69	1079,91
10	18,50	55,16	28,38	4,04	25,76	85,60	92,34	173,03	235,30	255,20	73,43	118,47	282,20	109,74	42,54	17,62	30,92	1648,21
11	50,29	100,37	74,26	90,92	149,41	230,57	112,22	53,14	17,12	35,68	28,55	0,00	60,72	0,00	0,00	0,00	1003,25	
12	36,53	217,57	150,96	267,20	184,21	118,70	212,36	66,45	87,67	35,25	100,77	111,02	41,32	35,69	117,86	0,00	1783,55	
13	155,05	194,95	286,90	133,13	162,59	261,43	416,80	134,33	89,30	58,04	13,23	0,00	12,75	0,00	0,00	0,00	1932,76	
14	166,80	292,99	263,94	188,13	225,14	244,41	135,09	163,60	41,28	0,00	41,54	12,12	19,01	0,00	0,00	0,00	1794,05	
15	0,00	22,21	24,15	10,83	158,35	398,11	232,82	129,55	0,00	0,00	0,00	29,37	108,68	64,50	15,77	0,00	1209,41	
16	128,88	205,06	49,57	115,92	413,28	362,54	354,84	220,64	80,36	139,60	17,47	13,01	148,04	44,58	43,41	28,05	8,78	2374,01
17	113,87	76,86	203,27	57,44	270,84	275,89	147,98	43,94	32,03	90,87	48,16	0,00	120,85	36,50	24,44	0,00	1542,95	
18	52,83	183,11	36,41	208,51	407,79	574,75	186,83	155,02	60,31	93,49	44,17	0,00	56,59	0,00	0,00	0,00	2059,81	
19	19,44	83,69	24,92	221,84	406,95	370,12	160,22	179,54	16,83	40,98	55,59	0,00	3,03	16,71	0,00	0,00	1599,85	
20	284,22	690,74	418,74	293,99	310,24	108,27	270,21	129,61	194,79	43,11	10,83	4,80	66,37	46,62	21,04	0,00	2893,58	
21	5,65	50,09	91,09	29,17	271,58	285,46	24,21	37,85	0,70	0,00	21,25	0,00	107,27	74,25	0,00	0,00	998,56	
24	175,93	310,02	277,74	396,93	447,31	282,04	191,65	73,85	23,31	25,25	7,59	22,88	106,96	0,00	20,57	8,12	2398,75	
25	79,47	437,79	223,20	176,69	438,83	312,09	117,90	197,86	55,59	48,18	85,48	19,89	219,47	50,48	0,00	44,27	2522,14	
26	121,55	69,04	29,83	60,74	130,59	76,97	534,09	285,08	279,67	114,77	43,52	111,29	226,37	33,22	3,98	0,00	2120,72	
27	80,80	69,12	40,29	319,59	706,12	833,83	616,99	210,19	148,60	18,54	18,60	15,89	37,47	0,00	0,00	0,00	3135,59	
28	95,35	391,99	345,17	96,24	332,84	366,80	289,79	50,83	0,00	0,00	33,28	0,00	18,28	0,00	0,00	0,00	2020,56	
29	76,23	115,14	75,74	175,37	523,39	573,02	262,38	81,51	24,46	0,00	0,00	17,88	105,07	2,72	31,98	18,08	2082,96	
30	26,32	19,00	75,26	67,16	49,72	204,39	54,57	19,65	26,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	542,89	
31	95,92	81,97	24,35	14,21	249,56	648,19	960,89	442,56	184,73	129,26	121,23	18,42	28,24	0,00	0,00	0,00	3007,74	
32	29,14	126,88	47,53	31,71	470,31	603,68	414,72	281,32	86,36	93,34	90,25	35,21	54,30	16,14	13,63	0,00	2402,55	
33	47,28	130,70	133,76	25,98	158,67	0,00	194,38	108,34	48,06	78,07	38,85	17,48	83,32	0,00	0,00	0,00	1064,89	
34	407,22	544,27	224,48	128,35	109,29	41,03	31,68	0,00	32,54	0,00	0,00	0,00	78,82	42,99	5,06	0,00	1688,79	
37	40,03	23,03	27,55	41,21	183,91	266,32	290,31	45,41	14,66	39,10	52,94	16,46	81,80	19,26	0,00	0,00	1142,00	
39	32,86	96,33	79,52	228,84	389,68	357,19	70,96	153,87	49,13	51,04	34,65	10,72	120,14	36,41	0,00	1,70	1713,06	
40	86,53	60,27	101,99	458,36	1045,36	870,07	341,52	94,44	34,09	0,00	5,81	0,00	75,81	2,70	0,00	0,00	3181,71	
41	184,58	310,49	418,84	521,68	374,92	128,11	0,00	4,72	0,00	0,00	0,00	0,00	24,46	12,69	0,00	0,00	1980,48	
42	31,91	39,33	28,83	26,52	162,19	460,39	396,12	167,35	75,95	42,10	20,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1450,93	
43	161,19	136,85	164,02	39,87	174,55	227,47	160,17	34,74	49,33	28,50	0,00	0,00	26,30	0,00	0,00	0,00	1202,99	
46	9,04	0,00	41,85	120,57	372,50	185,05	154,94	114,72	14,67	0,00	0,00	23,02	31,99	0,00	0,00	0,00	1068,36	
Summe	3551,20	6468,76	5368,45	5864,58	11556,89	12669,92	9077,55	5005,28	2537,96	1917,17	1363,19	677,55	2887,60	759,54	451,23	170,71	276,66	70604,25

Bild A.II.32: Gesamtenergie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für gesamte Nutzerphase

