

MINI E powered by Vattenfall V2.0



FuE-Programm "Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

MINI E powered by Vattenfall V2.0

Zuwendungsempfänger: Vattenfall Europe Innovation GmbH	Förderkennzeichen: 16EM0069
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: MINI E - powered by Vattenfall V2.0	
Projektleitung: Andreas Weber	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2010 – 30.09.2011	
Berichtszeitraum: 01.04.2010 – 30.09.2011	
Berichtszeitpunkt: 31.10.2011	

Vattenfall Europe Innovation GmbH
Überseering 12
22297 Hamburg

Verbundpartner



Vattenfall Europe Innovation GmbH Dr. Oliver Weinmann
Überseering 12
22297 Hamburg



Bayerische Motorenwerke AG Ulrich Kranz
Petuelring 130
80788 München



Technische Universität Chemnitz Prof. Dr.
Straße der Nationen 62 Josef F. Krems
09111 Chemnitz

Inhaltsverzeichnis

Verbundpartner	3
Inhaltsverzeichnis.....	4
Abkürzungsverzeichnis	6
Glossar.....	7
Abbildungsverzeichnis.....	10
1 Executive Summary	13
2 Zielstellung des Verbundprojektes.....	14
3 Ergebnisse des Verbundprojektes.....	17
3.1 Überblick über den Arbeitsplans	17
3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der beteiligten Partner	18
3.3 Ergebnisse der Vattenfall Europe Innovation GmbH	20
3.3.1 Definition möglicher Anwendungsfälle aus energiewirtschaftlicher Sicht	20
3.3.1.1 Ziele und Aufgaben	20
3.3.1.2 Vorgehen / Methodik	20
3.3.1.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen	21
3.3.2 Infrastrukturprüfung und Nutzerkontrahierung	25
3.3.2.1 Ziele und Aufgaben	25
3.3.2.2 Vorgehen / Methodik	26
3.3.2.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen	30
3.3.3 Definition der Forschungsfragen aus energiewirtschaftlicher Sicht	39
3.3.3.1 Ziele und Aufgaben	39
3.3.3.2 Vorgehen / Methodik	39
3.3.3.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen	40
3.3.4 Datengenerierung für Hypothesentest	41

3.3.4.1	Ziele und Aufgaben	41
3.3.4.2	Vorgehen / Methodik	41
3.3.4.3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	44
3.3.5	Datenanalyse, Hypothesentest und Ergebnisbericht	59
3.3.5.1	Ziele und Aufgaben	59
3.3.5.2	Vorgehen / Methodik	59
3.3.5.3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	61
4	Wesentliche Abweichungen zum Arbeitsplan	82
5	Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik	84
5.1	Projekte zur Elektromobilität in Deutschland	84
5.2	Vergleich der Projektergebnisse zum Stand der Technik	84
5.3	Stand der Technik und Forschung	85
5.3.1	Ladeinfrastrukturen und Ladekonzepte	85
5.3.2	Netzregulierung	90
5.3.3	Energiekonzepte / Speichertechnologien / Smart Grid	92
5.3.4	Zukunft der Elektromobilität	103
5.3.5	Nutzereinstellung zur Elektromobilität	112
5.3.6	Pilotprojekte	116
6	Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf.....	123
7	Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des BMU	124

Abkürzungsverzeichnis

ASB	Autostrom-Box, auch Ladebox oder Wallbox
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BEV	Battery Electric Vehicle
CO ₂	Kohlendioxid
DSO	Distribution System Operator
EE	Erneuerbare Energien
EUREF	Europäisches Energieforum
EMS	Elektromobilitätssystem
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FI	Fehlerstromschalter
FuE	Forschung und Entwicklung
GGEMO	Gemeinsame Geschäftsstelle der Bundesregierung
GSM	Global System for Mobile Communications
HT	Hochleistungstarif
ICCB	InCableControlbox
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
kWh	Kilowattstunde
Mind.	mindestens
MR	Minutenreserve
NDL	Netzdienstleistung
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
NT	Niedrigleistungstarif
P&R	Park and ride
RCD	Fehlerstromschalter
RFID	Radio-Frequency Identification
V2G	Vehicle-to-Grid
VPN	Virtual Private Network
W2V	Wind-to-Vehicle
XML	Extended Mark-up Language, spezielles Datenformat
ZP	Zählpunkt

Glossar

Begriff	Erklärung
Amsterdamer Modell	In Amsterdam installieren Energieversorger insgesamt 1.000 Ladestationen für Kunden. Kunden können dabei einen Wunschstandort für die Ladestation auf öffentlichen Grund angeben, den die Unternehmen dann im Regelfall realisieren.
Anwendungsfälle	Ein Anwendungsfall bezeichnet hier die Nutzung von Elektrofahrzeugen durch eine abgegrenzte Gruppe von Anwendern.
Autostrom-Box (ASB)	Ladestationen für Elektrofahrzeuge, die im nicht-öffentlichen Raum installiert sind. Eine Autostrom-Box kann einen oder mehrere Ladepunkte beinhalten.
Autostrom-Station (ASS)	Ladestationen für Elektrofahrzeuge, die im öffentlich zugänglichen Raum installiert sind. Eine Autostrom-Station kann mehrere Ladepunkte beinhalten.
BEV (Battery Electric Vehicle)	Das BEV ist ein rein elektrisch angetriebenes Fahrzeug. Das heißt es gibt im Fahrzeug eine Batterie, die den oder die Motoren mit Energie versorgt.
Carsharing	Ein Carsharing-Anbieter ermöglicht Kunden den Zugriff auf eine Flotte von Fahrzeugen. Die Nutzungshürden und formalen Anforderungen beim Ausleihvorgang sind dabei besonders niedrig.
CEE-plus-Stecker	Hier: Ein CEE-Drehstromstecker mit vier Zusatzkontakten, die speziell für den Anwendungsfall MINI E bestückt wurden.
Diskriminierungsfreier Zugang zur Ladestation	Der Zugang hat eine technische und eine vertriebliche Dimension: (i) Vertrieblich: alle Vertriebe können über die Ladesäule Strom anbieten und verkaufen (ii) Technisch: die verschiedenen Fahrzeugtypen können an einer Ladesäule mit Standardausrüstung (Kabel) und einem Authentifizierungsmittel laden
FI-Schalter (Fehlerstromschalter)	Der Fehlerstromschalter ist ein Sicherheitsschalter, der bei einem gewissen Fehlerstrom (z.B. durch den Körper eines Menschen bei Berührung/Kontakt) die überwachte stromführende Leitung abschaltet. Üblich sind ca. 30mA Fehlerstrom, ab dem der Fehlerstromschalter auslöst und die betroffene Leitung stromlos schaltet.
Flotten	Werden viele Fahrzeuge als Gruppe betrieben und zentral verwaltet, so stellen sie eine Fahrzeugflotte dar.
Fluktuierende Erzeugung	Schwankende Erzeugung von elektrischer Energie, z.B. von Wind und Photovoltaikanlagen.

Fuhrpark	Als Fuhrparks werden hier Fahrzeugflotten eines Unternehmens oder einer Behörde verstanden, nicht jedoch die Fahrzeuge eines Carsharing-Unternehmens.
Gesteuertes Laden (GL)	Gesteuertes Laden ist der Oberbegriff für mehrere Techniken, um den Ladevorgang eines Elektrofahrzeugs über die Bedarfe des Fahrzeugs hinaus zu steuern. Zu diesen Techniken gehören Wind-to-Vehicle, Lokales Lastmanagement, Örtliches Lastmanagement und Vehicle-to-Grid.
Heimlader	Begriff für den Anwendungsfall der Park&Ride-Nutzer, die eine exklusiv nutzbare private Lademöglichkeit haben.
InCableControlbox	Die In-Cable-Control-Box ist eine Sicherungs- und Steuereinheit, die in das Ladekabel eingelassen ist. Häufig ist ein laienbedienbarer FI-Schalter integriert, der das
IEC 61851	Normengruppe für das Laden von Elektrofahrzeugen.
IEC-Typ-2-Stecker	Stecksystem zum Laden von Elektrofahrzeugen, das in der IEC 62196 (Teil 1 und Teil 2) beschrieben ist. Neben dem Typ-2-Stecker existieren noch zwei weitere Standardvorschläge.
Ladeinfrastruktur (LI)	Sammelbegriff für alle Geräte, die das Laden von Elektrofahrzeugen aus dem öffentlichen Stromnetz ermöglichen und dafür Ladepunkte bereitstellen.
Ladekarte	Mithilfe der Ladekarte identifizieren sich Nutzer gegenüber der Autostrom-Station. Die Ladestation kann dabei feststellen, ob der Nutzer zum Laden an der Ladestation autorisiert ist. Die Identifikationsdaten auf der Ladekarte können zur Erstellung eines Abrechnungsdatensatzes genutzt werden. Die technische Basis der Ladekarte hängt vom konkreten Einsatzzweck ab. RFID-Karten haben sich für den öffentlichen Raum als geeignet erwiesen.
Ladepunkt (LP)	Separat bedienbares Steckpanel mit einem oder mehreren Typen Steckdosen, die untereinander elektrisch oder mechanisch verriegelt sind. Das bedeutet, dass gleichzeitig nur eine Steckdose des Ladepunkts nutzbar ist. Eine Autostrom-Station (ASS) oder eine Autostrom-Box (ASB) kann einen oder mehrere Ladepunkte beinhalten.
Ladesäule (LS)	Eine Untergruppe der Ladeinfrastruktur (LI) und ist im Allgemeinen ein öffentlich zugänglicher Ladepunkt (LP).
Laternenparker	Begriff für den Anwendungsfall der Park&Charge-Nutzer, die mangels privater Lademöglichkeit auf die Nutzung der öffentlich-zugänglichen Ladeinfrastruktur angewiesen sind.
Lokales Lastmanagement (LLM)	Mit lokalem Lastmanagement (LLM) wird der Netzanschluss eines Kunden vor Überlastung geschützt. Unter einer Überlastung wird dabei das Überschreiten einer Leistungsgrenze verstanden. Die festgelegte maximale Leistung des Netzanschlusses kann dabei technisch oder vertraglich begründet

	sein.
MINI E Berlin	Vorläuferprojekt des hier beschriebenen Projekts MINI E 2.0.
Mode3-Kontroller	Elektronisches Bauteil, mit dem das Mode3-Verfahren in der Ladeinfrastruktur technisch realisiert wird.
Mode3-Verfahren	Beschreibt ein in der Normengruppe IEC 61851 niedergelegtes Verfahren, um einen Ladevorgang zwischen Elektrofahrzeug und Ladeinfrastruktur zu initialisieren und zu steuern.
Regelenergie	Energie zum Ausgleich von Leistungsungleichgewichten in einer Regelzone
RFID / RFID-Karte (Radio Frequency Identification)	Karte, in der ein Chip – ausgestattet mit der Radio Frequency Identification Technologie – integriert ist. Der Chip benötigt keine eigene Energiequelle (Batterie) in der Karte für den Betrieb, da der Transponder, an dem die RFID-Karte gehalten wird, die Betriebsenergie per magnetischer Wechselfelder oder hochfrequenter Radiowellen überträgt.
Schukostecker	Deutsche Schukostecker sind nach CEE 7/4 normiert. Die Stecker erlauben Stromstärken bis 16A und dadurch im deutschen Stromnetz Ladeleistungen von bis zu 3,68 kW.
Schutzklasse	Die Schutzklasse kennzeichnet, wie gut ein Gerät gegen das unerwünschte Eindringen von Drähten, staubartigen Fremdkörpern und Wasser geschützt ist.
Smart Grid (Intelligentes Stromversorgungsnetz)	Intelligentes Energienetz und Regelsystem aus intelligenten Erzeugern, Speichereinrichtungen, Verbrauchern und Energietransporteinrichtungen mit der Unterstützung von Informations- und Kommunikationstechnologie als auch Automatisierungstechnologien.
W2V (Wind-to-Vehicle)	<p>Technik, die eine Leistungssteuerung des Ladevorgangs eines Elektrofahrzeugs anhand eines vorgegebenen Fahrplans ermöglicht. Mit dieser Technik sollen die ungewünschten Auswirkungen von Schwankungen bei der Stromproduktion aus Erneuerbaren Energien gemindert werden.</p> <p>Der Fahrplan orientiert sich dabei an einem abstrakten überzähligen oder fehlenden Angebot an Strom aus Erneuerbaren Energien.</p> <p>Überzählig bedeutet in diesem Zusammenhang, dass mehr Strom produziert werden könnte, als abgenommen wird.</p> <p>Fehlend bedeutet, dass weniger Strom als geplant zur Verfügung steht und dieser über Spitzenlastanlagen produziert werden müsste.</p> <p>Im Fahrplan werden die Wünsche der Nutzer bezüglich der nächsten Nutzung des Fahrzeugs berücksichtigt.</p>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Meilensteinplan MINI E 2.0	17
Abbildung 2 Prozess zur Festlegung der Anwendungsfälle	21
Abbildung 3 Ausgewählte Anwendungsfälle im Projekt MINI E 2.0.....	22
Abbildung 4 Ausdifferenzierung der Anwendungsfälle	23
Abbildung 5 Beschreibung möglicher Anwendergruppen	24
Abbildung 6 Relevanz der Anwendergruppen anhand des Energieverbrauchs.....	24
Abbildung 7 Bewertung der Anwendergruppen	24
Abbildung 9 Prozess Privatnutzerauswahl.....	27
Abbildung 8 Konditionen des Stromvertrags für Projektkunden	27
Abbildung 10 Prozess Flottennutzerauswahl.....	28
Abbildung 11: Autostrombox (links) und Ladepunkt (rechts).....	34
Abbildung 11 Ausschnitt aus dem Fragebogen zu energiewirtschaftlichen Fragen.....	41
Abbildung 12 Systemarchitektur der Datenerhebungsinfrastruktur	43
Abbildung 13 Installationshochlauf der Autostrom-Boxen bei Privatnutzern	45
Abbildung 14 Installationshochlauf Laternenparker (Nutzersetting P&R)	45
Abbildung 15 Installation von Ladesäulen neuen Typs	45
Abbildung 16 Installationshochlauf Flottennutzer.....	46
Abbildung 17 Installationsbeispiel EUREF-Gelände	47
Abbildung 18 Ladestationen alten Typs (links) und neuen Typs (rechts)	48
Abbildung 19 Nutzung von Ladeadaptern für MINI E in verschiedenen Ladesäulen	49
Abbildung 20 Bestehendes Nutzerportal aus dem Projekt MINI E Berlin	51
Abbildung 21 Übersicht über angeschlossene Fahrzeuge für Fuhrparkmanager.....	52
Abbildung 22 Übersicht der Datenquellen	53
Abbildung 23 Zuverlässigkeit je Autostrom-Box.....	56

Abbildung 24 Zuverlässigkeit Serversystem (blau) und Windsignal (rot).....57

Abbildung 25 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge62

Abbildung 26 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge je Nutzergruppe63

Abbildung 27: Statistische Kennzahlen zur Anschlussdauer und Lademenge je Nutzergruppe63

Abbildung 28 Kumulierte relative Häufigkeit des Korrelationskoeffizienten65

Abbildung 29 Vergleich der Anwendungsfelder in Bezug auf die Wind2Vehicle-Ergebnisse66

Abbildung 30 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge – Heimplader67

Abbildung 31 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge je Nutzer – Heimplader67

Abbildung 32 Durchschnittliche Dauer zwischen und Länge von Anschlussvorgängen – Heimplader.....68

Abbildung 33 Anzahl angeschlossener Fahrzeuge nach Uhrzeit und Wochentag – Heimplader.....69

Abbildung 34 Anzahl der Fahrzeuganschlüsse nach Uhrzeit und Wochentag – Heimplader69

Abbildung 35 Dauer der Anschlussvorgänge und Lademenge – Heimplader70

Abbildung 36 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge – Fuhrpark71

Abbildung 37 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge je Nutzer – Fuhrpark.....71

Abbildung 38 Anzahl angeschlossener Fahrzeuge nach Uhrzeit und Wochentag – Fuhrpark.....72

Abbildung 39 Anzahl der Fahrzeuganschlüsse nach Uhrzeit und Wochentag – Fuhrpark72

Abbildung 40 Dauer der Anschlussvorgänge und Lademenge – Fuhrpark73

Abbildung 41 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge – Carsharing74

Abbildung 42 Anzahl angeschlossener Fahrzeuge nach Uhrzeit und Wochentag – Carsharing75

Abbildung 43 Anzahl der Fahrzeuganschlüsse nach Uhrzeit und Wochentag – CarSharing.....75

Abbildung 44 Dauer der Anschlussvorgänge und Lademenge – Carsharing76

Abbildung 45 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge – Laternenparker77

Abbildung 46 Durchschnittliche Dauer zwischen und Länge von Anschlussvorgängen – Laternenparker.....78

Abbildung 47 Anzahl angeschlossener Fahrzeuge nach Uhrzeit und Wochentag – Laternenparker.....78

Abbildung 48 Anzahl der Fahrzeuganschlüsse nach Uhrzeit und Wochentag – Laternenparker.....79

Abbildung 49 Dauer der Anschlussvorgänge und Lademenge – Laternenparker79

Abbildung 50: Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge je öffentlichen Ladestandort80

Abbildung 51: Nutzungsstruktur je öffentlichem Ladestandort81

Abbildung 50 Überblick über den angepassten Arbeitsplan.....83

1 Executive Summary

2 Zielstellung des Verbundprojektes

Gesamtziel des Vorhabens

Erklärtes Ziel der Bundesregierung ist, die Nachhaltigkeit der deutschen Volkswirtschaft zu stärken und Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter für die Elektromobilität zu etablieren. Im Rahmen ihrer Klimaschutzpolitik will sie dabei den Anteil der Erneuerbaren Energien am deutschen Strommix deutlich erhöhen und setzt insbesondere auf den Ausbau der Windenergie. Das Aufkommen an Windenergie unterliegt jedoch starken Schwankungen und verläuft zudem häufig asynchron zur Nachfrage im Netz. Dabei kann es zu Konflikten mit der Netzstabilität kommen, welche aus volkswirtschaftlicher Sicht am besten durch eine geeignete Laststeuerung respektive durch Speicherung überschüssiger Windenergie auflösbar ist. Für beide Fälle bieten sich Batterien von Elektrofahrzeugen als eine Möglichkeit unter mehreren an.

Elektrofahrzeuge sind aufgrund ihres Antriebskonzeptes mit dem Einsatz von Elektromotoren deutlich effizienter als herkömmliche, mit Verbrennungsmotoren betriebene Fahrzeuge und verursachen keine antriebsbedingten lokalen Emissionen. Für den zukünftigen breiten Einsatz von Elektrofahrzeugen ist ein Zusammenwirken zwischen Nutzer, Elektrofahrzeug sowie Energieversorger zu etablieren. Im Sinne der übergeordneten Ziele, sollen daher in diesem Vorhaben spezielle Anwendungsfälle der Nutzung von Elektrofahrzeugen und der notwendigen Ladeinfrastruktur definiert und untersucht werden.

Erforschung der Verfügbarkeit der E-Fahrzeuge unterschiedlicher Nutzergruppen für windlastgesteuerte Ladevorgänge

In vorausgegangenen Projekten konnte gezeigt werden, dass Elektrofahrzeuge dezentral in Abhängigkeit der aktuellen Produktionsleistung der Windkraftanlagen geladen werden können. Allerdings zeigte sich auch, dass die Korrelation zwischen den zeitlichen Verläufen der Windenergieeinspeisung und der summierten Ladeleistung der Fahrzeuge niedriger als erwartet ist.

Die Ursache liegt ersten Erkenntnissen zufolge zum Teil darin begründet, dass die Fahrzeuge – entgegen den ersten Erwartungen – nicht immer an die Ladegeräte angeschlossen wurden, sobald dies möglich war. Im Gegenteil schöpften die Nutzer die Bat-

teriekapazität über mehrere Tage aus, bevor sie das Fahrzeug wieder mit der Ladestation verbunden. Vor einer Kommerzialisierung der Elektromobilität mit dem Konzept W2V muss die Technik möglichst zielgerichtet auf die Nutzerbedarfe ausgerichtet sein. Dazu sind relevante Anwendungsfälle für den Einsatz von Elektrofahrzeugen aus Fahrzeughersteller- und energiewirtschaftlicher Sicht zu identifizieren und durch Nutzerforschung und Feldversuche im Hinblick auf das Wind-to-Vehicle-Konzept zu erforschen.

Mögliche Anwendungsfälle können dabei sein:

- **Flotten:** Hier wird zunächst eine höhere tägliche Fahrleistung und damit Auslastung vermutet, welches eine wichtige Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb der E-Fahrzeuge darstellt.
- **Privatkunden:** Pendler mit für die Windintegration günstigen Fahrtprofilen mit langen regelmäßigen Strecken und eigener Ladeinfrastruktur.
- **Laternenparker:** Privatkunden ohne hauseigene Ladeinfrastruktur, die auf öffentliche Ladeinfrastrukturen angewiesen sind.

Steigerung der Kundenakzeptanz mittels Mehrwertdienste

Ein weiterer wichtiger Befund aus Zwischenergebnissen vorangegangener Projekte betrifft die Akzeptanz der Nutzer hinsichtlich des Gesamtsystems Elektromobilität. Es zeigt sich, dass Nutzer die objektiven Einschränkungen von E-Fahrzeugen insbesondere in Bezug auf die reduzierten Reichweiten sowie notwendige Ladezeiten subjektiv nicht als Nutzungshemmnis wahrnehmen. Dieses ist eine Schlüsselvoraussetzung für den späteren großflächigen Einsatz von Elektrofahrzeugen und somit auch der Bereitstellung größerer und somit betriebswirtschaftlich sinnvollen Kapazitäten für das Konzept W2V. Nur ein vom Nutzer alltäglich eingesetztes Fahrzeug sowie ein Fahrzeug, das in den Zeiten, in denen es nicht verwendet wird, auch an die Ladeinfrastruktur angeschlossen ist, weist eine entsprechend notwendige Fahrleistung sowie Passung für das Konzept W2V auf.

Es hat sich zudem gezeigt, dass die öffentliche Ladeinfrastruktur nur sehr selten in Anspruch genommen wird. Dennoch zeigen die Nutzerbefragungen, dass ein Bedarf an ihrer Existenz artikuliert wird. Wenn man zudem insbesondere nunmehr die „Laternenparker“ dezidiert als Zielgruppe definiert, dürfte sich der Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur deutlich ändern. Vor diesem Hintergrund soll ein Mehrwertdienst entwickelt und getestet werden, der aus einem Mobilitätsassistenten sowie einem kundengerechten Mobilitätspaket zur Unterstützung von Laden und Parken besteht.

Diese Anwendungen stellen auf Grundlage der bereits empirisch ermittelten Ergebnisse einen weiteren Schritt zur Steigerung der Nutzerakzeptanz dar, welches über den Mengeneffekt die Verfügbarkeit von Fahrzeugbatterien für die Windintegration steigert.

Diese Ansätze werden im Rahmen des Deliverable 1.3 (Steigerung der Fahrzeugverfügbarkeit und Nutzerakzeptanz mittels Mehrwertdienst) adressiert.

Erforschung der Akzeptanz möglicher Anwendungsfälle sowie der korrespondierenden Zahlungsbereitschaft

Die in AP1.1.1 und AP1.1.2 erarbeiteten Anwendungsfälle sind auf Basis relevanter empirischer Ergebnisse auf ihr Einsatzpotenzial bzgl. der zu beantworteten Forschungsfragen aus energiewirtschaftlicher sowie aus Sicht der Fahrzeughersteller umfassend zu überprüfen. Dadurch soll sichergestellt werden, dass auf Basis einer wissenschaftlich fundierten Analyse der Anwendungsfälle die für die spätere Feldphase ausgewählt werden, welche das größte Potenzial haben die Forschungsfragen zu beantworten. Damit kann nicht nur eine höhere Passung zwischen Elektromobilität und Nutzung von Windenergie ermöglicht werden, sondern darüber hinaus insgesamt zum Umweltnutzen beigetragen werden.

3 Ergebnisse des Verbundprojektes

3.1 Überblick über den Arbeitsplans

Das Forschungsvorhaben MINI E 2.0 gliedert sich in die Phasen Konzept und Feldversuch. In der Konzeptphase wurden Anwendungsfälle definiert, zu den Anwendungsfällen passende Nutzer ausgewählt und geprüft, ein Mehrwertdienst für die Nutzer erstellt und die Vorarbeiten zur Nutzerstudie geleistet.

Aufbauend auf diese Vorleistungen wurde der eigentliche Feldversuch vorgenommen. Dabei kamen insgesamt 70 Fahrzeuge vom Typ MINI E zum Einsatz. Zum Laden der Fahrzeuge wurden 48 Autostrom-Boxen speziell ausgerüstet und 46 dieser Boxen bei privaten und gewerblichen Nutzern installiert. Es handelte sich um die Autostrom-Boxen aus dem Vorläuferprojekt MINI E Berlin. Diese mussten aufgrund einer technischen Änderung am MINI E angepasst werden. Zudem wurde den Nutzern öffentlich-zugängliche Ladeinfrastruktur zugänglich gemacht. Die Feldphase wurde durch eine Begleitforschung zur Nutzerperspektive unterstützt.

Einen grafischen Überblick über den ursprünglichen Arbeitsplan zeigt Abbildung 1. Der später überarbeitete Arbeitsplan ist in Abbildung 53 dargestellt.

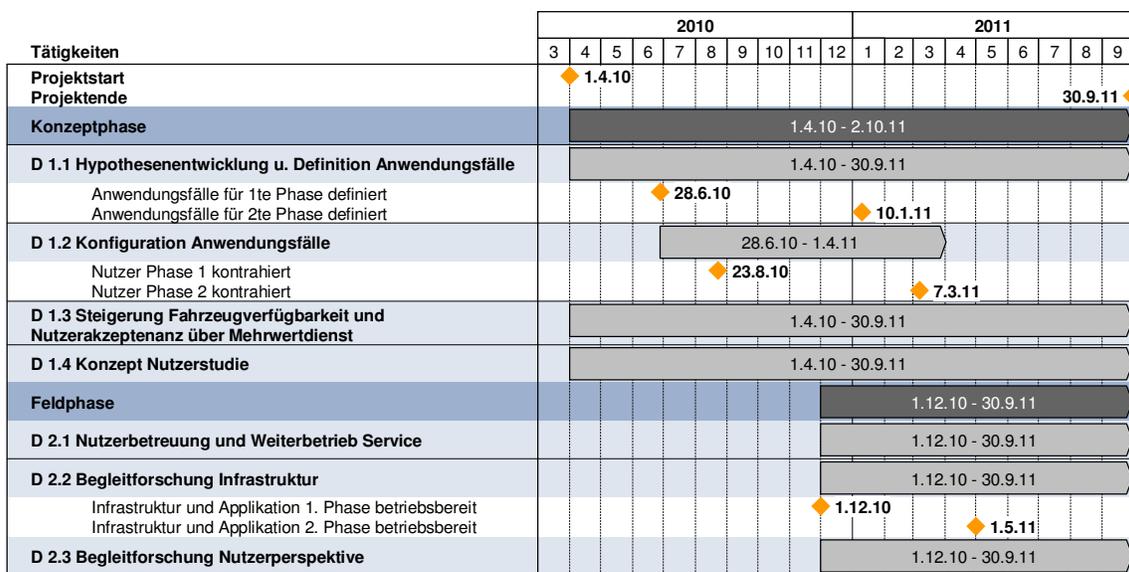


Abbildung 1 Meilensteinplan MINI E 2.0

3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der beteiligten Partner

D1.1 Hypothesenentwicklung und Definition der Anwendungsfälle

Die aus den prototypischen Zielgruppen abgeleiteten zu untersuchenden Anwendungsfälle wurden definiert, z.B. Privatanwender ohne eigene Lademöglichkeit und Flottenanwender. Dabei wurden die Bewertungskriterien aus Energieversorger- und Automobilherstellersicht berücksichtigt, wie die prognostizierte Verfügbarkeit am Netz oder angenommene Mobilitätsmuster. Die Anwendungsfälle wurden anhand von wissenschaftlichen Kriterien analysiert, bewertet und für den Einsatz in der Feldphase bestätigt.

D1.2 Konfiguration Anwendungsfälle

Ein Nutzungsmodell für die Anwendungsfälle im Privat- und Flottenkundensegment unter Berücksichtigung der wesentlichen Stellhebel des Nutzungs- und Ladeverhaltens wurde definiert. Die Privat- und Flottenkunden wurden auf Basis der Korrelation zwischen Nutzungsmodell und Anwendungsfall ausgewählt. Wesentliche Voraussetzungen für die Auswahl waren die Eignung aus wissenschaftlicher Sicht und die netztechnische und praktische Umsetzbarkeit. Der Einsatz der Fahrzeuge bei Flottenkunden im Anwendungsfall Carsharing wurde durch den ausgewählten Partner gesteuert.

D1.3 Steigerung Fahrzeugverfügbarkeit und Nutzerakzeptanz über Mehrwertdienst

Zur Realisierung eines Mobilitätsassistenten wurden die Anforderungen in einem Anforderungs- und Funktionskonzept in Abstimmung mit den Projektpartnern formuliert. Basierend darauf wurde ein erster Prototyp des Mobilitätsassistenten für „Laden und Parken“ entwickelt und pilothaft von zwanzig Nutzern getestet. In enger Abstimmung mit der Nutzerforschung der TU Chemnitz wurden auf Basis der Tests Verbesserungspotenziale und Schwachstellen bzgl. Technik und Bedienung identifiziert. Dies führte zur Weiterentwicklung des Mobilitätsassistenten. Anschließend wurde der Mobilitätsassistent in der Feldphase bis Ende 07/2011 intensiv im Realbetrieb eingesetzt. Die Ergebnisse/Erfahrungen aus der Feldphase wurden ausgewertet und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

D1.4 Konzept Nutzerstudie

Für die Konzeption der Nutzerstudie wurden die Forschungsfragen als Hypothesen von den drei Partnern individuell erarbeitet und im Konsortium abgestimmt. Das Studienkonzept, inklusive eines Methodenpaketes, welches Umweltnutzen, Alltagstauglichkeit, Nutzerakzeptanz und Verwendung von Mehrwertdiensten untersucht, wurde zur Beantwortung der Forschungsfragen erstellt. Im Anschluss erfolgte die Auswahl der konkreten Nutzer in den Anwendungsfällen für die Nutzerstudie. Auf Basis bereits vorliegender Erkenntnisse wurde ein Anforderungsprofil für die notwendigen Funktionalitäten des Mobilitätsassistenten aus wissenschaftlicher Sicht definiert.

D2.1 Nutzerbetreuung und Weiterbetrieb Service

Die eingesetzten siebzig MINI E Fahrzeuge wurden für den Betrieb in der Feldphase vorbereitet. Die rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen, um die nicht-seriengleichen Fahrzeuge von Typ MINI E einzusetzen, wurden geschaffen. Eine Betriebs- und Betreuungsstruktur für den sicheren Betrieb der Fahrzeuge sowie eine Nutzerbetreuung wurde schwerpunktmäßig für die Feldphase sichergestellt. Eine Serviceorganisation für Hochvoltumfänge in einem gewöhnlichen Automobil-Handelsbetrieb in der Niederlassung Berlin wurde realisiert. Während der Feldphase wurde ein Flottenmanagement und eine Einsatzsteuerung bis hin zur Rücknahme der Fahrzeuge am Ende der Nutzungsdauer sichergestellt.

D2.2 Begleitforschung Infrastruktur

Die für die Durchführung der Studien erforderliche Ladeinfrastruktur wurde aufgebaut und über Funkkommunikation mit den beiden Leit- und Steuerungszentren verbunden. Hier erfolgte die Überwachung und Steuerung der Ladegeräte sowie die Datenerhebung. Die gesammelten Daten wurden umfassend analysiert und ausgewertet, sodass die Anwendungsfälle im Hinblick auf die Hypothesen bzw. Forschungsfragen bewertet werden können.

D2.3 Begleitforschung Nutzerperspektive

Es wurden Befragungen zu Erfahrungen mit dem System Elektromobilität und W2V in verschiedenen Anwendungsfällen durchgeführt, die Aufschluss über das Potential des gesamten Systems aus Nutzersicht gaben. Eine umfassende Datenbasis von subjektiven und objektiven, qualitativen und quantitativen Daten konnte generiert werden. Für die objektiven Daten (Datenloggerdaten) wurden durch den Automobilhersteller Server-

und Auswertekapazitäten bereitgestellt. Der Mobilitätsassistent wurde an verschiedenen Nutzergruppen getestet, Empfehlungen für dessen Weiterentwicklung wurden erarbeitet. Alle Ergebnisse flossen in einen Abschlussbericht, in dem die Alltagstauglichkeit und Akzeptanz von Elektromobilität in unterschiedlichen Einsatzbereichen dargestellt wurde.

3.3 Ergebnisse der Vattenfall Europe Innovation GmbH

Die Beteiligung des Projektpartners Vattenfall bezog sich insbesondere auf die Bearbeitung von fünf Arbeitspaketen. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind hier dargestellt.

3.3.1 Definition möglicher Anwendungsfälle aus energiewirtschaftlicher Sicht

3.3.1.1 Ziele und Aufgaben

Das Deliverable 1.1 diente dazu aus Sicht eines Automobilherstellers und eines Energieversorgers Anwendungsfälle zu erarbeiten, die als praxisrelevant für die Elektromobilität befunden worden sind und die sich voraussichtlich für die Umsetzung des winderzeugungsgesteuerten Ladens eignen. Für die Feldphase waren jene Anwendungsfälle zu filtern und zu priorisieren, die sich im Projektzeitraum im Versuchsfeld Berlin umsetzen lassen.

Der Beitrag von AP1.1.2 bestand in der allgemeinen Begleitung und Unterstützung des Gesamtprozesses für D1.1 und in der konkreten Filterung der Anwendungsfälle nach energiewirtschaftlichen Aspekten.

3.3.1.2 Vorgehen / Methodik

Im Forschungskonsortium wurde das in Abbildung 2 skizzierte Verfahren zur Diskussion und Auswahl von Anwendungsfällen genutzt.

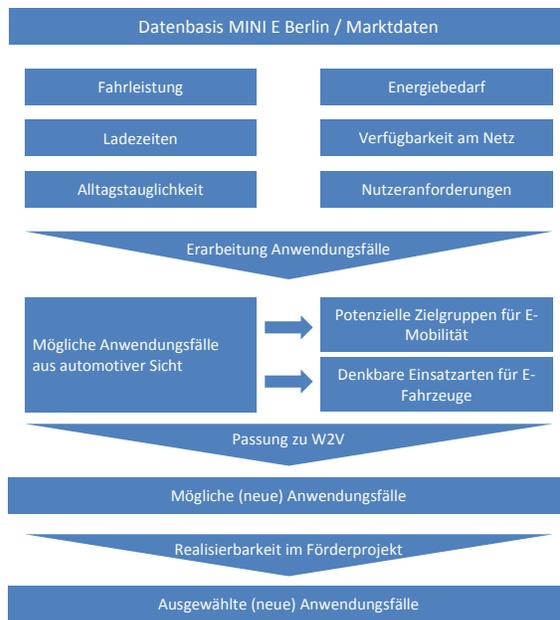


Abbildung 2 Prozess zur Festlegung der Anwendungsfälle

Die Anwendungsfälle wurden im Schritt „Erarbeitung Anwendungsfälle“ systematisch hergeleitet. Zuerst wurden die infrage kommenden Anwendergruppen grob strukturiert und gewichtet. Die Anwendergruppen wurden dann zu Anwendungsfällen verdichtet. Anschließend wurden die verdichteten Anwendungsfälle wieder ausdifferenziert, sodass auch über Subgruppen dieser Anwendungsfälle zumindest qualitative Aussagen getroffen werden können. Die Anwendergruppen wurden schließlich als Startpunkt der Gewerbekundenakquisition genutzt.

3.3.1.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Hauptergebnisse

Im Ergebnis wurden die gefundenen Anwendungsfälle nach den in Abbildung 2 skizzierten Filtern soweit eingeschränkt, dass zwei Anwendungsfälle mit Privatkunden und zwei Anwendungsfälle mit Gewerbekunden bestehen blieben. Diese sind in Abbildung 3 dargestellt.

