RheinlandPfalz

NETZWERK ELEKTROMOBILITÄT

Forschungsergebnisse

Geleitwort

Dem Verkehrssektor in Deutschland kann ein Viertel des jährlichen Endenergieverbrauchs und ca. ein Fünftel der Treibhausgasemissionen zugeschrieben werden. Um die gesetzten Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen, bedarf es einer Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen. Die Elektromobilität ermöglicht insbesondere bei Nutzung regenerativ erzeugter Energie eine erhöhte Effizienz im Verkehrssektor durch den besseren Wirkungsgrad des Antriebs und kann somit zu einer Reduktion der Emissionen des Verkehrs beitragen.
Zur Einführung und Förderung der Elektromobilität in Rheinland-Pfalz wurde ein Netzwerk mit Partnern aus der (Zuliefer-)Industrie, Handwerk, Fuhrpark- und Parkraumbetreibern, der Energiewirtschaft, Kommunen und Wissenschaft eingerichtet. Die Ministerien für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (MWKEL) und des Innern, für Sport und Infrastruktur (ISIM) unterstützten die Netzwerkarbeit sowohl finanziell als auch durch aktive Mitarbeit bei Projektveranstaltungen und –aktivitäten. Übergeordnetes Ziel des Netzwerks Elektromobilität Rheinland-Pfalz ist die Auslotung der Anwendungsmöglichkeiten von Elektromobilität unter Berücksichtigung einer erneuerbaren Energieversorgung und den ländlichen Strukturen im Land. Dies betrifft sowohl Mobilitäts- als auch Infrastrukturkonzepte, die entwickelt, implementiert und auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden sollen. Dazu dient der Verbund von Partnern aus Forschung und Wissenschaft mit Praxispartnern.
Das Gesamtprojekt umfasste neben Forschungsarbeiten zu verschiedensten Aspekten, auch eine Demonstration in Form von Feldtests und praktischen Untersuchungen. Außerdem gehörte die aktive Vernetzung aller Partner zu den wesentlichen Aufgaben. Alle durchgeführten Arbeiten und Aktivitäten ergeben sich aus acht Modulen, deren Ergebnisse in dieser dieser Dokumentation vorgestellt werden. Ergänzt werden die Ausführungen durch einen Erfahrungsbericht zum Feldtest an der TU Kaiserslautern:

- Modul 1 + 2: Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit
- Modul 3: Feldtests
- Modul 4: Demonstrationsprojekt nachhaltige Mobilität
- Modul 5: Demonstrationsprojekt Verbrauchsbewertung
- Modul 6: Standortkonzept Ladeinfrastruktur
- Modul 7a: Elektrofahrzeuge in lokalen regenerativen Energienetzen
- Modul 7b: Infrastrukturelles Versorgungsnetz für Elektromobilität
- Modul 7c: Elektromobilität in Energieversorgungsnetzen und dezentralen Energiemanagementsystemen
- Modul 8a: Ökobilanzierung von Elektrofahrzeugen
- Modul 8b: Regionale Wertschöpfung durch Elektromobilität
- Modul 8c: Elektromobile Konzepte und Geschäftsmodelle
- Erfahrungsbericht Feldtest TU KL

Die Erfahrungen und Ergebnisse aus den Arbeiten im Netzwerk Elektromobilität zeigen eindrücklich, welches Potential bereits heute in der Elektromobilität steckt. Gleichzeitig gibt es jedoch noch viele Hürden, die in den nächsten Jahren überwunden werden müssen, damit das Ziel der Bundesregierung von einer Million Elektrofahrzeuge im Jahr 2020 erreicht werden kann und die Elektromobilität sich auf lange Sicht in Deutschland etablieren kann. Dies gelingt nur, wenn die notwendigen Akteure aufeinander zugehen und kooperieren, da die Elektromobilität, ein sehr interdisziplinäres Feld ist, wie die Zusammensetzung der Netzwerkpartner aus unterschiedlichen Fachdisziplinen eindrücklich beweist.
An dieser Stelle bedanken wir uns nochmals bei allen Partnern für die gute Zusammenarbeit während der Projektlaufzeit und hoffen auf weitere spannende Elektromobilitätsprojekte in der nahen Zukunft.

Wir wünschen eine angenehme Lektüre!
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrike Reutter
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steven Liu

Inhaltsverzeichnis

Inhalt	Seite
Module 1 und 2: Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit	7
Modul 3: Feldtestflotte und Langzeiterhebung	17
Modul 4: Demonstrationsprojekt Nachhaltige Mobilität	29
Modul 5: Demonstrationsprojekt Verbrauchsbewertung	41
Modul 6: Standortkonzept Ladeinfrastruktur	51
Modul 7a: Elektrofahrzeuge in lokalen regenerativen Energienetzen	65
Modul 7b: Infrastrukturelles Versorgungsnetz für Elektromobilität	77
Modul 7c: Elektromobilität in Energieversorgungsnetzen und dezentralen Energiemanagementsystemen	95
Modul 8a: Ökobilanzierung von Elektrofahrzeugen	107
Modul 8b: Regionale Wertschöpfung durch Elektromobilität	117
Modul 8c: Elektromobile Konzepte und Geschäftsmodelle	129
Feldtest TU Kaiserslautern - Erfahrungsbericht	143
Impressum	152
Autorenverzeichnis	153

Module 1 und 2: Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit

Autoren: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrike Reutter
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steven Liu
Sascha Baron
Tim Nagel

1. Einführung

1.1 Beschreibung des übergeordneten Projektes

Um die gesetzten Klimaschutzziele bzgl. der CO2-Reduktion zu erreichen, bedarf es einer Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen. Die Elektromobilität ermöglicht insbesondere bei direkter Nutzung oder Speicherung überschüssiger regenerativ erzeugter Energie die Vermeidung von Treibhausgas- und motorbedingter Feinstaubemissionen. Weiterhin können Wirkungsgrade regenerativer Energieversorgung durch Nutzung alternativer Mobilitätskonzepte verbessert werden. Die Bundesregierung formuliert das Ziel, zwischen 2010 und 2020 Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Hierzu muss in allen Bereichen der Wertschöpfungskette innerhalb des Elektromobilitätssektors eine Weiterentwicklung erfolgen. Es ist daher wichtig, frühzeitig bisherige und zukünftige Akteure in diesen Entwicklungsprozess einzubinden. Zur Einführung und Förderung der Elektromobilität in Rheinland-Pfalz wurde ein Netzwerk mit Partnern aus der (Zuliefer-) Industrie, Handwerk, Fuhrpark- und Parkraumbetreibern, der Energiewirtschaft, Kommunen und Wissenschaft eingerichtet. Von Seiten des Landes Rheinland-Pfalz werden die Ministerien für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (MWKEL) und des Innern, für Sport und Infrastruktur (ISIM) eingebunden.

1.2 Ziele des Gesamtprojektes

Übergeordnetes Ziel ist die Erforschung von Anwendungsmöglichkeiten der Elektromobilität für Rheinland-Pfalz unter Berücksichtigung einer erneuerbaren Energieversorgung. Im Vordergrund steht daher eine „energieeffiziente Mobilität". Dies betrifft sowohl Mobilitäts- als auch Infrastrukturkonzepte, die entwickelt, implementiert und auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden sollen. Die Ergebnisse sollen als Grundlagenbausteine z. B. für Kommunen auf dem Weg hin zur Energieautarkie dienen.

Das Projekt gliedert sich in drei wesentliche Elemente:

- Netzwerkarbeit
- Begleitforschung
- Feldtests mit Langzeiterhebung

Das Netzwerk Elektromobilität verfolgt im Wesentlichen das Ziel, die Elektromobilität als eine Mobilitätsform der Zukunft zu etablieren. Wichtig sind dabei vor allem die Nutzung regenerativer Energien sowie eine positive Ökobilanz. Aufgrund der ländlich geprägten Strukturen in Rheinland-Pfalz werden neue Geschäftsmodelle benötigt, um die Elektromobilität für die Gesellschaft dauerhaft nutzbar zu machen. Dies bietet Chancen für Stadtwerke und regionale Versorger, neue Geschäftsbereiche zu erschließen.

In diesem langfristigen Projekt sollte unter anderem die Einbindung neuer Geschäftsmodelle in regionale sowie überregionale Netze und Netzwerke nicht vergessen werden. Wichtig ist dabei die Entwicklung von attraktiven Nutzungs- und Mobilitätskonzepten, die von Verbrauchern angenommen werden. Durch neue Geschäftsmodelle für die Nutzung der Elektromobilität wird eine regionale Wertschöpfung generiert, von dem die lokalen Kommunen und Unternehmen profitieren. Hierbei können auch Synergien genutzt werden, wenn Unternehmen, Institute, Hochschulen, öffentliche und kommunale Einrichtungen für gemeinsame Projekte zusammengebracht werden. Die Projekte sollten den Fokus jedoch immer auf Rheinland-Pfalz legen und sich von anderen Feldversuchen und Untersuchungen abheben.

1.3 Beschreibung und Ziele der Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit (Beschreibung der Module 1 und 2)

Der vorliegende Endbericht umfasst die Ergebnisse aus den Modulen 1 „Projektkoordination und Projektmanagement“ und 2 „Netzwerk Elektromobilität RLP“.

Modul 1 enthielt neben dem Projektmanagement bereits weitere Arbeitspakete zur
a) Öffentlichkeitsarbeit sowie zu
b) Aufbau und Betreuung der Netzwerkpartner und Fahrzeugnutzer.

Modul 2 umfasste die eigentliche Netzwerkarbeit im Sinne der Durchführung und Verstetigung. Darüber hinaus sollte ein sogenanntes „Steuerungsboard“ als Praxisbeirat aufgebaut werden.

Auf das Projektmanagement wird in diesem Bericht nicht eingegangen, da es sich hier vorrangig um administrative Arbeiten handelt. Nachweispflichten hierzu werden z. B. im Zuge der üblichen Verwendungsnachweise entsprochen. Dieser Bericht fokussiert daher auf die Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit innerhalb des Projektes.
Hauptziel der Netzwerkarbeit war ein Austausch zwischen den Akteuren, sie wurde darüber hinaus über den Projektzeitraum durch unterschiedliche Forschungsarbeiten flankiert. Der Projektzeitraum erstreckte sich insgesamt von August 2010 bis Dezember 2014.

Zielsetzungen der Netzwerkarbeit waren:
- Verzahnung von Forschung und Praxis,
- Zeitnahes Reagieren auf praxisrelevante Fragestellungen,
- Interdisziplinäre Vernetzung,
- Allianzen für neue bzw. künftige Demonstrationsprojekte,
- Multiplikation, Sensibilisierung und Wissenstransfer.

2. Aktivitäten der Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit

2.1 Bilanz der durchgeführten Aktivitäten

Nachfolgend ist die Zahl und Art der Aktivitäten kurz zusammengestellt. Diese werden in den weiteren Abschnitten detaillierter erläutert.

Art der Aktivität	Häufigkeit
Symposium	3
Netzwerktreffen	12
Vernetzung	8
Vortrag Extern	10
Messe / Ausstellung	3
Presse	2
Summe	38

Tab. M1/2-1: Bilanz der Aktivitäten

2.2 Beschreibung und Aufgabe der Vernetzungsarbeit

2.2.1 Organisationsstruktur

Die Koordinierung des Netzwerkes und der geplanten Feldtests erfolgt durch die Partner aus Forschung und Wissenschaft in Zusammenarbeit mit den Ministerien. Darüber hinaus wird ein Steuerungsboard eingeführt, welches dem Netzwerk beratend zur Seite steht („Praxisbeirat“). Die Struktur des Netzwerks ist in Abb. M 1/2-1 unten dargestellt.

2.2.2 Partner aus Forschung und Wissenschaft

Die Partner aus Forschung und Wissenschaft setzen sich zusammen aus der Technischen Universität Kaiserslautern, vertreten durch den Lehrstuhl für Regelungssysteme des Fachbereichs Elektrotechnik (LRS) und das Institut für Mobilität & Verkehr des Fachbereichs Bauingenieurwesen (imove), das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS), das Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) und die Transferstelle Bingen (TSB).

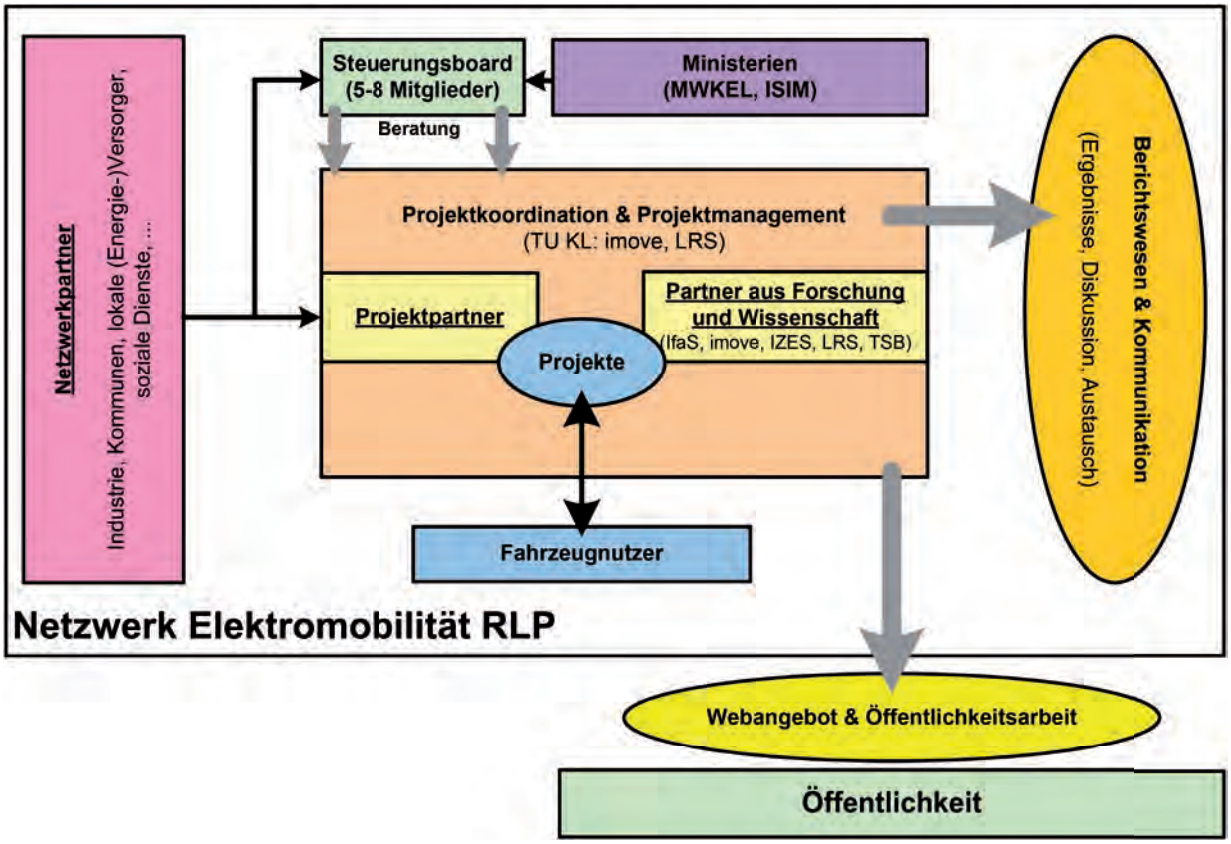


Abb. M1/2-1: Organisationsschema Netzwerk

Die Projektkoordination und das Projektmanagement wurden durch die oben genannten Einrichtungen der Technischen Universität Kaiserslautern durchgeführt. Sie übernahm auch die Organisation und Durchführung der Netzwerkarbeit, diese wird unter Abschnitt 2.2.5 genauer beschrieben.
Alle zuvor genannten Partner waren aktiv in die Begleitforschung eingebunden und in der Netzwerkarbeit vertreten.

2.2.3 Steuerungsboard

Aus der Mitte der Netzwerkpartner wurde ein Steuerungsboard gebildet, welches dem Netzwerk und den politischen Gremien beratend zur Seite steht. Dabei handelt es sich um einen „Praxisbeirat", der aus jeweils einem Vertreter der folgenden Organisationen zusammengesetzt ist:

- juwi, Wörrstadt,
- EWR, Worms,
- TWL, Ludwigshafen,
- BASF, Ludwigshafen,
- SWK, Kaiserslautern,
- Bfu/Görlitz, Koblenz,
- MWKEL,
- ISIM.

2.2.4 Netzwerkpartner

Das Netzwerk Elektromobilität Rheinland-Pfalz bündelt rheinland-pfälzische Akteure aus den Bereichen der Automobil- und Energiewirtschaft, Handwerksbetriebe, Kommunen, Verkehrsbetriebe und Forschungseinrichtungen, die in der Elektromobilität aktiv sind.
Eine Vernetzung erfolgte zwischen den als relevant identifizierten Akteuren aus den Bereichen (siehe Anhang):

- Industrie, Handwerk, Dienstleister,
- Städte und Kommunen,
- Energieversorger und Verkehrsbetriebe,
- Ministerien, Verbände und öffentliche Betriebe,
- Forschung und Wissenschaft.

2.2.5 Netzwerktreffen

Insgesamt konnten 12 Netzwerktreffen durchgeführt werden, wobei das erste Treffen einem Projekt Kick-Off gleichzusetzen ist und zunächst nur mit den Ministerien und den Partnern aus Wissenschaft und Forschung stattgefunden hatte.

Die übrigen Netzwerktreffen rotierten über die im Projekt vertretenen Praxispartner (vgl. 2.2.4), wodurch diese die Gelegenheit erhielten sich und ihre Aktivitäten im Bereich Elektromobilität vorstellen zu können. Die Treffen dienten in erster Linie dazu, den Stand der Forschungsarbeiten und politischen Aktivitäten hinsichtlich der Elektromobilität in Rheinland-Pfalz und auf Bundesebene zu kommunizieren. Außerdem wurden die Treffen dafür genutzt, Praxisimpulse für die Begleitforschung zu erhalten, dies wird beispielsweise in Modul 8c „Elektromobile Geschäftsmodelle" unter methodischer Einbeziehung der Partnerinnen und Partner deutlich. Ein wichtiges Anliegen der Treffen war der Austausch zwischen den Partnern um hierdurch, gerade in der Anfangsphase der Elektromobilität, neue Allianzen zu etablieren und insofern Akteure aus Rheinland-Pfalz im Sinne der Wirtschaftsförderung zusammen zu bringen.

Die jeweils für einen Tag andauernden Treffen folgten dabei in der Regel dem folgenden Ablauf:

1) Neuigkeiten aus der Netzwerkarbeit und den Ministerien / der Politik
2) Berichte aus der Begleitforschung
3) Praxisteil, bei dem die Partner in die Forschung einbezogen werden konnten ODER
4) Vorträge von externen Referentinnen und Referenten aus dem Themenbereich Elektromobilität,
5) Darstellung der Aktivitäten im Bereich Elektromobilität durch die gastgebende Organisation
6) Werksbesichtigung

Die durchschnittliche Teilnehmerzahl lag bei rund 40 Personen je Netzwerktreffen.

2.2.6 Treffen der Elektrofahrzeugnutzerinnen und -nutzer

Bei Beantragung des Projektes war es geplant, für die Feldtestpartner ein Forum zum Erfahrungsaustausch zu etablieren. Während der Projektbearbeitung zeigte sich, dass dieser Aspekt vollständig in die oben genannten Netzwerktreffen integriert werden konnte.
Zum einen ergab sich dies aus dem relativ späten Start der Flottenfeldtests im Laufe des Jahres 2012, zum anderen entsprach dies auch dem Wunsch der Praxispartner.

2.2.7 Symposien

Am 26. und 27. Juni 2013 wurde ein Zwischensymposium zusammen mit der Energieagentur Rheinland-Pfalz in Kaiserslautern durchgeführt. In sechs Schwerpunkten konnten sich die TeilnehmerInnen mit Energienetzen, Geschäftsmodellen, ökologischen und ökonomischen Aspekten, Nutzern und Nutzerverhalten und Demonstrationsprojekten in Rheinland-Pfalz befassen. Dargestellt wurden die Zwischenergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung.
Für den 17. und 18. November 2014 war ein abschließendes Symposium in Mainz geplant. Mangels erforderlicher Mindestteilnehmerzahl konnte es nicht durchgeführt werden. In Rücksprache mit den Ministerien und der Energieagentur ist eine Verbreitung der Projektergebnisse auch im Rahmen der Veranstaltungen der Energieagentur in 2015 geplant.

2.3 Beschreibung und Aufgabe der Projektwebseite

Mit www.emobil-rlp.de wurde ein Internetauftritt geschaffen der sowohl zur Öffentlichkeitsarbeit als aber auch zur projektinternen Kommunikation dient.
Der öffentliche Bereich dient der Information zu aktuellen Nachrichten aus dem Projekt und anstehenden öffentlichen Terminen. Er bildet zusätzlich die Informationen zum Gesamtprojekt hinsichtlich Netzwerkarbeit und Begleitforschung ab.

Zusätzlich gibt es einen internen Bereich, der den Netzwerkpartnern vorbehalten ist. Der interne Bereich ist zusätzlich in Bereiche für die Forschung und alle Netzwerkpartner unterteilt. Ergänzend zum öffentlichen Bereich sind hier folgende Informationen hinterlegt:

- Dokumentationen sämtlicher Netzwerktreffen und Symposien (Protokolle, Vorträge, Bilder)
- Informationen zu den Feldtests
- Zwischen- und Endergebnisse der Begleitforschungsmodule
- Kontaktdaten der Netzwerkpartner

Die Partner haben zusätzlich die Möglichkeit eigene Informationen einzupflegen. Neben der Pflege des eigenen Profils und den damit verbundenen Kontaktdaten umfasst dies das Anlegen und Verwalten von Veranstaltungsterminen.

Dem Datenschutz wird durch Verschlüsselungstechnologien für den Zugriff auf den internen Bereich entsprochen. Über Nutzervereinbarungen sowie die Möglichkeit beispielsweise eigene Kontaktdaten selektiv freizugeben wird dem Schutz personenbezogener Daten entsprochen.
Dies wurde auch bei der Wahl des in Deutschland ansässigen Providers berücksichtigt, dessen Datenschutzrichtlinie und Implementierung dem technischen Stand entspricht.
Die Seite ist mit dem Content Management System (CMS) Typo3[1] aufgebaut worden, da es sich hierbei um Open-Source handelt und eine flexible Erweiterbarkeit und Modifikation möglich ist. Die Funktionalitäten des internen Bereichs wurden für die Nutzer in Form eines digitalen Handbuchs dokumentiert.

2.4 Presse- und Öffentlichkeitsarbeit / Vernetzung

Während des Projektes wurden die Medien mit Pressemitteilungen über Aktivitäten und deren zentralen Ergebnissen informiert. An verschiedenen Veranstaltungen hat sich das Netzwerk Elektromobilität RLP auch aktiv beteiligt, dies beispielsweise in Form von Impuls- und Inputvorträgen, Messeständen und Fahrzeugausstellungen zur Elektromobilität in der Region.

1) http://www.typo3.org

Darüber hinaus gab es Anstrengungen zur Vernetzung, beispielsweise in die Großregion[2] und in die Nachbarbundesländer Baden-Württemberg und Hessen. Gemeinsam mit Hessen wurde auch ein Antrag für das Bundesforschungsprogramm „Schaufenster Elektromobilität" erarbeitet.

3. Evaluation

3.1 Nutzerstatistik der Projektwebseite

Für die Evaluation der Projektwebseite kam das Open-Source Werkzeug Piwik[3] zum Einsatz. Hierfür wurde eine eigene Instanz direkt auf der Projektwebseite installiert, so dass die erhobenen Nutzungsdaten direkt an der Stelle gespeichert werden, wo sie entstehen. Im Gegensatz zu Google-Analytics findet also keine Übertragung von Nutzungsdaten an dritte Server statt, da die hier gewählte Methode in einem separaten Bereich innerhalb der Serverumgebung der Projektwebseite gespeichert wird. Der Zugriff auf diese Daten ist darüber hinaus nur den Seitenadministratoren möglich. Dem Datenschutz wird in gleicher Weise entsprochen, wie es bereits unter 2.3 beschrieben wurde.

3.1.1 Besucherzahlen / Hits

Im Projektzeitraum konnten rund 150 Aufrufe je Monat gezählt werden.

Zeitraum	Zugriffe
05.08.2011 – 31.12.2011	1107
01.01.2012 – 31.12.2012	1705
01.01.2013 – 31.12.2013	1777
01.01.2014 – 05.11.2014	1492
Summe	6081

Tab. M1/2-2: Zugriffe über Projektlaufzeit

2) Zur Großregion zählen die Staaten bzw. Regionen: Luxemburg, Wallonie (Belgien), Lothringen (Frankreich), Saarland und Rheinland-Pfalz
3) http://www.piwik.org

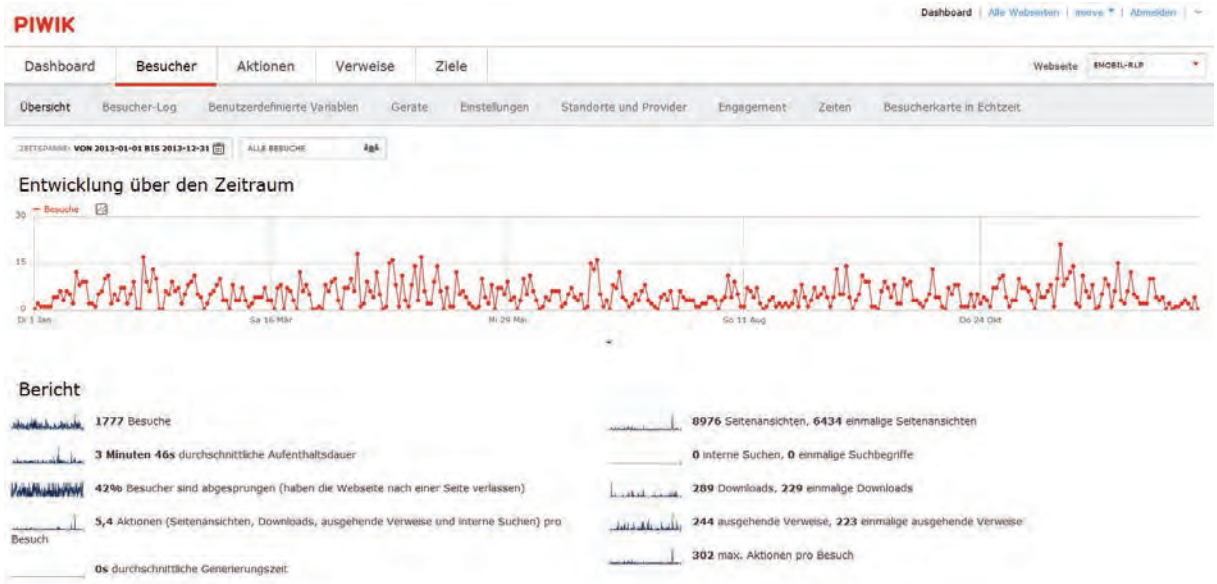


Abb. M1/2-2: Auszug Zugriffstatistik (Jahr 2013)

3.2 Beurteilung ausgewählter Netzwerktreffen

Die Netzwerktreffen wurden mittels vor Ort ausgeteilter Kurzfragebögen durch die Teilnehmenden bewertet. Exemplarisch ist die Vorgehensweise hier anhand eines Treffens dargestellt. Die Feedbacks wurden zur inhaltlichen Planung der weiteren Netzwerktreffen verwendet um hierdurch auch weiterhin ein für die Teilnehmenden interessantes Programm zu gestalten.

Im Verlauf des Projektes konnte hierdurch beispielsweise eine Anfangs zu hohe Theorielastigkeit identifizert werden, welcher damit begegnet wurde, dass Blöcke hinsichtlich „Praxiserfahrungen“ sowie zur aktiven Mitarbeit aufgenommen wurden. Die Theorieblöcke wurden hierfür verkleinert und zur weiteren wissenschaftlichen Diskussion in Form der Symposien intensiv der interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Der Rücklauf der Feedbacks lag meist im unteren Drittel gemessen an der Zahl der Teilnehmenden. (Abbildungen folgende Seite)

4. Zusammenfassung und Fazit

Die Vernetzung zwischen Industrie, Handwerk, Kommunen, Verbänden und Wissenschaft stand im Vordergrund des Projektes. Hierdurch sollte eine ziel- und praxisorientierte Forschung zur Elektromobilität für Rheinland-Pfalz erreicht werden.

Durch die Netzwerkarbeit konnte hierfür ein wichtiger Baustein geschaffen werden, da durch ihre Regelmäßigkeit ein intensiver Austausch zwischen den Partnern erreicht werden konnte. Hierdurch konnten auch Hinweise und neue Überlegungen in die laufenden Forschungsarbeiten aufgenommen werden. Besonders intensive Verzahnungen sind beispielsweise in den Workshops zu sehen, die direkt mit einzelnen Forschungsmodulen verknüpft waren (z. B. M8c „Elektromobile Geschäftsmodelle“). Hierdurch konnte ein großes Potenzial an Praxiserfahrungen erschlossen werden.

Zum Abschluss des Projektes umfasst das Netzwerk annähernd 100 Kontakte aus Rheinland-Pfalz. Die durchschnittliche Teilnehmerzahl bei den Netzwerktreffen lag bei rund 40 Personen.

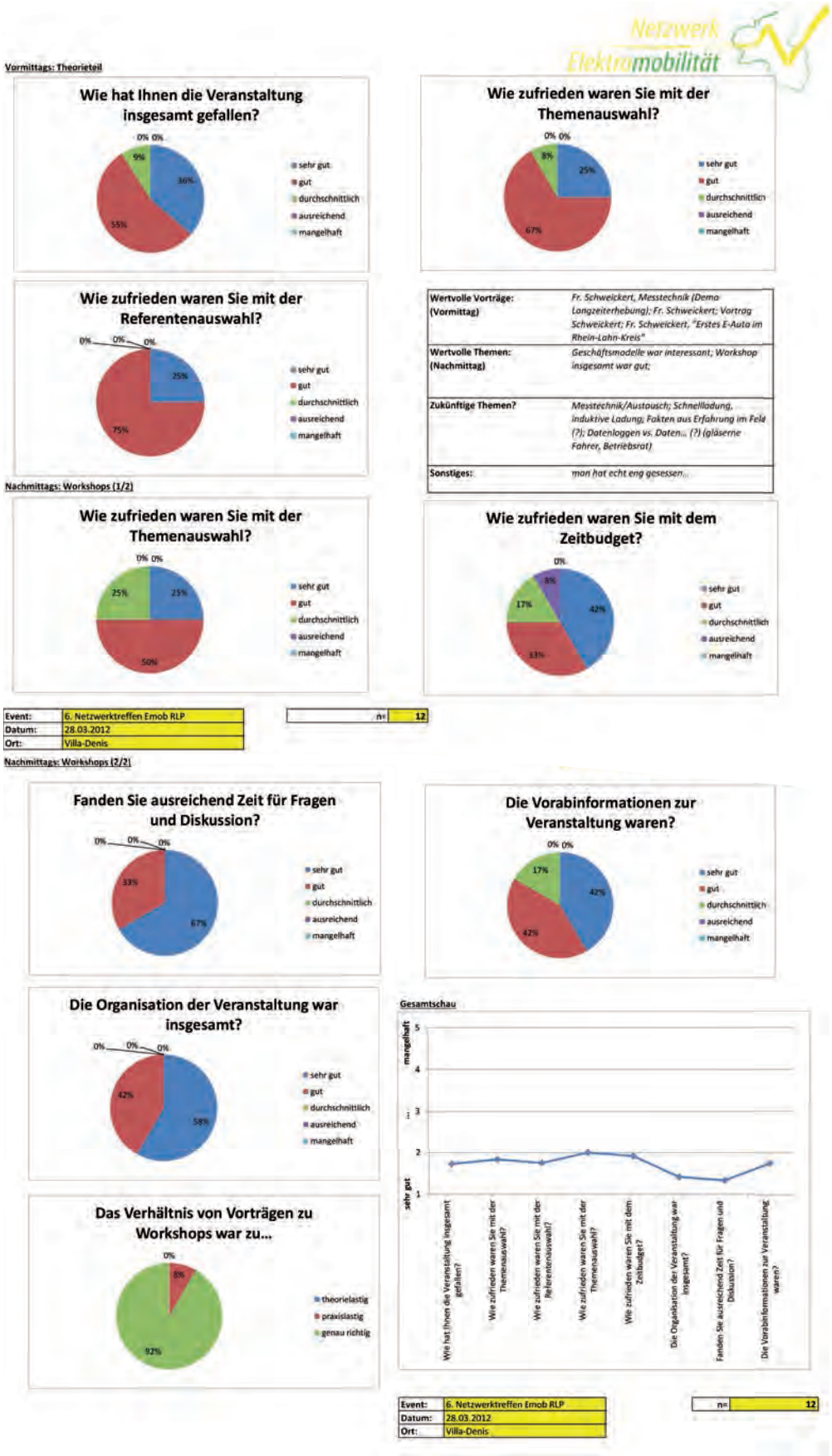


Abb. M1/2-3: Beurteilung von Netzwerktreffen 1/2 und Abb. M1/2-4: Beurteilung von Netzwerktreffen 2/2

5. Anhang

5.1 Überblick der Aktivitäten Projektzeitraum

Datum	Art der Aktivität	Titel der Veranstaltung	Ort
21.05.2010	Symposium	Auftakt-Symposium	Mainz, Kurfürstliches Schloss
26.07.2010	Netzwerktreffen	Gründungstreffen - Netzwerktreffen "0"	Kaiserslautern, EOR
15.10.2010	Netzwerktreffen	1. Netzwerktreffen	Frankenstein, Villa Denis
02.01.2011	Vernetzung	Effnet Kooperation / Datenbank	Kaiserslautern, EOR
26.01.2011	Netzwerktreffen	2. Netzwerktreffen	Kaiserslautern, TU KL
31.03.2011	Netzwerktreffen	3. Netzwerktreffen	Eisenberg, Walther-Werke
14.04.2011	Vortrag Extern	EU-Aktionswoche nachhaltige Mobilität	Kaiserslautern, Stadt
13.05.2011	Vernetzung	KWIS Datenbank Landesforsten	RLP
17.08.2011	Netzwerktreffen	4. Netzwerktreffen	Koblenz, Umweltamt / Stadt
01.10.2011	Vernetzung	Schaufenster: Mitarbeit Hessen	Frankfurt, Planungsverband und FH
26.10.2011	Vortrag Extern	Effizienznetz RLP - Netzwerk Emobilität	Trier, Handwerkskammer und Energieagentur
15.11.2011	Netzwerktreffen	5. Netzwerktreffen	Wörrstadt, juwi
22.11.2011	Vernetzung	energie-komm Energieagentur/EOR	Kaiserslautern, EOR
28.03.2012	Netzwerktreffen	6. Netzwerktreffen	Frankenstein, Villa Denis
26.04.2012	Vortrag Extern	VDE-Kolloquium Elektromobilität	Kaiserslautern
27.08.2012	Vortrag Extern	Überblick Ladeinfrastruktur	Ludwigshafen, BASF
05.09.2012	Vortrag Extern	2. Elektromobilitätstagung	Birkenfeld, Umweltcampus
24.09.2012	Messe / Ausstellung	IAA-Nutzfahrzeuge, Rheinland-Pfalz Stand	Hannover
10.10.2012	Messe / Ausstellung	F-cell, BATTERY+STORAGE und e-mobil BW TECHNOLOGIETAG (Messestand)	Stuttgart, Messe
08.11.2012	Netzwerktreffen	7. Netzwerktreffen	Kaiserslautern, Betzenberg
09.11.2012	Vernetzung	Nacht die Wissen schaft 2012	Kaiserslautern, TU KL
09.04.2013	Netzwerktreffen	8. Netzwerktreffen	Ludwigshafen, BASF
16.05.2013	Presse	Nachrichtenblatt Rheinhessen: Feldtest Wörrstadt	Wörrstadt, juwi
26.06.2013	Symposium	Zwischensymposium (2tägig)	Kaiserslautern, Energieagentur
29.06.2013	Messe / Ausstellung	Spritspartraining: Ausstellung E-Fahrzeuge	Enkenbach, Ortsgemeinde, Landeszentrale für Umweltaufklärung, Landesverkehrswacht
02.10.2013	Vortrag Extern	3. Elektromobilitätstagung UCB	Birkenfeld, Umweltcampus
19.10.2013	Vortrag Extern	Nachhaltiger Mobilität/Mobilität der Zukunft	Enkenbach-Alsenborn
18.11.2013	Netzwerktreffen	9. Netzwerktreffen	Bad Kreuznach, Stadt
21.11.2013	Vernetzung	Energiekongress der Großregion	Trier
30.01.2014	Vortrag Extern	Energieagentur: Nachhaltige Mobilität	Kaiserslautern, Energieagentur
27.02.2014	Netzwerktreffen	10. Netzwerktreffen	Kaiserslautern, SWK
25.04.2014	Vernetzung	Nacht die Wissen schaft 2014	Kaiserslautern, TU KL
09.05.2014	Vernetzung	Forum der Volksbank KL	Kaiserslautern, Volksbank
09.05.2014	Vortrag Extern	EOR-Forum	Kaiserslautern, HWK Pfalz (BTZ)
26.06.2014	Netzwerktreffen	11. Netzwerktreffen	Horrweiler, BEM / enorm
30.07.2014	Presse	Beitrag Rheinpfalz Marktplatz Regional	LK Kaiserslautern
25.09.2014	Vortrag Extern	2tägig	Bad Kreuznach, Stadt
17.11.2014	Symposium	Abschluss-Symposium (2tägig)	Mainz, Kupferbergterassen

Tab. M1/2-3: Überblick Aktivitäten des Netzwerks

5.2 Überblick über die im Netzwerk vertretenen Organisationen / Institutionen

- Automobil-Zulieferinitiative Rheinland-Pfalz
- BASF SE
- BEM-Landesvertretung Rheinland-Pfalz
- Boehringer Ingelheim Pharma GmbH & Co. KG Logistics & Fleet Management
- Commercial Vehicle Cluster
- EffizienzOffensive Energie Rheinland-Pfalz e.V.
- Elektromaschinenbau Wittlich GmbH
- Energieagentur Rheinland-Pfalz
- Energieversorgung Mittelrhein AG (evm)
- EnORM e.V.
- EWR AG
- FH Bingen
- Flinc AG
- Görlitz AG
- Handwerkskammer der Pfalz
- Hochschule Koblenz
- Ifas - Institut für angewandtes Stoffstrommanagement
- IHK Zetis GmbH
- Ingenieurbüro für Elektromobilität, Köln
- Institut für Zukunftsenergiesysteme IZES gGmbH
- ITB gGmbH, Transferstelle Bingen
- juwi
- KEVAG
- Kirsch Homeenergy GmbH
- Kraftfahrzeuggewerbe Rheinland-Pfalz e.V.
- Kreisverwaltung Rhein-Lahn
- Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
- Landesverband der Energie- und Wasserwirtschaft Hessen/Rheinland-Pfalz e. V. Hessen/ Rheinland-Pfalz
- LBM Rheinland-Pfalz
- LDEW Landesverband der Energie- und Wasserwirtschaft Hessen/ Rheinland-Pfalz e.V.
- Ministerium des Innern, für Sport und Infrastruktur (ISIM)
- Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (MWKEL)
- MVG - Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH
- Ok Motorräder

- ORTEN GmbH & Co. KG
- Pfalzwerke
- Schmitz Haustechnik
- SCIUS Consulting GmbH
- SGD Nord
- Stadt Bad Kreuznach
- Stadt Bingen
- Stadt Koblenz
- Stadt Mainz
- Stadt Trier (Schweich, Konz)
- Stadt Worms
- stadtmobil Rhein-Neckar AG
- Stadtverwaltung Ingelheim
- Stadtverwaltung Kaiserslautern
- Stadtverwaltung Trier
- Stadtwerke GmbH Bad Kreuznach
- Stadtwerke Mainz AG
- Stadtwerke Mainz Netze GmbH
- SWK - Stadtwerke Kaiserslautern
- Technische Werke Ludwigshafen
- Terramunda
- Transferstelle Bingen
- TRW Automotive, Koblenz
- TU Kaiserslautern - Institut für Mobilität & Verkehr (imove)
- TU Kaiserslautern - Juniorprofessur für Elektromobilität, Fachbereich EIT
- TU Kaiserslautern - Lehrstuhl für Regelungssysteme (LRS)
- Umweltzentr. f. Energie und Nachhaltigkeit der HWK Trier
- vancom GmbH & Co. KG
- Verbandsgemeindeverwaltung Wörrstadt
- Walther Werke

Modul 3: Feldtestflotte und Langzeiterhebung

Autoren: Tim Nagel, Felix Berkel, Sascha Baron

1. Einführung

Neben wissenschaftlichen Untersuchungen war ein Ziel der Netzwerkarbeit die Durchführung umfangreicher Feldtests in Kooperation mit Netzwerkpartnern in Rheinland-Pfalz. Im Fokus stand dabei die Gewinnung praktischer Erfahrungen beim Einsatz von Elektrofahrzeugen. Durch die enge Verzahnung mit der wissenschaftlichen Begleitforschung sollten hierbei auch neu auftretende Fragestellungen zeitnah und flexibel mit Informationen aus der realen Fahrzeugnutzung verknüpft werden. Hierbei stand nicht primär die technische Weiterentwicklung von Fahrzeugen im Vordergrund, vielmehr ging es um die Identifikation, Konzeption und Implementation einer energieeffizienten Mobilität in Rheinland-Pfalz mit den zum Beginn der Feldtests zur Verfügung stehenden elektrischen Fahrzeugen. Die Erfahrungen in und aus der Praxis spielen dabei eine bedeutende Rolle. Allen Feldtests gemeinsam war eine Langzeiterhebung und zentrale Aufbereitung verschiedener Mess- und Nutzungsdaten. Sie folgten dabei einer verkehrs-/sozialwissenschaftlich bzw. einer technisch orientierten Logik und konnten im Rahmen der Forschungsaktivitäten von allen Partnern aus Wissenschaft und Forschung genutzt werden. Zur besseren öffentlichen Sichtbarkeit des Vorhabens wurden alle geförderten Fahrzeuge mit einem einheitlichen Corporate Design mit Bezug auf Fördermittelgeber und Netzwerk ausgestattet.
In den nachfolgenden Kapiteln werden zunächst die Hintergründe, Ziele und der formale Ablauf der Feldtests beleuchtet. Hierbei wird neben dem technischen Konzept erläutert, welche Daten erfasst wurden. Auch das erarbeitete Datenschutzkonzept wird beleuchtet. Das folgende Kapitel 4 stellt die beteiligten Feldtestpartner sowie Fahrzeuge und deren Einsatzzwecke kurz vor. Abschließend werden einige exemplarische Ergebnisse gezeigt. Weitergehende Informationen finden sich in ergänzenden Berichten, welche in elektronischer Form zur Verfügung stehen.

2. Ziele, Konzept und Ablauf

2.1 Anlass und Zielsetzung

Viele bekannte Studien zur Elektromobilität nutzen lediglich Informationen von Situationen vor Fahrtantritt oder nach Fahrtende und beschränken sich damit auf reagierende Untersuchungen, welche einer subjektiven Verzerrung unterliegen. Untersuchungen, die Daten kontinuierlich während der Fahrt auswerten, sind bislang eingeschränkt durch fehlende Ortsbezüge sowie durch fehlende Informationen zum Nutzerverhalten. Diese Lücke galt es mit einer Messtechnik für Langzeiterhebungen in RLP zu schließen. Als essentielle Grundlage für die bereits bewilligte Begleitforschung trägt sie zur Wirkungsabschätzung bei, indem sie einer sozial-/ verkehrswissenschaftlichen sowie technischen Logik folgt. Mit seiner in weiten Landesteilen stark bewegten Topographie sowie seiner ländlich geprägten Struktur ist Rheinland-Pfalz ein autogeprägtes Bundesland. Der resultierende hohe Anteil des motorisierten Individualverkehrs im Verkehrssektor macht aufgrund seines Beitrags zu globalen Klimagasemissionen somit die Entwicklung innovativer, energie- und ressourceneffizienter Mobilitätskonzepte und Antriebsformen notwendig.

Die koordinierte und systematische Langzeiterhebung liefert Grundlagen für Querschnittsanalysen. Außerdem kann eine Wirkungsabschätzung der einzelnen Feldtests ermöglicht werden. Ziel war es, hierzu ortsabhängige Daten zur Fahrzeugnutzung in unterschiedlichen Anwendungsfällen (Feldtests) von Elektrofahrzeugen in RLP zu gewinnen. Dabei standen die folgenden forschungsleitenden Fragestellungen im Vordergrund:

- Wie wirken sich die topographischen Gegebenheiten in Rheinland-Pfalz auf die Nutzbarkeit der verfügbaren Elektro-Fahrzeuge aus?
- Welche Bereiche des Wirtschafts- und Personenverkehrs in RLP lassen sich mit der verfügbaren elektrischen Antriebstechnik hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen alltagstauglich optimieren (Energieeffizienz)?
- Für welche räumlichen Bereiche in RLP kann die Elektromobilität bereits heute einen vollwertigen Ersatz der thermischen Fahrzeugantriebe darstellen?
- Welche intermodalen Mobilitätskonzepte können etabliert werden (Mobilitätsverhalten)?
- Wo liegen räumliche Schwerpunkte (Mobilitätskonzepte, Infrastruktur)?
- Wie weit kann der Energiebedarf der Elektromobilität ausschließlich mit in RLP erzeugter erneuerbarer Energie gedeckt werden (Energieautarkie)? Welche Handlungserfordernisse ergeben sich daraus?
- Lassen sich für bestimmte Anwendungsfälle Hemmfaktoren identifizieren, die für eine Alltagsnutzung gelöst werden müssen?
- Welche Klimaschutzpotentiale ergeben sich für Rheinland-Pfalz durch (energieeffiziente) Elektromobilität?

Die Langzeiterhebung war Grundlage für die verschiedenen Module der Begleitforschung. Die koordinierte und systematische Vorgehensweise bot dabei die Möglichkeit einer Querschnittsanalyse der einzelnen Feldtests vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Teilfragestellungen der Forschungsmodule.

2.2 Konzept zur Datenerfassung

Das Konzept zu Erhebung, Management und Auswertung der Daten wurde von einer Unter-Arbeitsgruppe unter Federführung der TU Kaiserslautern ausgearbeitet. Eine umfangreiche technische und ökonomische Analyse ergab die Notwendigkeit eines durch ein Baukastenprinzip flexibel modifizier- und erweiterbaren Systems. Dieses erlaubt eine schnellere Inbetriebnahme und bot die Möglichkeit, auf fahrzeugindividuelle Gegebenheiten mit überschaubarem Aufwand zu reagieren. Abbildung M3-1 zeigt die wesentlichen Komponenten des Datenerfassungssystems.

Im Fahrzeug wird eine zentrale Einheit (hier genannt „Mess-Box“) an verdeckter Stelle verbaut. Integriert (bzw. angeschlossen) sind

- ein GPS-Sensor zur Erfassung der aktuellen Position,
- eine Speicherkarte zur Sicherung der Daten on-board (als Backup),
- ein Mobilfunkmodul um die Daten an einen zentralen Server zu versenden,
- einen Touchscreen zur Abfrage und Eingabe nutzerbezogener Daten.

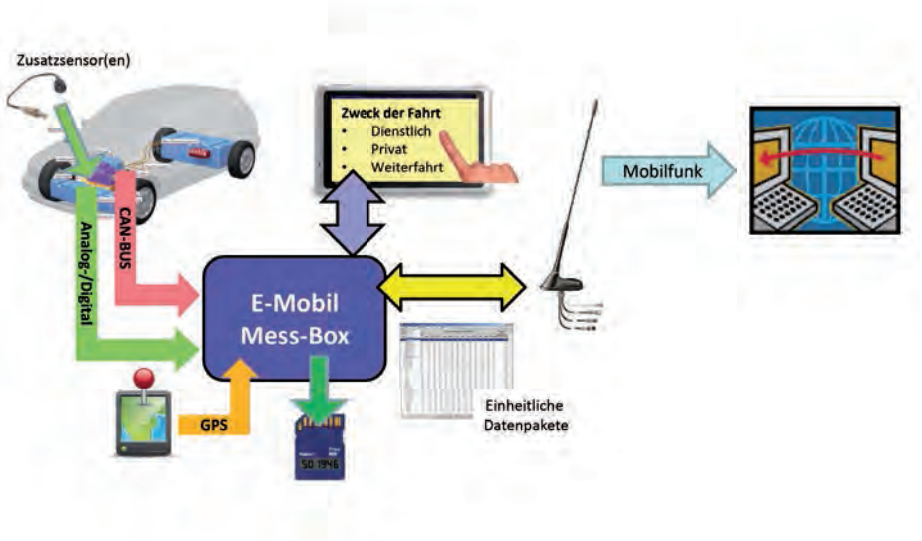


Abb. M3-1: Prinzipielle Konzeption der Messtechnik

Die Mess-Box kann mit dem im Fahrzeug vorhanden Bussystem (CAN-Bus) gekoppelt werden und somit dort schon eine Vielzahl verfügbarer Informationen zum aktuellen Fahrzeugzustand aufzeichnen. Die Mess-Box besitzt weitere Dateneingänge, mit deren Hilfe weitere Sensoren eingebunden werden können. Auf diese Weise ist es möglich, auch Informationen zu erfassen, die nicht über den Fahrzeugbus abgefragt werden können. Die Daten wurden kontinuierlich über die gesamte Laufzeit des Feldtests erhoben. Sie sind über die zugehörige Zeitinformation immer eindeutig verknüpfbar.