Dauer: ASB:	00:00 - 02:01 - 04:01 - 06:01 - 08:01 - 10:01 - 12:01 - 14:01 - 16:01 - 18:01 - 20:01 - 22:01 - 24:01 - 48:01 - 72:01 - 96:01 - 120:01+	Mittelwert
	00:00 - 02:00 - 04:00 - 06:00 - 08:00 - 10:00 - 12:00 - 14:00 - 16:00 - 18:00 - 20:00 - 22:00 - 24:00 - 48:00 - 72:00 - 96:00 - 120:00	
1	3,77 0,00 4,84 10,83 4,51 12,68 14,08 15,97 11,32 11,05 10,69 0,00 0,00 0,00	5,41
2	3,15 7,18 6,63 16,25 14,61 12,68 14,08 15,97 11,32 11,05 10,69 0,00 0,00 0,00	10,30
3	5,09 10,74 11,51 10,62 14,69 15,55 11,99 25,32 9,50 14,73 9,01 0,00 30,35 5,25 21,36	13,05
4	4,19 11,66 14,22 9,70 12,86 14,36 16,02 18,96 15,28 22,74 22,29 9,96 15,92	14,47
5	5,85 9,32 9,92 11,48 13,83 15,91 14,01 14,89 23,62	12,98
6	5,46 10,60 15,54 16,55 16,38 18,92 14,37 13,52 18,66 19,75 6,49 29,61 10,80 8,23 16,61 12,65 13,23 14,55	10,67
7	4,11 6,17 10,53 14,19 11,48 15,58 13,89 11,79 22,90 12,63 9,52 5,22 15,92 18,71 2,58 6,20 0,00	13,76
8	6,03 11,15 14,41 15,00 14,17 17,64 17,40 12,88 10,72 9,72 16,76 18,11 14,85	13,46
9	4,77 13,77 17,19 31,46 33,69 13,56 23,20 24,25 14,32 31,62 29,87 26,56 17,09 22,69	16,91
10	3,27 18,39 14,19 2,02 6,44 10,70 11,51 16,93 14,19 15,29 10,62 16,82 12,90 7,84 8,51 8,81 5,15 10,80	18,19
11	4,00 18,25 14,90 16,93 13,47 18,02 22,44 26,57 17,12 17,84 28,55 20,24	15,96
12	6,61 16,19 15,02 13,90 13,55 13,13 19,06 16,07 13,04 17,63 17,43 22,20 8,26 17,84 29,46	13,46
13	5,43 8,93 10,80 10,15 14,51 15,22 18,45 15,16 17,36 18,69 13,23 12,75	16,91
14	6,05 10,42 17,49 18,37 22,63 21,35 15,61 18,45 20,64 20,77 12,12 19,01	12,91
15	0,00 22,21 12,07 10,83 15,02 14,66 16,20 14,51 0,00 14,69 13,58 16,12 15,77	12,91
16	6,18 13,80 7,63 12,07 19,17 18,69 20,72 15,45 20,09 19,09 8,74 6,50 13,39 11,14 8,68 9,35 8,78	18,47
17	6,98 10,73 15,18 19,15 18,06 22,93 21,65 21,97 16,01 18,10 24,08 21,03 18,25 24,44	17,56
18	6,23 15,58 14,49 17,41 16,80 17,78 21,36 20,81 18,17 22,08 18,86	15,43
19	3,68 20,29 24,92 16,85 15,92 16,75 16,32 20,21 8,41 20,49 18,53 1,52 16,71	11,62
20	4,83 13,13 13,75 15,59 12,46 10,37 13,07 13,07 11,60 12,70 14,37 5,41 4,80 9,48 11,66 21,04	8,33
21	2,82 7,92 8,41 7,29 10,64 8,82 8,07 18,92 0,70 21,25 0,00 11,49 18,56 0,00	12,38
24	4,33 10,60 10,00 13,18 12,57 14,92 15,14 9,88 5,83 12,63 3,79 22,88 15,28 10,29 8,12 28,58	13,46
25	5,15 10,98 8,74 12,62 15,72 15,28 11,17 16,50 13,05 16,06 15,85 9,94 14,63 12,62 22,14 14,95	17,46
26	6,74 13,69 29,83 10,12 16,32 15,39 19,91 23,71 20,49 18,95 21,76 21,72 22,64 16,61 3,98	16,40
27	5,95 14,44 10,07 18,93 18,90 18,88 19,93 18,62 18,83 18,54 18,60 15,89 12,49 19,57	17,87
28	5,39 15,76 17,42 16,13 19,85 20,53 23,32 25,42 16,64 18,28	12,14
29	5,60 13,31 11,89 13,34 13,54 14,68 13,42 11,00 12,23 17,88 11,67 2,72 10,66 18,08	20,23
30	4,76 19,00 26,10 22,39 24,86 21,06 27,28 9,83 26,82	4,11 9,37
31	3,45 11,88 12,17 7,10 12,49 11,95 11,07 9,64 11,49 8,15 12,81 9,21 5,65	8,02 14,23
32	2,81 9,89 9,76 15,86 17,87 20,08 17,38 16,11 21,71 14,64 15,04 10,72 18,10 16,14 13,63	18,61
33	8,07 12,35 15,67 8,66 18,73 21,62 21,67 24,03 27,84 19,42 17,48 27,77	12,18
34	5,86 14,82 15,05 13,96 10,19 10,26 31,68 16,27 8,37 8,60 2,53	14,39
37	2,80 7,68 9,18 13,74 12,73 17,95 18,05 11,35 14,66 19,55 17,65 16,46 20,45 19,26	10,43
39	2,32 5,45 7,06 9,99 13,85 12,49 13,04 13,78 12,28 18,31 11,55 5,36 17,16 12,14 1,70	9,49
40	5,78 8,16 11,44 13,02 12,17 13,11 11,56 13,66 11,36 2,90 12,74 2,70 4,76	10,08
41	4,96 9,63 12,02 13,42 11,13 14,00 4,72 8,15 12,69	15,82
42	4,31 9,83 14,42 13,26 11,61 15,46 21,92 22,92 18,99 21,05 20,24	12,17
43	6,08 10,46 15,06 12,45 14,82 14,15 14,32 11,58 12,33 9,50 13,15	13,71
46	3,01 15,63 18,22 15,45 15,66 13,64 15,47 14,67 23,02 16,00 0,00	11,42
Mittelw.	4,77 11,96 13,47 13,92 15,07 15,22 17,16 16,65 14,86 16,96 15,68 12,72 14,20 12,63 12,27 12,05 11,42	13,84