Case	Ausprägungen	Vorteile	Nachteile	Anmerkungen
Park & Ride	Pendler mit Umsteigen auf ÖPNV	<ul style="list-style-type: none"> MobAs. Kann und soll genutzt werden, um so die Kundenakzeptanz zu steigern letzter Zeitraum (ab Mai 2011) ohne MobAs und daher als zweites Szenario auswertbar hohe Fahrleistung nach Möglichkeit, 	nicht ideal für reine E-Fahrzeuge, da Verbrenner auf längeren Strecken vorteilhaft gegenüber E-FZG	<ul style="list-style-type: none"> Parkplatz zu Hause soll mit Wall-Box ausgestattet werden, Umgang Service BMW/VE außerhalb Berlins muss geklärt werden
	Einziges FZG mit/ohne MobAs	<ul style="list-style-type: none"> Wie P&R neuer Use Case Als zwei Szenarien auswertbar mit/ohne MobAs 	<ul style="list-style-type: none"> evtl. keine Kunden, evtl. höheres Schadensrisiko 	Echter Laternenparker als Suchkriterium in Nutzungsbedingungen verankern,
Park & Charge*	Zweitfahrzeug mit/ohne MobAs	<ul style="list-style-type: none"> Wie P&R Als zwei Szenarien auswertbar mit/ohne MobA 	evtl. höheres Schadensrisiko	
	Personenbezogene Fahrzeuge			
Flottenanwendungen	Pool-Fahrzeuge (alle Mitarbeiter)	Verifizierung Auswertung 1.0 (nur bei VE getestet)	evtl. kein wesentlicher Erkenntnisgewinn zu 1.0	<ul style="list-style-type: none"> Anzahl FZG je Kunde soll nach Ansprache mit Kunden festgelegt werden, unterschiedliche Fälle werden angestrebt (mit/ohne eigenem Fuhrparkmanager)
	Bereichsfahrzeuge (ausgewählte MA)	<ul style="list-style-type: none"> neuer Case, hohe Verfügbarkeit der verantwortlichen Personen (Fuhrparkmanager) 		
Car Sharing		<ul style="list-style-type: none"> verschieden Mobilitätsbedarfe werden kombiniert (PK Pendler, PK Car Sharing, GK), Car-Sharing Kunden als flexible Nutzergruppe testen Standort in Berlin (Adlershof) 	ggf. nicht nutzbar da Batterie nicht voll geladen	

Abbildung 3 Ausgewählte Anwendungsfälle im Projekt MINI E 2.0

Abweichend von den in Abbildung 3 vergebenen Bezeichnungen werden die Gruppen in diesem Bericht aus Gründen der besseren Verständlichkeit wie folgt bezeichnet:

- Anwendungsfall Park&Ride - „Heimlader“,
- Anwendungsfall Park&Charge - „Laternenparker“,
- Anwendungsfall Flottenanwendungen - „Fuhrpark“,
- Anwendungsfall Car Sharing - „Carsharing“.

Im nächsten Schritt wurden die Anwendungsfälle anhand von Untergruppen ausdifferenziert. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist in Abbildung 4 ersichtlich.

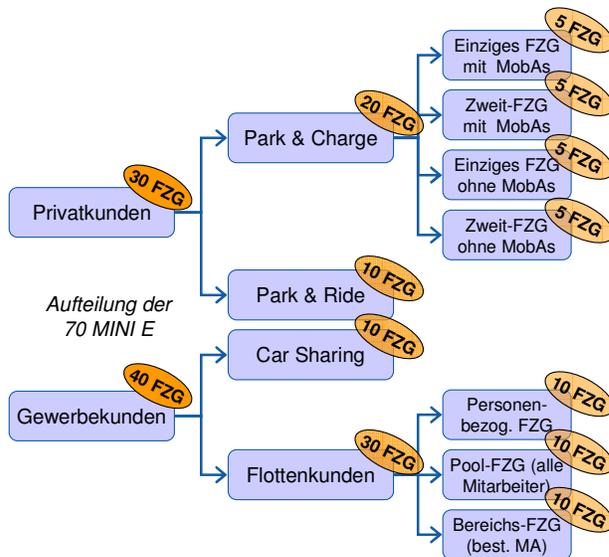


Abbildung 4 Ausdifferenzierung der Anwendungsfälle

Im späteren Verlauf des Projekts musste diese Ausdifferenzierung wieder aufgegeben werden. Grund hierfür war bei Privatkunden, dass sich trotz der Bewerberzahl von 1.867 Personen nicht für jedes Feld hinreichend viele Nutzer fanden. Bei den Gewerbekunden zeigte sich im Akquiseprozess, dass die Subgruppen in einzelnen Unternehmen sehr unterschiedlich interpretiert werden. Eine konsistente Zuordnung war daher nicht möglich.¹

Input zur Anwendungsfallmatrix aus energiewirtschaftlicher Sicht

Drei der vier Faktoren zur Steigerung des Erfolgs des Wind2Vehicle-Systems können durch Nutzer beeinflusst werden: (1) die Einhaltung der eingestellten Abfahrzeit, (2) die Zeitdauer in der das Fahrzeug am Netz angeschlossen ist und (3) die während der Ladung aufgenommene Energie.

Ein Ergebnis des Projekts MINI E Berlin war, dass Flottennutzer die Fahrzeuge immer direkt nach der Nutzung an das Ladegerät anschlossen. Als Annahme wurde daher die Umkehrung der täglichen Bereitschaftszeit zur Abschätzung der Mindestanschlusszeit herangezogen. Die Energiemenge als weiteres Kriterium wurde anhand der Fahrleistung geschätzt. Abbildung 5 bis Abbildung 7 illustrieren den Bewertungsprozess.

¹ Siehe hierzu auch den Schlussbericht der TU Chemnitz zum Projekt, S. 12ff

Beschreibung des Anwendungsfalls							
Nr.	Branche	Nutzer	Fahrten	Häufigkeit [Fahrten je Fahrzeug und Woche]	Länge der Fahrten [km]	Tägliche Einsatzbereitschaft	Einsatzregelmäßigkeit
1	Industrie Fuhrpark	Mitarbeiter die auf den Pkw Fuhrpark zurückgreifen müssen	Betriebsbedingte Fahrten zu anderen Betriebsstandorten, Auswärtsterminen, ...	8	30	08:00 - 20:00 Uhr Werktags	steuer- und planbar
2	Kommunen, Kommunale Betriebe	Facilitymanager, Technisches Personal, Notdienste,	Fahrten zu den Gebäuden bzw. Einrichtungen der Kommune	5	70	06:00 - 16:00 Uhr Werktags	steuer- und planbar
3	Wohnungswirtschaft, Facilitymanager,	Verwaltung, Hausmeister, Makler	Fahrten zu verwalteten/betreuten Gebäuden	5	60	08:00 - 20:00 Uhr Werktags	steuer- und planbar
4	Sozialwesen (Essen auf Rädern), Krankenhäuser	Sozialbetreuer der Häuser	Fahrten zu den betreuten Personen	7	50	08:00 - 20:00 Uhr täglich	größtenteils steuer- und planbar
5	Groß-/Einzelhandel, Filialisten	Bereichsleiter, Gebietsleiter	Fahrten zu den betreuten Filialen	5	80	08:00 - 20:00 Uhr Werktags	steuer- und planbar
6	Mobilitätsanbieter (Sixt, DB Carsharing und andere)	Kunden des Mobilitätsanbieters	Fahrten zu einzelnen Zielen (max. 70 km Radius um Standort)	4	40	24 h täglich	nicht planbar
7	Hotelketten	Hotelgäste	Fahrten zu einzelnen Zielen	2	20	24 h täglich	nicht planbar

Abbildung 5 Beschreibung möglicher Anwendergruppen

Errechnung des Energieverbrauchs								
Nr.	Branche	Anzahl Unternehmen	Standorte je Unternehmen	Fahrzeuge je Standort	Gesamtanzahl Fahrzeuge	Fahrleistung in km pro Fahrzeugjahr	Fahrleistung aller Fahrzeuge [km/a]	Energieverbrauch in GWh bei 20 kWh/100 km
1	Industrie Fuhrpark	106.000	1	2	212.000	12.480	2.645.760.000	529,15
2	Kommunen, Kommunale Betriebe	1.200	4	3	14.400	18.200	262.080.000	52,42
3	Wohnungswirtschaft, Facilitymanager,	3.020	2	2	10.000	15.600	156.000.000	31,20
4	Sozialwesen (Essen auf Rädern), Krankenhäuser	5	230	10	11.500	18.200	209.300.000	41,86
5	Groß-/Einzelhandel, Filialisten	23	1.261	0	5.800	20.800	120.640.000	24,13
6	Mobilitätsanbieter (Sixt, DB Carsharing und andere)	16	344	3	16.500	8.320	137.280.000	27,46
7	Hotelketten	20	200	1	4.000	2.080	8.320.000	1,66

Abbildung 6 Relevanz der Anwendergruppen anhand des Energieverbrauchs

Ranking						
Nr.	Branche	Tägliche Einsatzbereitschaft	Einsatzregelmäßigkeit	Gesamtanzahl Fahrzeuge	Fahrleistung aller Fahrzeuge	Gesamt
1	Industrie Fuhrpark	1	1	1	1	1,00
2	Kommunen, Kommunale Betriebe	1	1	3	2	1,75
3	Wohnungswirtschaft, Facilitymanager,	1	1	5	4	2,75
4	Sozialwesen (Essen auf Rädern), Krankenhäuser	1	5	4	3	3,25
5	Groß-/Einzelhandel, Filialisten	1	1	6	6	3,50
6	Mobilitätsanbieter (Sixt, DB Carsharing und andere)	6	6	2	5	4,75
7	Hotelketten	6	6	7	7	6,50

Abbildung 7 Bewertung der Anwendergruppen

Zum Kriterium „Einhaltung der eingestellten Abfahrzeit“ lagen keine belastbaren Aussagen vor.

Umsetzbarkeit der Anwendungsfälle im Projektrahmen

Durch die im Projekt MINI E Berlin gewonnenen Erfahrungen wurden praktische Beschränkungen deutlich, die auch die Umsetzbarkeit der Anwendungsfälle einschränkten.

Diese Einschränkungen beinhalten insbesondere die folgenden Punkte:

- Keine Installation von Autostrom-Boxen außerhalb des Netzgebiets von Vattenfall Europe Distribution Berlin, da das Erlangen der nötigen Ausnahmeregelungen zum Anschluss von Boxen mit einer Schiefbelastung von mehr als 4,6 kVA ans öffentliche Niederspannungsnetz im Projektzeitrahmen zu riskant erschien.
- Kein Umsetzen der vorhandenen Autostrom-Stationen für die Nutzer im Laternenparker-Anwendungsfall.
- Limitierung der Kosten für den Ausbau der Stromnetze bei Gewerbekunden.

Diese Einschränkungen betreffen hauptsächlich die beiden Privatnutzerefälle. So konnten keine Pendler aufgenommen werden, die im Land Brandenburg laden und nach Berlin pendeln. Zudem konnten die Autostrom-Stationen nicht näher an die Knotenpunkte des öffentlichen Nahverkehrs verschoben werden.

3.3.2 Infrastrukturprüfung und Nutzerkontrahierung

3.3.2.1 Ziele und Aufgaben

Ziel war es unterschiedliche Nutzergruppen in den Feldversuch einzubeziehen, um den Erfolg der Wind2Vehicle-Technik, Praxistauglichkeit sowie Nutzerakzeptanz bei dem Einsatz der Elektrofahrzeuge in den Anwendungsfeldern Heimplader (Park&Ride), Laternenparker (Park&Charge), Carsharing und Fuhrpark zu erforschen.

Die Aufgabe im Arbeitspaket Infrastrukturprüfung und Nutzerkontrahierung bestand daher in der Vorab-Prüfung der Kandidaten aus Netzsicht, einer anschließenden Vorort-Prüfung der Anschlussmöglichkeiten und – bei Eignung – der Nutzerkontrahierung sowie der Installation der erforderlichen Ladeinfrastruktur.

3.3.2.2 Vorgehen / Methodik

Nutzerauswahl und -kontrahierung

Die Nutzerqualifizierung wurde gemeinsam mit BMW und der TU Chemnitz durchgeführt. Einen Überblick über die Arbeitsteilung bei der Akquisition der Privat- und der Flottenutzer verschaffen Abbildung 8 und Abbildung 10.

Auswahl der Privatanutzer

Privatleute konnten sich über ein Onlinebewerbungstool bewerben. Insgesamt nutzten 1.867 Personen diese Möglichkeit. Bereits im Bewerbungstool mussten die Bewerber Aussagen zum Fahr- und Ladeprofil treffen sowie die Bereitschaft zu projektrelevanten Vertragsbestandteilen signalisieren (wissenschaftliche Begleitung, Zahlung der Nutzungsentgelte usw.). Auf Basis dieser Informationen konnten die Bewerber nach vorher im Konsortium abgestimmten Kriterien gefiltert und zu Kandidaten weiterqualifiziert werden. Diese Kandidatenliste wurde aus Netzanschlussicht vorgeprüft.

Der nun folgende Prozess zur Gewinnung der 10 Heimplader und 20 Laternenparker ist in Abbildung 8 ersichtlich. Er beginnt mit der persönlichen Ansprache der Kandidaten durch BMW und im Erfolgsfall dem Versenden des Nutzervertrags. Einige Nutzer, die sowohl in den Heimplader- wie auch in den Laternenparker-Anwendungsfall passten, konnten dabei ihre Präferenz angeben. Dabei wurde auch darauf geachtet, dass sich mindestens ein Ladestations-Standort im Umkreis von bis zu 1 km (Ausnahmefälle: bis zu 2 km) der Wohnung des Bewerbers befand, damit der Kandidat diese problemlos zu Fuß erreichen konnte.

Aus Zeitgründen wurden die nun folgenden Schritte teilweise parallel durchgeführt:

1. Rücksendung des Nutzervertrags an BMW,
2. Abschluss des Stromliefervertrags mit Vattenfall Europe Sales,
3. Abschluss der Verträge mit Netz- und Installationsbezug mit Vattenfall Europe Distribution Berlin (nur Heimplader),
4. Vorort-Prüfung der Anschlussbedingungen und der technischen Realisierbarkeit.

Hat ein Kandidat diese Schritte durchlaufen, wurde er durch die TU Chemnitz zur Erstellung eines Fahrtenbuchs und von BMW zur Abstimmung eines Einweisungstermins aufgefordert.

Projekt Status MINI E - Berlin. Privat-Nutzerauswahl/Stand 23.05.2011

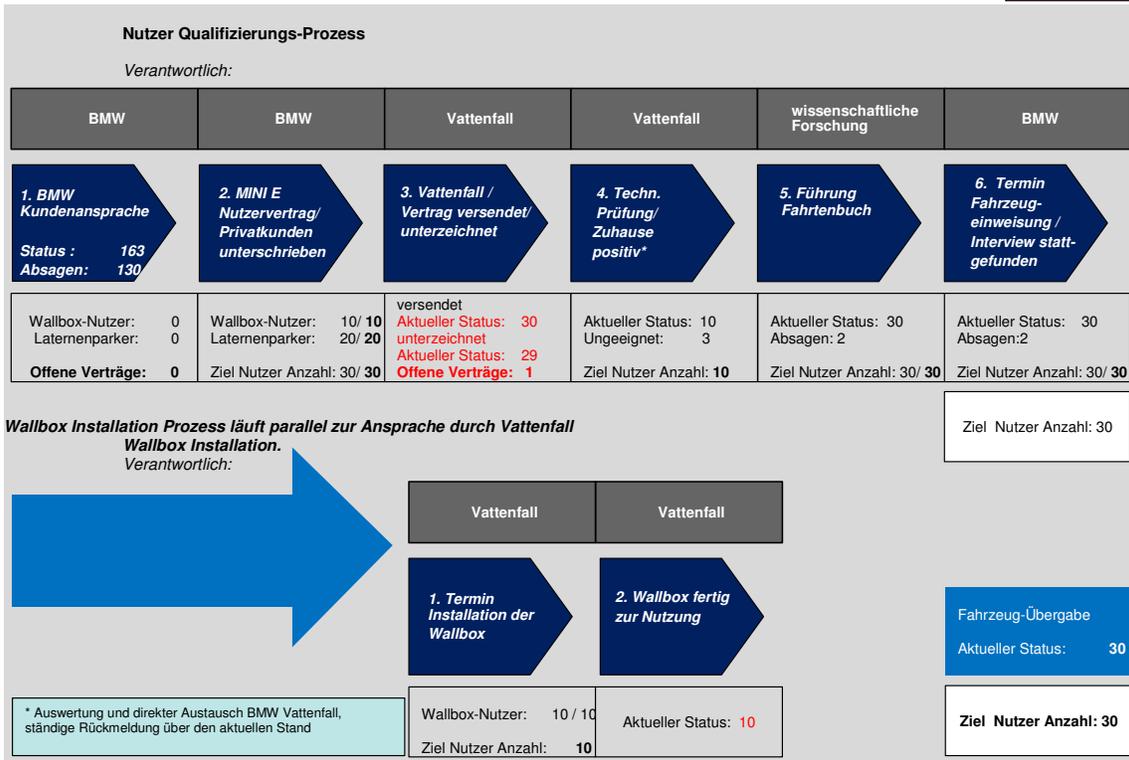


Abbildung 8 Prozess Privatnutzerauswahl

Die durch Vattenfall Europe Sales erstellten Energieversorgungsverträge mit den Nutzern waren Voraussetzung zur Inbetriebnahme der Autostrom-Box und zum Versand der Authentifizierungskarten für das Laden an öffentlichen Ladestationen. Das im Projektumfeld genutzte Preismodell ist in Abbildung 9 ersichtlich. Hierbei wurde sich an Marktpreisen ohne speziellen Nutzungsaufschlag für die Ladestationen orientiert.

<input type="checkbox"/> Autostrom-Box			
Verbrauchspreis HT	24,00	Cent pro kWh*	
Verbrauchspreis NT	18,00	Cent pro kWh*	
Grundpreis	0,00	Euro pro Monat*	
<input type="checkbox"/> Autostrom-Station			
Verbrauchspreis	24,00	Cent pro kWh*	
Grundpreis	0,00	Euro pro Monat*	

*Alle Preise gerundet, inklusive Steuern und Abgaben. Die Rechnungslegung erfolgt auf der Basis von Nettopreisen.

Abbildung 9 Konditionen des Stromvertrags für Projektkunden

An einigen Standorten von Flottennutzern war das Setzen eines eigenen abrechnungsfähigen Zählers aus Kostengründen nicht möglich, da die entsprechenden Leitungswege bis zum Hausanschluss zu lang waren.

Netztechnische und Vorort-Prüfung

Dem Berliner Netzbetreiber liegen detaillierte elektronische Daten über z.B. angeschlossene Verbraucher und Reservekapazität des Leitungsnetzes vor, sodass eine netzseitige Überprüfung direkt am Rechner erfolgen kann. Die tatsächliche Machbarkeit ist aber ohne eine Vorort-Inaugenscheinnahe der Anschlussverhältnisse am Stromabgang, des Leitungsweges und der Leitungslängen zum Fahrzeugstellplatz nicht sichergestellt. Grund hierfür ist, dass die Größe und Nutzungsstruktur des Hausanschlusses für die Eignung eines Bewerbers nicht allein bestimmend sind.

Vor dem Hintergrund der im Projekt MINI E Berlin gemachten Erfahrungen wurde neben den technischen Realisierungsfragen vor allem Wert auf ein vernünftiges Maß an Aufwand für die Realisierung einer Installation gelegt. Hierfür wurden die infrastrukturseitigen Auswahlkriterien weiter detailliert und präzisiert, wobei aber in Einzelfällen, z.B. bei besonders interessant erscheinenden Nutzern, ein Ermessenspielraum bestand. Diese infrastrukturellen Voraussetzungen wurden bei den ausgewählten Bewerbern im Vororttermin anhand einer Checkliste überprüft.

Über die netztechnische Prüfung wurde zunächst für die Kandidaten festgestellt, ob genügend Reservekapazität am Hausanschluss vorhanden war. Anschließend wurde der Kandidat von Vattenfall-Mitarbeitern telefonisch kontaktiert und ein Vorort-Besichtigungstermin vereinbart. Dieser wurde durchweg von einem Vattenfall Netzservice-Mitarbeiter sowie einem Projektverantwortlichen gemeinsam wahrgenommen, um neben der eigentlichen fachlichen Statusfeststellung auch Fragen des Kandidaten zum Projekt beantworten zu können. Sofern die Vorort-Inaugenscheinnahe die grundsätzliche Eignung bestätigte, wurden die Verträge mit dem Kandidaten finalisiert und die Installationstermine konkretisiert. Für die Besichtigung wurde eine Checkliste erarbeitet.

Umrüstung der Ladeinfrastruktur

Aufgrund einer Anforderung des BMW-Arbeitskreises Produktsicherheit wurde außerplanmäßige eine Umrüstung der proprietären CEEplus-Ladekabel auf Kabel mit infrastrukturseitigem IEC-Typ2-Stecker notwendig. Die Auswirkungen auf die Ladeinfrastruktur

tur machten die Erstellung eines Migrationsplans notwendig (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Im Rahmen dieses Plans wurden die bestehenden Autostrom-Boxen umgerüstet.

3.3.2.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Ergebnisse des Arbeitspakets

- Die Eignung der durch die Feldtestkandidaten bereitgestellten Stellplätze zur Installation der Datenerhebungsinfrastruktur wurde geprüft. Aus der Liste der Kandidaten wurden die in Frage kommenden Nutzer herausgefiltert.
- Im Anwendungsfall Heimplader wurden 10 Nutzer-Standorte für die Installation einer eigenen Ladeinfrastruktur qualifiziert.
- Zwanzig weitere Nutzer konnten im Anwendungsfall Laternenparker zu bevorzugten Ladestationen in der Nähe ihres Wohn- oder Arbeitsorts zugeordnet werden.
- Im Anwendungsfall Fuhrpark wurden 28 Fahrzeuge in Flotten von elf verschiedenen Unternehmen eingeplant.
- Die übrigen zehn MINI E wurden für den Anwendungsfall Carsharing geplant. Auch hier wurde die Realisierbarkeit der Standorte für die Ladeinfrastruktur sichergestellt.
- Die Nutzer haben das energiewirtschaftliche Vertragswerk unterzeichnet. In diesem Zusammenhang haben sie auch der Verwendung ihrer Daten sowie ihrer Angaben im Rahmen von wissenschaftlichen Befragungen zugestimmt.

Grundsätzliche Erkenntnisse bei der Nutzerprüfung

Eine grundsätzliche Erkenntnis bei der „Prüfung“ von Nutzern und den von ihnen angegebenen Standorten für die Ladeinfrastruktur war, dass sich zwar ein Arbeiten in definierter Schrittfolge anbietet, jedoch jeder Nutzer ein individuelles Vorgehen verlangt.

So gab es Nutzer, bei denen bereits nach einem Gespräch am Vorort-Besichtigungstermin alle Aspekte für die Installation geklärt waren, sodass die Installation bereits wenige Tage nach der Besichtigung abgeschlossen werden konnte. Es gab

aber auch Nutzer, bei denen mehrere Vorort-Termine durchgeführt und viele unterschiedliche Instanzen angehört werden mussten, sodass zwischen Entscheidung der Teilnahme bis Einsatzbereitschaft der Infrastruktur Monate vergingen.

Um kosteneffizient Heimpladeinfrastruktur installieren zu können, müssen die Prozesse anders strukturiert werden. Hilfreich könnte sein, Nutzer mit Informationsbroschüren auszustatten, die sie Vermietern oder Miteigentümern vorlegen können.

Im gewerblichen Bereich wiederum war weiteres Augenmerk auf Firmenbereiche und Personen zu richten, deren Zustimmung für die Realisierung erforderlich war, die aber nicht direkt von der Maßnahme profitierten.

Standortanforderungen

Eine Autostrombox bzw. das an dieser Box angeschlossene Elektrofahrzeug, stellt einen großen Verbraucher in Bezug auf das elektrische System eines normalen Ein- oder Mehrfamilienhauses dar. Ein typisches Einfamilienhaus ist für eine Höchstleistung von 40 kW ausgelegt. Die Expressladung des MINI E findet mit rund 7,4 kW statt, was deutlich mehr ist als bei jedem anderen haushaltsüblichen Verbraucher. Aus diesem Grund ist die Installation einer Autostrombox nicht ohne vorherige Prüfung (Sicherheits-Check) der elektrischen Anlage beim Privatkunden möglich. Dasselbe gilt aber auch für gewerbliche Kunden, da hier in der Regel mehrere Stromladestationen angeschlossen werden sollen und somit die Belastung auf dem gewählten Leitungsstrang höher ist.

Vor einer Ladeinfrastrukturinstallation muss die Eignung des Standortes geprüft werden: Hausanschlussgröße, vorhandene Leistung und Anzahl der zu ladenden Fahrzeuge werden hierzu miteinander abgeglichen.

Aus Sicht des Energieversorgers ist der Kunde (auch Haus- oder Grundstückseigentümer) für die elektrische Anlage verantwortlich. Er ist Anlagenbetreiber. Die Grenze ist dabei der Hausanschluss. Eventueller Mehraufwand zum Setzen eines Unterzählers zum Beispiel wegen Kernbohrungen / Wanddurchbrüchen gehen im Regelfall zu Lasten des Anlagenbetreibers. Diese Sichtweise wurde aber für die Projektdurchführung ausgesetzt und Vattenfall hat für die Kunden diese Leistungen übernommen.

Eine Ausnahme bildete die durch einen der Flottenkunden, der im Gebietsnetz eines anderen Energieversorgers lag, selbst beauftragte Setzung eines Zwischenzählers zur Herstellung eines separaten Abgangs.

Der Standort des Hausanschlusses ist für den Aufwand bei der Errichtung der Ladeinfrastruktur entscheidend. Die Autostrom-Box sollte möglichst nahe am Hausanschluss installiert sein, um Leitungslängen und Wanddurchbrüche und damit den finanziellen Aufwand gering zu halten.

Die intelligente Autostrombox muss zudem in einem Gebäude installiert werden, in dem Funksignale empfangen werden können. Weiterhin sollte der Abstand zwischen der Autostrombox und dem Ort, an dem die Fahrzeuge geladen werden sollen und wo sich somit die Ladepunkte befinden, möglichst klein sein. Grundsätzlich gilt, dass je länger die Leitungswege sind, umso größer der Leitungsquerschnitt sein muss, damit der durch die Technischen Anschlussbedingungen vorgegebene maximale Leitungsverlust nicht überschritten wird. Dies ist besonders im ungezählten Bereich, also zwischen Hausanschluss und Autostrombox, in der sich der Stromzähler befindet wichtig, da hier die Toleranzen besonders gering sind. Größere Leitungsquerschnitte treiben die Kosten der Installation in die Höhe.

Von der Autostrombox werden die Ladepunkte (Abbildung 11) mit jeweils einer separaten Zuleitung (Energie) sowie einer Steuerleitung (Daten) eingespeist. Für das Gesteuerte Laden wird die Autostrombox gleichzeitig als Steuerungselement definiert. Sie benötigt für den Empfang der Steuerungsinformationen eine hinreichend stabile GPRS-Funkverbindung.

Ziel der Vorort-Besichtigung ist nicht nur zu klären, ob eine Installation überhaupt möglich ist, sondern auch wo und vor allem wie. Da die zu klärenden Aspekte bei den privaten wie auch den gewerblichen Kunden prinzipiell die gleichen waren, wurde der Vorort-Termin auf Basis einer Checkliste strukturiert.

Checkliste für Vorort-Besichtigung

- Feststellen der tatsächlichen Anschlusssituation beim Kunden (eventuelle kundenseitig vorgenommene Veränderungen)
- Feststellen, wer das Stromnetz beim Kunden betreibt (ggf. abweichender Netzbetreiber)
- Feststellen, ob der Kunde allein über bauliche Maßnahmen entscheiden darf (ggf. Eigentümergemeinschaft oder Immobilie im Besitz einer Verwaltung)

- Prüfen der baulichen (Platz und Umgebungsbedingungen) Gegebenheiten für die Installation der Autostrom-Box
- Inaugenscheinnahme des geplanten Anbauortes des Ladepunktes bzw. der Ladepunkte und der notwendigen Leitungswege
- Finden der kostengünstigsten Installation und Information des Kunden zu eventueller Eigenbeteiligung, falls der Kunde eine individuelle Lösung wünscht. (Anmerkung: In der Regel fand eine volle Kostenübernahme pro Kunde durch Vattenfall für den Anschluss der Ladeinfrastruktur vom Hausanschluss zur Autostrom-Box statt.)
- Ausmessen und protokollieren des Funkempfangs am ASB-Standort, da Abrechnungs- und Zählerdaten aus der ASB übermittelt werden bzw. um Fernsteuerung und Diagnose der ASB zu ermöglichen. Hierzu ist eine GSM-Verbindung zu einem Mobilfunknetz erforderlich.
- Leitungsweg und notwendige bauliche Eingriffe mit dem Kunden besprechen und vereinbaren (Baufreigabe einholen).
- Protokollieren der genauen Standortangaben (Hausanschluss, Leitungsweg, Aufstellort ASB und Ladepunkt) inklusive Fotos
- Aufklären des Kunden über die vorzunehmenden Installationsarbeiten
- Festlegen eines Termins, an dem die Handwerker die Installation vornehmen können
- Informieren des die Installation durchführenden Subunternehmers (im Nachgang)

Es zeigte sich, dass die Bewerber bezüglich der vorzunehmenden Installation ein falsches Bild hatten. So wurde überwiegend davon ausgegangen, dass eine mehr oder minder simple Starkstromsteckdose installiert würde. Die Installation eines Schaltschranks und eines ebenfalls baulich größeren Ladepunktes (siehe Abbildung 11) hat die meisten potentiellen Nutzer überrascht, hat aber nicht zur Ablehnung geführt.



Abbildung 11: Autostrombox (links) und Ladepunkt (rechts)

In Zusammenhang mit der Vorort-Eignungsprüfung stehen weitere technische aber auch prozessuale Hemmnisse, die bei Flotten- und Privatkunden zwar unterschiedliche Ausprägungen haben, aber zu den gleichen Ergebnissen führen können. Deshalb wurden die infrastrukturseitigen Anforderungen präzisiert.

Checkliste für prozessuale Anforderungen inkl. Umsetzungsvorschlägen

- Bei Privateigentümern, die Eigentum an einer gemeinschaftlichen Wohnanlage haben, muss die Eigentümerversammlung der Elektroinstallation zustimmen.
- Für Kernbohrungen/Wanddurchbrüche muss die Zustimmung / Erlaubnis des Gebäudeeigentümers in Schriftform vorliegen.
- Architektonische oder denkmalschutzrechtliche Einwände z.B. in Bezug auf die Gebäudefassade sind vorab durch den Kunden zu klären.
- Der Kunde ist darüber aufzuklären, in welchem Zustand nach Projektabschluss / Rückbau die Räumlichkeiten übergeben werden.

- Der vom Kunden bevorzugte Ladestellplatz befindet sich oftmals weit weg von der Stromentnahmestelle, was die Installation verteuert. Eine Lösung kann hier ein Stellplatz-/Garagentausch mit anderen Mietern/Eigentümern derselben Liegenschaft sein.
- Im Falle von Gewerbekunden befinden sich die Häuser oft im Besitz von Immobilien-Holdings oder Hausverwaltungen, die der Installation für die Versorgung der Elektrofahrzeuge zustimmen müssen.
- Falls die Zuleitung über Flächen oder durch Gebäude Dritte geführt werden muss, so ist vorab deren schriftliche Zustimmung einzuholen.
- Bei Kunden, die in Netzgebieten anderer Versorger sind, muss mit dem Versorger ein separater Vertrag für eine Unterzählung geschlossen und ein Stromzähler gesetzt werden, was entsprechenden Verwaltungsaufwand, Zeit und Kosten für den Kunden bedeutet.

Auswahl technische Herausforderungen im Projekt

- Bei einigen Bewerbern war die Hausenergieversorgung nicht genügend groß dimensioniert, bei anderen wiederum war die Hausanlage zu komplex, sodass sich in diese die Projektlösung (Abzweig auf Energieversorgerseite) nicht einbinden ließ.
- Die Möglichkeit des Anschlusses ans Netz muss auf Sondersituationen wie z.B. nur einphasigen Ausbau von Stromleitungen oder weit verteilte Objektnetze oder nur Mittelspannungsanschlüsse bei privaten Stellplätzen untersucht werden. In einigen dieser Fälle ist die diskriminierungsfreie Belieferung mit Strom nicht ohne weiteres möglich. Solche Sondersituationen müssen durch Suche in einschlägigen DSO-Datenbanken und bei der Vorort-Begehung abgeprüft werden.
- Teilweise mussten extra Trenner (Aufspaltung der Zuleitung) gesetzt werden, um einen freien Anschluss für die Ladeinfrastruktur zu erhalten.
- Um den Ansatz des Gesteuerten Ladens zu unterstützen, sollten bei einem Gewerbe-/Flottenkunden möglichst viele Fahrzeuge an einer Versorgungsleitung angeschlossen werden. Diese muss über entsprechende Kapazität verfügen.

- Projektbedingt ist eine Funkverbindung notwendig, die sich oftmals an den gewünschten Standorten (Keller, Tiefgarage) nur mit Mehraufwand realisieren lässt.
- Der Zustand der Räumlichkeiten, in denen die Installation vorgenommen werden soll, kann so mangelhaft sein, dass Folgeschäden (großflächige Putzabplatzungen, Vibrationsschäden, etc.) durch die Installationsmaßnahme zu befürchten sind. Ggf. ist die Instandsetzung solcher Folgeschäden vertraglich auszuschließen.
- Die Installation kann technisch scheitern, wenn der das Netzkabel speisende Versorgungsnetzknötchen keine ausreichende Kapazitätsreserve hat. Dann ist eine Netzerweiterung erforderlich, z.B. durch Ziehen einer parallelen Speiseleitung. Ist die Errichtung einer neuen Netzstation erforderlich, muss mit Kosten von etwa 100 T EUR gerechnet werden.
- Es ist zu prüfen, ob durch vorhandene andere Versorgungsleitungen (am Standort sind Hydranten), Gas, Telekom (Datenleitungen) usw., die Installation erheblich erschwert oder gar unmöglich gemacht wird.
- Erdarbeiten und die Kabelverlegung kann regulär nur bei frostfreier Witterung und Temperaturen über 5°C durchgeführt werden, da sonst das Kabel bei Biegung Schaden nimmt. Wenn eine Durchführung auch bei niedrigeren Temperaturen zwingend erforderlich ist, kann als Faustformel für Frostzuschlag Faktor 2 der normalen Kosten angesetzt werden.
- Das Thema Vandalismus-Gefahr ist im privaten bzw. gewerblichen Sektor von nachrangiger Bedeutung, bei öffentlich zugänglichen Standorten jedoch zu bedenken.

Aufgrund der unter „Vorgehen / Methodik“ dargelegten Anpassungen an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur wurde es notwendig, die in der Nähe der als Laternenparker identifizierten Nutzer gelegenen Ladesäulen vorzeitig gegen neuere Modelle auszutauschen. Dies führte durch zeitweilige Nichtnutzbarkeit einzelner Ladestandorte zu erhöhtem Aufwand bei der Suche einer verfügbaren Ladeoption vor allem für die Nutzer ohne eigene Lademöglichkeit. Bei dieser ursprünglich im Projekt nicht geplanten Maßnahme waren wiederum einige Anforderungen zu beachten.

Infrastrukturseitige Anforderungen bei Errichtung und Austausch von Ladesäulen

- Da beim Laden eines Elektrofahrzeugs hohe Spannungen und Ladeströme eingesetzt werden, sind die entsprechenden Sicherheitsvorschriften zu beachten. So ist für den netzseitigen Ladepunkt eine fachgerechte Elektroinstallation einschließlich entsprechender Dokumentation in Prüfprotokollen notwendig.
- Tiefbau und das Befahren des Standortes durch LKW mit Kleinkran müssen möglich sein, da die Fundamente der Ladesäulen groß und schwer sind (bis zu 1000kg, je nach Hersteller). Auch beim Tausch einer Ladesäule sind Erdarbeiten erforderlich (Kabel schneiden und Muffen setzen im Erdreich).
- Verzögerungen können durch die komplette Freischaltung eines Netzkabels (Blech-/Bleimantelkabel) entstehen, da hier die Lösung mit Arbeitssicherungen in den jeweiligen Leitungsabgängen nicht möglich ist. Die dort angeschlossenen Kunden müssen mindestens eine Woche im Voraus per Aushang über die Freischaltung informiert werden.
- Denkmalschutz ist grundsätzlich für öffentliche und private Stellplätze relevant. Die Aufstellung der Ladesäule sollte außerhalb von Denkmalschutzräumen erfolgen.
- Sichtbehinderungen auf Werbeflächen und Schaufenster führen leicht zu Widerstand der betroffenen Firmen.

Ausgewählte Einzelergebnisse*Anbieten von Grünstromprodukten kann an Rahmenbedingungen scheitern*

Geplant war jedem Projektteilnehmer mit einem zertifizierten Grünstromprodukt für die Ladung seines Fahrzeugs bzw. seiner Fahrzeuge zu beliefern.