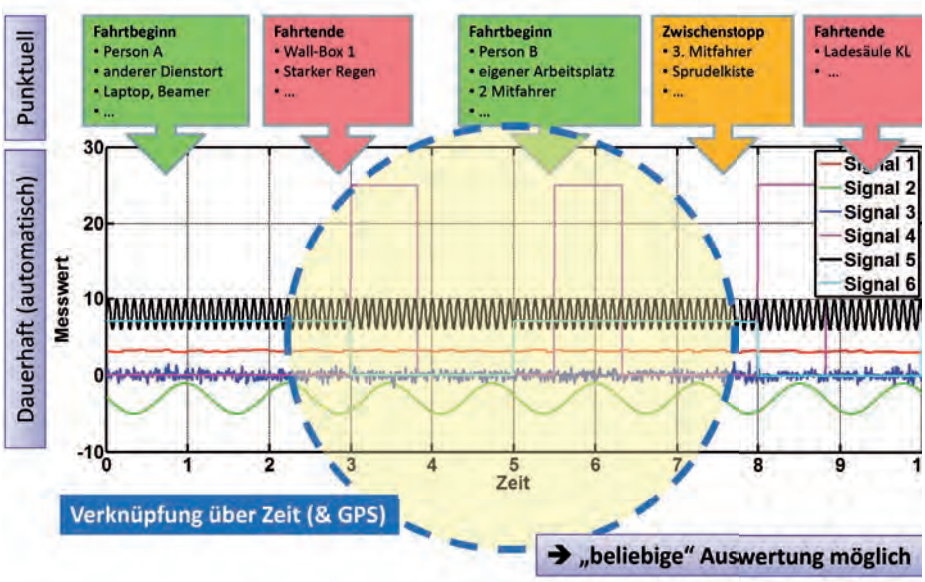


Abb. M3-2: Kontinuierliche und punktuelle Datenerfassung

Über einen im Fahrzeuginnenraum verbauten Eingabebildschirm können zu Fahrtbeginn und Fahrtende Informationen zur Fahrzeugnutzung abgefragt werden. Die Eingabe durch den Fahrzeugnutzer ist so einfach und kurz wie möglich gestaltet, um die „Motivation" zur korrekten Dateneingabe zu erhöhen. Weiterhin werden die Daten mit einem Zeitstempel versehen und ermöglichen so die Zuordnung dieser punktuell erfassten Daten zu den kontinuierlich erfassten Daten. Vorteil dieser Herangehensweise ist, dass so „lückenlose" Nutzungsdaten für jeden Weg generiert werden können, da die punktuellen Daten mit kontinuierlichen Daten gekoppelt sind. Übliche Nutzer- und Akzeptanzanalysen bilden bislang nur Zeiträume vor Fahrtantritt und nach Ende der Gesamtfahrt und nicht jedes Weges ab. Solch detaillierte Daten stehen aus öffentlichen Forschungsvorhaben bislang nicht zur Verfügung. Abbildung M3-2 zeigt schematisch die Unterscheidung zwischen kontinuierlich und punktuell erhobenen Daten/Informationen.

Beispiele für punktuell erfasste Informationen (Fahrbeginn/Fahrtende, Eingabe durch FahrerInnen):

- Zweck der Fahrt (angelehnt an Forschung des Mobilitätsverhaltens),
- Anzahl Mitfahrer,
- Gepäck/Zuladung (Menge),
- Abstellort/Ladeort,
- Fahrzeug, mit dem die Fahrt sonst erledigt worden wäre (wenn kein Elektrofahrzeug vorhanden wäre),
- „Bemerkungen" (technische Probleme, besondere Vorkommnisse,…)

und kontinuierlich aufgezeichnete Daten („24h/7 Tage", automatische Erhebung):

- Position, Streckenprofil
- Temperaturen (innen/außen)
- Ladezustand Batterie
- Lade-/Entladeleistung Gesamtfahrzeug
- elektrische Leistungsflüsse im Fahrzeug
  - Motor, Batterie
  - Verbraucher (Klimaanlage, Licht, Heizung, …) –Leistung oder Status (EIN/AUS)
- Energie- und Leistungsaufwand
- Betriebspunkte des Fahrzeugantriebs

Die Daten werden innerhalb der Mess-Box vorverarbeitet und zu kompakten Datenpaketen zusammengefasst. Diese Datenpakete werden über eine Mobilfunkverbindung regelmäßig zu einem zentralen Server („ftp-Server“) übertragen. Dort werden sie aufbereitet und stehen in einer fahrzeugbezogenen Datenbank zur weiteren Auswertung bereit.

2.3 Datenzugriff und -schutz

Die Teilnehmer/Betreiber der Feldtests mussten sich zur Erfassung und regelmäßigen Übermittlung der aufgezeichneten Daten bereit erklären. Dies war die Grundlage für die Förderung der Feldtests im Rahmen der Netzwerkarbeit.
Die gesamte Datenmenge stand nur den Instituten des Wissenschaftsverbundes zur weiteren Auswertung im Rahmen der Forschungsarbeiten (gemäß der Datenschutzrichtlinien) zur Verfügung. Für die einzelnen Feldtestbetreiber war lediglich Zugriff auf die von eigenen Fahrzeugen erhobenen Daten geplant, wobei eine grundlegende Auswertung der Daten in Form von zusammengefassten Nutzungs- und Verbrauchswerten, die mit dem Datenschutz konform sind, zur Verfügung gestellt werden sollte. Der Zugriff über ein Webinterface konnte aufgrund verschiedener Probleme jedoch nicht rechtzeitig ermöglicht werden, was später noch erläutert wird.
Bei der Erfassung von ortsbezogenen Daten wurde dem Datenschutz in besonderem Maße Rechnung getragen und gemeinsam mit dem Datenschutzbeauftragten der TU Kaiserslautern ein entsprechendes Konzept ausgearbeitet. Es sieht folgendes vor:

1. Fahrzeugspezifische Erfassung, keine personengebundene Erfassung,
2. Eingeschränkter Testnutzerkreis,
3. Einweisung und Belehrung über die ortsabhängige Datenerfassung,
4. Nutzungsbedingungen mit transparenter Datenschutzerklärung,
5. Einwilligung ist Voraussetzung für Förderung des Feldtests,
6. Zentrales Datenmanagement der erfassten Daten, „Clearing“ im Falle sensitiver Informationen bei einem der Forschungspartner,
7. Zugang für Netzwerkpartner zum Datenmanagement nur für die eigenen Feldtests,
8. Zugang für Forschungspartner zum Datenmanagement für alle Feldtests.

3. Realisierung von Datenerfassung und Datenzugriff

Die praktische Realisierung des in Kapitel 2.2 beschriebenen Konzeptes erfolgte nach einem längeren Auswahl- und Diskussionsprozess zunächst durch den Partner TSB mit Unterstützung des Fahrzeuglabors der FH Bingen. Die Entscheidung fiel dabei auf die Nutzung des Systems „PCAN-GPRS Link [1]“ der Firma Peak-System Technik (kurz „Peak“ genannt), für welches bei diesem Partner bereits grundsätzliche praktische Erfahrungen vorlagen. Trotz hardware-technischer Vorteile dieses Systems, traten bei der Umsetzung der geforderten Funktionalitäten immer wieder Probleme auf, welche die endgültige Inbetriebnahme in Fahrzeugen des Typs „Peugeot iOn/Citroën C-Zero“ zunehmend verzögerten. Die Arbeitsgruppe entschloss sich daher, für Fahrzeuge der anderen Typen (Renault Kangoo/Zoe, Nissan Leaf) ein zweites Grundsystem zu implementieren. Durchgeführt wurden diese Arbeiten von der TU Kaiserslautern unter Federführung des Lehrstuhls für Regelungssysteme. Aus anderen Aktivitäten lagen hier zwischenzeitlich umfangreiche Erfahrungen mit dem System „M2M Control C600“ [2] der Firma Infranet Technologies GmbH vor, so dass hier kurzfristig ein alternatives System (kurz „M2M“ genannt) nach obigem Konzept implementiert und in die zugehörigen Fahrzeuge verbaut werden konnte. Die Datenerfassung konnte so zumindest in diesen Fahrzeugen schneller starten.
Zur Weiterverarbeitung der erfassten Daten, wurde ein Protokollformat geschaffen, welches Erfassung und Austausch in strukturierter Form ermöglicht. Die Messgrößen wurden in Gruppen eingeteilt und mit einem Kürzel codiert. Weiter-

hin wurden die physikalische Einheit sowie die gewünschte Abtastrate festgelegt. Ausgehend vom erwarteten Wertebereich wurde das Datenvolumen abgeschätzt und hierauf aufbauend Speicher- sowie Datenübertragungskapazitäten ausgelegt. Während das System „M2M“ die erfassten Daten direkt als Datei im csv-Format auf dem zugehörigen ftp-Server ablegt, ist beim System „Peak“ zusätzlich die Ausführung eines Parsers zur Umwandlung in das csv-Format nötig. Hierdurch entstanden teilweise Probleme bei der Weiterverarbeitung der Daten auf dem Server, da die automatisierte Ausführung nicht immer zuverlässig funktionierte und die resultierenden

Abb. M3-3: Fahrzeugübersicht im Online-Bereich

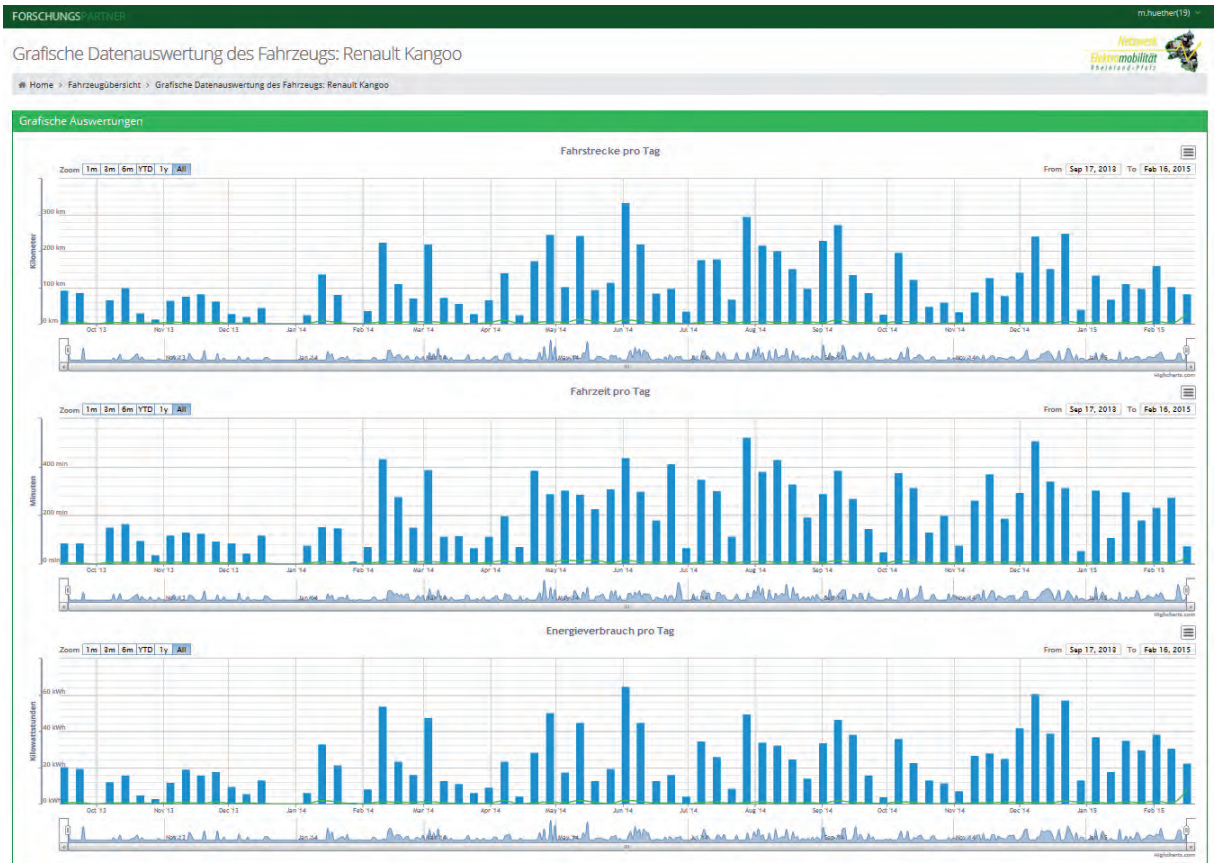


Abb. M3-4: Grafische Aufbereitung der Messwerte im Online-Bereich

Datensätze teilweise nicht plausibel waren.
Die Bereitstellung sowie die automatisierte Aufbereitung der erfassten Daten wurden durch das IfaS am Umweltcampus Birkenfeld realisiert. Integriert in den internen Bereich der Projektwebseite sollte allen Netzwerkpartnern eine Übersicht über die Fahrzeuge zur Verfügung gestellt werden. Wie Abbildung M3-3 zeigt, sind dort einige grundsätzliche Daten, wie der Beginn der Datenaufzeichnung, die letzte Datenübertragung sowie Gesamt- und Durchschnittswerte für die jeweiligen Fahrzeuge zusammengefasst. Aufgrund der obigen Probleme bzgl. der csv-Datendatei, konnten diese Funktionen nur für Fahrzeuge der Typen „Nissan Leaf", „Renault Kangoo" und „Renault Zoe", welche mit dem „M2M-System" ausgestattet wurden, bereitgestellt werden. Für den komfortablen Datenzugriff sollte den jeweiligen Feldtestbetreibern sowie den Partnern aus Forschung und Wissenschaft eine grafische Datenauswertung zur Verfügung gestellt werden. Da die technische Realisierung dieser automatisierten Aufbereitung ebenfalls länger dauerte als ursprünglich geplant, wurden der Zugang für die Nutzer nicht mehr freigeschaltet. Die technische Umsetzung ist jedoch fertig und kann für zukünftige Aktivitäten eingesetzt werden. Abbildung M3-4 zeigt ein exemplarisches Beispiel, wie die Messdaten grafisch aufbereitet werden. Aus Gründen des Datenschutzes sind in dieser Darstellung einzelne Fahrten nicht erkennbar, es kann jedoch ein beliebiger Zeitraum betrachtet werden. Eine nur für Forschungszwecke nutzbare Exportfunktionalität ermöglicht zudem die gezielte Zusammenstellung einzelner Datensätze für eine spätere Auswertung.

4. Feldtestfahrzeuge der beteiligten Netzwerkpartner

Nachdem die grundsätzlichen Modalitäten zur Förderung von Feldtests mit den beteiligten Ministerien abgestimmt, wurde allen Netzwerkpartner die Möglichkeit gegeben sich an einem geförderten Feldtest zu beteiligen. Im Folgenden werden zunächst der Ablauf des Feldtests, von der Bewerbung bis zum Abschluss dargestellt sowie ein Überblick über die beteiligten Partner und Fahrzeuge gegeben. Es folgt eine kurze Beschreibung der jeweiligen Feldtests.
Alle Netzwerkpartner waren aufgerufen, Vorschläge für Feldtests einzureichen. Angedacht war die Förderung von ca. 30 Fahrzeugen, wobei ein Teil der entstehenden Leasingkosten für eine Nutzung von maximal zwei Jahren gefördert werden konnte. Ziel war es, die entstehenden Mehrkosten gegenüber einem konventionellen Fahrzeug durch die Förderung auszugleichen und so einen Anreiz für den Einsatz eines Elektrofahrzeuges zu setzen. Außerdem konnte pro Fahrzeug jeweils eine Lademöglichkeit geschaffen werden, welche nach Abschluss der Feldtests im Eigentum verbleibt.
Neben drei Partnern aus Wissenschaft und Forschung, die sich jeweils selbst um die Antragsstellung und Abwicklung kümmerten, fanden sich fünf Netzwerkpartner, die Anträge zur Förderung von insgesamt zehn Fahrzeugen stellten. Den Netzwerkpartnern wurde eine Antragsvorlage zur Verfügung gestellt, welche nur noch durch die Ideen des individuellen Feldtests ergänzt und vom Mittelgeber vorgeprüft wurden. Ebenso wie die spätere Einreichung erfolgte dies jeweils gesammelt über die TU Kaiserslautern, wobei Antragssteller jedoch in jedem Fall der betreffende Feldtestpartner war. Nach positiver Rückmeldung seitens des Mittelgebers, wurde den Teilnehmern in einem gemeinsamen Treffen der Anlauf der Feldtests erläutert sowie fachliche und organisatorische Unterstützung bei der Beschaffung von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur gegeben. Die teilnehmenden Netzwerkpartner sowie deren Fahrzeuge zeigt Tabelle M3-1.

Netzwerkpartner	Einsatzzweck	Fahrzeug(e)	Weiternutzung
Handwerkskammer Trier	Dienst-/Testfahrzeug	Peugeot iOn	Nein
Stadt Trier	Dienstfahrzeug, Werbeträger	Renault Kangoo Z.E.	unbekannt
		Citroën C-Zero	unbekannt
		Citroën C-Zero	unbekannt
Stadt Bad Kreuznach	Dienstfahrzeuge	Peugeot iOn	Ja
		Peugeot iOn	Ja
Verbandsgemeinde Wörrstadt	Dienstfahrzeug	Peugeot iOn	Ja
Kfz-Gewerbe RLP e.V.	Werkstattersatzwagen	Nissan Leaf	Nein
Stadtwerke Kaiserslautern	Dienstfahrzeuge	Renault Kangoo Z.E.	Ja
		Renault Zoe	Ja
TU Kaiserslautern	Dienst- und Forschungsfahrzeuge	Nissan Leaf	Ja
		Renault Kangoo Z.E.	Ja
Transferstelle Bingen	Dienstfahrzeuge	Opel Ampera	Ja
Umweltcampus Birkenfeld	Dienst- /Forschungsfzg.	VW Caddy (Umbau)	Ja

Tab. M3-1: Feldtestpartner und Fahrzeuge

Nachdem die Fahrzeuge bei den Feldtestpartnern zur Verfügung standen, konnten sie direkt im geplanten Alltagsbetrieb eingesetzt werden. In Abstimmung mit der TU Kaiserslautern wurden alle Fahrzeuge mit einer einheitlichen Beklebung versehen und der Einbau des jeweiligen Messsystems koordiniert. Der Einbau erfolgte jeweils durch den Partner aus Wissenschaft und Forschung, der das jeweilige Messsystem („Peak“ oder „M2M“) federführend entwickelt hatte (vgl. Kapitel 3). Die Fahrzeuge wurden hierzu in individueller Absprache zum Einbauort überführt. Bei auftretenden Problemen standen die Einbaupartner jeweils mit individueller Hilfe zur Verfügung.

Mit dem Auslaufen der Feldtests zum Ende des Jahres 2014 wurden die Messsysteme aus der Mehrzahl der Fahrzeuge entfernt. In einigen Fahrzeugen wird sie im Rahmen einer individuellen bilateralen Zusammenarbeit oder für eigene Forschungszwecke weiter genutzt. Das Angebot, zur Entfernung der Beklebung wurde von den meisten Feldtestpartnern nicht wahrgenommen, da fast alle Fahrzeuge weiterhin in gleichem Maße und auf eigene Kosten weitergenutzt werden (siehe Tabelle M3-1). Aus Tabelle M3-2 gehen kurz die Inhalte der jeweiligen Feldtests hervor.

Handwerkskammer Trier: „Einführung der Elektromobilität im Handwerk“	
Fahrzeug(e), Messsystem	Peugeot iOn (Peak-System)
Inhalt/Ziele	- Qualifikation, Sensibilisierung, Erfahrungssammlung - Dienstreisen, Öffentlichkeitsarbeit - Ladesäule am Umweltzentrum
Kfz-Gewerbe RLP	
Fahrzeug(e), Messsystem	Nissan Leaf (M2M-System)
Inhalt/Ziele	- Einsatz als Werkstattersatzwagen in verschiedenen Betrieben - Öffentlichkeitsarbeit zur Erhöhung der Präsenz und Wahrnehmung im Sinne nachhaltiger Mobilität (nach innen und außen) - Gewinnung von Erfahrungen bzgl. Fahrprofilen und Schnellladevorgängen - Erkenntnisse zum Langzeitbetrieb
Stadt Bad Kreuznach	
Fahrzeug(e), Messsystem	2x Peugeot iOn (beide Peak-System)
Inhalt/Ziele	- Stadt als Modellstadt für Elektromobilität in RLP - Umweltverträgliche Abwicklung von Dienstfahrten - Förderung der Präsenz und des öffentlichen Interesses an Elektromobilität - Schaffung von Ladeinfrastruktur für Besucher
Stadtwerke Kaiserslautern	
Fahrzeug(e), Messsystem	Renault Kangoo Z.E., Renault Zoe (beide M2M-System)
Inhalt/Ziele	- Dienstfahrzeuge im täglichen Einsatz - Test von Elektrofahrzeugen im praktischen Einsatz bzgl. Praktikabilität, Nutzungsverhalten und Akzeptanz - Dauertest der zugehörigen technischen Eirichtungen, insbesondere Ladeinfrastruktur und Veränderung der Batterieleistung/-speicherkapazität
Stadt Trier: „Elektromobilität in der Stadt Trier“	
Fahrzeug(e), Messsystem	2x Citroën C-Zero (beide Peak-System), Renault Kangoo Z.E. (M2M-System)
Inhalt/Ziele	- Erfahrungssammlung für eine E-Mobile Verwaltung, Grüne Stadtlogistik – Nutzung für verschiedene Einsatzzwecke im Wirtschaftsverkehr der Stadt - Einbindung in grenzüberschreitende Zusammenarbeit, Öffentlichkeitsarbeit und Profilierung als innovative und zukunftsorientierte Region - Qualifizierung von Fachkräften, Abschätzung von Auswirkungen

Tab. M3-2: Inhalte der Feldtests

Technische Universität Kaiserslautern	
Fahrzeug(e), Messsystem	Nissan Leaf, Renault Kangoo Z.E. (beide M2M-System)
Inhalt/Ziele	- Einsatz im Dienstreiseverkehr sowie für den Lastentransport (insbesondere im Bereich des Campus) - Gewinnung von Erfahrungen zu Mobilitätsverhalten und (Schnell-)Ladevorgängen - Erkenntnisse zum Langzeitbetrieb heute verfügbarer elektrischer Fahrzeuge - Direkter Einsatz in verknüpften Forschungsprojekten - Einrichtung einer Ladeinfrastruktur, auch für Besucher - Öffentlichkeitsarbeit: Erhöhung der Präsenz und öffentlichen Wahrnehmung elektrischer Fahrzeuge im Sinne nachhaltiger Mobilität
Transferstelle Bingen	
Fahrzeug(e), Messsystem	Opel Ampera (Peak-System)
Inhalt/Ziele	- Sonderfall: Plug-In-Hybrid - Nutzung als Dienstfahrzeug mit dem Ziel möglichst langer Nutzung des Elektroantriebes - Direkte Einbindung in die eigenen Forschungsaktivitäten, insbesondere des Demonstrationsprojektes in Modul 5 (siehe zugehörige Berichte)
Verbandsgemeinde Wörrstadt	
Fahrzeug(e), Messsystem	Peugeot iOn (Peak-System)
Inhalt/Ziele	- Dienstfahrzeug zur Überwachung des ruhenden Verkehrs - Reduktion der CO2-Emissionen - Teil der geplanten Modellkommune für erneuerbare Energien und Energieeffizienzmaßnahmen (Ziel: Autarkie) - Sensibilisierung der Öffentlichkeit - Schaffung von Ladeinfrastruktur für Besucher
Umweltcampus Birkenfeld	
Fahrzeug(e), Messsystem	Eigenumbau Volkswagen Caddy (kein Messsystem verbaut)
Inhalt/Ziele	- Sonderfall: eigenes E-Conversion-Fahrzeug - Nutzung als Dienstfahrzeug und im Rahmen eines Car-Sharing-Systems - Direkte Einbindung in die eigenen Forschungsaktivitäten, insbesondere des Demonstrationsprojektes in Modul 4 (siehe zugehörige Berichte)

Tab. M3-2: Inhalte der Feldtests

5. Datenauswertung und Ergebnisse

Alle erfassten Daten flossen in unterschiedlicher Weise in die Fragestellungen der verschiedenen Module ein. Die zugehörigen Erkenntnisse finden sich in den jeweiligen Berichten. An dieser Stelle wird nur eine exemplarische Betrachtung der in den beiden Fahrzeugen der TU Kaiserslautern erfassten Daten gezeigt. Verbaut sind dort Messsysteme vom Typ „M2M-System". Eine Auswertung der Fahrzeuge mit dem anderen Messsystem („Peak-System") war zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts aus technischen Gründen nicht möglich.

Tabelle M3-3 zeigt eine Auswahl kontinuierlich erfasster Daten. Aus Gründen des Datenschutzes sind diese in kumulierter Form angegeben. Aufgrund des längeren Erfassungszeitraumes wurden im Fall des Nissan Leaf mehr Fahrten erfasst als für den Renault Kangoo Z.E. Letzterer wurde verstärkt im städtischen Umfeld sowie für Fahrten auf dem Campus der TU eingesetzt. Die mit ihm gefahrenen Strecken waren daher meist kürzer, als mit dem Leaf. Der vergleichsweise geringe gemittelte Energieverbrauch resultiert damit auch aus der niedrigen mittleren Durchschnittsgeschwindigkeit. Der mittlere Energieverbrauch des Nissan Leaf lag wesentlich höherals nach den Daten des Normzyklus zu erwarten. Dies hat die praktisch nutzbare Reichweite eingeschränkt.

In Tabelle M3-4 sind einige punktuelle erfasste Informationen (wiederum kumuliert zusammengefasst). Sie spiegeln die Art der Nutzung der beiden Fahrzeuge wieder. Wie die Daten zeigen, waren die Fahrzeuge selten komplett ausgelastet und in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle mit ein oder zwei Personen besetzt. Altersstruktur und Geschlecht sind auch durch die Beschäftigtenstruktur geprägt und damit nur zum Teil aussagekräftig bzgl. einzelner Präferenzen. Deutlich wird, dass die Elektrofahrzeuge in der Mehrzahl die Fahrt mit einem konventionellen Fahrzeug ersetzt haben. Unter der Annahme der Nutzung regenerativ erzeugten Stromes, konnten somit in vielen Fällen CO2-Emissionen komplett vermieden werden.

Fahrzeug (TU Kaiserslautern)	**Nissan Leaf**	**Renault Kangoo Z.E.**
Messsystem	M2M-System	
Dauer der Aufzeichnung	07.05.13 – 12.10.14	16.09.13 – 12.10.14
Dauer der Aufzeichnung	523 Tage	367 Tage
Gemittelter Energieverbrauch	18,96 kWh/100km	7,05 kWh/100km
Durchschnittsgeschwindigkeit	39 km/h	19,15 km/h
Anzahl Fahrten (Gesamt)	**1667**	**1065**
Im Mittel pro Monat	95,62	81,71
Im Mittel pro Woche	23,91	20,43
Im Mittel pro Tag	4,63	2,90
Fahrtstrecke (Gesamt)	**11769,72 km**	**4527,91 km**
Im Mittel pro Monat	675,13 km	347,41 km
Im Mittel pro Woche	168,78 km	86,85 km
Im Mittel pro Tag	32,69 km	12,34 km
Im Mittel pro Fahrt	7,06 km	4,15 km
Fahrtdauer (Gesamt)	**301,66 h**	**236,40 h**
Im Mittel pro Monat	17,30 h	18,14 h
Im Mittel pro Woche	4,33 h	4,53 h
Im Mittel pro Tag	0,84 h	0,64 h
Im Mittel pro Fahrt	0,18 h	0,22 h
Energiebedarf (Gesamt)	**2232,26 kWh**	**319,43 kWh**
Im Mittel pro Monat	128,05 kWh	24,51 kWh
Im Mittel pro Woche	32,01 kWh	6,13 kWh
Im Mittel pro Tag	6,20 kWh	0,87 kWh
Im Mittel pro Fahrt	1,34 kWh	0,3 kWh
Ladevorgänge (Gesamt)	**475**	**1534**
Im Mittel pro Monat	27,25	117,7
Im Mittel pro Woche	6,81	29,42
Im Mittel pro Tag	1,32	4,18
Im Mittel pro Fahrt	0,28	1,44

Tab. M3-3: Kumulierte kontinuierlich erfasste Daten (Auswahl)

Erfasste Fahrten	TU Kaiserslautern				
Nissan Leaf	385				
Renault Kangoo Z.E.	306				
Anzahl Personen	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nissan Leaf	228	112	22	16	7
Renault Kangoo Z.E.	212	65	15	6	8
Geschlecht Fahrer	**w**		**M**		
Nissan Leaf	41		344		
Renault Kangoo Z.E.	10		296		
Alter	**Bis 21**	**22-29**	**30-44**	**45-59**	**Ab 60**
Nissan Leaf	0	162	148	75	0
Renault Kangoo Z.E.	0	131	62	112	1
Gepäck	**< 5kg**	**5-10 kg**	**10-20 kg**	**> 20 kg**	
Nissan Leaf	277	88	18	2	
Renault Kangoo Z.E.	171	60	35	40	
Alt. Verkehrsmittel	**PKW (Verbr.-Motor)**	**Taxi, CarSharing, Mietwagen**	**ÖPNV**	**Zu Fuß**	**Fahrrad/ Kraftrad**
Nissan Leaf	230	3	69	75	5/3
Renault Kangoo Z.E.	234	3	22	42	3/2

Tab. M3-4: Kumulierte punktuell erfasste Daten (Auswahl)

6. Zusammenfassung

Aufgrund der engen Verknüpfung von Forschung auf der einen und Nutzung der Fahrzeuge im Alltag auf der anderen Seite, entstand eine wertvolle Symbiose, die die hier gemachten Untersuchungen von denen in anderen Projekten abhebt. Durch die Einbeziehung der Feldtests in die Netzwerkarbeit konnte ein wesentliches Ziel, nämlich Elektromobilität direkt erlebbar bzw. „erfahrbar" zu machen realisiert werden. Mit der gezielten Förderung wurde der Anreiz geschaffen, Elektrofahrzeuge einzusetzen und in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle werden die Fahrzeuge auch nach Auslaufen der Förderung weitergenutzt, teilweise wird/wurde der Fuhrpark sogar erweitert. Aufgrund der strukturierten Erfassung und der automatisierten Aufbereitung von Messdaten, konnten die theoretischen Untersuchungen direkt mit der Praxis verknüpft werden. Durch aufgetretene technische Probleme bei einem der Messsysteme einerseits sowie bei der Verarbeitung der Daten auf dem Server andererseits, konnte die Datenerhebung zwar nicht vollständig so realisiert werden, wie ursprünglich angedacht, dennoch konnten viele wertvolle Erfahrungen gesammelt werden. Die entwickelten Systeme und die zugehörige Serverinfrastruktur können in weitergehenden Projekten und Aktivitäten eingesetzt werden.

7. Quellen

[1] http://www.peak-system.com/PCAN-GPRS-Link.230.0.html, Stand: 01.12.2014

[2] http://www.m2mcontrol.de/de/produkte/M2M_Control_C600, Stand: 01.12.2014

Modul 4: Demonstrationsprojekt Nachhaltige Mobilität

Autoren: Patrick Marx, Markus Conrad

1. Einleitung

Das wesentliche Ziel dieses Moduls ist die Schaffung eines nachhaltigen Mobilitätsangebots am Umwelt-Campus in Birkenfeld. Neben der Untersuchung zur Einbindung von Elektrofahrzeugen in ein Carsharing-Angebot, sollen auch die Auswirkungen bei der Integration in die lokale Energieversorgung analysiert werden. Dazu werden existierende Carsharing-Angebote mit dem Fokus auf elektrifizierte Fahrzeuge untersucht. Zur Erfassung der Nutzerakzeptanz und der Einführung eines Elektrocarsharing werden die Studierenden am Umwelt-Campus befragt und das Ergebnis analysiert.
Dabei geht es auch um die Frage, inwieweit ein Beitrag zum Ausgleich der Schwankung zwischen Stromverbrauch und Stromerzeugung geleistet werden kann.

2. Analyse relevanter Carsharing Angebote

2.1 Der Bergriff „Carsharing“

Der Bundesverband CaSharing e.V. definiert Carsharing als eine organisierte Form der gemeinschaftlichen Nutzung von Fahrzeugen [1]. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der Mobilitätsbedürfnisse der verschiedenen Nutzergruppen ist eine Planung für das erfolgreiche Teilen von Fahrzeugen unabdingbar. Das Organisieren und Bereitstellen eines funktionierenden Carsharingsystems ist mit Kosten verbunden, die in irgendeiner Form aufgebracht werden müssen. Dabei kann es sich um ein kommerzielles Angebot mit Gewinnerzielungsabsicht handeln oder um eine Dienstleistung. Im Folgenden wird dabei der Fokus auf Carsharingangebote gelegt, die ausschließlich mit Elektrofahrzeugen abgedeckt werden.

Statistisch betrachtet nutzen ca. 50 Prozent der Autobesitzer ihr Fahrzeug maximal an drei Tagen in der Woche. Dabei wird ein Pkw max. für eine Stunde am Tag genutzt. Die zurückgelegte Distanz einer Fahrt beträgt gerade mal 15 km [2]. Peter Karsten vom Öko-Institut e.V. erklärt, dass der zukünftige Erfolg der Elektroautos stark mit anderen Mobilitätsoptionen verknüpft ist und, dass die Elektromobilität der Anfang für ein sich änderndes Verständnis der Mobilität sein könne, das zukünftig stärker auf einer Vernetzung verschiedener Mobilitätskonzepte beruhe.

2.2 Ergebnisse und Fazit

Bei der Analyse der Carsharing-Anbieter mit den meisten Kunden bzw. der größten Elektrofahrzeugflotte, wie z. B. Flinkster, Car2go oder Multicity ist zum einen aufgefallen, dass es sowohl bei der Verwendung der Soft- und Hardware als auch bei der Preispolitik ähnliche Strukturen gibt. Bei der Preisgestaltung wird vorrangig eine Kombination aus einer zeitabhängigen (Stundenbasis) und streckenabhängigen (gefahrene km) Tarifkomponente präferiert. Selbst Anbieter wie Flinkster oder Car2go, welche von großen Konzernen (Deutsche Bahn bzw. Daimler) finanziert werden, konzentrieren ihre Aktivitäten in Ballungsräumen, um einen ökomonischen Betrieb realisieren zu können. Im Zuge der Analyse verschiedener Carsharing-Anbieter wurde auch das im Nationalpark Bayerischer Wald angebotene Projekt e-Wald untersucht.
Schwerpunkt des Projektes ist das Aufzeigen, dass Elektromobilität auch in einer ländlich geprägten Region im Rahmen eines Carsharing-Systems erfolgreich umgesetzt werden kann. „Im Rahmen des Verbundforschungsprojekts soll im Bayerischen Wald ein flächendeckendes Netz mietbarer Elektrofahrzeuge samt zugehöriger Infrastruktur, wie z. B. Ladesäulen und eine benutzerfreundliche Buchungssoftware installiert werden.“[3] Zu den weiteren Projektzielen gehört, die Berührungsängste der Nutzer abzubauen. Durch den vereinfachten Zugang zu E-Pkw und einem Konzept, von dem sowohl Touristen als auch Einheimische profitieren, ist es

möglich, den Nutzern die Elektromobilität näher zu bringen. Aus dem Projekt ist mittlerweile eine GmbH entstanden, die neben der DB-Regio AG weitere 100 Anteilseigner akquirieren konnte. Darüber hinaus ist der Bund und das Land Bayern an der Finanzierung beteiligt. Bereits im Jahr 2013 standen 145 Elektrofahrzeuge zur Buchung zur Verfügung, die an 20 Standorten gemietet werden können.
Das Konzept von E-Wald basiert nicht nur auf einem reinen Carsharing, welches eine spontane Buchung bzw. Nutzung der Fahrzeuge ermöglicht, sondern es wird auch das sogenannte Nutzersharing angeboten. An folgenden Beispielen sollen die beiden zuvor beschriebenen Nutzungsmöglichkeiten verdeutlicht werden:
Beim Nutzersharing hat ein Vertragspartner die Möglichkeit, mit einer oder mehreren Parteien Nutzungsverträge abzuschließen. Dadurch kann durch abgestimmte Nutzungsprofile zum einen eine hohe Auslastung erreicht werden, zum anderen kann der Vertragspartner durch das Bereitstellen des Fahrzeuges Einnahmen generieren. Der Vorteil für beide Vertragsparteien liegt darin, dass man die anfallenden Leasingkosten je nach getroffener Vereinbarung untereinander aufgeteilt werden können. So iste es möglich, dass zwei Firmen ein Fahrzeug gemeinsam während der Geschäftszeit nutzen. Denkbar wäre auch ein Teilen des Autos zwischen einer Firma/Institution und einem Mitarbeiter, der das Fahrzeug täglich als Pendlerfahrzeug zur Arbeitsstelle nutzt.

Beim „klassischen" Carsharing wird z. B. ein Fahrzeug zur spontanen Buchung freigegeben. Der Leasingnehmer erzielt je nach Nutzungshäufigkeit und -dauer einen entsprechenden Betrag.

Bei der letzten Variante 3 handelt es sich um eine Kombination aus beiden Sharingmodellen. Dabei kann der Leasingnehmer ein Fahrzeug sowohl für das Nutzersharing als auch für das „klassische" Carsharing freigeben. Somit erhöht sich die Chance auf eine hohe Auslastung und auf höhere Einnahmen. So kann z. B. ein Fahrzeug während der Geschäftszeiten von zwei Firmen genutzt werden und danach im „klassischen" Carsharing freigegeben werden. Denkbar ist auch noch eine weitere Kombination mit einem Mitarbeiter, der das Fahrzeug zum Pendeln verwendet.
Mit dem Projekt e-Wald konnte ein Elektrocarsharing-System im ländlichen Raum erfolgreich etabliert werden. Für den Standort Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB) und die kommende Nationalparkregion bietet die Adaption dieses Konzeptes, die Möglichkeit ein ökonomisch tragfähiges Carsharing mit Elektrofahrzeugen am UCB zu etablieren. Das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement hat einen Feldversuch zur Integration eines

Abb. M4-1: Nutzungsvariante 1 (Quelle: eigene Darstellung nach IfaS)

Abb. M4-2: Nutzungsvariante 2 (Quelle: eigene Darstellung nach IfaS)

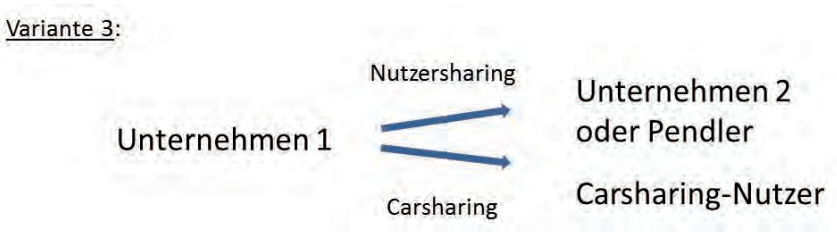


Abb. M4-3: Nutzungsvariante 3 (Quelle: eigene Darstellung nach IfaS)

Elektrofahrzeuges von e-Wald im Sommer 2013 gestartet. Zunächst wurde das Fahrzeug nur im Mitarbeiterfuhrpark eingesetzt, wurde aber im weiteren Verlauf der Testphase im Nutzersharing (mit einem Mitarbeiter) und im Carsharing eingesetzt. Die vollständige Auswertung des Testlaufs erfolgt in den nächsten Wochen.

3. Adaption bzw. Entwicklung eines intelligenten eCarsharing Buchungssystems

3.1 Einleitung

Bei der Bewertung der verschiedenen Carsharing-Anbieter, wurden auch die Buchungssysteme (inkl. Hard- und Software) in die Analyse miteinbezogen. Dabei ist aufgefallen, dass die Flottenbetreiber mit Elektrofahrzeugen im Portfolio auf Hard- bzw. Software etablierter Hersteller zurückgreifen. Speziell für Elektrofahrzeuge muss für die potentiellen Nutzer die Buchungssoftware den Ladestand der Fahrzeuge anzeigen. Aufgrund der limitierten Reichweite und der zumeist langen Ladedauer sollte das System darüber hinaus mitteilen, ob die geplante Fahrt mit dem jeweiligen Fahrzeug realisierbar erscheint und ggf. Alternativ-Vorschläge unterbreiten. Die momentan auf dem Markt verfügbaren Systeme zeigen lediglich den aktuellen Ladestand bei der Buchung der Fahrzeuge an. Der Nutzer muss selbstständig entscheiden, ob die geplante Fahrt realisiert werden kann.
So bieten beispielsweise die beiden Firmen Invers oder Convadis für Betreiber von Carsharing-Flotten komplette Systemkomponenten von der Hard- über die Software bis hin zu einem Abrechnungssystem an. Das Stand-Alone-System funktioniert folgendermaßen:
In den Autos befinden sich der Bordcomputer sowie RFID-Reader unter der Windschutzscheibe. Der Bordcomputer ist via CAN-Bus an die Fahrzeugelektronik angeschlossen.

Damit ist es beispielsweise möglich:

- die elektronische Wegfahrsperre zu aktivieren oder deaktivieren
- die Türen zu ver- und entriegeln
- den Tankfüllstand auszulesen
- die gefahrene Wegstrecke zu ermitteln

Sobald sich ein Kunde mit seiner Kundenkarte, dem Führerschein (LapID) authentifiziert, findet ein Abgleich zwischen dem im Fahrzeug integrierten Bordcomputer und einem zentralen Server über eine GSM/GPRS-Datenverbindung statt. Liegt ein korrekter Buchungsvorgang vor, kann das Fahrzeug genutzt werden. Während der Fahrt überwacht der Bordcomputer diverse Fahrzeugparameter, u. a. den Tankfüllstand und meldet die Daten an den zentralen Verwaltungsserver. Nach Beendigung der Fahrt muss der Kunde das Fahrzeug ordnungsgemäß abstellen und den Vorgang mit einer Authentifizierung abschließen. Mit einem entsprechenden Abrechnungssystem wird die Rechnungsstellung durchgeführt. Der Unterschied zwischen den Firmen Invers und Convadis besteht darin, dass bei Invers auf ein eigenes Verwaltungs- bzw. Abrechnungssystem zurückgegriffen wird. Die Fa. Convadis bietet dem Flottenbetreiber die Möglichkeit, ein eigenes System zu implementieren oder auf eine bereits etablierte Software zurückzugreifen.

3.2 Ergebnisse und Fazit

Die Zielsetzung im Arbeitspaket ist es, ein intelligentes Buchungssystem für einen Carsharingbetrieb zu implementieren bzw. geeignete existierende Lösungen zu adaptieren. Nach der Analyse der Carsharing-Anbieter mit Elektrofahrzeugen wurde das Unternehmen e-Wald GmbH ausgewählt (vergleiche Kapitel 2). Neben den flexibel wählbaren Tarifen und Gestaltungsmöglichkeiten verfügt e-Wald auch über das benötigte Buchungssystem. In den Fahrzeugen von e-Wald befinden sich die identischen Hardwarekomponenten, die auch von den größten Carsharing-Anbietern in Deutschland verwen-

det werden. Die Buchungssoftware basiert auf der von Flinkster, die wiederum wie die meisten Car2go und anderen Carsharing-Anbietern verwendeten Plattform. Nachfolgend werden Abbildungen mit dem derzeitigen Verlauf einer Buchung für den Standort Umwelt, Campus-Birkenfeld exemplarisch dargestellt.

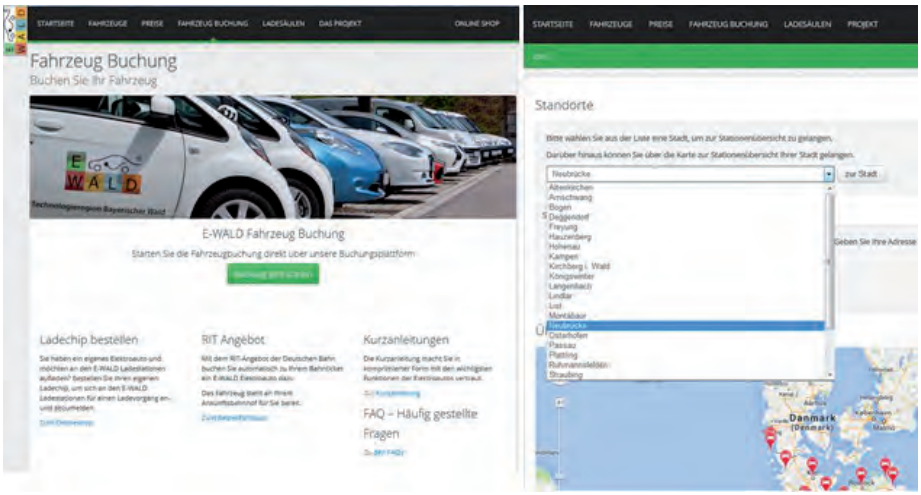


Abb. M4-4: Buchungsplattform e-Wald GmbH – 1 (Quelle: Homepage e-Wald GmbH)

In Abbildung M4-4 ist die Buchungsplattform von e-Wald dargestellt. Nach erfolgreicher Anmeldung (links) kann sich der Nutzer ein Fahrzeug anhand einer Übersichtskarte bzw. einer Auswahlliste (rechts) auswählen.

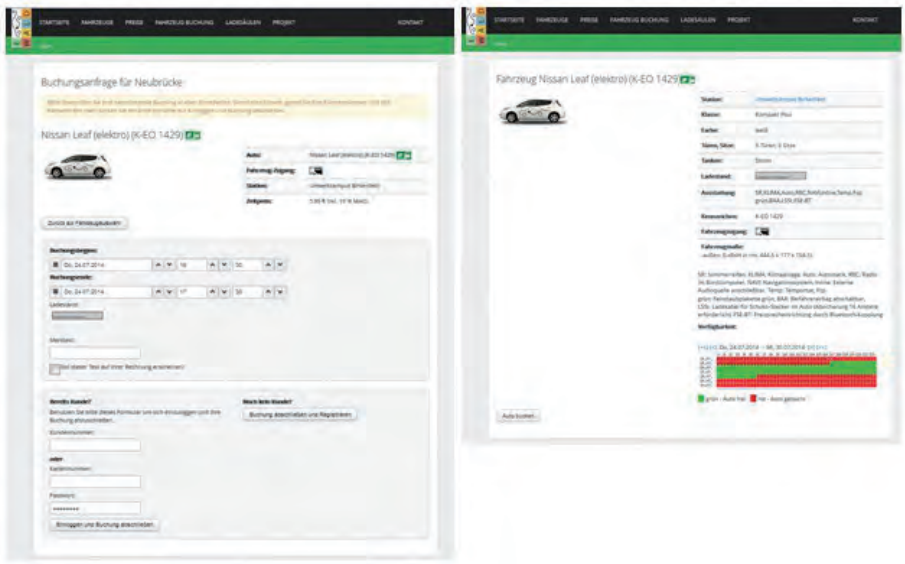


Abb. M4-5: Buchungsplattform e-Wald GmbH – 2 (Quelle: Homepage e-Wald GmbH)

Abbildung M4-5 zeigt zum einen das Buchungsformular für das Fahrzeug (links) und zum anderen eine detaillierte Übersicht über das ausgewählte Fahrzeug (rechts).
In der aktuellen Version verfügt das Buchungssystem nicht über eine Prädiktion der verfügbaren Kapazität für den gewählten Zeitraum in Abhängigkeit des geplanten Zielortes. In einer der zukünftigen Versionen soll dies allerdings implementiert und dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden. Das IfaS wird an dieser Stelle mit e-Wald konzeptionell zusammenarbeiten.

4. Entwicklung eines eCarsharing Geschäftsmodells

4.1 Einleitung

Der Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB) befindet sich seit seiner Gründung in einem stetigen Wachstum. Bereits zum Sommersemester 2013 waren ca. 2.700 Studierende am Umwelt-Campus eingeschrieben. Damit hat sich der Anteil der Studierenden im Vergleich zu den Anfangsjahren 1996/1997 mehr als verfünffacht, damals waren nur ca. 500 Studierende am UCB

eingeschrieben. Mit der wachsenden Anzahl von Studenten ist die Infrastruktur am Umwelt-Campus an ihre Grenzen gestoßen und das Verkehrsaufkommen am Campus stark angestiegen. Die sehr ländliche Lage des Umwelt-Campus führt zu einem hohen Anteil des motorisierten Individualverkehrs am Mobilitätsbedürfnis der Studenten und Mitarbeiter. Je nach Zielort kann auch auf die öffentlichen Verkehrsmittel wie Bus und Bahn zurückgegriffen werden. Allerdings muss die Anbindung an die in näherer Umgebung liegenden Orte abseits der Bahnlinie als nicht ausreichend betrachtet werden. Der Umwelt-Campus in Neubrücke hat zwar eine direkte Anbindung zur Eisenbahnstrecke Mainz-Saarbrücken und eine Busverbindung nach Birkenfeld, jedoch ist dieses Angebot für dort wohnende Studenten nicht ausreichend ausgebaut. Die Busse fahren während der Vorlesungszeit ab, Freizeitfahrten z. B. an den nahegelegenen Bostalsee sind mit öffentlichen Verkehrsmitteln, wenn überhaupt, nur sehr zeitaufwendig realisierbar.