**Bild A.II.33:** Mittlere Energie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für gesamte Nutzerphase

Dauer: ASB:	00:00 - 02:00	02:01 - 04:00	04:01 - 06:00	06:01 - 08:00	08:01 - 10:00	10:01 - 12:00	12:01 - 14:00	14:01 - 16:00	16:01 - 18:00	18:01 - 20:00	20:01 - 22:00	22:01 - 24:00	24:01 - 48:00	48:01 - 72:00	72:01 - 96:00	96:01 - 120:00	120:01+	Summe
1	4,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,96
2	26,26	12,34	17,18	12,64	288,64	273,57	68,35	91,32	17,68	10,69	10,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	829,35
3	70,14	41,37	31,17	149,15	56,01	48,11	38,47	50,64	19,00	58,92	9,01	0,00	30,35	0,00	5,25	21,36	0,00	628,95
4	0,00	25,25	69,29	17,39	134,02	283,43	160,02	180,06	138,65	54,78	110,87	0,00	22,79	0,00	0,00	0,00	0,00	1196,54
5	21,75	26,95	0,00	32,83	30,66	97,78	179,01	49,42	0,00	0,00	0,00	0,00	17,01	0,00	0,00	0,00	0,00	455,40
6	13,45	11,23	0,00	14,18	20,12	104,25	81,76	137,62	55,25	32,08	31,90	34,78	92,18	0,00	22,66	25,30	13,23	689,98
7	10,35	44,40	0,00	74,32	80,55	278,30	337,57	73,05	38,32	33,03	9,52	10,43	33,24	56,13	2,58	0,00	0,00	1081,77
8	31,49	75,49	117,42	120,30	163,75	93,68	0,00	42,72	17,38	0,00	0,00	0,00	29,17	11,45	0,00	0,00	34,74	737,58
9	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	13,56	0,00	0,00	44,46	0,00	0,00	0,00	7,16	0,00	0,00	0,00	0,00	65,61
10	1,68	14,04	23,83	4,04	0,00	0,00	30,10	27,48	125,95	136,72	32,18	78,76	181,34	0,00	0,00	0,00	0,00	656,13
12	0,00	27,08	32,81	29,84	0,00	31,22	24,61	0,00	12,52	32,25	36,25	70,60	1,59	35,69	117,86	0,00	0,00	452,31
13	81,01	184,77	269,70	110,61	19,56	21,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,75	0,00	0,00	0,00	0,00	700,35
14	157,08	292,99	230,38	188,13	50,80	62,60	16,78	19,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1018,30
15	0,00	22,21	24,15	10,83	92,06	252,77	168,97	97,17	0,00	0,00	0,00	23,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	691,18
16	92,84	161,72	38,11	107,76	329,88	287,16	201,97	154,21	64,09	120,01	17,47	10,71	90,30	0,00	0,00	0,00	0,00	1676,23
17	11,20	0,00	0,00	0,00	72,54	192,63	136,25	43,94	17,24	65,04	30,09	0,00	61,53	36,50	0,00	0,00	0,00	666,97
18	4,21	8,53	13,87	114,48	159,96	227,24	62,11	46,09	40,57	59,20	44,17	0,00	36,70	0,00	0,00	0,00	0,00	817,12
19	1,74	23,99	0,00	103,58	328,56	318,27	137,62	126,95	16,83	9,22	29,16	0,00	3,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1098,94
20	202,89	511,41	302,35	238,30	179,91	25,30	42,82	0,00	63,63	0,00	2,05	4,80	49,02	23,32	21,04	0,00	0,00	1666,83
21	0,00	16,80	40,60	0,00	0,00	27,08	0,00	37,85	0,70	0,00	21,25	0,00	101,88	74,25	0,00	0,00	0,00	320,40
24	14,54	47,79	9,78	30,99	93,83	242,69	160,32	73,85	23,31	25,25	7,59	0,00	80,88	0,00	0,00	0,00	0,00	810,82
25	35,06	24,02	31,32	33,72	401,64	284,56	117,90	197,86	39,59	0,00	61,96	14,68	145,29	42,00	0,00	25,01	0,00	1454,61
26	11,16	29,42	0,00	8,95	55,91	76,97	304,83	73,19	126,63	24,12	17,66	33,32	74,68	0,00	3,98	0,00	0,00	840,83
27	53,87	61,22	31,11	267,13	269,68	298,61	213,78	39,55	85,45	0,00	18,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1338,99
28	24,06	22,40	63,34	59,59	169,71	92,42	86,79	50,83	0,00	0,00	33,28	0,00	18,28	0,00	0,00	0,00	0,00	620,69
29	14,97	34,64	0,00	57,91	243,15	310,37	124,43	35,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	821,21
30	4,90	19,00	75,26	52,70	30,76	178,72	33,86	0,00	26,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	422,02
31	45,32	65,10	17,60	13,77	157,88	424,87	450,66	170,19	93,02	59,92	91,05	0,00	12,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1601,39
32	0,00	36,49	0,00	14,40	275,57	473,31	187,36	87,59	25,24	0,00	20,77	24,12	0,00	16,14	0,00	0,00	0,00	1160,99
33	35,98	63,74	83,42	1,39	36,78	0,00	194,38	108,34	48,06	78,07	38,85	17,48	83,32	0,00	0,00	0,00	0,00	789,82
34	24,53	77,80	96,72	64,36	100,20	41,03	31,68	0,00	32,54	0,00	0,00	0,00	78,82	42,99	5,06	0,00	43,04	638,79
37	19,31	23,03	27,55	41,21	183,91	236,52	168,65	2,16	14,66	39,10	36,77	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	809,87
39	28,39	91,31	34,02	62,24	216,90	184,79	70,96	153,87	49,13	51,04	34,65	10,72	120,14	36,41	0,00	1,70	0,00	1146,28
40	30,37	49,58	10,02	269,98	606,49	669,67	237,50	42,38	8,97	0,00	5,81	0,00	75,81	2,70	0,00	0,00	0,00	2009,27
41	113,42	162,88	195,20	346,21	268,98	34,84	0,00	4,72	0,00	0,00	0,00	0,00	14,22	0,00	0,00	0,00	0,00	1140,46
42	3,39	0,00	0,00	22,58	0,00	142,64	258,61	57,76	33,46	33,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	551,64
43	114,92	43,10	81,54	29,95	171,73	227,47	160,17	34,74	49,33	28,50	0,00	0,00	26,30	0,00	0,00	0,00	0,00	967,74
46	5,74	0,00	0,00	35,17	75,94	109,62	30,04	64,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	320,77
Summe	1311,19	2352,10	1967,73	2740,61	5366,09	6667,98	4518,34	2392,29	1328,44	951,14	751,60	333,44	1516,78	377,57	178,43	73,37	91,01	32918,12