Im Falle eines Flottennutzers war das nicht möglich, da der Nutzer einen Energielieferrahmenvertrag für alle Liegenschaften geschlossen hatte. Ein Wechsel nur aufgrund des Projekts kam nicht in Frage, zumal die zu liefernde Strommenge für das Fahrzeug im Vergleich eher gering war. Ebenso aufwendig war das Herausrechnen der durch das Fahrzeug aufgenommenen Energiemenge aus dem Gesamtverbrauch.

Erschwerend kam hinzu, dass sich die im Rahmen des Projektes MINI E 2.0 vorgesehenen Ladestandorte nicht im Versorgungsbereich von Vattenfall sondern von einem anderen Energieversorger befanden, weshalb ein eigener Vertrag für eine Unterzählung hätte geschlossen werden müssen. Diese zusätzlichen Prozesse hätten weit vor Projektbeginn angestoßen werden müssen oder der Nutzer hätte nicht am Projekt teilnehmen können.

Eigentümergeinschaften können Installation erschweren

In einem weiteren Fall hat ein Privatanutzer die mündliche Zustimmung der Eigentümergemeinschaft zur Installation der Ladeinfrastruktur eingeholt. Später entfachte sich ein Streit scheinbar an der Elektroinstallation. Die Ursache des Streits war jedoch nicht technisch geprägt, vielmehr wurde die Installation von einer Miteigentümerpartei zum Anlass genommen, einen Erbschaftskonflikt auszutragen.

Hier konnte durch mehrfache, fachlich fundierte aber zurückhaltende Intervention der Projektmitarbeiter und der beauftragten Elektroinstallationsfirmen ein Stillhalten zumindest über die Projektlaufzeit erwirkt werden. Erfreulicherweise wirkte sich das Problem nicht weiter auf die Wahrnehmung des Nutzers zur Elektromobilität aus.

In diesem Fall hätte eine umfassendere Vorinformation der anderen Eigentümer im Sinne eines Informationsblattes und eine schriftliche Zustimmung der Eigentümergemeinschaft den Streit zumindest aus dem Projekt heraushalten können.

Vandalismus an Ladestationen

Ein dritter Fall betraf das Segment der Laternenparker. Hier fand Vandalismus an einer Ladestation statt, die zwar im Rahmen eines anderen Projekts aufgebaut wurde, die aber den Projektnutzern offenstand.

Da Elektromobilität insbesondere unter ausschließlicher Nutzung von grünem Strom als ökologisch und für die Mobilität der Zukunft wegweisend angesehen wird, konnte davon ausgegangen werden, dass die Errichtung und der Betrieb von Elektroladesäulen in einem vorwiegend von gut verdienenden, ökologisch orientierten, jungen Singles und Familien bewohnten Stadtteil, auf breite Zustimmung der dortigen Bewohner stoßen würde.

Es zeigte sich aber, dass der Vandalismus bei den Elektrosäulen gerade dort am höchsten war.

So wurde neben Bekleben und Beschmieren der Säulen auch das Abdecken mit Säcken sowie das Abkleben der Lüftungsschlitze beobachtet, was auf eine Zerstörung der Elektronik durch Überhitzung abzielte. Zudem wurden regelmäßig die Ladekabel aus dem Fahrzeug und der Ladeinfrastruktur abgezogen (aber nicht gestohlen).

Ob sich der Vandalismus gegen die Umwidmung der Parkplätze, gegen den Energieversorger, gegen Elektromobilität oder gegen sonstige politische Themen wie die Gentrifizierung des Stadtteils richtete konnte nicht abschließend geklärt werden.

Schlussfolgerungen

Die im Projekt entwickelten Prozesse haben sich bewährt. Sie sind aber auf Basis der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse weiter zu verfeinern, um möglichst viele „Überraschungsmomente“ der Nutzerkontrahierung abfedern zu können. Kundenorientiertes Handeln ist unbedingte Voraussetzung, da die Elektromobilitätsnutzer in der Regel nur oberflächliche Kenntnisse der technisch notwendigen Installation haben und der Vertreter des Energieversorgers hier vertrauensvolle Aufklärungsarbeit leisten muss.

3.3.3 Definition der Forschungsfragen aus energiewirtschaftlicher Sicht

3.3.3.1 Ziele und Aufgaben

Die Nutzerstudien im Rahmen des Projektes MINI E 2.0 wurden von der TU Chemnitz durchgeführt. Aufgabe dieses Arbeitspakets war es solche Fragen zu definieren, die aus energiewirtschaftlicher Sicht interessanten Auswertungen ermöglichen. Diese Fragen beinhalteten insbesondere die Themen Laden, Ladehandling, Nutzung der Infrastruktur und Umgang bzw. Erfahrungen mit dem Gesteuerten Laden.

3.3.3.2 Vorgehen / Methodik

Aus dem Projekt MINI E Berlin standen umfangreiche Auswertungen zu den damaligen Nutzergruppen zur Verfügung. Um direkte Vergleiche zwischen den Nutzergruppen der

beiden Projekte ziehen zu können, wurden zu einigen Themen identische Fragen aufgestellt, also auf den Fundus des Projekts MINI E Berlin zurückgegriffen.

Für die neuen Anwendungsfelder Laternenparker und Fuhrparks wurden Fragen ergänzt, die einen tieferen Einblick insbesondere in das Ladeverhalten der Gruppe geben. Die Ausformulierung der Fragen bzw. bei der Anpassung der Fragen auf die in den Fragebögen genutzten Skalen fand in Zusammenarbeit mit der TU Chemnitz statt.

3.3.3.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Hauptergebnisse

Für das Arbeitspaket 1.4.2 hat Vattenfall die Forschungsfragen aus energiewirtschaftlicher Sicht definiert. Diese Fragen beziehen sich grundsätzlich auf die Bereiche Nutzungsverhalten, Ladeleistung, Windenergieeinspeisung und Betrieb. Mit Hilfe der generierten Daten soll am Ende der Projektlaufzeit verstanden werden:

- Welche Nutzerprofile und Nutzergruppen können unterschieden werden?
- Welches Ladeverhalten zeigen die Nutzergruppen?
- Wie ist die Passgenauigkeit zwischen Laden, Netzlast und Windeinspeisung?
- Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit das Aufladen von Elektromobilen und die Windeinspeisung optimal aufeinander abgestimmt sind?
- Welche Anforderungen haben Nutzer an den operativen Betrieb der Ladeinfrastruktur?

Die Abbildung 12 verschafft einen Einblick in den für die Mittel- und Schlussbefragung genutzten Fragebogen.

Jetzt geht es um die zukünftige Gestaltung des Ladevorgangs.

Bitte geben Sie wieder den Grad Ihrer Zustimmung zu folgenden Aussagen an:		stimmt gar nicht	stimmt weniger nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt weitgehend	stimmt völlig
155	Es wäre für mich akzeptabel, mich für meine Ladevorgänge auf eine bestimmte Ladesäule festzulegen.	<input type="checkbox"/>					
156	Ich bin mit dem Authentifizierungsvorgang (RFID-Karte) an der Ladesäule zufrieden.	<input type="checkbox"/>					
157	Mich würde es stören, wenn ich bei Ladevorgängen in Parkhäusern zusätzlich die Parkgebühren zahlen muss.	<input type="checkbox"/>					
158	Ich würde mich freuen, wenn ich mich über Onlinemedien (Internetseite, Applikation auf i-Phone) mit Echtzeitdaten über den Zustand der Ladeinfrastruktur informieren kann.	<input type="checkbox"/>					
159	Ich fände es akzeptabel, dass meine Reservierung der Ladesäule nach max. 15 Minuten verfällt.	<input type="checkbox"/>					
160	Ich toleriere, dass meine bevorzugte Ladesäule durch andere Nutzer belegt ist.	<input type="checkbox"/>					
161	Die aufgetretenen technischen Probleme haben mich sehr gestört.	<input type="checkbox"/>					
162	Ich habe immer einen "Plan-B" für den Fall, dass mein MINI E einmal nicht ausreichend geladen zur Verfügung steht.	<input type="checkbox"/>					
163	Ich erwarte, dass defekte Ladesäulen innerhalb von _____ Stunden instandgesetzt werden.						
164	Ab welcher Zeit pro Ladevorgang des MINI E von 0 auf 100 % würden Sie von einem Schnellladevorgang sprechen? _____ (Bitte auch Einheit angeben)						

Nun geht es um die Häufigkeit der Nutzung der öffentlichen Ladesäulen.

165	Ich habe die öffentlichen Ladesäulen _____ mal pro Monat zum Laden benutzt.						
166	Ich konnte die öffentlichen Ladesäulen _____ mal pro Monat nicht zum Laden benutzen, obwohl ich dies wollte.						

Dieser Abschnitt behandelt das Gesteuerte Laden. Zum besseren Verständnis eine kurze Definition: Wenn viel Windenergie im Netz zur Verfügung steht und diese gerade nicht von anderen Verbrauchern am Netz benötigt wird, wird ein Steuersignal an die Autostrombox gesendet, um die Fahrzeugbatterie des angeschlossenen MINI E zu laden. Ist diese voll, schaltet die Autostrombox die Ladung ab. Ist kein Auto angeschlossen, erfolgt ebenfalls keine Ladeaktivierung. Sinn des Gesteuerten Ladens ist es, dass die im Netz überschüssige Energie nicht verloren geht, sondern für eine spätere Anwendung gespeichert wird.

Bitte geben Sie wieder den Grad Ihrer Zustimmung zu folgenden Aussagen an:		stimmt gar nicht	stimmt weniger nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt weitgehend	stimmt völlig
183	Ich würde meinen MINI E ohne Vergütung zur Verfügung stellen, um Fluktuationen in der Windenergie auszugleichen, auch wenn dadurch meine Batterie nie zu 100 % aufgeladen werden kann.	<input type="checkbox"/>					
184	Wenn ich davon einen finanziellen Vorteil habe, macht es mir nichts aus, vor auszuplanen, wann ich mein Auto nutzen will.	<input type="checkbox"/>					
185	Ich würde meine Fahrweise den aktuellen Stromkosten anpassen.	<input type="checkbox"/>					
186	Ich bin ein Befürworter von gesteuertem Laden.	<input type="checkbox"/>					
187	Ich bin bereit, mein Elektroauto sofort mit dem Stromnetz zu verbinden, sobald es nicht genutzt wird.	<input type="checkbox"/>					
188	Ich befürchte, dass durch das gesteuerte Laden eine zu geringe Reichweite zur Verfügung steht, wenn ich eine spontane Fahrt machen will oder muss (z. B. Notfall).	<input type="checkbox"/>					
189	Der Aufwand, seine Startzeiten planen und mitteilen zu müssen, spricht gegen die Nutzung gesteuerten Ladens.	<input type="checkbox"/>					
190	Ich setze zu Beginn der Fahrt eine vollgeladene Batterie voraus.	<input type="checkbox"/>					
191	Ich lade mein Fahrzeug lieber an einer Lademöglichkeit (Wallbox, Ladesäule etc.) als zur Tankstelle zu fahren.	<input type="checkbox"/>					
192	Ich könnte mir vorstellen, dass die meisten Personen sehr schnell lernen, den MINI E zu laden.	<input type="checkbox"/>					
193	Ich unterstütze eine Umsetzung von gesteuertem Laden.	<input type="checkbox"/>					
194	Eine effizientere Nutzung von erneuerbaren Energien ist nur mit gesteuertem Laden möglich.	<input type="checkbox"/>					

Abbildung 12 Ausschnitt aus dem Fragebogen zu energiewirtschaftlichen Fragen

3.3.4 Datengenerierung für Hypothesentest

3.3.4.1 Ziele und Aufgaben

Ob sich die Steuerung des E-Fahrzeug-Ladevorgangs für energiewirtschaftliche Zwecke eignet, hängt wesentlich vom Nutzerverhalten ab. Werden Fahrzeuge nicht statistisch planbar an das Netz angeschlossen, können sie keinen überschüssigen Strom aufnehmen. Um die Eignung der definierten Nutzergruppen (hier: die vorab festgelegten und geprüften Nutzer) festzustellen, wurde eine umfangreiche Infrastruktur zur Erhebung der Daten aufgebaut und betrieben. Dies war das Ziel des Arbeitspakets.

3.3.4.2 Vorgehen / Methodik

Vorgesehen war die Ladeinfrastrukturhardware aus dem früheren Projekt ‚MINI E Berlin‘ vollständig und technisch unverändert weiterzunutzen. Die öffentlich zugänglichen Auto-

strom-Stationen sollten dabei lediglich weiter betrieben, die privaten Autostrom-Boxen an neuen Standorten errichtet und dann weiterbetrieben werden. Anpassung waren nur an den Anwendungen in den Rechenzentren von Vattenfall und der TU Ilmenau vorgesehen und zwar insbesondere nach Durchsicht der Anforderungen der neuen Gruppe der Flottenkunden.

Durch die im Herbst 2010 bekannt gewordenen neuen Anforderungen an die Produktsicherheit des MINI E mussten jedoch wesentliche Änderungen an der Systemarchitektur vorgenommen werden. Auslöser war der Wechsel vom CEE-plus-Stecker auf den IEC-Typ-2-Standard. Die Umrüstung der bestehenden öffentlichen Ladestationen war technisch nicht möglich.

Nach Aufnahme der Projektanforderungen aufgrund der neuen Nutzergruppen und aller neuen Anforderungen durch die sicherheitsrelevanten Änderungen wurde ein übergreifender Migrationsplan erstellt. Dieser Plan beinhaltete die folgenden Punkte:

- Umrüstung von 48 Autostrom-Boxen auf den neuen Steckertyp und Bereitstellung eines Mode3-Kontrollers je Ladegerät,
- Ersatz von 20 öffentlich-zugänglichen Ladestationen durch neuere Typen mit zwei voneinander unabhängigen Ladepunkten (inkl. IEC Typ2-Steckbuchse und Mode3-Kontroller),
- Aufnahme der neuen Ladestationen in die zum Teil schon existierende Vattenfall-Integrationsplattform und Erweiterung der Plattform um die für das MINI E 2.0 Projekt benötigten Funktionen,
- Schaffung einer Schnittstelle zur Anbindung der alten Ladesäulen an die Integrationsplattform,
- Schulung der Mitarbeiter der Warte auf das neue System zur adäquaten Betreuung der Nutzer und
- Übertragung der Daten aus dem alten Backend in die Integrationsplattform.

Der neue Endausbau der Datenerhebungsinfrastruktur für das Projekt MINI E 2.0 ist schematisch in der unten stehenden Abbildung 13 gezeigt.

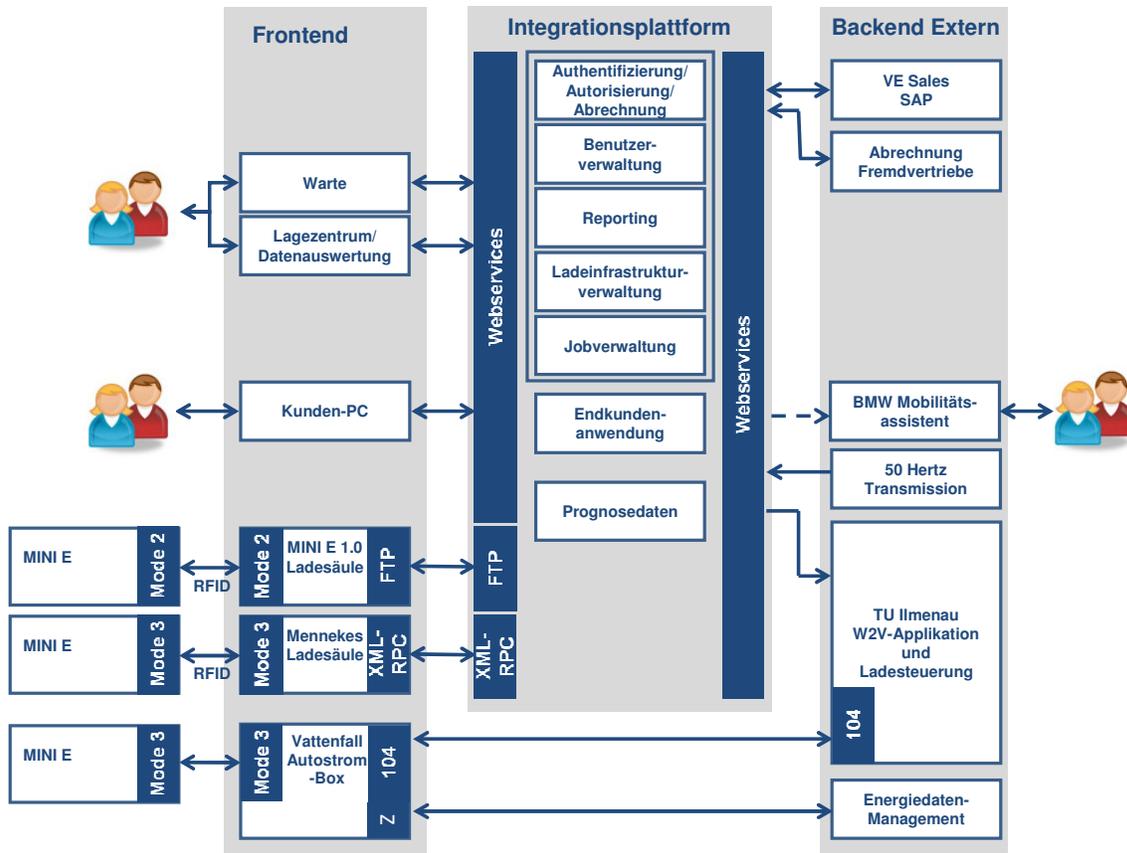


Abbildung 13 Systemarchitektur der Datenerhebungsinfrastruktur

Die Installation der Ladeinfrastruktur bei Nutzern in Privat- und Flottensettings wurde an den Abschluss der Vorprüfung und Nutzerkontrahierung gekoppelt. Dabei wurde aus Zeitgründen direkt nach Vertragsschluss die Ladeinfrastruktur aufgebaut.

Schwieriger gestaltete sich das Vorgehen im Laternenparker-Setting: Mit alten Ladestationen war nach der technischen Änderung nur noch Laden per Adapter mit 37,5% der Normalleistung möglich (12A statt 32A, also Verlängerung des Vollladens von 4 auf 10 Stunden). Damit hätte das Ziel nicht erreicht werden können, eine gleichwertige Ladealternative zur privaten Autostrom-Box bereitzustellen. Deshalb wurde die Ausgabe von Fahrzeugen an Laternenparker mit der Umrüstung der Ladestationsstandorte auf den neuen Säulentypen verbunden. Dieser Prozess zog jedoch einen erheblichen zeitlichen Aufwand nach sich. Konkret sollte die Umrüstung im Idealfall vor, aber spätestens wenige Wochen nach der Fahrzeugausgabe erfolgen.

Für Installation, Betrieb und Wartung der Datenerhebungsinfrastruktur wurden konzerninterne und externe Dienstleister kontrahiert.

Zum Projektende wurden die Nutzungsdaten aus den verschiedenen Datenquellen zusammengestellt und an das AP2.2.2 übergeben. Zudem wurde der Rückbau der Ladeinfrastruktur organisiert und durchgeführt.

3.3.4.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Hauptergebnisse

- Ladeinfrastruktur für alle Nutzergruppen wurde bereitgestellt bzw. aufgerüstet, installiert und in Betrieb genommen:
 - 10 intelligente Autostrom-Boxen im Privatnutzersetting (Abbildung 14),
 - 10 intelligente Autostrom-Boxen für die Flottennutzer im Carsharing-Betrieb und 26 intelligente Autostrom-Boxen für die Flottennutzer im Fuhrpark-Betrieb (Abbildung 17),
 - 20 Autostrom-Stationen neuen Typs an bestehenden Standorten (Überbauung).
- Die zur Unterstützung der Ladeinfrastruktur und Datenauswertung nötigen IT-Anwendungen wurden so angepasst, dass sie die Anwendungsfälle bedienen können.
- Die über die Datenerhebungsinfrastruktur (= Ladeinfrastruktur + IT-Plattform) erfassten Nutzungsdaten wurden erhoben, anhand von Befragungsdaten und objektiv-quantitativen Sekundärquellen auf Konsistenz und Vollständigkeit geprüft bzw. wo möglich ergänzt und für die Auswertung vorbereitet.
- Die intelligenten Ladeinfrastrukturen wurden nach Projektende zurückgebaut und zur weiteren Verwendung eingelagert.

Installation der Ladeinfrastruktur

Für die vier Nutzergruppen Privatanutzer Heimplader, Privatanutzer Laternenparker, Flottennutzer Fuhrpark und Flottennutzer Carsharing war der Installationshochlauf sehr unterschiedlich ausgeprägt.

Ursprünglich war geplant die Ladeinfrastruktur in zwei Phasen ab dem 01.12.10 und dem 01.05.2011 zu betreiben. Dies war aufgrund der dargestellten technischen Änderungen und aufgrund der schwierigen und langwierigen Nutzerakquisition nicht möglich.

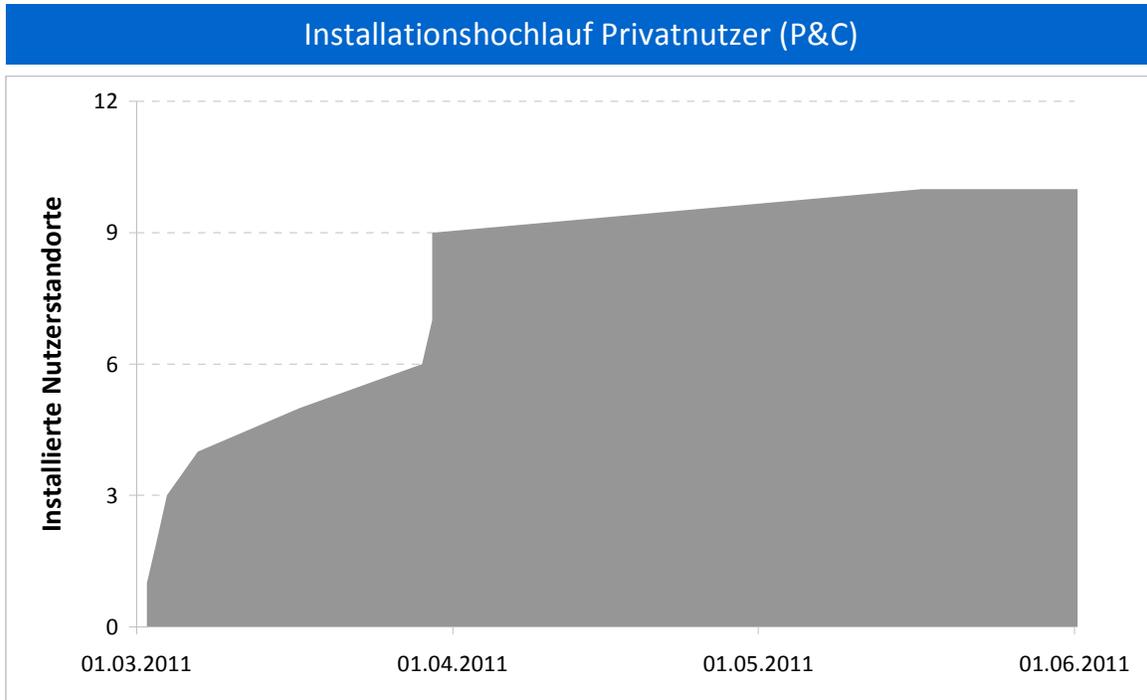


Abbildung 14 Installationshochlauf der Autostrom-Boxen bei Privatnutzern

Abbildung 14 zeigt, dass die zehn Privatnutzer-Standorte des Settings Heimplader im Wesentlichen innerhalb eines Monats installiert werden konnten. Die Installation des letzten Nutzerstandorts verzögerte sich jedoch bis Mitte Mai.

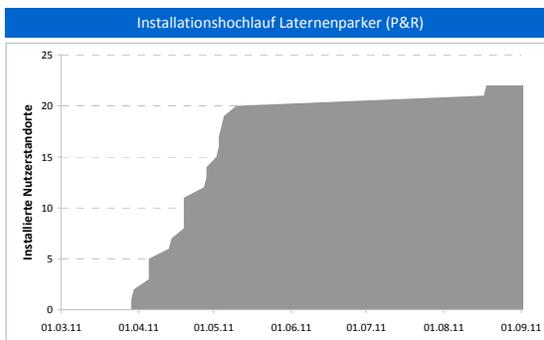


Abbildung 15 Installationshochlauf Laternenparker (Nutzersetting P&R)

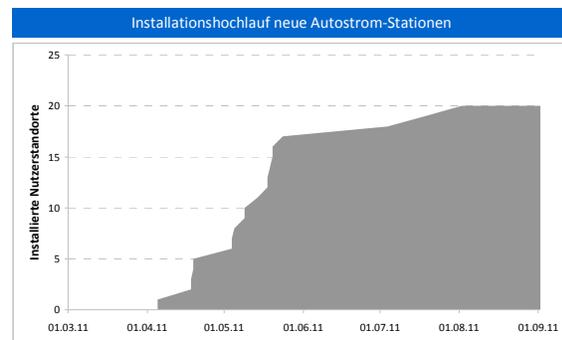


Abbildung 16 Installation von Ladesäulen neuen Typs

Die Akquisition von Laternenparkern fand in Anlehnung an das Amsterdamer Modell statt.² Dabei konnten Nutzer einen Wunschstandort aus einer Liste von Ladestationsstandorten angeben, der dann von Vattenfall mit einer Ladesäule neuen Typs überbaut wurde.

Im Regelfall sollte nach zwei Wochen an den neuen Stationen geladen werden können. Im Vergleich der Abbildung 15 mit der Abbildung 16 wird dies auch deutlich. Im Schnitt mussten Nutzer zirka 20 Tage (Median) auf die Überbauung des Wunsch-Standortes warten.

Vor Umbau standen folgende Ladeoptionen zur Verfügung: (1) Laden an einer anderen neuen Ladestation im Stadtgebiet, (2) Laden an einer "alten" Ladestation per Adapter und (3) Laden an projektfremden Ladestationen bzw. zu Hause.

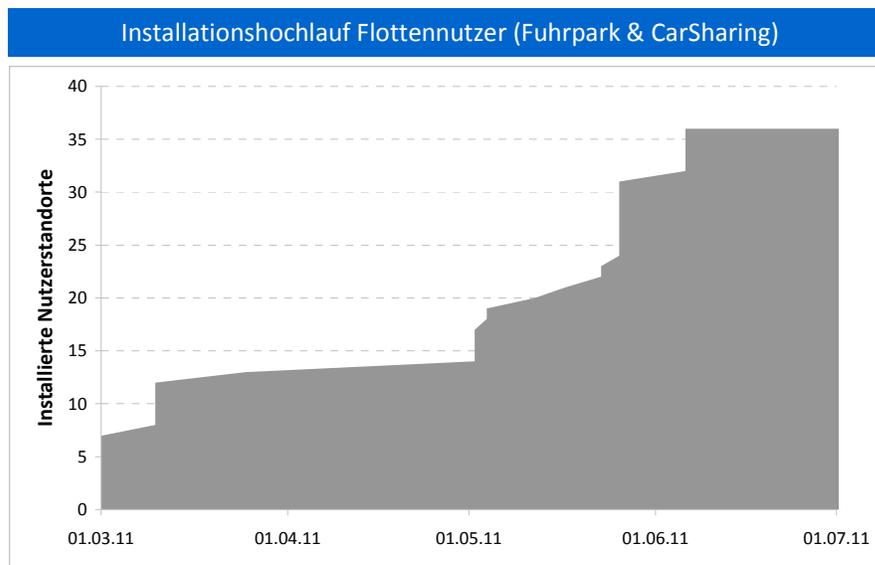


Abbildung 17 Installationshochlauf Flottennutzer

Die Abbildung 17 zeigt den Installationsverlauf bei Flottennutzern. Deutlich wird hier, dass die Akquisition dieser Nutzergruppe mit teils erheblichen Verzögerungen einhergeht. Dieses bei gewerblichen Nutzern ausgeprägte Phänomen konnte auch in anderen

² In Amsterdam installieren Tochterunternehmen von Vattenfall und RWE insgesamt 1000 Ladestationen für Kunden. Kunden können dabei einen Wunschstandort für die Ladestation auf öffentlichen Grund angeben, den die Unternehmen dann im Regelfall realisieren.

Forschungs-Projekten beobachtet werden.³ In Kapitel 3.3.2 wird die Problematik umfassend beleuchtet.

Sieben Ladestationsstandorte konnten aus dem Vorprojekt ‚MINI E Berlin‘ direkt in den Weiterbetrieb überführt werden (5 Vattenfall, 2 DB Carsharing) und wurden im Betrieb auf die neue Ladetechnik umgerüstet. Die weiteren 29 Stationen wurden an neuen Standorten installiert. Im Ergebnis standen alle 10 Autostrom-Boxen im Carsharing-Setting am 26.05. bereit. Die letzte Station im Flottensetting Fuhrpark wurde am 06.06. installiert.



Abbildung 18 Installationsbeispiel EUREF-Gelände

Die Standortsuche für zwei weitere Autostrom-Boxen für Fuhrparkanwender wurde Mitte August abgebrochen. Die damit korrespondierenden Fahrzeuge sind daraufhin in das Privatkundensetting Park&Ride (Laternenparker) verschoben worden.

Betrieb der Ladeinfrastruktur

Der Betrieb der dezentralen Ladeinfrastrukturen Autostrom-Boxen und der neuen und alten Autostrom-Stationen gestaltete sich sehr unterschiedlich.

³ Aus den Projekten HH=more und EMKEP liegen Vattenfall ähnliche Erfahrungen vor.

Die Autostrom-Boxen sind wartungsfrei konstruiert und wiesen nur wenige Störungen auf. Eine Störung betraf einen Wassereintrich in der abgesetzten Ladesteckdose. Dieses Gerät verfügt über die Schutzklasse IP44. Es zeigte sich, dass ungünstige Wettersituationen (z.B. Starkregen) eine höhere Schutzklasse nötig machen. Alternativ kann das Gerät überdacht oder in einer wettergeschützten Box untergebracht werden (vgl. Abbildung 18, rechts).

Der Betrieb der Autostrom-Stationen gestaltete sich ungleich aufwendiger. Probleme bereitete vor allem der Betrieb der Ladesäulen älteren Typs bei eingelegtem Adaptergerät (siehe Abbildung 20). Dieser Adapter dient zum Anschluss eines Ladekabels mit Typ2-Stecker an eine gewöhnliche Haushaltsteckdose. Er enthält zudem einen Fehlerstromschalter (RCD). Adapter dieser Art haben als Mode2-Ladelösung gemäß IEC 61851 eine hohe Verbreitung unter aktuellen E-Fahrzeugen gefunden.



Abbildung 19 Ladestationen alten Typs (links) und neuen Typs (rechts)⁴

Kritisch ist, dass die Baugröße des Adapters und der mechanische Aufbau kein einheitliches Einlegen in die beiden älteren Ladesäulentypen ermöglichen. Bei falschem Einlegen wurde der sowieso anfällige Klappenmechanismus der Säule beschädigt, was zu einem Servicefall führte.

⁴ Bild: BMW AG



Abbildung 20 Nutzung von Ladeadaptern für MINI E in verschiedenen Ladesäulen

Für Nutzer war auch der Umstand verwirrend, dass die grüne Schalterstellung des eingebauten RCD bedeutet, dass die Leitung stromfrei ist. Mehrere Nutzer konnten deshalb nicht laden oder mussten die Hotline kontaktieren.

Die Autostrom-Stationen neuen Typs bereiteten deutlich weniger Probleme. Anfängliche Schwierigkeiten mit der Elektronik konnten in Zusammenarbeit mit dem Hersteller behoben werden. Als für betriebliche Zwecke sinnvoll erwies sich die Fernüberwachungsfunktion, die alle zehn Minuten eine Statusmeldungen in die Integrationsplattform einspielte. Fehler konnten damit schnell erkannt und beseitigt werden. Im nächsten Schritt bietet sich an, die Meldungen automatisiert auszuwerten und Nutzern als Karte oder Liste zur Verfügung zu stellen (Ladesäule in Betrieb, Ladesäule frei, Ladesäule gestört).

An einigen Standorten kam es zu Vandalismus-Vorfällen, sowohl an Standorten mit neuer wie auch mit alter Technik. Dabei zeigte sich, dass die alten Ladesäulen mit einer mechanischen Klappe das Ladekabel gut gegen Diebstahl und böses Abziehen sichern können. Jedoch sind Klappen an den Ladestationen selbst anfällig für Vandalismus und Fehlbenutzung.

Das neue klappenlose Modell ist dagegen robuster und weniger anfällig für Fehlbedienung, jedoch kann der Schutz vor böswilligem Kabelabziehen nur in Verbindung mit normkonformen verriegelnden Fahrzeugen und infrastrukturseitig dem neuen Typ-2-

Stecker gewährleistet werden. Der MINI E und viele andere Elektrofahrzeuge besitzen diese Eigenschaft noch nicht. Das Kabel kann also jederzeit abgezogen werden. Im Projekt MINI E 2.0 ist dies gelegentlich vorgekommen, in anderen Berliner Projekten (Be-Mobility) sogar häufig. Ein Diebstahl von Kabeln wurde jedoch nicht bekannt.

Weiterentwicklung der W2V-Plattform bei der TU Ilmenau

Der Algorithmus zum Gesteuerten Laden wurde dahingehend optimiert, dass eine geschlossene Regelstruktur implementiert wurde. Bestand im Vorprojekt MINI E Berlin die Steuerung aus einer offenen Regelstrecke, welche nur die Ladefahrpläne nach einer idealen Ladekurve ermittelte, so wurde nun die gemessene Last – auf Grundlage des gemessenen Stromes – der Fahrzeuge in Korrelation zur Windeinspeisung genutzt und als geschlossene Regelschleife umgesetzt. Abweichungen der Ladekurve von der angenommenen idealen Ladekurve können somit durch das Zuschalten anderer Fahrzeuge kompensiert werden. Die Steuerung ist dadurch insgesamt flexibler geworden.

Erweiterung der Nutzerwebsite

In der Feldphase des Projekts wurde klar, dass Gewerbenutzer die bestehende Website (Abbildung 21) aus dem Projekt ‚MINI E Berlin‘ zur Steuerung der Ladeboxen nicht nutzen würden. Hierfür gab es zwei Gründe:

- (1) Jede Box hatte einen separaten Nutzeraccount. Ein Fuhrparkmanager mit zehn Fahrzeugen musste sich zum Ändern der Einstellungen mehrerer Boxen immer wieder neu anmelden.
- (2) Die Website stellt dem Nutzer kaum Mehrwert zur Verfügung. Die Nutzung erfolgt dadurch eher sporadisch. Ein Mehrwert könnte sein, dass die angeschlossenen Fahrzeuge und der Ladestand mit angezeigt werden.



Abbildung 21 Bestehendes Nutzerportal aus dem Projekt MINI E Berlin

Im nächsten Schritt wurden die Anforderungen von Gewerbekunden aufgenommen, die eine solche Seite nutzen. Um ein breiteres Bild zu bekommen, wurden auch Anwenderbedarfe aus anderen laufenden Elektromobilitätsprojekten mit ähnlichem Fokus in die Betrachtung einbezogen (EMKEP, HH=more). Darauf basierend wurde ein Lastenheft erstellt und umgesetzt.

Die Abbildung 22 zeigt exemplarisch, wie sich Fuhrparkmanager einen Überblick über die aktuell angeschlossenen Fahrzeuge des eigenen Fuhrparks verschaffen können. Interessant ist insbesondere die Möglichkeit sich über die bereits geladene Strommenge zu informieren. Dadurch kann der Ladestand auch von Fahrzeugen festgestellt werden, die diese Information nicht über eine IT-Schnittstelle nach außen geben können.