Eine im Rahmen des Projektes zu untersuchende Alternative stellt die Integration von Elektrofahrzeugen in das Carsharing-Angebot des Umwelt-Campus dar. Elektrofahrzeuge sind nur dann nachhaltig, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien stammt, obwohl sich die CO2-Bilanz gegenüber Verbrennungsmotoren bereits beim heutigen Strommix positiver darstellt. Um dem zunehmenden Verkehrsaufkommen und dem damit einhergehenden Parkplatzproblem entgegen zu wirken, ist es notwendig, ein nachhaltiges Verkehrskonzept für die Studierenden und Mitarbeiter des Umwelt-Campus Birkenfeld zu entwickeln.
Dieses Konzept sollte sich nahtlos in das Gesamtkonzept des Umwelt-Campus Birkenfeld als Null-Emissions-Campus einfügen. Aufgabe ist es, ein nachhaltiges Konzept zu entwickeln, welches ein Angebot bietet, dass sowohl Studenten als auch Mitarbeiter auf ein eigenes Fahrzeug verzichten können. Durch die Schaffung eines entsprechenden eCarsharing-Angebots mit einer 24h-Verfügbarkeit sollen neben den am Umwelt-Campus wohnenden auch die täglich pendelnden Studierenden dazu motiviert werden, nicht mit eigenen Fahrzeugen anzureisen oder diese während des Aufenthalts am UCB zu nutzen. Durch Kombination mit dem bereits vorhandenen Semesterticket für den öffentlichen Nahverkehr und einem eCarsharing-Angebot kann ein multimodales Mobilitätsmodell demonstriert und realisiert werden.
Der Umwelt-Campus Birkenfeld liegt für ein Carsharing geografisch ungünstig. Während in großen Städten bzw. Ballungszentren immer mehr Carsharing-Angebote vorzufinden sind, wird in ländlichen Regionen oftmals vergebens nach solchen Angeboten gesucht. Während in Ballungszentren der ÖPNV gut ausgebaut ist und eine multimodale Nutzung von Verkehrsmitteln unproblematisch durchführbar ist, verfügen strukturschwache ländliche Regionen meist über unzureichende ÖPNV-Anbindungen. Hinzu kommen noch die niedrige Bevölkerungsdichte und die meist großen Entfernungen zum Arbeitsplatz bzw. Fahrten des täglichen Lebens. Somit sind Bewohner in ländlichen Gebieten zumeist auf einen eigenen Pkw angewiesen, was sich auch in den Zulassungsstatistiken widerspiegelt.
Der Landkreis Birkenfeld (ca. 88.000 Einwohner) mit der Kreisstadt Birkenfeld (ca. 6.600 Einwohner) ist eine der strukturschwächsten Regionen in Deutschland. Somit wäre der Betrieb eines Carsharings aus rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet nahezu unmöglich.
Allerdings kann der Umwelt-Campus dennoch eine Ausnahme bilden. Mit der hohen Anzahl an Studierenden, von denen eine Vielzahl entweder kein Auto besitzt oder die aus ökonomischen Gründen gewillt sind das eigene Auto möglichst sparsam zu verwenden, sind dort andere Voraussetzungen vorzufinden. Somit gibt es unter diesen Bedingungen eine Vielzahl potenzieller Nutzer von Carsharing-Angeboten.

Anzahl	Auswahl der E-Autos	Preis	Batteriemiete/a
1	Renault Kangoo Z.E.	23.800,00 €	984,00 €
1	Renault Fluence Z.E.	26.180,00 €	1.071,00 €
1	Renault Zoe	21.000,00 €	840,00 €
0	eConversion Smart	18.000,00 €	- €
0	Segway	8.000,00 €	- €
0	eScooter	3.000,00 €	- €
0	Renault Twizy	7.690,00 €	720,00 €

Kraftstoff	Preis	Preisentwicklung
Strom	0,20 €	2,55% p.a.
Benzin	1,60 €	1,73% p.a.
Diesel	1,48 €	1,81% p.a.

Betriebskosten	
Elektroauto	4,0%

Preis je km	
E-Auto	0,30 €

Preisanpassung je gefahrenem km	
jährliche Preisanpassung	2,00% p.a.

Abb. M4-6: Parameter (Quelle: eigene Darstellung nach IfaS)

4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wie bereits oben beschrieben, ist in ländlichen Regionen ein Carsharing derzeit nicht ökonomisch umsetzbar. Der Umwelt-Campus in Birkenfeld verfügt über viele potenzielle Nutzer, die auch gewillt sind, ein solches Angebot zu nutzen (lt. einer zuvor durchgeführten Umfrage). Jedoch muss bedacht werden, dass die Studierenden über ein begrenztes Budget verfügen. Somit muss das Carsharing nachhaltig finanzierbar werden und auf die finanziellen Rahmenbedingungen angepasst sein.

Als Grundlage für weitere Berechnungen dienen die auf Abbildung M4-6 aufgeführten Parameter.

Die Laufleistung der Elektrofahrzeuge wurde mit 12.000 km/a festgelegt. Für die Kalkulation der Ladesäulen wurde je Ladesäule Investitionskosten von 5.300 € und für die RFID-Einheiten der Fahrzeuge nochmals 1.500 €/Fahrzeug angesetzt. Die Finanzierungskosten wurden mit einem Zinssatz von 4 % und einem Diskontsatz von 3 % kalkuliert.

4.3 Cashflow-Berechungen

Bei der in Abbildung M4-7 dargestellten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung fällt auf, dass es unter den zuvor genannten Voraussetzungen ein Defizit von ca. 60.000 € für das Szenario entstehen wird.

Damit würde sich ein ökomonisch sinnvoller Betrieb nicht realisieren lassen. Allerdings bietet der

CashFlow		1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr	6. Jahr	
Einnahmen	Umsatzerlöse	10.800,00 €	11.016,00 €	11.236,32 €	11.461,05 €	11.690,27 €	11.924,07 €	68.127,71 €
	Studentenbeitrag	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Ausgaben	Personalkosten	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
	Batteriemiete	2.895,00 €	2.895,00 €	2.895,00 €	2.895,00 €	2.895,00 €	2.895,00 €	17.370,00 €
	Betriebskosten	1.873,80 €	1.903,50 €	1.933,96 €	1.965,20 €	1.997,23 €	2.030,08 €	11.703,76 €
	Zinskosten	3.231,20 €	2.744,06 €	2.237,43 €	1.710,54 €	1.093,43 €	1.937,58 €	12.954,24 €
	Infrastruktur	16.560,06 €	- €	- €	- €	- €	- €	16.560,06 €
Sonstiges	Abschreibung/ Rückstellungen	11.830,00 €	11.830,00 €	11.830,00 €	11.830,00 €	11.830,00 €	11.830,00 €	70.980,00 €
	Einnahmen	10.800,00 €	11.016,00 €	11.236,32 €	11.461,05 €	11.690,27 €	11.924,07 €	68.127,71 €
	Ausgaben	36.390,06 €	19.372,56 €	18.896,39 €	18.400,73 €	17.815,66 €	18.692,66 €	129.568,06 €
	Differenz	- 25.590,06 €	- 8.356,56 €	- 7.660,07 €	- 6.939,69 €	- 6.125,39 €	- 6.768,59 €	- 61.440,36 €

Abb. M4-7: Cashflow (Quelle: eigene Darstellung nach IfaS)

Umwelt-Campus in Birkenfeld die Möglichkeit, Studenten mit einem regelmäßigen Beitrag an einer Finanzierung zu beteiligen.

4.4 Alternative Lösungsansätze

Zur Finanzierung des eCar-Sharings könnte der Semesterbeitrag der Studenten analog zum Semesterticket um einen Betrag pro Semester erhöht werden. Ausgehend von einem Preis pro Elektrofahrzeug von durchschnittlich 25.000 €, einer Studentenzahl von 2.700 und einer Nutzungsdauer der Fahrzeuge von 6 Jahren würden zusätzliche Kosten von ca. 1,90 € auf jeden Studierenden zukommen. Unter Berücksichtigung der üblichen Vergütungsmodelle von Carsharing-Anbietern, die meist mit einer Kombination aus Zeit- und Kilometertarif arbeiten, würde dies bedeuten, dass die Studierenden zu attraktiven Preisen umweltfreundlich mobil sein können.

Im Laufe der Konzeptentwicklung wurden bereits Gespräche mit Vertretern der AStA und dem Studentenwerk geführt. Sowohl von der Studierendenvertretung als auch vom Studentenwerk wurde Interesse an einer aktiven Umsetzung des Konzeptes signalisiert. Dabei hat sich herauskristallisiert, dass diese Beteiligung sowohl monetär als auch personell unterstütz werden könnte. Bei einer monetären Unterstützung ist, abhängig von der Höhe der Zuwendungen seitens der AStA bzw. des Studierendenwerkes, mit einer möglichen Reduktion der Studierendenbeteilungen zu rechnen. Möglicherweise könnte eine Erhöhung der Semesterbeiträge komplett entfallen, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu garantieren.
Eine andere Alternative der Finanzierung stellt das Sponsoring dar, dabei wurden verschiedene Vorgehensweisen in Betracht gezogen. Zum einen kann der direkte Kontakt zu Sponsoren gesucht werden, zum anderen besteht auch die Möglichkeit Firmen anzusprechen, die sich auf die Vermarktung und damit kostenlose Überlassung an Bedarfsträger spezialisiert haben. Dabei werden Fahrzeuge kostenlos zur Verfügung gestellt, wenn der Betreiber dafür notwendige Sponsorengelder generieren kann. Je nach Höhe der generierten Sponsoringgelder kann ein wirtschaftlicher Betrieb eines eCarsharing realisiert werden.

4.5 e-Wald

Wie schon in den Kapiteln zuvor beschrieben wurde, bietet das Projekt e-Wald die Möglichkeit, ein nachhaltiges, ökonomisch sinnvolles eCarsharing für den Umwelt-Campus Birkenfeld und für die Region zu etablieren. Mit den verschiedenen Nutzungskonzepten bietet sich jetzt schon die Möglichkeit, Kosten auf mehrere Nutzergruppen zu verteilen. So soll möglichst vielen Nutzergruppen der Zugang zu dem Carsharing-System ermöglicht werden. Neben den Studierenden sollen auch die am Campus ansässigen Unternehmen und Institute sowie die Hochschulverwaltung in das Konzept integriert werden. Damit soll eine hohe Auslastung der Fahrzeuge ermöglicht werden.
Durch den zukünftigen Nationalpark sollen darüber hinaus auch Touristen eingebunden werden. Der Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB) ist mit seiner exponierten Lage als Verkehrsknotenpunkt durch die Anbindung an die Autobahn A62 (Nonnweiler - Landstuhl), der Bundesstraße B41 (Neunkirchen (Saar) - Bad Kreuznach) und an die Zugstrecke (Frankfurt - Saarbrücken) ein optimaler Standort.
Das IfaS hat deshalb eine gemeinsame konzeptionelle Zusammenarbeit mit e-Wald angestoßen, um ein auf den Campus abgestimmtes Finanzierungsmodell zu erarbeiten. Es soll eine möglichst flexible Finanzierung unter Einbeziehung des Semesterbeitrags der Studierenden und Zuschüssen seitens der AStA bzw. des Studierendenwerkes festgelegt werden. Die Nutzungskosten für die Studierenden müssen sich dabei von den anderen Nutzergruppen deutlich unterscheiden. Aufgrund des Semesterbeitrages und der Zuschüsse werden die Nutzungsentgelte der Studierenden niedriger ausfallen.Unternehmen, Institute und die Hochschulverwaltung sollen möglichst durch das Nutzersharing-Modell in die Finanzierung eingebunden werden. Für

interessierte Carsharing-Nutzer gelten die üblichen Konditionen, die vergleichbar mit den Konditionen von Flinkster sind (siehe folgende Abbildung).

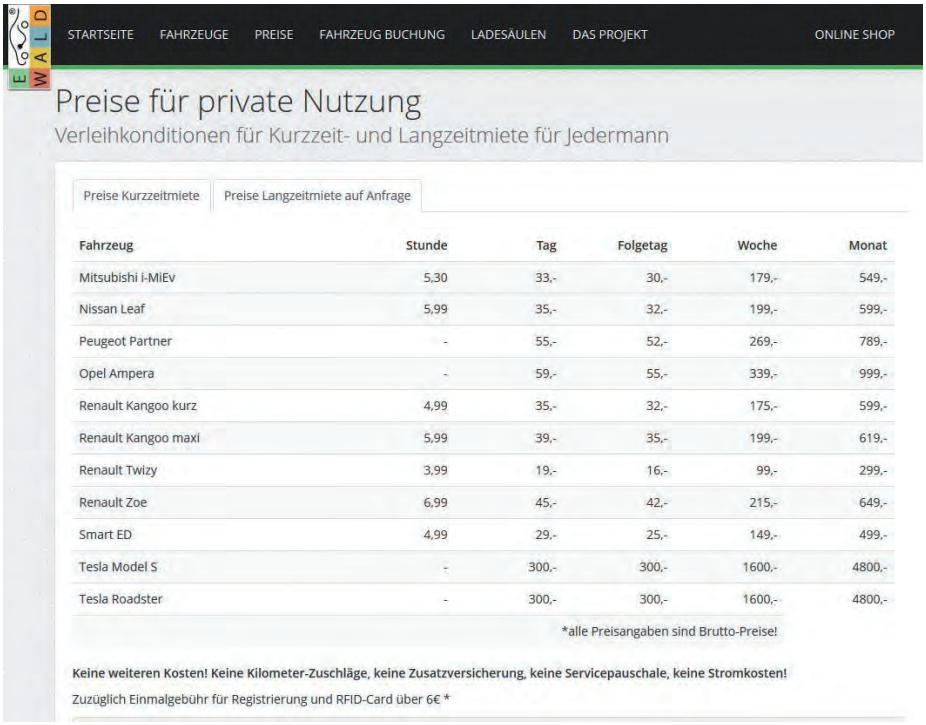


Abb. M4-8: Nutzungsentgelte e-Wald (Quelle: Homepage e-Wald GmbH)

5. Analyse des Nutzerverhaltens und Nutzerakzeptanzanalyse

5.1 Einleitung

Um das vom IfaS für den Umwelt-Campus angedachte Carsharing Modell auf Akzeptanz bei den Studierenden zu prüfen, wurde in 2012 eine entsprechende Umfrage durchgeführt. Dabei konnten rund 600 der 2600 Studierenden in den Vorlesungen direkt befragt werden. Die Fragen beziehen sich dabei sowohl auf die Mobilität und Wohnsituation als auch auf die Akzeptanz bzw. den Nutzungswillen der Studenten.

Im Rahmen dieser Erhebung wurden die Studierenden des Umwelt-Campus Birkenfeld bezüglich ihres Mobilitätsverhaltens und ihrem Interesse an der Nutzung von Elektrofahrzeugen befragt. Dabei erfolgte die Befragung in Form von geschlossenen Fragen, bei denen die Studierenden aus vorgegebenen Antwortmöglichkeiten auswählen konnten. Die Auswahl der teilnehmenden Studierenden verlief bei dieser Befragung zufällig, da nur die Veranstaltungen, in denen die Erhebung durchgeführt wurde, berücksichtigt werden konnten.

5.2 Auswertung der erfassten Daten

Im ersten Teil des Fragebogens werden Studienfach und Fachsemester der Befragten erfasst. Des Weiteren sollen Angaben zum Wohnort und der Mobilität gemacht werden.

Von 627 Befragten antworteten 147 (ca. 25%), dass sie am Campus wohnen. Diese Angaben sind für die Auswertung von hoher Relevanz, da Studierende, die am Campus wohnen, besonders auf zusätzliche Mobilitätsangebote angewiesen sind. Die Frage „Besitzen Sie ein eigenes Auto?“ wurde von 32% der Studenten mit „Nein“ beantwortet. Es wäre somit zu erwarten, dass diese Studierenden das Elektro-Mobilitäts-Angebot am stärksten wahrnehmen würden.

Aus der Beantwortung der Frage zur täglichen Anreise an den Umwelt-Campus konnte ein sehr großes Potenzial zum Einsatz von Elektrofahrzeugen identifiziert werden. Etwa 50 % der Studierenden reisen mit dem eigenen Auto an und ca. 37% mit der Bahn. Wegstrecken über 50 km sind mit knapp 19% vertreten, sodass der Großteil der Fahrten kleiner 50 km leicht mit Elektrofahrzeugen bewältigt werden könnte. Allerdings bedient Carsharing eher spontane Fahrtwünsche und ist nicht zur Deckung des Pendlerverkehrs gedacht. Angaben über die Anreise vom Zweit-

wohnsitz zum Umwelt-Campus wurden lediglich von 26,5% der Befragten getätigt. Insgesamt 20,1% der Befragten gaben eine Entfernung von über 50 km bis zum Zweitwohnsitz an.

Im zweiten Teil des Fragebogens wurde der Nutzungswille der Befragten erfasst. Neben Angaben zur Bereitschaft Carsharing Angebote wahrzunehmen und Anforderungen an einen Elektrofahrzeug-Fuhrpark wurden auch Nutzungsgrund und Zahlungsbereitschaft erfasst.
Die Antworten lassen eine hohe Akzeptanz hinsichtlich der Nutzung eines Carsharing-Angebots mit Elektrofahrzeugen erkennen. Rund 90 % der Studierenden würden die Einführung eines solchen Carsharing Angebotes begrüßen, wobei ca. 60 % dies tendenziell wahrnehmen würden. Wenn diese Angaben auf die Grundgesamtheit übertragen, werden ca. 1610 (70 %) Studierende bereit das Angebot wahrzunehmen. Diese Angaben wurden aber unter dem Gesichtspunkt gemacht, dass die Fahrzeuge für 6-10 Cent/km plus einen einmaligen Semesterbeitrag/Semester von 5-10 € genutzt werden können.
Zur Nutzung gaben die Studierenden an, die Carsharing Fahrzeuge überwiegend für Einkaufsfahrten und Freizeit- und Abendgestaltung zu nutzen. Somit liegt es nahe, dass über 60 % der Befragten bei der Fahrzeugwahl den Elektro-Pkw vor den Segways, E-Scootern und den E-Bikes bevorzugten, weil sich über die Hälfte der Befragten 4-5 Sitzplätze wünschen.

Nicht nur die Anzahl der Sitzplätze, die Art des Fahrzeuges, sondern auch die Reichweite ist ein wichtiger Faktor für die Studierenden. Über 40 % der Befragten halten eine Reichweite von mindestens 101-200 km für ausreichend. 25% würden gar mehr als 200 km Reichweite bevorzugen. Diese Verteilung zeigt nochmals eindrucksvoll die gewohnheitsgemäß vorhandene Affinität zu möglichst hohen Reichweiten, welche im Wesentlichen psychologisch induziert ist.
In Frage 2.7 wurde die allgemeine Zahlungsbereitschaft der Studenten ermittelt und in Abb. 4-9 abgebildet.

Es ist festzustellen, dass über 80 % der Studierenden bereit wären, einen Beitrag von 5 bis über 15 € pro Semester für die Einrichtung eines Carsharing Angebots mit Elektrofahrzeugen zu bezahlen. Interessant ist festzustellen, dass selbst Studierende, welche das Angebot nicht nutzen würden, trotzdem bereit wären, einen erhöhten Semesterbeitrag in Kauf zu nehmen.

Durch die Einführung eines Carsharing-Programms mit Elektrofahrzeugen würde sich für mindestens ein Drittel der Studierenden eine Verbesserung ihrer derzeitigen mobilen Situation darstellen. Für die 147 Studierenden, die in der Frage 2.2 nicht an der Nutzung des Carsharing Angebots interessiert waren, wären 57 Studierende (38,78%) zu einer (vermehrten) Nutzung des Carsharing-Programms bereit, wenn ein Tesla Roadster verfügbar wäre. Hier ist allerdings auch die Frage nach dem Sinn und Zweck der Bereitstellung eines solchen Fahrzeuges zu stellen. Dennoch könnte ein Auto wie der Tesla Roadster signifikant zur Bewusstseinssteigerung beitragen.

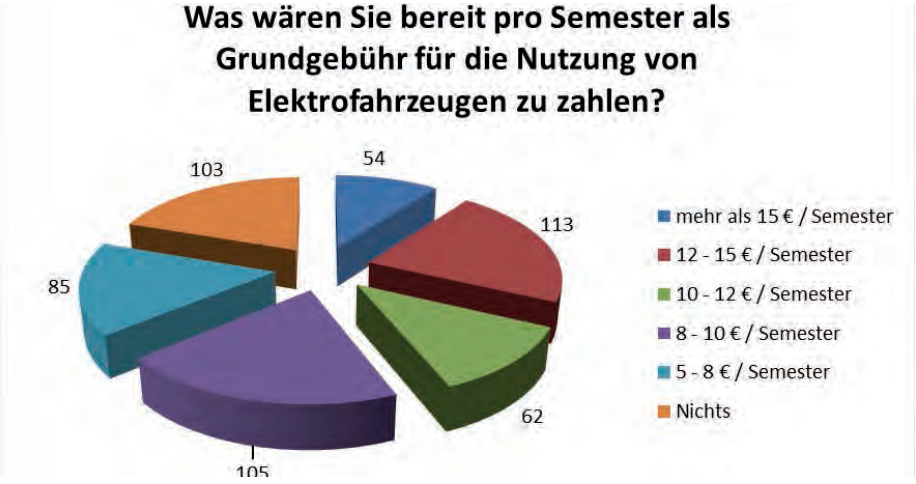


Abb. M4-9: Zahlungsbereitschaft der Studierenden (Quelle: eingene Darstellung nach IfaS)

5.3 Hypothesen und Fazit

Nach der Erhebung der Daten wurden drei Hypothesen aufgestellt:

- Zusammenhang zwischen der Zahlungsbereitschaft der Studierenden, ihrem Wohnsitz am UCB und dem Besitz eines eigenen Autos vermutet. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Zahlungsbereitschaft bei Studierenden, die am UCB wohnen, kein eigenes Auto besitzen und eine positive Einstellung gegenüber Elektrofahrzeugen besitzen am höchsten ist. Generell fällt die Zahlungsbereitschaft höher als erwartet aus. Von 628 befragten Studierenden sind nur 97 nicht bereit etwas für die Nutzung der angebotenen Elektrofahrzeuge zu zahlen. Dies sind lediglich 15,47%.

- Vermuteter Zusammenhang zwischen der Semesterzahl der Studierenden, deren Nutzungswille und der Zahlungsbereitschaft. Aus den Verteilungen ist zu erkennen, dass der Nutzungswille und die Zahlungsbereitschaft von Studienanfängern und Studierenden des 8. Semesters und höher am stärksten ausgeprägt sind. Zwischen dem 1. und 7. Semester fällt die Zahlungsbereitschaft der Studierenden stark ab.

- Zusammenhang zwischen Wohnort, Besitz eines eigenen Autos und Nutzungszweck vermutet. Besonders konkrete Angaben zur Nutzung von Carsharing Angeboten gaben 94,73 % der Studierende, die am UCB wohnen und kein eigenes Auto besitzen, an. Von den Studierenden, die nicht am UCB wohnen und auch kein eignes Auto haben, machten 66,95 % der Befragten konkrete Angaben zur Nutzung des Carsharing Angebotes.

Aus den ermittelten Daten wird ersichtlich, dass die Einrichtung eines Carsharing Angebots mit Elektrofahrzeugen bei einem Großteil der Studierenden des Umwelt Campus-Birkenfeld auf Zustimmung stößt. Ein überwiegender Anteil der Studierenden ist auch bereit für die Nutzung der Elektrofahrzeuge eine zusätzliche Semestergebühr zu zahlen. Aus Sicht der Studierenden ist es wichtig, dass diese Elektrofahrzeuge in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen und dass diese ohne hohen bürokratischen Aufwand auch kurzfristig zur Nutzung verfügbar sind.

Weitere Befragungen der Carsharingnutzer sind in nächster Zeit geplant, nachdem die Umrüstung des VW Caddy auf Elektroantrieb erfolgt ist und dieser in das geplante Carsharing-Angebot am Umwelt-Campus eingebunden wurde.

6. Studie zum weiteren Ausbau erneuerbarer Energien am UCB mit BEV

Nach Rücksprache mit dem zuständigen Bauingenieur vom Umwelt-Campus Birkenfeld und der Energieabteilung des IfaS ist das Potential der Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien ausgeschöpft. Nach einer Windenergiemessung wurde festgestellt, dass das Potential von Kleinwindkraftanlagen nicht für eine entsprechende Anwendung geeignet ist. Ein ökonomischer Betrieb ist am Standort UCB nicht realisierbar.
Das Photovoltaik-Potential wurde bereits in mehreren Bauabschnitten erschlossen, sodass dieses bereits erschöpft ist. Aufgrund der Inkonsistenz der Daten aufgrund von Fehlfunktionen der Photovoltaik-Anlagen war eine Analyse nicht durchführbar. Deswegen wurde entschieden, die hierfür vorgesehenen Kapazitäten auf arbeitsintensivere Arbeitspakete umzuschichten.

7. Quellen

[1] Bundesverband CarSharing e.V. (2012): Positionspapier Elektromobilität und Carsharing. Im Internet unter: www.carsharing.de/index.php?option=com_content&task=view&id=202&Itemid=208#ueber1. 08.09.2012, 22:06.

[2] Vgl. Karsten, P. (2012): Electromobility: a trigger for market success of carsharing?. Im Internet unter: http://www.oeko.de/oekodoc/1374/2012-009-en.pdf. 02.09.2012, 22:36.

[3] Vgl. http://e-wald.eu/2013/11/e-wald-jetzt-koennen-wir-erst-richtig-anfangen (aufgerufen am 28.11.2013)

Modul 5: Demonstrationsprojekt Verbrauchsbewertung

Autoren: Prof. Dr.-Ing. R. Tiemann;
Björn Heine, Jochen Weber,
Joachim Walter

1 Einleitung

Die gerade entstehende große Anzahl an „klimafreundlichen“ Fahrzeugantrieben soll bzgl. ihrer Vor- und Nachteile in unterschiedlichen Betriebspunkten untersucht werden. Neben den bekannten Antriebsarten bzw. Kraftstoffarten sollen folgende weitere Antriebe untersucht werden: Erdgas (CNG), Autogas (LPG), Biodiesel, Pflanzenöl, Methan, Hybrid (Kombination Elektro- und Verbrennungsmotor), Sun-/Synfuel. Um die Verbräuche aller Fahrzeuge für den Konsumenten vergleichbar zu machen, werden in den Prospekten die sogenannten ECE-Verbräuche angegeben. Hierbei handelt es sich um den Verbrauch der Fahrzeuge bei einem in Europa standardisierten Fahrzyklus. Je nach Fahrtgewohnheiten hat jeder Autofahrer unterschiedlich stark von den Werksangaben abweichende Verbräuche mit diesen Fahrzeugen.
Mit Hilfe von Vollfahrzeugsimulationen und Berechnungen werden die entsprechenden Energieverbräuche theoretisch ermittelt. Hierfür steht die in der Industrie eingesetzte, leistungsfähige MKS-Software CARMAKER der Firma IPG, Karlsruhe zur Nutzung bereit.
Nach Auswahl von geeigneten Fahrzeugen (Größe, Kaufpreis, Antriebskonzept, etc.) werden diese dann auf den (ca. 1 bis 3) zu definierenden Hauptrouten eingesetzt und die Verbräuche mit dem bordeigenen Computer bzw. eigener Messtechnik ermittelt. Ziel ist durch theoretische und experimentelle Untersuchungen das jeweils verbrauchsgünstigste Antriebskonzept für verschiedene Regionen/Anforderungsprofile zu ermitteln und zu bewerten.

2 Festlegung von Fahrstrecken, Fahrzeugen und Fahrzeugantriebssystemen

2.1 Fahrzeugauswahl

Typische Wirkungsgrade
Die Tank-To-Wheel (TTW) Betrachtung bezieht sich auf die Umsetzung der im Kraftstofftank oder in der Batterie gespeicherten Energie in kinetische Energie am Rad. In diesem Kapitel werden die Wirkungsgrade unterschiedlicher Antriebsarten verglichen. Dieselmotoren haben im optimalen Betriebspunkt Wirkungsgrade von 45 %. Ottomotoren mit Benzin oder Erdgas erreichen 35 %. Brennstoffzellen können Wirkungsgrade über 60 % erzielen; Elektroantriebe sogar über 70 % [1].
In dem in Europa standardisierten Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ) liegen die Wirkungsgrade von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellen deutlich unter den möglichen Werten. Hingegen erreichen batteriebetriebene Elektrofahrzeuge im NEFZ annährend ihren optimalen Wirkungsgrad, da sie speziell auf die Messverfahren im NEFZ optimiert sind. Bei realen Fahrten liegen die Wirkungsgrade für Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellen eher über den im NEFZ gemessenen Wirkungsgraden; bei Elektrofahrzeugen liegen sie hingegen eher darunter. Die in Abbildung M5-1 dargestellten Wirkungsgrade sind nach Literaturangaben durch Simulation folgender Fahrzeuge im NEFZ ermittelt worden.
Bei den Referenzfahrzeugen handelt es sich um Mittelklassewagen. In den Fahrzeugen kommen Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz. Die Fahrzeugbasis (Karosserie, Fahrwerk, Außen- und Innenausstattung, Elektrik) wurde für alle Antriebe identisch ausgewählt. Es zeigt sich, dass Ottomotoren im NEFZ nur einen Wirkungsgrad von rund 20 % aufweisen. Dieselmotoren sind mit 24 % etwas besser. Die Werte für entsprechende Full-Hybride liegen ca. 8 % höher. Brennstoffzellenfahrzeuge erreichen einen Wirkungsgrad von über 50 % und Elektrofahrzeuge sogar rund 75 %.

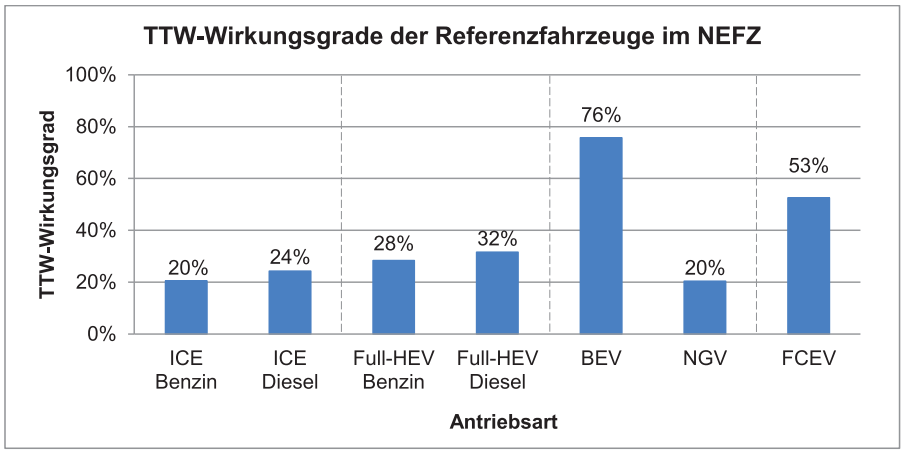


Abb. M5-1: Typische TTW-Wirkungsgrade der Referenzfahrzeuge im NEFZ (Quelle: [2])

Bei einem Verbrennungsmotor geht der größte Teil der Energie auf dem Weg vom Tank zum Rad durch motorische Verluste bzw. durch die Umwandlung in Wärme „verloren". Ein wesentlicher Anteil wird zur Klimatisierung (Heizung und kühlen) verwendet. Ein geringer Teil der eingesetzten Energie dient zum Antrieb von Hilfsaggregaten. In dem unten aufgeführten Beispiel werden nur 1,2 l/100km der verbrauchten 6,57 l/100km in kinetische Energie umgewandelt. Beim Brennstoffzellenfahrzeug wird die meiste Energie im Stack in Wärme umgewandelt. Bei einem Elektroauto gehen im Motor nur rund 10 % der Energie „verloren". Der Rest sind elektrische Umwandlungsverluste und Verluste im Antriebsstrang. Auch beim Laden von Elektrofahrzeugen geht elektrische Energie verloren [3].

Die ausgewählten Fahrzeuge für die vorliegende Untersuchung sind in Tabelle M5-1 dargestellt.

2.2 Streckenauswahl

Die Energieeffizienz unterschiedlicher PKW-Antriebe muss auf definierten Fahrstrecken verglichen werden. Dazu werden an dieser Stelle entsprechende Fahrstrecken definiert:

Ein wichtiger Partner im Netzwerk ist die Firma BASF, Ludwigshafen. Hierdurch wurden geeignete Strecken identifiziert. Es handelt sich um dienstliche Wege der BASF SE. Zum einen gibt es einen regen Pendelverkehr zwischen dem Standort Limburgerhof, an dem sich das Agrarzentrum befindet und dem Hauptsitz am Standort Ludwigshafen. Für diesen Pendelverkehr gibt es zwei typische Strecken. Zum anderen existiert ein regelmäßiger Pendelverkehr zwischen dem Standort Ludwigshafen und einer vorrübergehenden Außenstelle

Antrieb	ICE	HEV	PHEV	BEV (OEM)	BEV	NGV
Typ	Opel Meriva	Toyota Prius	Opel Ampera	Nissan Leaf	German E-Cars Stromos	VW Touran EcoFuel
Motor	Diesel	Benzin/ Elektro	Elektro/ Benzin	Elektro	Elektro	Erdgas/ Benzin
Leistung [4]	74 kW	100 kW	111 kW	80 kW	29 kW	110 kW
NEFZ-Verbrauch [5]	6,4 l/100km	4,0 l/100km	1,2l/100km 13,5kWh/100km	17,3 kWh/100km	15-20 kWh/100km	4,7 kg/100km
TTW CO_2-Emissionen [4]	146g/100km	92 g/100km	27 g/100km	0 g/100km	0 g/100km	128 g/100km
Leergewicht [4]	1.470 kg	1.480 kg	1.732 kg	1.642 kg	1.290 kg	1.697 kg
C_w-Wert [6]	0,33	0,25	0,28	0,29	0,32	0,29
Stirnfläche [6]	2,42 m²	2,33 m²	2,07 m²	2,27 m²	2,40 m²	2,50 m²

Tab. M5-1: Ausgewählte Fahrzeuge für Vergleichstest (Eigene Darstellung)

mit Büros in Mannheim. Hierfür gibt es nur eine charakteristische Strecke.
Beim Vergleich der drei Referenzstrecken mit dem NEFZ fällt auf, dass die Strecke „Limburgerhof – Ludwigshafen Variante B“ den NEFZ, in Bezug auf das kilometermäßige Verhältnis von Stadt- zu Überlandfahrt, am besten nachbildet. Auch die anderen Referenzgrößen wie Länge, typische Fahrzeit und Durchschnittsgeschwindigkeit sowie die Höhendifferenz sind bei dieser Strecke dem NEFZ ähnlich. Die Variante A dieser Strecke ist hingegen größtenteils eine Überlandfahrt. Die Strecke zwischen Ludwigshafen und Mannheim besteht nur aus Stadtverkehr. Die exakte Beschreibung der Referenzstrecken befindet sich in der Langfassung (Endbericht Modul 5).

3 Ausgewählte Fahrstrecken mit speziellem Messfahrzeug erfassen, digitalisieren und im Simulationsprogramm einbinden und Realitätsgüte nachweisen.

CarMaker stellt nur einfachere Fahrzeugmodelle als Demonstrationsobjekte zur Verfügung. Da aber eine Verbrauchsbewertung von verschiedenen Antriebsarten realer Fahrzeuge betrachtet werden soll, muss eine Digitalisierung der gewünschten Fahrzeuge erfolgen. Hierbei müssen alle Fahrzeugdaten und Fahrzeugkennwerte im Simulationsmodell eingebunden werden. Eine große Schwierigkeit stellt hierbei die Angabe von betriebsinternen fahrzeugspezifischen Originaldaten der Hersteller dar. Bei der Implementierung der Fahrzeuge muss darauf geachtet werden, dass das Fahrzeug so gut wie möglich der Realität entspricht. Drei Arten der Routenermittlung für die Simulation wurden untersucht:

- Mit speziellem Messfahrzeug
- Bekannte Route in GoogleMaps einlesen und mit spezieller Software verfeinern
- GPS-Daten aus Messtechnik für Feldversuchsfahrzeuge einbinden (Messtechnik im Projekt eigens entwickelt, vgl. Modul 3).

Aus Mangel an Zeit und Budget konnte ein Abgleich nicht umfassend durchgeführt werden.
Im Rahmen des Moduls 3 des „Netzwerk Elektromobilität Rheinland-Pfalz“ wurden Messeinrichtungen in ausgewählte Elektrofahrzeuge von der TSB eingebaut, um deren Fahrverhalten zu analysieren. Dabei stehen zwei Systeme zur Auswahl – eins von der Fa. M2M und eins von der Fa. PEAK. Beide Systeme haben über die On Board Diagnose- (OBD) Schnittstelle auf den Controller Area Network- (CAN) Bus des Fahrzeuges Zugriff und zeichnen definierte Messsignale während der Fahrt auf. Zusätzlich wurden im Verlauf der Fahrt GPS-Daten aufgenommen. Über ein angeschlossenes Display in Form eines Navigationssystems sollte der Fahrer vor Fahrtbeginn und nach Fahrtende Fragen über die Anzahl der Personen, den Zweck der Fahrt und die Beladung beantworten.
Diese Messtechnik eignet sich auch zur Erfassung des Energie- bzw. Kraftstoffverbrauchs während der Fahrt. Dadurch können z. B. Aussagen über den Zusammenhang zwischen dem momentanen Verbrauch und dem Höhenprofil oder der Geschwindigkeit getroffen werden. Die Referenzstrecken der BASF wurden im Rahmen dieser Arbeit mit einem Opel Meriva und angeschlossener M2M-Box sowie PEAK-Box abgefahren. Detaillierte Ergebnisse dieser Fahrten befinden sich im Anhang zum Endbericht des Modul 5.

4 Ermittlung der Energieeffizienz auf den Referenzstrecken in der Simulation

4.1.1 Methodisches Vorgehen

In Abbildung M5-2 wird zunächst ein Überblick über das methodische Vorgehen bei der Ermittlung der Energieeffizienz und der CO2-Emissionen für die Gegenüberstellung von Messfahrten zu Simulation gegeben.
(Abb. nächste Seite)

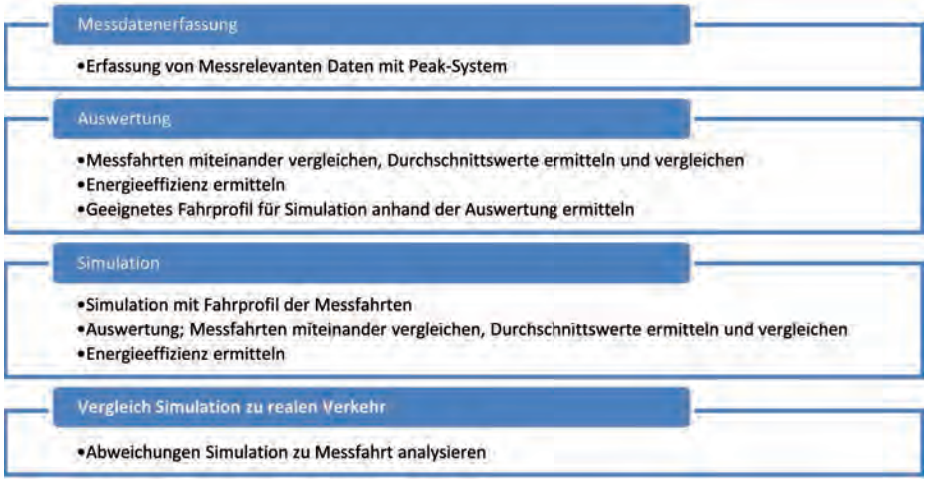


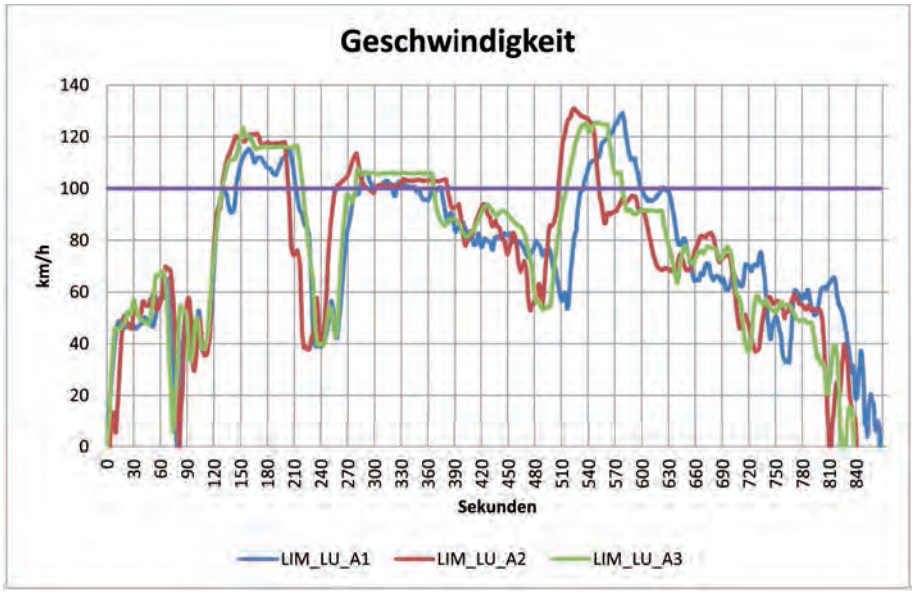
Abb. M5-2: Methodisches Vorgehen (Eigene Darstellung)

4.1.2 Durchführung der Testfahrten

Die Referenzstrecken LH-LU A und LH-LU B wurden dreimal abgefahren, um einen statistischen Mittelwert berechnen zu können und zum anderen die Auswirkung auf die Auswertung bei verschiedenen Verkehrssituationen wie z. B. Berufsverkehr zu betrachten. Das Versuchsfahrzeug war der ausgewählte Opel Meriva, ausgestattet mit dem Peak-System. Die Versuchsfahrten erfolgten mit einer Person ohne Gepäck. Die Start-, Endzeit, Kilometerstände der jeweiligen Fahrten und Verbräuche wurden zusätzlich manuell notiert, um später die Messdaten des Peak-Systems leichter zuordnen und auf Plausibilität prüfen zu können. In der Simulation wurde eine ähnliche Versuchsfahrt durchgeführt. Zur Übertragung wurde ausschließlich das Geschwindigkeitsprofil der realen Messfahrt gewählt. Im Gegensatz könnte aber die Software auch mit einer Fahrer-Fahrprofil-Identifikation arbeiten. Hierbei würde der Fahrer anhand vorgegebener Verkehrszeichen oder Verkehrssituation in der Simulation berücksichtig werden.

Untersuchung der Messdaten

Für eine Vorauswertung vor der Simulation wurden die realen Testfahrten miteinander verglichen. Dabei wurden die Durchschnittswerte ermittelt, um anschließend Abweichungen unter den Routen herauszufiltern bzw. die optimale Route für die Einbindung in die Simulation zu wählen. In Abbildung M5-3 werden die Geschwindigkeitsprofile der Route LH-LU A (hier als LIM_LU_A bezeichnet) und Route LH-LU B (hier als LIM_LU_B bezeichnet) aufgezeigt. Darauf ist zu erkennen, dass jeweils alle drei Messfahrten der jeweiligen Route einen unabhängig von der Zeit gleichmäßigen Verlauf haben. Der zeitliche Versatz erklärt sich durch Differenzen bei den Durchschnittsgeschwindigkeiten in den einzelnen Abschnittsintervallen (Stau oder unterschiedliche Haltephasen bei Ampeln).



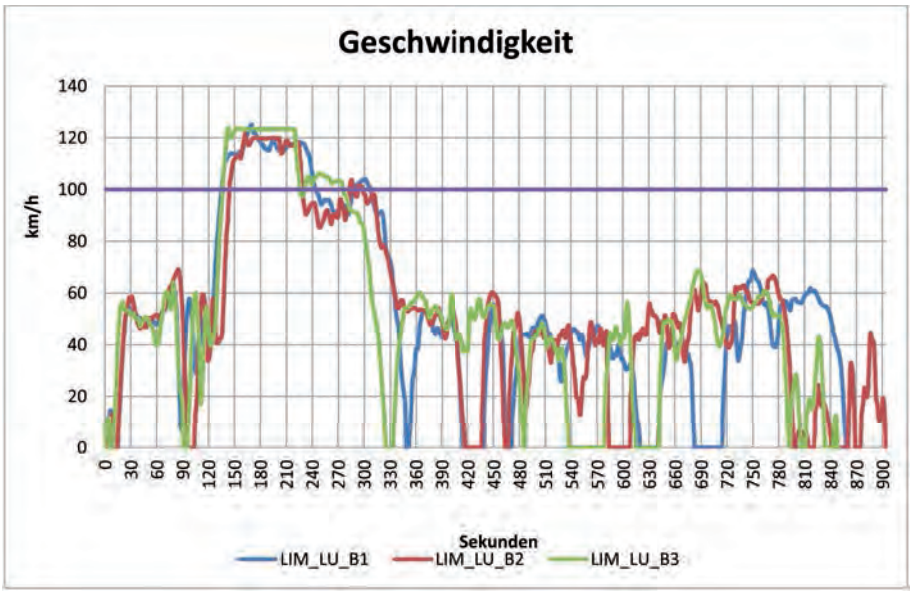


Abb. M5-3: Gewindigkeitsprofil Route A und B Real (Eigene Darstellung)

Die durchschnittlichen, mittleren Abweichungen sind bei den Betrachtungen der gesamten Fahrzeit sehr gering. Dies ist besonders wichtig für die spätere Auswahl des Geschwindigkeitsprofils für die Simulation.

Es ist auch zu erkennen, dass der Minimal-Verbrauch Null Liter pro Stunde beträgt. Dies ist auf die Schubabschaltung zurückzuführen, da im Schubbetrieb, z. B. Bergabfahrt, die Einspritzmenge auf null reduziert wird. Der hohe Maximalverbrauch entsteht bei starken Beschleunigungsphasen, da beim Öffnen der Drosselklappe das Gemisch kurzeitig abmagert. Um einen momentanen Leistungseinbruch zu vermeiden, muss kurzzeitig mehr Kraftstoff eingespritzt werden.

Die Route A und Route B unterscheiden sich qualitativ deutlich. So ist Route A ein Überlandkurs während Route B nahezu einen reinen Stadtkurs beschreibt. Auf der Route A ist der Anteil von Fahrten mit Geschwindigkeiten über v=100 km/h ca. 11% höher als auf Route B. Der Anteil am Verbrauch Null soll das Einsparpotential der Schubabschaltung darstellen. In weiteren Untersuchungen kann damit ein Vergleich zu der Rekuperation erstellt werden, da die Schubabschaltung genau wie auch die Rekuperation bei Elektrofahrzeugen als Motorbremse verwendet wird. Beim Vergleich beider Routen ist der Unterschied kleiner als ein Prozent. Dies ist begründet durch den hohen Anteil von v=>100km/h bei Route A und den hohen Anteil Stillstand bei Route B . Bei Route B (Stadtverkehr) ist durch viel Stop-and-Go die Stillstandszeit ca. 50 % größer als bei Route A. Beim Verzögern wird die Schubabschaltung aktiv.

Bei Route A ist der Anteil an v=> 100km/h ca. doppelt

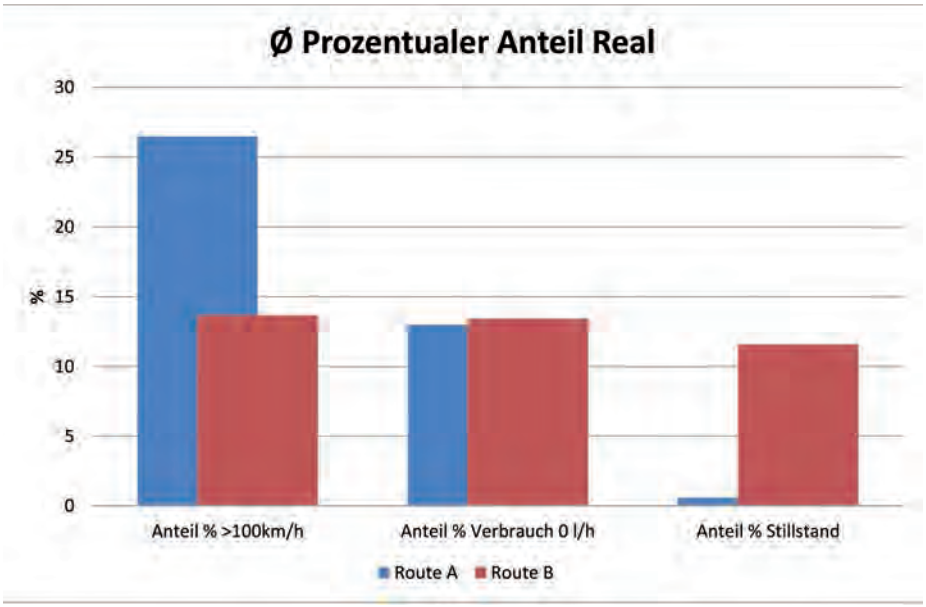


Abb. M5-4: Prozentuale Abweichungen der Messfahrten mit Dieselantrieb (Eigene Darstellung)

	> 100km/h [%]	Verbrauch 0 l/h [%]	Stillstand [%]	Ø Kraftstoff [l/h]	Verbrauch [l] Strecke	Verbrauch l/100km	Messzeit [s]
Route A	26,47	13,02	0,55	4,63	1,09	6,04	848,70
Route B	13,67	13,44	13,67	3,46	0,84	6,66	870,40
Differenz	12,80	0,42	13,12	1,17	0,26	0,62	21,70

Tab. M5-2 Prozentuale Anteile und Durchschnitts-Verbrauch der Messfahrten (Eigene Darstellung)

so hoch als bei Route B. Dadurch ist es möglich bei Überlandfahrten durch vorausschauendes Fahren beim Verzögern des Fahrzeuges einen langen Schubbetrieb zu ermöglichen. Auch wenn der Anteil Verbrauch B_h = 0 Liter/Stunde gleich ist, zeigt sich beim Verbrauch, dass Unterschiede bestehen.
Die Route A weist einen höheren Verbrauch pro Strecke auf, vgl. Tabelle M5-2: Kraftstoffverbrauch auf Route A (B_{sA}) beträgt 1,09 Liter pro Strecke gegenüber B_{sB} von 0,84 Liter pro Strecke auf Route B.
Die höhere Durchschnittsgeschwindigkeit auf Route A hat zur Folge, dass der Fahrwiderstand größer ist und somit auch der Energiebedarf. Die bessere Effizienz auf Route A ist durch den geringeren Verbrauch feststellbar: $B_{sA}100$ = 6,04 l zu $B_{sB}100$ = 6,66 l.