Bild A.II.34: Gesamtenergie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für Nutzerphase 1

Dauer: ASB:	00:00 - 02:00	02:01 - 04:00	04:01 - 06:00	06:01 - 08:00	08:01 - 10:00	10:01 - 12:00	12:01 - 14:00	14:01 - 16:00	16:01 - 18:00	18:01 - 20:00	20:01 - 22:00	22:01 - 24:00	24:01 - 48:00	48:01 - 72:00	72:01 - 96:00	96:01 - 120:00	120:01+	Mittelwert
1	4,76			0,00			17,20						0,00					5,49
2	5,25	4,11	5,73	12,64	13,64	10,63	8,09	11,19	5,89	5,34	10,69		0,00					7,77
3	3,88	5,96	4,93	9,30	15,14	12,91	9,62	25,32	9,50	14,73	9,01	0,00	30,35		5,25	21,36		11,82
4		12,62	17,32	17,39	19,54	19,48	19,43	20,74	17,27	27,39	25,18		22,79					19,92
5	7,25	8,98		10,94	15,33	24,44	13,27	12,36					17,01					13,70
6	1,70	5,62	0,00	14,18	20,12	21,25	13,44	13,43	27,62	16,04	6,49	34,78	9,93	0,00	11,33	12,65	13,23	13,05
7	2,09	12,92		15,03	13,42	16,98	13,89	11,79	19,16	12,63	9,52	5,22	16,62	18,71	2,58		0,00	11,37
8	5,25	11,60	12,80	21,00	15,89	17,64		21,36	17,38				9,72	11,45			17,37	14,68
9	0,44					13,56			9,49				7,16					7,66
10	0,84	14,04	23,83	4,04		0,00	15,05	13,74	17,70	16,98	16,09	19,69	21,29					13,61
12		27,08	16,41	29,84		31,22	24,61		12,52	32,25	18,12	23,53	0,79	17,84	29,46			21,97
13	5,04	8,75	10,40	9,87	4,10	10,98							12,75					8,84
14	6,17	10,42	17,37	18,37	15,02	15,65	16,78	19,56										14,92
15		22,21	12,07	10,83	18,56	14,84	16,02	14,38				23,03						16,49
16	5,68	14,18	9,53	15,03	20,38	20,78	21,97	15,99	21,36	25,29	8,74	10,71	19,03					16,05
17	3,73			13,33	21,67	21,97	21,97	17,24	21,68	30,09			20,51	18,25				19,04
18	1,05	4,26	13,87	18,69	16,87	18,05	20,70	23,04	20,29	19,11	22,08		18,35					16,36
19	1,74	23,99		14,47	14,04	16,76	14,47	17,77	8,41	9,22	14,58		3,03					12,59
20	5,69	14,33	13,23	17,82	16,23	12,65	14,27		16,36		2,05	4,80	8,17	11,66	21,04			12,18
21		16,80	8,12		27,08		18,92	0,70			21,25	0,00	12,36	18,56	0,00			11,25
24	3,62	15,93	9,78	15,50	12,45	15,33	12,44	9,88	5,83	12,63	3,79		13,48					10,89
25	8,77	8,01	10,44	13,76	16,28	13,24	11,17	16,50	11,58		20,65	14,68	16,14	14,00	25,01			14,30
26	3,72	14,71		4,48	12,66	15,39	18,24	24,40	21,11	24,12	17,66	16,66	18,67		3,98			15,06
27	7,69	13,45	10,37	19,99	20,82	20,74	21,47	19,77	22,64		18,60							17,56
28	4,14	22,40	11,01	15,28	18,52	18,48	21,70	25,42			16,64		18,28					17,19
29	7,49	11,55		17,68	18,09	20,42	20,28	17,87										16,20
30	2,45	19,00	26,10	26,35	30,76	22,34	33,86		26,82									23,46
31	2,30	14,19	17,60	13,77	11,42	14,21	15,96	13,96	13,02	10,62	19,22		3,00					11,48
32	0,00	12,16		14,40	22,19	23,73	20,78	17,52	25,24		20,77	12,06		16,14				16,82
33	7,96	21,25	19,80	1,39	36,78		21,62	21,67	24,03	27,84	19,42	17,48	27,77					20,59
34	3,90	6,98	9,39	11,66	10,38	10,26	31,68		16,27				8,37	8,60	2,53			10,72
37	4,83	7,68	9,18	13,74	13,40	19,31	18,55	2,16	14,66	19,55	18,38		17,00					13,20
39	2,00	5,24	6,80	7,84	12,41	12,43	13,04	13,78	12,28	18,31	11,55	5,36	17,16	12,14	1,70			10,14
40	4,12	8,06	10,02	15,20	12,85	13,42	10,72	11,53	8,97		2,90		12,74	2,70				9,43
41	4,58	10,13	10,58	13,25	11,51	7,22		4,72					14,22					9,53
42	3,39			22,58		28,90	28,50	28,88	33,46	33,20								25,56
43	5,35	8,26	16,46	14,97	16,55	14,15	14,32	11,58	12,33	9,50			13,15					12,42
46	5,74			17,58	13,39	15,49	10,01	21,42						0,00				11,95
Mittelw.	4,19	12,63	12,34	14,67	15,82	16,99	17,75	16,87	16,18	18,76	15,15	13,43	13,66	11,54	9,52	15,18	6,53	14,09

Bild A.II.35: Mittlere Energie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für Nutzerphase 1