The screenshot shows the 'GREEN eMOBILITY' user interface. At the top, there are navigation tabs for 'eMobility', 'Verbrauch', 'Benutzerverwaltung', and 'Ihr Profil', along with a 'Home' button. The main content area is titled 'Status' and includes a sub-menu with 'Regeleinstellung', 'Abweichungen', 'Sofortladen', and 'FAQ'. Below this is a 'Kontakt' section for 'Vattenfall Europe Innovation GmbH' in Hamburg. On the right, there is a photo of a Vattenfall charging station. The central part of the interface features a table with the following data:

ASB	Begin	Dauer	Säule	kWh	Aktion
1003	24.10.2011 10:15	01:43	Überseering 12 22297 Hamburg	5,7596	Laden
1004	24.10.2011 08:30	03:27	Überseering 12 22297 Hamburg	3,1516	Laden
1009	22.10.2011 17:19	42:39	Überseering 12 22297 Hamburg	5,5363	Laden

Abbildung 22 Übersicht über angeschlossene Fahrzeuge für Fuhrparkmanager

Da die neue Nutzerwebsite erst gegen Projektende fertig gestellt wurde, konnte sie im vorliegenden Projekt nicht mehr eingesetzt und erprobt werden. Über die Teilerprobung im Projekt hh=more wird in dessen Abschlussbericht umfassend berichtet.⁵

Ein auch für die MINI-E-2.0-Flotten-Anwendungsfälle wichtiges Ergebnis ist der Umgang mit Zwischenladen. Das Steuerungssystem ist bislang darauf ausgelegt, dass ein Fahrzeug einen Ladevorgang pro Tag an der bestimmten Ladestation durchführt. Dies trifft zwar für Privatnutzer, nicht aber für Flottennutzer zu. Für Flottennutzer muss das Steuerungssystem so ausgelegt werden, dass mehrere Ladezeitfenster pro Tag angelegt werden können, in deren Rahmen das Laden gemäß der W2V-Philosophie verschoben werden kann.

Datenerhebung und Qualitätssicherung der Daten

Bereits im früheren Projekt ‚MINI E Berlin‘ hatte sich bewährt, Messdaten redundant zu erheben und mit Informationen aus Nutzerbefragungen und Nutzerfeedbacks zu prüfen.

⁵ Siehe „Einsatz von elektrisch angetriebenen Pkw und Aufbau einer Ladeinfrastruktur in der Modellregion Hamburg – hh=more“, S. 79ff, Vattenfall Europe Innovation GmbH, 2011

Dieses Vorgehen wurde wieder angewandt. Die Abbildung 23 vermittelt einen Überblick über die Datenquellen.

Fragestellung	Verfügbare Datenquellen
Nutzungsverhalten an den Autostrom-Boxen	<ul style="list-style-type: none"> • Auswertungen aus Mess- und Steuereinrichtung in den Autostrom-Boxen, die an das Steuerungssystem der TU Ilmenau angeschlossen waren sowie Daten des Nutzerportals. • Daten elektronischer Lastgangzähler zur Messung der elektrischen Leistung der Ladebox und des angeschlossenen Fahrzeugs im 15-Minuten-Intervall.
Nutzungsverhalten an den Autostrom-Stationen / Ladesäulen	<ul style="list-style-type: none"> • Ladedatensätze der Autostrom-Stationen • Daten elektronischer Lastgangzähler zur Messung der elektrischen Leistung des angeschlossenen Fahrzeugs im 15-Minuten-Intervall (nur alte Ladestationen aus dem Projekt ‚MINI E Berlin‘). • Zählerstände der elektronischen Zähler zum Projektende.
Nutzung der Fahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Auswertungen der Datenlogger der MINI E zu Fahrten und Ladevorgängen.

Abbildung 23 Übersicht der Datenquellen

Abseits technischer Messdaten standen folgende Daten und Informationen bereit:

- Daten aus Nutzerbewerbungen sowie aus der technischer Vor-Prüfung und Nutzerkontrahierung
- Nutzerbefragungen der TU Chemnitz (Vorbefragung, Mittelbefragung und Nachbefragung bei Privatnutzern/Laternenparker sowie Vor- und Mittelbefragung bei Flottennutzern)
- Befragung der Nutzer der Privat- und Laternenparkerssettings zur Nutzung der öffentlichen Ladestationen von BMW und Vattenfall
- Gespräche mit Nutzern auf Nutzertreffen oder im Rahmen der Störungsbeseitigungen

Die Kombination der verschiedenen Datenquellen vermittelt insgesamt ein gutes Bild über das tatsächliche Nutzungs- und Ladeverhalten.

Datenerhebung an den Autostromstationen

Folgende Eigenschaften der Daten und Limitierungen sowie folgendes Kundenverhalten muss bei der Interpretation beachtet werden:

- Die Autostrom-Stationen aus dem Vor-Projekt ‚MINI E Berlin‘ waren technisch wenig zuverlässig. Insbesondere führten Probleme in der Betriebssoftware der Geräte dazu, dass nicht alle Ladedatensätze korrekt erfasst und in die Integrationsplattform übermittelt werden konnten. Durch manuelles Auslesen der Stationen konnte ein Teil der Nutzungsdaten rekonstruiert werden, ein anderer Teil jedoch nicht.
- Ein weiterer Fehler in der Betriebssoftware der neuen Autostrom-Stationen führte dazu, dass zwischen dem 21.04.2011 und dem 05.06.2011 insgesamt 990 kWh zwar erkannt, aber nicht konkreten Nutzern zugeordnet werden konnten. Da die Ladevorgänge auch von Nicht-Projektkunden stammen könnten, sind die Daten nicht in der Auswertung enthalten. Aus anderen Monaten ist bekannt, dass 80% der an den Ladesäulen aufgenommenen Energie durch Projektfahrzeuge geladen wurde. Schriebe man die Daten fort, würde das – gegenüber den ausgewerteten Daten – eine Erhöhung um 790 kWh im Zeitraum bedeuten. Eine monats-scharfe Aussage zur Verteilung der Ladungen ist nur annahmenbasiert möglich.
- Nutzer identifizieren sich an Autostrom-Stationen durch eine RFID-Karte. Diese Karte ist zwar an Nutzer, nicht aber an das Fahrzeug gebunden. Insbesondere bei Flottennutzern ist denkbar, dass die Karte auch zum Laden von Nicht-Projektfahrzeugen genutzt wurde. Ebenso ist denkbar, dass Ladekarten aus anderen Projekten für das Laden der Projektfahrzeuge eingesetzt wurden.
- Einige Nutzer haben im Projektzeitraum neben Autostrom-Boxen und Autostrom-Stationen auch weitere Lademöglichkeiten wie Schukosteckdosen genutzt.
- An den Ladestationen aus dem Vorprojekt ‚MINI E Berlin‘ ist das Ladekabel mechanisch gegen Diebstahl gesichert. Einige Nutzer ließen das Ladekabel nach Ende des Ladevorgangs stecken. Dadurch können einzelne Ladevorgänge sehr lang werden bzw. die aufgenommenen Energiemengen zu hoch für ein Einzel-fahrzeug sein. Die neuen Ladestationen erlauben den Nutzern dieses Verhalten nicht.

- Die in der Auswertung genannten Uhrzeiten beziehen sich vor dem 27. März 2011 auf die Normalzeit (MEZ), nach dem 27. März 2011 auf die Sommerzeit (MESZ).

Datenerhebung an den Autostrom-Boxen

Die Daten der Autostrom-Boxen liefen im System der TU Ilmenau auf. Zur Einschätzung der Qualität der Daten und des Systems sollten folgende Punkte in die Betrachtung einbezogen werden:

- Aus Perspektive des Wind2Vehicle-Steuerungssystems beträgt die durchschnittliche Gesamtzuverlässigkeit der Autostrom-Boxen 92,2%. Das bedeutet, dass die Geräte in dieser Zeit neue Befehle des zentralen Steuerungssystems aufnehmen und verarbeiten konnten. Fiel die Kommunikation mit einer Box aus, arbeitete diese solange im Sofortladen-Modus bis die Verbindung wiederhergestellt werden konnte. Die einzelnen durchschnittlichen Zuverlässigkeiten der Autostrom-Boxen finden sich in Abbildung 24 wieder.
- Die Autostrom-Boxen mit den Nummern 28, 32, 35 und 46 sind nicht in Betrieb genommen worden. Mit Ausnahme der Autostrom-Box 44 kann bei allen übrigen Autostrom-Boxen eine gute Erreichbarkeit von mindestens 90% festgestellt werden. Im Vergleich zum Projekt MINI E Berlin kann dies als Erfolg der intensiven Nutzervorprüfung gewertet werden.
- Bei mehreren Autostrom-Boxen musste die Funktion der Wind2Vehicle-Steuerung aufgrund von Nutzeranforderungen stillgelegt werden. Die Erhebung von Nutzungsdaten war davon jedoch nicht betroffen.

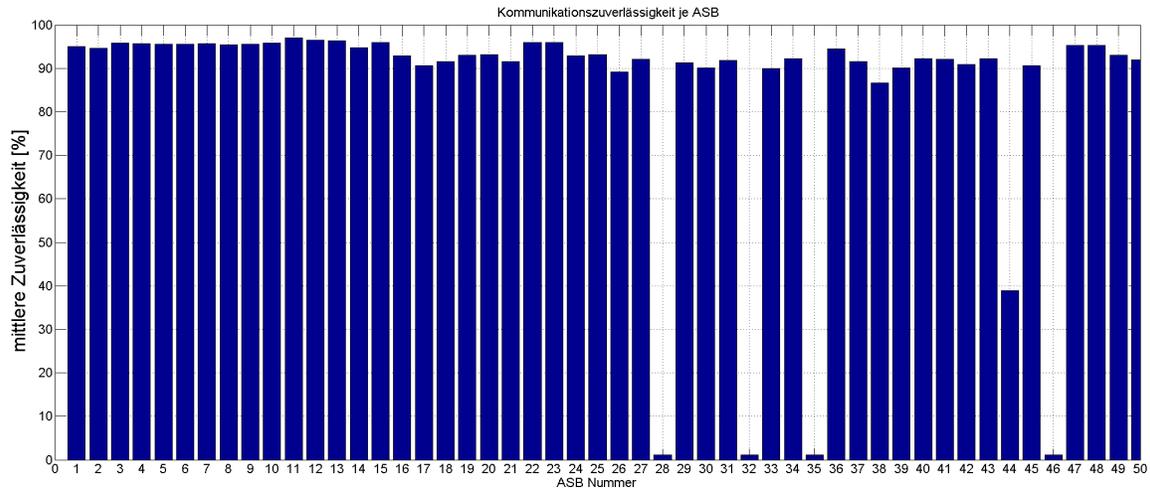


Abbildung 24 Zuverlässigkeit je Autostrom-Box

- Das Steuerungssystem bei der TU Ilmenau konnte bis auf drei Ereignisse fortlaufend im Zeitraum vom 01.04.2011 bis 30.09.2011 betrieben werden. Während der folgenden Zeiträume war die Funktionalität des Gesteuerten Ladens nicht verfügbar:
 1. 13.06.2011 – Ausfall VPN-Terminierungspunkt
 2. 02.09 - 04.09.2011 – Ausfall VPN-Terminierungspunkt
 3. 11.09.2011 – unvorhergesehener Ausfall der Netzspannung
- Der zeitliche Verlauf der Verfügbarkeit ist aus Abbildung 25 ersichtlich. Die genannten Ereignisse, die zum Ausfall des Steuerungssystems geführt haben, sind darin gekennzeichnet. Sowohl Windsignal als auch Kommunikation zu den ASB war während dieser Zeiträume nicht möglich. Sonstige Ereignisse zu denen nur die Kommunikation zu den Autostrom-Boxen beeinträchtigt war (Server2ASB), können nicht auf Ursachen des Systems der TU Ilmenau zurück geführt werden.

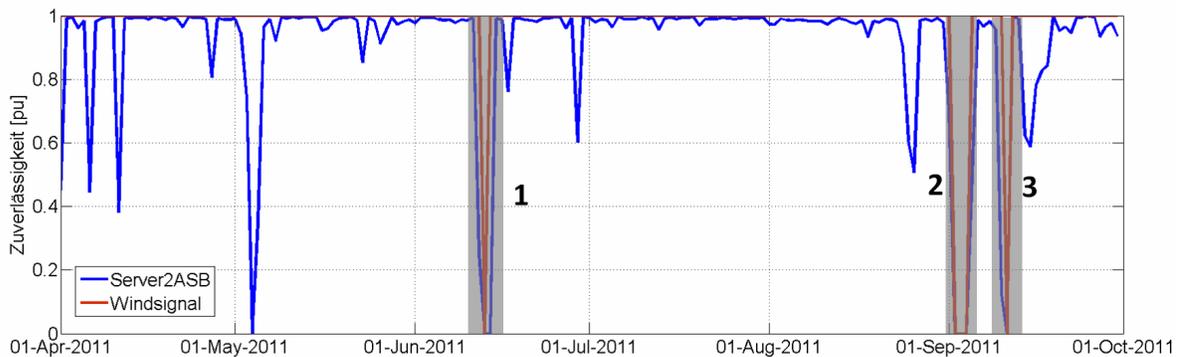


Abbildung 25 Zuverlässigkeit Serversystem (blau) und Windsignal (rot)

Vergleich der Ladedaten der Projekt-Ladeinfrastruktur zu denen der Datenlogger

Die Projektpartner BMW und TU Chemnitz haben für ihre Auswertungen auch Datenlogger herangezogen, die in den MINI E verbaut waren. Im Vergleich zu den Infrastrukturdaten werden Unterschiede sichtbar, die im Folgenden teilweise erklärt werden können.

- Bezugspunkt der Datenlogger sind die Fahrzeuge, Bezugspunkte bei der Ladeinfrastruktur sind die Autostrom-Boxen bzw. die RFID-Ladekarten bei Verwendung der öffentlichen Ladeinfrastruktur.
- Die Datenlogger der Fahrzeuge können Ladevorgänge nicht direkt erkennen. Stattdessen wird aus einer Zunahme des Batterieladestandes indirekt auf einen Ladevorgang geschlossen. Aufgrund chemischer Prozesse in den Batteriezellen verbessert sich der Ladezustand in den ersten Stunden nach Abschluss der Nutzung erkennbar. Um Batterieerholungsvorgänge von Ladevorgängen zu unterscheiden, wurden Ladehube unter 13% aussortiert.
- Ladevorgänge im Autostrom-Boxen-System werden über die Anschlussvorgänge gezählt. Während eines Anschlussvorgangs kann die Ladung durch das W2V-Steuerungssystem unterbrochen und später fortgesetzt werden. Datenlogger könnten diese Vorgänge als mehrere Ladevorgänge werten.

Schlussfolgerungen

Im Projekt wurde eine Vielzahl von wichtigen Einzelerfahrungen bezogen auf den Betrieb gemacht:

Sicherung des Ladekabels

- Aus Nutzersicht ist die Sicherung des Ladekabels an öffentlich-zugänglichen Ladestationen wichtig, um Vandalismus und Diebstahl vorzubeugen. Mit dem Typ2-Stecker lässt sich eine beidseitige Verriegelung an Fahrzeug und Ladegerät realisieren.
- Schwieriger ist die Situation bei Mode2-Ladekabeln mit InCableControlbox, ICCB (siehe Abbildung 20). Hier kommt infrastrukturseitig meist ein Schuko-Stecker zum Einsatz, der technisch nicht verriegelt werden kann.
- Die Sicherung muss dann durch einen anderen Mechanismus erfolgen. Möglich sind Ösen an der Ladestation für Sicherungen per Schloss-Schlüssel-System oder Klappenmechanismen. Die Klappe hat den Vorteil, dass dahinter auch die ICCB verstaut werden kann, die ansonsten lose an der Ladesäule hängt und eine ungünstige Zugbelastung ausübt. Problematisch ist, dass Klappen den mechanischen Platzbedarf der Ladestation deutlich vergrößern und eine erhebliche Fehlerquelle darstellen. Dies ist aus Gründen der Stadtintegration nicht wünschenswert.
- Im Ergebnis sind Stecksysteme mit Verriegelung der Königswege. Mode2-Ladekabel mit ICCB sollten im öffentlichen Raum möglichst nicht eingesetzt werden.

Mobilfunkverfügbarkeit

Für die Anbindung weniger AutoStrom-Boxen an das Datennetz an einem Standort bietet sich aus Kostengründen eine Mobilfunkverbindung an. Über diese Verbindung wird das Wind2Vehicle-Steuersignal eingespielt. Daten zum Ladevorgang können über diese Verbindung zum Steuerungsrechner und/oder zum Kunden gesandt werden. Die Verbindung ist also für betriebliche Zwecke wichtig.

Da die Boxen jedoch häufig an Orten mit ungünstigem GSM-Empfang installiert werden müssen, sind weitergehende Maßnahmen erforderlich um die Empfangsqualität sicherzustellen. Diese können sein: Wahl des Mobilfunkanbieters mit der besten Signalqualität am Standort, Einsatz einer flexiblen Antenne, Suche nach Standorten mit guten Empfangseigenschaften. Diese Maßnahmen wurden im Projekt sehr erfolgreich angewandt.

Trotzdem ist festzustellen, dass in der 6-monatigen Feldphase elf nicht beeinflussbare Ausfälle des Kommunikationssystems vorgekommen sind. Auch wenn sich nur eines dieser Ereignisse auf alle Boxen auswirkte, so zeigen sich doch die Verfügbarkeitsgrenzen. Dies muss bei der Einschätzung der Leistungsfähigkeit von Smart-Grid-Anwendungen wie Wind2Vehicle als limitierender Faktor berücksichtigt werden.

Qualität der Ladestationen

Die Qualität der Autostrom-Stationen in Hinblick auf mechanische, elektrische und IT-Dimensionen hat sich im Vergleich zum ersten Projekt deutlich verbessert. Insbesondere die Möglichkeiten zur Fernüberwachung und -diagnose und die quasi sofortige Erkennung von Fehlern sind nützlich, um Nutzern ein Produkt mit einer guten Verfügbarkeit anzubieten. Im nächsten Schritt wird die Statusinformation zu Ladesäulen den Nutzern direkt zur Verfügung gestellt.

3.3.5 Datenanalyse, Hypothesentest und Ergebnisbericht

3.3.5.1 Ziele und Aufgaben

Ziel des Arbeitspakets ist die Analyse, Auswertung und Interpretation der von der Vattenfall-Ladeinfrastruktur erhobenen Daten unter Mitbetrachtung der Ergebnisse der Nutzerstudien der TU Chemnitz. Insbesondere wird dabei die Eignung der vier im Feld getesteten Anwendungsfälle in Hinblick auf das Wind-to-Vehicle-Konzept ausgewertet.

Zudem werden die Daten im Hinblick auf die Alltagstauglichkeit und Nutzerakzeptanz ausgewertet.

3.3.5.2 Vorgehen / Methodik

Vorgehen

Für die Auswertung bzw. Analyse der Daten wurden verschiedener Systeme genutzt:

- Um das Ladeverhalten der Nutzer als Einzelpersonen und als Gruppenmitglied innerhalb des Anwendungsfalls zu analysieren, wurden die Ladedaten der Auto-

strom-Boxen und der Autostrom-Stationen im ersten Schritt in einer Excel-Tabelle zusammengeführt. Im zweiten Schritt wurden zweckmäßige und interessante Auswertungen festgelegt. Dazu wurden die Ergebnisse der Befragungen der TU Chemnitz, Nutzerrückmeldungen während der Feldphase und die Ergebnisse aus dem Projekt MINI E Berlin sowie ähnlicher Forschungsprojekte herangezogen. Abschließend wurden die Auswertungen programmiert, in Grafiken dargestellt, analysiert und interpretiert.

- Die Analyse der Daten zum Korrelationskoeffizienten aus Ladelast und Windeinspeisung je Nutzergruppe fand bei der TU Ilmenau statt. Dazu wurde das aus dem Projekt MINI E Berlin vorhandene System genutzt. Die Daten wurden dann von der TU Ilmenau ausgewertet und in einem seriellen Verfahren zusammen mit Vattenfall interpretiert.

Korrelationskoeffizient als zentrales Maß

Als Kenngröße der Wirksamkeit des Gesteuerten Ladens wurde im Vorläuferprojekt MINI E Berlin ein Korrelationskoeffizient mit den Eingangsgrößen Windeinspeisung und kumulierte Ladeleistung verwendet. Dieser Koeffizient kann im Wertebereich von -1 bis +1 liegen. Ein Wert von -1 bedeutet, dass ein Ladevorgang dann stattfindet, wenn die Windeinspeisung besonders niedrig ist. Ein Wert von +1 bedeutet, dass der Ladevorgang zu Zeiten der höchsten Windeinspeisung stattfindet.

Relevante Faktoren für einen hohen Korrelationskoeffizienten und damit eine hohe Leistungsfähigkeit des Gesteuerten Ladens sind:

- die Einhaltung der eingestellten Abfahrzeit durch die Nutzer,
- die mittlere Verfügbarkeit des Fahrzeugs an der Ladeinfrastruktur,
- die während der Ladung aufgenommene Energie sowie
- die Windeinspeisung während des Versuchszeitraumes.

Auswertungszeitraum

Der Auswertungszeitraum zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten wurde auf die Monate Juni bis August 2011 beschränkt. Dies wurde nötig, da die Akquisition der Ge-

werbekunden und damit die Installation der Autostromboxen erst zum Juni 2011 abgeschlossen werden konnte.⁶ Als Vergleichsbasis wurden Werte des Projekts MINI E Berlin – ebenfalls für die Sommermonate Juni bis August 2010 – herangezogen. Damit wird die saisonal unterschiedlich starke Ausprägung der Windeinspeisung im Vergleich zwischen den Jahren minimiert.

3.3.5.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Hauptergebnisse

Eine hohe Verfügbarkeit der Fahrzeuge durch lange Standzeiten bei relativ geringer Lademenge bildet die Grundlage für eine gute Eignung für das Gesteuerte Laden. Dies trifft insbesondere auf die Gruppe der Carsharing-Nutzer zu, was sich in der höchsten Korrelation aus Windeinspeisung und Ladelast widerspiegelt. Auch die Fuhrparkfahrzeuge weisen eine höhere Korrelation als die Privatnutzer in MINI E 2.0 und im ersten MINI E Projekt auf. Dies lässt sich ebenfalls durch eine gute Verfügbarkeit der einzelnen Fahrzeuge erklären. Die Korrelation der Heimplader in diesem Projekt ist etwas geringer, aber grundsätzlich sind die Voraussetzungen des Gesteuerten Ladens auch für diese Nutzergruppe gegeben.

Weniger attraktiv für das Gesteuerte Laden ist dagegen die Gruppe der Laternenparker. Da bei der öffentlichen Ladeinfrastruktur in diesem Projekt keine gesteuerten Ladevorgänge vorgenommen wurden, konnte für diese Gruppe keine Korrelation ermittelt werden. Dennoch wurde die grundsätzliche Eignung analysiert. Tendenziell geringere Anschlussdauern sowie eine hohe Streuung der Lademenge und der Anschlussdauer erschweren einen Einsatz der Fahrzeuge für das Gesteuerte Laden. Zudem steht die Notwendigkeit einer langen Anschlussdauer einer hohen Effizienz des öffentlichen Ladestands entgegen.

Gesamtbetrachtung

Abgesehen vom September, in dem die Rückgabe der Fahrzeuge erfolgt ist, war während der Projektlaufzeit von März bis September ein durchgehender Anstieg der Energiemenge in kWh sowie der Anzahl der Anschlussvorgänge zu beobachten. Mit ca. 9.600 kWh von insgesamt ca. 33.000 kWh ist knapp ein Drittel der Energie über öffentli-

⁶ Vergleiche hierzu Abbildung 14 und Abbildung 17

che Ladeinfrastruktur abgegeben worden. Hier enthalten ist eine korrigierte Energiemenge sowie Anzahl an Ladevorgängen für den Zeitraum des Ladesäulenausfalls. Der Anteil der öffentlichen Ladung ist im Projektverlauf von ca. 15% im April auf 35% im August und sogar nahezu 60% im September gestiegen. Die parallele Anzahl der Ladevorgänge weist auf einen relativ konstanten durchschnittlichen Stromabsatz je Ladevorgang hin. Dieser lag im Projektverlauf mit 12,0 kWh auf einem recht hohen Wert (vergleiche Abbildung 26).

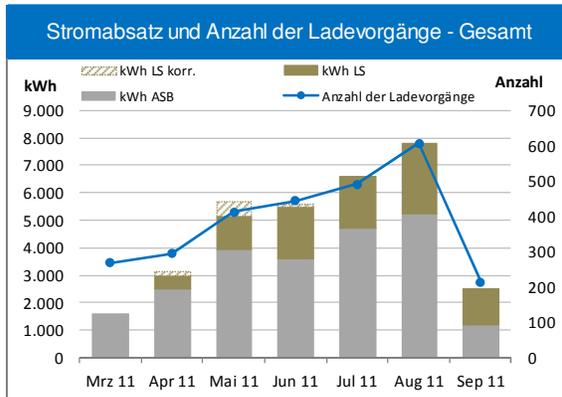


Abbildung 26 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge

Betrachtung aus Nutzersicht – Gesamtbetrachtung

Bei der Betrachtung des Stromabsatzes jeder Nutzergruppe zeigt sich, dass die Gruppen der Heimplader und der Laternenparker mit jeweils 9.000 bis gut 10.000 kWh einen ähnlich hohen Stromverbrauch während des Projekts aufwiesen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Gruppe der Laternenparker mit 20 Nutzern gegenüber den 10 Heimpladern doppelt so groß gewesen ist. Also wiesen die Heimplader im Durchschnitt einen mehr als doppelt so hohen Stromverbrauch auf und damit eine mehr als doppelt so hohe Fahrleistung wie die Laternenparker (vergleiche Abbildung 27).

Ein Grund für die geringere Nutzung der Fahrzeuge durch die Laternenparker könnte in der beabsichtigten multimodalen Verkehrskette dieser Nutzergruppe liegen. Die Laternenparker wurden über einen Mobilitätsassistenten und mit einem speziellen ÖPNV-Ticket angeregt, neben dem MINI E auch öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen.

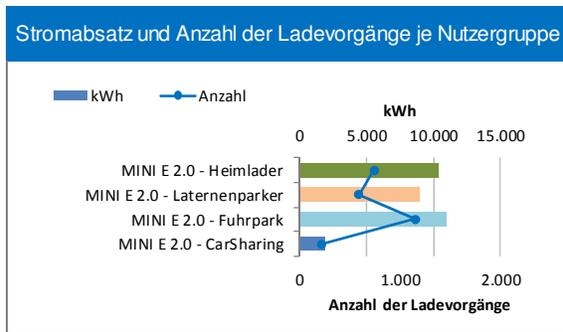


Abbildung 27 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge je Nutzergruppe

Wird die durchschnittliche Lademenge je Vorgang herangezogen, zeigt sich, dass die Gruppen der Privatnutzer (Heimplader & Laternenparker) mit jeweils über 14 kWh den höchsten Wert aufweisen. Diese weisen zudem eine geringere Streuung als die Gruppe der Firmenkunden aus (vergleiche Variationskoeffizient in Abbildung 28). Bei der Anschlussdauer unterscheiden sich die Heimplader und Laternenparker allerdings signifikant voneinander. Während die Heimplader ihre Fahrzeuge im Durchschnitt über 10 Stunden angeschlossen hatten, kamen die Laternenparker auf weniger als 6 Stunden. Heimplader weisen außerdem die geringste Streuung, Laternenparker die größte Streuung von allen Gruppen bei der Anschlussdauer auf.

Lademenge [kWh]	Summe	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Variationskoeffizient
MINI E 2.0 - Heimplader	10.408,6	14,0	14,3	8,9	0,6
MINI E 2.0 - Laternenparker	8.981,2	15,3	16,2	9,6	0,6
MINI E 2.0 - Fuhrpark	10.934,9	9,5	7,5	8,8	0,9
MINI E 2.0 - CarSharing	1.930,0	8,7	5,5	9,5	1,1

Anschlussdauer [h]	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Variationskoeffizient
MINI E 2.0 - Heimplader	10:16	10:15	06:39	0,6
MINI E 2.0 - Laternenparker	05:55	03:53	06:33	1,1
MINI E 2.0 - Fuhrpark	09:07	05:30	09:24	1,0
MINI E 2.0 - CarSharing	13:49	09:30	13:16	1,0

Abbildung 28: Statistische Kennzahlen zur Anschlussdauer und Lademenge je Nutzergruppe

Als Kenngröße der Wirksamkeit des Gesteuerten Ladens wurde wie im Vorläuferprojekt MINI E Berlin ein Korrelationskoeffizient mit den Eingangsgrößen Windeinspeisung und kumulierte Ladeleistung verwendet. Dieser Koeffizient kann im Wertebereich von -1 bis +1 liegen. Ein Wert von -1 bedeutet, dass ein Ladevorgang dann stattfindet, wenn die Windeinspeisung besonders niedrig ist. Ein Wert von +1 bedeutet, dass der Ladevorgang zu Zeiten der höchsten Windeinspeisung stattfindet.

Relevante Faktoren für einen hohen Korrelationskoeffizienten und damit eine hohe Leistungsfähigkeit des Gesteuerten Ladens sind:

- die Einhaltung der eingestellten Abfahrzeit durch die Nutzer,
- die mittlere Verfügbarkeit des Fahrzeugs an der Ladeinfrastruktur,
- die während der Ladung aufgenommene Energie sowie
- die Windeinspeisung während des Versuchszeitraumes.

Auswertungszeitraum

Der Auswertungszeitraum zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten wurde auf die Monate Juni bis August 2011 beschränkt. Dies wurde nötig, da die Akquisition der Gewerbekunden und damit die Installation der Autostromboxen erst zum Juni 2011 abgeschlossen werden konnte.⁷ Als Vergleichsbasis wurden Werte des Projekts MINI E Berlin – ebenfalls für die Sommermonate Juni bis August 2010 – herangezogen. Damit wird die saisonal unterschiedlich starke Ausprägung der Windeinspeisung im Vergleich zwischen den Jahren minimiert.

Ergebnisübersicht über alle Gruppen

In Abbildung 29 ist die relative Summenhäufigkeit des erreichten täglichen Korrelationskoeffizienten aus Windeinspeisung und Ladeleistung dargestellt. Unterschieden wird dabei in fünf Kennlinien:

1. Vergleichskennlinie aller Autostrom-Boxen der Feldphase MINI E Berlin im Betrachtungszeitraum Juni – August 2010 (50 Fahrzeuge)
2. Gesamtkennlinie aller Autostrom-Boxen der Feldphase MINI E 2.0 im Betrachtungszeitraum Juni – August 2011 (46 Fahrzeuge)
3. Kennlinie des Anwendungsfalls Carsharing (10 Fahrzeuge)
4. Kennlinie des Anwendungsfalls Fuhrpark (28 Fahrzeuge)
5. Kennlinie des Anwendungsfalls Heimplader (10 Fahrzeuge)

Dargestellt ist, wie oft (kumulierte relative Häufigkeit) ein bestimmter Wert für den Korrelationskoeffizienten mindestens erreicht wurde.

⁷ Vergleiche hierzu Abbildung 14 und Abbildung 17

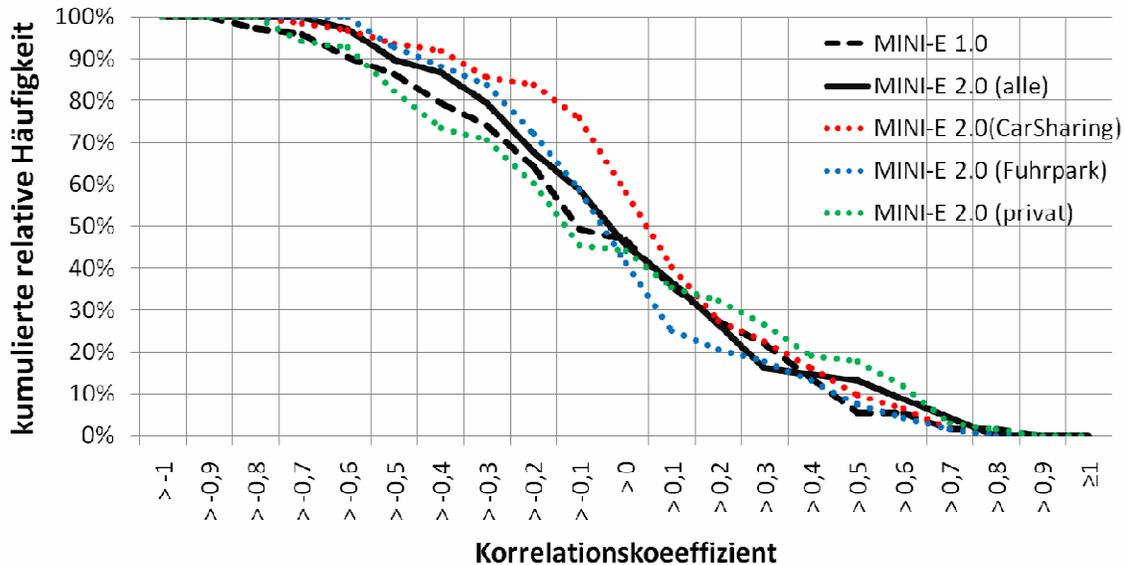


Abbildung 29 Kumulierte relative Häufigkeit des Korrelationskoeffizienten

Aus den Daten geht hervor, dass im Vergleich zu MINI E Berlin das Gesteuerte Laden im MINI E 2.0 insgesamt effektiver funktionierte. Für MINI E Berlin konnte eine Korrelation größer 0,5 für ca. 5% der Tage erreicht werden. Für MINI E 2.0 ergab sich dies zu 13% der Tage für alle Nutzergruppen, zu 10% der Tage für die Carsharing-Gruppe, zu 7% der Tage für die Fuhrpark-Gruppe und zu 18% der Tage für die Heimplader-Gruppe. Korrelationskoeffizienten größer 0,9 wurden nicht erreicht.

Der absolute Mittelwert der täglichen Korrelation konnte in MINI E 2.0 von -0,06 auf -0,01 gesteigert werden. Differenziert nach Gruppen ergibt sich die deutlichste Steigerung im Carsharing-Anwendungsfeld mit einem durchschnittlichen Korrelationskoeffizienten von 0,06.

Der Einflussfaktor ‚Abweichung von der voreingestellten Abfahrzeit‘ ist dabei insgesamt nicht entscheidend. Im Mittelwert sind die Abweichungen in MINI E Berlin und MINI E 2.0 annähernd gleich und betragen 5,6 Stunden zu 5,4 Stunden. Auch die mittlere Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz unterscheidet sich zwischen MINI E Berlin und MINI E 2.0 nur geringfügig.

Einen Überblick über alle Werte verschafft Abbildung 30.

	MINI E V2.0				MINI E Berlin
	Carsharing	Fuhrpark	Privat, P&R	alle	alle (*)
Mittelwert der täglichen Korrelation	0,06	-0,02	-0,04	-0,01	-0,06
mittlere Abweichung der Plug-Off-Zeit zur eingestellten Abfahrzeit [h]	9,1	5,1	5	5,6	5,4
mittlere Verfügbarkeit	40,14%	23,23%	22,65%	26,78%	25,52%
bezogene Ladeenergie [MWh]	1,6	7,4	5,3	14,3	18,7
Windeinspeisung [TWh]		2,5			2

Abbildung 30 Vergleich der Anwendungsfelder in Bezug auf die Wind2Vehicle-Ergebnisse

In Anbetracht der absoluten Vergleichswerte zwischen MINI E Berlin und MINI E 2.0 kann der geringfügig gesteigerte Korrelationskoeffizient hauptsächlich auf ein insgesamt höheres Angebot an Windeinspeisung in MINI E 2.0 und einen geringen Bedarf der Fahrzeuge zurückgeführt werden. Dem Ladesteuerungs-Algorithmus bleibt somit mehr freie Zeit zur Optimierung der Ladevorgänge. Offen bleibt ob die Aktivierung des gesteuerten Ladens für sechs Autostrom-Boxen die Korrelation weiter gesteigert hätte.

Betrachtung aus Nutzersicht – Je Nutzergruppe

Ergebnisse der Heimplader-Gruppe

Bezogen auf die Korrelation lässt sich feststellen, dass die Gesamtgruppe aus MINI E Berlin und die Heimpladegruppe aus MINI E 2.0 eine sehr ähnliche Kennlinie aufweisen. Dies erscheint nur logisch, da die Versuchsgruppe in MINI E Berlin zum großen Teil aus privaten Nutzern bestand. Die einzige Auffälligkeit dieser Nutzergruppe im Vergleich zu den Daten aus MINI E Berlin ist eine leicht erhöhte bezogene Energiemenge pro Nutzer. Auch die mittlere Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz weist Ähnlichkeiten zu Heimpladern auf.

In der Kernprojektlaufzeit von April bis einschließlich August zeigte sich eine recht konstante Nutzung der Fahrzeuge in Bezug auf den Stromabsatz. Im März und September wurde eine deutliche geringere Nutzung festgestellt, da in diesen Monaten die Fahrzeuge ausgegeben bzw. wieder zurückgegeben wurden. Der weitaus größte Anteil der Energiemenge wurde über die privaten Autostromboxen geladen. Erst im Juni haben die Heimplader überhaupt erstmals die öffentliche Ladeinfrastruktur für Ladevorgänge genutzt. Der Anteil der öffentlichen Ladung betrug allerdings auch von Juni bis August lediglich max. 7% der Stromabgabe.

Die durchschnittlich geladene Energiemenge je Ladevorgang hat im Juni mit knapp 18 kWh ihr Maximum und damit einen vergleichsweise sehr hohen Wert erreicht.