4.1.3 Simulation der Messfahrten

Bei der Einbindung des Fahrprofiles gibt es diverse Möglichkeiten neben dem Geschwindigkeitsprofil das Fahrerverhalten als Vorgabegröße für die Simulation zu verwenden. Hier wurde zunächst nur das Geschwindigkeitsprofil verwendet, da diese Daten auch für andere Fahrzeuge ohne großen Aufwand leichter zu messen sind als z. B. Brems- und Gaspedalbewegungen, Lenkradwinkel und –moment. Die Geschwindigkeit kann z. B. über ein GPS Modul einfach ermittelt werden.
Das Software-System IPG CarMaker enthält ein Fahrer-Modul, das parametrisiert werden kann. Damit soll die Möglichkeit geschaffen werden, dem Fahrer-Modul in der Software ähnliche Eigenschaften hinsichtlich Längs- und Querbeschleunigung zu geben wie dem realen Fahrer der Messfahrt.
Zur Verfeinerung des Fahrerverhaltens wurden hier die Parameter aus Messwerten ermittelt, indem aus den ausgewählten Routen die maximalen Längs- und Querbeschleunigungswerte bestimmt wurden. Es wurden die typischen Werte eines Normalfahrers von ca. -3,5 bis 2,7 m/s² erreicht. Diese wurden in dem Fahrermodul angepasst.
Das Fahrzeug-Simulationsmodell, Opel Meriva Diesel Automatik, wurde als teilverschlüsselter Datensatz von der Adam Opel AG freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Auswertung der Simulationsergebnisse

Es war geplant die Simulation auf den jeweiligen digitalisierten Strecken durchzuführen. Ein wesentliches Problem stellt dabei die Zuordnung von geographischen Daten zum Fahrzeug-Zeit-Verhalten dar. Wenn hier der Ablauf nicht exakt synchron erfolgt, bricht die Simulation ab. Deshalb wurden die nachfolgenden Auswertungen vorläufig auf einer einfacheren geraden Straße ohne Höhenprofil jedoch mit gemessenem Geschwindigkeitsprofil simuliert. Durch die geringen Höhenmeter der Routen war bei der Betrachtung des Verbrauches keine größere Abweichung feststellbar. Für die Zuverlässigkeit wurden die Messfahrten auch in der Simulation dreimal abgefahren. Als Abtastrate wurde 10 Hz gewählt, da diese äquivalent zum Messsystem ist. In Abbildung M5-5 ist zu erkennen, dass die Verläufe von Simulation und Messfahrt identisch sind. So kann vorläufig bestätigt werden, dass das Fahrzeug sich in der Simulation genauso verhält wie auf den Messfahrten.

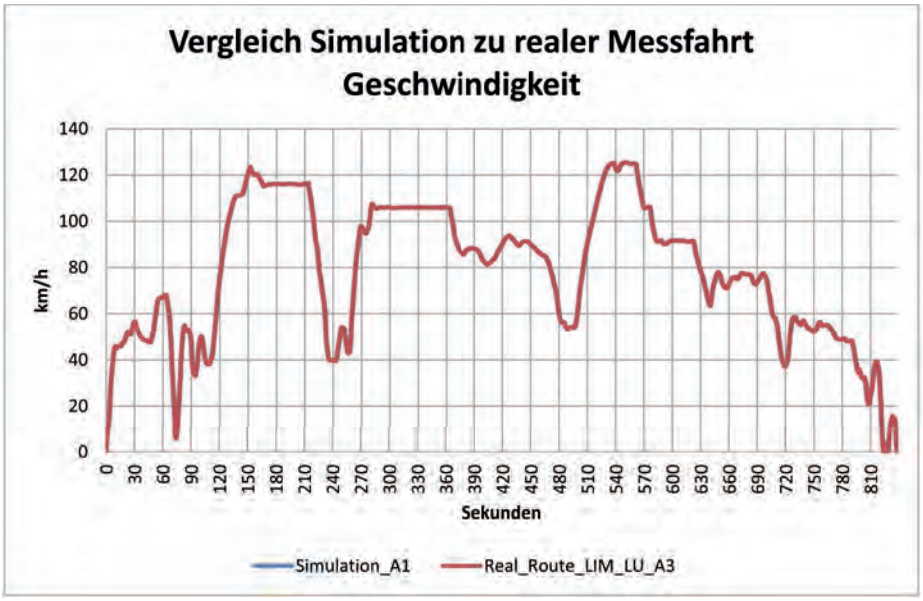


Abb. M5-5: Simulation zu Messfahrt Route A3 (Eigene Darstellung)

der Simulation nicht umgesetzt ist. Die Abweichungen der anderen Anteile sind etwa gleichwertig und liegen zwischen 30 % und 40 %.

Da bisher nur ein Fahrzeug untersucht wurde, kann noch keine belastbare Aussage getroffen werden. Weitere Untersuchungen mit anderen Antriebsarten sind erforderlich. Außerdem sollte die Betrachtung mit der digitalisierten Fahrstrecke erfolgen, um die Auswirkungen des Kurvenwiderstands auf den Einfluss des Kraftstoffverbrauches zu berücksichtigen. Als weitere Option sollte die Parametrisierung des Versuchsautos Opel Meriva in der Simulation verfeinert. Als nächster Schritt empfiehlt sich die Erweiterung der Fahrerparameter z. B. mit Gaspedalstellung, Bremsdruck und weiteren Fahrerkenngrößen.

4.1.4 Vergleich Simulation zu realen Verkehr

Dass die Geschwindigkeiten in der Simulation mit der Realität übereinstimmen zeigt Abbildung M5-5, weshalb im Weiteren auf den Kraftstoffverbrauch eingegangen wird.
Kraftstoffverbräuche von Realfahrt und Simulation differieren deutlich. Das Verhältnis zwischen Kraftstoffverbrauch der Realfahrten zum Verbrauch der Simulation lässt sich in prozentualen Abweichungen darstellen. Werden die Durchschnittswerte aller Routen betrachtet, ergibt sich die prozentuale Abweichung nach Abbildung M5-6.
Wie zu erkennen ist, hat der Anteil B_h = 0 l/h (Schubabschaltung z. B. Talfahrt) eine 100 % Abweichung. Hier wird auf die fehlende Kraftstoffabschaltung hingewiesen, die in

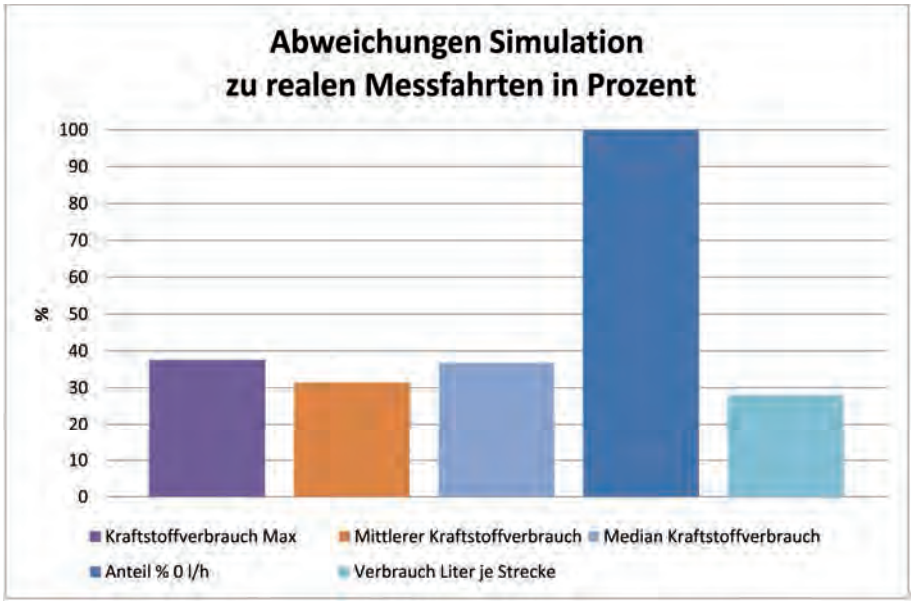


Abb. M5-6: Real zu Simulation (Eigene Darstellung)

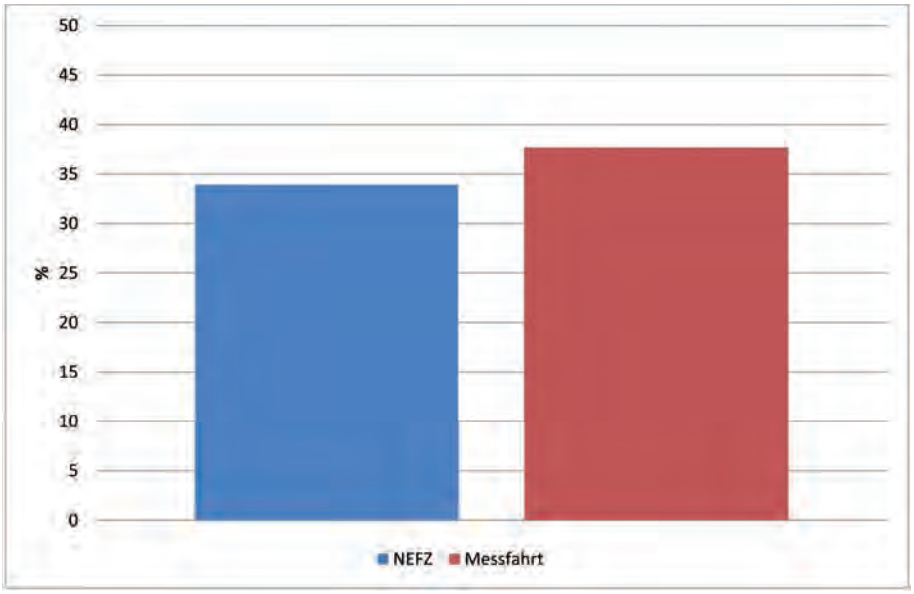


Abb. M5-7: Abweichung der Simulation NEFZ und Messfahrt (Eigene Darstellung)

Abbildung M5-7 zeigt den Vergleich zwischen den beiden Simulationen. Zum einen wird die Abweichung NEFZ im Vergleich zu Herstellerangaben dargestellt und zum anderen die zusammengefassten gemittelten Werte mit dem Versuchsfahrzeug.

5 Diskussion und Ausblick

Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2020 eine Millionen Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen. Der Einsatz von Elektrofahrzeugen in Fuhrparkflotten oder für Pendlerstrecken erscheint besonders interessant.
Durch die Simulation ist es möglich, vorab die Fahrstrecken auf die Tauglichkeit der Elektrofahrzeuge zu testen und ein Vergleich zu anderen Antriebskonzepten zu erhalten. Vorteil an der Simulation wäre dann, dass keine aufwändige Messtechnik im Fahrzeug eingebaut werden muss und eine große Palette an Fahrzeugen untersucht werden kann, ohne diese mit hohen Kosten und Aufwand zu testen.
Wie aus dem Bericht hervorgeht sind noch einige weitere Untersuchungen notwendig, um belastbare Ergebnisse in der Simulation zu erhalten. Im Kontext dieser Untersuchung sind vor allem weitere Antriebssysteme in der Software abzubilden. Innerhalb des Software-Systems ist es besonders von Interesse weitere Simulationen mit Veränderung der Parameter am Fahrzeug vorzunehmen und die Implementierung von Verkehrsdaten zu ermöglichen. Diese Informationen aus der Verkehrssituation würden es erlauben, dass das Fahrer-Modul im IPG CarMaker selbstständig ohne Vorgabe die simulierten Strecken abfahren kann.
Ein direkter nächster Schritt sollte die Untersuchung des Kurvenwiderstandes und das dynamische Verhalten des Motors sein, der mit dem vorhandenen Versuchsfahrzeug und einem Fahrzeugrollenprüfstand ermittelt werden kann. Durch die Korrelation mit den Daten der Simulation kann der Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch dargestellt werden. Die Abweichung der Simulation kann als vermutlich konstant angesehen werden und ermöglicht somit eine teilweise Übertragung in die Realität.

6 Quellen

[1] Eichlseder, H., & Klell, M. (2012). Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag; komplettes Literaturverzeichnis findet sich in der Langfassung (Endbericht Modul 5)

[2] TU Wien, 2009, S. 92

[3] ifeu Institut. (Oktober 2011). UMBReLA Umweltbilanzen Elektromobilität. von http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/foerderprojekte-aus-dem-konjunkturpaket-ii-2009-2011/begleitforschung/dokumente-downloads/GrundlagenberichtUMBReLAIFEUfinal.pdf (abgerufen am 13.07.2012)

[4] Zulassungsbescheinigung Teil I der Testfahrzeuge

[5] Datenblätter der Hersteller

[6] http://rc.opelgt.org/indexcw.php. (abgerufen am 06.11.2012)

Modul 6: Standortkonzept Ladeinfrastruktur

Autoren: Johannes Roos, Sascha Baron, Göran Glauer

1 Einleitung

Die Reichweite von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen ist im Vergleich zu konventionellen Verbrennungsantrieben eingeschränkt. Gleichwohl scheint sich die Elektrifizierung der Antriebe mittelfristig durchzusetzen, da die Antriebstechnik effizienter ist und die Nutzung regenerativer Energien ermöglicht wird. Der Einsatz von Elektrofahrzeugen im Bereich des motorisierten Individualverkehrs (MIV) in Rheinland-Pfalz könnte als Teilziel für eine Effizienzsteigerung dienen. Batterieelektrische Fahrzeuge benötigen zum Aufladen der Batterien Zugang zum Stromnetz.
Die nachfolgenden Untersuchungen analysieren, in welchem Maße mit der heute bereits bestehenden Ladeinfrastruktur und -technik in Rheinland-Pfalz eine alltägliche Elektromobilität möglich ist und an welchen Punkten weiterer Handlungsbedarf besteht.

2 Zielvorstellungen für Ladeinfrastruktur in RLP

Als Ziele für eine alltägliche Nutzung von Elektrofahrzeugen und die notwendige Ladeinfrastruktur werden folgende Aspekte genannt:

- Alle Mittel- und Oberzentren sollen aus dem Umland erreichbar sein
- Alle Fahrbeziehungen zwischen allen rheinland-pfälzischen Ober- und Mittelzentren sollen mit Elektrofahrzeugen ohne Zwischenladen bewältigt werden können
- Ermöglichung der Abwicklung der alltäglichen Verkehre
- Minimale Ausrüstung des öffentlichen Straßenraums mit Ladeinfrastruktur aus Kosten- und Stadtbildgründen
- Wenig Einschränkungen im Vergleich zu konventionellen Antriebsarten
- Öffentliche Zugänglichkeit und hohes Maß an Kompatibilität für eine breite Nutzergruppe
  - Einheitliche Steckertypen
  - Einheitliches Abrechnungssystem
- Hohe technische Verfügbarkeit
- Einfache Nutzbarkeit
- Prioritäten für verschiedene Standorte

Diese Zielvorstellungen basieren auf den Erfahrungen aus dem Feldtest des Netzwerks an der Technischen Universität Kaiserslautern, Nutzermeinungen sowie dem Technischen Leitfaden für Ladeinfrastruktur der Nationalen Plattform Elektromobilität [1] und den Ergebnissen aus dem Projekt STROPA [2].

3 Strukturelle Rahmenbedingungen in Rheinland-Pfalz

In den rheinland-pfälzischen Oberzentren Mainz, Ludwigshafen, Koblenz, Trier und Kaiserslautern sowie deren direktem Umland leben knapp ein Fünftel der Einwohner [3] des Bundeslandes. Als Mittelzentren gelten alle Orte zwischen 10.000 und 100.000 Einwohnern mit Ausnahme von Kaiserslautern, das aufgrund seiner Funktion auch als Oberzentrum gezählt wird. Diese Definitionen sind deckungsgleich mit denen des Landesentwicklungsprogramms von 2008 [4]. Werden die Mittelzentren hinzuaddiert, lebt in diesen Städten rund ein Drittel der Gesamtbevölkerung. Dies heißt im Umkehrschluss aber auch, dass zwei Drittel der Bevölkerung in kleinen Landgemeinden in der Fläche wohnen. Diese sind meist auf das jeweilig nächstgelegene Mittelzentrum ausgerichtet. Alternativen zum MIV sind dort so gut wie nicht vorhanden und werden zukünftig aufgrund des demographischen Wandels eher ab- als zunehmen. In den Oberzentren ist der öffentliche Nahverkehr (ÖV) hingegen meist hinreichend gut ausgebaut, so

dass eine geringere Abhängigkeit vom eigenen Auto besteht. Eine Analyse der Bahnverbindungen zwischen den Städten zeigt, dass diese in Rheinland-Pfalz nicht durchgängig vorhanden sind. Zwar sind alle Oberzentren an das Schienennetz angeschlossen, es gibt jedoch nicht immer direkte Verbindungen, was einen deutlichen Wettbewerbsnachteil für die Bahn bedeutet. Das Straßennetz in Rheinland-Pfalz ist hingegen wesentlich dichter ausgebaut und erschließt den Großteil der Bevölkerung in der Fläche. Das größte Potential für Elektrofahrzeuge besteht somit in der Fläche.

Abb. M6-1: Mittel- und Oberzentren in Rheinland-Pfalz

4 Status quo

4.1 Technische Merkmale

Es gibt derzeit noch keinen weltweit einheitlichen Standard für das Laden von Elektrofahrzeugen. Es existiert eine Fülle an verschiedenen Steckertypen [5], die untereinander nicht kompatibel sind. Die Wahl eines Steckertyps ist abhängig vom Einsatzzweck, von dem die Ladeleistung maßgeblich bestimmt wird. Diese ist ausschlaggebend für die Ladedauer.

Grundsätzlich wird zwischen Wechselstrom- (AC) und Gleichstromladesystemen (DC) unterschieden. Neben Haushalts- und Industriesteckern wurden in den letzten Jahren verschiedene Stecker für Elektrofahrzeuge entwickelt, die jedoch eine sehr unterschiedliche regionale Präsenz aufweisen. Die einzelnen Typen werden im Folgenden vorgestellt. Typen, die auf dem europäischen Markt nicht genutzt werden können oder proprietäre Standards verwenden, werden ausgespart.

Typ-2
Der Typ-2 Stecker (EN 62196 Typ 2) ist ein seit 2013 von der EU genormter Stecker für Elektrofahrzeuge. Er besitzt sieben runde Pins, wovon zwei für die Kommunikation zum Elektroauto und fünf für die Leistungsübertragung zuständig sind.

Chademo
Der Chademo Standard ist ein in Japan von The Tokyo Electric Power Company (TEPCO), Nissan, Mitsubishi und Fuji Heavy Industries (die Herstellerfirma der Marke Subaru) entwickelter Gleichstromladestecker. Er ist in Japan verbreitet, jedoch inkompatibel zum Typ-2 Stecker. Der Chademo Stecker verfügt über einen integrierten CAN Bus, der zum Austausch von Daten genutzt wird.

Combined Charging System (CSS)
Das Combined AC/DC-Charging System ist ein Ladestecksystem für Elektrofahrzeuge und unterstützt sowohl das AC-Laden (Wechselstrom) als auch das DC-Laden (Gleichstrom). Es wurde von Phoenix Contact in Zusammenarbeit ausschließlich mit deutschen Automobilherstellern (Volkswagen Konzern, Mercedes, BMW) entwickelt und steht in Konkurrenz zu Chademo. Die Fahrzeuge können wahlweise mit Wechsel- oder Gleichstrom aufgeladen werden. Basis bildet immer der Typ-2 Stecker, der bei Gleichstromladungen um einen DC-Teil ergänzt wird.

CEE Stecker
Unter CEE Steckern werden Stecker, Steckdosen und Kupplungen für industrielle Anwendungen verstanden, die international genormt sind. Die Stecker unterscheiden sich hinsichtlich der maximalen Spannung und der Stromstärke, erkennbar an der Steckerfarbe. Maximal sind 690V und 125A zulässig. Am meisten verbreitet ist der rote Typ mit einer Spannung von 380V-480V. Folgende Typen stehen zur Verfügung:

- CEE230-16 (vergleichbar mit Schuko, nur in Industrieausführung)
- CEE400-16 (400V und 16A)
- CEE400-32 (400V und 32A)

Diese Stecker können nicht direkt für die Ladung von Elektrofahrzeugen verwendet werden, da keine Datenpins vorhanden sind. Im Zubehörhandel gibt es mittlerweile Adapterkabel auf Typ-2, die eine Box beinhalten, die die nötige Ladesteuerung enthält und somit eine Ladesäule simulieren. Je nach Typ können unterschiedliche Leistungen übertragen werden.

Schuko
Unter Schukosteckern (Abkürzung für Schutzkontaktstecker) werden gewöhnliche Haushaltsstecker verstanden, die mit 230V und maximal 16A betrieben werden. Für diese gibt es ebenfalls Adapterkabel auf den Typ-2 Stecker mit eingebauter Ladesteuerungsbox. Aufgrund der niedrigen Leistung wird die Ladung über Schukostecker meist auch als Notlademöglichkeit bezeichnet. Der Vorteil von Schukosteckern ist die hohe Verfügbarkeit und der niedrige Installationsaufwand.

4.2 Öffentliche Ladeinfrastruktur in RLP

Für Rheinland-Pfalz sind derzeit im Internet (Stand Februar 2014) 105 öffentliche Ladesäulen verzeichnet, die durch eine Recherche im Februar 2014 auf einschlägigen Internetseiten von Stadtwerken, Energieversogern sowie gemeinnützigen Seiten mit Ladeverzeichnissen (z. B. lemnet.org) ermittelt wurden. Diese finden sich bevorzugt in den Oberzentren. In den ländlich geprägten Landesteilen ist das Netz erwartungsgemäß dünner, wobei eine erhöhte Dichte in Eifel und Westerwald konstatiert werden kann. Hunsrück und Pfälzer Wald haben derzeit ein sehr dünnes Netz an Ladeinfrastruktur.

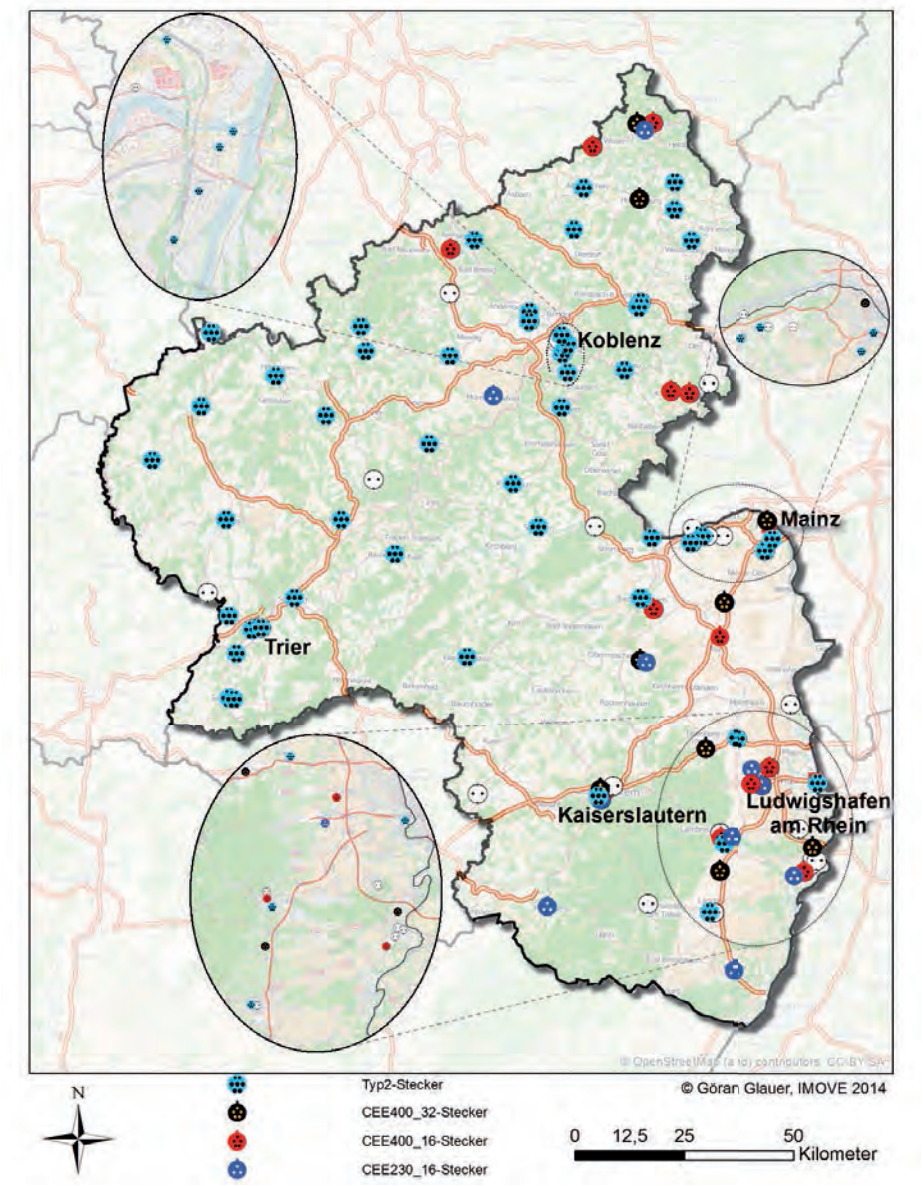


Abb. M6-2: Ladeinfrastruktur in Rheinland-Pfalz

4.3 Heimische Ladeinfrastruktur

Im Zeitraum vom 15. Juli bis 16. August 2013 fand eine anonyme Online-Umfrage von MobilityRadar und electrive.net zum Thema heimische Ladeinfrastruktur statt [6]. Zielgruppe waren Nutzer privater Ladeinfrastruktur und Personen, die über einen Erwerb eines Elektroautos nachdenken. Es waren insgesamt 811 Teilnehmerfragebögen vollständig auswertbar. Über die Hälfte der Befragten, die in EFH/DHH wohnt, hat mindestens eine Lademöglichkeit (Steckdose oder Wallbox). Bei Bewohnern von Mehrfamilienhäusern ist die Quote wesentlich geringer. Hier besitzen 76% keine Lademöglichkeit. Ebenso ist der Anteil an Garagenstellplätzen wesentlich geringer. Dies liegt zum einen daran, dass in Großraumgaragen nur in seltenen Fällen Steckdosen vorhanden sind. Bei Stellplätzen im Freien oder an der Straße gibt es derzeit keine Lademöglichkeit für Elektroautos. Intelligente Ladeinfrastruktur ist aufgrund der sehr hohen Investitionskosten für Privatanbieter unrentabel.

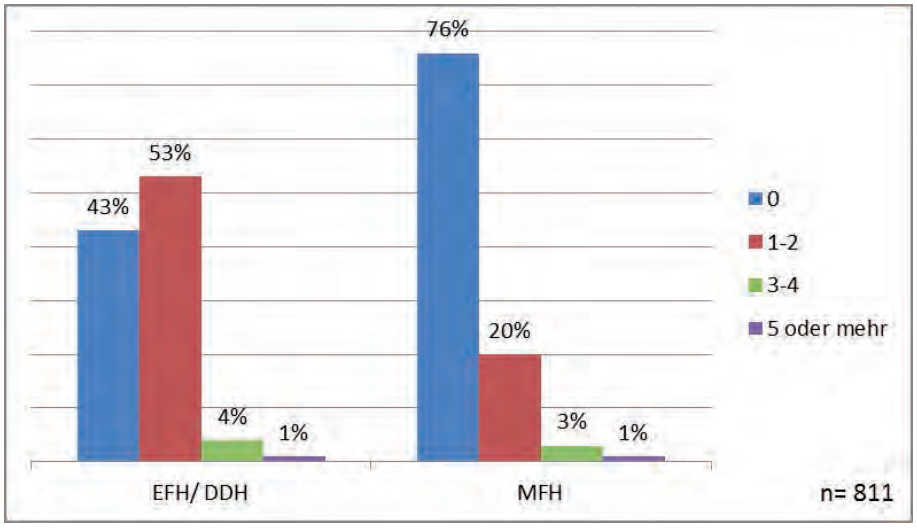


Abb. M6-3: Anzahl der Lademöglichkeiten in Abhängigkeit von der Wohnsituation (Quelle: [6])

4.4 Betreibermodelle

Betreiber von öffentlicher Ladeinfrastruktur sind in erster Linie Kommunen, Stadtwerke und Energieversorger. Ein großes Problem von Ladeinfrastruktur sind die derzeit sehr hohen Amortisationszeiträume (Fraunhofer ISI). Zum einen ist der Energiedurchsatz sehr gering, das heißt, die Autos blockieren für einen sehr langen Zeitraum (mehrere Stunden, im Gegensatz zu mehreren Minuten an Tankstellen) die Infrastruktur und den zugehörigen Stellplatz. Zum anderen sind die Margen beim Verkauf von elektrischer Energie niedrig. Eine öffentliche Ladesäule kommt aufgrund der hohen Investitionskosten somit auf einen Amortisationszeitraum von 14 bis 55 Jahren, was ein erhebliches unternehmerisches Risiko bedeutet. Teure Ladeinfrastruktur mit Zugangs- und Lastmanagement kann derzeit fast nur über Subventionen realisiert werden. Dies können zum einen externe Subventionen oder zum anderen interne Querfinanzierungen sein. Generell kommen vier Abrechnungsmodelle in Frage. Zeitbasierte Tarife berechnen die Standzeit an der Ladesäule. Ähnlich wie bei der Parkraumbewirtschaftung wird die Standzeit des Fahrzeugs zugrunde gelegt. Die entnommene Strommenge ist über den Ladestrom begrenzt. Eine genaue Abrechnung des getankten Stroms ist nicht möglich. Dieses System harmoniert sehr gut in Kombination mit der Parkraumbewirtschaftung, da beide Komponenten zusammen abgerechnet werden können. Bei Flatrate-Tarifen gibt es keine Zeit- und Energiemengenbeschränkung. Daher fehlt auch der Anreiz, den Parkplatz nach dem Ladevorgang zu räumen. Die Auslastung der Ladesäule nimmt dementsprechend ab. Das Abrechnungssystem ist hingegen sehr einfach. Bei der nutzungsbasierten Abrechnung wird pro Nutzung der Ladesäule bezahlt. Auch hier bestehen keine Anreize, den Parkplatz nach erfolgter Ladung zügig zu räumen. Dieses Problem haben auch volumenbasierte Tarife. Hier wird nur die aufgenommene Energie in Rechnung gestellt. Der Zeitraum bleibt unberücksichtigt.
Am sinnvollsten sind daher Tarife, die sowohl die Standzeit als auch den "getankten" Strom berechnen.

5 Erreichbarkeitsanalysen

5.1 Annahmen

Für die Erreichbarkeitsanalysen wird eine Bemessungsreichweite zugrunde gelegt. Zur Ermittlung dieser Reichweite wurden die Werte aller verfügbaren Fahrzeuge von Erstausrüstern zum Stichtag (28.2.2014) herangezogen und der Mittelwert gebildet. Sofern möglich, wurde hierfür der Wert nach dem „Neuen Europäischen Fahrzyklus" (NEFZ) herangezogen. Sollte für das Modell noch kein NEFZ Wert vorliegen, so sind die entsprechenden ausländischen Fahrzyklen verwendet worden. Es ergibt sich ein Mittelwert der

Reichweiten von 145km. Diese sind auf Basis des NEFZ oder vergleichbaren Fahrzyklen ermittelt worden. Die tatsächliche Reichweite im Alltag weicht jedoch signifikant hiervon ab. Eine Studie des ICCT von 2013 weist einen Mehrverbrauch von ca. 25% aus [7]. Für den Alltagsbetrieb ist die tatsächliche Reichweite entscheidend. Daher wird die Angabe des Prüfstands um 25% vermindert. Für die weiteren Analysen wird daher eine Reichweite des Elektrobemessungsfahrzeugs von 108 km angenommen. Topografische und verkehrliche Randbedingungen wie Steigungen, Geschwindigkeiten oder zähfließender Verkehr werden bei den Erreichbarkeitsanalysen nicht weiter berücksichtigt, sondern sind soweit möglich im NEFZ eingerechnet. Wegeketten sind ebenfalls nicht in die Analysen eingeflossen. Darüber hinaus wird bei Fahrtantritt von zu Hause immer ein voller Akku vorausgesetzt.

5.2 Erreichbarkeiten von Zentren aus dem Umland

Die Erreichbarkeit von Mittel- und Oberzentren aus dem Umland wird in drei Kategorien eingeteilt. Diese richten sich nach der Verweildauer am Zielort. Bei hohen Verweildauern kann entsprechend mehr Energie nachgeladen werden, so dass eine höhere Reichweite für die Gesamtstrecke zur Verfügung steht.

Bei der Analyse werden daher die folgenden drei Kategorien unterschieden, die in Abb. M6-4 dargestellt sind:

- Kategorie 1: Sofortige Rückfahrt ohne Nachladen. → Batteriekapazität muss für Hin- und Rückweg ausreichen. Die Gesamtreichweite wird hälftig auf Hin- und Rückweg aufgeteilt. Die maximale einfache Entfernung beträgt 54km (durchgezogene Linie)

- Kategorie 2: Rückfahrt nach bis zu 50 % Nachladen. → Die einfache Entfernung kann zwischen 54km und 81km liegen (weit gestrichelte Linie)

- Kategorie 3: Rückfahrt nach 50 % bis 100 % Nachladen → Die einfache Entfernung kann zwischen 81km und 108km liegen (eng gestrichelte Linie)

Für die fünf rheinland-pfälzischen Oberzentren sind die drei Kategorien in Abb. M6-4 dargestellt. Das jeweilige Umland der Oberzentren wird bereits mit den aktuellen Reichweiten abgedeckt. Der Großteil des Umlandes fällt in Kategorie 1. Lediglich kleine Randbereiche fallen in die Kategorie 2. Hier ist am Zielort ein Nachladen vor Antritt des Rückweges erforderlich. Kategorie 3 ist nicht vertreten. Diese kommt nur zum Tragen, wenn nicht das nächstgelegene Oberzentrum angefahren wird.

Bei den Mittelzentren gibt es nur Erreichbarkeiten der Kategorie 1. Somit sind alle nächstgelegenen Mittelzentren aus dem direkten Umland mit Elektrofahrzeugen auf dem Hin- und Rückweg ohne Nachladen erreichbar. Das Aufladen muss somit nur zu Hause erfolgen.

Das bedeutet, dass die täglichen Pendelwege in die jeweils nächstgelegenen Zentren in Rheinland-Pfalz ohne Einschränkung bereits heute darstellbar sind. Der Einzugsbereich übersteigt die Pendeldistanz, die in Rheinland-Pfalz bei 75 % der Fälle unter 25 km liegt.

5.3 Erreichbarkeiten zwischen Zentren

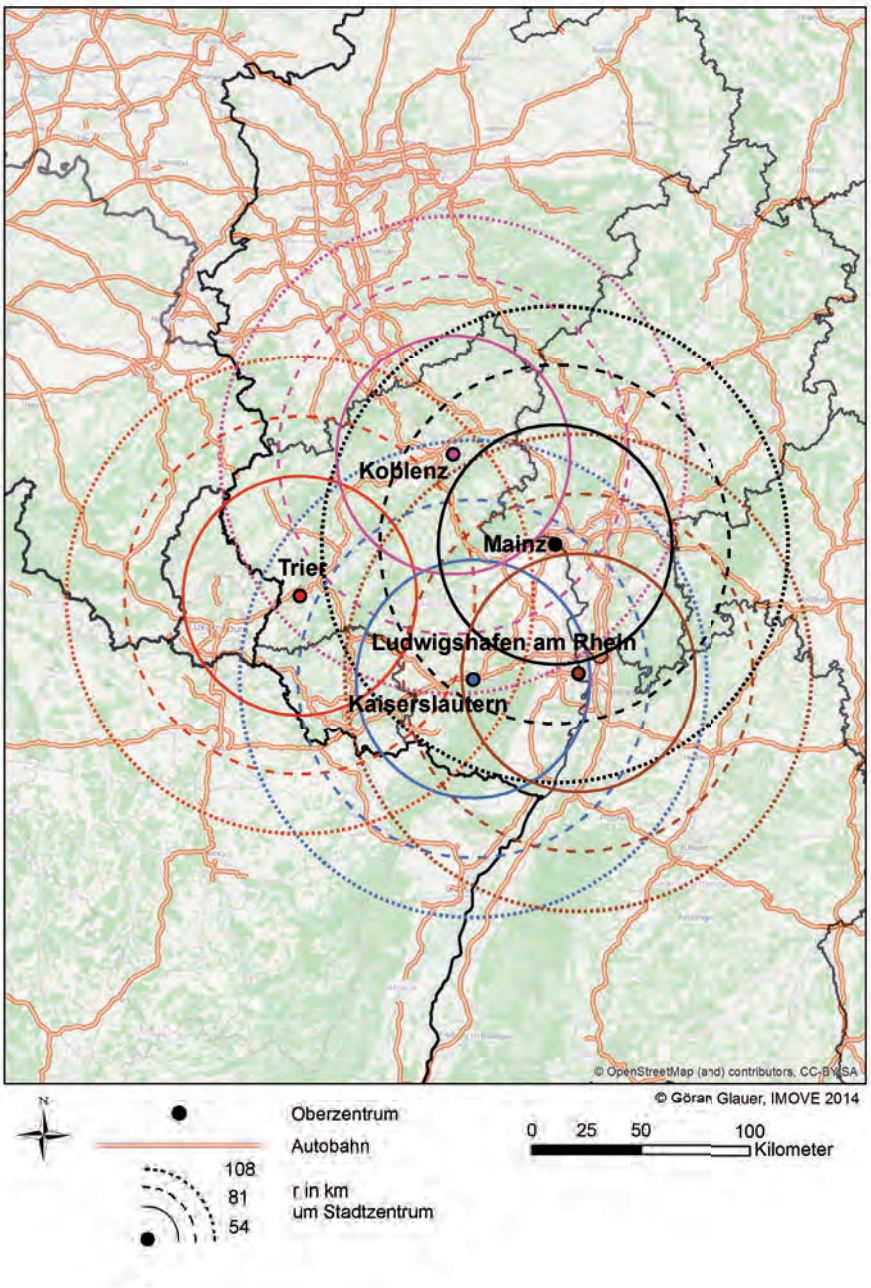


Abb. M6-4: Erreichbarkeiten aus dem Umland der Oberzentren

Die Erreichbarkeit zwischen Mittel- und Oberzentren, dort lebt ein Drittel der Bevölkerung, in Rheinland-Pfalz erfolgt durch eine Überprüfung der Entfernungen. Hierzu wurde eine Quell-Ziel-Matrix (siehe Tab. M6-2) aufgestellt, in der für jede Relation die Entfernung eingetragen ist. Für die Analyse wird die Bemessungsreichweite von 108km zugrunde gelegt. Es werden dabei vier Kategorien untersucht, die in Tab. M6-1 dargestellt sind.

Alle Entfernungen, die über Kategorie 3 liegen, werden als nicht erreichbar angesehen. Ein Zwischenladen auf der Strecke wird nicht betrachtet, da aufgrund der geringen Entfernungen unterstellt wird, dass der Fahrer keine Pause einlegt, die hierfür genutzt werden könnte. Für die

Kategorie	Beschreibung	Reichweite
1	Hin- und Rückfahrt ohne Nachladen am Zielort	Distanz < 50% RW
2	Hin- und Rückfahrt mit Nachladen am Zielort	50% RW < Distanz < 100% RW
3	Hin- und Rückfahrt mit Nachladen am Zielort, jedoch keine Lademöglichkeit	50% RW < Distanz < 100% RW
4	Zielort nicht erreichbar	Distanz > 100% RW

Tab. M6-1: Erreichbarkeitskategorien

Kategorien 2 und 3 wird zusätzlich untersucht, ob am Zielort eine Lademöglichkeit besteht. Dabei wird unterstellt, dass diese auch den passenden Steckertyp vorhält. Sollte dies der Fall sein, so wird die Relation als erreichbar eingestuft. Sollte keine Nachlademöglichkeit bestehen, so ist diese Relation ebenfalls nicht mit Elektrofahrzeugen möglich und es ergibt sich Kategorie 3.

Für alle vier Fälle wurde die Matrix entsprechend mit einem Algorithmus analysiert und anschließend das Ergebnis visualisiert (siehe Abb. M6-6). Der Algorithmus hat basierend auf den Entfernungen und dem Vorhandensein einer Lademöglichkeit die einzelnen Relationen aufsummiert.

Basierend auf der ermittelten Bemessungsreichweite von 108 km ergibt sich die Verteilung der Erreichbarkeitskategorien nach Tab. M6-3. Bezogen auf alle Zentren ist die Hälfte der Relationen mit Elektrofahrzeugen nicht zu bewältigen, da sie außerhalb der Reichweite des Fahrzeugs liegen. Die andere Hälfte teilt sich zu gleichen Teilen auf die Kategorien 1 bis 3 auf.

VON / NACH [km]	Mainz	Koblenz	Trier	Ludwigshafen	Kaiserslautern	Adenau	Altenkirchen	Alzey	Andernach	Annweiler a. Trifels	Bad Bergzabern	Bad Dürkheim	Bad Ems	Bad Kreuznach
Mainz		80	149	82	79	148	124	35	119	118	126	76	67	42
Koblenz	80		127	147	144	60	48	100	18	183	191	141	17	76
Trier	149	127		176	118	97	165	163	122	153	170	153	145	124
Ludwigshafen	82	147	176		64	194	192	50	161	56	65	23	157	78
Kaiserslautern	79	144	118	64		188	192	48	159	42	59	34	146	61
Adenau	148	60	97	194	188		87	146	44	222	238	187	76	122
Altenkirchen	124	48	165	192	192	89		148	47	231	239	189	56	124
Alzey	35	100	163	50	48	147	147		114	87	96	39	111	24
Andernach	119	18	122	161	159	44	46	114		197	206	155	35	90
Annweiler a. Trifels	118	183	153	56	42	223	230	87	198		20	43	194	98
Bad Bergzabern	126	191	170	65	59	239	239	95	206	20		51	202	123
Bad Dürkheim	76	141	153	23	34	185	185	39	152	42	51		148	62
Bad Ems	67	17	145	157	146	76	54	110	34	193	202	151		86
Bad Kreuznach	42	76	124	78	61	123	123	24	90	98	122	62	87	

Tab. M6-2: Erreichbarkeitskategorien

Kategorien	Relationen	
Erreichbarkeit ALLE	**Anzahl**	**Anteil**
Hin- und Rückweg ohne Nachladen am Zielort	683	18%
Hin- und Rückweg mit Nachladen am Zielort	523	14%
Hin- und Rückweg theoretisch möglich, aber keine Lademöglichkeit	702	18%
Aufgrund der Reichweite nie erreichbar	1921	50%
TOTAL	3828	100%
Erreichbarkeit nur MZ	**Anzahl**	**Anteil**
Hin- und Rückweg ohne Nachladen am Zielort	606	18%
Hin- und Rückweg mit Nachladen am Zielort	429	13%
Hin- und Rückweg theoretisch möglich, aber keine Lademöglichkeit	660	19%
Aufgrund der Reichweite nie erreichbar	1709	50%
TOTAL	3403	100%
Erreichbarkeit nur OZ	**Anzahl**	**Anteil**
Hin- und Rückweg ohne Nachladen am Zielort	0	0%
Hin- und Rückweg mit Nachladen am Zielort	4	40%
Hin- und Rückweg theoretisch möglich, aber keine Lademöglichkeit	0	0%
Aufgrund der Reichweite nie erreichbar	6	60%
TOTAL	10	100%

Tab. M6-3: Auswertung der Erreichbarkeitsanalyse

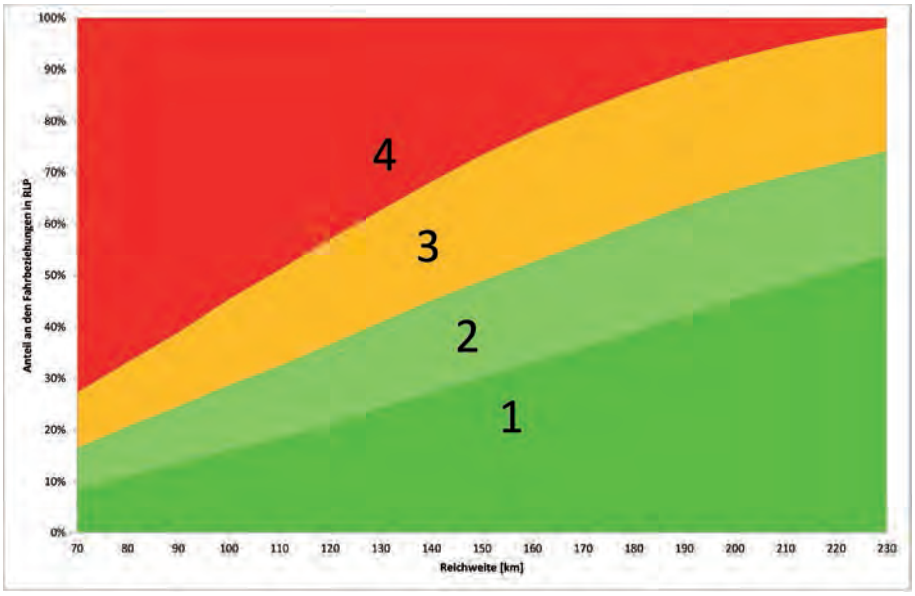


Abb. M6-5: Erreichbarkeit in Abhängigkeit von der Reichweite

Bei der reinen Betrachtung der Erreichbarkeit zwischen den Oberzentren verschiebt sich das Bild. Hier sind 60 % (6 Relationen) nicht erreichbar. Kategorie 1 ist nicht vertreten. Immerhin gibt es in allen Oberzentren Nachlademöglichkeiten, so dass Hin- und Rückweg bei 40 % der Relationen mit Elektroautos befahrbar sind.
Mit zunehmender Reichweite der Fahrzeuge wird der Anteil der erreichbaren Relationen höher.

Abb. 6-5 zeigt die Verschiebung der Anteile bei konstantem Ladeinfrastrukturausbau. Wird eine Reichweite von 197km unterstellt, so wären alle Relationen zumindest auf dem Hinweg mit Elektrofahrzeugen abzubilden. Zwei Drittel der Fahrbeziehungen wären in diesem Fall sogar in beiden Richtungen ohne Nachladen erreichbar. Der Anteil der Kategorie 4 verschwindet fast vollständig.

6 Ermittlung der Ausbaubedarfe

6.1 (Halb-)öffentliches Umfeld

Der Ausbaubedarf von (halb-)öffentlicher Ladeinfrastruktur ist abhängig von der Verbreitung von Elektrofahrzeugen in der Gesamtflotte und dem potentiellen Nutzerkreis. Je mehr Elektrofahrzeuge auf den Markt kommen, desto mehr Ladestationen werden benötigt. Neben der reinen Anzahl ist aber auch der Nutzerkreis entscheidend. Nicht jeder Fahrer ist unbedingt auf eine (halb-)öffentliche Ladestation angewiesen.
Die Analysen zur Erreichbarkeit aus dem Umland haben gezeigt, dass der direkte Einzugsbereich der Mittel- und Oberzentren heute schon meist ohne Nachladen erreichbar ist. Für diese Fahrten ist im Allgemeinen kein Nachladen nötig. Ausnahmen bilden in Wegeketten eingebundene Fahrten, deren Summe größer ist als die Reichweite des Fahrzeugs.
Die Auswertung der Erreichbarkeitsmatrix hat gezeigt, dass mit der derzeitigen Reichweite noch nicht alle Fahrrelationen in Rheinland-Pfalz abgedeckt werden können. 50 % der Fahrbeziehungen können derzeit noch nicht abgedeckt werden, da die Reichweite der Autos noch zu gering ist (rote Fläche). Hieran kann auch ein Ausbau der Infrastruktur zunächst nichts ändern, sondern es muss auf Entwicklungen in der Energiespeichertechnik gewartet werden. Ein Bedarf besteht für alle Relationen der Kategorie 3 (gelbe Fläche). Diese Fahrten könnten mit Elektrofahrzeugen zurückgelegt werden, wenn am Zielort eine öffentliche Nachlademöglichkeit bestünde. Für einen Ausbau ist daher im nächsten Schritt die Verkehrsnachfrage auf den entsprechenden Relationen zu überprüfen. Werden die Relationen häufig befahren, so sollte an diesen Orten bevorzugt öffentliche Ladeinfrastruktur errichtet werden. Zur Ermittlung der Anzahl an Ladesäulen ist daher ein hinreichend genaues Modell nötig.