Dauer: ASB:	00:00 - 02:00	02:01 - 04:00	04:01 - 06:00	06:01 - 08:00	08:01 - 10:00	10:01 - 12:00	12:01 - 14:00	14:01 - 16:00	16:01 - 18:00	18:01 - 20:00	20:01 - 22:00	22:01 - 24:00	24:01 - 48:00	48:01 - 72:00	72:01 - 96:00	96:01 - 120:00	120:01+	Summe
1	10,30	0,00	16,15	10,83	18,03	0,00	55,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	110,44
2	11,90	38,07	9,34	76,48	193,12	182,44	171,89	207,63	47,20	22,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	960,89
3	37,57	166,64	164,49	138,66	189,35	654,33	59,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1410,15
4	91,22	35,79	55,91	93,40	553,01	345,89	153,58	63,58	60,42	52,55	33,77	9,96	9,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1558,13
5	7,18	92,93	58,50	100,54	261,63	475,50	252,37	153,45	0,00	23,62	0,00	0,00	5,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1430,74
6	222,40	277,47	171,22	91,86	92,58	49,09	21,70	17,99	28,36	83,64	0,00	24,44	17,74	24,70	27,17	0,00	0,00	1150,36
7	33,88	15,07	87,22	86,56	78,70	17,54	0,00	0,00	30,38	0,00	0,00	0,00	46,35	0,00	6,20	0,00	0,00	401,89
8	60,90	362,06	464,68	231,37	57,17	0,00	0,00	18,98	8,39	21,45	0,00	0,00	0,00	22,07	36,22	0,00	9,80	1293,09
9	83,80	108,68	93,37	62,92	33,69	0,00	69,60	48,49	28,83	63,24	150,00	0,00	231,91	0,00	17,09	0,00	22,69	1014,30
10	16,82	41,12	4,55	0,00	25,76	85,60	62,24	145,55	109,34	118,48	41,25	39,71	100,86	109,74	42,54	17,62	30,92	992,08
11	50,29	100,37	74,26	90,92	149,41	230,57	112,22	53,14	17,12	35,68	28,55	0,00	60,72	0,00	0,00	0,00	0,00	1003,25
12	36,53	190,48	118,15	237,36	184,21	87,48	187,75	66,45	75,15	3,00	64,52	40,42	39,73	0,00	0,00	0,00	0,00	1331,24
13	74,04	10,18	17,20	22,52	143,03	239,47	416,80	134,33	89,30	58,04	13,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,27	1232,41
14	9,72	0,00	33,56	0,00	174,35	181,82	118,31	144,04	41,28	0,00	41,54	12,12	19,01	0,00	0,00	0,00	0,00	775,75
15	0,00	0,00	0,00	0,00	66,28	145,34	63,86	32,38	0,00	0,00	0,00	6,34	108,68	64,50	15,77	0,00	15,09	518,23
16	36,04	43,34	11,46	8,16	83,40	75,38	152,86	66,43	16,26	19,58	0,00	2,30	57,74	44,58	43,41	28,05	8,78	697,78
17	102,67	76,86	203,27	57,44	198,30	83,26	11,73	0,00	14,79	25,83	18,08	0,00	59,32	0,00	24,44	0,00	0,00	875,99
18	48,62	174,58	22,54	94,03	347,83	347,52	124,72	108,93	19,73	34,28	0,00	0,00	19,89	0,00	0,00	0,00	0,00	1242,68
19	17,70	59,70	24,92	118,27	78,39	51,85	22,61	52,60	0,00	31,76	26,42	0,00	0,00	16,71	0,00	0,00	0,00	500,91
20	81,33	179,33	116,37	55,69	130,33	82,97	227,39	129,61	131,17	43,11	8,77	0,00	17,35	23,30	0,00	0,00	0,00	1226,74
21	5,65	33,29	50,49	29,17	271,58	258,38	24,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,38	0,00	0,00	0,00	0,00	678,16
24	161,39	262,23	267,97	365,94	353,48	39,35	31,33	0,00	0,00	0,00	0,00	22,88	26,08	0,00	20,57	8,12	28,58	1587,93
25	44,41	413,77	191,88	142,97	37,19	27,53	0,00	0,00	16,00	48,18	23,53	5,20	74,18	8,49	0,00	19,26	14,95	1067,53
26	110,40	39,62	29,83	51,79	74,68	0,00	229,26	211,89	153,04	90,65	25,86	77,97	151,69	33,22	0,00	0,00	0,00	1279,89
27	26,93	7,91	9,18	52,46	436,44	535,22	403,20	170,64	63,15	18,54	0,00	15,89	37,47	0,00	0,00	0,00	19,57	1796,60
28	71,29	369,59	281,82	36,66	163,13	274,38	203,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1399,87
29	61,26	80,50	75,74	117,47	280,24	262,65	137,94	45,78	24,46	0,00	0,00	17,88	105,07	2,72	31,98	18,08	0,00	1261,76
30	21,41	0,00	0,00	14,47	18,96	25,67	20,71	19,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	120,87
31	50,60	16,87	6,75	0,44	91,67	233,32	510,23	272,37	91,72	69,34	30,18	18,42	16,23	0,00	0,00	0,00	8,21	1406,35
32	29,14	90,39	47,53	17,31	194,74	130,37	227,36	193,73	61,12	93,34	69,48	11,09	54,30	0,00	13,63	0,00	8,02	1241,56
33	11,30	66,96	50,34	24,59	121,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	275,07
34	382,70	466,47	127,76	63,99	9,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1050,00
37	20,72	0,00	0,00	0,00	0,00	29,80	121,66	43,25	0,00	0,00	16,17	16,46	64,80	19,26	0,00	0,00	0,00	332,13
39	4,47	5,02	45,50	166,60	172,78	172,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	566,78
40	56,16	10,69	91,97	188,38	438,87	200,39	104,03	52,06	25,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,76	1172,44
41	71,16	147,62	223,64	175,46	105,94	93,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,24	12,69	0,00	0,00	0,00	840,02
42	28,52	39,33	28,83	3,94	162,19	317,76	137,50	109,59	42,50	8,90	20,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	899,29
43	46,27	93,75	82,49	9,92	2,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	235,24
46	3,31	0,00	41,85	85,40	296,56	75,43	124,90	50,45	14,67	0,00	0,00	23,02	31,99	0,00	0,00	0,00	0,00	747,59
Summe	2240,01	4116,67	3400,72	3123,97	6190,81	6001,94	4559,21	2612,99	1209,51	966,02	611,59	344,11	1370,82	381,97	272,81	97,34	185,65	37686,13