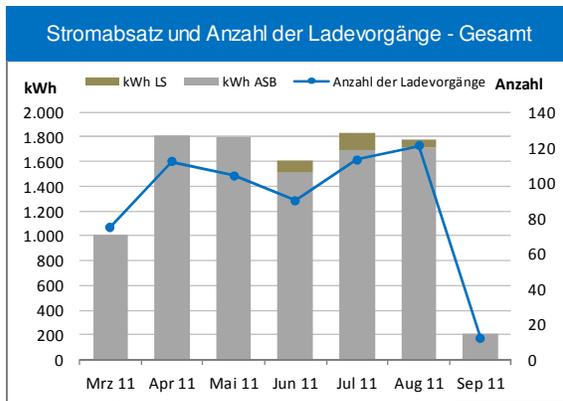


Abbildung 31 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge – Heimplader

Lediglich zwei der Heimplader haben im Projektverlauf die Möglichkeit genutzt, an öffentlichen Ladestationen zu laden. Ein Nutzer hat dabei auf drei unterschiedliche Stationen zurückgegriffen, der andere hat eine Station verwendet (vergleiche **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

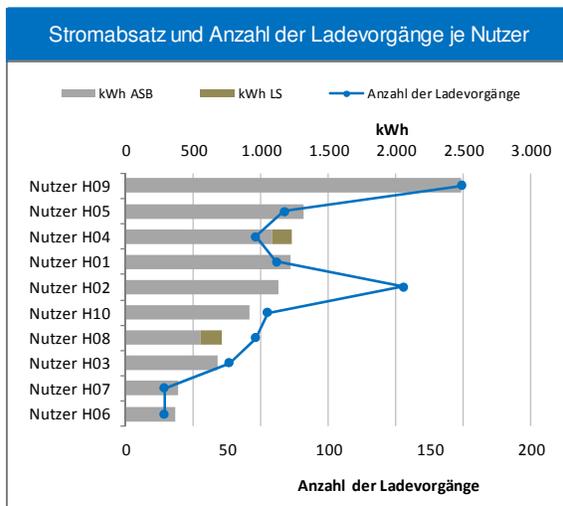


Abbildung 32 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge je Nutzer – Heimplader

Das Anschlussverhalten der Heimplader ist bezogen auf die Häufigkeit der Anschlussvorgänge sehr unterschiedlich. Während zwei Nutzer ihr Fahrzeug im Durchschnitt jeden Tag angeschlossen haben, hat die Mehrzahl der Nutzer ihr Fahrzeug höchstens alle zwei teilweise sogar nur alle sechs bis acht Tage angeschlossen. Die durchschnittliche Anschlussdauer der Nutzer liegt bei allen Nutzern bei mindestens 8 Stunden (vergleiche **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

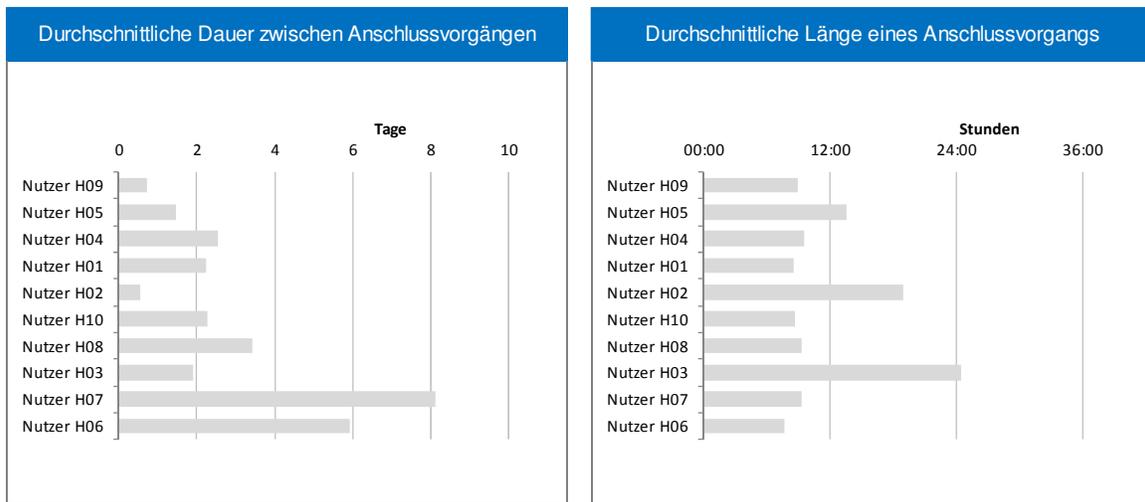


Abbildung 33 Durchschnittliche Dauer zwischen und Länge von Anschlussvorgängen – Heimplader

Um die Elektrofahrzeuge für das Gesteuerte Laden heranziehen zu können, ist insbesondere das Anschlussverhalten der Nutzer von Bedeutung. Im Projekt wurde zudem die gleichzeitige Verfügbarkeit von Fahrzeugen untersucht. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** veranschaulicht die gleichzeitig angeschlossenen Fahrzeuge nach Uhrzeit sowie Wochentag. Bezogen auf die Grundgesamtheit der Nutzergruppe zeigt sich, dass ab 8 Uhr abends ein Nutzeranstieg auf durchschnittlich ca. 25% zu sehen ist. Dieser Wert wird im Tagesverlauf bis ca. 8 Uhr morgens gehalten. Maximal waren 60% der Nutzer gleichzeitig angeschlossen, aber im Minimum gab es zu jeder Tageszeit den Fall, dass kein einziges Fahrzeug angeschlossen war.

Bezogen auf das Anschlussverhalten im Wochenverlauf zeigt sich eine starke Regelmäßigkeit von Montag bis Freitag und eine etwas geringere Streuung der verfügbaren Fahrzeuge am Wochenende.

Um eine gesicherte Mindestverfügbarkeit der Fahrzeuge zu gewährleisten, sollten die Nutzer dazu angeregt werden, ihre Fahrzeuge unabhängig vom Energiebedarf nachts anzuschließen.

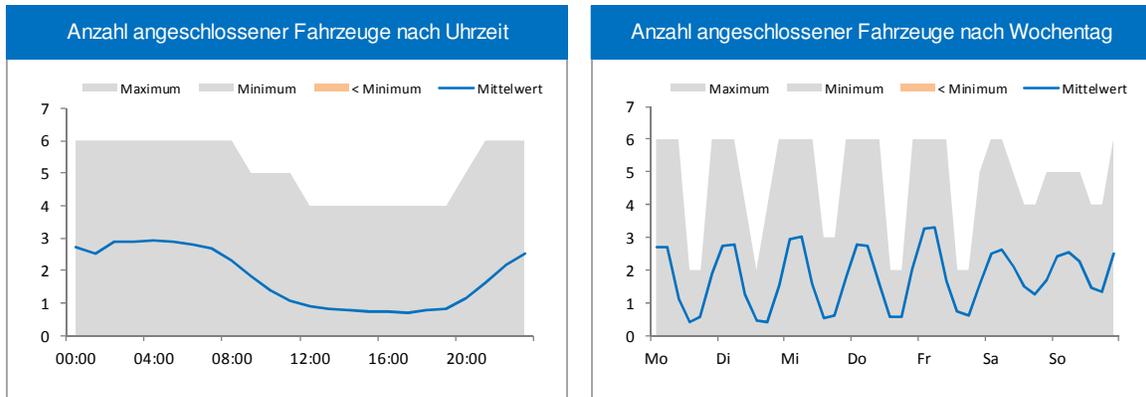


Abbildung 34 Anzahl angeschlossener Fahrzeuge nach Uhrzeit und Wochentag – Heimlader

Die Betrachtung der Fahrzeuganschlüsse bzw. Plug-ins bestätigt die tendenziell nächtliche Verfügbarkeit der Fahrzeuge. Während tagsüber nur vereinzelt Fahrzeuge angeschlossen wurden, war ab 17 Uhr ein deutlicher Anstieg der Anschlüsse zu beobachten. Zwischen 17 Uhr und 24 Uhr wurden nahezu 80% der Fahrzeuganschlüsse vorgenommen.

Im Wochenverlauf waren von Montag bis Donnerstag ca. 15 bis 25% mehr Anschlüsse zu sehen als von Freitag bis Sonntag. Dennoch wurden auch am Wochenende die Fahrzeuge sehr regelmäßig angeschlossen (vergleiche **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

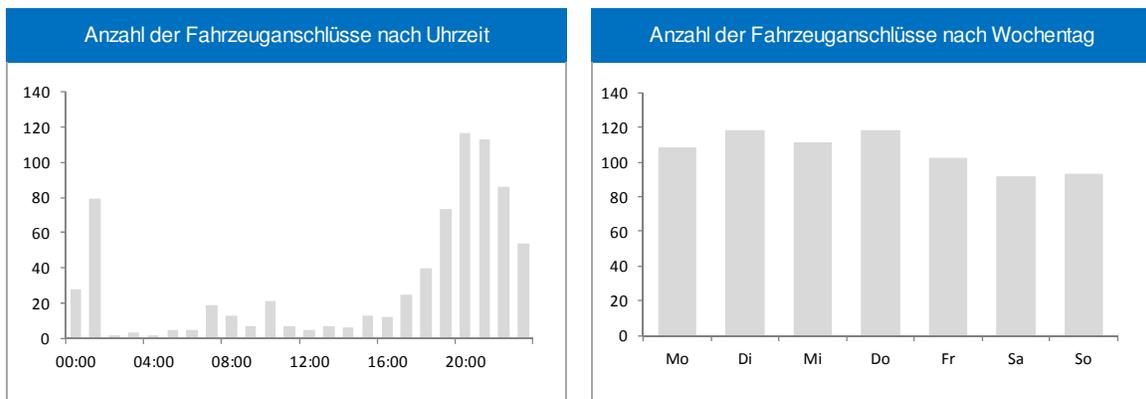


Abbildung 35 Anzahl der Fahrzeuganschlüsse nach Uhrzeit und Wochentag – Heimlader

Neben den Anschlusszeiten ist vor allem die Dauer der Anschlussvorgänge und damit das Potenzial, den Ladevorgang innerhalb des Anschlussvorgangs zu steuern, von Bedeutung. Bei den Heimpladern hat sich gezeigt, dass lediglich 30% der Ladevorgänge kürzer waren als 9 Stunden. Über die Hälfte der Anschlussvorgänge haben zwischen 10 und 16 Stunden gedauert (vergleiche **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). In der Regel haben die Nutzer also ihr Fahrzeug abends angeschlossen und über Nacht angeschlossen gelassen.

Die geladene Energiemenge zeigt deutlich, dass die Nutzer ihr Elektrofahrzeug selten frühzeitig zum Laden angeschlossen haben. In nicht einmal einem Fünftel aller Ladevorgänge wurden weniger als 10 kWh geladen. Der Großteil der Ladevorgänge wurde also erst gestartet, wenn die Fahrzeugbatterie zu einem gewissen Teil entleert wurde (vergleiche **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

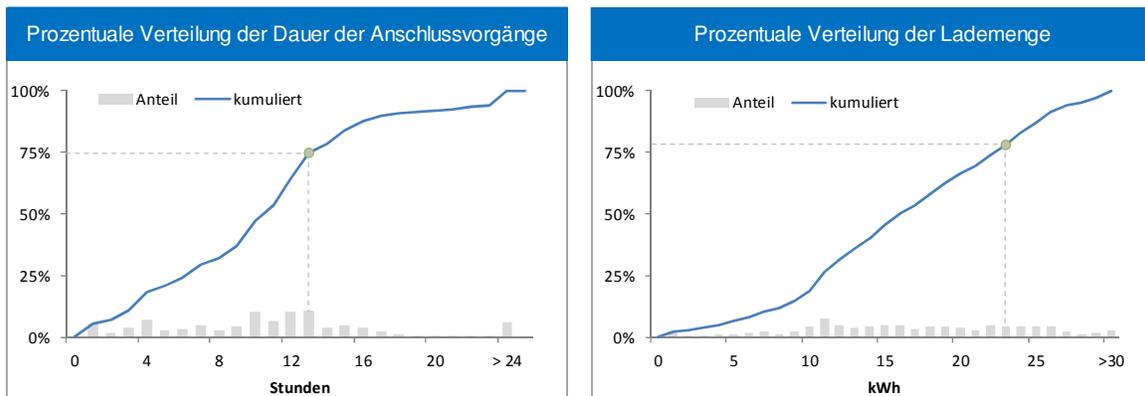


Abbildung 36 Dauer der Anschlussvorgänge und Lademenge – Heimplader

Es lässt sich bei der Gruppe der Heimplader festhalten, dass deren Elektrofahrzeuge insbesondere in der Nacht mit mehr als 10 Stunden ausreichend lange zur Verfügung stehen. Die höhere Energieaufnahme je Ladevorgang lässt sich auf einen Zeitraum von mehreren Tagen zwischen zwei Ladevorgängen zurückführen. Ließen sich die Nutzer dazu anregen, ihr Anschlussverhalten dahingehend zu ändern, dass die Fahrzeuge auch angeschlossen werden, wenn nicht zwingend geladen werden muss, bietet diese Gruppe gute Voraussetzungen für gesteuerte Ladevorgänge

Ergebnisse der Fuhrpark-Gruppe

Mit 28 Fahrzeugen stellen die Fuhrpark-Nutzer die größte Gruppe. Der Mittelwert der täglichen Korrelation ist in dieser Gruppe besser als bei den Heimpladern und im Vergleich zu MINI E Berlin, aber schlechter als in der Carsharing-Gruppe. Die Werte zur

Abweichung der tatsächlichen von der im Nutzerportal eingestellten Absteckzeit sind durchaus mit der der Heimplader-Gruppe vergleichbar.

Die Gruppe der Fuhrparknutzer haben nahezu ausschließlich über die privat installierten Autostromboxen geladen. In der Kernprojektlaufzeit von Mai bis August war ein recht konstanter Stromabsatz von 2.000 bis 2.500 kWh bei ca. 200 Ladevorgängen festzustellen (vergleiche **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

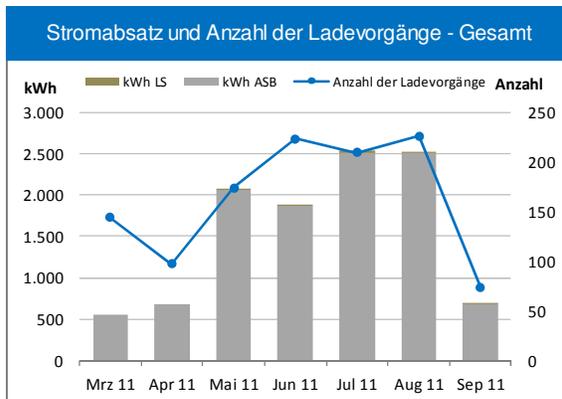


Abbildung 37 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge – Fuhrpark

Einzelne Nutzern haben dabei mit knapp 2.000 kWh sehr viel geladen, andere mit weniger als 250 kWh wiederum sehr wenig (vergleiche **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

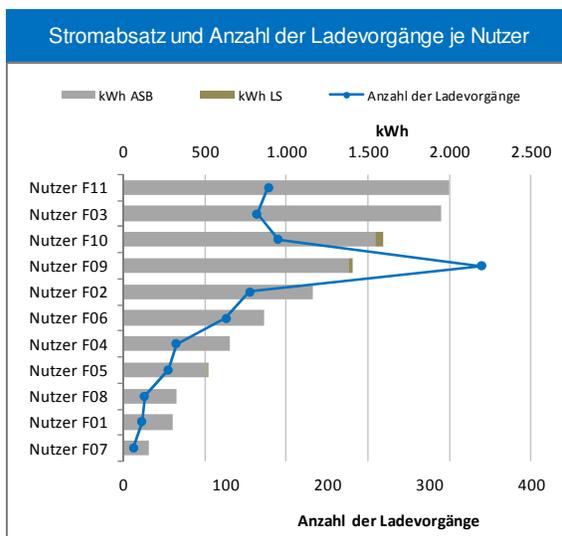


Abbildung 38 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge je Nutzer – Fuhrpark

Das Profil angeschlossener Fahrzeuge zeigt eine schöne Regelmäßigkeit. Im Durchschnitt waren zu jeder Tageszeit vier Fahrzeuge bzw. ca. 15% der verfügbaren Fahrzeuge angeschlossen. Im Maximum waren mit 18 Fahrzeugen über 60% gleichzeitig angeschlossen. Auch am Wochenende zeigt sich ein regelmäßiges Anschlussprofil mit weniger Ausschlägen nach oben (vergleiche **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

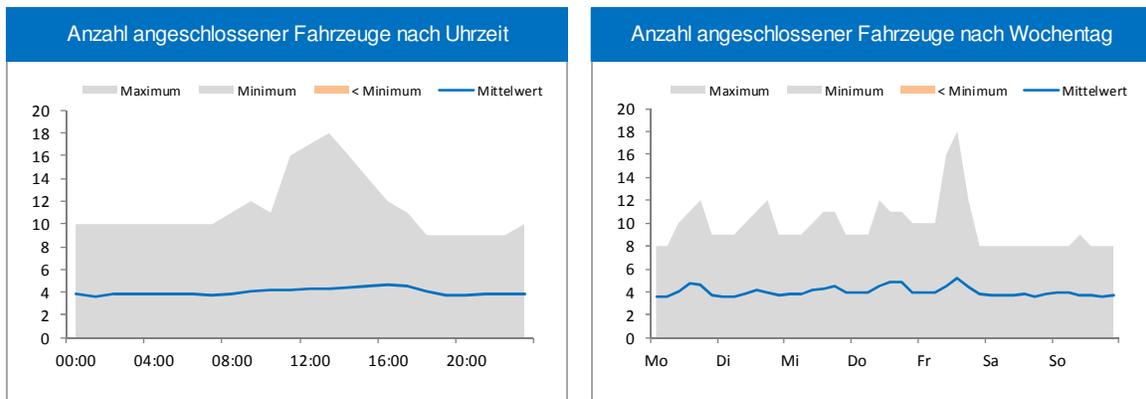


Abbildung 39 Anzahl angeschlossener Fahrzeuge nach Uhrzeit und Wochentag – Fuhrpark

Die Anschlüsse der Fahrzeuge wurden im Gegensatz zu den Privatnutzern mit Heimlademöglichkeit eher tagsüber vorgenommen. Die Anschlüsse am Wochenende sind auf einzelne Firmenkunden zurückzuführen, deren Fahrzeuge auch am Wochenende genutzt werden.

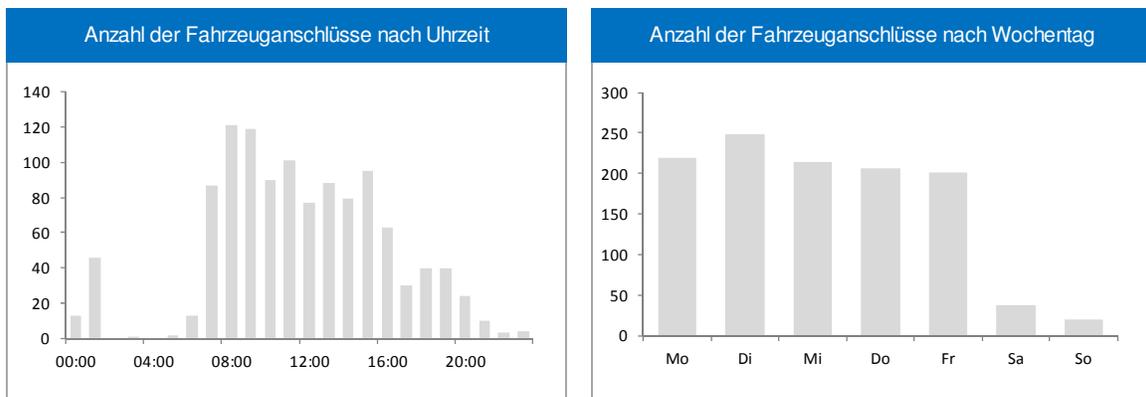


Abbildung 40 Anzahl der Fahrzeuganschlüsse nach Uhrzeit und Wochentag – Fuhrpark

60% der Anschlussvorgänge haben kürzer als 10 Stunden gedauert, aber nahezu 20% haben auch länger als einen Tag gedauert. Die Lademenge ist nahezu gleichmäßig über

die Anschlussvorgänge verteilt (vergleiche **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

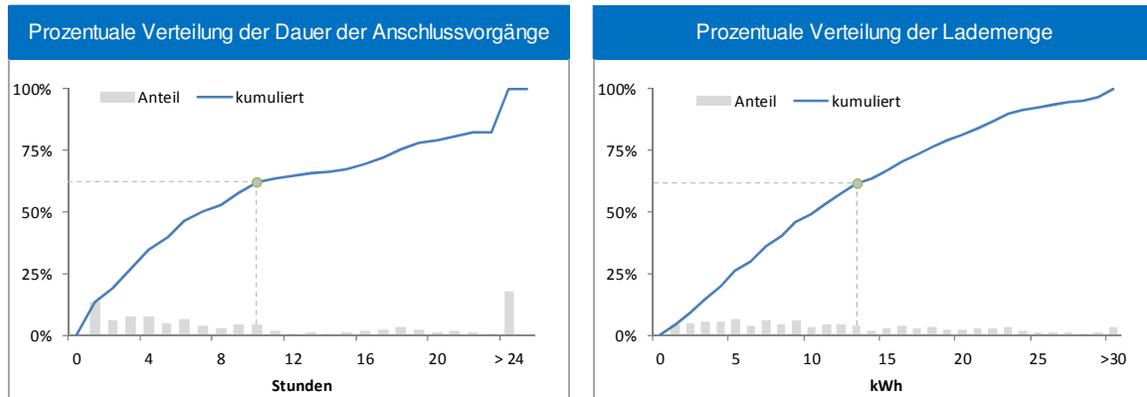


Abbildung 41 Dauer der Anschlussvorgänge und Lademenge – Fuhrpark

Die Gruppe der Fuhrparknutzer bringt aufgrund der guten Planbarkeit des Fahrzeugeinsatzes gute Voraussetzungen mit für einen Einsatz für das Gesteuerte Laden. Insbesondere führt der unterschiedliche Einsatzzweck der Fahrzeuge zu einem gleichmäßigen Anschlussverhalten der Fahrzeuge. Allerdings zeigt sich im Projektverlauf, dass auch hier Anreize für eine erhöhte Anschlusshäufigkeit der Fahrzeuge geschaffen werden müssen.

Die verhältnismäßig geringe Nutzung der Fahrzeuge ist in diesem Projekt allerdings teilweise auf den verwendeten Fahrzeugtyp zurückzuführen. Während in Fuhrparks verstärkt Kombis mit mindestens vier Sitzen und entsprechender Ladekapazität eingesetzt werden, schränkt der MINI E die mögliche Nutzung des Fahrzeugs potenziell ein. Mit lediglich zwei Sitzen, begrenzter Reichweite und kleinem Kofferraum eignet sich der MINI E nicht für alle Fahrten. Dadurch lässt sich das Nutzungsverhalten im Projekt nur bedingt auf die generelle Eignung von Fuhrparkfahrzeugen für das Gesteuerte Laden übertragen.

Ergebnisse der Carsharing-Gruppe

Die Carsharing-Gruppe zeichnet sich durch die deutlichsten Unterschiede gegenüber MINI E Berlin aus. So ist die Häufigkeit von hohen Korrelationswerten deutlich ausgeprägter als in MINI E Berlin oder in anderen Gruppen. Auffällig ist auch die Abweichung der tatsächlichen von der im Nutzerportal eingestellten Absteckzeit. Diese beträgt im Mittel außergewöhnlich hohe 9,1 Stunden. Dies lässt darauf schließen, dass die über ein Webportal implementierte Funktion durch den Nutzer/Verwalter keine Anwendung fand

und die Standardzeit im Steuerungssystem verwendet wurde. Bei den Ergebnissen muss allerdings beachtet werden, dass die Fahrzeuge der Carsharing-Gruppe vergleichsweise wenig Energie aufnehmen. Pro Fahrzeug betrachtet ist die Energiemenge von heimladenden Privatnutzern 3,3-mal höher als die von Carsharing-Nutzern.

Die Carsharing-Fahrzeuge wurden von allen Nutzergruppen am wenigsten genutzt. Dies ist insbesondere auf einen späteren Fahrzeugeinsatz im Vergleich zu den anderen Nutzergruppen zurückzuführen. Öffentliche Ladestationen haben knapp 20% des gesamten Stromabsatzes von den Carsharing-Nutzern ausgemacht.

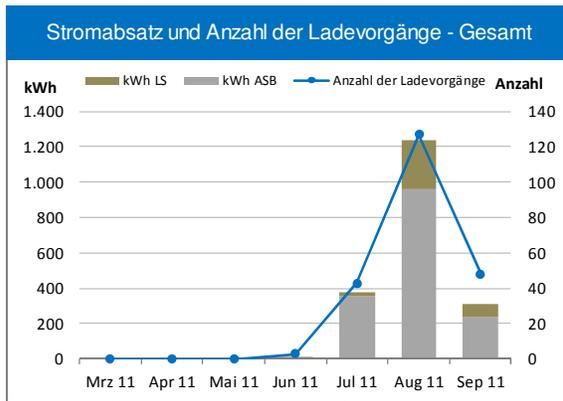


Abbildung 42 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge – Carsharing

Für die Betrachtung der durchschnittlich angeschlossenen Fahrzeuge wurde deshalb der relevante Zeitraum auf Juli bis September eingeschränkt. In diesem Zeitraum waren über den Tag verteilt im Mittelwert mehr als 30% und im Maximum 90% der zehn Fahrzeuge angeschossen. Das Anschlussverhalten scheint nahezu unabhängig von den Wochentagen zu sein.

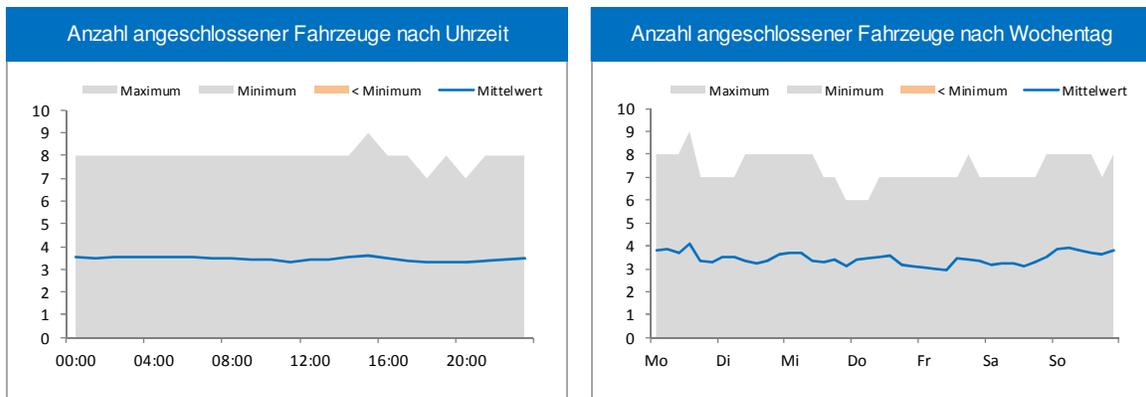


Abbildung 43 Anzahl angeschlossener Fahrzeuge nach Uhrzeit und Wochentag – Carsharing

Die Ladevorgänge wurden in über 95% der Fälle zwischen 8 Uhr morgens und 24 Uhr gestartet. Insbesondere am Sonntag wurden trotz gleichbleibender Anzahl an angeschlossenen Fahrzeugen wenige Anschlussvorgänge gestartet. Das deutet darauf hin, dass einige Anschlussvorgänge am Freitag oder Samstag gestartet wurden und über das Wochenende angedauert haben.

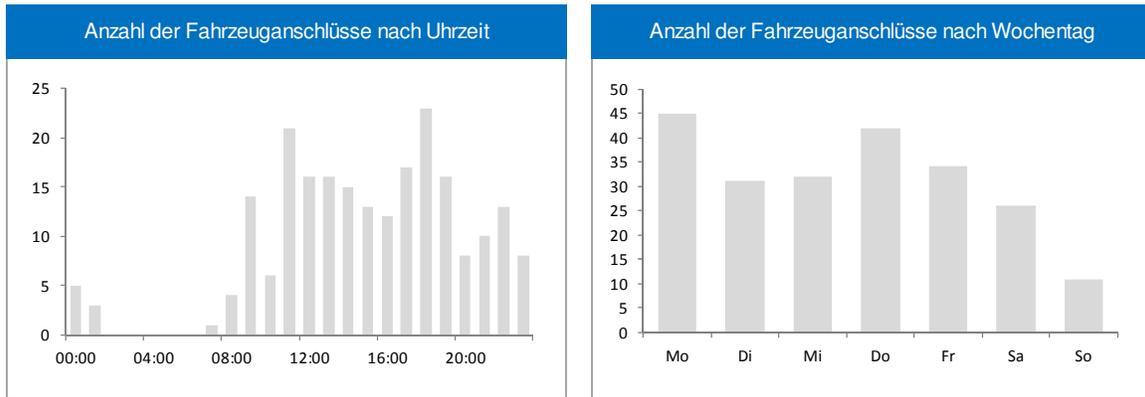


Abbildung 44 Anzahl der Fahrzeuganschlüsse nach Uhrzeit und Wochentag – CarSharing

Die überdurchschnittlich hohe Dauer der Anschlussvorgänge bestätigt sich in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Nahezu 40% aller Vorgänge haben mindestens 24 Stunden gedauert. Dabei wurde allerdings eher weniger Energie geladen als in den Vergleichsgruppen.

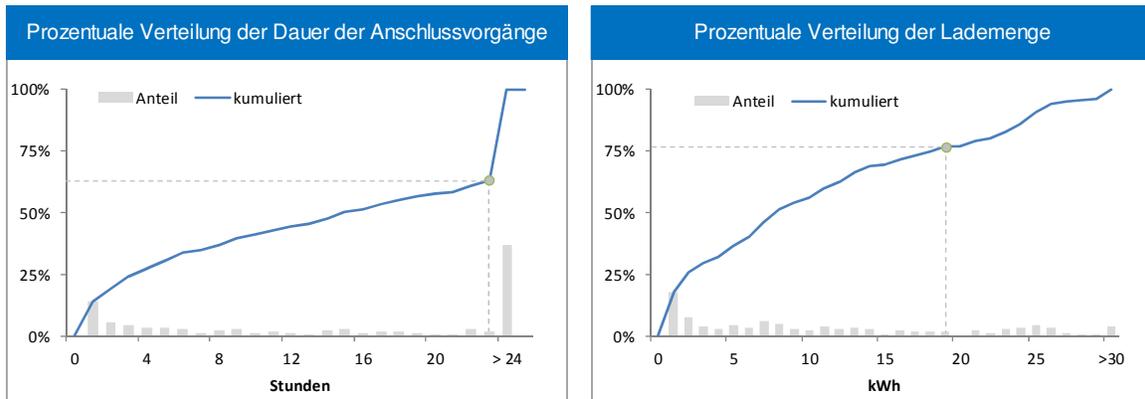


Abbildung 45 Dauer der Anschlussvorgänge und Lademenge – Carsharing

Ergebnisse der Laternenparker

Bei der Nutzergruppe der Laternenparker zeigt sich von März bis Mai deutlich die teilweise verspätete Nutzung der Fahrzeuge im Projektverlauf. Von Juni bis August konnte mit 1.800 bis 2.200 kWh Stromabsatz eine recht konstante Energieabgabe verzeichnet

werden. Ein geringer Anteil der geladenen Energie wurde auch in dieser Nutzergruppe durch private Autostromboxen verursacht, da ein gewerblicher Nutzer, der ursprünglich der Fuhrpark-Gruppe zugeordnet war, nur unzureichend auf seine private Ladeinfrastruktur zugreifen konnte und deshalb öffentlich geladen hat. Aufgrund dessen, wurde er der Gruppe der Laternenparkern zugeordnet (vergleiche Abbildung 46).

Die durchschnittlich abgegebene Energiemenge je Ladevorgang lag mit ca. 15,3 kWh um ca. 10% unter der Vergleichsmenge von Heimpladern. Die durchschnittliche Anzahl der Ladevorgänge lag dabei mit knapp 30 Vorgängen je Nutzer um mehr als 50% unter der Anzahl der Heimplader. Bei der doppelten Anzahl der Nutzer erreichen Laternenparker in Summe eine ähnliche Energiemenge wie die Heimparker.

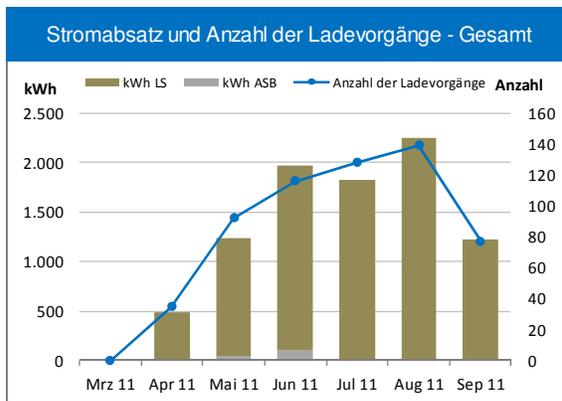


Abbildung 46 Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge – Laternenparker

Während bereits bei den Heimpladern eine Streuung in Bezug auf die Dauer zwischen einzelnen Anschlussvorgängen und deren Dauer zu sehen war, ist diese bei den Laternenparkern deutlich stärker. Die Hälfte der Nutzer haben ihr Fahrzeug höchstens alle 5 Tage angeschlossen. Die durchschnittliche Dauer eines Anschlussvorgangs lag bei vielen Nutzern bei weniger als 6 Stunden. Einige Nutzer mit sehr geringer Nutzung haben ihr Fahrzeug lediglich alle zwei Wochen angeschlossen und es dann für mindestens zwei Tage an der Ladesäule angeschlossen gelassen.

Das sehr heterogene Anschlussprofil der Laternenparker erschwert eine Planbarkeit der Ladevorgänge für das Gesteuerte Laden.

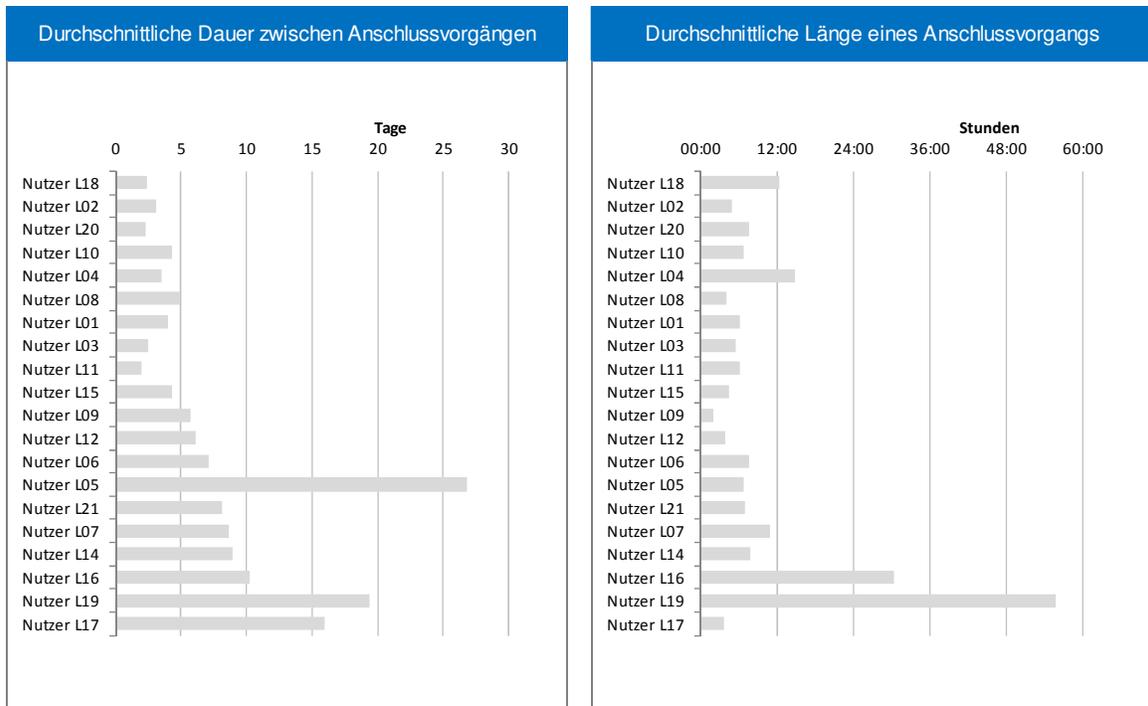


Abbildung 47 Durchschnittliche Dauer zwischen und Länge von Anschlussvorgängen – Laternenparker

Auch am Anschlussverhalten der Laternenparker zeigt sich eine deutlich geringere Verfügbarkeit der Fahrzeuge. Im Durchschnitt war über den Tagesverlauf lediglich ein Fahrzeug angeschlossen, d.h. gleichzeitig angeschlossen waren durchschnittlich lediglich 5% der verfügbaren Fahrzeuge. Auch das Maximum von 8 Fahrzeugen oder 40% lag deutlich unter dem Vergleichswert der Heimplader und wurde selten erreicht (vergleiche Abbildung 48).