Mithin verbleiben als potentielle Nutzer Personen, die längere Fahrten unternehmen und dementsprechend nachladen müssen, sofern der Nachladebedarf nicht anderweitig (im privaten oder betrieblichen Umfeld) gedeckt werden kann. Neben der Installation von Ladeinfrastruktur im Straßenraum bietet sich vor allem die Integration in Parkhäuser an, da dort bereits eine elektrische Grundinfrastruktur besteht.
Eine Ladeinfrastruktur an Fernstraßen ist für den Binnenverkehr in Rheinland-Pfalz ohne Bedeutung. Die Distanzen sind zu kurz, als dass von den Fahrern Pausen zum Zwischenladen akzeptiert würden. Im deutschlandweiten Kontext stellt sich dies jedoch wiederum anders dar. Hier sind auf den Fernautobahnen (A1, A6, A8, A48, A60, A61) durchaus Schnellladestationen für den Fernverkehr sinnvoll, da Ladepausen sinnvoll mit Fahrpausen kombiniert werden können.

6.2 Privates Umfeld

Fahrzeuge haben im privaten Umfeld meist sehr lange Standzeiten, so dass auch die Ladedauern entsprechend groß sein können und der erforderliche Ladestrom reduziert werden kann, was zu niedrigeren Installationskosten führt. Somit sinken die Amortisationskosten erheblich. Der Ausbaubedarf unterscheidet sich stark zwischen ländlichem und städtischem Raum. Auf beide wird im Folgenden detaillierter eingegangen.
In Rheinland-Pfalz ist die vorherrschende Gebäudeform das Einfamilienhaus [8]. Knapp zwei Drittel der Gebäude im Land sind Ein- oder Zweifamilienhäuser. Der Großteil der Wohnungen wird selbst durch die Eigentümer genutzt und liegt im ländlichen Raum.
In dieser Wohnstruktur liegt auch der Vorteil für die Elektromobilität. Erstens verfügt die Mehrheit der Besitzer von Einfamilienhäusern oder Doppelhaushälften über einen Garagenstellplatz mit integrierter Steckdose bzw. Stromanschluss [6]. Zweitens ist die Nachrüstung von Ladeinfrastruktur bei kleinen Wohneinheiten im Eigentum einfacher zu realisieren, da keine einstimmigen Beschlüsse der Eigentümerversammlung herbeigeführt werden müssen oder der Vermieter für die Installation verantwortlich ist.
Im städtischen Umfeld ist der Anteil an Ge-

schosswohnungen größer. Gleichzeitig ist auch die Verfügbarkeit von Einzelgaragen geringer. Drei Viertel der Befragten, die in Mehrfamilienhäusern leben, hat keine eigene Lademöglichkeit [6]. Gerade in Großgaragen gibt es keine abschließbaren und eindeutig zuordenbare Steckdosen, die eine verursachergerechte Verbrauchsabrechnung ermöglichen würden. Hier besteht ein Ausbaubedarf. Schwierig ist mitunter die Herbeiführung des einstimmigen Beschlusses zur Installation dieser Anlagen in Wohneigentumsgemeinschaften oder die Überzeugung des Vermieters. Ein rechtlicher Anspruch auf die Installation einer Lademöglichkeit besteht nicht. Je einfacher sich jedoch die Installation gestaltet, desto schneller sind auch Beschlüsse herbeizuführen. Für Neubauten und Renovierungen ist weiterhin zu überprüfen, ob eine Basisladeinfrastruktur für eine gewisse Anzahl an Parkplätzen zukünftig vorgeschrieben werden sollte.

In verdichteten Räumen, in denen das Parken im öffentlichen Straßenraum prägend ist, muss über andere Konzepte nachgedacht werden. Dort hat ein Drittel der Befragten keine eigene Parkmöglichkeit und fast ein Fünftel verfügt über einen sonstigen Stellplatz (keine Garage). Für diese Gruppen müssen entsprechend Lademöglichkeiten konzipiert werden, wobei hier der Aufwand und die Kosten für die Installation um ein Vielfaches höher liegen, da keine elektrische Grundinfrastruktur vorhanden ist, auf die die neuen Anlagen aufbauen könnten. Ob diese Lademöglichkeiten im öffentlichen Straßenraum liegen sollten oder auf Sammelstellplätzen und Parkplatzanlagen muss vor allem städtebaulich entschieden werden.

Es gibt erste Ideen, die Straßenbeleuchtung als Ladestationen zu nutzen. Probleme bestehen jedoch noch in der Integration von Abrechnungsmodulen sowie der Kabelführung, da nicht an jedem Parkplatz ein Laternenmast steht. Eine weitaus teurere Möglichkeit ist der Einbau induktiver Ladetechnik in die Straße. Diese Form wird sich jedoch aufgrund der hohen Kosten in absehbarer Zeit nicht rechnen.

Es stellt sich hier insbesondere die Frage, ob in hochverdichteten Räumen der Besitz eines Elektroautos überhaupt nötig ist oder ob nicht im Alltag auf den ÖV oder CarSharing ausgewichen werden kann. Zudem wäre es denkbar, dass das Elektroauto in der Stadt nicht ständig vor der Haustür geladen werden muss. Aufgrund der geringeren Distanzen würde auch ein Laden während des Einkaufs oder auf der Arbeit (siehe betriebliches Umfeld) ausreichen. In Mainz legt die Mehrheit der Autofahrer Distanzen unter 20km pro Tag zurück [2]. Eine Akkuladung wäre dementsprechend für eine Woche ausreichend. Mit Schnellladetechniken würden die typischen Parkdauern auf Supermarktparkplätzen oder dem Werksgelände ausreichen, um die alltäglichen Mobilitätsbedürfnisse zu befriedigen. Auch Sammelparkplätze für Elektrofahrzeuge in Wohnquartieren sind denkbare Lösungen.

6.3 Betriebliches Umfeld

Ladeinfrastruktur am Arbeitsplatz erfüllt mehrere Zwecke. Erstens können damit Pendler aus dem weiteren Umland mit Elektroautos ihren Arbeitsplatz erreichen. Die maximal mögliche Pendlerdistanz kann somit verdoppelt werden. Zweitens wäre eine Elektrifizierung der Dienstwagenflotte möglich. Drittens kann die Ladeinfrastruktur auch Kunden und Geschäftspartnern zur Verfügung gestellt werden.

Die erforderliche Anzahl an Ladeplätzen ist für jedes Unternehmen mit seiner spezifischen Beschäftigtenstruktur gesondert zu ermitteln.

Die technischen Anforderungen an die Infrastruktur variieren je nach Nutzergruppe. Mitarbeiter haben in der Regel lange Aufenthaltszeiten und benötigen daher keine Schnellladung. Der Installationsaufwand kann daher geringer ausfallen als beispielsweise bei Kundenparkplätzen, die meist nur wenige Stunden im Betrieb sind.

Die Abrechnung im Betrieb sollte mit einem einheitlichen Abrechnungssystem erfolgen oder betriebsintern über die Buchhaltung. Jedem Mitarbeiter muss der Stromverbrauch genau zugeordnet werden können. Wird die Energie kostenlos zur Verfügung gestellt, so ist der geldwerte Vorteil zu ermitteln und durch den Beschäftigten

zu versteuern. Weiterhin ist zu klären, wer die erforderlichen Infrastrukturmaßnahmen finanziert. Bislang kümmern sich die Arbeitgeber im Rahmen von Mobilitätsmanagement noch in geringem Maße um die Anreise der Arbeitnehmer. Die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur könnte in diese Konzepte integriert werden. Es müssten dann Wege für eine gerechte Kostenaufteilung gefunden werden.

7 Fazit und Ausblick

Die vorangegangenen Untersuchungen zeigen eindrücklich, dass gerade Rheinland-Pfalz als relativ dünn besiedeltes Flächenland ein großes Potential für Elektromobilität besitzt, wobei der Ausbaubedarf an Ladeinfrastruktur überschaubar bleibt. Bereits heute sind die Mittel- und Oberzentren aus dem Umland weitestgehend ohne Nachladen im Alltag erreichbar. Für diese Wege bedarf es keines Infrastrukturausbaus. Bei den Erreichbarkeiten zwischen den Zentren hingegen besteht sowohl auf der Fahrzeugseite als auch auf der Infrastrukturseite ein Ausbaubedarf.

Im privaten Umfeld besteht im ländlichen Raum nur ein geringer Ausbaubedarf. Viele Fahrzeugbesitzer haben eine Garage mit einer Lademöglichkeit. Anders verhält es sich im städtischen Raum, wo das Parken in Großgaragen oder auf der Straße verbreitet ist. Hier besteht ein größerer Ausbaubedarf an Ladeinfrastruktur, der vor allem städtebaulichen Anforderungen genügen muss.

Öffentliche Ladeinfrastruktur sollte nur dort verbaut werden, wo auch ein entsprechendes Nutzungspotential besteht. Nachladebedarfe, die anderweitig, privat oder betrieblich, abgedeckt werden können, sind bei der Planung zu berücksichtigen. Öffentliche Ladeinfrastruktur im Straßenraum macht nur an zentralen Orten mit hoher Attraktivität Sinn. Ein hoher Durchsatz durch hohe Ladeleistungen ist dabei unabdingbar. Die übrige öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur kann in Parkhäuser integriert werden. Dies vermindert den Installationsaufwand und schont das Stadtbild. Energiekosten und Parkgebühren können somit zusammen abgerechnet werden. Im betrieblichen Umfeld dient Ladeinfrastruktur den pendelnden Mitarbeitern, der Dienstwagenflotte sowie Kunden und Geschäftspartnern. In den meisten Fällen ist noch keine Infrastruktur vorhanden und es besteht ein Ausbaubedarf. Für Mitarbeiter kann aufgrund der längeren Standzeit eine geringere Ladeleistung gewählt werden als für die anderen Anwendungsfälle. Auf jeden Fall ist auf eine gerechte Abrechnung zu achten. Wenn die Elektromobilität in den nächsten Jahren weiter vorangetrieben werden soll, so muss die Infrastruktur daran angepasst werden. Während Privathaushalte auf dem Land wenig Anpassungsbedarf haben, so sind in Städten Vermieter und Wohneigentumsgemeinschaften gefragt, entsprechende Lösungen für ihre Immobilien zu finden. Ebenfalls gefordert sind die Kommunen, Energieversorger und Parkhausbetreiber. In den Fällen, in denen ein Laden im privaten oder betrieblichen Umfeld nicht möglich ist, sind die Fahrer auf öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur angewiesen. Die Betriebe müssen genauso darauf reagieren und versuchen, ihren Beschäftigten Lademöglichkeiten anzubieten, um auch für Fernpendler weiterhin attraktiv zu bleiben. Für alle Bereiche gilt es jedoch, die Investitionen gering zu halten und den Ausbau mit Augenmaß voranzutreiben.

8 Quellen

[1] Nationale Plattform Elektromobilität. 2013. Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur. Berlin : s.n., 2013.

[2] Dr. Große, Ronald, et al. 2011. Strompark-plätze für Elektrofahrzeuge – Konzepte, Prüfstand und Pilotanlage. Wörrstadt : s.n., 2011.

[3] Statistisches Landesamt RLP. 2011. Bevölkerungsstatistik. Bad Ems : s.n., 9. Mai 2011. Bevölkerungsstatistik.

[4] Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz. 2008. Landesentwicklungsprogramm IV. 2008.

[5] Bach, Markus. Verschiedene Stecker in der Elektromobilität. [Online] [Zitat vom: 9. 7. 2014.] http://www.e-stations.de/stecker.php.

[6] Dr. Korten, Achim und Schwierz, Peter. 2013. Einfach Zuhause Laden. München, Berlin : Rabbit Publishing GmbH, 2013.

[7] Mock, Peter, et al. 2013. From laboratory to road, A comparison of official and 'real-world' fuel consumption and CO2 values for cars in Europe and the United States. Peking, Berlin, Brüssel, San Francisco, Washington : ICCT, 2013.

[8] Statistisches Landesamt RLP. 2006. Bestand und Struktur der Wohnungen. Bad Ems : s.n., 2006.

Modul 7a: Elektrofahrzeuge in lokalen regenerativen Energienetzen

Autoren: **Transferstelle Bingen:**
Prof. Dr. Ralf Simon, Babett Hanke, Joachim Walter
IZES: Florian Noll, Lars Grote
IfaS: Patrick Marx, Markus Conrad

1 Einleitung

In Deutschland sollen in Zukunft vermehrt Elektrofahrzeuge auf den Straßen unterwegs sein. Werden die Akkumulatoren der Fahrzeuge zu einem Pool zusammengeschlossen, können sie als eine Flexibilität genutzt werden. Denn im zukünftigen Stromsystem erlangen Flexibilisierungsoptionen eine immer größere Bedeutung für den Ausgleich der fluktuierenden, erneuerbaren Energien (FEE) Wind und Sonne. Es stellt sich daher die Frage, welchen Beitrag die „Elektromobilität als Speichersystem" in unterschiedlichen regionalen Ausgangssituationen leisten kann, um die FEE bestmöglich in das Stromsystem zu integrieren und den Autarkiegrad, den Lastdeckungsgrad oder auch die Null-Emissions-Strategie einer Region zu steigern.

2 Energiewirtschaftliche Betrachtung der E-Mobility im Verteilnetz

2.1 Datengrundlage und Methodik für die energiewirtschaftliche Betrachtung

Oberstes Ziel dieses Abschnitts ist die Potenzialermittlung von gepoolten Elektrofahrzeug-Akkumulatoren für die Bereitstellung von Netzsystemdienstleistungen bei einer flächendeckenden Einführung. Zu den Systemdienstleistungen für das Stromnetz zählen u.a. Lastmanagement, Frequenzhaltung, Bilanzkreismanagement und Spannungshaltung. Damit tragen sie zur Entlastung der Stromnetze bei und können so den Ausbau der erneuerbaren Energien unterstützend begleiten.

Einleitend wurden die in Frage kommenden Strom-Märkte, wie Stromhandel über die EEX bzw. EPEX und Systemdienstleistungen im Hinblick auf ihre Funktion, Bedeutung und technische Anforderung für die Vermarktung von E-Mobility-Akkumulatoren untersucht. Im weiteren Verlauf sind die verschiedenen Märkte mit ihren Wertschöpfungspotenzialen und letztlich mit den maximalen Kosten für die kommunikative Einbindung in das Netz dargestellt worden. Zudem galt es die technischen Voraussetzungen von Seiten der Akkumulatoren aufzuzeigen und in Bezug auf die Märkte und Verteilnetze zu bewerten.

Untersucht wurde zum einen die kurzfristige Vermarktung von Strom aus den E-Mobility-Akkumulatoren über den Handel an der Strombörse im Spotmarkt der EPEX Spot SE (European Power Exchange) in Paris [1]. Das bedeutet, dass der Strom nicht für die Fahrzeugflotte und zur Mobilität zur Verfügung steht sondern am Strommarkt abhängig vom Preisverlauf angeboten wird. Zum anderen wurden die Systemdienstleistungen, welche der Aufrechterhaltung der Stromversorgung dienen, näher beleuchtet. Detailliert sind die Regelenergie, das Bilanzkreismanagement mit dem Ausgleichsenergieeinsatz und die Spannungshaltung gerade in Bezug auf die Einsatzfähigkeit von gepoolten E-Mobility-Akkumulatoren geprüft worden.

Im Besonderen wurden die spezifischen technischen Anforderungen und die Einsatzfähigkeit von Akkumulatoren im Hinblick auf die Erfüllung, insbesondere für die Netz- und Marktintegration von Pools aus Akkumulatoren aufgezeigt, abgeschätzt und bewertet. Technische Hemmnisse, die aufgrund bestehender Regelungen für Akkumulatoren nicht erfüllbar sind, wurden aufgezeigt und Vorschläge zur Änderung erarbeitet. Neben den Akkumulatoren wurden auch andere Komponenten, wie Ladetechnik, Batteriemanagementsystem und die Informations- und Kommunikationstechnologie beleuchtet. Diese spielen ebenso eine wichtige Rolle, damit Elektrofahrzeuge als Speicher an den unterschiedlichen Märkten teilnehmen können.

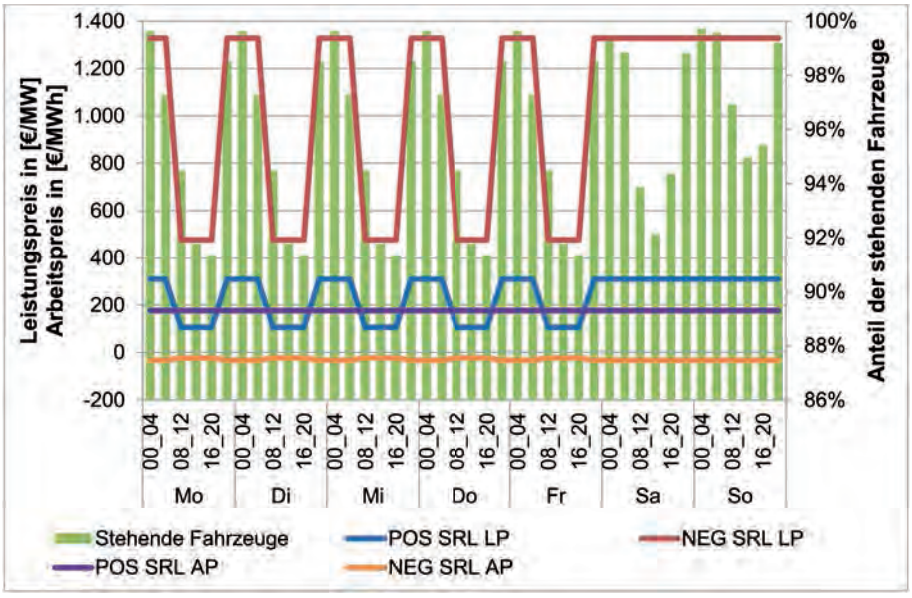


Abb. M7a-1: Mittlere Preise für SRL und Anzahl stehender Fahrzeuge im Wochenverlauf 2012 (Eigene Darstellung, TSB)

2.2 Ergebnisse und Fazit

In den ersten Jahren der Einführung der Elektromobilität in Deutschland wird nur Lastmanagement in Form von gesteuertem Laden und Frequenzhaltung durch Bereitstellung negativer Regelleistung praktizierbar sein. Wie die Modellrechnungen zeigen, fallen die möglichen Erlöse am Markt für Sekundärregelleistung am höchsten aus (siehe Abbildung M7a-1), doch auch Minutenreserve bietet rentable Gewinnmöglichkeiten. Die Erlöse durch Handel am Spotmarkt sind im Vergleich dazu sehr gering.
Auch Spannungshaltung ist umsetzbar, wenn in den Fahrzeugen Wechselrichter zur Bereitstellung von Blindleistung eingebaut sind. Bei Spannungshaltung und Versorgungswiederaufbau können nach heutigen Regelungen jedoch keine Erlöse erzielt werden. Bis zum Jahr 2030 wird bidirektional gesteuertes Laden möglich sein, so dass auch Handel am Spotmarkt betrieben, positive Regelleistung bereitgestellt und Versorgungswiederaufbau umgesetzt werden kann. Wenn in Zukunft Elektrofahrzeuge vermehrt für diese Systemdienstleistungen eingesetzt werden, ist jedoch ein Markt für Blindleistungsbereitstellung denkbar. Die Schwarzstartfähigkeit von großen Anlagen wird heute monatsweise vergütet. Für Elektrofahrzeuge ergäbe eine flexible Vergütung ein weiteres Erlöspotenzial.

Bevor das bidirektionale Laden serienreif ist, können durch Steuerung des Ladevorgangs Kosteneinsparungen erzielt werden. Beim gesteuerten Laden fallen nur etwa die Hälfte der Kosten im

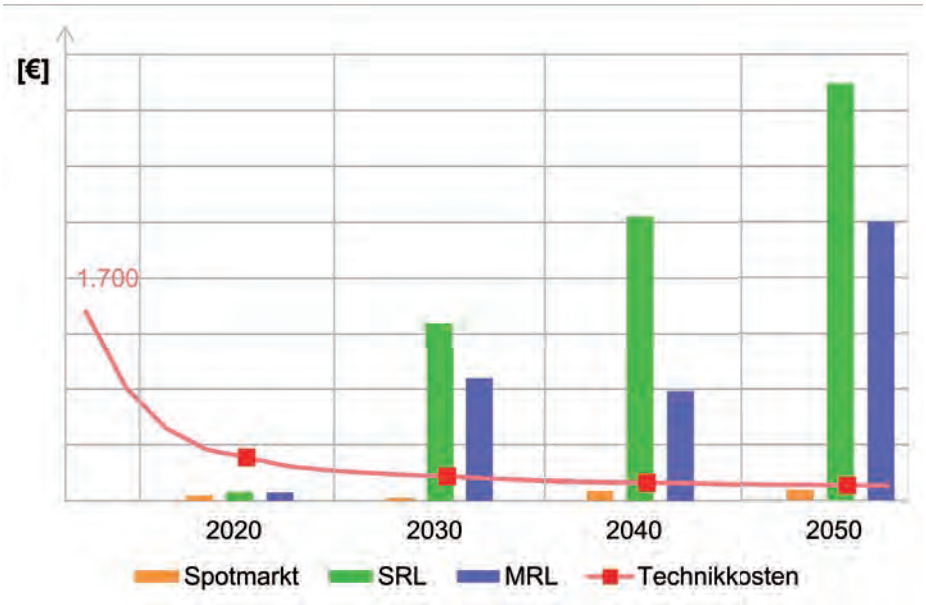


Abb. M7a-2: Vergleich der Erlöse mit den Kosten für die IKT pro Fahrzeug (Eigene Darstellung, TSB)

Vergleich zum ungesteuerten Ladevorgang an. Die Erlöse, die an den einzelnen Märkten erzielt werden können, sind im Jahr 2020 noch nicht kostendeckend für die erforderliche kommunikative Technik. Erst ab 2030 können am Regelenergiemarkt genug Erlöse erzielt werden, um den Fahrzeughaltern eine Vergütung für die Bereitstellung, hochgerechnet auf die Kosten des Akkus zum Anbieten von Systemdienstleistungen, zu gewähren, dem Poolmanager das Einbehalten einer Gewinnspanne zu ermöglichen und die erforderliche Technik zum bidirektionalen Laden und Datenübertragung an den Poolmanager im Fahrzeug zu platzieren (siehe Abbildung M7a-2). Am Spotmarkt ist die Differenz zwischen Kosten und Erlösen in allen betrachteten Jahren zu gering, um die Kosten der erforderlichen Technik zu decken. Hier würde es mehrere Jahre dauern, bis sich diese amortisiert haben.
Bei den Ergebnissen der Modellrechnungen ist jedoch zu beachten, dass sie auf ungefähren Angaben und mittleren Werten beruhen und die tatsächlichen Gewinne in den kommenden Jahren davon abweichen können. Darüber hinaus sind die Preisentwicklungen auf den Märkten stark von politischen und wirtschaftlichen Entwicklungen sowie gesetzlichen Regelungen abhängig. Am Regelenergiemarkt sind Änderungen der Präqualifikationsanforderungen sowie neue Marktteilnehmer denkbar. Dies kann sich stark auf die Preise für Regelleistung auswirken und die Erlöspotenziale beeinflussen.
Um Elektromobilität erfolgreich in den Verkehrssektor zu integrieren, sind nicht nur die wirtschaftlichen Potenziale von Bedeutung. Damit diese verwirklicht werden können, müssen Geschäftsmodelle entwickelt werden, die Fahrzeugnutzern einen Anreiz bieten, ihr Fahrzeug für Systemdienstleistungen zur Verfügung zu stellen. Dazu sind noch viele offene Fragen, wie beispielsweise zu den Besitzverhältnissen und Abrechnungsmethoden, zu beantworten.

3 Integration einer regenerativen E-Tankstelle in das Energiemanagementsystem der FH Bingen

Als Arbeitsschwerpunkte standen bei diesem eher kleinen Abschnitt die Auswahl und der Aufbau einer Ladesäule, die Integration der Ladesäule in das Energiemanagement der FH-Bingen und die Durchführung von Bilanzierungen der erneuerbaren Energieanlagen und E-Ladungen im Vordergrund.

Die ausgewählte Ladesäule der Firma Walther verfügt über zwei Ladestellen. Diese sind jeweils voneinander unabhängig, über FI-Schutzschalter abgesichert und verfügen über Drehstromzähler. Für die Ladesäule der FH-Bingen wurden vier unterschiedliche Anschlussbuchsen gewählt, um möglichst viele, auf dem Markt vertretene Stecker-Systeme von Elektroautos im Anschaffungsjahr Anfang 2012, abdecken zu können. Jeder Ladevorgang wird als Datensatz mit Nutzer, Startzeit, Endzeit und Verbrauch gespeichert und kann online ausgelesen werden.
Seit dem Bestehen der Ladesäule sind bereits verschiedene Fahrzeugmodelle aufgeladen und ausgewertet worden. Eine Beispielladekurve zum Mitsubishi I-Miev ist in Abbildung M7a-3 dargestellt. Gemessen werden während den Ladevorgängen die Momentanleistung [W] sowie der Zählerstand [kWh].

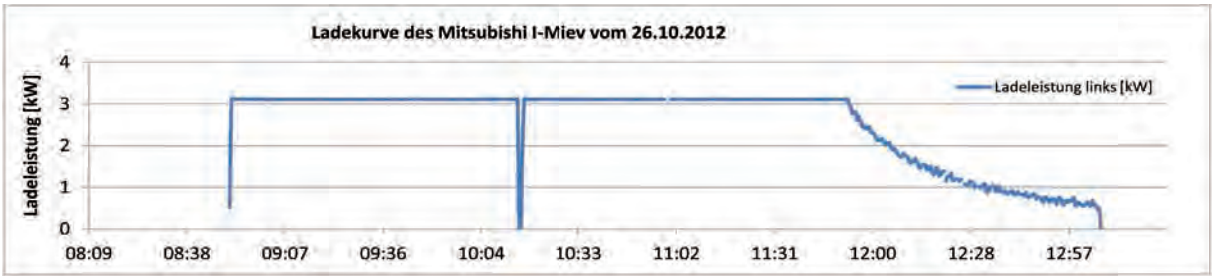


Abb. M7a-3: Anschlüsse der Ladesäule der FH Bingen - links und Ladekurve des Mitsubishi I-Miev vom 26.10.2012 - rechts (Eigene Darstellung nach TSB)

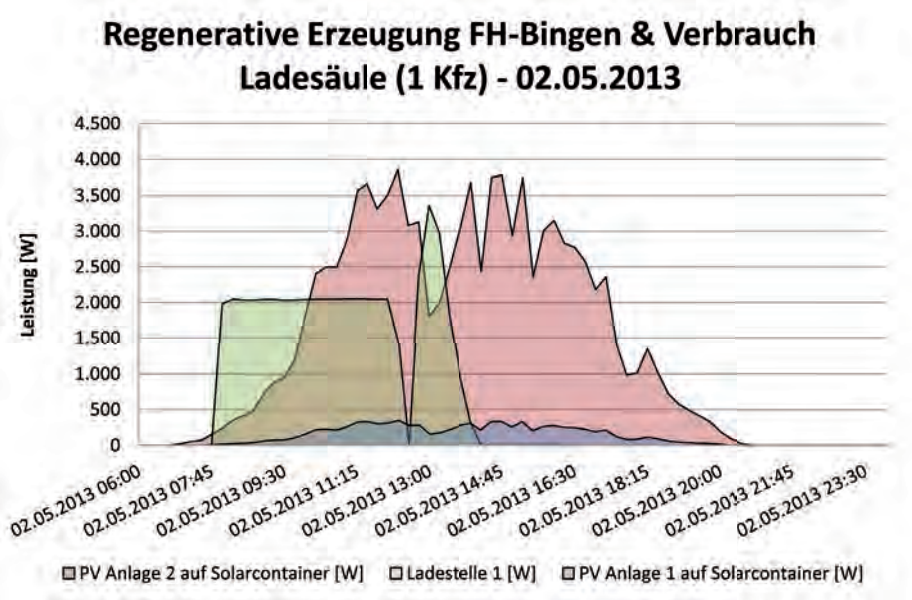


Abb. M7a-4: Darstellung der EE-Erzeugung und Ladung an der E-Tankstelle mit einem Elektroauto (Eigene Darstellung nach TSB)

Die aufbereiteten Daten aus der Ladesäule der FH-Bingen werden im Energiemanagementsystem der FH-Bingen gespeichert. Für die FH-Bingen wurde eine Online Plattform eingerichtet, von der dauerhaft die aktuellen Verbrauchsdaten abgerufen werden können und eine kontinuierliche Bilanzierung zulässt. Die Integration der Ladesäule sowie der Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom in das Energiemanagement der FH-Bingen vereinfacht die Überwachung der erzeugten und verbrauchten Energie.
Anhand der Messdaten kann die EE-Erzeugung sowie der Verbrauch der Ladesäule lastganggerecht dargestellt werden. In der Abbildung M7a-4 sind die Messwerte der EE-Erzeugung und der Ladesäule einmal beispielhaft für einen Tag dargestellt. Der Verbrauch der Tankstelle macht einen Anteil von 19 % an der Eigenerzeugung aus, womit der Bedarf überdeckt ist und die Tankstelle somit rein bilanziell mit erneuerbaren Energien versorgt werden kann. Ein höherer Anteil an PV-Stromladung kann bei direkter Ladung der Elektroautos mit Hilfe einer zusätzlichen externen Puffer-Batterie an der PV-Anlage oder der gesteuerten Ladung ermöglicht werden. Am Standort der FH-Bingen ist dies durch die PV-Stromeinspeisung ins interne Netz aber irrelevant.

4 Modellierung virtueller Kraftwerke autarker Regionen unter Einbeziehung der Elektromobilität

4.1 Datengrundlage und Methodik zum Einsatz der erneuerbaren Energien und der Elektromobilität

Oberstes Projektziel dieses Abschnittes ist die Einbindung der E-Mobilität in regionale und überregionale Energienetze mit Rheinland-Pfalz als Untersuchungsregion. Mit dem Teilziel eines optimalen Lastdeckungsgrades für unterschiedlich strukturelle und geographische Regionen in Rheinland-Pfalz.

Immer mehr Regionen setzen als langfristiges Ziel auf eine lastgedeckte Vollversorgung mit regionalen erneuerbaren Energien. Aufgrund der Einspeisecharakteristik der erneuerbaren Energien kann der Strombedarf einer Region in der Realität allerdings nur zum Teil durch die vorhandenen regenerativen Energien gedeckt werden, selbst wenn in der Region rein bilanziell – also auf das Jahr bezogen – genauso viel oder sogar mehr erneuerbarer Strom produziert als insgesamt benötigt wird. Um die regionale Stromerzeugung aus regenerativen Energien

und den bestehenden Strombedarf aneinander anzugleichen, bestehen unterschiedliche Flexibilisierungsoptionen. Eine dieser Optionen ist der Einsatz von Batteriespeichern, wodurch temporäre Stromüberschüsse aus fluktuierenden erneuerbaren Energien, wie Wind und Solar, gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt zur Deckung des Strombedarfs genutzt werden können.
Zur Beantwortung dieser Frage wurde in diesem Sinne das Potenzial zur Vollversorgung mit regenerativen Energien unter Einbeziehung der Elektromobilität am Beispiel von fünf verschiedenen Landkreisen in Rheinland untersucht.
Dabei sind in den untersuchten Regionen Szenarien für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 aufgebaut und unter verschiedenen Annahmen zu den jeweils unterschiedlichen Ausbaugraden, dem regenerativem Energie-Mix sowie steigender Marktpenetration von Elektrofahrzeugen sowie den Einsatzmöglichkeiten der Elektromobilität simuliert worden.
Somit sollte herausgearbeitet werden, inwieweit Elektromobilität als Speichersystem das Ziel der Stromautarkie bzw. Lastdeckung beschleunigen kann. Sowie bis zu welchem Grad der regional erzeugte Überschussstrom in Elektrofahrzeugen direkt gespeichert und u.U. zu einem Zeitpunkt mit geringer oder keiner erneuerbaren Stromerzeugung wieder ins lokale Netz zurück gespeist werden kann.

Landkreis	FEE-Potenzial	E-Mobilität
Birkenfeld	++	o
Südwestpfalz	+	+
Neuwied	+	o
Pirmasens	o	-
Frankenthal	-	o
Anmerkung: (++) bedeutet „sehr hoch“, (+) bedeutet „hoch“, (o) bedeutet „mittel“ und (-) bedeutet „niedrig“		

Tab. M7a-1: Bildung von Stromszenarien in unterschiedlichen Landkreisen in RLP, Szenariensimulation für 2020, 2030, 2040 und 2050 (Eigene Darstellung nach TSB)

Die Ableitung der Stromproduktion fluktuierender Erzeugungsanlagen in den Landkreisen erfolgte anhand einer Simulation der Wind- und Solarenergieproduktion. Da von den Energieversorgern, respektive Netzbetreibern, keine realen Werte bestehender Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung zur Verfügung gestellt wurden, hat das IfaS auf einen eigens entwickelten Wind- und Solarenergiesimulator auf Excelbasis zurückgegriffen. Um eine quantitative Analyse zum Beitrag von Elektrofahrzeugen beim Ausbau erneuerbarer Energien durchzuführen, sind auch hier die in der Energiewirtschaft üblichen 15-Minutenwerte der Erzeugung und des Verbrauchs herangezogen worden. Der Strombedarf der Haushalte, des Gewerbes und der Industrie wurde mittels Standardlastprofilen nach bdew – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. [2] simuliert.

Für die Windenergieproduktion wurde folgende Herangehensweise verfolgt. Durch die Verschneidung von externen Daten des Deutschen Wetterdienstes [3] mit internen Potenzialanalysen des IfaS, konnte unter Zuhilfenahme von Kennlinien der Windenergieanlagenhersteller [4] und monatlich vorliegenden Windindex-Daten des Internationalen Wirtschaftsforums Regenerative Energien (IWR) [5], eine saisonal angepasste Windhäufigkeitsverteilung ermittelt werden. Das Tool erzeugt eine zufällige Verteilung von Windgeschwindigkeiten im Viertelstundentakt, streng gekoppelt an die eingegebene Jahreshäufigkeitsverteilung. Die Herangehensweise für die Hochrechnung Windenergieproduktion und der Solarenergieproduktion ist in der (nachfolgenden) Abbildung M7a-5 dargestellt.
Das Ausbaupotenzial ergibt sich aus der Ermittlung eines nachhaltigen Potenzials abzüglich der jeweiligen im Betrachtungsraum bereits genutzten Potenziale erneuerbarer Energieträger (Bestand). Das genutzte Potenzial (Bestand) setzt sich zusammen aus den bereits umgesetzten Potenzialen sowie ggf. bereits genehmigter, aber noch nicht umgesetzter Anlagen. Das nachhaltige Potenzial stellt eine Größe dar, die einem zukünftigen energiepolitischen „System-Mix“ entspricht, dass aus heutiger Sicht im Maximum

Abb. M7a-5: Vereinfachte Darstellung der Funktionsweise des Exceltools für Windenergie und Photovoltaik (Eigene Darstellung nach IfaS)

(inkl. Repowering) bis zum Jahr 2050 erreicht werden kann. Hierbei werden wesentliche Kriterien wie z. B. Flächen für die Nahrungsmittelproduktion, Prüfgebiete, Restriktionsflächen für Windkraftanlagen (z. B. zu Wohngebieten) berücksichtigt. So können die umfassenden Entwicklungschancen für den Betrachtungsraum, inkl. der damit verbundenen regionalen Wertschöpfungseffekte, Investitionen sowie Klima- und Emissionsbilanzen verdeutlicht werden.

Um analysieren zu können, zu welchen Zeiten die Elektrofahrzeuge als Batteriespeicher für das Stromnetz eingesetzt werden können, musste im ersten Schritt der Nutzungszeitpunkt und -dauer und somit auch die Verfügbarkeit eruiert werden. Zur Simulation der zeitlichen Verteilung der Verfügbarkeit wurden u. a. Daten aus MID [6] herangezogen. Diese Studie gibt beispielsweise Aufschluss über die Startzeiten der in Deutschland zurückgelegten Wege nach Hauptverkehrsmitteln, über die Wegezwecke und die Streckenlängen. Die Anzahl der E-Fahrten pro Tag sind zum einen aus dem prozentualen Anteil elektrifizierter PKW nach den Szenarien des WWF [7] und der Anzahl gemeldeter PKW im Betrachtungsraum sowie dem Modal-Split aus dem MID 2008 errechnet worden. Mit den Elektroautomodell-Parametern, wie Kapazität, Belade- und Entladeleistung und durchschnittlicher Energieverbrauch, nach den beiden Szenarien des WWF (Referenzszenario und ein Innovationsszenario) erfolgt die Simulation von 15 min Zeitreihen (in MW) zur Beladung und Entladung der Elektroautos. Um die Entwicklung des zukünftigen elektrifizierten Fahrzeugbestandes bestimmen zu können, wurde zunächst der Fahrzeugbestand der Ist-Situation ermittelt. Dafür wurde auf die statistischen Daten des Kraftfahrtbundesamtes [8] zurückgegriffen.

4.2 Simulation der Energieszenarien mittels DEMS®

Zur Beantwortung der unter Punkt 3.1 genannten Fragestellungen wurde für die fünf ausgewählten Landkreise eine Szenariensimulation auf Grundlage der entwickelten Energie- bzw. Ausbauszenarien durchgeführt. Die Datengrundlage für die Simulation bildeten dabei im Wesentlichen die beschriebenen viertelstündlichen, aggregierten Last- und Einspeiseprofile der regionalen Stromverbraucher und erneuerbaren Stromerzeuger. Neben einem Nullszenario, in dem die Elektromobilität zukünftig keine Bedeutung spielt, wurden dabei je Landkreis und Betrachtungsjahr drei Szenarien simuliert:

1. **Referenzszenario:** Ausbau der Elektromobilität, allerdings ohne, dass die Beladung der Elektrofahrzeuge durch die Einbindung in ein virtuelles Kraftwerk einem optimierten Fahrplan folgt.

Das Laden erfolgt direkt nach Ankunft der E-Fahrzeuge und die EE-Stromüberschüsse werden aus dem Landkreis exportiert.

2. **Szenario „Optimiertes Laden“:** Optimierung der Batteriebeladung der Elektrofahrzeuge mit dem vorrangigen Ziel den Lastdeckungsgrad der Region zu steigern.

3. **Szenario „Vehicle-to-Grid - V2G“:** Nutzung der Elektrofahrzeuge als zusätzlichen Zwischenspeicher, mit dem Stromüberschüsse über einen bestimmten Zeitraum verlagert werden können, um den Lastdeckungsgrad noch weiter zu erhöhen. Es findet zusätzlich zum optimierten Beladen ein optimiertes Entladen der E-Fahrzeugbatterie statt.

Zur Simulation der Ausbauszenarien wurde die Energiemanagement-Software DEMS® der Siemens AG [9] eingesetzt. Die Software besteht aus verschiedenen Komponenten, von denen der Optimierungskern der wichtigste Bestandteil ist. Durch ihn werden die modellierten Einsatzmittel (wie Erzeuger, Verbraucher, Speicher etc.) nach den vorgegebenen Berechnungsalgorithmen in ihrer Betriebsweise optimiert. Auf diese Weise entsteht ein optimierter Fahrplan für die im Modell berücksichtigten Einsatzmittel. Die Optimierung der Einsatzmittel wird nach dem Prinzip des Least Cost Plannings und unter Berücksichtigung von technischen, vertraglichen und ökologischen Randbedingungen vorgenommen. Die für die Optimierung erforderlichen Hintergrundinformationen können über vorgefertigte Modellkomponenten eingegeben werden. Einsatzprioritäten können zudem durch Leistungs- und Arbeitspreise sowie durch Strafkosten innerhalb der Modellkomponenten definiert werden. Zudem ist es möglich, Zeitreihen über eine Excel®-Ein-/Ausgabe zu importieren bzw. zur weiteren Aufbereitung und Analyse auszugeben.

Aufgrund der großen Anzahl an möglichen Szenarien konnte nur ein Teil davon simuliert werden. In Absprache mit den Modulpartnern wurden daher im ersten Schritt für alle Landkreise und Szenarienjahre zuerst einmal das Null- und Referenzszenario simuliert. Hieraus ist dann in einem ersten Analyseschritt ermittelt worden, welchen grundlegenden Einfluss die Elektromobilität auf den Autarkie- bzw. Lastdeckungsgrad in Regionen mit einem unterschiedlich hohen FEE-Ausbaugrad sowie einer unterschiedlich hohen Anzahl an Elektrofahrzeugen hat. Anschließend wurden in einem zweiten Schritt für den LK Birkenfeld die Szenarien „Optimiertes Laden“ und „V2G“ für die Szenarienjahre 2040 und 2050 und für die übrigen Landkreise das Szenario „V2G“ für das Jahr 2050 simuliert und ausgewertet.

4.3 Ergebnisse und Fazit

Eine Voranalyse einschließlich der Einspeisevolumen aus erneuerbaren Energien, Lastprofilverlauf und Residuallastverlaufs wurde beispielhaft für den Landkreises Birkenfeld für das Jahr 2020 durchgeführt.

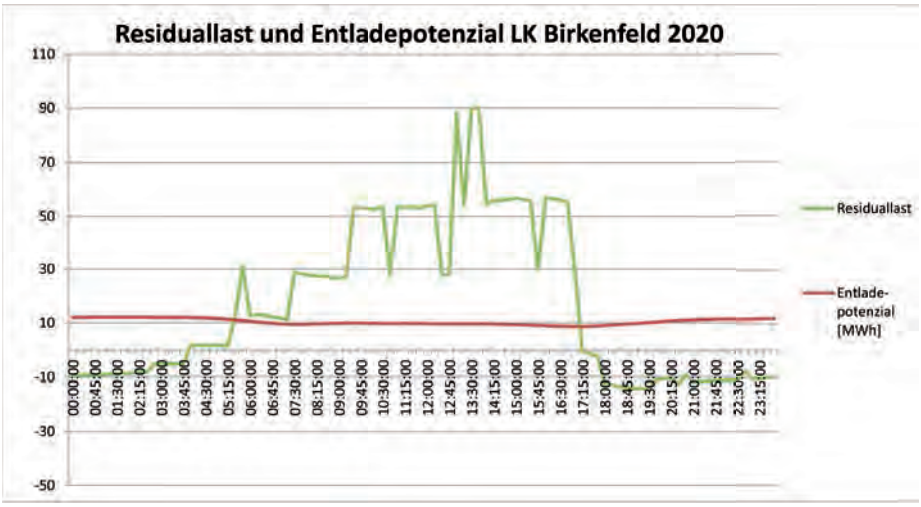


Abb. M7a-6: Residuallast und Entladepotenzial im LK Birkenfeld für 2020 (Eigene Darstellung nach IfaS)

Aus der Abbildung M7a-6 geht hervor, dass die Elektrofahrzeuge durchaus in der Lage sind, Mangelsituationen auszugleichen. Dabei zeigt die rote Linie nicht das ganze Potenzial auf, das kurzfristig verfügbar wäre. Als Ergebnis aus den hier zugrunde liegenden Simulationen für den Landkreis Birkenfeld kann abgeleitet werden, dass nicht nur die vorhandene Batteriekapazität der Elektro-Pkw ein entscheidendes Kriterium ist, sondern auch die Be- und Entladekapazität sowie die Infrastruktur einen wichtigen Bestandteil im Hinblick auf die Speicherung regenerativ erzeugter Energie bilden.

Das theoretische Potenzial der Elektromobilität zur Flexibilisierung des Stromsystems wurde beispielhaft am Landkreis Birkenfeld, als einen Landkreis mit einem durchschnittlichen Anteil an Elektrofahrzeugen sowie einem mittleren bis hohen FEE-Potenzial, dargestellt. Aus den Simulationsergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen: Im Referenzszenario, in dem die Elektrofahrzeuge unabhängig von einem Fahrplan geladen werden, entsteht durch die E-Mobilität ein Mehrverbrauch an Strom in den Regionen, der allerdings nur anteilig durch die bestehenden regionalen FEE-Überschüsse abgefangen werden kann. Insgesamt verringert sich dadurch der Lastdeckungsgrad in den betrachteten Regionen. Regionen, wie der Landkreis Frankenthal, mit einem geringen FEE-Anteil sind davon stärker betroffen als die Regionen mit einem deutlichen FEE-Überschuss, wie zum Beispiel der Landkreis Birkenfeld.

Durch ein optimiertes Laden der Elektrofahrzeuge kann – im Gegensatz zur Beladung nach Ankunft am Ausgangsort – der Lastdeckungsgrad verbessert werden. Dieser Effekt verstärkt sich, wenn die Elektrofahrzeuge zusätzlich als elektrischer Zwischenspeicher (V2G) genutzt werden, um überschüssige FEE-Mengen zeitlich zu verlagern (load-levelling). Allerdings entsteht durch die Zwischenspeicherung ein deutlicher Mehrverbrauch an Strom, was letztendlich auch zu einem sichtbaren Rückgang des Stromexports führt. Der deutliche Mehrverbrauch ist auf die zusätzlichen Be- und Entladeverluste der Batteriespeicher zurückzuführen.

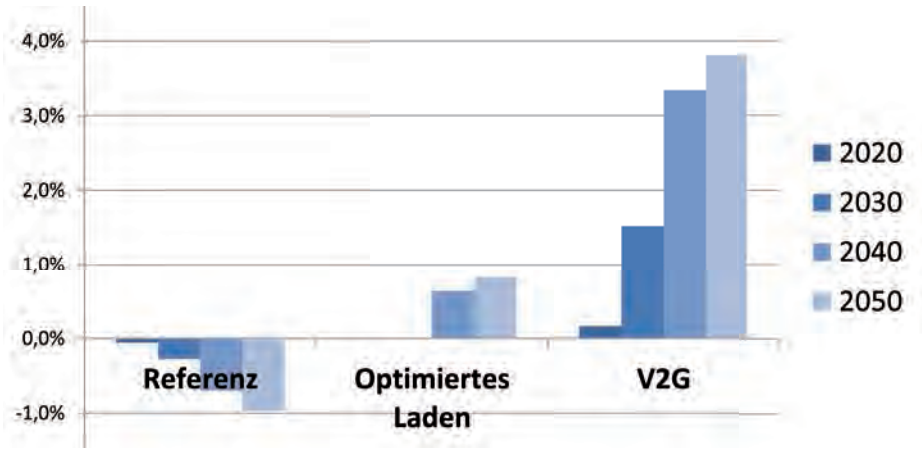


Abb. M7a-7: Änderung des Autarkiegrades in den drei Szenarien für den Landkreis Birkenfeld im Vergleich zum Nullszenario (Eigene Darstellung nach izes)

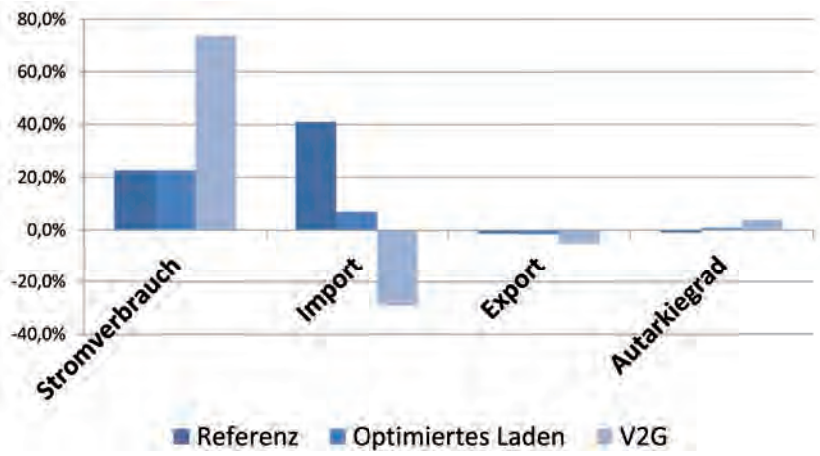


Abb. M7a-8: Ergebnisse in den drei Szenarien für den Landkreis Birkenfeld im Jahr 2050 im Vergleich zum Nullszenario (Eigene Darstellung nach izes)

Der Lastdeckungsgrad erhöht sich bei V2G-Anwendungen in 2050 im Schnitt um +1,3 % (siehe Abbildung M7a-9), allerdings nur dort, wo ein ausreichend hohes FEE-Dargebot bzw. entsprechende FEE-Überschüsse vorhanden sind. Es zeigt sich, dass in keiner der Regionen – trotz z.T. extremer FEE-Überschussmengen – eine 100 %-ige Lastdeckung erreicht werden kann. Je größer jedoch das FEE-Dargebot sowie der Anteil der Elektrofahrzeuge in der Region sind, desto größer ist auch der theoretisch erreichbare Lastdeckungsgrad einer Region. Die Höhe der Lastdeckungsgradänderung ergibt sich somit aus den zeitlich verlagerbaren FEE-Überschüssen einer Region.

Im Vergleich zu Benzin- und Dieselfahrzeugen können Elektrofahrzeuge in einem auf FEE gestützten Stromsystem annähernd kostenfrei betrieben werden und dies bei einem deutlich reduzierten CO2-Ausstoss. Durch die Flexibilisierung der Elektrofahrzeuge kann dieser Effekt in Regionen, die bilanziell genug erneuerbaren Strom erzeugen, um ihren gesamten Bedarf decken zu können, noch deutlich verstärkt werden. Auf diese Weise können zusätzliche Kosteneinsparungen von bis zu 10 % erreicht werden (siehe Abbildung M7a-9).