Bild A.II.36: Gesamtenergie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für Nutzerphase 2

Dauer: ASB:	00:00 - 02:00	02:01 - 04:00	04:01 - 06:00	06:01 - 08:00	08:01 - 10:00	10:01 - 12:00	12:01 - 14:00	14:01 - 16:00	16:01 - 18:00	18:01 - 20:00	20:01 - 22:00	22:01 - 24:00	24:01 - 48:00	48:01 - 72:00	72:01 - 96:00	96:01 - 120:00	Mittelwert
1	5,15	0,00	4,84	10,83	9,01	0,00	18,38			0,00		0,00					5,36
2	1,70	11,78	9,34	16,92	18,08	17,34	19,40	20,12	23,60	22,82							16,11
3	12,52	13,67	15,36	12,18	15,35	15,56	14,90										14,22
4	4,19	11,93	13,98	10,36	12,19	11,80	15,06	12,21	13,54	19,68	16,89	9,96	9,06				12,37
5	2,29	9,57	9,92	12,37	13,77	14,81	14,56	15,76		23,62			5,02				12,17
6	6,44	11,03	18,13	17,03	15,44	16,36	21,70	17,99	14,18	22,22		24,44	17,74	12,35	27,17		17,30
7	5,75	3,92	10,53	13,21	7,90	8,77		30,38					15,45		6,20		11,35
8	5,57	11,82	14,30	13,09	10,48			9,49	8,39	10,72			22,07	18,11		9,80	12,17
9	4,78	13,77	17,19	31,46	33,69		23,20	24,25	28,83	31,62	29,87		28,99		17,09		23,65
10	4,21	20,56	4,55	0,00	6,44	14,27	10,37	17,34	9,86	13,09	8,22	13,66	7,56	7,84	8,51	8,81	5,15
11	4,00	18,25	14,90	16,93	13,47	18,02	22,44	26,57	17,12	17,84	28,55		20,24				18,19
12	6,61	14,38	14,85	13,41	13,55	11,11	18,42	16,07	13,14	3,00	16,13	20,21	13,24				13,39
13	6,60	10,18	17,20	11,26	18,45	15,62	18,45	15,16	17,36	18,69	13,23					14,27	14,71
14	4,86		16,78		24,51	22,88	15,79	18,85	20,64		20,77	12,12	19,01				17,62
15					13,16	14,59	15,96	16,19	0,00			6,34	13,58	16,12	15,77		12,68
16	7,15	7,96	5,73	4,08	16,68	14,74	17,20	13,15	16,26	9,79		2,30	9,62	11,14	8,68	9,35	8,78
17	8,23	10,73	15,18	19,15	19,93	27,10	11,73		14,79	12,92	18,08		21,80		24,44		17,01
18	8,07	17,07	11,27	16,24	15,99	17,98	21,51	20,20	19,73	17,14			19,89				16,83
19	4,33	19,90	24,92	19,71	26,13	18,79	22,61	26,30		31,76	26,42		0,00	16,71			19,80
20	3,95	9,79	11,20	11,47	9,56	11,17	14,13	11,60	12,00	14,37	8,77		17,35	11,65			11,31
21	2,82	5,70	10,26	7,29	10,64	8,49	8,07						5,38				7,33
24	4,49	10,19	10,03	13,04	14,40	12,84	31,33					22,88	26,08		10,29	8,12	16,02
25	4,12	11,05	8,44	12,73	12,40	27,53			16,00	16,06	11,76	5,20	12,36	8,49		19,26	12,88
26	6,59	12,66	29,83	12,95	18,51		23,67	21,85	20,03	18,13	25,86	26,49	25,28	16,61			19,88
27	3,85	7,91	9,18	17,49	18,29	18,49	18,62	18,22	16,36	18,54			15,89	12,49			14,99
28	8,43	15,81	24,63	18,33	21,67	21,07	24,37										19,19
29	5,12	12,20	11,89	10,72	10,02	11,32	10,90	7,63	12,23			17,88	11,67	2,72	10,66	18,08	10,93
30	7,14			14,47	18,96	12,84	20,71	9,83									13,99
31	4,37	4,22	6,75	0,44	12,67	8,84	8,36	8,25	9,75	8,00	7,23	9,21	16,23			8,21	8,04
32	3,17	8,81	9,76	17,31	14,84	15,56	15,02	15,17	19,95	14,64	13,90	11,09	18,10	13,63			13,27
33	5,65	9,82	12,58	12,30	16,96												11,46
34	6,10	16,77	24,24	17,72	9,09												14,78
37	2,07				0,00	9,93	16,88	14,42			16,17	16,46	21,60	19,26			12,98
39	2,24	5,02	11,71	16,92	15,61	12,82											10,72
40	7,44	5,34	11,73	10,72	11,04	11,81	12,43	13,01	12,56							4,76	10,08
41	5,63	10,79	13,37	15,19	11,93	24,82							5,12	12,69			12,44
42	4,74	9,83	14,42	3,94	11,61	12,89	15,81	19,54	14,17	8,90	20,24						12,37
43	8,25	14,18	16,50	9,92	2,82												10,33
46	1,65		15,63	18,28	15,77	15,78	15,52	12,61	14,67			23,02	16,00				14,89
Mittelw.	5,37	11,08	13,58	13,18	14,35	15,00	17,40	16,37	15,87	16,07	17,63	13,38	14,92	13,14	15,43	11,64	13,62

Bild A.II.37: Mittlere Energie [kWh] nach Ladedauer [hh:mm] je ASB für Nutzerphase 2