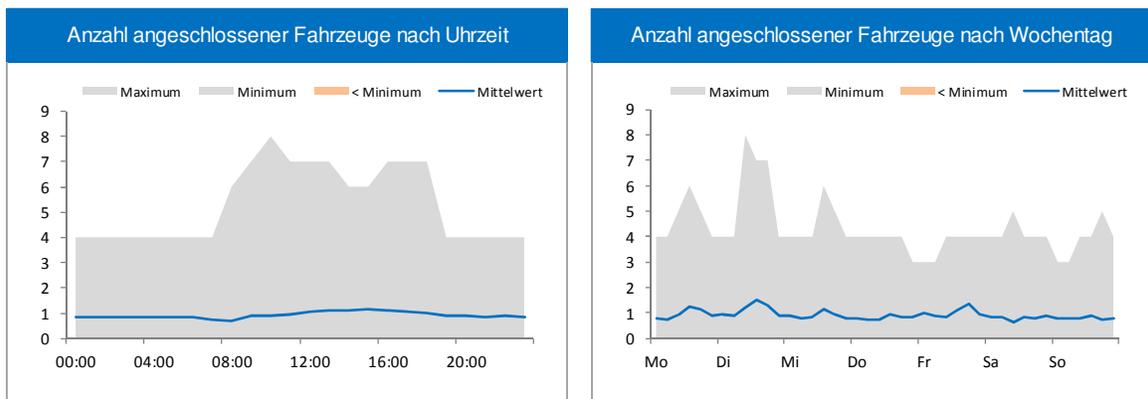


Abbildung 48 Anzahl angeschlossener Fahrzeuge nach Uhrzeit und Wochentag – Laternenparker

Im Gegensatz zu den Heimpladern haben die Laternenparker ihre Fahrzeuge gleichmäßig über den Tag verteilt angeschlossen. Von 7 Uhr morgens bis 23 Uhr abends wurden in jeder Stunde zwischen 4% und 6% der Anschlüsse vorgenommen. Im Wochenverlauf ist lediglich der Sonntag in der Nutzung abgefallen und lag ca. 50% unter dem Durchschnittswert der Woche.

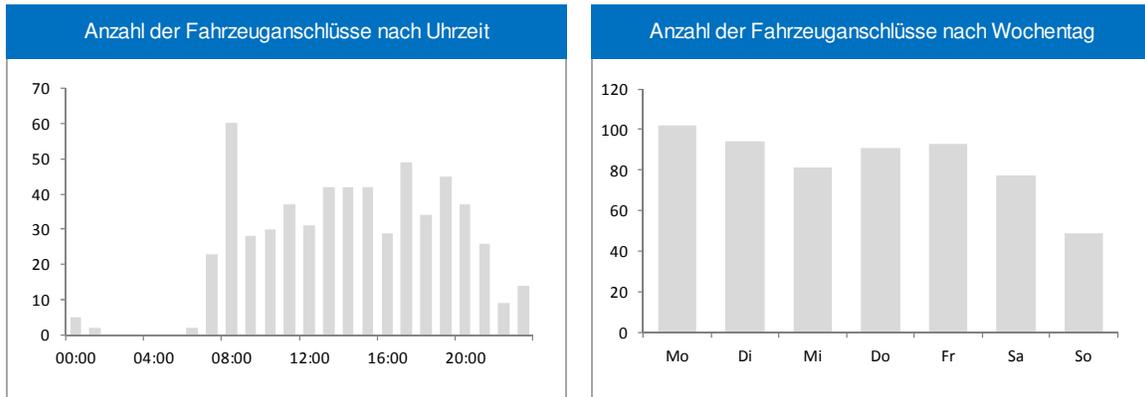


Abbildung 49 Anzahl der Fahrzeuganschlüsse nach Uhrzeit und Wochentag – Laternenparker

Wird die Dauer der Anschlussvorgänge in Abbildung 50 betrachtet, zeigt sich ein durchweg konkaver Funktionsverlauf. Das veranschaulicht einen höheren Anteil bei kurzen Anschlussdauern. Ca. 60% der Anschlussvorgänge haben maximal 6 Stunden gedauert.

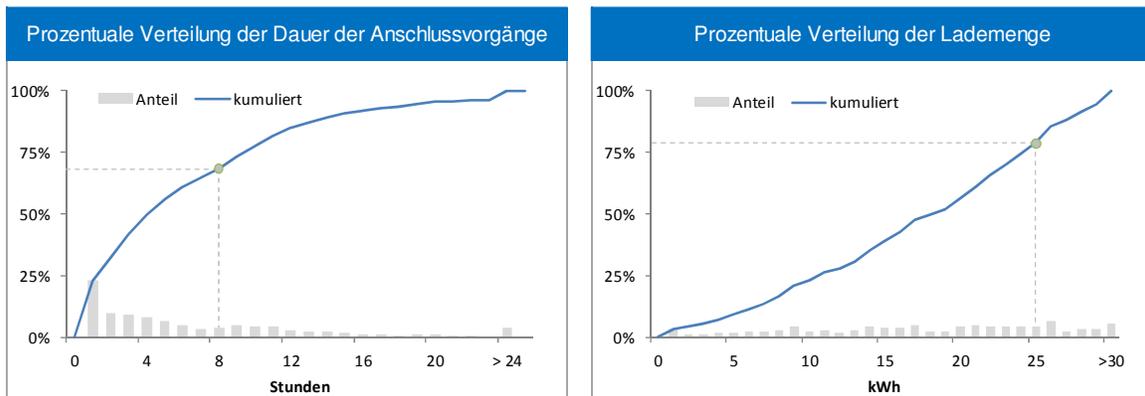


Abbildung 50 Dauer der Anschlussvorgänge und Lademenge – Laternenparker

Betrachtung aus Sicht der öffentlichen Ladeinfrastruktur

Da die Nutzung der öffentlichen Ladeinfrastruktur nicht allein den MINI E-Nutzern vorbehalten war, wurde zusätzlich zur Analyse der Laternenparker eine Analyse der Ladesäulen unter Berücksichtigung aller Nutzergruppen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass es

eine Reihe von attraktiven Standorten mit einem Stromabsatz von über 1.000 kWh von März bis September gibt, während viele Standorte kaum genutzt wurden. Einzelne Standorte, die dezidiert für einzelne Nutzergruppen errichtet wurden, wurden sehr intensiv in Bezug auf die Anzahl der Ladevorgänge genutzt. Dies führt zu einer Energiemenge je Ladevorgang, die deutlich unter 5 kWh liegt.

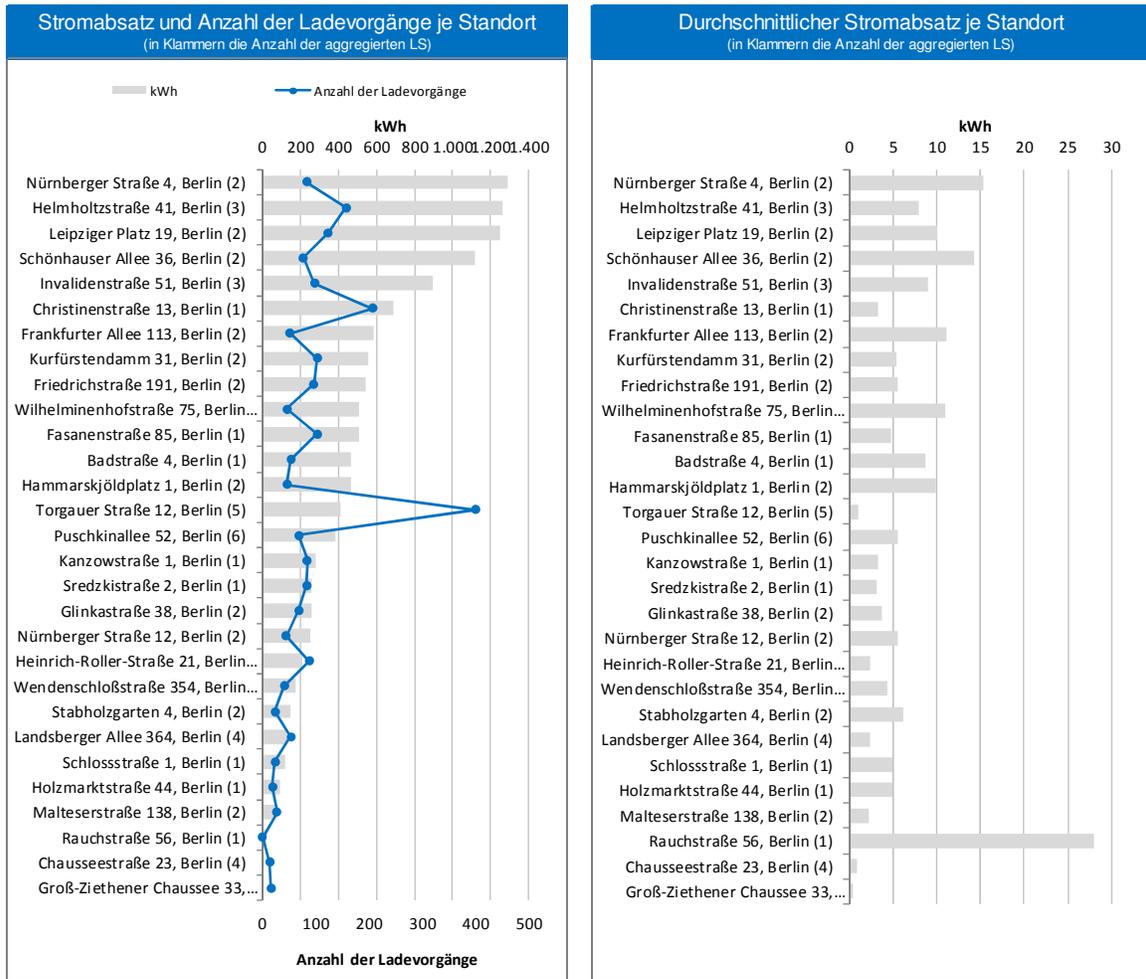


Abbildung 51: Stromabsatz und Anzahl der Ladevorgänge je öffentlichen Ladestandort

Für die Berücksichtigung von Fahrzeugen beim Gesteuerten Laden ist insbesondere eine hohe Verfügbarkeit der Fahrzeuge wichtig. Sind die Fahrzeuge deutlich länger angeschlossen als sie für einen Ladevorgang Zeit benötigen, besteht ein größeres Potential, die Last des Ladevorgangs zu verschieben. Dies setzt allerdings voraus, dass Nutzer der öffentlichen Ladeinfrastruktur keine Sofortladung erwarten.

Einer langen Anschlusszeit bei kurzer Ladedauer steht zudem entgegen, dass so die Effizienz des einzelnen Standortes sinkt. Stehen die Fahrzeuge an einem Standort nur

wenig länger als für den reinen Ladevorgang notwendig wäre, kann ein höherer Durchsatz an Nutzern erreicht werden. Erfolgt eine Abrechnung der Nutzer auf Basis der Anzahl von Anschlussvorgängen oder der abgesetzten Energiemenge, wird dieser Standort bei einer hohen Effizienz ökonomisch attraktiver (vergleiche Abbildung 52).

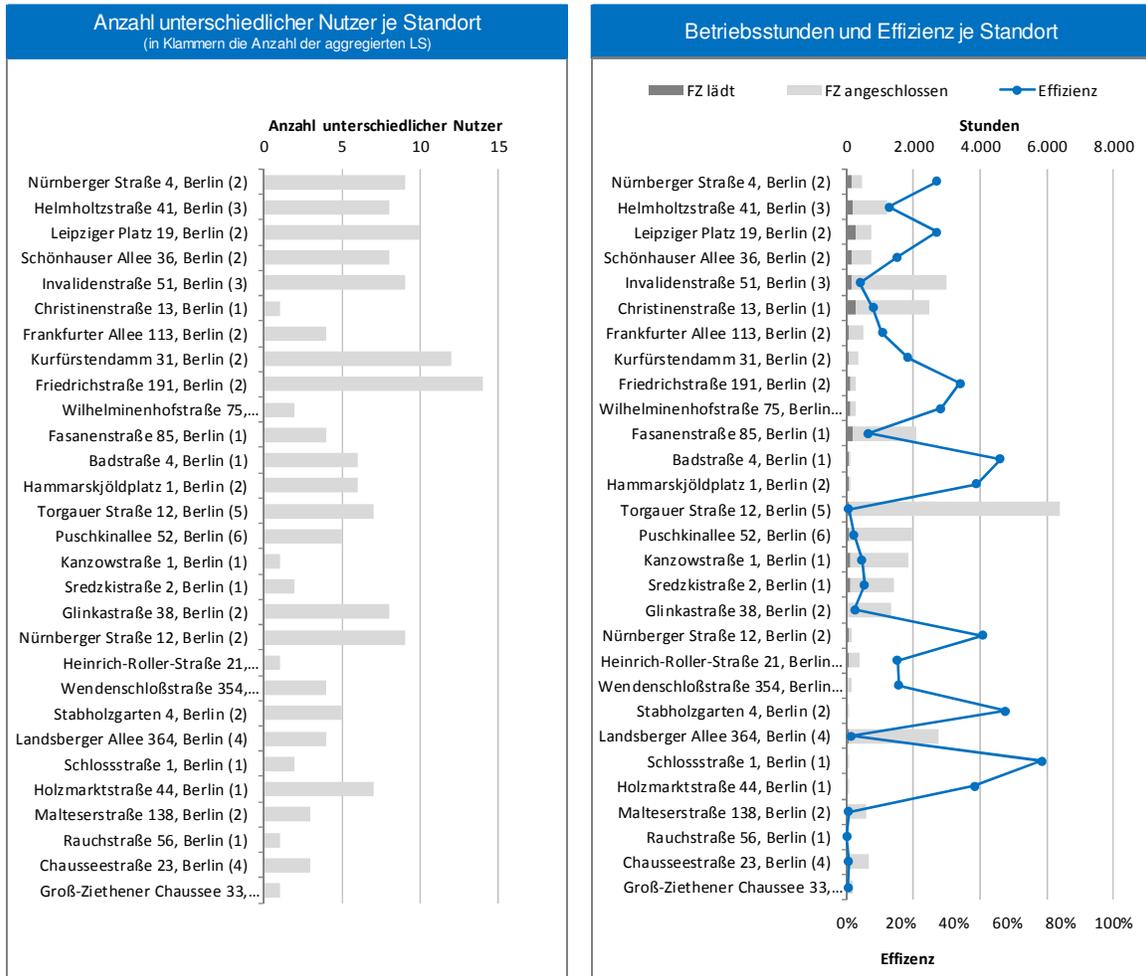


Abbildung 52: Nutzungsstruktur je öffentlichem Ladestandort

Schlussfolgerungen

-

4 Wesentliche Abweichungen zum Arbeitsplan

Zeitverzögerung durch technische Änderung

Der Arbeitskreis Produktsicherheit der BMW Group hat im Herbst 2010 festgelegt, dass das Ladekabel des MINI E nicht mehr mit dem CEEplus-Stecker infrastrukturseitig betrieben werden darf. Hintergrund ist die Befürchtung, dass Nutzer den Stecker auch an ungeeigneter, weil nicht korrekt abgesicherten Steckdosen (z.B. Campingdosen) betrieben werden können. Stattdessen müssen infrastrukturseitig Stecker nach der Norm IEC 62196 Typ 2 („7-pol-Stecker“) zum Einsatz kommen, die keine allgemeine Verbreitung haben und nicht außerhalb des Einsatzzwecks genutzt werden.

Insbesondere durch diesen Umstand konnten die Fahrzeuge nicht bereits zum 1. Dezember ausgegeben werden, sondern erst nach Umrüstung der Autostrom-Boxen zu März 2011 bzw. nach Umrüstung der Autostrom-Stationen zu April 2011.

Da für die Umrüstung der Standorte der Autostromstationen keine Projektmittel vorgesehen waren, musste zudem erst eine geeignete Finanzierung außerhalb des Projekts bereitgestellt werden.

Auswirkungen auf das Projekt

Die Hauptauswirkung war, dass die Feldphase aus Zeitgründen nicht mehr in zwei Tranchen unterteilt werden konnte. Um die Qualität der Ergebnisse dennoch sicherstellen zu können, wurden folgende Maßnahmen beschlossen:

- Zusammenfassung der beiden Tranchen zu einer entsprechend längeren Nutzungsphase.
- Anpassung der „Laternenparker-Testgruppe“ von zwei Phasen je 10 Nutzer auf eine Phase je 20 Nutzer.
- Verkleinerung der Nutzergruppen mit Heimladestationen von 60 Nutzern auf 48 Nutzer.
- Überführung von 2 der 70 MINI E nach Chemnitz zur Realisierung von Mikro-Nutzungszeiträumen. Hierdurch konnten auch bislang nicht erreichbare Nutzer-

gruppen (E-Auto-Skeptiker, Nutzer mit geringem Einkommen) eingebunden und zu Erfahrungen und Einstellungsänderungen befragt werden. Zudem bot sich dieses separate Testfeld zur Vertiefung bestimmter Aspekte an.

Insgesamt betrachtet konnten die wesentlichen Ergebnisse auch mit dem geänderten Arbeitsplan erreicht werden. Einen Überblick über den angepassten Arbeitsplan verschafft Abbildung 53.

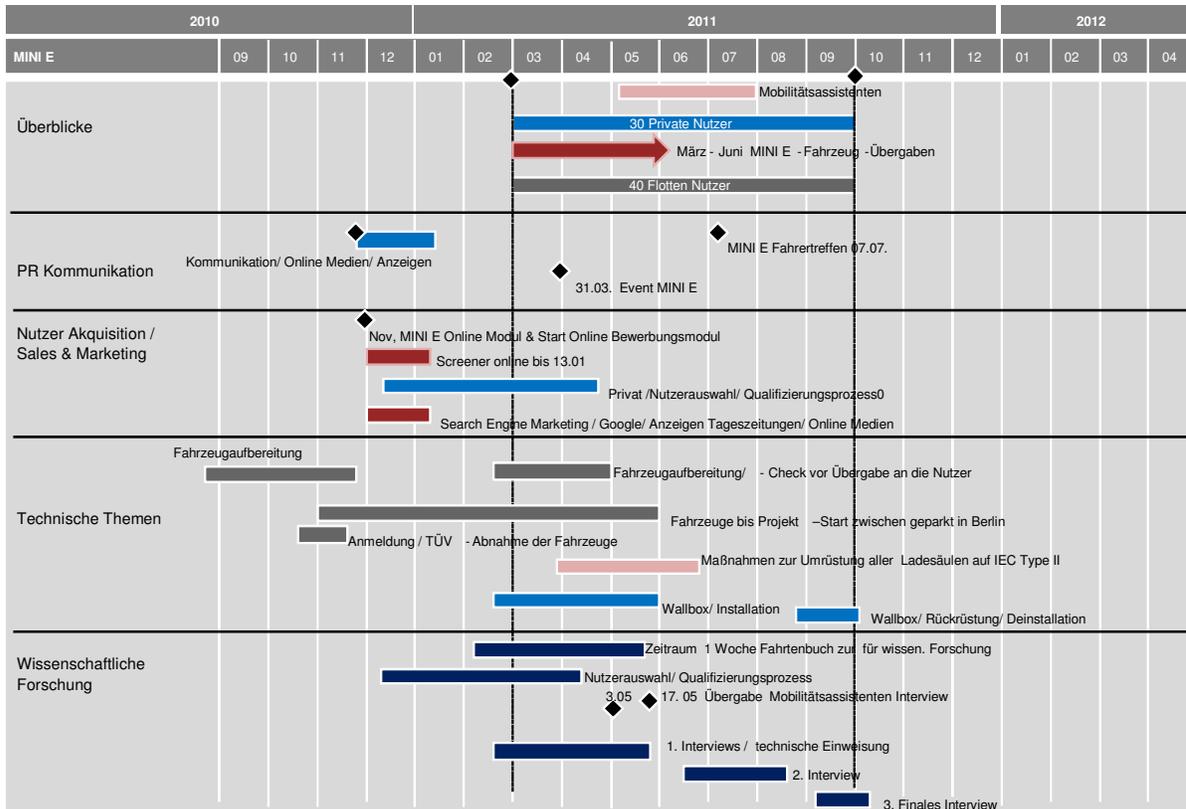


Abbildung 53 Überblick über den angepassten Arbeitsplan

5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

5.1 Projekte zur Elektromobilität in Deutschland

Auf Ebene der Bundesrepublik Deutschland wurden mehrere Programme zur Erforschung der Elektromobilität gestartet.

Die Bundesregierung erstellte den ‚Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität‘ mit dem Ziel, Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu machen. Bis 2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen unterwegs sein. [1] Im Rahmen des Konjunkturpakets II stehen bis 2011 deshalb 500 Millionen Euro für Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Elektromobilität zur Verfügung. [1]

Zentrale Anlaufstelle für Elektromobilität ist seit Anfang 2010 eine Gemeinsame Geschäftsstelle der Bundesregierung (GGEMO). Die im Mai 2010 von Bundeskanzlerin Angela Merkel etablierte Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) mit Vertretern der beteiligten Wirtschaftsbranchen, Forschungsdisziplinen und Bundesministerien soll weitere konkrete Vorschläge für die Erreichung der Ziele des Nationalen Entwicklungsplans erarbeiten. [2]

Projekte zur Elektromobilität im Rahmen des Konjunkturpakets II werden vielfältige Erkenntnisse und Erfahrungen aufzeigen. Die Projekte haben häufig eine Laufzeit bis zum 30.06.2011 oder bis zum 30.09.2011.

5.2 Vergleich der Projektergebnisse zum Stand der Technik

Obwohl Elektrofahrzeuge bereits seit vielen Jahren eingesetzt werden, existieren die konkreten Produkte doch in sehr speziellen Nischen. Die Aussagekraft der Nischenprodukte für den angestrebten Massenmarkt ist allerdings eher gering.

Deshalb werden bekannt gewordene Projektergebnisse aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten für den Vergleich herangezogen.

Im Projekt wurden öffentliche und private Ladeinfrastrukturen bereitgestellt. Alle Ladeinfrastrukturen stellten Wechselstrom per Ladekabel zur Verfügung. Gleichstrom-

Ladestationen sowie induktive Ladestationen wurden nicht getestet, sind aber markt-gängig (Induktion: nur für Spezialanwendungen markt-gängig).

Die Projektladeinfrastrukturen hatten die Besonderheit, dass sie höhere Ströme liefern konnten (bis zu 32A dreiphasig = 22 kW). Marktüblich und in den anderen Projekten ein-gesetzt sind eher Strukturen mit 16A einphasig (3,7kW). Für Nutzer des MINI E bedeutet eine hohe Ladeleistung von 32A einphasig = 7,4 kW und damit erheblich kürzere Lade-zeiten. Dies macht insbesondere die Zwischenladung attraktiv.

Eine Besonderheit der Projektladeinfrastruktur im Vergleich zu kommerziellen Angebo-ten, aber auch im Vergleich zu vielen Projekten war die Nutzung von intelligenter Heim-Ladeinfrastruktur, die aus der Ferne anhand von Netzparametern gesteuert werden konnte. Eine solche Steuerung in der Ausprägung ist kommerziell in Deutschland nicht erhältlich. Diese Feststellung konnte nach einem umfangreichen Marktscreening im Rahmen eines angrenzenden Projektes getroffen werden. Zwar lässt sich die hierfür nö-tige Hardware aus Standardkomponenten zusammensetzen, die Software muss aber auf die Anforderungen der Elektromobilität angepasst werden und genau darin liegt der eigentliche Aufwand.

Interessant sind Ansätze zur Etablierung von Master-Satelliten-Systemen. Dabei wird der Strom- und Datennetzanschluss über die Mastereinheit realisiert. Satellitenladepunk-te können aus dem Master bedient werden. Dadurch sinken die Kosten pro Ladepunkt teils erheblich. In der Maximalausprägung könnten auch elektrische Sicherungs- und elektronische Steuerungselemente im Master untergebracht werden, sodass die Satelli-ten praktisch nur noch aus einer verriegelbaren Steckdose und einem Gehäuse beste-hen. Zum Zeitpunkt des Marktscreenings Ende 2010 war dieses Konzept noch eher ge-ring ausgeprägt.

5.3 Stand der Technik und Forschung

5.3.1 Ladeinfrastrukturen und Ladekonzepte

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
Analyse von Ladeinfrastruk-turkonzepten für Elektromo-bilität	Anhand von Mobilitätsdaten konnte gezeigt werden, dass das Laden mit einer Maximalleistung von 3,7 kW im Regelfall ausreichend ist. Die Bereitstellung von Ladeinfra-struktur mit höheren Leistungen erhöht den Anteil elektri-

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
<i>RWTH Aachen</i> [3]	<p>schen Fahrens nur unerheblich.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schnellladekonzept: hohe Ladeleistung verändert Batteriesystemauslegung <ul style="list-style-type: none"> ○ Einsatz von Zellen mit höherer Leistungsfähigkeit, geringerer Energiedichte und höheren Kosten nötig ○ Erhöhung des Kühlaufwands der Batterie • Zunächst wird Laden zu Hause mit geringer Ladeleistung stattfinden • Bei höherer Marktdurchdringung: Ladeinfrastruktur auch im halb-öffentlichen und später im öffentlichen Raum
Die zukünftige Elektromobilitätsinfrastruktur gestalten <i>BDEW</i> [4]	<ul style="list-style-type: none"> • Die Gesamtanzahl benötigter Ladestationen zur Versorgung von einer Million Elektrofahrzeugen wird 2020 ohne Schnellladen zwischen ca. 1,1 Millionen und 1,25 Millionen liegen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Größte Bedeutung werden 2020 private Nutzung auf Stellplätzen auf dem Wohn- oder Arbeitsgelände mit insgesamt ca. 0,97 bis 1,05 Millionen Ladestellen haben. ○ Halböffentliche Nutzung auf privatem Grund wird im Bereich von ca. 100 bis 120 Tausend Ladestellen liegen. ○ Öffentliches Laden am Wohnort bzw. an zentralen Stellen wird zwischen ca. 45 bis 80 Tausend Ladestellen erfordern. ○ Die benötigte Anzahl öffentlicher Ladestationen kann durch Schnellladen unter Voraussetzung technischer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit reduziert werden. Aus Sicht der Energiewirtschaft ist dafür ein kontrollierter Netzausbau unabdingbare Voraussetzung. • Wirkungsvolle Netzintegration von erneuerbaren Energien mittels Elektromobilität nur mit aktiver Ladesteuerung und Systemintegration der Ladeinfrastruktur in Smart Grids möglich. Wichtig ist deshalb, frühzeitig fahrzeug- und systemseitige sowie regulatorische Voraussetzungen zu schaffen. • Drohende punktuelle Lastspitzen bei Ladestellen im privaten Bereich, können zu Handlungsbedarf hinsichtlich des Erhalts der Netz Zuverlässigkeit führen. Voraussetzungen für Lademanagement sind sicher

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
	<p>zu stellen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kosten für Laden an öffentlichen Strom-Ladestellen werden bis 2020 im Vergleich zu Preisen für Benzin-Tanken und Haushaltsstrom hoch sein. Wirtschaftlichkeit von öffentlichem Laden kann durch vielfältige Maßnahmen verbessert werden, das Erreichen der Wirtschaftlichkeitsschwelle scheint jedoch unrealistisch. Bei nachhaltiger Unwirtschaftlichkeit ist generell zu klären, durch wen öffentliche Ladeinfrastruktur errichtet und betrieben wird.
<p>Business strategy for ElectroMobility infrastructure. Siemens [5]</p>	<p>Markthochlauf Elektrofahrzeuge:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die meisten Interviewten gehen von einem BEV/PHEV-Marktanteil zwischen 0,8 und 1,5 Prozent bis 2015 und 5 bis 15 Prozent im Jahr 2020 aus. • Frankreich wird voraussichtlich beim BEV- / PHEV-Marktanteil führend sein, gefolgt von Spanien, Italien, UK und Deutschland. <p>Markthochlauf Infrastruktur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Infrastruktur wird sich in zwei Schritten entwickeln: <ul style="list-style-type: none"> ○ Bis 2015 wird Laden zu Hause überwiegen ○ Ab 2015 kann es notwendig werden, öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur zur Verfügung zu stellen <p>Funktionen der Fahrzeuge:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die meisten BEVs werden eine Reichweite von 120 - 200 km, PHEV von 20 - 60 km haben. <p>Heimladen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laden zu Hause wird in den meisten Fällen langsam sein (Wechselstrom < 10 kW), mit Fokus auf Bequemlichkeit und Sicherheit • Nur einige zusätzliche Funktionen werden gefordert (z.B. Timer oder Smart Meter) • Gesteuertes Laden nach 2015, V2G oder induktives Laden wird nach 2020 erwartet <p>Öffentliches Laden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die meisten Interviewten glauben kurz- und mittelfristig nicht an Geldverdienen mit öffentlicher Ladeinfra-

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
	struktur <ul style="list-style-type: none"> • Attraktive Funktion öffentlicher Ladeinfrastruktur könnte eine Parkplatzreservierungsfunktion sein
Resonante Energieübertragung als kontaktlose Ladetechnik zukünftiger Elektrofahrzeuge [6]	Entwicklung, Aufbau und Vermessung eines induktiven Übertragungssystems für 10 kW. Die veröffentlichten Systemeigenschaften ließen sich im Rahmen von Fertigungs- und Simulationstoleranzen eindeutig identifizieren und reproduzieren <ul style="list-style-type: none"> • Dämpfungseigenschaft des Fahrzeugbodens unzureichend geklärt, elektromagnetische Sicherheit in der Fahrgastzelle nicht abschließend gewährleistet • Elektrische bzw. magnetische Einwirkung auf wichtige Fahrzeugkomponenten nach heutigem Wissenstand nicht abschätzbar • Abhängigkeit der Kundenakzeptanz von Einhaltung der Sicherheitsvorschriften und -empfehlungen
Induktives Laden von Elektromobilen – Eine technoökonomische Bewertung <i>Fraunhofer ISI</i> [7]	Wissenschaftliche Analysen zum Stand der Technik und der ökonomischen Dimension von induktivem Laden <ul style="list-style-type: none"> • Aktuell in der Entwicklung befindliche Systeme erreichen Wirkungsgrade von 80 Prozent und können maximal 11 kW an elektrischer Energie übertragen. • Vorteile der induktiven Technik: Einfache Handhabung, geringer Verschleiß, hoher Schutz gegen Vandalismus • Entwicklungsbedarf: Erhöhung des Übertragungswirkungsgrades und der Toleranzen hinsichtlich Positionierung und Größe des Luftspaltes, Einhalten der Vorschriften zur elektro-magnetischen Verträglichkeit, Vorantreiben der Standardisierung, Ermöglichen der Einspeisung von Energie in das Netz • Aufgrund signifikanter Mehrkosten gegenüber der konduktiven Ladung ist aus wirtschaftlicher Sicht vorläufig keine weitverbreitete Durchsetzung der induktiven Technik zu erwarten. • Unter bestimmten Voraussetzungen, beispielsweise überdurchschnittlich hoher Fahrleistung einzelner Fahrzeuge, ergibt sich für bestimmte gewerbliche Einsatzfelder zur Ladung von Fahrzeugflotten ein Potential für das induktive Laden. • Potenzielle Skaleneffekte können die Kosten bis 2030 soweit reduzieren, dass ein regional gebundener Einsatz als Komfortladeoption in Nischen realistisch wird.

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
Ladestrategien für Elektrofahrzeuge <i>Fraunhofer IWES</i> [8]	<p>Drei mögliche Ladestrategien werden vorgestellt. Auf Basis der Modellierung des Verhaltens von Referenzautos in einem beispielhaft ausgewählten Verteilnetzabschnittes werden Aussagen über die Konsequenzen der Anwendung dieser Ladestrategien auf Fahrzeugnutzer und den Betrieb des Verteilnetzes getroffen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dezentrales EMS mit Kenntnis über geplanten Abfahrtszeitpunkt und Preisprofil <ul style="list-style-type: none"> + Kostenreduktion – Steigerung des maximalen Bezugs von Ladeleistung und eventuelle Notwendigkeit von Ausbaumaßnahmen • Zentrale Steuereinheit mit Kenntnis über Anzahl der angeschlossenen Fahrzeuge und ihrer geplanten Abfahrtszeit <ul style="list-style-type: none"> + Ladeleistung über gesamte Standzeit der Fahrzeuge verteilen > geringste Auswirkungen auf Verteilnetz – Schwierigkeiten bei kommunikativer Einbindung der Ladestationen in ein zentrales EMS und die Bereitstellung der Nutzerdaten – Reduktion der Flexibilität des Abfahrtszeitpunktes > Reduktion des Nutzer-Komforts • Hohe gesamtwirtschaftliche Effizienz durch Mischformen der zentralen und dezentralen Steuerung <ul style="list-style-type: none"> ○ Entscheidung über Zeitpunkt der Ladung und Ausnutzung der maximalen Anschlussleistung muss dezentral beim Fahrzeugnutzer liegen. ○ Signale von Energieversorger und Netzbetreiber an Fahrzeugnutzer zur Anpassung des Ladeverhaltens an Netzbelastung
Ladeinfrastrukturkonzepte für Elektromobilität. <i>RWTH Aachen</i> [9]	<p>Bereits mit geringem Infrastrukturaufwand kann ein hoher Anteil elektrischer Mobilität erreicht werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Ladeleistungen bringen kaum Gewinn an elekt-

Projekt / Quelle	Relevante Ergebnisse
	<p>risch gefahrenen Kilometern.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Insbesondere für Laternenparker müssen kostengünstige Lösungen entwickelt werden. • Die Einbindung der Elektrofahrzeuge in das Stromnetz kann durch intelligente Ladegeräte bereits mit wenig Kommunikationsaufwand erleichtert werden. • Intelligente Ladeverfahren müssen genutzt werden, um anvisierte Batterielebensdauer zu erreichen.
<p>Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030. <i>Modellregion Elektromobilität München</i> [10]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ladestationen zu Hause oder am Arbeitsplatz werden das Grundgerüst für den sukzessiven Aufbau einer Ladeinfrastruktur bilden. <ul style="list-style-type: none"> ○ Die meisten Fahrzeugnutzer werden zunächst über eigenen Stellplatz verfügen (Gesamtpotential an Elektrofahrzeugen reduziert sich zunächst um den Anteil, der Laternenparker) ○ Ergänzend ist die Schaffung einer Grundversorgung an „semi-öffentlichen“ Ladestationen sinnvoll, um Reichweitenangst zu begegnen ○ Schnell-Ladungen unter einer halben Stunde scheinen realistisch, jedoch ist die physikalische Grenze der Batterie zu beachten. Es ist davon auszugehen, dass Hochleistungs-ladesäulen eher für wenige Fälle, in denen schnell geladen werden muss, in Frage kommen.