Es fallen durch die Flexibilisierung auch zusätzliche Kosten für die Errichtung und den Betrieb eines regionalen Energiemanagement- systems an. Die Zusatzkosten müssen durch die Einsparungen gedeckt werden, um insgesamt keine Mehrkosten zu erzeugen. Zur Beeinflussung der Nutzer sind hierbei u.a. zeitvariable Tarife denkbar, wie sie beispielsweise im MeRegio eingeführt wurden [10]. Das Szenario „Optimiertes Laden" in 2050 hat gezeigt, dass der optimierte Fahrplan für die Beladung der Elektrofahrzeuge an den verschiedenen Tagen im Jahr sehr unterschiedlich aussehen kann und keine klare Struktur zu erkennen ist – was v.a. auf die stochastische Einspeisung der Windenergie zurückzuführen ist. Dies macht es allerdings sehr schwierig, den Nutzern akzeptable Ladezeiten vorzugeben, an denen sie ihre Tagesplanungen ausrichten können.

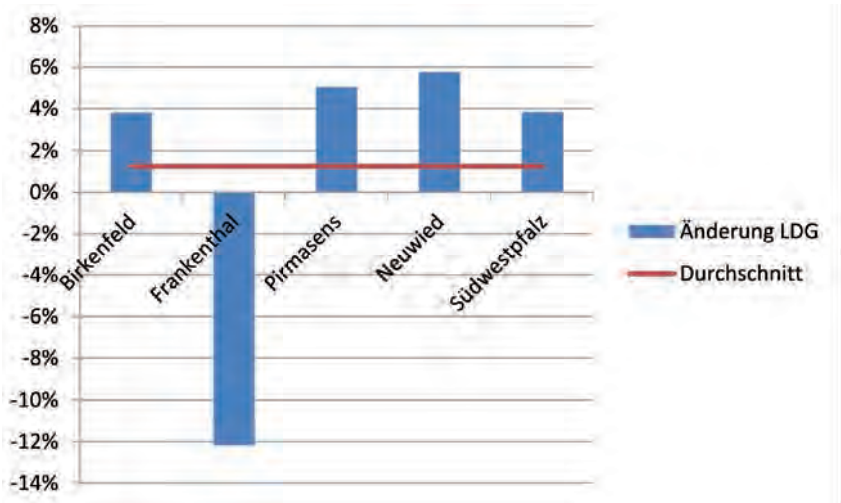


Abb. M7a-9: Änderung des Lastdeckungsgrades im Szenario „V2G" im Vergleich zum Nullszenario in den einzelnen Regionen 2050 (Eigene Darstellung nach izes)

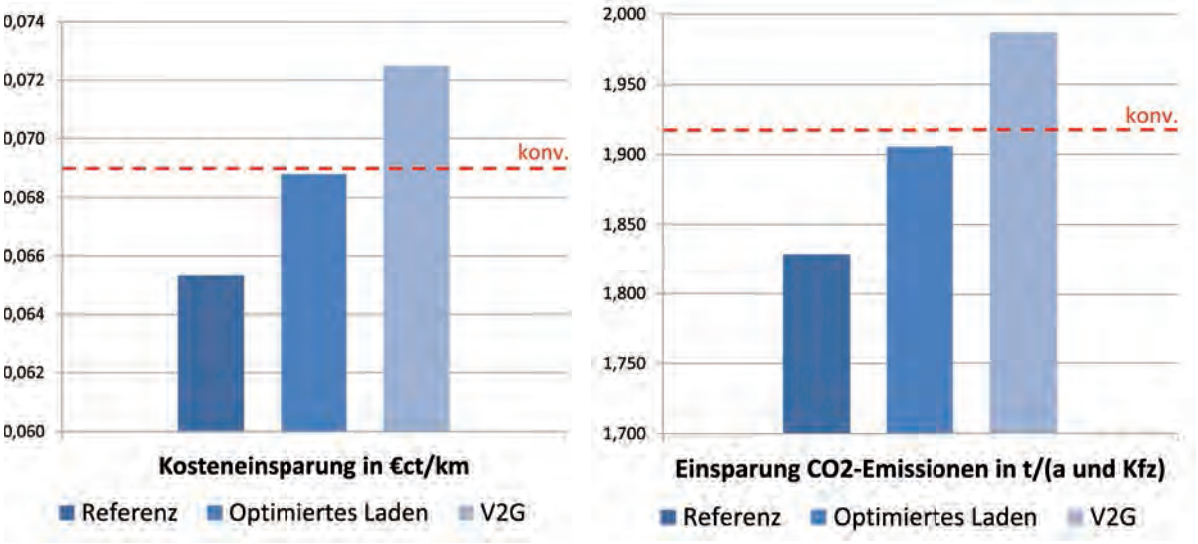


Abb. M7a-10: Kosten- und CO2-Einsparung in den drei Szenarien für den Landkreis Birkenfeld im Vergleich zum Nullszenario (Eigene Darstellung nach izes)

Somit entscheiden letztendlich die für die Flexibilisierung erforderlichen Zusatzkosten sowie die notwendigen Kostenanreize, die für die Einbindung der Fahrzeugnutzer erforderlich sind, über die künftigen Einsatzmöglichkeiten der E-Mobilität.

5 Quellen

[1] EPEX SPOT SE, http://www.epexspot.com/de/marktdaten/auktionshandel/chart/auction-chart/2012-12-31/DE (abgerufen am 21.03.2013)

[2] bdew- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Home (abgerufen am 26.11.2013)

[3] Deutscher Wetterdienst, WebWerdis - Weather Request and Distribution System https://werdis.dwd.de/werdis/start_js_JSP.do (abgerufen am 16.12.2013)

[4] ENERCON GmbH, http://www.enercon.de/de-de/marktanteile.htm (abgerufen am 06.12.2013)

[5] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR) http://www.iwr.de/ (abgerufen 2013)

[6] MID: Mobilität in Deutschland 2008 – Ergebnisbericht, Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (infas) und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., in Auftrag gegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Sozialentwicklung, Bonn und Berlin 2010

[7] WWF (World Wide Fund for Nature) Deutschland: Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, bearbeitet durch Prognos AG und Öko-Institut, Basel/Berlin Oktober 2009

[8] Kraftfahrtbundesamt: Fahrzeugzulassungen (FZ) (2013): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken, Flensburg, Jan. 2013

[9] Versionsnummer V 2.1, angepasst durch die IZES gGmbH im Rahmen des EU-Forschungsprojektes „SEMS – Sustainable Energy Management Systems“, Laufzeit 2007-2012

[10] Minimum Emission Region (MeRegio), ein E-Energy-Projekt gefördert durch das BMWi und BMUB, http://www.meregio.de/ (abgerufen in 2013)

Modul 7b: Infrastrukturelles Versorgungsnetz für Elektromobilität

Autoren: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Daniel Görges,
Felix Berkel,
Sascha Baron

1 Übersicht

1.1 Motivation

Elektrische Energiesysteme unterliegen seit einigen Jahren tiefgreifenden Veränderungen. Die Energieerzeugung geht zunehmend über von wenigen großen zentralen konventionellen Erzeugern hin zu vielen kleinen dezentralen regenerativen Erzeugern. Beispielsweise hat in Rheinland-Pfalz der Anteil der regenerativen Stromeinspeisung zwischen 1990 und 2010 wie in Abbildung M7b-1 gezeigt von 11,7 % auf 26,5 % zugenommen [36].

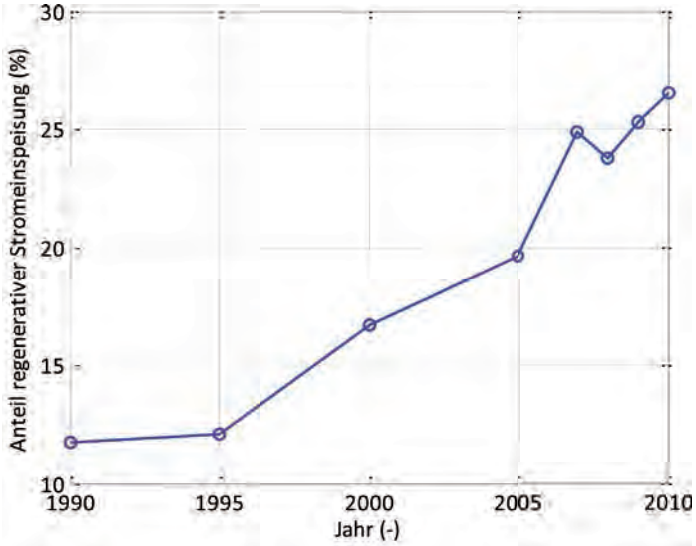


Abb.M7b-1: Anteil der regenerativen Stromeinspeisung in Rheinland-Pfalz (Quelle: [36])

Ambitioniertes Ziel der Landesregierung ist ein Anteil der regenerativen Stromeinspeisung von 100 % im Jahr 2030 [28]. Im Jahr 2011 lag der Anteil an der regenerativen Stromeinspeisung für Windkraft bei 61,4 %, für Photovoltaik bei 25,4 %, für Biogas bei 7,8 % und für andere regenerative Energieträger bei 5,3 % [37]. Ein Großteil der regenerativen Stromeinspeisung (86,8 %) entstammt somit den volatilen Energieträgern Wind und Sonne.

Die tiefgreifenden Veränderungen in elektrischen Energiesystemen führen zu substantiellen technischwissenschaftlichen Herausforderungen. Die hohe Volatilität einiger regenerativer Erzeuger, insbesondere Windkraft und Photovoltaik, erfordert grundlegend neue Methoden und Komponenten zur Frequenzhaltung. Von besonderer Bedeutung sind hierbei Energiespeicher. Die ausgeprägte Dezentralität regenerativer Erzeuger und die hieraus resultierende sehr hohe Systemkomplexität erfordern zudem neue Verfahren für die Netzregelung und den Netzbetrieb. Die Einspeisung regenerativer Erzeuger in das Niederspannungsnetz macht schließlich neue Methoden und Komponenten für die Spannungshaltung nötig. Wichtig ist ferner die Sicherstellung der Spannungsqualität im Niederspannungsnetz, insbesondere in Bezug auf Oberschwingungen, Transienten und Asymmetrien. Die Spannungsstabilität und -qualität wurde in den vergangenen Jahren insbesondere durch teils einphasige Wechselrichter, die beispielsweise in Photovoltaikanlagen verwendet werden, erheblichbeeinträchtigt.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Konzepte eingeführt, mit denen diesen Herausforderungen begegnet werden kann:

- Smart Grids
  Smart Grid sind elektrische Energiesysteme mit einer Vernetzung von Erzeugern, Speichern, Lasten und Betriebsmitteln über ein Kommunikationsnetzwerk. Basierend auf dem Kommunikationsnetzwerk wird ein intelligentes Regelungssystem zur Optimierung der Effizienz und Zuverlässigkeit realisiert.

- Microgrids
  Microgrids sind Cluster aus lokalen Erzeugern, Speichern und Lasten. Solche Cluster können im elektrischen Energiesystem als geschlossene Einheiten betrieben werden, wodurch die Systemkomplexität signifikant vermindert werden kann. Strom und auch Wärme werden zudem regional erzeugt und verbraucht, wodurch Übertragungsverluste minimiert werden können. Microgrids können schließlich mit dem elektrischen Energiesystem gekoppelt, von diesem getrennt oder auch kombiniert betrieben werden, wodurch innerhalb des Clusters die Abhängigkeit von variablen Energiepreisen reduziert und die Versorgungssicherheit erhöht werden kann.

- Virtuelle Kraftwerke
  Virtuelle Kraftwerke sind Cluster von dezentralen Erzeugern. Solche Cluster können als einzelne Einheit betrieben werden, wodurch die Planbarkeit der Erzeugung erhöht und somit der Volatilität regenerativer Erzeuger begegnet werden kann.

- Lastmanagement
  Lastmanagement bezeichnet eine intelligente Steuerung der Lasten. Hierdurch wird eine Verschiebung der Last ausgehend von der verfügbaren Erzeugung ermöglicht und somit ebenfalls die Volatilität regenerativer Erzeuger angegangen. Steuerbare Lasten sind beispielsweise Spül- und Waschmaschinen (Nutzung des flexiblen Einsatzzeitraums) oder Kühlsysteme (Nutzung der thermischen Speicherfähigkeit).

Die Konzepte haben enge Beziehungen und werden oftmals in Kombination betrachtet.
Elektrofahrzeuge wirken im elektrischen Energiesystem grundsätzlich als Netzlast. Ein unkoordiniertes Laden von Elektrofahrzeugen kann zu signifikanten Frequenz- und Spannungsabweichungen führen. Prognosen zum täglichen Aufkommen von Elektrofahrzeugen sowie zu deren zeitlicher und räumlicher Verteilung über den Tag sind bisher nicht verfügbar. Erste Studien zum Nutzerverhalten legen aber nahe, dass der Großteil der Nutzer das Elektrofahrzeug zu Hause oder am Arbeitsplatz laden würde [30]. Beispielsweise könnten Arbeitnehmer zukünftig ihr Elektrofahrzeug in einem engen Zeitfenster nach Ankunft am Arbeitsplatz mit dem elektrischen Energiesystem verbinden. Hierdurch entstehen, wie in Abschnitt 4 gezeigt wird, bei unkoordiniertem Laden erhebliche Lastspitzen, welche wiederum Frequenz- und Spannungsabweichungen hervorrufen. In Extremfällen können sogar Überlastungen von Betriebsmitteln wie Leitungen und Transformatoren auftreten. Ferner können ungeregelte Ladesysteme (Gleichrichter) sehr starke Oberschwingungen verursachen. Einphasige Ladesysteme können zusätzlich zu Asymmetrien führen.
Elektrofahrzeuge können im elektrischen Energiesystem jedoch auch als Netzdienstleister wirken. Ein koordiniertes Laden und perspektivisch Entladen kann in Smart Grids für das Lastmanagement genutzt werden und auch in virtuelle Kraftwerke einbezogen werden. Insbesondere in Niederspannungsnetzen kann ein koordiniertes Laden zur Entlastung von Betriebsmitteln beitragen. Hierdurch kann eine Aufrüstung von Betriebsmitteln wie Erdkabeln und Ortsnetztransformatoren für den Ausbau von regenerativen Erzeugern vermieden werden. Ferner können geregelte Ladesysteme für die Kompensation von Blindleistung, Oberschwingungen und Asymmetrien genutzt werden.
Eine intelligente Netzintegration von Elektrofahrzeugen kann insgesamt einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Entscheidend hierfür sind ein koordiniertes Laden und Entladen sowie geregelte Ladesysteme. Insbesondere ist auch die Einbeziehung von Mobilitätskennziffern sinnvoll, da diese einen ersten Aufschluss über das tägliche Fahrverhalten von Pkw-Nutzern liefern und deren Verhalten gerade auch für eine selbstverständlich gewordene Nutzung von Elektrofahrzeugen unterstellt werden kann.

1.2 Stand der Forschung

Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen hat in den letzten Jahren sowohl im industriellen als auch im akademischen Bereich ein erhebliches Interesse erfahren. Aktuelle Übersichten zu den akademischen Aktivitäten finden sich z. B. in [20, 38]. Die existierenden Methoden können klassifiziert werden nach

- Schwerpunkt
  Analyse der Wirkung von Elektrofahrzeugen im elektrischen Energiesystem, Koordination von Laden und perspektivisch Entladen

- Ebene
  Fahrzeug, Microgrid, Verteilnetz, Übertragungsnetz

- Ziel
  Minimierung der Erzeugungskosten, Minimierung der Übertragungsverluste, Sicherung des Leistungsgleichgewichts, Frequenzhaltung, Spannungshaltung, Oberschwingungsfilterung

- Struktur
  zentral, dezentral, hierarchisch
  Eine Analyse der existierenden Ansätze ergibt, dass aufgrund der hohen Systemkomplexität zukünftiger elektrischer Energiesysteme insbesondere Forschungsbedarf zu dezentralen und hierarchischen Methoden besteht. Solche Methoden sind daher Schwerpunkt der Forschung in Modul 7b.

1.3 Beitrag zur Forschung

Die Forschungsaktivitäten in Modul 7b sind fokussiert auf Methoden für eine intelligente Netzintegration von Elektrofahrzeugen. Im Einzelnen wurden folgende Methoden entwickelt:

- Methodik zur Ermittlung des Energie- und Leistungsbedarfs von Elektrofahrzeugen basierend auf Mobilitätsdaten, Fahrzeugdaten sowie Szenarien für den Elektrofahrzeugbestand und das Ladeverhalten (Abschnitt 2, AP1)

- Energiemanagementsystem für Smart Grids mit Elektrofahrzeugen basierend auf hierarchischen modellprädiktiven Regelungsmethoden unter Integration von Frequenzregelung, Leistungsflussoptimierung, Lastverteilung, Kraftwerksauswahl und koordiniertem Laden und Entladen von Elektrofahrzeugen (Abschnitt 3, AP 2/3)

- Energiemanagementsystem für Smart Grids mit Elektrofahrzeugen basierend auf verteilten Optimierungsmethoden zur Minimierung der gesamten Erzeugungskosten unter Berücksichtigung von Leistungs- und Energiebeschränkungen der Erzeuger, Speicher und Elektrofahrzeuge und unter Einbeziehung von Prognosen der regenerativen Erzeugung und der Last bei gleichzeitiger Sicherstellung des Mobilitätsbedarfs und des Leistungsgleichgewichts (Abschnitt 4, AP 2/3)

- Energiemanagementsystem für Smart Grids mit Elektrofahrzeugen basierend auf einer Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens (Abfahrtszeiten, Routen, Zwischenhalte) unter Anwendung gemischt-ganzzahliger Optimierung (Abschnitt 5, AP 2/3)

- Methodik zur Verbrauchsprognose für Elektrofahrzeuge basierend auf einem Fahrzeug-, Fahrer- und Umgebungsmodell (Abschnitt 3, AP 1/2/3)

Die Methoden sind teilweise mehreren Arbeitspaketen aus dem Projektantrag zuzuordnen. Die Zuordnung zu den Arbeitspaketen (APs) ist oben mit angegeben. Eine detaillierte Darstellung der Methoden wird in den Abschnitten 2 bis 3 gegeben. Weitere Details enthalten die in diesen Abschnitten angegebenen Publikationen und Arbeiten.

1.4 Publikationen und studentische Arbeiten

Aus den Forschungsaktivitäten zu Modul 7b sind eine Publikation in einer internationalen Fachzeitschrift [16] und auf internationalen Fachkonferenzen [13, 3, 24] entstanden.

Besonderer Wert wurde auf eine aktive Einbindung von Studierenden in die Forschungsaktivitäten in Modul 7b gelegt. Hieraus sind unter anderem 16 studentische Arbeiten entstanden:

- Diplomarbeiten [15, 2]
- Masterarbeiten [8, 23, 14]
- Studienarbeit [19]
- Bachelorarbeiten [41, 39, 22, 42]
- Studienprojekte [31, 10, 11]
- Forschungsprojekt [32]
- Seminararbeiten [33, 34]

2 Energie- und Leistungsbedarf von Elektrofahrzeugen

2.1 Raumstruktur

Rund 95% aller Gemeinden in Rheinland-Pfalz waren im Jahr 2010 kleiner als 5.000 Einwohner. Hier lebte die Hälfte aller Rheinland-Pfälzer (Eigene Berechnungen nach [6, 27]). Die räumlichen Einteilungen des BBSR zeichnen aufgrund differenzierter Kriterien ein weniger ländlich geprägtes Bild, das für das Flächenland in dieser Form nicht als zutreffend angesehen wird. Im gleichen Jahr waren rund 2,2 Millionen Pkw in RLP zugelassen [7]. Damit lag RLP 2010 mit durchschnittlich 555 Pkw / 1.000 Einwohnern leicht über dem Bundesdurchschnitt von 535 Pkw / 1.000 Einwohnern. Als Ausnahmen hiervon sind die Metropolregionen Rhein-Main sowie Rhein-Neckar anzusehen, die eher einen verstädterten Charakter aufweisen.

2.2 Bedeutung und Ziele der NPE für RLP

Ausgehend von den Elektromobilitätszielen der Bundesregierung (rund 1 Mio. zugelassene Fahrzeuge bis 2020) wurde eine lineare Umlegung auf die Fahrzeugbestandszahlen 2010 für Rheinland-Pfalz vorgenommen. Nach eigenen Berechnungen entspricht die Menge der zugelassenen Pkw in RLP einem Anteil von rund 5,3% bezogen auf alle in der BRD zugelassenen Pkw. Demnach müssten zur Erreichung des NPE-Ziels ca. 53.362 Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 zugelassen werden. Dies entspricht einem Anteil an der heute in RLP zugelassenen Pkw-Flotte von rund 2,4%. Bezogen auf die Zulassungszahlen der Vorjahre weicht dieser Anteil nur geringfügig nach oben ab, was bedeutet, dass die Flottengröße in RLP leicht angestiegen ist. Aufgeteilt auf die einzelnen Kreise in RLP ergibt sich dadurch Abbildung M7b-2.

Würde jedem einzelnen Fahrzeug eine mittlere Akkukapazität von 20 kWh unterstellt, entspräche dies für RLP einem zusätzlichen elektrischen Energiebedarf von 1,067 TWh (peak), gleichwohl diese Leistung nie zeitgleich bereitgestellt werden müsste. Ansätze für eine detailliertere Prognose hinsichtlich der Energiebereitstellung werden die nachfolgenden Kapitel liefern. Dazu

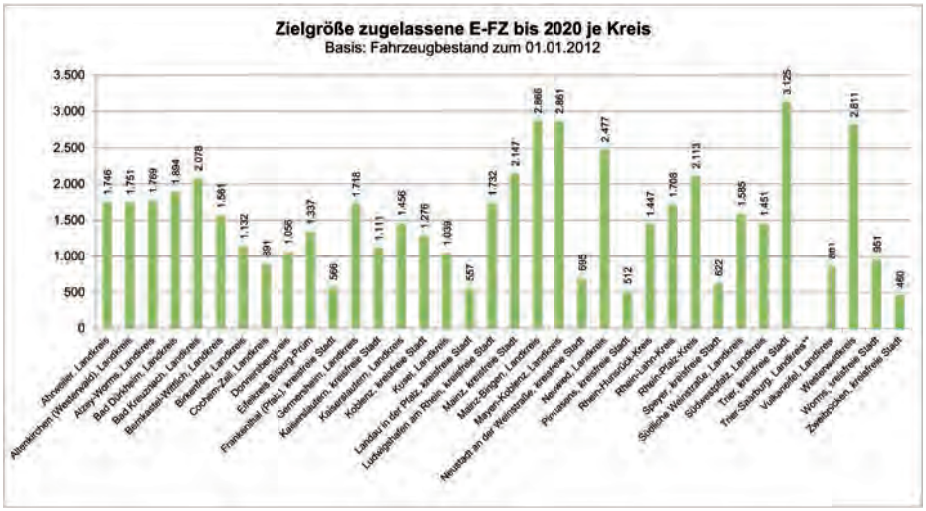


Abb. M7b-2: Zielgröße zugelassene EFZ bis 2020 je Kreis in RLP (Eigene Berechnungen auf Basis von [18]) **für den Lkr Trier-Saarburg lagen kleine Daten vor

sind als wesentliche Aspekte die Felder „tägliche Fahrleistung“, „zeitliche Verteilung“ und grundsätzlich auch der „Motorisierungsgrad“ der eingesetzten Fahrzeuge zu berücksichtigen. Die Standzeiten und Abstellorte der Fahrzeuge bilden eine weitere Informationsgrundlage für das Thema Bemessung der Infrastruktur.

2.3 Mobilitätskennziffern für RLP

Aus der MiD2008 [4] und KiD2010 [5] lassen sich für die Raumtypen erste Erkenntnisse zu den relevanten Mobilitätskennziffern ableiten, wobei die KiD2010 aufgrund ihres Fokus auf den Wirtschaftsverkehr einen Sonderfall darstellt. Das Mobilitätspanel [17] ist wegen der geringen Fallzahl für RLP nur bedingt geeignet. Dabei handelt es sich für die Simulationen vorrangig um die tägliche Fahrleistung. Informationen zur Verteilung über den Tagesverlauf, die Wegelängen, Abstellzeitpunkte und –dauern sowie die Motorisierung des Fahrzeugs sind in besonderem Maße einzubeziehen. Es wurde in den Auswertungen jedoch auch deutlich, dass die Fallzahlen und damit die Ergebnisgüte hierfür mit detaillierterem räumlichem Maßstab deutlich sinken. Um hierfür genauere Aussagen zu erhalten, waren Flottenfeldtests unabdingbar. Diese konnten im Verlauf des Projektes durchgeführt werden, die resultierenden „Big-Data“ befinden sich noch in der Auswertung. Deren Ergebnisse sind noch mit Daten aus [4, 5] abzugleichen.
Aus der MiD08 ergibt sich für die in RLP vertretenen Raumtypen eine mittlere tägliche Fahrleistung von 47,5 km im (privaten) straßengebundenen Personenverkehr. Dies ist mit den heute zur Verfügung stehenden Fahrzeugen realisierbar. In Verbindung mit der zuvor ermittelten EFZ-Flotte ergibt dies die in Abbildung M7b-3 dargestellten mittleren regionalen täglichen Fahrleistungen.

Für die aus [4] global abgeleiteten Fahrleistungen für den ländlichen Raum konnte aufgezeigt werden, dass diese für RLP um ca. ein Viertel geringer ausfallen als im Bundesdurchschnitt. Die zeitliche Verteilung entspricht den in der Verkehrsforschung bekannten Tagesganglinien. Eine Disaggregation der Daten auf Tageszeiten wurde als Eingangsdatensatz für die Simulation vorgenommen.
Mit den hierdurch aufgezeigten Bandbreiten sind Energiebilanzierungen und Simulationen möglich. Einen Ansatz, bei dem die Verkehrsquellen und –senken für Elektrofahrzeuge als Parkplätze betrachtet wurden, findet sich in [1]. Die Unterteilung auf Fahrzeugsegmente und Kraftstoffarten im Sinne lokaler Flottenmixe ist mangels Datenverfügbarkeit (kostenpflichtige Sonderauswertungen des KBA) schwierig. Als erste Schritte wurden diese über eine Marktrecherche zu verfügbaren Elektrofahrzeugen sowie aus Erfahrungswerten angenommen, die MiD08 lieferte einen durchschnittlichen Motorisierungsgrad. Im Verlauf der Flottenfeldtests zeigte sich hinsichtlich des Verbrauchs der E-Fahrzeuge ein um Faktor vier effizienterer Verbrauch gegenüber vergleichbaren Diesel-PKW.
Die beschriebenen Teilschritte sind in Abbildung M7b-4 schematisch dargestellt.

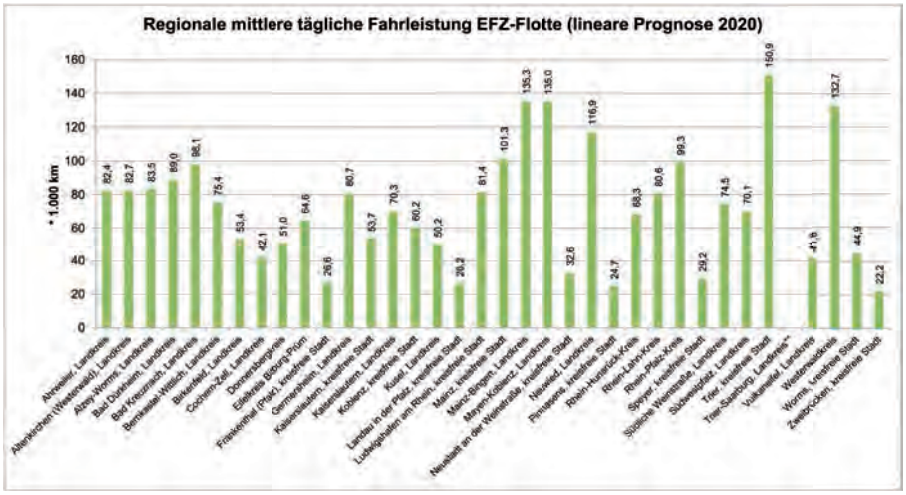


Abb. M7b-3: Mittlere tägliche regionale Fahrleistung EFZ-Flotte (lineare Prognose für 2020; Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von [18, 4, 27])

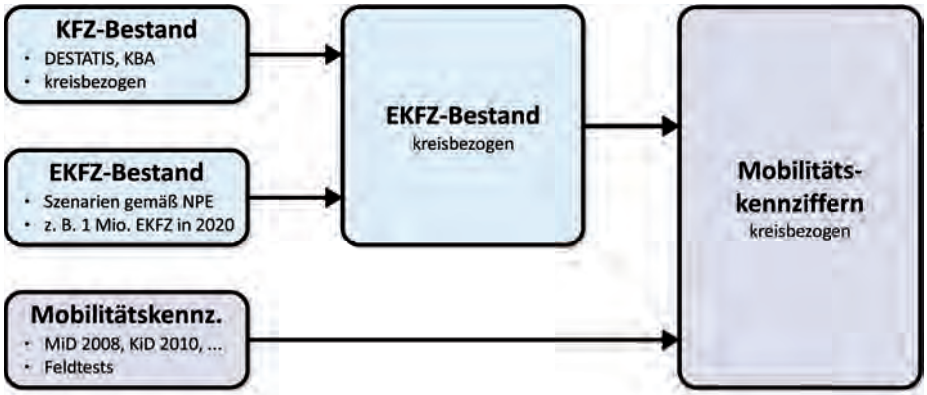


Abb. M7b-4: Schemabild Herleitung Mobilitätskennziffern RLP (Eigene Darstellung)

3 Energiemanagement basierend auf hierarchischer modellprädiktiver Regelung

Elektrische Energiesysteme erfordern hochleistungsfähige Methoden für die Netzregelung und den Netzbetrieb, um die Stabilität, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit und Effizienz zu sichern. Aufgrund der Volatilität und Dezentralität regenerativer Erzeuger werden die Netzregelung und der Netzbetrieb jedoch zunehmend schwieriger, siehe auch Abschnitt 1.1. Die Netzregelung und der Netzbetrieb umfassen verschiedene Aufgaben, unter anderem die Frequenzregelung (engl. Load-Frequency Control) zur Regelung der Frequenz und Übergabeleistung, die Leistungsflussoptimierung (engl. Optimal Power Flow) für einen ökonomischen Betrieb des Übertragungs- und Verteilnetzes, die Lastverteilung (engl. Economic Dispatch) für einen ökonomischen Betrieb der Erzeuger und die Kraftwerksauswahl (engl. Unit Commitment) für eine ökonomische Auswahl der Erzeuger. Diese Aufgaben müssen auf verschiedenen Zeitskalen gelöst werden. Traditionell wird dies mit einer hierarchischen Regelungsstruktur umgesetzt.
Die Frequenzregelung ist unterteilt in die Primärregelung für eine schnelle Stabilisierung der Frequenz f, die Sekundärregelung für eine graduelle Einregelung der Frequenz f zur Nennfrequenz f0 (hier f0 = 50 Hz) und die Tertiärregelung für einen ökonomischen Betrieb des elektrischen Energiesystems (Leistungsflussoptimierung, Lastverteilung, Kraftwerksauswahl). Die Primärregelung wird dezentral in den Erzeugern realisiert, die Sekundär- und Tertiärregelung werden zentral in den einzelnen Regelzonen umgesetzt. Die Regelzonen sind den Übertragungsnetzbetreibern zugeordnet, die für die Realisierung der Sekundär- und Tertiärregelung in der jeweiligen Regelzone zuständig sind.
Die hierarchische Regelungsstruktur wird seit Jahrzehnten erfolgreich genutzt und hat viele Vorzüge, jedoch auch Limitierungen. Die Limitierung betreffen insbesondere die Stabilität und Performanz. Die Stabilität wird durch das hierarchische Regelungskonzept nicht strikt garantiert, da Interaktionen zwischen Primär-, Sekundär- und Tertiärregelung nicht beachtet werden. Für elektrische Energiesysteme mit großen zentralen konventionellen Erzeugern ist dies unproblematisch, aufgrund der großen Trägheitsmomente in den konventionellen Erzeugern und der daraus resultierenden Selbststabilisierung. Für elektrische Energiesysteme mit kleinen dezentralen regenerativen Erzeugern ist dies hingegen kritisch, da nur kleine Trägheitsmomente (z. B. in Windkraftanlagen) oder sogar keine Trägheitsmomente (z. B. in Photovoltaikanlagen) vorhanden sind. Fluktuationen in der regenerativen Stromeinspeisung erfordern zudem eine höhere Performanz, insbesondere hinsichtlich der Antwortzeiten. Für zukünftige elektrische Energiesysteme werden folglich neue Methoden für die Netzregelung und den Netzbetrieb benötigt, um die Stabilität und Performanz zu gewährleisten. Insbesondere hierarchische modellprädiktive Regelungsmethoden (engl. Hie-

rarchical Model Predictive Control, kurz HiMPC) sind hierfür interessant.
Modellprädiktive Regelungen prädizieren mit Hilfe eines Modells das Systemverhalten und können so Prognosen (z. B. Leistungseinspeisung von erneuerbaren Energiequellen) einbeziehen. Durch das Lösen eines Optimierungsproblems können das Systemverhalten bezüglich eines Gütekriteriums (z. B. Minimierung der Erzeugungskosten) eingestellt und Beschränkungen (z. B. physikalische Limitierungen der Kraftwerke) berücksichtigt werden. Das wiederholte Lösen des Optimierungsproblems zu jedem Zeitpunkt robustifiziert das Verfahren gegenüber Störungen (z. B. Prognoseabweichungen). Die Erweiterung zu einer hierarchischen Regelungsstruktur integriert verschiedene Zeitskalen, die im Energienetz betrachtet werden müssen. In den letzten Jahren wurden hierarchische modellprädiktive Regelungsmethoden intensiv untersucht [35, 9]. Eine Anwendung in elektrischen Energiesystemen wurde bislang selten betrachtet. Lediglich konzeptionelle Arbeiten [40] sind bekannt. Hier besteht ein signifikanter Forschungsbedarf.
In Modul 7b wurde ein Energiemanagementsystem für Smart Grids mit Elektrofahrzeugen basierend auf einer hierarchischen modellprädiktiven Regelung entwickelt. Das Energiemanagementsystem umfasst die Frequenzregelung, die Leistungsflussoptimierung, die Lastverteilung, die Kraftwerksauswahl und insbesondere das koordinierte Laden und Entladen von Elektrofahrzeugen. Die Regelungsstruktur besteht aus zwei Hierarchieebenen. Auf der unteren Hierarchieebene erfolgen die Stabilisierung der Frequenz und die Einregelung der Frequenz auf die Nennfrequenz auf einer kurzen Zeitskala (Sekunden). Kurzfristige Fluktuationen der regenerativen Erzeugung und der Last können hierdurch kompensiert werden. Auf der oberen Hierarchieebene erfolgt eine Minimierung der Kosten für die Erzeugung inkl. An- und Abfahren, die Übertragungsverluste, die Übergabeleistung und das Laden und Entladen der Elektrofahrzeuge auf einer langen Zeitskala (Minuten und Stunden). Langfristige Erzeugungs- und Lastprognosen können hierdurch berücksichtigt werden. Interaktionen zwischen der unteren und oberen Hierarchieebene werden explizit berücksichtigt. Hierin besteht ein wesentlicher Vorteil gegenüber dem traditionellen Regelungskonzept. Für die Netzintegration von Elektrofahrzeugen wurden zwei Verfahren erarbeitet. Einerseits wurde ein Aggregator entwickelt, welcher die Stellgröße aus der Optimierung auf die einzelnen Elektrofahrzeuge verteilt und die Messgrößen aus den einzelnen Elektrofahrzeugen für die Optimierung zusammenfasst. Mittels des Aggregators kann eine große Anzahl von Elektrofahrzeugen gehandhabt werden. Das Energiemanagementsystem ist hierdurch auch für sehr große Smart Grids anwendbar. Andererseits können die Elektrofahrzeuge einzeln in der Optimierung berücksichtigt werden. Dadurch können die Freiheitsgrade der Optimierung und damit die Performanz erhöht werden. Die Anwendbarkeit ist allerdings auf kleine Smart Grids, insbesondere Smart Microgrids, begrenzt. Das Energiemanagementsystem mit Aggregator wurde für ein Smart Grid einer Stadt mit 120.000 Einwohnern, einem Grundlast-, Mittellast- und Spitzenlastkraftwerk, Windkraft- und Photovoltaikanlagen (ca. 50 % der Stromeinspeisung) sowie 20.000 Elektrofahrzeugen (ca. 30 % aller Fahrzeuge) bzw. 40.000 Elektrofahrzeugen (ca. 60 % aller Fahrzeuge) anhand von Simulationen unter MAT-LAB/Simulink evaluiert. Die Simulationsergebnisse verdeutlichen, dass die Frequenzabweichungen, Leistungstransienten und Übergabeleistung durch ein koordiniertes Laden und Entladen der Elektrofahrzeuge signifikant reduziert werden können. Eine detaillierte Darstellung der Simulationsergebnisse findet sich in [16, 15].
Das Energiemanagementsystem ohne Aggregator wurde für ein Smart Microgrid eines Unternehmens mit zwei konventionellen Erzeugern (z. B. BHKWs), zwei Photovoltaikanlagen, einer Windkraftanlage, einem Bürogebäude, 150 Elektrofahrzeugen und einer Übergabestelle zum Verbundnetz mittels Simulationen unter MATLAB/Simulink evaluiert. Die Simulationsergebnisse zeigen auch hier, dass durch koordi-

niertes Laden und Entladen der Elektrofahrzeuge das Lastprofil geglättet werden kann, was ein effizienteres Verfahren der konventionellen Kraftwerke erlaubt (siehe Abbildung M7b-5). Des Weiteren zeigte sich, dass bis zu 1000 Fahrzeuge einzeln in das Energiemanagementsystem bei Berücksichtigung der Echtzeitansprüche integriert werden konnten. Eine detaillierte Darstellung der Simulationsergebnisse findet sich in [3, 2].

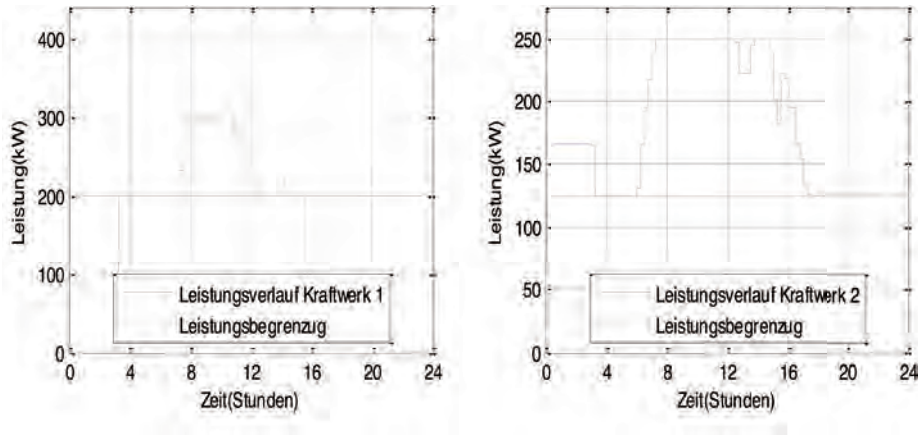


Abb. M7b-5: Leistungsverlauf der konventionellen Kraftwerke (Eigene Darstellung)

4 Energiemanagement basierend auf verteilter Optimierung

Die Komplexität des elektrischen Energiesystems hat in den letzten Jahren, aufgrund der stark wachsenden Zahl der dezentralen regenerativen Erzeuger, erheblich zugenommen und wird in den nächsten Jahren durch die Integration von Elektrofahrzeugen weiter steigen. Die Komplexität der Netzregelung und des Netzbetriebs wächst hierdurch ebenfalls enorm. Für zukünftige elektrische Energiesysteme sind daher neuartige Methoden für die Netzregelung und den Netzbetrieb erforderlich, um die Stabilität und Effizienz zu sichern. Insbesondere dezentrale Methoden, die die dezentrale Struktur zukünftiger elektrischer Energiesysteme abbilden, sind hierfür interessant.

In den letzten Jahren haben dezentrale Methoden für ein koordiniertes Laden von Elektrofahrzeugen ein großes Interesse in der Wissenschaftsgemeinde erfahren. Die Ansätze sind fokussiert auf das Valley Filling, d. h. eine Verschiebung des Ladens hin zu Schwachlastzeiten [26, 12, 21]. In Modul 7b wurde ein Energiemanagementsystem für Smart Grids mit Elektrofahrzeugen basierend auf verteilter Optimierung mit preisbasierten Methoden entwickelt, das über ein Valley Filling hinausgeht.

Zielsetzung des Energiemanagements ist die Minimierung der gesamten Erzeugungskosten unter Berücksichtigung der Leistungs- und Energiebeschränkungen der Einheiten (Erzeuger, Speicher, Elektrofahrzeuge) und unter Einbeziehung von Prognosen für die regenerative Erzeugung und die Last bei gleichzeitiger Sicherstellung des Mobilitätsbedarfs und des Leistungsgleichgewichts. Die Einheiten werden hierzu unterteilt in

- **preiselastische Einheiten**, deren Verhalten durch Preise beeinflusst werden kann (z. B. konventionelle Erzeuger wie Mikro-BHKWs, steuerbare regenerative Erzeuger wie Biomassekraftwerke, steuerbare Lasten wie Kühlsysteme),
- **preisinelastische Einheiten**, deren Verhalten durch Preise nicht beeinflusst werden kann (z. B. nicht steuerbare regenerative Erzeuger wie Windkraft- und Photovoltaikanlagen, nicht steuerbare Lasten),
- **Elektrofahrzeuge**, deren Verhalten durch Preise beeinflusst werden kann (unter Berücksichtigung der Dynamik und des Mobilitätsbedarfs).

Um die Zielsetzung zu erreichen, werden Preise zwischen den preiselastischen Einheiten und den Elektrofahrzeugen verhandelt. Die Verhandlung erfolgt über einen festen Zeithorizont (z. B. einen Tag). Neuverhandlungen können allerdings öfter erfolgen (z. B. stündlich). Hierdurch kann auf Abweichungen in Prognosen der regenerativen Erzeugung und Last reagiert werden. Die Verhandlung wird koordiniert durch einen Preiskoordinator. Aufgabe des Preiskoordinators ist die Sicherstellung des Leistungsgleichgewichts unter Nutzung der Prognosen.

Die Preiskoordination basiert auf einer mathematischen Optimierungsmethode, der dualen Dekomposition. Grundidee ist die Lösung des dualen Optimierungsproblems anstatt des primalen Optimierungsproblems. Bei Optimierungsproblemen mit separierbarer dualer Funktion kann das duale Optimierungsproblem zerlegt und dann verteilt gelöst werden. Die duale Dekomposition hat eine interessante ökonomische Interpretation: Der Preiskoordinator gibt den Ressourcenpreis vor, hier den Leistungspreis. Die preiselastischen Einheiten bestimmen dann ihre Produktion oder ihren Verbrauch so, dass ihre Produktions- oder Verbrauchskosten, unter Beachtung von Beschränkungen, minimiert werden. Die Vorgabe des Ressourcenpreises und die Minimierung der Kosten werden wiederholt, bis der Ressourcenpreis konvergiert ist. Die Preise können „virtuell" sein zur Realisierung einer verteilten Optimierung oder „real". Letzteres erfordert ein entsprechendes Marktdesign. Solche Marktdesigns sind in den USA teils bereits realisiert [29, 25], in der EU allerdings noch nicht. Es existieren aber auch in der EU Überlegungen zu solchen Marktdesigns, z. B. im Rahmen des EU-Projekts E-Price.
Das Energiemanagementsystem hat darüber hinaus einige interessante Eigenschaften, wie Komplexitätsbehandlung, inhärenter Datenschutz, Plug-and-Play Fähigkeit, einfache Skalierbarkeit und Robustheit. Diese prädestiniert den Einsatz des Energiemanagementsystems in Smart Grids, die sich durch hohe Komplexität und ständige Neukonfigurierung (z. B. An-/Abfahrt der Elektrofahrzeuge) auszeichnen.
In Modul 7b wurde für ein Smart Grid eines Unternehmens mit einer preiselastischen konventionellen Erzeugungseinheit (z. B. BHKW), einer preisinelastischen regenerativen Erzeugungseinheit (Photovoltaikanlage), einer preisinelastischen Last (z. B. Bürogebäude, Produktionsstätten) und zehn Elektrofahrzeugen modelliert, ein Energiemanagementsystem entwickelt und mittels Simulationen unter MATLAB evaluiert. Die Modellierung, Optimierung und Implementierung sind im Detail in [13, 10] dargestellt.
Die Simulationsergebnisse sind in Abbildung M7b-6 dargestellt. Leistungen sind hierbei positiv, wenn diese in das Netz eingespeist werden. Anhand der Batterieleistung (gesamt) ist zu erkennen, dass die Elektrofahrzeuge geladen werden, wenn die Leistung der Last und der Photovoltaikanlage betragsmäßig klein ist und andernfalls entladen werden. Die Leistung der konventionellen Erzeugungseinheit wird hierdurch geglättet und Spitzen werden reduziert. Insgesamt werden dadurch die Erzeugungskosten minimiert. Zum Vergleich ist die Leistung der konventionellen Erzeugungseinheit bei unkoordiniertem Laden, also einem Laden mit der maximalen Leistung von -3.68 kW unmittelbar nach Verbindung mit dem elektrischen Energiesystem, dargestellt. Die Elektrofahrzeuge sind in diesem Fall preisinelastische Einheiten. Offensichtlich führt ein unkontrolliertes Laden zu starken Lastspitzen. Die Maximalleistung der konventionellen Erzeugungseinheit von 90 kW wird sogar überschritten. Folglich wäre eine größere konventionelle Erzeugungseinheit erforderlich, was durch das koordinierte Laden vermieden werden kann. Insgesamt wird aus den Simulationen deutlich, dass die Erzeugungskosten durch das Energiemanagementsystem reduziert werden können und gleichzeitig der Mobilitätsbedarf sichergestellt werden kann. Ferner kann eine Aufrüstung von Betriebsmitteln durch das Energiemanagementsystem vermieden werden.
Während in den hier vorgestellten Simulationsergebnissen Verfahren erster Ordnung zur Lösung des dualen Optimierungsproblems (Anpas-

sung des Preises) angewendet wurden, wurden im Rahmen weiterer Arbeiten zu Modul 7b auch Methoden zweiter Ordnung untersucht, welche sich durch schnellere Konvergenz auszeichnen. Für nähere Informationen zu diesen Verfahren wird auf [8, 19] verwiesen.

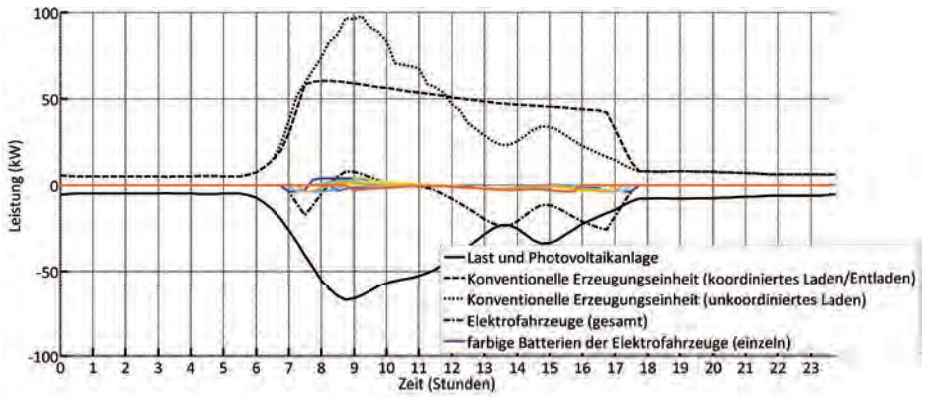


Abb. M7b-6: Leistungsverlauf (Eigene Darstellung)

5 Energiemanagement basierend auf Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens

Elektrofahrzeuge können, wie in Abschnitt 1.1 dargelegt, im elektrischen Energiesystem als mobile Speicher wichtige Netzdienstleistungen bereitstellen. Die Mobilität schränkt die zeitliche und örtliche Verfügbarkeit von Elektrofahrzeugen für Netzdienstleistungen jedoch ein. Eine Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens kann die Verfügbarkeit verbessern und ist somit ein interessanter Gesichtspunkt für die Netzintegration von Elektrofahrzeugen. Bisher wurde eine Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens in der Literatur noch nicht betrachtet. Folglich besteht hierzu Forschungsbedarf.

In Modul 7b wurden grundlegende Konzepte für ein Energiemanagement in Smart Grids mit Elektrofahrzeugen, basierend auf einer Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens, untersucht. Grundidee ist, das Mobilitätsverhalten mittels eines Lotsendienstes so zu steuern, dass die zeitliche und örtliche Verfügbarkeit der Elektrofahrzeuge für Netzdienstleistungen optimiert wird. Beeinflussbare Mobilitätsparameter sind unter anderem Abfahrtszeiten, Routen und Zwischenhalte.