**Tabelle A.II.4:** Gesamtenergie nach Plug-In-Zeit je ASB in der Nutzerphase 1

Uhrzeit:	00:00	- 04:01	- 08:01	- 12:01	- 16:01	- 20:01	- Summe
ASB:	04:00	08:00	12:00	16:00	20:00	23:59	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,96	21,96
2	60,02	0,00	16,00	17,18	81,74	654,41	829,35
3	0,00	200,32	118,83	29,88	169,75	110,18	628,95
4	0,00	0,00	50,23	248,22	792,50	105,60	1196,54
5	20,33	3,87	0,00	58,89	302,95	69,36	455,40
6	73,53	0,00	0,63	65,71	250,19	299,92	689,98
7	71,03	0,00	21,74	53,10	591,47	344,43	1081,77
8	0,00	357,75	207,07	100,21	72,55	0,00	737,58
9	0,00	0,00	0,00	0,44	44,46	20,72	65,61
10	0,00	0,00	24,24	166,21	456,58	9,10	656,13
12	38,73	0,00	121,55	49,91	88,27	153,85	452,31
13	0,00	9,58	374,70	299,77	16,30	0,00	700,35
14	0,00	115,88	588,45	255,04	39,37	19,56	1018,30
15	0,00	0,00	23,03	0,00	317,77	350,37	691,18
16	209,11	22,85	64,06	154,40	475,06	750,76	1676,23
17	28,86	5,26	27,11	70,16	215,34	320,24	666,97
18	16,63	0,00	48,83	0,00	259,67	492,00	817,12
19	32,96	0,00	0,00	0,00	367,25	698,74	1098,94
20	0,00	280,40	878,83	360,95	103,85	42,82	1666,83
21	0,00	0,00	14,14	24,34	146,30	135,63	320,40
24	18,65	0,00	27,41	54,37	317,93	392,46	810,82
25	304,32	0,00	25,01	54,37	298,53	772,38	1454,61
26	37,31	0,00	7,10	119,74	565,48	111,19	840,83
27	88,74	12,55	14,54	51,41	318,98	852,78	1338,99
28	80,84	0,00	97,51	29,96	103,24	309,14	620,69
29	53,96	5,90	9,07	0,00	311,31	440,97	821,21
30	79,14	0,00	4,90	29,16	62,35	246,46	422,02

31	24,31	4,47	45,92	125,36	941,04	460,30	1601,39
32	38,07	0,00	34,18	62,26	230,58	795,89	1160,99
33	0,00	0,00	148,70	106,27	430,88	103,97	789,82
34	4,07	0,00	347,78	171,95	102,94	12,05	638,79
37	61,37	0,00	12,09	88,77	366,30	281,34	809,87
39	159,26	0,00	93,13	119,84	308,61	465,43	1146,28
40	318,49	0,00	21,07	40,93	143,82	1484,97	2009,27
41	0,00	41,10	877,50	193,51	28,34	0,00	1140,46
42	22,58	0,00	0,00	3,39	97,20	428,46	551,64
43	30,51	12,74	53,80	186,57	355,45	328,69	967,74
46	13,66	0,00	0,00	0,00	54,30	252,82	320,77
Summe	1886,45	1072,66	4399,16	3392,28	9828,63	12338,93	32918,12

**Tabelle A.II.5:** Mittlere Energie nach Plug-In-Zeit je ASB in der Nutzerphase 1

Uhrzeit:	00:00	- 04:01	- 08:01	- 12:01	- 16:01	- 20:01	- Mittelwert
ASB:	04:00	08:00	12:00	16:00	20:00	23:59	
1	0,00		0,00			10,98	3,66
2	11,69		8,00	5,73	11,68	45,83	16,58
3	24,95	50,08	9,90	9,96	18,86	22,04	22,63
4	0,00		16,74	62,05	52,83	25,24	31,37
5	20,33	3,87		14,72	30,29	13,87	16,62
6	12,91		0,63	10,95	20,85	27,27	14,52
7	16,00	0,00	7,25	7,59	39,43	31,13	16,90
8		51,11	20,71	14,32	18,14	0,00	20,85
9				0,44	22,23	10,36	11,01
10	0,00		12,12	23,74	35,12	16,18	17,43
12	32,25		30,39	16,64	44,14	30,14	30,71
13	6,48	9,58	24,98	23,06	8,15		14,45
14		28,97	39,23	17,00	6,56	19,56	22,27
15			23,03		31,78	44,11	32,97
16	26,89	22,85	9,15	15,44	33,93	53,70	26,99
17	16,58	2,63	27,11	17,54	43,07	39,39	24,39
18	0,00		24,42	0,00	23,61	44,73	18,55
19	12,40				40,81	49,32	34,17
20	0,00	93,47	73,24	22,56	17,31	21,41	38,00
21	0,00		3,53	6,09	20,90	19,38	9,98
24	8,29	0,00	9,14	10,87	28,90	29,08	14,38
25	26,71		25,01	10,87	29,85	55,03	29,50
26	28,08		3,55	19,96	37,70	18,43	21,54
27	24,10	12,55	7,27	17,14	35,44	65,60	27,02
28	20,38		24,38	14,98	20,65	28,10	21,70
29	17,99	5,90	9,07		77,83	42,10	30,58

30	26,38		2,45	29,16	20,78	29,50	21,65
31	12,15	4,47	22,96	17,91	58,81	40,77	26,18
32	19,03		11,39	20,75	38,43	58,42	29,61
33			29,74	17,71	39,17	29,21	28,96
34	2,03		31,62	15,63	20,59	4,02	14,78
37	12,27		6,04	17,75	36,63	42,49	23,04
39	24,18		9,31	10,89	22,04	38,02	20,89
40	25,96		7,02	10,23	14,38	94,36	30,39
41	73,01	10,28	58,50	16,13	7,09		33,00
42	22,58			3,39	32,40	61,21	29,90
43	15,25	12,74	17,93	16,96	23,70	30,99	19,60
46	13,66	0,00			18,10	28,09	14,96
Mittel	16,74	19,28	18,36	15,70	29,25	33,89	861,72