5.3.2 Netzregulierung

<p>Welche Netzdienstleistungen können Elektrofahrzeuge sinnvoll erbringen? Forschungszentrum Jülich [11]</p>	<p>Die Ladezeiten sollen durch Steuerung von Seiten der Netzbetreiber und von Seiten des Fahrzeugs verteilt werden. Auch eine Reduzierung der Ladeleistung zur Entlastung des Netzes ist in Extremfällen ohne großen Aufwand möglich. Weitere Netzdienstleistungen erfordern Verzicht des Fahrzeugnutzers auf einen Teil der elektrischen Reichweite des Fahrzeugs.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Negative Minutenreserve oder Ausgleichsleistung anbieten. <ul style="list-style-type: none"> ○ Akkus dürfen nur bei Anforderung von Reserve- oder Ausgleichsleistung vollgeladen werden ○ BEV könnte über einen Block von vier Stunden eine Leistung von 2 kW zur Verfügung
--	--

	<p>stellen oder für zwei Blöcke 1 kW. Dem damit erzielbaren Erlös stehen noch unbekannte Kosten für steuerungstechnische Infrastruktur gegenüber.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgabe von Leistung aus Elektrofahrzeugen ins Netz während Spitzenlastzeit und Nachladung nachts. <ul style="list-style-type: none"> ○ Akkus müssten stets möglichst vollgeladen werden; negative und positive Minutenreserve schließen sich demnach gegenseitig aus. ○ Rückspeisung ins Netz technisch aufwändig und kostet Fahrzeugakku-Lebensdauer.
<p>Integriertes Verkehrs- und Energieflussmodell. <i>RWTH Aachen</i> [12]</p>	<p>Es wurde eine Methodik zur integrierten Modellierung und Analyse von Elektrizitätsnetzen entwickelt, um das Potential zur Beeinflussung von Lastflüssen auf elektrische Leitungen mit Hilfe der mobilen Speicher in Elektrofahrzeugen zu untersuchen. Mittels Simulationen wurden die maximal in ein Gebiet hinein transportierten Energiemengen ermittelt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchungsgegenstand ist Energiemenge, die von Elektrofahrzeugen in elektrochemischen Energiespeichern transportiert werden kann, ohne dass dadurch Einschränkungen für Fahrzeugnutzer entstehen. • Größten Energieanteil liefern Fahrzeuge, die an einem Tag nicht bewegt werden. • Von bewegten Fahrzeugen ist die gelieferte Energie in den Abendstunden am größten. • Signifikante Reduzierung des Lastflusses auf einzelne Leitungen zu Spitzenlastzeiten auch schon mit kleinen Durchdringungsraten möglich.
<p>Swiss2G – Pilot- and Demonstration Project [13]</p>	<p>Untersuchung eines alternativen Ansatzes zur dezentralen Netzregelung aus den Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dabei soll lokal beim Elektrofahrzeug aufgrund von gemessenen Netzparametern entschieden werden, wann das Fahrzeug geladen und wann Energie ins Netz zurückgespeist werden soll.
<p>Elektromobilität: Forschungsthemen und Auswirkungen auf die Infrastruktur. <i>RWTH Aachen</i> [14]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Überwiegend ausreichende Netzkapazität bis ca. 22 Prozent Marktdurchdringung. Allerdings: Ländliche Strukturen bereits bei geringerer DG überlastet • Multi Agenten Systeme als Steuerungsmaßnahme für wesentlich höhere Penetrationsraten geeignet (Ladeleistung 6,9 kW ausreichend) • Auktionsmechanismen ebenfalls auf weitere dezentralen

	<p>trale Quellen übertragbar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lokales Optimum erzielbar (Nutzer und Netzsicht) • Optimale Managementstrategien zur Integration großer Windmengen derzeit unklar • Schnittstelle Fahrzeug-Netz: Verhalten im Fehlerfall und Präqualifizierung zur Teilnahme an Märkten anpassen
--	---

5.3.3 Energiekonzepte / Speichertechnologien / Smart Grid

<p>Energiekonzept 2050. <i>ForschungsVerbund Erneuerbare Energien</i> [15]</p>	<p>Begrenzung des Temperaturanstiegs auf max. 2 °C erfordert Reduktion der energiebedingten Kohlendioxidemissionen in der Europäischen Union um mindestens 90 Prozent und damit den vollständigen Umbau des gesamten Energiesystems.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realisierung des Energiekonzepts 2050 erfordert Transformation des Energiesystems in eine dezentrale, intelligente, last- und angebotsorientierte Energieversorgungsstruktur. Ergänzt wird dezentrale Erzeugung durch Aufbau eines Hochspannungsgleichstrom-Übertragungsnetzes in Europa und Nordafrika. • Strom als universell einsetzbarer und leicht transportierbarer Energieträger ein Hauptpfeiler der künftigen Energieversorgung. • Stromerzeugung erfolgt im Energiekonzept 2050 vor allem mit Wind und Photovoltaik, hinzu kommen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die mit Biogas betrieben werden, sowie mit Methan oder Wasserstoff, die mit erneuerbaren Energien erzeugt werden. • Mobilität ist im Jahr 2050 vor allem Elektromobilität. • Biokraftstoffe werden vor allem im Langstrecken- und Güterverkehr und in der Luftfahrt eingesetzt. • Aufbau und Integration großer Speicherkapazitäten in das Energieversorgungssystem ist Grundvoraussetzung für einen großen Anteil fluktuierender Energiequellen.
<p>Auswirkungen von Elektroautos auf den Kraftwerkspark und die CO₂-Emissionen in Deutschland. <i>WWF</i> [16]</p>	<p>Ob und in welchem Ausmaß Elektrofahrzeuge einen Beitrag zu signifikanten Treibhausgasreduzierungen leisten können, hängt u.a. von folgenden Faktoren ab:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Akzeptanz in der Bevölkerung, die stark mit Fahrkom-

	<p>fort und Preis-Leistungsverhältnis korreliert.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Infrastruktur, die insbesondere in Ballungszentren mit hohem Anteil an Laternenparkern noch weiter ausgebaut werden muss. • Regulatorische Rahmenbedingungen, die in ihrer Umsetzung die Anreize verändern können. • Marktanteil an Elektromobilität und ihre Entwicklung über die Zeit, da sie sich auf die Zusammensetzung des Kraftwerksparks auswirkt. <p>Zentrale Aussagen der Studie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der realistischerweise erwartbare Beitrag der Elektromobilität zur Erreichung der Klimaschutzziele bis 2020 ist gering. • Elektromobilität verdient politische Unterstützung, da sie eine von mehreren Optionen darstellt, den Verkehrsbereich klima- und umweltverträglicher, im Sinne der lokalen Minderung von Lärm und Abgas, zu gestalten. • Nur wenn Elektroautos mit Strom aus erneuerbaren Energien geladen werden, weisen sie einen ausreichenden ökologischen Vorteil gegenüber den heutigen Benzinfahrzeugen auf. • Eine ungesteuerte Aufladung der Akkus der Elektrofahrzeuge birgt das Risiko erheblicher zusätzlicher Lastspitzen. • Erwartungen an die Verwendung der Akkumulatoren in Elektrofahrzeugen als künftige Speicher für fluktuierende Stromerzeugung sind nicht realistisch: <ul style="list-style-type: none"> • Notwendige Batterien sind weder in der erforderlichen Qualität noch zu tragfähigen Kosten heute oder in naher Zukunft verfügbar • Aktuell kein Bedarf für Speicherung • Möglichkeit zur gesteuerten Entladung der Speicher erscheint nur wenig kompatibel mit der vorherrschenden Spontaneität der Fahrzeugnutzer.
<p>Dena-Netzstudie II. [17]</p>	<p>Studie behandelt Integration erneuerbarer Energien in deutsche Stromversorgung bis 2020 und gibt qualifizierten Ausblick bis 2025.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trotz sinkender Nachfrage steigt die installierte Kapazität bis 2020 deutlich an. Der Grund hierfür ist der starke Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere der Windkraft. Diese muss durch konventionelle Er-

	<p>zeugungskapazitäten abgesichert werden, um die erwartete Jahreslastspitze sicher bedienen zu können.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strom wird im Jahr 2020 zu 2/3 in Kern-, Gas- und Kohlekraftwerken erzeugt. Der Anteil der Windenergie an der Stromerzeugung steigt im Zeitraum 2008-2020 von 7 auf 27 Prozent. • Negative Regelleistung sollte im Jahr 2020 überwiegend durch Windenergieanlagen bereitgestellt werden. Um dies zu gewährleisten, müssen die Anlagen lastabhängig herunterregeln werden können. • Ein deutlicher Zubau an Pumpspeicherwerken im Süden Deutschlands würde einen Teil der Gaskraftwerke zur Deckung der Spitzenlast ersetzen. • Nicht-konventionelle Speicher wie z.B. Druckluftspeicher oder Wasserstoffspeicher erweisen sich im Rahmen der betrachteten Szenarien bis 2020 als nicht wirtschaftlich. <ul style="list-style-type: none"> ○ Die Deckungsbeiträge durch Stromeinspeicherung zu off-peak-Zeiten mit niedrigen Strompreisen und Ausspeicherung bzw. Stromverkauf zu peak-Zeiten mit hohen Strompreisen reichen im Rahmen der Szenariorechnung nicht aus, um die Festkosten der Speicher einzuspielen. ○ Auch bei zusätzlicher Berücksichtigung einer netzorientierten Fahrweise durch kostenfreie Einspeicherung der als nicht-integrierbar identifizierten Erzeugungsleistung erweisen sich die Speicher als nicht wirtschaftlich. Der Grund sind ihre vergleichsweise geringen Wirkungsgrade und die hohen Investitionskosten.
<p>Energieziel 2050. <i>Umweltbundesamt</i> [18]</p>	<p>Studie betrachtet, wie Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2050 aussehen kann, die vollständig auf erneuerbaren Energien beruht.</p> <p>Die Ergebnisse zeigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stromerzeugung, die vollständig auf erneuerbaren Energien beruht, ist im Jahr 2050 auf technisch und auf ökologisch verträgliche Weise machbar. Dies lässt sich mit der besten, bereits heute am Markt verfügbaren Technik sowohl erzeugungsseitig als auch verbrauchsseitig erreichen. • Erneuerbaren Energien können auch den erheblichen zusätzlichen Stromverbrauch für einen starken Ausbau der Elektromobilität, die komplette Bereitstellung von Heizungs- und Warmwasserbedarf mit Wärme-

	<p>pumpen decken. Voraussetzung dafür ist, dass zugleich die vorhandenen Einsparpotentiale in allen Sektoren beim Stromverbrauch sowie bei der Gebäudedämmung weitgehend erschlossen werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eine vollständig auf erneuerbaren Energien beruhende Stromversorgung kann die Versorgungssicherheit jederzeit auf dem hohen heutigen Niveau gewährleisten. Im Szenario dienen Importe lediglich dazu, den Bedarf an Langzeitspeicherung von überschüssigem Strom zu verringern, der aus einer weiteren Potentialausnutzung der erneuerbaren Energien resultieren würde. • Pumpspeicherwerke, Gas- und Dampfturbinenkraftwerke auf Basis von eE-Wasserstoff und eE-Methan, mit Biogas betriebene Gasturbinen, Elektrolyseanlagen zur Wasserstoffherzeugung und regelbare Lasten können jederzeit die Fluktuationen der erneuerbaren Energien und der Last ausgleichen sowie ausreichend Regelleistung bereitstellen. • Für eine vollständig auf erneuerbaren Energien beruhende Stromerzeugung ist ein erheblicher Ausbau der Reservekapazitäten notwendig. • Es ist notwendig, sowohl die Infrastruktur für Lastmanagement als auch für Stromtransport auszubauen. Der Transport des vorwiegend in Norddeutschland erzeugten Windstroms in die südlicheren Verbrauchszentren erfordert einen Ausbau des Übertragungsnetzes. Auch die Kapazität der Verteilungsnetze muss erhöht werden, wenn Elektromobilität und Photovoltaik in großem Maßstab eingeführt werden. • Ein Ausbau des europäischen Stromverbundes bietet ein beträchtliches Optimierungspotential gegenüber dem Regionenverbund-Szenario. Großräumiger europaweiter Ausgleich der fluktuierenden Einspeisung von Windenergie und Photovoltaik verringert die relativen Einspeisespitzen. Der Beitrag der Windenergie zur gesicherten Leistung steigt hingegen. Damit sinken der Bedarf an Speicher und Reservekraftwerksleistung erheblich und damit auch die Gesamtkosten der Stromerzeugung. Auch die Nutzung von Speicherwasserkraftwerken in den Alpen oder in Skandinavien würde den Bedarf an chemischen Langzeitspeichern und Reservekraftwerken verringern.
<p>Energiespeicher – eine Voraussetzung für die Integration natürlicher Energiequellen</p>	<p>Eine CO₂-Hydrierung mit regenerativem Wasserstoff hätte Auswirkungen auf unsere gesamte Energie- und Umweltpolitik:</p>

<p>len in das elektrische Verbundnetz [19]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Schwankungen der Wind- und Solarleistung würden durch Energie- und Materiespeicher vom elektrischen Netz ferngehalten und könnten dessen Stabilität nicht mehr gefährden. • Umgekehrt würde der als notwendig angesehene massive Ausbau sich erneuernder Energiequellen nicht durch Rücksichten auf das Netz behindert, vielmehr durch die Speicher erst möglich gemacht. • Mit Wasserstoff in Untertagespeichern lassen sich auch längere Flauten überbrücken, und bei Mischung mit Erdgas könnten bereits vorhandene Speicher genutzt werden. • Der geplante Nord-Süd-Netzausbau zum Abtransport hoher Offshore-Windleistungen während einiger Tage im Jahr, womöglich mit Erdkabeln, wäre nicht mehr notwendig. • Mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff aufgearbeitete CO₂-Emissionen aus fossilen Kraftwerken würden in einem geschlossenen Kreislauf geführt und weder an die Umgebung abgegeben noch in wachsenden Endlagern deponiert. • Kohlekraftwerke erhielten für einige Jahrzehnte eine Zukunftsperspektive ohne unbegrenzt wachsende CO₂-Endlager. Bei ausreichender Produktion von Wasserstoff könnte eines Tages vielleicht sogar früher deponiertes CO₂ aufgearbeitet werden. • Beginnend mit anfangs geringen Mengen regenerativen Wasserstoffs würden steigende Anteile synthetischen Brennstoffs gewonnen.
<p>Elektromobilität und Erneuerbare Energien. BEE [20]</p>	<p>Da Elektrofahrzeuge relativ wenig Strom verbrauchen und in der Praxis an jeder Steckdose nachladen können, wird es nicht wirtschaftlich sein, an jedem Ladepunkt eine aufwendige „Stromtankstelle“ mit Abrechnungseinrichtung vorzuhalten. Vorzuziehen ist daher der Einbau intelligenter Stromzähler in die Fahrzeuge.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mobile Fahrstromzähler geben Klarheit über Energieverbrauch und ermöglichen neue Geschäftsmodelle im Bereich der Mobilitätsdienstleister. • Intelligente Zähler im Fahrzeug erleichtern die gesteuerte Ladung der Batterien • Genutzte Energiemengen sind unabhängig vom Netzanschlusspunkt bilanzierbar, dadurch wird der gezielte Einsatz im Rahmen eines Kombikraftwerks möglich • Wenn der Zähler am Ladepunkt installiert ist, kann die

	<p>mit gesteuerten Lade- und Rückspeisevorgängen verbundene Netzdienstleistung nicht dem Fahrzeugnutzer zugeordnet werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Leistungselektronik der Fahrzeuge muss in der Lage sein, sich dynamisch den Rahmenbedingungen anzupassen. • Von Seiten des Bundes sollten dabei technische Standards und Qualitätsanforderungen vorgegeben werden, die den bi-direktionalen und gesteuerten Energieaustausch zwischen Fahrzeugen und Stromnetz von Beginn an ermöglichen. • Monopolisierung des Ladezugangs über spezielle Stecker ist unbedingt zu verhindern. Genormte Stecker sollten einen diskriminierungsfreien Zugang zur Ladeinfrastruktur ermöglichen. • Betriebswirtschaftlich rentiert sich die Investition in eine öffentliche Ladeinfrastruktur angesichts der geringen Einnahmen aus dem niedrigen Stromumsatz nicht. Da aber schon heute der Aufbau einer Ladeinfrastruktur beginnen muss, deren Lebensdauer 30 Jahre und mehr umfasst, ist es umso notwendiger staatlichregulierend einzugreifen. • Um ohne Quantensprünge in der Batterieforschung auch deutlich längere Reichweiten zu ermöglichen, ist alternativ die Einführung von Batteriewechselstationen denkbar. • Technische Standards für die Infrastruktur der E-Mobilität müssen an der optimalen Integrationsmöglichkeit erneuerbarer Energien ausgerichtet sein.
<p>Analyse der Notwendigkeit des Ausbaus von Pumpspeicherwerken und anderen Stromspeichern zur Integration der erneuerbaren Energien. Abschlussbericht. Dena [21]</p>	<p>Untersuchung der energiewirtschaftlichen Bedeutung weiterer Pumpspeicherkapazitäten und Stromspeicher im Allgemeinen als wichtige Bestandteile eines flexiblen Kraftwerksparks.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Batterien sind vergleichsweise kostengünstige Technologieoption zur dezentralen Energiespeicherung. • Kosten liegen jedoch auch unter Berücksichtigung zukünftiger Kosteneinsparpotentiale deutlich über den Kosten von großtechnologischen Speicheroptionen wie Pump- oder Druckluftspeicherwerken. • In Zukunft wird Anstieg der Elektromobilität prognostiziert: es wird davon ausgegangen, dass die Batteriespeicher parkender Elektrofahrzeuge an die Verteilnetzebene angeschlossen werden und bei aktivem koordiniertem Speichermanagement einen Beitrag zum Ausgleich fluktuierender erneuerbarer Energien

	<p>leisten könnten.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Derzeit fehlt dazu aber sowohl die nötige Infrastruktur, als auch eine größere Anzahl an Elektrofahrzeugen. <p>Potential der Speicher von Elektrofahrzeugen zur dezentralen Energiespeicherung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 90 Prozent der Tagesfahrten sind kleiner als 100 km. • Der Durchschnittswert der an einem Tag zurückgelegten Strecken liegt bei 30 km. • Aktuelle Elektrofahrzeuge haben Reichweite zwischen 100 und 200 km. • Durchschnittliche Speicherleistung von etwa 3-10 GW und ein Speichervolumen von etwa 20-30 GWh. Die Spannbreite der Angaben hängt wesentlich von der Anschlussart (230 V oder 400 V) ab. • Aufbau der zur externen Steuerung der Batterien notwendigen Infrastruktur mit erheblichen Investitions- und auch Betriebskosten verbunden. Derzeit liegen noch keine Modelle für einen wirtschaftlichen Betrieb der nötigen Infrastruktur vor.
<p>Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger. <i>VDE [22]</i></p>	<p>Sicherstellung eines stabilen Betriebs der Stromnetze erfordert massive Investitionen in FuE sowie Demonstrationsanlagen von Speichersystemen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Speicherkosten verschiedener Technologien divergieren zwischen 3ct/kWh (Stundenspeicherung) und 10 ct/kWh (Wochenspeicherung). • Für die Kurzfristspeicherung kämen primär elektrochemische Speicher in Betracht, da sie schnell und flexibel zu errichten sind sowie kurze Abschreibungsdauern aufweisen. • Langfristspeicherung mit weniger als einem Ladezyklus pro Woche ist nach heutigem Stand kaum wirtschaftlich darstellbar. • Zentrale Großspeicher wie Pumpspeicher- und Druckluftkraftwerke bedürfen auf Grund langer Abschreibungszeiträume und hohem Investitionsrisiko stabile politische Rahmenbedingungen.
<p>Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. <i>Institut für Energie- und Umweltforschung [23]</i></p>	<p>Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Potentialen verschiedener Speichertechnologien hinsichtlich Wirkungsgraden und CO₂-Vermeidung.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Von den Speichertechnologien sind momentan lediglich Pumpspeicher und Druckluftspeicher ausgereift. Politische und regulatorische Unterstützung für den

	<p>derzeit stattfindenden Ausbau der Netzinfrastruktur sind daher von besonderer Bedeutung.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wasserstoff weist eine vergleichsweise sehr hohe Energiedichte auf.
<p>Stand und Entwicklungspotenzial der Speichertechniken für Elektroenergie. <i>BMW</i> [24]</p>	<p>Analyse der wachsenden Bedeutung von elektrischen, elektrochemischen sowie mechanischen Speichertechnologien für den mobilen und stationären Bereich.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im mobilen Bereich werden vorwiegend elektrochemische Speicher zum Einsatz kommen. • Bis zum Jahr 2025 wird die Gesamtspeicherkapazität der Elektromobilität auf 37,5 bis 129 MWh abgeschätzt. • Im stationären Bereich wird auf mechanische Speicher zurückgegriffen. • Durch Ausbau erneuerbarer Energien entsteht Deckungslücke der Regelenergie, der Ausbau von Speichern erfordert.
<p>Herausforderungen und Lösungen für Verteilungsnetze der Zukunft. <i>Technische Universität Braunschweig</i> [25]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dezentrale Erzeuger mit fluktuierender Charakteristik in der Einspeisung sind zunehmend zu integrieren. • Zeit- und kostenintensive technische Lösungen im Verteilungsnetz bekämpfen die Auswirkungen. • Aktive Verteilnetze mit beeinflussbaren dezentralen Erzeugern und Lasten gleichen die Fluktuationen aus.
<p>Energiespeicher: Integration erneuerbarer Energien. <i>VDE</i> [26]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bei hoher Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen könnten mobile Speicher – integriert in ein intelligentes Last- und Speichermanagement – alle Aufgaben für das Netz im Zeitbereich von Sekunden bis zu einem Tag übernehmen. • Für mehrtägige Windflauten sowie saisonaler Schwankungen von erneuerbaren Energien sind die mobilen und die meisten Groß- und Batteriespeichertechnologien nicht ausreichend. • Hierzu sind große stationäre Speicher erforderlich. Mögliche Optionen: großen Speicherseen in alpinen Regionen (Umbau zu Pumpspeichern) und Wasserstoff in unterirdischen Salzkavernen. • Aus der stationären Wasserstoffspeicherung sind Synergien für die Versorgung zukünftiger Brennstoffzellen-Hybridfahrzeuge zu erwarten. • Neue Speichertechnologien werden ohne Anschubförderung den Sprung in den Markt nicht oder nicht schnell genug schaffen. • Speicher – sowohl als Teil der Last als auch als ei-

	<p>genständige Anlagen – sind unabdingbare Voraussetzung für die Erreichung der energiepolitischen Ziele für 2020 und darüber hinaus.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektrofahrzeuge können einen wesentlichen Beitrag zum Lastmanagement liefern und somit ein zusätzliches Ausbaupotential für erneuerbare Energien erschließen. • Forschung und Demonstration für Energiespeicher muss erheblich intensiviert werden, um Deutschland einen Platz in diesem Markt zu sichern. • Die wichtigsten Speichertechnologien bieten noch erhebliche Kostensenkungspotentiale.
<p>Speicherbedarf in Systemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. VDE [27]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Für die Aufnahme von Überschussenergie aus erneuerbaren Energien und zur Überbrückung mehrstädtiger Windflauten sowie zum Ausgleich saisonaler oder überjähriger Schwankungen wird ein Vielfaches der heute vorhandenen Speicher benötigt. • Batteriespeichertechnologien sind ebenso wie die meisten Großspeichersysteme („Stundenspeicher“) hierfür nicht ausreichend. • Mögliche Optionen für große „Wochenspeicher“ wären: <ul style="list-style-type: none"> ○ Große Speicherseen in alpinen Regionen (Umbau zu Pumpspeichern, symmetrische Beckengröße) ○ Wasserstoff (bzw. Methan) in unterirdischen Salzkavernen • Der Einsatz unterschiedlicher Speichersysteme ist für die verschiedenen Zeitbereiche zu optimieren. • Die Speicherung elektrischer Energie ist mit signifikanten Kosten verbunden. • Die dezentrale Speicherung in Batterien ist heute noch wesentlich teurer als eine zentrale Großspeicherung im Übertragungsnetz. • Eine direkte Nutzung von Überschussenergie (z.B. durch Wärme-/Kälte-erzeugung) kann den Speicherbedarf effizient reduzieren. • Leistungsfähige Netze zur Verknüpfung der verschiedenen Erzeugungs-, Last- und Speichermöglichkeiten sind unverzichtbar und stellen gleichzeitig die kostengünstigste Option zur Reduzierung des Speicherbe-

	<p>darfs dar.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei hoher Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen könnten diese mobilen Speicher – integriert in ein intelligentes Last- und Speichermanagement - alle Aufgaben für das Netz im Zeitbereich von Sekunden bis zu Minuten übernehmen.
<p>Smart Home in Deutschland. <i>Institut für Innovation und Technik [28]</i></p>	<p>Folgende Erkenntnisse sind aus der Bestandsaufnahme der deutschen Initiativen im Themenfeld Smart Home zu gewinnen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Landkarte der Smart Home-Initiativen in Deutschland weist eine auffällige Zahl von weißen Flecken ohne Smart Home-Initiativen auf. • Sowohl die Kommunikation und direkte Kooperation zwischen Smart Home-Initiativen sowie die unternehmens- und branchenübergreifende Zusammenarbeit sind nicht ausreichend entwickelt. • Die Erhöhung der Sichtbarkeit von marktverfügbaren Lösungen für Anbieter und Anwender ist dringend notwendig. • Technische Systemintegration ist unterentwickelt, es fehlt der Systemintegrator für das Smart Home. • Die Vielzahl von nebeneinander existierenden und konkurrierenden Standards macht den Handlungsbedarf deutlich, eine Verständigung über das weitere Vorgehen beim Smart Home herbeizuführen. • Dienstleistungsunternehmen werden die möglichen wirtschaftlichen Chancen durch neue Serviceangebote erst erkennen, wenn die Geschäfts- und Betreibermodelle transparent und überzeugend sind. • Potenzielle Kunden fürchten eine fehlende Verlässlichkeit: Wenn heute eine Wohnung mit einem System ausgestattet wird, muss dessen Zukunftsfähigkeit gewährleistet sein. • Fehlende Geschäftsmodelle für vernetzte Produkte und systemische Dienstleistungen und damit verbundene Intransparenz über die Wertschöpfungsanteile bei allen Beteiligten verhindern gegenwärtig Investitionen in die Infrastruktur. • Es fehlt der Branche geeignetes Fachpersonal zur Konzeption und Umsetzung von Smart Home-Lösungen. • Bei der Diskussion um das Smart Home wird das große Potential im Wohnungsbestand vernachlässigt.
<p>Energieinformationsnetze</p>	<p>Zunehmende Anzahl an Elektrofahrzeugen wird in Zu-</p>

<p>und -systeme. VDE [29]</p>	<p>kunft die Energieverteilungsnetze belasten, so dass ein netzseitiges Ladelastmanagement erforderlich werden wird.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mit Hilfe von Smart Grids sollen zukünftig auch als Erzeuger auftretende Betreiber kleinerer Energiegewinnungsanlagen sowie Energienutzer die Möglichkeit erhalten, an der Koordination von angebotener und nachgefragter Leistung teilzunehmen. • Energieinformationsnetze und -systeme sollen für das heutige und zukünftige Energieversorgungssystem alle erforderlichen Daten für Messung und Steuerung des Energieeinsatzes bereitstellen. • Mit zunehmendem Einsatz dezentraler Energiegewinnungsanlagen und deren weitgehend unkontrollierten Einspeisung in das Verteilungsnetz wird ein aktives Management dieser Anlagen erforderlich. • Entwicklung neuer Methoden zur dezentralen und automatisierten Netzführung im Verteilungsnetz gewinnt an Bedeutung. • Energiegewinnungsanlagen können im Rahmen neuartiger Geschäftsmodelle Systemdienstleistungen anbieten und somit einen aktiven Beitrag zur Verbesserung der Qualität und Stabilität der Verteilungsnetze leisten. • Voraussetzung für die technisch und wirtschaftlich beherrschbare Steuerung der Verteilungsnetze ist die Verfügbarkeit und Anwendung von durchgängigen Standards.
<p>Smart Distribution 2020. Virtuelle Kraftwerke in Verteilungsnetzen. VDE [30]</p>	<p>Die verteilte Erzeugung basierend auf regenerativen Primärenergieträgern und der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird in den kommenden Jahren aufgrund der Förderung nach EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) und KWK-Gesetz signifikante Anteile an der Energieerzeugung erreichen, um Klimaziele und nachhaltige Versorgung zu sichern.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Einspeisung von Erzeugerleistung aus diesen Anlagen hat gesetzlich geregelten Vorrang. Die Höhe der Einspeisung hängt von den meteorologischen Bedingungen ab. Bei starkem Aufkommen von EEG- und KWK-Erzeugerleistung wird künftig vor allem in Schwachlastzeiten ein Leistungsüberschuss allein aus diesen Anlagen auftreten. <p>Wenn es nicht gelingt, ausreichend Speicher oder Lasterhöhung durch Lastmanagement in diesen Zeiten zu erreichen, wird die Leistungsbegrenzung von EEG- und KWK-Anlagen zwingend erforderlich. Eine Lösung dieser</p>

	<p>Problematik kann durch „virtuelle Kraftwerke“ erreicht werden.</p> <p>Ein diesbezügliches Gesamtsystem im Rahmen virtueller Kraftwerke hat heute keine ausreichenden wirtschaftlichen Anreize.</p> <p>Mit der derzeitigen Auslegung des EEG- bzw. KWK-Gesetzes sind die Anlagen in zweierlei Hinsicht vom Energiemarkt ausgekoppelt:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Die marktpreisunabhängigen EEG-Fixpreise und Zuschläge für fossile KWK-Anlage fördern allein die Quantität der ins Netz gespeisten Energie und bieten keinen Anreiz zur Teilnahme an den Systemdiensten wie z.B. Regelleistungsbereitstellung. 2. Die EEG-Anlagen bilden einen eigenen Bilanzkreis innerhalb der Regelzonen und sind von den üblichen Aufwendungen der Bilanzkreise befreit. <p>Um künftig die dargebotene regenerative Energie möglichst vollständig nutzen zu können, wird es erforderlich, zusätzliche Speichertechnik einzusetzen. Dazu bedarf es einer Anschubförderung für stationäre Speichertechnologien (zusätzlich zu den heute bereits profitablen Pumpspeicherwerken).</p> <p>Es wird gezeigt, dass verteilte und zentrale Erzeugung künftig nebeneinander bestehen müssen. Das Stromnetz muss weiter langfristig so ausgelegt werden, dass die Versorgung auch in Fällen mit geringem Aufkommen von EEG- und KWK-Leistung gesichert ist.</p>
--	---

5.3.4 Zukunft der Elektromobilität

<p>2. Bericht NPE [31]</p>	<p>Elektromobilität ist der Schlüssel zu einer klimafreundlichen Umgestaltung der Mobilität.</p> <p>Ziel von einer Million Fahrzeugen in einem Leitmarkt Deutschland bis 2020 zu erreichen wird in drei Phasen verfolgt:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Marktvorbereitung bis 2014 mit Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung sowie Schaufensterprojekten 2. Markthochlauf bis 2017 mit Fokus auf Marktaufbau bei Fahrzeugen und Infrastruktur 3. Beginnender Massenmarkt bis 2020 mit tragfähigen Geschäftsmodellen <p>Um den Standort Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität zu machen...</p>
----------------------------	---

	<p>romobilität zu entwickeln, schlägt die NPE folgende Maßnahmen vor:</p> <ul style="list-style-type: none">• Förderung von Forschung und Entwicklung und Vernetzung in den Leuchttürmen Batterie, Antriebstechnologie, Leichtbau, Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) und Infrastruktur, Recycling und Fahrzeugintegration mit einem Schwerpunkt auf Produktionsforschung auch in Pilotanlagen• Ausschreibung eines auf den Leuchttürmen und ihren Themenclustern basierenden, ministerienübergreifenden Förderprogramms administriert durch einen Projektträger• Zügige Entwicklung der notwendigen Schlüsseltechnologien, der branchen- und technologieübergreifenden Integrationsaspekte sowie intermodaler Dienstleistungen• (Weiter-)Bildung und Qualifizierung der erforderlichen Fach- und Führungskräfte im akademischen und beruflichen Bereich• Strategische und globale Ausrichtung der Normung und Standardisierung <p>Ein zentraler Bestandteil des angestrebten deutschen Leitmarkts für Elektromobilität ist ein intelligentes Energiesystem:</p> <ul style="list-style-type: none">• Die Integration von Strom aus regenerativen Energiequellen leistet einen Hauptbeitrag zum Klimaschutz.• Der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur wird bedarfsgerecht und mit Augenmaß verfolgt: Für die Marktvorbereitungsphase bis 2014 werden konkrete Aufbauziele vereinbart.• Eine innovative Ladeinfrastruktur und Geschäftsmodelle werden entwickelt, um die kostendeckende Bereitstellung einer öffentlichen Infrastruktur langfristig sicherzustellen. <p>Gemeinsames Ziel der Nationalen Plattform Elektromobilität ist der Aufbau eines selbsttragenden Marktes für Elektrofahrzeuge. Ohne Anreizmaßnahmen wird das Vorhaben, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge zu verkaufen, jedoch nicht gelingen; Analysen ergeben für diesen Fall eine Anzahl von lediglich 450.000 verkauften Elektrofahrzeugen.</p> <p>Zur Kompensation der Kostenlücke und Belegung der Nachfrage nach elektrischen Fahrzeugen legt die NPE</p>
--	--

	<p>ein umfassendes Maßnahmenpaket vor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bevorzugung von Elektrofahrzeugen beim Parken, die Erlaubnis zur Nutzung von Busspuren im Rahmen der Schaufensterprogramme sowie die Förderung von neuen, intelligenten Carsharing-Konzepten • Kompensation der Benachteiligung bei der privaten Nutzung von elektrisch betriebenen Dienstfahrzeugen • Sonderabschreibungen beim gewerblichen Erwerb von Elektrofahrzeugen • Zinsgünstige Darlehen der Kreditanstalt für Wiederaufbau zum privaten Erwerb von Elektrofahrzeugen • Gewährung eines jährlichen Steuerincentives, orientiert an der Speicherkapazität eines Elektrofahrzeugs
<p>Abschlussbericht e-connected [32]</p>	<p>Der künftige Forschungsbedarf liegt im Bereich effizienterer Energiespeicher und dem entsprechenden Batteriemangement von Elektrofahrzeugen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Europaweite Normung und Standardisierung der Steckverbindungen zum Aufladen der Elektrofahrzeuge in den Ladestationen und der Ausstattung der Ladestationen. • Etablierung eines einheitlichen Abrechnungssystems • Auswirkung und mögliche Maßnahmen auf das Netz bei hohen Penetrationen mit Elektrofahrzeugen sind im Detail noch zu erforschen. • Thema Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität wird das Thema aus Netzsicht wesentlich mitbestimmen.
<p>Deutschland Leitanbieter für Elektromobilität. <i>Acatech</i> [33]</p>	<p>Entscheidende Kriterien der Elektromobilität im globalen Wettbewerb:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Befriedigende Ladeinfrastruktur • Kostengünstige Batterieherstellung • Zuverlässigkeit und Langlebigkeit des Batteriesystems • Kompetenzen und Fähigkeitsprofile in der Hochschulausbildung sowie Etablierung integrierter Forschungscluster
<p>Klimafreundliche E-Mobilität. <i>Energie Impuls OWL e.V.</i> [34]</p>	<p>Differenzkostenberechnung dieser Studie zeigt, dass Förderbedarf pro Elektrofahrzeug in den ersten Jahren sehr hoch ist.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mehrkosten sind von den verschiedenen Fahrzeugklassen abhängig und schwanken zwischen wirtschaftlich, 8.500, 20.000 und bis zu 50.000 Euro För-

	<p>derung pro Fahrzeug.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durch sinkende Batteriekosten fällt der Förderbedarf pro Fahrzeug sehr stark bis 2020 ab. <ul style="list-style-type: none"> • Bei starker Batteriekostenreduktion wächst der jährliche Förderbedarf maximal auf 160 Millionen Euro in 2016 und sinkt dann bis 2020 auf null ab. • Bei höheren Batteriekosten gibt es dagegen keine rückläufige Tendenz des Fördervolumens, das auf über 500 Millionen Euro in 2020 steigt.
<p>Elektromobilität – Perspektiven und Chancen für Unternehmen. <i>Opportunity</i> [35]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Weltweit zahlreiche staatlich geförderte Pilotprojekte zur Elektromobilität. Deutschland investiert im internationalen Vergleich verhältnismäßig wenig. • Emissionseffizienz von Elektrofahrzeuge übersteigt die von Verbrennungsmotoren erst, wenn sie ihren Strom aus erneuerbaren Energien gewinnen • Elektrofahrzeuge, deren Antriebsbatterien auf der Lithium-Ionen-Technologie basieren, können Reichweiten von maximal 160 km erreichen. Nur durch einen Technologiewechsel ist eine Reichweitensteigerung möglich. • Mit der Etablierung der Elektromobilität wird sich die gesamte Wertschöpfungskette verändern. Für Automobil- und Batteriehersteller, aber auch Zulieferer, Energie- und Mineralölunternehmen ergeben sich neue Geschäftsmöglichkeiten. • Das Verhalten privater und gewerblicher Kunden ändert sich. Kauf- und Nutzungsverhalten werden durch gesetzliche Rahmenbedingungen und Angebote beeinflusst. • Die Zusammenführung von relevanten Mobilitäts- und Antriebs-Szenarien zeigt, dass die Elektromobilität als Antriebsart der Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird. • Für die Durchsetzung der Elektromobilität ist es wichtig, dass Ladegeschwindigkeit und -komfort den unterschiedlichen Nutzeranforderungen gerecht werden.
<p>Elektromobilität: Kurzfristigen Aktionismus vermeiden, langfristige Chancen nutzen [36]</p>	<p>Aufgrund der politischen Unterstützung in vielen Ländern und erheblicher Aktivitäten der Privatwirtschaft ist nicht zu erwarten, dass das Thema Elektromobilität nur einen vorübergehenden Hype darstellt. Nennenswerte Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen jedoch erst langfristig realistisch. Elektrische Fahrzeuge werden in den nächsten Jahren lediglich in bestimmten Nischen eine</p>