Die Grundidee kann an einem Beispiel verdeutlicht werden. Ein Arbeitnehmer hat auf dem Weg vom Arbeitsplatz zum Wohnort mehrere Supermärkte zur Wahl. Es kann nun sein, dass zur Abfahrtzeit eine hohe regenerative Stromeinspeisung am Arbeitsplatz vorhanden ist. Der Arbeitnehmer sollte dann den Supermarkt am Arbeitsplatz wählen, um eine lokale Nutzung der regenerativen Energie durch Laden des Elektrofahrzeugs zu ermöglichen. Es kann auch sein, dass nach der Abfahrt an einem Ort auf dem Weg eine hohe regenerative Stromeinspeisung vorliegt. Der Arbeitnehmer sollte entsprechend den Supermarkt an diesem Ort wählen. Beeinflussbarer Mobilitätsparameter in diesem Beispiel sind die Zwischenhalte. Das Beispiel verdeutlicht auch, dass das Mobilitätsverhalten beeinflusst werden kann, ohne die Verfügbarkeit des Elektrofahrzeugs für Mobilitätszwecke zu beeinträchtigen. Schwerpunkt der Untersuchungen in Modul 7b ist die Abfahrtszeit. Zielsetzung ist eine gemeinsame Optimierung der Leistungen der konventionellen Erzeuger, der Lade- und Entladeleistungen der Elektrofahrzeuge sowie der Abfahrtzeiten derart, dass die gesamten Erzeugungskosten unter Beachtung der Leistungs- und Energiebeschränkungen der Einheiten (Erzeuger, Elektrofahrzeuge, Leitungen) und unter Einbeziehung von Prognosen für die regenerativen Erzeugung und Last bei gleichzeitiger Sicherstellung des Leistungsgleichgewichts minimiert werden. Ein derartiges Energiemanagement wurde in Modul 7b konzeptioniert.

Die Modellierung, Optimierung und Implementierung sind im Detail in [39] dargestellt. Hier wurde das Energiemanagement an einem akademischen Beispiel unter MATLAB evaluiert. Untersucht wurde ein elektrisches Energiesystem mit einem konventionellen Erzeuger, einer Last (Standardlastprofil H0, Haushalt, skaliert) und einem Elektrofahrzeug. In der Optimierung wurden Abfahrtszeiten aus der Menge {12:30 Uhr, 12:45 Uhr, …, 15:00 Uhr} und eine Fahrzeit von 2,5 Stunden verwendet. Die Simulationsergebnisse (siehe Abbildung M7b-7) zeigen, dass eine Abfahrtszeit (in diesem Fall 12:30Uhr) berechnet werden kann, für die die Kosten für die Erzeugung von elektrischer Energie minimal sind. Ergänzend wurde eine Optimierung für mehrere Elektrofahrzeuge durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Optimierung lediglich für maximal vier Elektrofahrzeuge durchgeführt werden konnte. Für weitere Elektrofahrzeuge war die Optimierung wegen des zu hohen Speicherbedarfs nicht möglich. Für das akademische Beispiel wurde die Optimierung mit einem General-Purpose-Solver durchgeführt. Ein an das Optimierungsproblem angepasster Solver könnte die Rechenzeit und den Speicherbedarf signifikant reduzieren. Hierzu ist eine vertiefte Grundlagenforschung erforderlich, die über den Rahmen von Modul 7b hinausgeht.

6 Verbrauchsprognose für Elektrofahrzeuge

Eine Verbrauchsprognose für Elektrofahrzeuge ist sowohl aus fahrzeugtechnischer als auch aus energietechnischer Sicht von großer Bedeutung. Anwendungen der Verbrauchsprognose sind beispielsweise

- Dimensionierung der Lade- und Netzinfrastruktur Prognose des Energie- und Leistungsbedarfs von Elektrofahrzeugen zur Dimensionierung der Ladeinfrastruktur und der erforderlichen Netzinfrastruktur (vgl. Abschnitt 2)

- Energiemanagement in Smart Grids mit Elektrofahrzeugen Prognose des Energie- und Leistungsbedarfs von Elektrofahrzeugen zur Optimierung der Netzregelung und des Netzbetriebs (vgl. Abschnitte 3 bis 5)

- Reichweitenprognose:
  Darstellung der Reichweite des Elektrofahrzeugs für den aktuellen Standort auf der Karte zur Erhöhung der Fahrtenplanbarkeit und Verringerung der „Reichweitenangst“

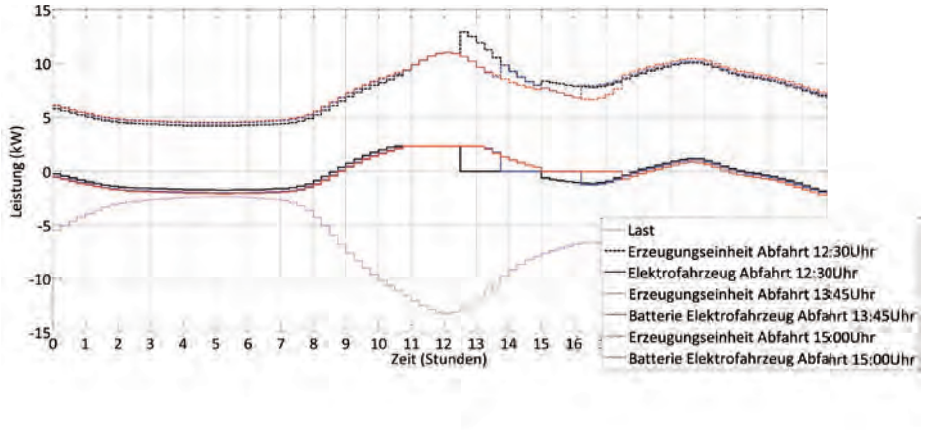


Abb. M7b-7: Leistung der Erzeugungseinheit und Batterie des Elektrofahrzeuges (Eigene Darstellung)

- Energiemanagement in Elektrofahrzeugen: Prognose des Energie- und Leistungsbedarfs in Elektrofahrzeugen zur Optimierung der Leistungsflüsse zwischen den Antriebsaggregaten, Nebenaggregaten und Energiespeichern und damit des Verbrauchs und der Reichweite.

Für eine erfolgreiche Einführung der Elektromobilität ist die Verbrauchsprognose somit eine wesentliche Komponente.
In Modul 7b wurde eine Methodik zur Verbrauchsprognose für Elektrofahrzeuge entwickelt. Die Architektur der Verbrauchsprognose ist in Abbildung M7b-8 dargestellt.

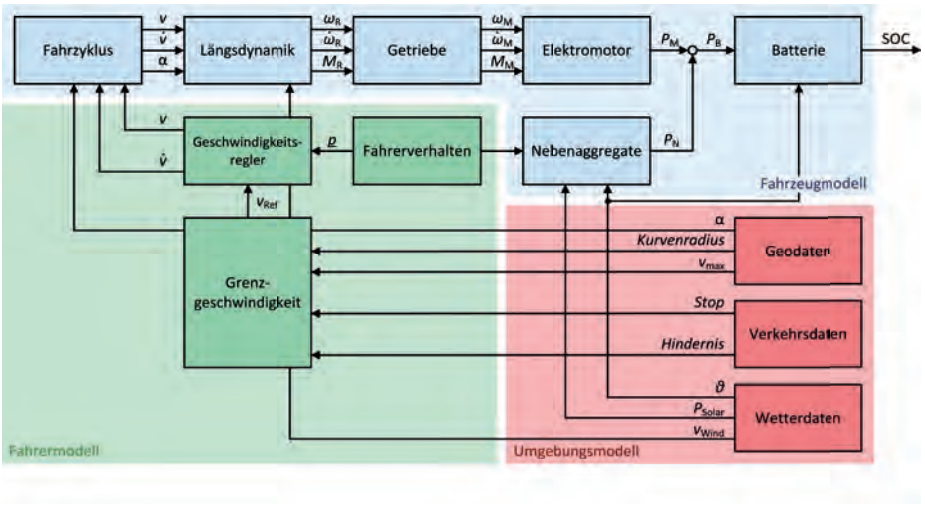


Abb. M7b-8: Architektur der Verbrauchsprognose (Eigene Darstellung)

Kernkomponenten der Verbrauchsprognose sind ein Fahrzeugmodell, ein Fahrermodell und ein Umgebungsmodell. Mittels des Fahrzeugmodells wird für einen Fahrzyklus über ein Längsdynamik-, Getriebe-, Elektromotor- und Batteriemodell der Ladezustand (engl. State of Charge, kurz SOC) und somit der Verbrauch bestimmt. Der Fahrzyklus kann ein genormter Fahrzyklus (z. B. NEFZ) oder ein gemessener Fahrzyklus sein. In praktischen Anwendungen, beispielsweise bei einer Reichweitenprognose und einem Energiemanagement, ist meist nur der Start- und Zielort bekannt. Der Fahrzyklus muss bei diesen Anwendungen mittels des Fahrer- und Umgebungsmodells generiert werden. Das Umgebungsmodell umfasst Geodaten, unter anderem das Steigungsprofil, den Kurvenradius und die zulässige Höchstgeschwindigkeit vmax, Verkehrsdaten, unter anderem Haltepunkte (Stop) und den Verkehrsfluss (z. B. Hindernisse, beschrieben durch Markov-Ketten) und Wetterdaten, unter anderem die Windgeschwindigkeit vWind. Basierend auf diesen Daten wird innerhalb des Fahrermodells eine Referenzgeschwindigkeit vRef ermittelt. Der Fahrer wird innerhalb des Fahrermodells durch einen Geschwindigkeitsregler beschrieben. Mittels des Geschwindigkeitsreglers wird die Referenzgeschwindigkeit vRef eingeregelt. Das Fahrerverhalten wird über die Reglerparameter p eingestellt.
Die Verbrauchsprognose wurde in Modul 7b entwickelt und evaluiert. Im Einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Entwicklung des Fahrzeug-, Fahrer- und Umgebungsmodells
- Implementierung Modelle in MATLAB/Simulink
- Parametrierung des Fahrzeugmodells für einen Mitsubishi i-MiEV und Nissan LEAF
- Parametrierung des Fahrer- und Umgebungsmodells (Verkehr) durch Messfahrten
- Parametrierung des Umgebungsmodells (Geodaten) aus externen Datenquellen
- Evaluation der Modelle durch Simulationen und Messfahrten

Zusätzlich wurde ein verbrauchsorientiertes Fahrerassistenzsystem entwickelt, auf einem Smartphone bzw. einem Tabletcomputer implementiert und durch Messfahrten evaluiert.
Ausführliche Darstellungen finden sich zur Verbrauchsprognose in [41, 31], zum Fahrzeugmodell in [24, 23, 33, 42], zum Fahrermodell in [22, 32], zum Umgebungsmodell in [14, 11, 34] und zum Fahrerassistenzsystem in [24, 23, 14].
Die Evaluation der Modelle durch Messfahrten ergab für die Prognose des Ladezustands eine mittlere Prognoseabweichung von 5,97 % für den Mitsubishi i-MiEV und von -0,13 % für den Nissan LEAF. Für viele Anwendungen ist diese Prognosegüte ausreichend, insbesondere für die Prognose der Energie- und Leistungsbedarfs von Elektrofahrzeugen innerhalb eines Energiemanagements für Smart Grids.
Anwendung findet die Verbrauchsprognose im Rahmen von Modul 7b insbesondere als Prognosekomponente innerhalb der in den Abschnitten 3 bis 5 beschriebenen Energiemanagementsysteme. Ein besonderer Fokus liegt deshalb auf der Echtzeitfähigkeit. Hierin besteht ein wesentlicher Unter-schied zu den Untersuchungen in Modul 5, in dem komplexe Vollfahrzeugsimulationen für eine präzise Verbrauchsprognose im Fokus stehen. Eine Echtzeitfähigkeit ist hierbei nicht erforderlich.

7 Quellen

[1] BARON, Sascha ; REUTTER, Ulrike ; HAAG, Martin ; BRAUN, Martin ; FRÖSCHL, Andreas ; EBBES, Alexander ; SCHORSTEIN, Kai ; ZINIEL, Jens ; GROßE, Ronald: Abschlussbericht BMWi-Verbundprojekt STROPA „Stromparkplätze für Elektrofahrzeuge - Konzepte, Prüfstand und Pilotanlage“ / BMWi-Verbundprojekt. Version:2011. http://dx.doi.org/10.2314/GBV:685379949. 2011 (03KP104 A-E). – Forschungsbericht

[2] BERKEL, Felix: Hierarchische modellprädiktive Regelung von Smart Microgrids mit Elektrofahrzeugen. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2012

[3] BERKEL, Felix ; GÖRGES, Daniel ; LIU, Steven: Load-frequency control, economic dispatch and unit commitment in smart mircogrids based on hierarchical model predictive control. In: Proceedings of the 52nd IEEE Conference on Decision and Control, 2013

[4] BMVBS: Mobilität in Deutschland 2008. 2010

[5] BMVBS: Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 - KiD2010. http://www.kid2010.de. Version:2012

[6] BUNDESAMT, Statistisches: Gemeindeverzeichnis - Gebietsstand: 31.12.2010 (Jahr). online. https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Archiv/GVAuszugJ/31122010_Auszug_GV.html. Version: 09/2011

[7] BUNDESAMT, Statistisches: GENESIS-Online Datenbank. https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/. Version:2012

[8] CHEN, Bicheng: Verteilte Leistungsflussoptimierung in Smart Grids mit Elektrofahrzeugen. Masterarbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013

[9] CHRISTOFIDES, P. D. ; SCATTOLINI, R. ; MUÑOZ DE LA PENA, D. ; LIU, J.: Distributed model predictive control – A tutorial review. In: Computers & Chemical Engineering 51 (2013), S. 21–41

[10] EHRGOTT, Christopher ; JUNG, Andreas: Optimierung der Leistungsflüsse in Smart Grids mit Elektrofahrzeugen. Studienprojekt, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013

[11] FRITZ, Raphael: Nutzung topographischer Daten zur Verbrauchsprädiktion für Elektrofahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge. Studienprojekt, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013

[12] GAN, Lingwen ; TOPCU, Ufuk ; LOW, Steven: Optimal decentralized protocols for electric vehicle charging. In: Proceedings of the 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference 2011, 2011, S. 5798–5804

[13] GÖRGES, Daniel ; LIU, Steven: Energy management in smart grids with electric vehicle via pricing. In: 4th IFAC Workshop on Distributed Estimation and Control in Networked Systems, 2013, S. 182–189

[14] HUANG, Emei: Environment Modeling and Prediction for Eco-Driving Assistance Systems. Masterarbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013

[15] KENNEL, Fabian: Energiemanagement in Smart Grids mit Elektrofahrzeugen basierend auf modellprädiktiven Regelungsmethoden. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2012. – Preis der Stiftung Pfalz-Metall 2012

[16] KENNEL, Fabian ; GÖRGES, Daniel ; LIU, Steven: Energy management for smart grids with electric vehicles based on hierarchical MPC. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics 9 (2013), Nr. 3, S. 1528 – 1537

[17] KIT: Deutsches Mobilitätspanel - MOP. http://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu/. Version:2012

[18] KRAFTFAHRT-BUNDESAMT: Kraftfahrzeugbestand in Deutschland. GENESIS-online, 2012

[19] KUTZNER, Diana: Optimierungsmethoden zweiter Ordnung für verteilte modellprädiktive Regelungen. Juniorprofessur für Elektromobilität, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, in Bearbeitung

[20] LEEMPUT, Niels ; VAN ROY, Juan ; GETH, Frederik ; TANT, Peter ; CLAESSENS, Bert ; DRIESEN, Johan: Comparative analysis of coordination strategies for electric vehicles. In: Proceedings of the 2011 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, 2011

[21] LI, Qiao ; CUI, Tao ; NEGI, Rohit ; FRANCHETTI, Franz ; ILIC, Marija D.: Online decentralized charging of plugin electric vehicles in power systems. In: Eingereicht bei einer Zeitschrift

[22] LIN, Liangyou: Entwicklung eines adaptiven Fahrermodells für Verbrauchsanalysen. Bachelorarbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013

[23] LIN, Xiaohai: Modelling and Optimization Methods for Eco-Driving Assistance Systems. Masterarbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013. – Preis der Stiftung PfalzMetall 2014

[24] LIN, Xiaohai ; GÖRGES, Daniel ; LIU, Steven: Eco-Driving Assistance System for Electric Vehicles based on Speed Profile Optimization. In: Angenommen für 2014 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, 2014

[25] LOUIE, Henry ; STRUNZ, Kai: Locational marginal pricing in North American power systems. In: 9. GMA/ETG-Fachtagung Netzregelung und Systemführung, 2008

[26] MA, Zhongjing ; CALLAWAY, Duncan ; HISKENS, Ian: Decentralized charging control for large populations of plug-in electric vehicles. In: Proceedings of the 49th IEEE Conference on Decision and Control, 2010, S. 206–212

[27] MILBERT, Antonia ; BURGDORF, Markus ; MILBERT, Antonia (Hrsg.): Raumabgrenzungen und Raumtypen des BBSR. Bonn : Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2012 (Analysen Bau, Stadt, Raum 6). – S. 111 http://dx.doi.org/HT017167660. http://dx.doi.org/HT017167660

[28] MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ, ENERGIE UND LANDESPLANUNG RHEINLAND-PFALZ: Erneuerbare Energien in Rheinland-Pfalz. http://www.mwkel.rlp.de/Klimaschutz,-Energie/Erneuerbare-Energien/ (Letzter Aufruf am 13.03.2013)

[29] OTT, Andrew L.: Experience with PJM market operation, system design, and implementation. In: IEEE Transactions on Power Systems 18 (2003), Nr. 2, S. 528–534

[30] PAPENDICK, Katharina ; BRENNECKE, Ulrich ; SÁNCHEZ MÁRQUEZ, Juan S. ; DEML, Barbara: Nutzerverhalten beim Laden von Elektrofahrzeugen. http://ffe.de/download/article/221/2012-11-27_Endbericht_eV_KW21BY2E_Batterie.pdf (Letzter Aufruf am 10.04.2013)

[31] POTOLOV, Maxim ; WOLFF, Pascal: Reichweiten- und Verbrauchsprognose für Elektrofahrzeuge. Studienprojekt, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2011

[32] POTOLOV, Maxim ; WOLFF, Pascal: Klassifizierung und Bewertung von Fahrermodellen zur Analyse des Energiebedarfs von Elektrofahrzeugen. Forschungsprojekt, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, in Bearbeitung

[33] QIAN, Yin: Modeling of Batteries. Seminararbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013

[34] REFFERT, Jan ; STEFFENS, Arndt: Energiemanagement in Elektro- und Hybridfahrzeugen mit fester Fahrtroute. Seminararbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2014

[35] SCATTOLINI, R.: Architectures for distributed and hierarchical model predictive control – A review. In: Journal of Process Control 19 (2009), Nr. 5, S. 723–731

[36] STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ: Strombilanz Rheinland-Pfalz 1990 bis 2010. http://www.statistik.rlp.de/wirtschaft/energie/tabellen/ (Letzter Aufruf am 13.03.2013)

[37] STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ: Stromeinspeisung in das Netz der allgemeinen Versorgung. Bestellnummer E4093 201100, 2012

[38] SU, Wencong ; RAHIMIEICHI, Habiballah ; ZENG, Wente ; CHOW, Mo-Yuen: A survey on the electrification of transportation in a smart grid environment. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics 8 (2012), Nr. 1, S. 1–10

[39] SUI, Chengcheng: Energiemanagement in Smart Grids mit Elektrofahrzeugen durch Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens. Bachelorarbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013

[40] ULBIG, A. ; ARNOLD, Michèle ; CHATZIVASILEIADIS, S. ; ANDERSSON, G.: Framework for multiple timescale cascaded MPC application in power systems. In: Proceedings of the 18th IFAC World Congress, 2011

[41] WANG, Longgang: Reichweitenprädiktion für Elektrofahrzeuge. Bachelorarbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013

[42] ZHOU, Wenxiao: Entwicklung von Methoden zur Onlineschätzung der variablen Fahrzeug-masse. Bachelorarbeit, Lehrstuhl für Regelungssysteme, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2013

Modul 7c: Elektromobilität in Energieversorgungsnetzen und dezentralen Energiemanagementsystemen

Autoren: Juri Horst; Barbara Dröschel;
Patrick Hoffmann; Andreas Weber

Modul 7c legt den Fokus auf die Netzbetreiber. Es wird untersucht, inwiefern im derzeitigen rechtlichen Rahmen sich für diese Gruppe Geschäftsmodelle mit der Steuerung der Batteriespeicher von Elektrofahrzeugen entwickeln lassen.
Hierfür wird zunächst einleitend ein Überblick über die jetzige und mögliche künftige Entwicklung der Energiewirtschaft sowie den relevanten rechtlichen Rahmen gegeben. Daran schließt sich die Entwicklung von Szenarien zum möglichen Speicherbedarf auf (fluktuierend einspeisenden) Erneuerbaren Energien an. Letztendlich wird abgeschätzt, welcher Speicherbeitrag durch Elektromobilität geleistet werden könnte sowie untersucht, welche Geschäftsmodelle die mobilen Speicher für Lastmanagement aktivieren könnten.

1 Stand und zukünftige Entwicklung der Energiewirtschaft in Deutschland bis 2030

Die Weltgemeinschaft hat sich darauf verständigt, unter Berücksichtigung der Auswirkungen des weltweiten Klimawandels den damit einhergehenden Temperaturanstieg im Mittel auf 2°C zu begrenzen[1]. Es wird angenommen, dass die Einhaltung dieser Grenze zu beherrschbaren Änderungen des Weltklimas führen wird, ein höherer Temperaturanstieg aber vor allem für sensible Regionen der Erde fatale Auswirkungen haben kann. Das 2°C-Ziel wurde auf der Weltklimakonferenz in Cancun 2011 nochmals bestätigt. Soll dieses realistisch einhaltbar sein, so dürfen ab 2011 bis zur Mitte des Jahrhunderts weltweit noch 750 Milliarden Tonnen CO2 ausgestoßen werden [1].

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) der Vereinten Nationen geht mithin für seinen nächsten Bericht im Jahr 2014 in einem optimistischen Szenario davon aus, dass ab 2020 CO2-Senken geschaffen werden, die die Emissionen bis 2070 auf Null zurückführen. Dieses „Emissions-Inversions-Szenario“ ließe sich nur dann realisieren, wenn Biomasse radikal energetisch genutzt und das hierbei anfallende CO2 abgeschieden und auf Felder verbracht oder unterirdisch verpresst würde. Beim derzeitigen weltweiten Wirtschaftswachstum erscheint eine solche Entwicklung extrem unwahrscheinlich. Auch ist die CCS-Technologie umstritten und weit von großtechnischer Einsetzbarkeit entfernt. Demgegenüber geht ein pessimistisches Szenario des IPCC davon aus, dass der Ausstoß an CO2 jährlich auf 100 Gigatonnen ansteigen könnte (derzeit beträgt er 32 Gt). Unter dieser Prämisse berechnet das Potsdam Institut für Klimafolgenabschätzung (PIK) einen durchschnittlichen weltweiten Temperaturanstieg von 8° C nach 2100 [2].
Auf EU-Ebene wird bereits seit längerer Zeit ein Rechtsrahmen entwickelt, der einen Wandel in Energieerzeugung und –verbrauch einleiten und damit den Klimaschutz voranbringen so-wie zur Einhaltung des 2°C-Ziels beitragen soll. Für die mittelfristige Perspektive hat die Europäische Kommission im November 2010 ein Dokument mit dem Titel „Energie 2020 – Eine Strategie für eine wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie“ vorgelegt und damit die Grundzüge der zukünftigen Energiepolitik der EU bis zum Jahr 2020 und darüber hinaus dargestellt [3]. Die Strategie baut auf den von den damals 27 Mitgliedsstaaten bereits 2007 festgelegten 20-20-20-Zielen auf und beinhaltet konkret die folgenden Vorgaben:

1. Senkung der Treibhausgase um mindestens 20 % (unter bestimmten Voraussetzungen sogar um 30 %) gegenüber 1990
2. Verringerung des Energieverbrauchs um 20 % durch bessere Energieeffizienz und
3. Ausbau des Anteils Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch auf 20 % bis 2020.

[1] KlimawissenschaftlerInnen gehen davon aus, dass jenseits einer Temperaturerhöhung von 2°C sog. Kipp-Punkte im Erdsystem aktiviert werden, die dauerhafte und irreversible Veränderungen des Klimas bewirken. Dadurch können z. B. Dürreperioden und heftige Niederschläge noch verstärkt werden.

Im Februar 2011 hat die Europäische Kommission erneut bestätigt, dass der Klimawandel auf eine Erwärmung von weniger als 2°C beschränkt bleiben soll. Im März 2011 folgte hierzu ein weiteres Strategiepapier mit dem Titel „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO2-armen Wirtschaft bis 2050"[4]. Mit dieser Roadmap verfolgt die Kommission das Ziel, die CO2-Emissionen bis zum Jahr 2050 um 80 % bis 95 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Damit liegt für die gesamte EU ein langfristiger CO2-Vermeidungspfad vor, aus dem sich für einzelne Sektoren Zielpfade mit Zwischenzielen ableiten.
Die Bundesregierung hatte bereits im Rahmen des „Integrierten Energie- und Klimaprogramms" (IEKP) im Jahr 2007 das Ziel formuliert, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 40 % gegenüber 1990 zu verringern. Im September 2010 folgte mit dem „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung" die Festlegung auf eine langfristige Gesamtstrategie. Mit der „Energiewende" beschloss die Bundesregierung im Frühjahr 2011 den endgültigen Ausstieg aus der Kernenergie bis zum Jahr 2022 als Reaktion auf den Reaktorunfall im japanischen Fukushima.
Die deutschen Effizienz- und Klimaschutzziele in Kürze:

- Absenkung der Treibhausgasemissionen um 40 % bis 2020 und um 85 % bis 2050 gegenüber 1990

- Anteil der EE am Bruttoendenergieverbrauch 18 % bis 2020 (2010: 14,6 % lt. AGEB 2012), 30 % bis 2030, 45 % bis 2040, 60 % bis 2050

- EE am Bruttostromverbrauch 35 % bis 2020, 50 % bis 2030, 65 % bis 2040, 80 % bis 2050

- Teilziele bis 2020
  - Primärenergieeinsparung von 20 % gegenüber 2008,
  - Rückgang des Stromverbrauchs um 10 % gegenüber 2008 sowie
  - Erhöhung der Sanierungsquote von 1 % auf 2 %

1.1 Die Entwicklung des Kraftwerksparks und der Stromerzeugung in Deutschland

Bis heute ist die deutsche Stromlandschaft vor allem durch vier Energieunternehmen geprägt: Die E.ON AG, RWE AG, EnBW und Vattenfall. Trotz Marktliberalisierung haben diese weiterhin eine sozusagen oligopolistische Stellung inne.
Durch die Liberalisierung des Strommarkts ab den 1990er Jahren, die Förderung und den Ausbau der Erneuerbaren Energien durch das EEG ab dem Jahr 2000 sowie die Einführung des europäischen Emissionshandelssystems im Jahr 2005 geht der Anteil der fossilen Energieträger an der Stromversorgung jedoch zurück.
Durch die zunehmende Ausrichtung der Energiewirtschaft auf erneuerbare Energiequellen hat sich die Stromerzeugung erheblich gewandelt. Die untere Grafik zeigt über die vergangenen 23 Jahre bereits signifikante Änderungen in der Struktur der Energieträger bei der Stromerzeugung. Auffällig ist Stagnation und Abbau bei Steinkohle, Braunkohle und Kernenergie und der enorme Zubau der EE vor allem seit 2008. Damit nehmen die Erneuerbaren Energien mittlerweile einen so breiten Raum bei der Stromerzeugung ein, dass sich dies auf die Preisbildung an den Stromhandelsmärkten und auf die CO2-Emissionen des deutschen Strommix positiv auswirkt.

Die Stromerzeugung hat über die Jahre im Verhältnis zum Verbrauch zugelegt, sodass Deutschland zunehmend zum Exporteur von Strom wurde.
Eine Erklärung für den zunehmenden Export wird in neuen Absatzmärkten für mit fossilen Energieträgern befeuerte Kondensationskraftwerke liegen. Diese können unter Umständen

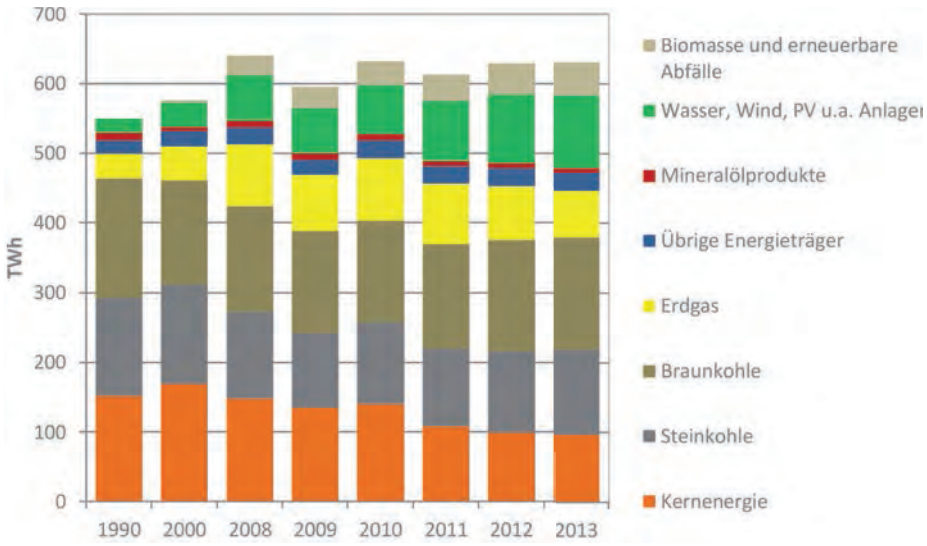


Abb. M7c-1: Entwicklung der Energieträgerstruktur und Stromerzeugung (in TWh) 1990 bis 2013 (Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von [5])

In aktuellen Szenarien wird davon ausgegangenen, dass über einen funktionierenden europäischen Stromverbund und die hierzu erforderliche Netzinfrastruktur der Auf- und Ausbau von Speichern in Grenzen gehalten werden kann.

ihren Strom aufgrund der Vorrangregelung für EE in Deutschland nicht mehr in Deutschland absetzen bzw. müssten die Produktion zurückfahren. Aber auch Strom aus EE wird zwangsläufig exportiert, wenn Netzrestriktionen den Stromfluss zu den Abnehmern verhindern und die Kapazität der internationalen Kuppelstellen den Export ermöglichen. Der innerdeutsche Netzausbau, aber auch der Ausbau von internationalen Kuppelstellen soll daher dafür Sorge tragen, dass die Erneuerbaren Energien – insbesondere die fluktuierend einspeisenden – möglichst umfänglich genutzt werden. Dort, wo Netzausbau zu teuer ist und Produktionsüberschüsse ggf. durch Regelung oder Abschaltung der EE-Anlagen ungenutzt bleiben würden, können Speicher einen sinnvollen Einsatz finden.

1.2 Die Stromerzeugung und -nachfrage der Zukunft

Um die Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung auch ohne Kernenergie zu erreichen, müssen sich Stromerzeugungs- und -verbrauchsstrukturen erheblich und rasch wandeln und aufeinander abgestimmt werden. Hierzu ist sowohl ein Ausbau der Netzinfrastruktur im Gefolge des weiteren Zubaus der Erneuerbaren Energien erforderlich, als auch die Errichtung von Speicherkapazität sowie erhebliche Steigerungen bei der Energieeffizienz.

2 Speicherbedarf

Speicher werden künftig aber dennoch unverzichtbar sein, da Speicherbedarf immer dann eintritt, wenn das Stromangebot aus fEE nicht oder nicht vollständig nachgefragt und/oder über die Stromnetze abtransportiert werden kann. Derzeit werden SNG (Synthetic Natural Gas)-Technologien in Verbindung mit Speichern für Methan oder Wasserstoff diskutiert oder das Gasnetz als vorhandener, leistungsstarker Langzeitspeicher angesehen. Dieses verfügt als chemischer Speicher über eine Kapazität von 220 TWh [6].

Bei der Betrachtung unterschiedlicher Speicheroptionen muss zwischen Langzeitspeichern für Strom und Speichern für Brenn- und Kraftstoffe unterschieden werden. Im ersten Fall er-folgt der Vergleich von Methan-/Wasserstofferzeugung mit Druckluft- oder Pumpspeichersystemen, im zweiten Fall orientiert sich die künftige Preisentwicklung an den Preisen von fossilen Brenn- und Kraftstoffen. Wirtschaftlichkeitsüberlegungen für den Einsatz von Elektrolyseuren zur H2-Erzeugung orientieren sich an den Strompreisen und der Auslastung der Anlagen. Aus heutiger Sicht könnte bis 2020 H2 nur bei sehr günstigen Stromkosten und mit einer Auslastung von mindestens 3.000 h/a für Elektrolyseure mit fossilen Kraftstoffen konkurrieren. Im Jahr 2050 bei größeren und kostengünstigeren EE-Überschüssen

stellt sich die Situation anders dar. Ab dann kann auch EE-Methan als konkurrenzfähiger Kraftstoff zur Verfügung stehen. Im Übrigen wird von der Annahme ausgegangen, dass ab dem Jahr 2050 Elektrolyseure in der Regel intermittierend eingesetzt werden, um so optimal als netzgeführte steuerbare Lasten einsetzbar zu sein.
Der Speicherbedarf ist abhängig von den Folgen des EEG und wie sich die Teilnahmeverpflichtung der EE an der Direktvermarktung (Marktprämie) auswirken wird.
Die nachfolgende Abbildung M7c-2 stellt die Simulationsergebnisse zum möglichen Speicherbedarf in den verschiedenen Tagesstunden des Jahres 2020 dar, unter der Prämisse, dass alle EEG-Anlagen unlimitiert einspeisen. Die Darstellung zeigt die Extremwerte sowie den Median und gibt mit dem Spektrum zwischen dem oberen und unteren Quartil (Interquartilsabstand) den Bereich an, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Der Bedarf an Speicherkapazität liegt demnach in den frühen Morgen- sowie in den Nachmittagsstunden.

Auf Basis der Hochrechnungen des Jahres 2012 ergeben sich für 2020 651 Stunden mit negativen Preisen, die prinzipiell einen Anreiz zur Speicherung geben können. Wird die Speicherbarkeit der biogenen Brennstoffe sowie der Geothermie genutzt und unterstellt, dass lediglich die fEE erzeugungsorientiert in die Netze einspeisen, dann ergibt sich lediglich in den Morgenstunden ein Speicherbedarf. Mit in Summe 35 Stunden an Übereinspeisung ergibt sich trotz hoher Leistung an Wind und PV bei den hier unterstellten Prämissen in 2020 kein nennenswerter Speicherbedarf.
Mit den bei den eigenen Abschätzungen hinterlegten Annahmen ergibt sich für das Jahr 2020, unter der Prämisse einer ungesteuerten Einspeisung aller EEG-Anlagen, ein Speicherbedarf von rund 4,6 TWh bei einem theoretisch maximalen Leistungsbedarf von knapp 30 GW. Im Jahr 2030 läge der Speicherbedarf bei rund 48 TWh mit einem maximalen Leistungsbedarf von rund 64 GW. Dieses Ergebnis steht unter der Prämisse, dass Deutschland alle Überproduktionen im Inland speichert und kein internationaler Transfer stattfindet. Aufgrund bestehender diverser Ausgleichsoptionen, kann davon ausgegangen werden, dass die theoretisch vorzuhaltende Speicherleistung niedriger ausfallen kann.
Eine Speicherung ist jedoch nicht grundsätzlich sinnvoll und sollte in jedem Fall abgewogen werden. Denn aufgrund der Lastflüsse in den Übertragungsnetzen, kann es zumeist aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoller sein, einen möglichst hohen Ausgleich zwischen Überproduktion und Strombedarf zwischen verschiedenen Lokalitäten herbeizuführen. Ein Ausbau der Infrastruktur ist nach derzeitiger Einschätzung zudem wesentlich günstiger zu realisieren.

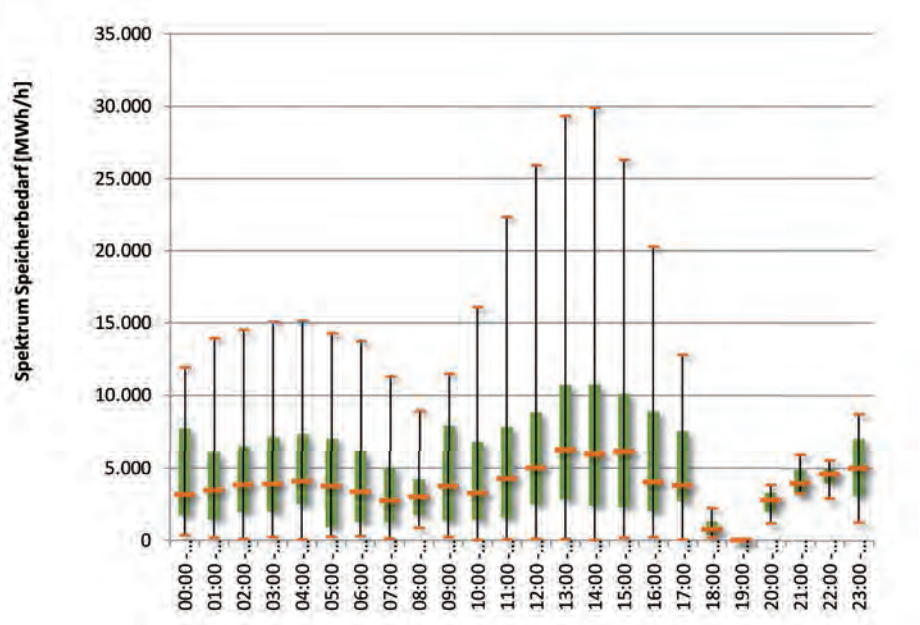


Abb. M7c-2: Querschnitt über den stündlichen Speicherbedarf im Jahre 2020, unlimitierte Einspeisung aller EEG-Anlagen, Betrachtungsraum Deutschland

3 Simulation von Ladestrategien aus Sicht der Fahrzeugbesitzer

Es werden insgesamt vier Ladestrategien untersucht. Der Fokus liegt dabei auf Personenkraftwagen, da zum Mobilitätsverhalten von Pkw-Fahrern statistische Erhebungen in Form der MID-Datensätze (Mobilität in Deutschland) [7] vorliegen. Zu Wegstrecken und dem Verbrauch der öffentlichen Verkehrsmittel liegen keine verwertbaren Daten vor.
Aus den MID-Daten werden sogenannte Nutzertypen mit einem typisierten Fahrverhalten in Form von Wegstrecken und Anzahl Fahrzeuge extrahiert.
Die insgesamt sechs Nutzertypen sind:

1. Berufstätige(r) - Teilzeit
2. Berufstätige(r) – Vollzeit (inkl. Auszubildende und Zivildienstleistende)
3. Hausfrau / Hausmann (inkl. Elternzeit)
4. Rentner / Pensionäre
5. Schüler, Studenten, Kinder
6. Sonstige

Vereinfacht werden für alle Nutzertypen zunächst gleiche Spezifika der Motorisierung und des Verbrauchs je 100 km unterstellt. Für das Jahr 2020 und 2030 wird ein Verbrauch von 16 kWh je 100 km unterstellt. Die Speichergröße in 2020 wird mit 20 kWh, die für 2030 mit 40 kWh angenommen.
Für die Aufladung werden zunächst 3 kWh/h angesetzt. Für jeden Nutzertyp, jedes Jahr und jede Strategie wird geprüft, ob sich die Mobilität damit aufrechterhalten lässt. Ist dies nicht der Fall, wird innerhalb der Simulation die Aufladung solange erhöht, bis die Mobilität des jeweiligen Typus gesichert, aber zugleich die Ladelast noch vertretbar ist.
Das Fahrverhalten an Arbeits- bzw. Schultagen unterscheidet sich von dem am Wochenende. Dies wird in der Simulation berücksichtigt. Dabei ist darauf zu achten, dass in den Übergangszeiten ein verändertes Aufladeverhalten gilt, abhängig vom Bedarf am Folgetag. Dies ist insbesondere von Freitag auf Samstag sowie von Sonntag auf Montag zu erkennen. Daher werden die Zeiten Montag bis Freitag sowie am Wochenende differenziert betrachtet. Mittels einer Kalenderfunktion wird das Ladeverhalten an Arbeitstagen und Wochenenden für die beiden Betrachtungszeiträume 2020 und 2030 simuliert. Die vier Ladestrategien (LS) sind wie folgt:

Ladestrategie 1: Wiederaufladung jederzeit während des Stillstands am Heimatort
Bei dieser Ladestrategie wird angenommen, dass angesichts einer fehlenden Infrastruktur für Schnellladestationen, aber auch aufgrund der damit verbundenen Wartezeiten, die Besitzer von E-Fahrzeugen zu einer Wiederaufladung zuhause tendieren werden. Für die meisten Wegstrecken reicht eine Wiederaufladung pro Tag aus.

Ladestrategie 2: Wiederaufladung vorwiegend abends am Heimatort
Es handelt sich somit um eine leichte Abwandlung von der Ladestrategie 1, indem auf Ladezeiten ab 16 Uhr bis in die Morgenstunden von 6 Uhr eingeschränkt wird. Die Verlagerung in die Abendstunden soll dabei ein Extremum darstellen, indem die bereits bestehende Tageslastspitze abends noch weiter erhöht wird.

Ladestrategie 3: Wiederaufladung bei jedem Parken
Hierbei wird die Ladestrategie 1 erweitert um die Option, auch beim Parken an anderen Standorten nachladen zu können. Eine ausgeprägte Infrastruktur bis hin zur Beladungsmöglichkeit auf der Arbeit oder während des Einkaufs führt zu einer Vergleichmäßigung der Nachfrage gegenüber Strategie 2.

Ladestrategie 4: Laden bei Bedarf
Entsprechend der bisherigen Gewohnheit wird „nachgetankt", wenn sich der Kraftstoffvorrat dem Ende nähert. Sind nur noch 20 % des Speichers gefüllt, wird bei nächster Gelegenheit, d.h. in der Folgestunde, nachgeladen. Um die Mobilität aufrecht zu erhalten bedarf es Schnellladungen von rund 80 bis 100 kWh/h. Das Stromnetz wird hierbei extrem belastet.

- **Szenario 1: Ausbau der Elektromobilität gemäß Leitszenario im Pkw-Sektor Deutschland**
  In diesem Szenario werden für Deutschland 1 Mio. Elektro-Pkw für 2020 und 6 Mio. Elektro-Pkw für 2030 unterstellt. Die Beladung erfolgt entsprechend den beschriebenen Beladungsstrategien (LS).

  In der Gesamtbetrachtung von Deutschland ergibt sich in 2020 unter den LS 1 und 3 mit 1 GW der geringste Leistungszuwachs gegenüber einer Simulation der Nachfrage für 2020 ohne Elektromobilität. Ladestrategie 2, welches sich gegenüber Ladestrategie 1 lediglich in der Verschiebung der Ladezeiten unterscheiden, führt zu einem Anstieg der Nachfragelast von bis zu 2,7 GW. Ladestrategie 4 führt aufgrund der Schnellladungen zu Lastspitzen von bis zu 3,25 GW. Die Maxima in allen Szenarien erfolgen jeweils zum 01. Dezember, jedoch zu unterschiedlichsten Uhrzeiten. Mit einem unterstellten Zubau auf 6 Millionen Elektrofahrzeuge für 2030 kommt es in den verschiedenen Ladestrategien zu deutlichen Lastanstiegen. Die in den Szenarien ohne Elektromobilität ermittelten durchschnittlichen 73,6 GW Jahresspitzenbezug werden in den Ladestrategien 1 und 3 um 6,1 GW, Ladestrategie 3 um 22,6 GW und LS 4 um bis zu 84 GW angehoben.

Rheinland-Pfalz

Ausgehend vom Anteil der in Rheinland-Pfalz gemeldeten Pkw am gesamten Pkw-Pool von Deutschland werden für 2020 rund 55.000 und für 2030 rund 328.000 E-Fahrzeuge unterstellt. Die aus der Herleitung der bundesdeutschen Nachfrage ermittelte maximale Durchschnittslast im Zeitraum 2009 bis 2012 lag bei 4,5 GW in Rheinland-Pfalz. Das Tankverhalten nach den LS 1 und 3 verursachen in Rheinland-Pfalz eine Lasterhöhung von weniger als 50 MW in 2020. Ladestrategie 2 liegt mit 128 MW mehr als doppelt so hoch wie LS 1 und 3. LS 4 liegt mit 70 MW zwischen den vorherigen Ergebnissen.

Im Jahr 2030 führen die LS 1 und 3 mit nur 0,3 GW zu dem geringsten Lastzuwachs. In LS 2 ist eine Lasterhöhung um 0,8 GW zu verzeichnen. Die hohe Lastnachfrage in LS 4 verursacht eine Lastspitze von bis zu 5,4 GW in 2030. Der Strombedarf erhöht sich aufgrund der E-Mobilität um insgesamt 0,5 GWh/a.

- **Szenario 2: Ambitionierter Ausbau von Elektromobilität im Pkw-Sektor**
  Bei dieser Betrachtung werden die Auswirkungen eines ambitionierten Zubaus untersucht. Hierfür wird eine vergleichbar anteilige Zubauentwicklung von 2020 nach 2030 wie in der Leitstudie unterstellt, wobei zunehmend 50 %, 75 % und 100 % für das Jahr 2050 anvisiert werden. Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass eine Vergleichmäßigung der Beladung durch einen Anschluss an das Netz an jedem Ort keine wesentlichen Vorteile bringt (Vgl. zwischen LS 1 und LS 3). Ein Bezug nur in den Nachtstunden führt zu deutlichen Laststeigerungen und könnte einen Ausbaubedarf des Netzes nach sich ziehen.

  Ladestrategie 2 führt bei Betrachtung von LS 1 bis LS 3 zu extrem hohen Lastspitzen von knapp über 100 GW über der heutigen Jahresspitzenlast von Deutschland. LS 4 führt in seinem Tankverhalten zu Werten über 440 GW. Eine entsprechende Leistungsvorhaltung noch der benötigte Ausbau der Infrastruktur erscheint realisierbar. Eine flächendeckende Schnellbetankung über das Verteilnetz erscheint bei einer hohen Marktdurchdringung an Elektrofahrzeugen nicht gewährleistet werden zu können. Zwischenspeicher könnten im Falle einer solchen Entwicklung zum Teil Abhilfe schaffen. Wahrscheinlicher erscheinen zum heutigen Zeitpunkt eine Betankung nach LS 1 und LS 3 sowie eine Diversifikation der Antriebskonzepte. Der

zusätzliche Strombedarf für die Elektromobilität in Deutschland liegt in 2020 bei bis zu 9 TWh/a und in 2030 bei bis zu 56 TWh/a über die Beladungsszenarien 1 bis 4.

Auch in Bezug auf Rheinland-Pfalz führt LS 2 mit bis zu 4,2 GW zu einem deutlich höheren Lastbedarf, als die LS 1 und LS 2 mit maximal 1,4 GW. Die Ladestrategie 4 ist exponentiell gewachsen und verursacht in 2030 eine zusätzliche Last von 28 GW. Der zusätzliche Strombedarf bewegt sich in Abhängigkeit des Marktanteils zwischen 0,2 bis 0,4 TWh/a in 2020 und 1,2 bis 2,4 TWh/a in 2030.

Mittels einer Ladestrategie 5 wurde versucht, durch Lastmanagement die Aufladung in die Zeiten zu lenken, wo Übereinspeisungen aus EE bzw. fEE erfolgen. Dabei zeigt sich im Vergleich mit anderen LS, dass eine gleichmäßigere Beladung über den Tag, wie sie in LS 1 und LS 3 vorherrscht, zu einer leicht höheren von Übereinspeisungen führt. Da die Szenarien auf Durchschnittswerten beruhen und Netzspezifika nicht berücksichtigt werden, kann das Ergebnis jedoch nicht dahingehend bewertet werden, als dass eine Lastverschiebung nicht notwendig sei. Vielmehr ist in den Netzen eine Einzelprüfung anzustrengen, inwiefern Lastverschiebungen eine übermäßige Hochspeisung in das vorgelagerte Netz verhindern können.

3.1 Diskussion von Geschäftsmodellen

Im Zusammenhang mit Elektromobilität ist zum einen der unmittelbar erforderliche Netzausbau zu betrachten und zum anderen die Möglichkeit mit Elektromobilität Lastmanagement zu betreiben.[2]

Zu ersterem ist anzumerken, dass ein Verteilnetzbetreiber (VNB) entsprechende Kosten über eine damit einhergehende Erhöhung der Versorgungsaufgabe (Anzahl der Netzanschlüsse steigt) im Rahmen der Anreizregulierungsverordnung (ARegV) geltend machen kann. In einer laufenden Regulierungsperiode ist hier der Erweiterungsfaktor einschlägig. Zu Beginn einer Regulierungsperiode führt die erweiterte Versorgungsaufgabe zu einem höheren Netzentgelt, da die Kosten einer effizienten Versorgung höher angesetzt werden.