**Tabelle A.II.6:** Gesamtenergie nach Plug-In-Zeit je ASB in der Nutzerphase 2

Uhrzeit:	00:00	-	04:01	-	08:01	-	12:01	-	16:01	-	20:01	-	Summe
ASB:	04:00		08:00		12:00		16:00		20:00		23:59		
1	0,00		0,00		32,08		23,23		55,14		0,00		110,44
2	115,44		0,00		4,61		53,56		342,32		444,95		960,89
3	0,00		402,11		967,63		28,18		12,23		0,00		1410,15
4	166,79		0,00		0,00		99,21		276,53		1015,59		1558,13
5	62,94		0,00		39,46		47,22		462,84		818,29		1430,74
6	0,00		0,00		555,44		373,55		201,15		20,22		1150,36
7	0,00		0,00		265,04		57,75		70,54		8,56		401,89
8	0,00		0,00		566,28		667,27		37,97		21,56		1293,09
9	0,00		33,73		360,03		199,99		391,02		29,53		1014,30
10	60,27		10,54		42,92		207,21		239,76		431,38		992,08
11	156,81		3,46		36,82		92,51		233,70		479,95		1003,25
12	154,96		0,00		29,11		99,80		620,10		427,26		1331,24
13	92,88		0,00		17,20		23,97		528,47		569,88		1232,41
14	0,00		0,00		28,12		12,12		290,16		445,35		775,75

15	41,70	0,00	42,81	22,90	56,84	353,98	518,23
16	33,28	26,36	13,62	89,54	321,17	213,81	697,78
17	0,00	83,26	605,77	115,37	68,86	2,73	875,99
18	319,89	0,00	34,54	175,24	204,58	508,42	1242,68
19	39,23	0,00	63,00	35,25	113,85	249,58	500,91
20	40,71	17,85	200,12	175,48	296,77	495,82	1226,74
21	0,00	523,12	112,81	42,23	0,00	0,00	678,16
24	0,00	19,66	1174,38	289,04	73,51	31,33	1587,93
25	0,00	14,40	677,30	274,86	52,81	48,17	1067,53
26	8,24	20,16	212,59	224,67	721,19	93,03	1279,89
27	220,30	0,00	23,12	0,00	336,39	1216,80	1796,60
28	18,61	0,00	31,11	116,98	930,80	302,37	1399,87
29	175,68	2,41	3,09	133,24	210,52	736,82	1261,76
30	0,00	0,00	21,41	0,00	54,83	44,64	120,87
31	24,53	0,00	16,53	96,65	663,93	604,70	1406,35
32	137,62	0,00	52,09	128,28	426,07	497,51	1241,56
33	0,00	0,00	222,67	41,10	11,30	0,00	275,07
34	0,00	110,49	521,48	323,02	95,00	0,00	1050,00
37	0,00	0,00	24,47	20,30	258,81	28,54	332,13
39	0,00	296,40	204,68	65,70	0,00	0,00	566,78
40	238,52	0,00	12,98	36,21	126,44	758,29	1172,44
41	0,00	0,00	603,04	210,21	26,76	0,00	840,02
42	44,28	0,00	24,94	15,79	124,78	689,50	899,29
43	0,00	0,00	55,33	160,36	11,94	7,61	235,24
46	75,75	0,00	0,00	0,00	194,04	477,80	747,59
Summe	2228,42	1563,95	7898,61	4778,02	9143,13	12074,00	37686,13

**Tabelle A.II.7:** Mittlere Energie nach Plug-In-Zeit je ASB in der Nutzerphase 2

Uhrzeit:	00:00	- 04:01	- 08:01	- 12:01	- 16:01	- 20:01	- Mittelwert
ASB:	04:00	08:00	12:00	16:00	20:00	23:59	
1			5,35	4,65	18,38	0,00	7,09
2	28,86		0,92	13,39	34,23	37,08	22,90
3		23,81	80,64	14,09	12,23		32,69
4	15,16			19,84	23,04	67,71	31,44
5	12,59		9,86	9,44	38,57	54,55	25,00
6			37,03	28,73	15,47	20,22	25,36
7			24,09	8,25	14,11	8,56	13,75
8			40,45	44,48	7,59	10,78	25,83
9		33,73	36,00	22,22	30,08	29,53	30,31
10	7,53	10,54	7,15	15,94	21,80	28,76	15,29
11	19,60	3,46	9,20	15,42	23,37	34,28	17,56
12	22,14		9,70	14,26	41,34	35,61	24,61
13	18,58		8,60	11,99	37,75	37,99	22,98
14			14,06	12,12	32,24	40,49	24,73
15	20,85		21,41	7,63	18,95	27,23	19,21
16	16,64	13,18	4,54	11,19	22,94	23,76	15,37
17		26,52	67,31	14,42	11,48	2,73	24,49
18	31,99		11,51	19,47	34,10	46,22	28,66
19	19,62		15,75	11,75	22,77	27,73	19,52
20	10,18	8,92	15,39	14,62	19,78	38,14	17,84
21		69,73	12,53	7,04	0,00		22,33
24		19,66	78,29	19,27	10,50	31,33	31,81
25			48,38	22,91	13,20	16,06	25,14
26	8,24		30,37	28,08	45,07	18,61	26,08
27	44,06		7,71		30,58	93,60	43,99
28	18,61		15,56	19,50	58,17	30,24	28,41
29	21,96	2,41	3,09	14,80	19,14	49,12	18,42

30			7,14		13,71	14,88	11,91
31	8,18		3,31	13,81	44,26	46,52	23,21
32	19,66		8,68	12,83	35,51	41,46	23,63
33			31,81	10,28	11,30		17,80
34		11,26	37,25	26,92	10,56		21,49
37			6,12	10,15	21,57	5,71	10,89
39		32,35	18,61	21,90			24,28
40	19,88		6,49	18,10	21,07	50,55	23,22
41			43,07	17,52	8,92		23,17
42	14,76		6,24	15,79	17,83	49,25	20,77
43			18,44	20,05	5,97	7,61	13,02
46	12,62			0,00	32,34	36,75	20,43
Mittel	18,65	21,30	21,68	16,02	23,16	32,21	874,63