	<p>gewisse Bedeutung erlangen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Forschung und Entwicklung aus technologiepolitischer Sicht unverzichtbar (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften hat gefordert, Deutschland solle keinen Leitmarkt, sondern vielmehr eine Position als Leitanbieter zukunftsfähiger Elektrofahrzeugkomponenten anstreben.) • Die Politik könnte die Markteinführung von Elektroautos indirekt begünstigen, indem sie den Aufbau der Ladeinfrastruktur unterstützt oder Elektrofahrzeuge für öffentliche Fahrzeugflotten beschafft. • Einstieg in die Elektromobilität sollte mit einem verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien einhergehen, damit ihre Verwendung im Verkehrsbereich nicht einfach ihre Nutzung für andere Anwendungen substituiert. • Elektromobilität sollte als Baustein eines umfassenden, nachhaltigen Verkehrskonzepts verstanden werden, das über den motorisierten Individualverkehr hinausgeht.
Studie Horváth & Partner [37]	<ul style="list-style-type: none"> • Befragte Experten aus knapp 250 teilnehmenden Unternehmen rechnen mit annähernd zwei Millionen Elektrofahrzeugen im Jahr 2020. Doppelt so viel, wie von der Bundesregierung bis zu diesem Zeitpunkt angestrebt wird. <ul style="list-style-type: none"> • Nach Ansicht der Industrieexperten werden Hybridantriebe 2020 ca. 8,5 Prozent des deutschen Fahrzeugbestandes ausmachen. • Batteriegetriebene Fahrzeuge inkl. Range Extender und Plug-In Hybride folgen mit ca. 4,2 Prozent (Das entspricht bei geschätztem Fahrzeugbestand 2020 von 47,5 Millionen Pkw ca. zwei Millionen Fahrzeuge). • Wasserstoffantriebe werden mit etwas über einem Prozent des Bestandes nur untergeordnete Rolle spielen. • Die befragten Experten glauben, dass emotionale Aspekte wie Umweltbewusstsein und ein höheres gesellschaftliches Ansehen bei Deutschlands Autofahrern trotz geringerer Reichweite für eine rasch wachsende Akzeptanz von Elektrofahrzeugen sorgen werden. • Die Frage, ob sie ihr eigenes Unternehmen ausreichend für die neue Dynamik der Marktentwicklung gerüstet sehen, findet bei den Teilnehmern ein gespal-

	<p>tenes Echo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 51 Prozent sind überzeugt, dass ihr Unternehmen die Marktveränderungen mit einer klaren Strategie angeht. • 40 Prozent bestätigen beim Umgang mit Fragen der Elektromobilität und neuer Mobilitätskonzepte eine hohe Geschwindigkeit. • In Bezug auf die Weiterentwicklung notwendiger Geschäftsmodelle und deren Implementierung besteht offensichtlich Handlungsbedarf. <ul style="list-style-type: none"> • Größte strukturelle Herausforderung in Bezug auf alternative Antriebs- und neue Mobilitätskonzepte nach Meinung der Befragten fehlende personelle Ressourcen (49%). Dagegen sehen nur 21 Prozent fehlende finanzielle Ressourcen als Problem. • Befragten unterstützen Förderung von Forschung und Entwicklung (77%). Nur 25 Prozent wünschen sich staatliche Subventionen in der Absatzförderung.
<p>Potentiale der Elektromobilität bis 2050. <i>Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln</i> [38]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeugbatterien werden nachts geladen (00:00 – 06:00 Uhr, Maximum 02:00 – 04:00). • Mittelfristig lohnt sich der Verkauf von Strom am Spotmarkt wegen hohen Batteriekosten und Notwendigkeit der nachfolgenden Wiederbeladung nicht. • Gesteuerte Ladung führt beim Fahrzeughalter zu Einsparungen. Je nach Jahr und Szenario lassen sich durch das gesteuerte Laden 9 bis 13 Prozent der Kosten gegenüber einer Ladung zum durchschnittlichen Endkundenstrompreis einsparen. • Um mit den Fahrzeugbatterien Sekundär- oder Minutenreserve bereitstellen zu können, ist der Zusammenschluss einer größeren Zahl von Fahrzeugen erforderlich. • Elektrofahrzeuge weisen bereits heute bessere Wheel-to-Wheel Bilanz (Emissionen, die beim eigentlichen Fahrvorgang anfallen + Emissionen, die zur Herstellung und zum Transport von Kraftstoffen oder im Falle der Elektrofahrzeuge bei der Erzeugung von Strom anfallen) auf, als Benzin- und Dieselfahrzeuge und die Bilanz wird sich bis 2050 stetig verbessern. • Die größten CO₂-Einsparungen sind bei einer CO₂-neutralen Integration der Elektrofahrzeuge in das Energiesystem möglich. <ul style="list-style-type: none"> ○ Einsparung lokaler Emissionen und Vermeidung von Lärm

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Keine lokalen Schadstoffemissionen. ○ Vergleichsweise geringe Geräuschentwicklung. • Im Referenzfall gibt es für das Elektroauto keine Kostenvorteile vor 2030. <ul style="list-style-type: none"> ○ Batterien und öffentliche und private Infrastruktur sind Hauptkostentreiber. ○ Erlöse aus Netzdienstleistungen sind vergleichsweise unerheblich. ○ Marktfähigkeit ist ohne Marktanreizprogramme gefährdet.
<p>Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030. <i>Modellregion München [39]</i></p>	<p>In vorliegender Studie wurde anhand eines Filtermodells das mögliche Potential für Elektromobilität in der Modellregion München bestimmt, das sich unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Hinderungsgründe ergibt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automobilhersteller bestimmen Fahrzeugangebot. • Ausschlaggebend für Alltagstauglichkeit von E-Fahrzeugen ist die Reichweite (abhängig von der Batteriekapazität). • Je nach Fahrzeugklasse und Szenario machen die Kapitalkosten für elektrische Privatfahrzeuge zwischen 50 und 70 Prozent – für gewerblich betriebene Elektrofahrzeuge sogar bis zu rund 90 Prozent – der Gesamtkosten aus und sind somit der wesentliche Faktor bei der Bestimmung der Wirtschaftlichkeit. • Batteriekosten entscheidend für die Wirtschaftlichkeit: Serienproduktion, neue Fertigungsverfahren, technische Weiterentwicklung bei Batterien reduzieren Batteriepreise. • Öl- und Kraftstoffpreise sind entscheidender Aspekt, da deren Anstieg indirekt einen Kostenvorteil für Elektrofahrzeuge bedeutet. • Eingeräumte Privilegien – wie etwa Sonderrechte beim Parken oder beim Befahren von Umweltzonen – könnten für viele Nutzer einen zusätzlichen Kaufanreiz schaffen.
<p>Erneuerbare Energien und Elektromobilität. Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020. <i>Agentur für Erneuerbare Energien e.V. [40]</i></p>	<p>Die Batterieentwicklung ist der wesentliche Einflussfaktor auf die Entwicklung der Differenzkosten. Eine rasche Kostensenkung beim Speichermedium Batterie ist wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche und relativ kostengünstige Markteinführung von Elektrofahrzeugen bis 2020. Um die Markteintrittsbarrieren zu überwinden,</p>

	<p>müssen die Mehrkosten von Elektrofahrzeugen differenziert ausgeglichen werden. Statt pauschaler Prämien oder Kaufzuschüsse sollten Instrumente der Markteinführung folgende Kriterien beachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeugtypen: Divergierende Fahrzeug- und Batteriegrößen führen zu sehr unterschiedlichen Mehrkosten pro Fahrzeug. • Jahr des Fahrzeugkaufs: Abnehmende Batteriekosten und steigende Ölpreise verringern die Mehrkosten. <p>Aufgrund der unterschiedlichen Differenzkosten der Elektrofahrzeugklassen, der Bandbreite der Differenzkosten und der vielen Wechselwirkungen eignen sich nur Instrumente, die eine differenzierte Unterstützung nach Batteriegröße bzw. -effizienz ermöglichen. Diese Grundbedingung lässt sich am besten durch ein Marktanzreizprogramm erfüllen. Neben einem solchen finanziellen Förderinstrument sind aber auch „weiche“ Instrumente notwendig, die die Nutzungsbedingungen von Elektrofahrzeugen verbessern und weitgehend kostenneutral umzusetzen sind. Dazu gehören z.B. die Mitbenutzung von Busspuren, kostenlose Parkplätze oder Nutzungsvorteile für E-Fahrzeuge in Umweltzonen.</p>
<p>Elektrofahrzeuge – Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf. VDE [41]</p>	<p>Elektrofahrzeuge sind aus Sicht des VDE ein wichtiger Beitrag für die Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft. Elektrofahrzeuge machen die Mobilität zukunftssicher durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung von lokalen wie globalen Emissionen im Verkehrssektor • Die mögliche Verwendung verschiedener Energiequellen. Dies vereinfacht die Umstellung auf erneuerbare Energien und vermindert die Abhängigkeit von einem Energieträger. Die Abhängigkeit von politisch instabilen Regionen sinkt. • Einen geringeren Verbrauch durch höhere Effizienz des Antriebsstrangs und rekuperatives Bremsen • In bestimmten Anwendungsgebieten erhöht sich der Nutzwert durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen. So ermöglichen Elektrofahrzeuge eine hohe und konstante Beschleunigung vom Stillstand an bis zum Punkt maximaler Leistung und können somit erheblichen Fahrspaß bieten. Außerdem reduziert sich die akustische Belastung der Umwelt. • Reine Elektrofahrzeuge sollten zunächst für kurze Strecken (< 100 km) konzipiert und eingesetzt werden, da

	<ul style="list-style-type: none">○ Große Reichweiten auf Grund der hohen Kosten für die Batterien in der Regel wirtschaftlich nicht sinnvoll sind.○ Verkehrsstudien zeigen, dass die meisten Fahrzeuge und Fahrer am Tag nur kurze Strecken zurücklegen. Die Tagesfahrleistung von Pkw privater Halter liegt bei fast 70 Prozent der Fahrzeuge unter 50 km und bei fast 90 Prozent unter 100 km.• Mit Range Extendern kann der Einsatzbereich von Elektrofahrzeugen deutlich erweitert werden. Da die Kunden bei Einsatz von Range Extendern keine Einschränkung der Reichweite in Kauf nehmen müssen, kann die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen erhöht werden. <p>Infrastrukturbedarf</p> <ul style="list-style-type: none">• Die Batterien können einphasig mit moderater Leistung geladen werden, da die Parkzeiten der Fahrzeuge ausreichend lang sind. Dadurch kann die bestehende Infrastruktur der Elektrizitätsnetze genutzt werden und es sind zunächst keine teuren Investitionen in die Infrastruktur notwendig.• Ladepunkte sollten primär im privaten und Firmenbereich sowie in Einrichtungen des öffentlichen Dienstes bereitgestellt werden. Im öffentlichen Bereich ist ein kostendeckender Betrieb öffentlicher Ladestationen auf Grund der geringen Energiemenge in naher Zukunft nicht zu erwarten.• Ein netzseitiges Lademanagement ist bei moderater Ladeleistung (bis ca. 3,7 kW) erst ab ca. einer Millionen Fahrzeugen notwendig. Das Lademanagement kann jedoch zur Anpassung von Stromerzeugung und Verbrauch von Anfang an sinnvoll sein, wenn Elektrofahrzeuge nahtlos in die Infrastruktur fernauslesbarer Zähler (Smart Meter) integriert werden.• Ein Netzausbau ist bis zu ca. eine Millionen Fahrzeugen nicht erforderlich. Die Anforderungen an die Stromnetze durch die Elektromobilität sind gering im Vergleich zu denen durch den Ausbau regenerativer Energien. Die Erbringung von Netzdienstleistungen sollte jedoch bis auf weiteres von Elektrofahrzeugen nicht erwartet werden, da der Aufwand gegenüber dem Nutzen sehr hoch ist. Bei richtiger Batterieauslegung kann diese prinzipiell auch für die Netzstabilisierung verwendet werden, ohne dass die Lebensdauer unzulässig weit reduziert wird.
--	--

<p>Elektromobilität – Neue Chancen für ganzheitliche Mobilitätskonzepte [42]</p>	<p>Interdisziplinäre Forschungsarbeiten an der FH Aachen haben gezeigt, dass sich Carsharing als idealer Vermittler von Elektromobilität anbietet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nachteile eines Elektroautos könnten in einem Carsharing-Betrieb kompensiert werden: <ul style="list-style-type: none"> ○ Carsharing-Fahrzeuge werden überwiegend im Stadtbetrieb genutzt. ○ Kosten werden auf alle Nutzer umgerechnet. ○ Kunden stehen weitere Fahrzeuge des Fahrzeug-Pools zur Verfügung. • Fokussierung auf Carsharing bringt im Gegensatz zum Individual-Pkw die Herausforderung mit sich, das Fahrzeug auf eine möglichst große Anwendergruppe abzustimmen. • Informationstechnik wird eingesetzt, um das eCarSharing-Konzept handhabbar und für „Jedermann“ benutzbar zu machen. • Präferenzprofile können verwendet werden, um das Fahrzeug für die einzelnen Kunden weitestgehend zu konfigurieren. • Solche Mobilitätskonzepte helfen die Akzeptanz von Elektroautos in der Gesellschaft zu stärken und leisten damit auch einen positiven Beitrag zum Umweltschutz.
--	--

5.3.5 Nutzereinstellung zur Elektromobilität

<p>Plug-in electric vehicles. Changing perceptions, hedging bets. <i>Accenture</i> [43]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verbraucher stehen Elektroautos positiv gegenüber. • Kosten sind wichtiger begrenzender Faktor. • Verbraucher ziehen momentan PHEVs einem voll-elektrischen Fahrzeug vor, weil dies weniger Umstellung und Gewohnheitsänderungen bedarf. • Mit zunehmender Verbreitung von vollelektrischen Fahrzeugen kann es zu Verhaltensänderungen kommen, weshalb es wichtig ist, vielen Menschen Testfahrten mit Elektroautos zu ermöglichen.
<p>Elektromobilität 2010. Wahrnehmung, Kaufpräferenzen und Preisbereitschaft potenzieller E-Fahrzeug-Kunden.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alternative Antriebe sind allgemein sehr präsent: Mehr als 75 Prozent der befragten Personen haben von Brennstoffzellen-, Elektro- und Hybrid-Fahrzeugen bereits oft gehört bzw. gelesen. • Über tatsächlich zu erwartende Reichweite und La-

Cama [44]	<p>dedauer reiner E-Fahrzeugen herrscht wenig Kenntnis: Mehr als 50 Prozent der befragten Personen glauben an eine Reichweite von E-Fahrzeugen größer als 200 km.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 65 Prozent der befragten Personen können sich den Kauf alternativ-betriebener Fahrzeuge vorstellen. Die befragten Personen tendieren dabei insbesondere zu Elektrisch- (66%), Erdgas- (51%) und Wasserstoff-betriebenen Fahrzeugen (48%). • Positive Einflussfaktoren auf den Kauf von E-Fahrzeugen üben geringere Betriebskosten (88%), mögliche staatliche (finanzielle bzw. steuerliche) Anreize (68%) und der Beitrag zum Umweltschutz (65%) aus. • Seltene Lademöglichkeiten (89%), geringe Reichweite (88%) und hoher Kaufpreis (85%) halten hingegen vom Kauf eines E-Fahrzeugs ab. • 90 Prozent der befragten Personen würden bei Besitz eines E-Fahrzeugs die Lademöglichkeit direkt zu Hause favorisieren. 70 Prozent bzw. 68 Prozent können sich dies am Arbeitsplatz oder in traditioneller Weise an einer Tankstelle vorstellen. 50 Prozent tendieren zu öffentlichen Ladestationen. Knapp 24 Prozent lehnen letztere Möglichkeit jedoch ab. • Potenzielle Kunden sind gegenwärtig nicht bereit, einen finanziellen Aufschlag für E-Fahrzeuge zu zahlen. Der akzeptable Preisbereich für ein E-Fahrzeug (Ladedauer: 5 h; Reichweite: 150 km) bewegt sich zwischen 10.000 bis 25.000 Euro.
Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität [45]	<p>Ziel der vorliegenden Studie war, im Rahmen eines multimethodalen Ansatzes akzeptanzrelevante Faktoren aus Nutzersicht zu identifizieren.</p> <p>Hemmnisse für Elektromobilität:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Batteriekosten • Reichweitenangst • Starke Gewohnheiten und Routinen bei Mobilitätsentscheidungen und -verhalten • Konventionelle Fahrzeug als starker Vergleichsanker • Begrenztes Wissen bei den Konsumenten über Elektromobilität <p>Treiber von Elektromobilität:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Allgemein positive Wahrnehmung elektrischer Fahr-

	<p>zeuge in der Gesellschaft</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hohes Umweltbewusstsein • Fahrverhalten und Fahrkomfort von Elektrofahrzeugen <p>Ausbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur ist für die Sichtbarkeit von Elektromobilität bedeutsam. Das Laden wird jedoch voraussichtlich hauptsächlich zu Hause oder am Arbeitsplatz stattfinden.</p> <p>Konzepte zur Umsetzung der Elektromobilität müssen letztlich durch Transparenz, einfache und zuverlässige Handhabung sowie Flexibilität überzeugen.</p>
Studie „Elektromobilität“ <i>BITKOM</i> [46]	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrofahrzeugen gehört die Zukunft. <ul style="list-style-type: none"> ○ 60 Prozent der Befragten glauben, dass Elektrofahrzeuge herkömmliche Autos mit Verbrennungsmotoren ablösen werden. • Elektromotoren genießen im Vergleich zu anderen alternativen Antrieben das höchste Ansehen: Wenn die fossilen Energiereserven erschöpft sind, favorisieren 40 Prozent der Befragten elektrische Antriebe als Ersatz. • Drastische staatliche Eingriffe, um den Energieverbrauch im Straßenverkehr zu verringern, werden von vielen befürwortet. <ul style="list-style-type: none"> ○ Jeder Fünfte ist grundsätzlich für autofreie Sonntage. ○ 23 Prozent sprechen sich für die Einführung einer allgemeinen Straßenmaut aus. ○ 56 Prozent will Autos mit besonders hohem Benzinverbrauch ganz verbieten. • Zwei Drittel der Befragten befürworten Subventionen für Elektromobilität. 28 Prozent lehnen dies ab. <ul style="list-style-type: none"> ○ 34 Prozent aller Befragten wünschen Zuschüsse beim Kauf von Elektroautos ○ Jeweils knapp ein Fünftel befürwortet staatliche Forschungsprogramme und Subventionen durch die Industrie. • Vier von zehn der Befragten wollen, dass Strom für Elektroautos aus regenerativen Energiequellen kommt. • Ein knappes Drittel der Befragten präferiert einen Energiemix. • Atom- und Kohlekraftwerke sind mit jeweils rund acht

	Prozent weit abgeschlagen.
Flottenbetrieb mit Elektrofahrzeugen. <i>Modellregion Sachsen</i> [47]	<p>Befragung von Unternehmern zum Thema Elektromobilität in der Modellregion Sachsen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wesentliche Nachteile der Elektromobilität für die befragten Unternehmer: <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Anschaffungskosten • Geringe Reichweite • Größte Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Niedrigere Schadstoff- und Lärmbelastung • Großteil der Befragten glaubt an eine erste praktikable Lösung und Nutzerakzeptanz bis zum Jahr 2015 bzw. bis 2020. • Finanziellen Anreize für die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges wurden am stärksten bewertet. • Weniger als 50 Prozent der Befragten würden einen höheren Anschaffungspreis, verglichen mit einem konventionellen Fahrzeug, akzeptieren. Eine 20%ige Erhöhung würde nur noch von 7 Prozent der Unternehmen akzeptiert werden. • Fahrzeuge der Flottenbetreiber werden in ihren Ruhezeiten überwiegend auf Flächen abgestellt, auf denen der Aufbau der Ladeinfrastruktur relativ einfach bewerkstelligt werden kann. • Ruhezeiten der Fahrzeuge betragen bis auf wenige Ausnahmen ca. zehn Stunden am Tag. In dieser Zeit kann auch mittels Normalladung ein Elektrofahrzeug vollständig aufgeladen werden. Die exakten Einsatzzeiten variieren dabei branchenspezifisch, was sich wiederum für ein Lastmanagement förderlich auswirken. • Fast 60 Prozent der Strecken werden im Stadtverkehr absolviert, wo zukünftig die Ladeinfrastruktur wesentlich dichter sein wird als im ländlichen Gebiet oder auf Autobahnen. <p>Insgesamt schätzen die Teilnehmer der Befragung die Entwicklung der Elektromobilität in Sachsen als sehr gut ein. Von den Befragungsteilnehmern würden 48 Prozent Elektrofahrzeuge in ihrer Flotte aufnehmen, 34 Prozent eventuell, sobald die geeignete Infrastruktur bereitgestellt wird. Ein Viertel plant bereits die Anschaffung von Elektrofahrzeugen.</p>

5.3.6 Pilotprojekte

<p>ColognE-mobil Projekts [48]</p>	<p>Gemeinsam mit dem Autobauer Ford, dem Energieunternehmen Rheinenergie und der Stadt Köln haben knapp 50 UDE-Wissenschaftler im Großprojekt ColognE-mobil die Anwendungsbedingungen und Kundenakzeptanz von Elektroautos untersucht.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 30.000 Fahrzeuge könnten im 400 km² großen Kölner Stadtgebiet elektrisch fahren. <ul style="list-style-type: none"> ○ Kaum höherer Stromverbrauch für die Leitungsnetze (3,2% des Haushaltsstroms) ○ Reichweite der E-Autos im Sommer bei 180 km (mit heutigen Lithium-Ionen-Batterien (35 kWh) und die für Köln typischen Fahrtstrecken im Stadtzyklus.) ○ Im Winter durch Heizungsbetrieb reduzierte Reichweite von 103 km. • Längere Ladezeiten sind unproblematisch, da Fahrzeuge überwiegend in den Wohngebieten von 20 Uhr bis 6 Uhr parken und dann bequem an einer normalen Haushaltssteckdose geladen werden können. • Zehn Prozent aller Fahrzeuge im Kölner Stadtraum könnten durch E-Autos ersetzt werden. • Kundenakzeptanztests zeigen, ob sich jemand ein Elektroauto kauft, ist abhängig vom Einkommen, Alter und Bildungsgrad. 25.500 Euro wäre der Kölner im Schnitt bereit, für das Elektroauto zu zahlen. • Elektroautos bedeuten für Fußgänger kein größeres Risiko als moderne Benzinfahrzeuge. Dies konnte beim Großprojekt in einer Testreihe mit 240 Passanten gezeigt werden. Die von den Gesetzgebern erwogenen künstlichen Geräusche für Elektrofahrzeuge sind nach den Ergebnissen des Projekts nicht notwendig.
<p>Ergebnisse Feldversuch. <i>Modellregion Elektromobilität München</i> [49]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Laufzeit 03/2010 - 09/2011 • Installation öffentlicher und privater Infrastruktur. <ul style="list-style-type: none"> ○ Derzeit 28 öffentliche Ladesäulen; Ausbau geplant ○ 36 Heimpladestationen • Gesamt Fahrleistung ca. 300.000 km • Betrieb der MINI E zwischen 09/2010 und 06/2011 • 40 MINI E (davon 10 BRK)

	<ul style="list-style-type: none"> • Erprobung verschiedener Einsatzszenarien • 82 Prozent der täglichen Fahrten können mit dem MINI E erledigt werden. • Im Winter allerdings eingeschränkte Nutzung aufgrund der reduzierten Reichweite und höherer Ladefrequenz. • Keine Probleme beim Handling des Ladens. • In 75 Prozent der Fälle wurde direkt nach der Nutzung das Ladekabel eingesteckt. • Laden wird als vorteilhaft und zeitsparend im Gegensatz zum Tanken gesehen. • Ladezeiten werden als akzeptabel empfunden, das Handling des Kabels weist noch Verbesserungspotential auf. • Ladezeiten sind für den Alltag praktikabel und angemessen. • Fast alle Nutzer empfinden den Ladevorgang als leicht erlernbar (92%). • 88 Prozent empfinden das Laden zu Hause oder an der Arbeitsstelle sogar als angenehmer, als die Fahrt zur Tankstelle. • Verbesserungspotential gibt es beim Ladekabel, das recht schwer und unhandlich (76%) ist. • Die Nutzer wünschen sich, dass das Kabel an der Wallbox (96%) bzw. öffentlichen Ladestation (88%) fest installiert ist.
<p>Die politischen Rahmenbedingungen der Genehmigung von Ladeinfrastruktur für Elektroverkehr im öffentlichen Raum [50]</p>	<p>Pilotprojekt in den Bezirken Mitte und Charlottenburg/Wilmersdorf</p> <ul style="list-style-type: none"> • Um Elektromobilität als integrierte verkehrspolitische Gesamtstrategie mit dem Ziel einer nachhaltigen Stadt- und Verkehrsentwicklung zu integrieren, bedarf es einer übergeordneten politischen Instanz. Diese sollte allgemeingültige Standards setzen und jeweils spezifische Bedingungen vor Ort berücksichtigen • Entscheidung über Infrastruktureinrichtungen muss verkehrliche Erreichbarkeit und zunehmend auch Anbindungsmöglichkeiten an bedienungsfreundliche IKT als Grundlage aufweisen. • Die Entwicklung von verkehrsbezogener neuer Infrastruktur hängt eng mit der Entwicklung der Mobilitätsbedürfnisse zusammen. Nutzerverhalten entscheidet über Auslastung und Sinnhaftigkeit der geschaffenen Infrastruktur und stellt damit einen wesentlichen For-

	<p>schungsgegenstand im Hinblick auf die Standortwahl zukünftiger Ladeinfrastruktur da.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umfassende parallele Prozessevaluierung in mehreren Schleifen sowie aussagefähige Ergebnisse zu aktuellen und künftigen Nutzeranforderungen an die Ladeinfrastruktur sind künftig notwendig um nachhaltige Lösungen umzusetzen.
--	---

Quellen:

- [1] Die Bundesregierung (Hrsg.) (2009). *Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung*. [Internet]. Verfügbar unter: http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf [08.03.2011].
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) (2010). *Elektromobilität: Umweltfreundlich und zukunftsfähig!* [Internet]. Verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/industrie,did=329150.html>. [08.03.2011].
- [3] Lunz, Benedikt; Prof. Dr. ir. De Donecker, Rik W. & Prof. Dr. Uwe Sauer (2010). *Analyse von Ladeinfrastrukturkonzepten für Elektromobilität*. Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.
- [4] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (Hrsg.) (2010). *Die zukünftige Elektromobilitätsinfrastruktur gestalten*.
- [5] Siemens (Hrsg.). (2010). *Business Strategy for ElectroMobility infrastructure*. Interview summary.
- [6] Bilgic, Winfried; Mathar, Sebastian & Achim Bahr (2010). *Resonante Energieübertragung als kontaktlose Ladetechnik zukünftiger Elektrofahrzeuge*. Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.
- [7] Schraven, Sebastian; Kley, Fabian & Martin Wietschel (2010). *Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung*. In: Working Paper Sustainability and Innovation. No. S 8 / 2010.
- [8] Büdenbener, Kathrin; Stetz, Thomas; Emmerich, Roy; Bätz-Oberhäuser, Fabian; Einfeld, Hauke & Martin Braun (2010). *Ladestrategien für Elektrofahrzeuge*. Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.

- [9] Benedikt Lutz, Benedikt; Dirk Uwe Sauer Dirk Uwe & Rik W. De Doncker (2011). *Ladeinfrastrukturkonzepte für Elektromobilität*. Vortrag auf der Life Needs Power, 05.04.2011, Hannover
- [10] Forschungsstelle für Energiewirtschaft (Hrsg.) (2010). *Modellregion Elektromobilität München. Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeuge im Münchner Individualverkehr bis 2030*.
- [11] Hennings, Wilfried & Jochen Linssen (2010). *Welche Netzdienstleistungen können Elektrofahrzeuge sinnvoll erbringen?* Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.
- [12] Helmschrott, Thomas; Perissinotto, Devid; Scheufen, Martin & Prof. Dr. Armin Schnettler (2010). *Integriertes Verkehrs- und Energieflussmodell*. Beitrag auf dem VDE-Kongress 2010 in Leipzig.
- [13] Rudel, Roman & Rainer Bacher (2010). *Swiss2G – Pilot- and Demonstration Project. Jahresbericht 2010*.
- [14] Schnettler, Armin; Szczechowicz, Eva & Thomas Pollok (2010). *Elektromobilität: Forschungsthemen und Auswirkungen auf die Infrastruktur*. Beitrag auf der e-world 2010.
- [15] ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (Hrsg.) (2010). *Energiekonzept 2050. Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien*.
- [16] WWF Deutschland (Hrsg.). (2009). *Auswirkungen von Elektroautos auf den Kraftwerkspark und die CO₂-Emissionen in Deutschland*.
- [17] Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010). *Dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2020 mit Ausblick 2015*.
- [18] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010). *Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen*.
- [19] Leonhard, Werner (2008). *Energiespeicher – eine Voraussetzung für die Integration natürlicher Energiequellen in das elektrische Verbundnetz*.
- [20] BEE (Hrsg.) (2010). *Elektromobilität und Erneuerbare Energien. BEE-Position*.

- [21] Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010). *Analyse der Notwendigkeit des Ausbaus von Pumpspeicherwerken und anderen Stromspeichern zur Integration der erneuerbaren Energien*. Abschlussbericht.
- [22] Kleinmaier, Martin (2009). *Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger*.
- [23] Institut für Energie- und Umweltforschung (Hrsg.) (2009). *Wasserstoff und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbaren Energien: Analyse der kurz und mittelfristigen Perspektive*.
- [24] BMWi (Hrsg.) (2009). *Stand und Entwicklungspotenzial der Speichertechniken für Elektroenergie – Ableitung von Anforderungen an und Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie*
- [25] Kurrat, Michael (2010). *Herausforderungen und Lösungen für Verteilungsnetze der Zukunft*.
- [26] Schröppel, Wolfgang (2010). *Energiespeicher: Integration erneuerbarer Energien*.
- [27] Kleinmaier, Martin (2011). *Speicherbedarf in Systemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien*. Beitrag auf der Life Needs Power am 07.04.2011 in Hannover.
- [28] Institut für Innovation und Technik (Hrsg.) (2010). *Smart Home in Deutschland*. Untersuchung im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung zum Programm Next Generation Media (NGM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.
- [29] VDE (Hrsg.) (2010). *Energieinformationsnetze und -systeme Bestandsaufnahme und Entwicklungstendenzen*.
- [30] VDE (Hrsg.) (2010). *Smart Distribution 2020. Virtuelle Kraftwerke in Verteilungsnetzen. Technische, regulatorische und kommerzielle Rahmenbedingungen*.
- [31] Nationale Plattform Elektromobilität (Hrsg.) (2011). *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität*
- [32] Klima- und Energiefonds (Hrsg.) (2009). *e-connected Abschlussbericht*.
- [33] Acatech (Hrsg.) (2010). *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann*. In: acatech bezieht Position Nr. 6.
- [34] Energie Impuls OWL e.V. (Hrsg.) (2010). *Klimafreundliche Elektromobilität: Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020*.

- [35] Opportunity (2010). *Elektromobilität – Perspektiven und Chancen für Unternehmen*.
- [36] Schill, Wolf-Peter (2010). *Elektromobilität: Kurzfristigen Aktionismus vermeiden, langfristige Chancen nutzen*.
- [37] Studie Horváth & Partner
- [38] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (Hrsg.) (2010). *Potenziale der Elektromobilität bis 2050 - Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration*.
- [39] Stadtwerke München (Hrsg.) (2010). *Modellregion München – Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030*.
- [40] Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (Hrsg.) (2010). *Erneuerbare Energien und Elektromobilität. Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020*.
- [41] VDE (Hrsg.) (2010). *Elektrofahrzeuge – Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf*.
- [42] Röth, Thilo (2011). *Ec2Go – Weltweit erstes ganzheitliches E-Car-Sharing- Mobilitätskonzept*. Beitrag auf dem dritten deutschen Elektro-Mobil Kongress am 08. Juni 2011 in Bonn.
- [43] Accenture (Hrsg.) (2011). *Plug-in electric vehicles. Changing perceptions, hedging bets*.
- [44] Cama (Hrsg.) (2010). *Elektromobilität 2010. Wahrnehmung, Kaufpräferenzen und Preisbereitschaft potenzieller E-Fahrzeug-Kunden*.
- [45] Peters, Anja & Elisabeth Dütschke (2010). *Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität. Analyse aus Expertensicht*.
- [46] BITKOM (Hrsg.) (2010). *Studie „Elektromobilität“*.
- [47] Modellregion Elektromobilität Sachsen (Hrsg.) (2011). *Flottenbetrieb mit Elektrofahrzeugen und Flottenmanagement unter dem Aspekt der Elektromobilität in der Modellregion Sachsen*. Zusammenfassung der Ergebnisse der zweiten Befragung sächsischer Flottenbetreiber.
- [48] Universität Duisburg Essen (Hrsg.) (2011). *Ergebnisse des ColognE-mobil Projekts*.
- [49] Modellregion Elektromobilität München (Hrsg.) (2011). *Ergebnisse Feldversuch. Modellregion Elektromobilität München*.

[50] Schwedes, Oliver (2011). *Die politischen Rahmenbedingungen der Genehmigung von Ladeinfrastruktur für Elektroverkehr im öffentlichen Raum.*

6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

7 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des BMU

Wie im Kapitel 2 (Zielstellung des Verbundprojektes) beschrieben, ist es erklärtes Ziel der Bundesregierung, die Nachhaltigkeit der deutschen Volkswirtschaft zu stärken. Im Rahmen ihrer Klimaschutzpolitik will sie dabei den Anteil der Erneuerbaren Energien am deutschen Strommix deutlich erhöhen und setzt insbesondere auf den Ausbau der Windenergie. Ein Beitrag soll durch eine geeignete Laststeuerung respektive durch Speicherung überschüssiger Windenergie in Batterien von Elektrofahrzeugen geleistet werden. Im Projekt MINI E 2.0 leisten die Projektpartner ihren Beitrag dazu durch eine Weiterentwicklung des intelligenten Ladens mit der Applikation Wind-to-Vehicle zur Anwendung bei Pendlern mit eigenem Stellplatz, für Gewerbekunden mit eigenem Fuhrpark und im Rahmen des Anwendungsfelds Carsharing. Außerdem wird das diesbezügliche Potential der Kunden ohne eigenen Stellplatz („Laternenparker“) erkundet. Im Endeffekt tragen die Projektergebnisse dazu bei, Anwendungen zu finden, die Windenergie besser nutzbar und speicherbar machen.

Ein weiteres Ziel der Bundesregierung ist es, Deutschland zu einem Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Bei der Betrachtung der gesamten Energiekette weisen batterieelektrische Fahrzeugantriebe die höchste Effizienz auf. Der Vorteil dieser Technologie besteht darin, dass sie keine antriebsbedingten Emissionen ausstößt, wobei neben CO₂ und Luftschadstoffen insbesondere Lärm zu nennen ist. Vor allem in Ballungsräumen können sie damit einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Umwelt- und Lebensqualität leisten.

Das förderpolitische Ziel der Systemintegration der Erneuerbaren Energien in nachhaltige Verkehrssysteme wurde unterstützt. Im Projekt wurde weitgehend Strom aus Erneuerbaren Energien verwendet, dessen Herkunft durch Zertifikate nachgewiesen wurde. Die regenerative Energie wurde entsprechend dem Erzeugungsaufkommen zeitgleich (über Gesteuertes Laden) genutzt. Dies führt netzseitig zu einer Entlastung des Regelbedarfs. Somit wird sowohl eine nachhaltige Mobilität als auch ein Beitrag zur Entwicklung nachhaltiger Versorgungsstrukturen hergestellt.

Die lokal emissionsfreien Elektrofahrzeuge bieten in Verbindung mit Strom aus Erneuerbaren Energien das Potential, die CO₂-Emissionen entlang der Gesamtkette (Well-to-

Wheel) drastisch abzusenken. Dieser Sachverhalt trägt zum Klimaschutzziel durch CO₂-Senkung bei.

Mit dem Einsatz des MINI E erproben verschiedene Nutzer die Elektromobilität unter Alltagsbedingungen. Dank der wissenschaftlichen Begleitforschung im Projekt MINI E 2.0 konnten viele Erkenntnisse im Hinblick auf den Energiebedarf und Nutzerakzeptanz, Mobilitätsverhalten sowie die Integration der Fahrzeuge in das Energiesystem gewonnen werden.