Lastmanagement ist für den Ausbau erneuerbarer Energien relevant, da durch ein Lastmanagement ein durch den Zubau erneuerbarer Energien erforderlicher Netzausbau vermieden oder verringert werden kann. Im Vergleich zu Netzausbau, Netzoptimierung oder anderweitigem Lastmanagement wird aus der Anreizregulierung im Prinzip ein Anreiz gesetzt, ***das günstigste Mittel zu wählen***, das erforderlich ist, um die erneuerbaren Energien zu integrieren. Dies resultiert aus dem dort gewählten Ansatz nicht einzelne Kosten zu genehmigen, sondern nur pauschal die Netzentgelte für die Versorgungsaufgabe festzulegen. Die Wahl der kostengünstigsten Maßnahmen erhöht demnach tendenziell den Gewinn eines VNB. Im Zusammenhang mit einem Ausbau von erneuerbaren Energien ist darauf hinzuweisen, dass der VNB nach EEG 2012[3] § 9 verpflichtet ist, sein Netz so auszubauen, zu optimieren oder zu verstärken, dass der Strom aus erneuerbaren Energien aufgenommen und verteilt werden kann. Falls er das nicht tut, ist er zu einer Schadensersatzzahlung verpflichtet, es sei denn, dass er den unterbliebenen Ausbau nicht zu vertreten hat [8]. Im Falle einer ansonsten drohenden Netzüberlastung kann der VNB EEG-Anlagen abregeln. Dann muss er im Allgemeinen den Anlagenbetreiber entschädigen. Falls er den Netzengpass nicht zu vertreten hat, kann er die Entschädigung durch erhöhte Netzentgelte auf die Netzkunden wälzen.

Betrachtet man vor diesem Hintergrund die Anreize für den VNB, sein Netz auszubauen oder zu optimieren, so ist die Kontrolle, ob er seinen entsprechenden Pflichten nachgekommen ist, entscheidend. Falls diese Kontrolle nicht wirksam ist, hätte ein unterlassener Netzausbau oder eine unterlassene Netzoptimierung keine negative Wirkung auf den VNB, da er dann Entschädigungszahlung unmittelbar auf die Netzkunden wälzen kann. Im Falle ei-

[2] Ein VNB kann laut § 14a Abs.1 Satz 2 EnWG explizit Elektromobile als schaltbare Lasten erschließen.

[3] Die hier einschlägigen Vorschriften sind auch in EEG2014 zu finden, wenngleich unter anderen Paragraphen.

ner Netzoptimierung oder eines Netzausbaus kann er innerhalb einer Regulierungsperiode über den Erweiterungsfaktor eine Erhöhung der Netzentgelte beantragen. Zu Beginn einer Regulierungsperiode würde beim Effizienzvergleich seine ausgedehnte Versorgungsaufgabe berücksichtigt, was zu einem höheren Netzentgelt führt. Für die Anreizstruktur des Netzbetreibers ist dann zum einen relevant, was die günstigste Möglichkeit für eine Aufnahme des EE-Strom – insbesondere Netzausbaus oder Lastmanagement – ist. Zum anderen sind die Kosten zu berücksichtigen, die er erwartet, falls er den Netzausbau unterlässt. Falls er annimmt, dass seine Netzausbaupflichten nicht gut kontrolliert werden, würde er im Extremfall damit rechnen, dass ihm keine Gewinneinbußen aus dem unterlassenen Netzausbau entstehen, da er etwaige Entschädigungszahlungen auf die Netzentgelte wälzen kann. Ein Netzausbau hingegen kann unter Umständen trotz der Anerkennung nach ARegV faktisch zu einer Gewinneinbuße führen, da eine damit verbundenen Erhöhung der Netzentgelte mitunter nicht ausreicht, um die zusätzlichen Kosten zu decken (s. [9], z. B. S.12ff.). Wie dies für ein Netzlastmanagement aussieht, muss ebenso offen bleiben, wie die Frage, ob oder unter welchen Bedingungen ein Netzlastmanagement günstiger als ein Netzausbau ist. Insofern ist gegenwärtig nicht deutlich, dass ein zügiger Netzausbau oder eine zügige Netzoptimierung für einen VNB ökonomisch von Vorteil ist.

Um insgesamt innovative Modelle zur Nachfragesteuerung zu entwickeln und zu testen, kann eine Finanzierung über ARegV § 25A erwogen werden. Voraussetzung ist die Förderung entsprechender Forschungsprojekte durch die für Energiewirtschaft zuständigen Ministerien. Die vom VNB zu tragenden Kostenanteile können dann zur Hälfte auf die Netzentgelte gewälzt werden. So könnte in ausgewählten Gebieten mit einer erhöhten Dichte an E-Fahrzeugen zum einen die Eignung dieser Fahrzeuge als mobile Speicher im Rahmen des Lastmanagements getestet und zum anderen auch die eventuell sich hieraus für den Netzbetrieb ergebenden Mehrkosten abgeschätzt und mit den Kosten von Netzausbau und Abregelung von EE verglichen werden.

3.2 Diskussion von Geschäftsmodellen für E-Mobilität

Die im Folgenden vorgestellten Geschäftsmodelle beziehen sich auf Verteilnetzbetreiber, die künftig neue Betätigungsfelder im Bereich der Elektromobilität erschließen möchten.[4]

In allen hier vorgestellten Geschäftsmodellen wird angenommen, dass seitens der VNB benötigte Daten im erforderlichen Zeitraster zur Verfügung stehen. Ob diese vom Messdienstleister oder von neuen Marktteilnehmern wie „Datendienstleistern" (Erfassung, Bündelung und Weitergabe der Daten, gegebenenfalls vom Messdienstleister auszufüllen) kommen oder originär vom VNB erhoben werden, kann dabei offen bleiben.

Die Geschäftsmodelle (GM) werden in drei Untergruppen unterteilt:

GM 1 zur Vermeidung einer höheren Anschlussleistung
GM 2 zur Verstetigung des Lastflusses
GM 3 für Dienstleistungen gegen Entgelt

Die ersten beiden GM-Gruppen zielen auf die Optimierung des bestehenden Netzes und damit auf eine Begrenzung der Kosten ab. Die dritte Gruppe hat hingegen zusätzliche Einnahmen zum Ziel. Denkbar wären auch Kombinationen der Gruppen 1 und 2 mit Modellen der Gruppe 3. Wie zuvor dargestellt wird sich der Zuwachs an Anschlussleistung je nach Annahmen für den Ausbau der E-Mobilität in Deutschland im Bereich mehrerer Gigawatt bewegen, eine Leistung, bei der eine Umsetzung von Geschäftsmodellen ökonomisch sinnvoll sein könnte.

GM 1 Vermeidung einer höheren Anschlussleistung gegenüber dem vorgelagerten Netzbetreiber

Mit einer zunehmenden Anzahl an E-Fahrzeugen in Deutschland fällt deren Strombezug entspre-

[4] Daneben können auch für andere Akteure neue Geschäftsmodelle entstehen. Z. B. könnten Vertriebe durch eine Lastverschiebung mittels Elektrofahrzeugen ihre Strombezugskosten senken. Hier werden nur Geschäftsmodelle für VNB diskutiert.

chend ins Gewicht. Die hieraus resultierenden Lastspitzen hängen stark vom Ladeverhalten der NutzerInnen von E-Fahrzeugen ab.
Das hier beschriebene GM zielt darauf ab, die Ladung von E-Fahrzeugen so zu steuern, dass eine höhere Anschlussleistung gegenüber der vorgelagerten Netzebene vermieden wird. Bei hoher Netzinanspruchnahme kann zu diesem Zweck der Ladevorgang bei E-Fahrzeugen vorübergehend unterbrochen werden. Umgekehrt ist jedoch auch vorstellbar, dass in solchen Situationen aus „vollgetankten" E-Fahrzeugbatterien Strom wieder ins Netz zurückgespeist wird. Hierzu muss der VNB ein Lastmanagement bei den Netzkunden zur Kontrolle / Verringerung der Netzhöchstlast einführen, z. B. durch unterbrechbare Verträge mit Letztverbrauchern / Rundsteuerung und Lastabwurf oder durch Verträge über die Bereitstellung gesicherter Leistung mit dezentralen Anlagenbetreibern (hier den E-Fahrzeug-NutzerInnen).
Damit dieses Modell für den VNB interessant ist, müssen sich als Erträge niedrigere Kosten im Rahmen der Netzentgeltregulierung bei gleicher Erlösobergrenze innerhalb einer Regulierungsperiode ergeben. Auch muss das Erreichen besserer Effizienzwerte am Ende einer Regulierungsperiode gewährleistet werden. Die ihm entstehenden Kosten bestehen in den an die geschalteten Netzkunden zu zahlenden Entgelte und aus den Kosten für die notwendige IT-Infrastruktur.

Für das Funktionieren dieses Modells müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:
- Netzanschlussleistung gegenüber dem vorgelagerten Netz wird zunehmend ausgeschöpft
- Netzentgeltregulierung gibt die richtigen Anreize
- Kommunikation zwischen VNB und evtl. separaten Messstellenbetreibern funktioniert

Bestehende Anreize durch die Netzentgeltregulierung sind gegenwärtig im Allgemeinen nicht der Fall, da Kosten für vorgelagerte Netzebenen als „dauerhaft nicht beeinflussbare Kosten" angesehen werden. Damit gehen Veränderungen dieser Kosten unmittelbar in entsprechend veränderte Netzentgelte ein. Falls die vorgelagerte Netzebene einem anderen Netzbetreiber zugeordnet ist, hat deshalb der nachgelagerte Netzbetreiber keinen Anreiz die Kosten zu reduzieren, die ihm aus der Inanspruchnahme der vorgelagerten Netze entstehen. Eine Änderung der Anreizregulierungsverordnung in diesem Punkt ist zu erwägen.
Auf nicht direkt betroffene Akteure kann sich dieses Modell z. B. durch temporär erhöhte Netzentgelte auswirken, da Kosten und Nutzen von Netzmanagement zeitlich auseinanderfallen können. Im Allgemeinen sollte das Geschäftsmodell langfristig zu einer Reduktion der Netzentgelte führen, da Betriebsmittel eingespart werden können. Kurzfristig können die Kosten vorgelagerter Netze mitunter von den Regionen, in denen ein solches Lastmanagement erfolgt, auf andere Regionen verlagert werden, da die Kosten vorgelagerter Netze sich kurzfristig wenig ändern dürften und die gleichbleibenden Kosten nur anders verteilt werden.

GM 2 Verstetigung des Lastflusses dezentraler Erzeuger und Letztverbraucher

In diesem Geschäftsmodell sorgt der VNB für eine verstetigte Einspeisung dezentraler Erzeuger (KWK- und EEG-Anlagen) für den Fall, dass die Einspeisung die Abnahme übersteigt. Dazu steuert der VNB dezentrale Einspeiser so, dass die Lastverteilung im Netz geändert und hierdurch Investitionen und Betriebskosten vermieden werden. Auch hierzu können E-Fahrzeuge eingebunden werden, indem sie als mobile Speicher dazu herangezogen werden, überschüssigen Strom zu Spitzenzeiten aufzunehmen und diesen in Zeiten geringer Last im Netz wieder abzugeben. Hierzu müsste der VNB sowohl dezentrale Erzeuger als auch E-Mobile als Letztverbraucher steuern und entsprechende Verträge zur Bereitstellung gesicherter Leistung und zur Schaltung mit den Akteuren abschließen.
Als Erlöse bzw. Erträge können sich für den VNB ein geringerer Einsatz von Ersatz- und Erweiterungsinvestitionen, eine Verminderung der Betriebskosten und der Netzverluste und eine

Erhöhung der Effizienz ergeben. Nach gegenwärtiger Regulierung ergeben sich daraus jedoch im Allgemeinen keine zusätzlichen Erlöse (siehe GM1).
Auf der Kostenseite würden die gleichen Positionen wie im GM 1 zu verzeichnen sein. Es müssen Ausgleichszahlungen für die dezentralen Einspeiser geleistet sowie die sich aus den Verträgen mit E-Mobilbetreibern ergebenden Kosten erstattet werden. Auch eine entsprechende IT-Infrastruktur muss eingerichtet werden. Damit dieses Modell funktionieren kann, müssen die Kosten des VNB inkl. Zahlungen an dezentrale Einspeiser/Letztverbraucher kleiner als die Kostenersparnis beim VNB sein.

Folgende Voraussetzungen müssen für das Funktionieren des Modells erfüllt sein:
- Gewährleistung ausreichender Netzsicherheit
- Bereitschaft auf der Kundenseite
- Kommunikation zwischen VNB, Messstellenbetreibern, dezentralen Erzeugern/Letztverbrauchern
- Richtige Anreize über Netzentgeltregulierung
- Kosteneinsparpotenzial bzw. zusätzliche Erlöse bei Kunden größer als zusätzliche Kosten bei Kunden

Verbrauch und Einspeisung dezentraler Erzeuger sollte zu einem Gesamtoptimum kombiniert werden. Je nach Ausgestaltung (z. B. in Kombination mit anderen GM) wirkt sich dieses Modell evtl. – innerhalb der Regulierungsperiode – nicht auf die Höhe der Netzentgelte aus. Langfristig könnten die Netzentgelte sinken, da die Effizienz des Netzbetriebs erhöht werden könnte.[5]

GM 3 Einführung zeit- und lastabhängiger Tarife
Diese Option kann vom VNB genutzt werden, um das Verhalten von Letztverbrauchern im Sinne eines optimierten Netzlastmanagement zu beeinflussen. Hierzu erscheint eine Kooperation mit Stromlieferanten erforderlich, da diese die Stromtarife für die Kunden erstellen.[6] Auch Datendienstleister sowie Kunden müssen eingebunden werden, da die Möglichkeit einer automatischen Steuerung beim Kunden als Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung angesehen werden kann. Als Instrument müssten hier zeit- oder lastabhängige Netzentgelte eingeführt werden. Diese können im Zuge der Verbreitung der E-Mobilität dazu beitragen, dass E-Fahrzeuge verstärkt in lastschwachen Zeiten und damit günstigen Tarifbereichen geladen und eventuell in Zeiten mit hoher Netzlast bereitwilliger entladen werden. Gewinnmöglichkeiten des VNB ergeben sich aus dem Vergleich mit anderweitigen Optionen des Lastmanagements oder eines anderenfalls erforderlichen Netzausbaus verringerten Kosten, die bei kurzfristig gleichen durchschnittlichen Netzentgelten zu höheren Gewinnen führen. Desgleichen erhöht sich auch die geschätzte Effizienz in der nächsten Regulierungsperiode, was die dann erwarteten Gewinne erhöht. Als Kosten fallen im Wesentlichen IT-Kosten, Kosten des Tarifdesigns und erhöhte Kosten der Abrechnung an.

Als Voraussetzungen für dieses Modell können die folgenden gelten:
- VNB können im Rahmen der Netzentgeltregulierung erhöhte Gewinne durch Umsetzung erwarten
- Zeit- oder lastvariable Netzentgelte sind zulässig (siehe § 14a, 1. HS)
- Lieferanten geben variable Netzentgelte als variable Tarife an Letztverbraucher weiter
- Letztverbraucher stellen aufgrund der variablen Tarife ihr Verbraucherverhalten in hinreichendem Maße um

[5] Allerdings weist die DENA-Netzstudie darauf hin, dass Lastmanagement eher als betriebliche Maßnahme zu sehen ist, die jedoch den Netzausbau auf Grund des Zubaus von dezentralen Energieumwandlungsanlagen nur geringfügig beeinflussen kann [10].

[6] Falls auch Lieferanten variable Tarife einsetzen, und dabei das Ziel verfolgen Einkaufkosten zu reduzieren, ist eine komplizierte Abstimmung der variablen Tarife des Netzbetreibers und der Lieferanten erforderlich [11].

4 Quellen

[1] FVEE Themen 2011, H. J. Schellnhuber, Abendvortrag: Welt im Wandel – Die große Tranformation, S. 150-164.

[2] Ebenda.

[3] Europäische Kommission KOM (2011) 639: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Energie 2020 – Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie, Brüssel, den 10.11.2010.

[4] Europäische Kommission KOM (2011) 112: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerblichen CO2-armen Wirtschaft bis 2050, Brüssel, den 8.3.2011.

[5] AG Energiebilanzen e.V., Energieverbrauch in Deutschland 2012, 25.09.2012.

[6] J. Nitsch et al., Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, März 2012.

[7] MID: Mobilität in Deutschland 2008 – Ergebnisbericht, Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (infas) und Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., in Auftrag gegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Sozialentwicklung, Bonn und Berlin 2010.

[8] Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2730) geändert worden ist.

[9] Deutsche Energie-Agentur: „dena-Verteilnetzstudie – Ausbau- und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2013“; Berlin, 11.12.2012.

[10] Ebenda.

[11] ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: Evaluation der Feldtests, Bericht zu Arbeitsschritt 3.16 des E-Energy-Projekts Modellstadt Mannheim, gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Modul 8a: Ökobilanzierung von Elektrofahrzeugen

Teil 1 (AP1 – AP4)

Autoren: Prof. Dr. Eckard Helmers,
Patrick Marx, Johannes Dietz

1 Einleitung

Die moderne Mobilität zählt neben Industrie und Haushalten zu den ressourcenintensivsten Sektoren. Dies gilt ebenso für die Emissionen, wobei die heute üblichen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren nicht nur für rund ein Drittel der Treibhausgasemissionen in den Industrieländern verantwortlich sind, sondern trotz aller Fortschritte auch weiterhin toxische Abgase emittieren [1]. Verglichen mit anderen Emissionsquellen ist der Verkehr durch zwei Besonderheiten gekennzeichnet: Die weiterhin stetigen Zuwachsraten sowie die Tatsache, dass die toxischen Emissionen in Städten in unmittelbarer Nähe zu den Atemwegen der Menschen entlassen werden mit negativen Folgen für die Gesundheit [2]. Die derzeit einzige verfügbare alternative und gleichzeitig emissionsarme sowie energieeffiziente Technologie ist das Elektroauto [3].
Auch das Elektroauto ist nicht zum ökologischen Nulltarif zu haben, auch das Elektroauto zieht Umweltkosten nach sich. Die Umwelteffizienz des Elektroautos gilt es deshalb so genau wie möglich zu quantifizieren, um Optimierungsmöglichkeiten herauszufiltern.

2 Ökobilanzierung

Die heute genaueste und vor allem einzige weltweit genormte Methode zur Quantifizierung der Umwelteffizienz ist die Ökobilanzierung. Jede Ökobilanz benötigt zunächst einen definierten Untersuchungsrahmen. Man unterscheidet hier ein „Vordergrund-“ und ein „Hintergrundsystem“ (Abb. M8a-1). Auf dieser Basis wird der in- und output von Materialien, Energieflüssen und Emissionen ermittelt. Ihre Wirkungen werden anschließend entlang verschiedener Wirkungskategorien erfasst. Zum Schluss erfolgt gegebenenfalls die Aggregierung der Einzelwirkungen zu einer Gesamtaussage. Auf dieser Ebene kann die Umwelteffizienz technologischer Alternativen verglichen werden.
Ziel dieses Teilprojektes war es, neue Erkenntnisse zur Ökobilanz von Elektroautos zu gewinnen. Da die Methode der Ökobilanzierung bereits seit über 20 Jahren angewendet wird, liegt bereits eine umfangreiche Literatur vor. Allerdings erfuhr die Methode eine kontinuierliche Weiterentwicklung. Die Ergebnisse verschiedener Studien lassen sich oft nur begrenzt vergleichen, auch da die Inputdaten eine starke regionale Komponente haben können. Die Vereinheitlichung und Professionalisierung der Datenbasis war eines der wichtigsten Anliegen der Ökobilanzforschung. Eine der weltweit

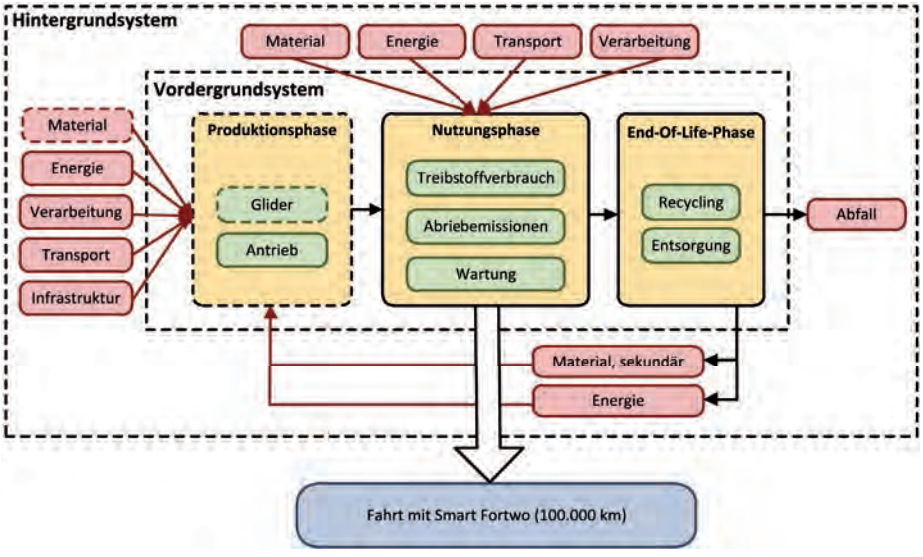


Abb. M8a-1: Systemfließbild der Ökobilanzierung für den SMART

führenden Datenbanken mit wissenschaftlich begutachtetem Datenmaterial ist „ecoinvent" in der Schweiz. Wir nutzen die Modellierungssoftware „Umberto", welche wiederum auf ecoinvent-Daten zurückgreift. Für dieses Projekt wurde ecoinvent in der Version 2.2 eingesetzt.

In der Literatur liegt eine Handvoll Ökobilanzen von Elektroautos vor. Hierbei ist die Modellierung zum Teil bereits stark elaboriert, jedoch die Datenbasis noch volatil: Etliche der state-of-the-art-Ökobilanzen basieren auf theoretischen (angenommenen) Elektrofahrzeugen, nicht auf konkreten Automodellen und haben deshalb begrenzte Aussagekraft [3]. Durch die eigene Herstellung eines Elektroautos („e-conversion", siehe unten) konnten originäre Daten zum Materialkuchen des Fahrzeugs gewonnen werden, die anschließend in die Ökobilanzierung eingingen. Der für den SMART entwickelte Untersuchungsrahmen ist im Systemfließbild der Abb. M8a-1 dargestellt. Zur Produktions- und Nutzungsphase treten verschiedene „end-of-life"-Betrachtungen.

3 Eigenproduktion von Elektroautos mittels „e-conversion"

Im Verlauf dieses Teilprojektes wurden umfangreiche Laborarbeiten durchgeführt sowie parallel dazu die Modellentwicklung betrieben. In einem eigens dafür errichteten Fahrzeuglabor wurden gebrauchte Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zu Elektrofahrzeugen umgerüstet (= elektrische Konversion, kurz „e-conversion"). Wird die Materialzusammensetzung der aus- und eingebauten Komponenten erfasst, entsteht ein bisher einzigartiger Datensatz für die Ökobilanzierung. Die Fahrzeugkarosserie (engl. „glider") sowie die nicht zum Antrieb zählenden Einbauteile des Autos wurden nicht demontiert. Für die Zusammensetzung dieser Komponenten wurde auf Literatur- und Herstellerdaten zurückgegriffen. Die Fahrzeuge absolvieren vor und nach dem Umbau Testläufe, um den Energieverbrauch festzustellen. Durch die Elektrifizierung eines SMART reduzierte sich der Energieaufwand für den Betrieb auf einer standardisierten Teststrecke um den Faktor vier von 1,6 auf 0,4 MJ/km [3]. Die Energiedichte eine Lilonenbatterie ist nach wie vor um den Faktor 20 geringer als kohlenstoffbasierte Energieträger. Deshalb haben Batterien ein enormes Gewicht. Im Rahmen des e-conversion haben wir festgestellt, dass Verbrennungsmotor und Elektromotor vergleichbare Massen haben, wodurch das elektrifizierte Fahrzeug jeweils um das Gewicht der Batterie schwerer wird. Dies ist ein Grund dafür, dass der Betrieb von Elektrofahrzeugen effizienter ist, je leichter das Fahrzeug ist [3]. Der SMART ist deshalb ein idealer Träger für den Elektroantrieb. Hinzu kommt, dass er bereits von der ersten Version an (Produktion ab 1998) im Unterboden Platz für den Einbau einer Batterie vorsah.

Abb. M8a-2: Montage des Elektromotors in der Hinterachse des SMART

4 Ermittlung des minimalen carbon-footprints eines Elektroautos

Während die Aufwendungen in der Nutzungsphase meist offensichtlich sind, erschließen sich die Kosten für Herstellung und Entsorgung erst nach Modellierung. Die Nutzungsphase kann, wie beispielsweise beim carbon footprint (den Treibhausgas-äquivalenten Emissionen und Aufwendungen) dominieren [3]. Der Carbon footprint ist die wichtigste Wirkungskategorie der Ökobilanzierung.

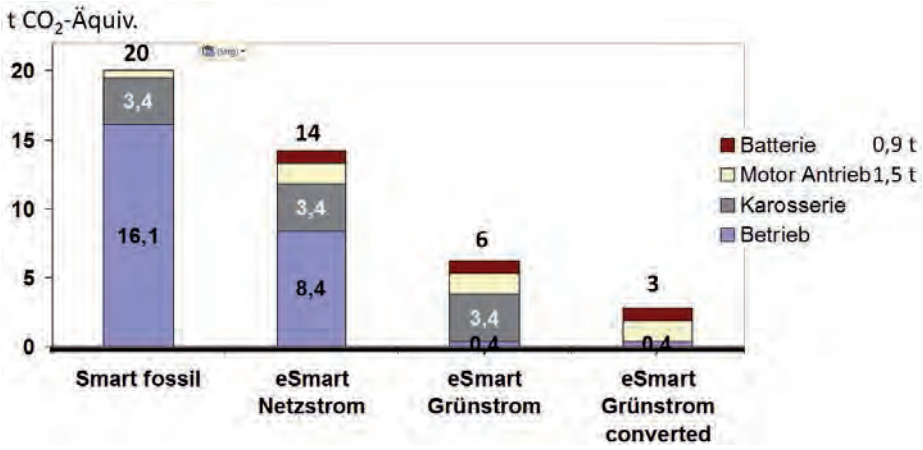


Abb. M8a-3: Reduktion des carbon footprint durch Elektrifizierung, erneuerbaren Strom (Grünstrom) und e-conversion über 100.000 km (Quelle: [3])

Elektroautos werden erst seit ca. 2 Jahren von OEMs in Großserie hergestellt und am Markt angeboten. Kleinere Unternehmen fertigten in Deutschland zuvor Hunderte von Elektrofahrzeugen mittels „e-conversion". Es ist noch nicht absehbar, ob „e-conversion" längerfristig ein Geschäftsmodell bleibt. Beim kommerziellen „e-conversion" werden üblicherweise Neufahrzeuge elektrifiziert. Wir haben jedoch gebrauchte Fahrzeuge umgebaut, um – als weitere Fragestellung – zu ermitteln, auf welches Minimum die ökobilanziellen Kosten eines Elektroautos gesenkt werden können. Der Aufwand für die Herstellung der Karosserie fällt bei einem Gebrauchtwagen naturgemäß nicht an. Wir konnten deshalb erstmals verschiedene Ansätze auf Basis der gleichen Karosserie modellieren und vergleichen:

- Neufahrzeug mit Verbrennungsmotor (Benzin)
- Neufahrzeug mit Elektromotor und Bezug von Netzstrom (563 g CO^2/kWh)
- Neufahrzeug mit Elektromotor und Bezug von Grünstrom (30 g CO^2/kWh)
- elektrifiziertes Gebrauchtfahrzeug und Bezug von Grünstrom (30 g CO^2/kWh)

Weitere Kombinationen dieser Parameter sind möglich. Die oben genannten vier Ansätze dienen vor allem der Ermittlung eines minimalen Ressourcenaufwandes für die Fahrzeugmobilität über den gesamten Lebenszyklus. Wegen der Dominanz der Nutzungsphase werden insbesondere „Grünstrom" und gegenwärtiger Netzstrom miteinander verglichen. Bei einer vorläufigen Modellierung (Abb. M8a-3) zeigte sich, dass der carbon footprint über die Lebenszeit (100.000 km) um bis zu 80 % reduziert werden kann. Elektrifizierung und e-conversion bieten zusammen also ein enormes Potential zur Steigerung der Umwelteffizienz.

5 Weitere Wirkungskategorien

Ökobilanzen beschränken sich meist auf die Ermittlung des carbon footprint, weil dieser Aspekt in der Öffentlichkeit auf das größte Interesse stößt. Die Umweltqualität hängt jedoch von weit mehr Faktoren ab, z. B. von Lärm und Luftqualität. Elektroautos, die mit Netzstrom betrieben werden, generieren über fossile Kraftwerke nicht nur CO^2, sondern auch Stickoxide (➟ Ozonbildungspotential), Feinstaub (➟ Humantoxizität) oder saure Emissionen (➟ Versauerungspotential), siehe [4]. Die Ökobilanzierung

ermöglicht die Ermittlung weiterer Wirkungsparameter, sofern Modellierungssoftware und hinterlegte Datenbank das erlauben. In diesem Projekt wurden unter anderem folgende weitere Wirkungskategorien vor dem Hintergrund der öffentlichen Diskussion und der vorhandenen Literatur ausgewählt: Humantoxizität, Photochemische Oxidation, Verbrauch fossiler Rohstoffe und von Metallen.

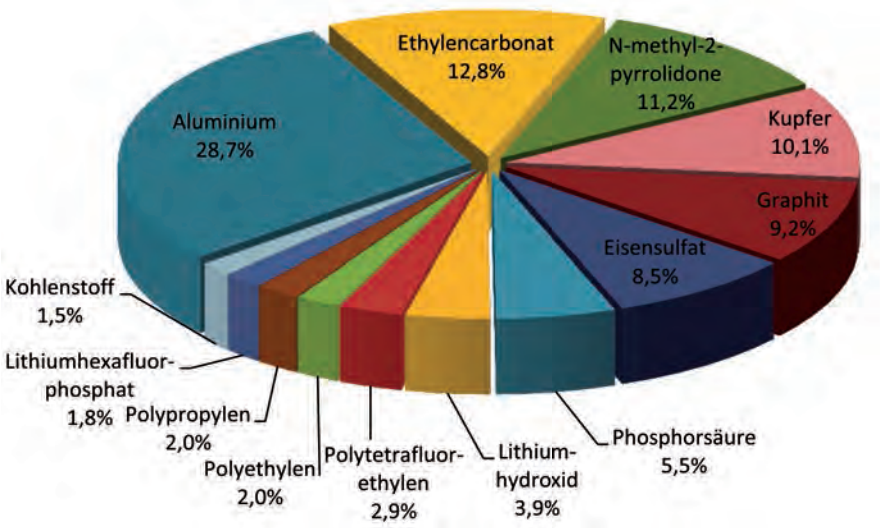


Abb. M8a-4: Materialkuchen der LiFePO4-Batterie des SMART (Eigene Darstellung)

In einer abschließenden Ökobilanz im Rahmen dieses Projekts wurde das Modell in verschiedener Hinsicht verfeinert. In der Sachbilanz wurde die Produktionsphase stärker differenziert (Benzin-Smart: Fahrwerk & Karosserie, Benzin-Motor, Getriebe, Bleibatterie, restlicher Antriebsstrang; Elektro-Smart: Fahrwerk & Karossie, E-Motor, Getriebe, Bleibatterie, Lithium-Batterie, PowerpAC, Ladegerät, Batterie-Management-System, restlicher Antriebsstrang). Für jede der genannten Kategorien mussten gemessene oder recherchierte Daten für Materialzusammensetzung, Verarbeitungsprozesse, Energie- und Transportaufwendungen und Herstellungs-Infrastruktur (Fabriken) gesammelt werden. Die Werkstoffbilanz für den Smart enthält Daten zu 27 verschiedenen Materialien (Beispiel: Abb. M8a-4, Li-Batterie).

Wartungsaufwendungen für die Fahrzeuge wurden ebenfalls modelliert. Die Sachbilanzierung für die End-Of-Life-Phase (EOL-Phase) ist abhängig von der gewählten Allokationsmethode. Zwei Methoden wurden im Rahmen dieser Arbeit für die EOL-Phase be-trachtet: Cut-Off-Ansatz und Ansatz der Systemerweiterung und Substitution. Letzteres berücksichtigt Recycling und Entsorgung des Altfahrzeugs.

Die Ergebnisse der Ökobilanzierung verschiedener Wirkungskategorien können als mid-points oder als endpoints angegeben werden. Midpoints beinhalten eine Einheit (z. B. CO^2- oder Sb-Äquivalente), die einen Literaturvergleich ermöglicht, während die dimensionslosen endpoints auf die Aggregierung zu einer Gesamtaussage (Gesamtpunktzahl) abzielen. Auf der Endpoint-Ebene wurden die drei Parameter Menschliche Gesundheit, Ressourcen und Ökosystemqualität exemplarisch ausgewählt und zu einer abschließenden Aussage verdichtet (Abb. M8a-5).

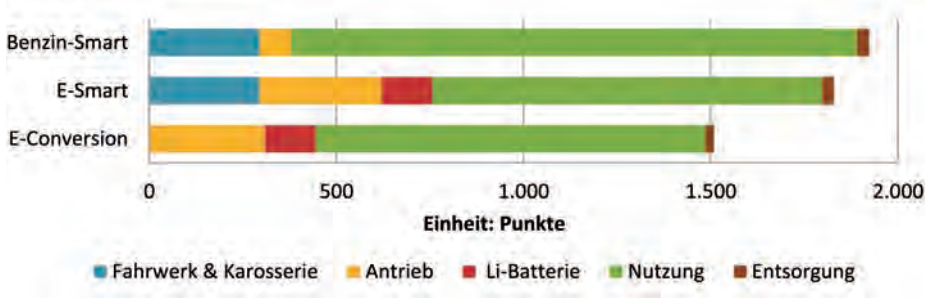


Abb. M8a-5: Endergebnis für die Ökobilanzierung auf der Basis von endpoints für die Wirkungskategorien Menschliche Gesundheit, Ressourcen und Ökosystemqualität (Eigene Darstellung)

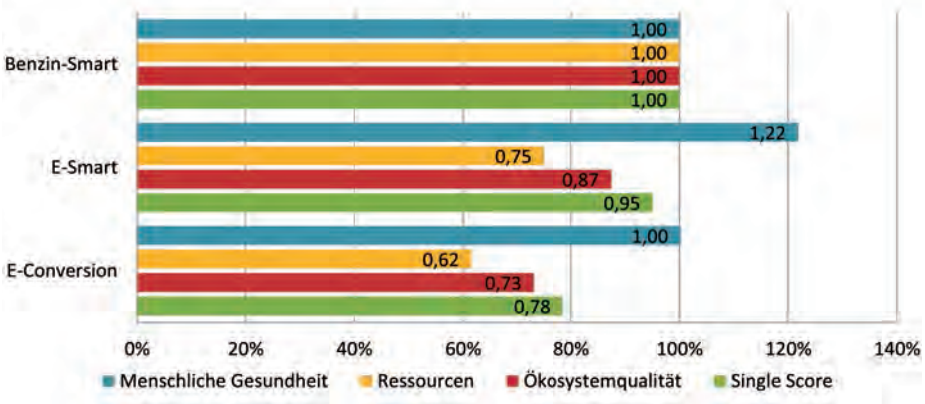


Abb. M8a-6: Detailvergleich der drei Fahrzeugkonzepte (Benzin-Smart auf 1,0 normiert) im Hinblick auf drei Wirkungskategorien (endpoints) sowie aggregiertes Gesamtergebnis (single score) (Eigene Darstellung)

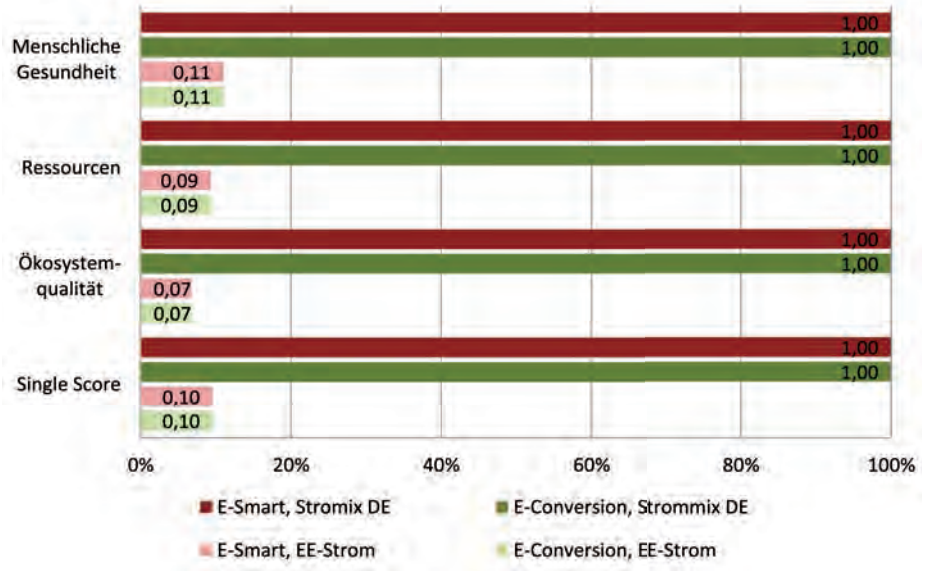


Abb. M8a-7: Detailvergleich der endpoints eines neuen Elektrosmarts für drei Wirkungskategorien, jeweils für deutschen Strommix (= 1,0) und für Grünstrom.

Hier zeigt sich, dass – jedenfalls bei Auswahl der drei genannten Parameter – Elektroautos über die Lebenszeit einen ökologischen Vorteil haben können, obwohl die Herstellung des Antriebs mit einem erhöhten Aufwand verbunden ist. Darüber hinaus gilt wie beim carbon footprint, dass der Verzicht auf die Herstellung der Karosserie (e-conversion) das Ergebnis erheblich optimiert. Im Detail offenbarte die Ökobilanzierung jedoch auch Nachteile des Betriebs von Elektrofahrzeugen: Beispielsweise die Wirkungskategorie Menschliche Gesundheit erzielte für den Elektrosmart ein um 22 % schlechteres Ergebnis (Abb. M8a-6). Bei weiteren Indikatoren (z. B. midpoints Humantoxizität) ist dieser Befund noch weit auffälliger. Eine Sensitivitätsanalyse offenbart die Ursache hierfür: Wieder einmal dominieren die Kosten der Nutzungsphase. Wechselt man hier vom derzeitigen Netzstrom auf Grünstrom, gehen die Schäden bei den betrachteten drei Wirkungskategorien um rund 90 % zurück (Abb. M8a-7).

Diese ausgewählten Ergebnisse zeigen beispielhaft, wie die Ökobilanzierung Optimierungspotentiale bei der Einführung einer neuen Technologie identifiziert.

6 Quellen

[1] E. Helmers (2009). Partikelmessungen, Abgasgrenzwerte, Stickoxide, Toxikologie und Umweltzonen. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 21: 118-123

[2] M. Cames & E. Helmers (2013). Critical evaluation of the European diesel car boom - global comparison, environmental effects and various national strategies. Environmental Sciences Europe (ESEU) 25:15 (22 pages); http://www.enveurope.com/content/pdf/2190-4715-25-15.pdf

[3] E. Helmers & P. Marx (2012). Electric cars: technical characteristics and environmental impacts. Environmental Sciences Europe (ESEU) 24: 14 (15 pages), http://www.enveurope.com/content/pdf/2190-4715-24-14.pdf

[4] E. Helmers (2010). Bewertung der Umwelteffizienz moderner Autoantriebe - auf dem Weg vom Diesel-PKW-Boom zu Elektroautos. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 22: 564-578

Teil 2 Herstellung und Ökobilanzierung einer Motorhaube aus einem biogenen duroplastischen Verbundwerkstoff mit Naturfaserverstärkung

Autoren: Prof. Dr. Oliver Türk,
Franziska Beringer, Urs Brand,
Joachim Walter

1 Einleitung

Die hier beschriebenen Ergebnisse entstanden an der Transferstelle Bingen in Zusammenarbeit mit dem Nawaro-Labor an der FH Bingen im Arbeitspaket 5 (AP 5) des Teilmoduls 8a „Ökobilanzierung von Elektrofahrzeugen" des Netzwerks Elektromobilität Rheinland-Pfalz. AP 5 hat die „werkstoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Elektrofahrzeugen" unter der Maßgabe des Einsatzes ökologische Werkstoffe für Fahrzeuge mit ökologischen Antrieben zum Ziel. Das AP 5 beinhaltet den Bau eines prototypischen Automobilbauteils auf Basis eines biogenen duroplastischen Harzsystems mit Naturfaserverstärkung. Gegenüber dem Stand der Technik auf diesem Gebiet bestand das Ziel der Weiterentwicklung vor allem darin, Naturfasern als Verstärkungsfasern einzuführen und mit Hilfe von Vakuumverfahren großflächige Automobilbauteile herzustellen, die auch als Außenhautteile eingesetzt werden können. Von besonderer Bedeutung war neben der Herstellung des eigentlichen Bauteils mit der neuen Kombination „biogene Matrix mit Naturfaserverstärkung" die Gewinnung von Daten zu den anderen Arbeitspaketen des Moduls 8a, insbesondere zu dem AP 1 - Entwicklung einer Ökobilanzierungsmethode, AP 2 - Datenbeschaffung und Aufbereitung und AP 3 - Ökobilanzierung Herstellung.
Der Einsatz biogener Werkstoffe als solcher ist nicht „per se" als ökologisch überlegen einzuschätzen. Es muss über die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus (Ökobilanzierung) der Nachweis erbracht werden, dass biogene Werkstoffe den etablierten konventionellen Werkstoffen überlegen sind. Daher wurde in diesem Projekt einer der Schwerpunkte auf diese Thematik gelegt und die Herstellung eines Automobil-Außenhautbauteils im Rahmen einer Masterarbeit umfassend ökobilanziell analysiert.

2 Zusammenfassung der Arbeitsinhalte

2.1 Beschreibung der Motorhaube

Als Bauteil wurde das Frontpanel eines Smarts gewählt, da hier die freie Gestaltung komplexer Bauteile aufgezeigt werden konnte. Die Motorhaube wurde sowohl als Glasfaser-, als auch als Naturfasersystem gefertigt.

2.2 Vorarbeiten

Um das Ziel eine Motorhaube aus einem biogenen duroplastischen Verbundwerkstoff mit Naturfaserverstärkung zu fertigen erreichen zu können, wurden im Vorfeld studentische Vorarbeiten geleistet. Hierzu zählten u.a. der Bau einer Temperbox, das Abformen der Original-Motorhaube sowie diverse Vorversuche zur eingesetzten Herstellungstechnik. Die ausführliche Beschreibung dieser Vorversuche können der Langfassung des Berichtes entnommen werden.

2.3 Herstellung der Motorhaube

Bei der durchgeführten Ökobilanz handelt es sich um eine vergleichende Bilanz, die die Umweltwirkungen einer Motorhaube mit Glasfaser- und die einer Motorhaube mit Naturfaserverstärkung einander gegenüberstellt. Die Matrices beider Produktsysteme bestehen aus einem biogenen Harzsystem auf Leinölbasis. Grundsätzlich verlaufen die Herstellungsprozesse der Motorhaube mit Glas- und Naturfaserverstärkung sehr ähnlich. Unterschiede ergeben sich lediglich beim Laminieren (Anzahl der Schichten). Beide Motorhauben wurden mittels Handlaminierverfahren hergestellt und mittels Temperofen ausgehärtet. Die ausführliche Beschreibung dieser Herstellung kann der Langfassung des Berichtes entnommen werden.

Abb. M8a-8: Produktsysteme: Naturfaser (links) und Glasfaser (rechts)

3 Wesentliche Forschungsergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ökobilanz wurde gemäß den normativen Vorgaben der DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 durchgeführt und richtet sich nach dem Datendokumentationsformat der ISO TS 14048. Die Systemgrenzen wurden nach dem Ansatz „from cradle to grave" („von der Wiege bis zum Grab") festgelegt und umfassen somit alle Lebenszyklusphasen. Vorrangig liegen der Berechnung Primärdaten zugrunde.

3.1 Ökobilanzierung

3.1.1 Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen

Die Ergebnisse der Arbeit sollten dazu beitragen, Aussagen darüber zu treffen, ob der Einsatz des auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Faserverbundsystems dem Glasfasersystem in Hinblick auf die jeweilige Umweltwirkung vorzuziehen ist. Die Zielgruppe der Ökobilanz war in erster Linie das Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung und das Ministerium des Innern, für Sport und Infrastruktur, die das Netzwerk Elektromobilität fördern.
Als funktionelle Einheit wurde 1 kg der jeweiligen Motorhaube für einen Smart, Modell Fortwo City Coupé (C450) gewählt. Nicht in die Bilanzierung eingeschlossen wurden die Herstellung und Entsorgung der Infrastruktur (Maschinen, Fahrzeuge und Anlagen) sowie Materialien, deren Massenanteil am Gesamtgewicht weniger als 1 % betragen. Weiter wurden diejenigen Prozesse von der Bilanzierung ausgeschlossen, die für beide untersuchten Produktsysteme identisch waren.

3.1.2 Sachbilanz

Innerhalb der Sachbilanz werden alle relevanten In- und Outputströme der beteiligten Prozesse erfasst. Gemäß dem Ansatz „Cradle to Grave" wird der gesamte Lebenszyklus der Motorhaube betrachtet. Hierzu zählen auch allgemeine Vorketten wie Strom und Transporte sowie die Herstellung der Glasfasermatten und dem Anbau der Hanf- und Flachspflanzen zur Herstellung des verwendeten Naturfaservlieses.
Während der Herstellung der Motorhaube im Technikum der Fachhochschule Bingen wurden kontinuierlich Primärdaten zu Energie- und Materialverbräuchen erhoben und dokumentiert. Innerhalb der übrigen Lebenszyklusphasen wurde auf Daten aus Literaturrecherche und Datenbanken sowie vereinzelt auf Annahmen zurückgegriffen.
Die Nutzungsphase nimmt vor allem durch den Kraftstoffverbrauch Einfluss auf die Schadenswirkungen der Produktsysteme.
Da tatsächliche Entsorgungsmöglichkeiten noch nicht erprobt sind, beschränken sich die Ausführungen der Lebenszyklusphase „Entsorgung" ausschließlich auf Annahmen und Vorschläge. Um feststellen zu können, ob die Produktsysteme NF-Motorhaube und GF-Motorhaube der energetischen Verwertung in einem Müllheiz-

kraftwerk zur Stromerzeugung verwertet (Voraussetzung hierfür ist ein Heizwert von mind. 11 MJ/kg) oder der Zementindustrie zugeführt werden können, wurde per Heizwertmessung überprüft. Die Heizwertmessungen wurden im Technikum der Fachhochschule Bingen in Anlehnung an die Vorgaben der DIN 51900-2 durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Lebenszyklusphasen kann der Langfassung des Berichts entnommen werden.

3.1.3 Wirkungsabschätzung

Für die Darstellung der Umweltwirkungen, welche von den betrachteten Produktsystemen ausgehen, wurde das Charakterisierungsmodell Impact 2002+ gewählt. Die Wirkungsabschätzung wurde innerhalb der Wirkungskategorien Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität, Klimawandel und Ressourcen durchgeführt. Die Darstellung der tabellarisch sowie grafisch verarbeiteten Ergebnisse übersteigt den Umfang dieses Berichtes und kann der Langfassung des Berichts entnommen werden.

3.1.4 Auswertung Ökobilanz

Die durchgeführte Ökobilanz weist nur wenige signifikante Parameter auf. Vergleicht man die untersuchten Produktsysteme, wird deutlich, dass nur in den Schadenskategorien Radioaktive Strahlung und Klimawandel Unterschiede in der Umweltwirkung ermittelt werden konnten.
Die durchgeführte Bilanz zeigt, dass die größten Umweltwirkungen von der Nutzungsphase des Elektroautos über einen Lebenszyklus von 15 Jahren sowie von der Herstellung der jeweiligen Faser ausgehen. Zur allgemeinen Verbesserung der Umweltwirkungen empfiehlt es sich, den hohen Verbrauch an Pestiziden, Düngemitteln und Treibstoffen zur Bestellung der Felder beim Anbau von Flachs und der Verarbeitung der Pflanzenstängel nach der Erntephase zu senken. Aus dem Ergebnis des bilanziellen Vergleichs konnte insgesamt kein eindeutiger Vor- oder Nachteil für eines der beiden Produktsysteme abgeleitet werden.

3.2 Auswertung Biogene Verbundwerkstoffe

Die Ergebnisse der Arbeit sollten neben der Darstellung der Umweltwirkungen untermauern, dass der Einsatz von naturfaserverstärkten Systemen mit biogener Matrix durch die Leichtbauweise zu geringeren Kraftstoffverbräuchen und damit zusammenhängend zu einer Reduzierung der CO^2-Emissionen im Straßenverkehr beitragen kann. Soweit konnte innerhalb dieser Arbeit der Nachweis zum Leichtbau noch nicht erbracht werden. Durch die enge zeitliche Begrenzung der Arbeit konnte von jedem Produktsystem nur eine Haube hergestellt werden, so dass es sich bei beiden Motorhauben um Prototypen handelt. Die grundsätzliche Machbarkeit konnte gezeigt werden. Zur Optimierung der mechanischen Eigenschaften sowie zur Verbesserung der allgemeinen Produkteigenschaften sind weitere Versuche zwingend erforderlich. So könnten Material- und Energieverbräuche verringert und gleichzeitig die Verbesserung der Produktsysteme angestrebt werden. Fokussiert wird unter anderem eine Reduzierung des Harzgehaltes im Produktsystem der Naturfaser und damit einhergehend die Erhöhung des Fasergehaltes im Bauteil. Hieraus resultieren die gewünschte Verringerung des Bauteilgewichts und die CO^2-Einsparungen im Straßenverkehr.

Modul 8b: Regionale Wertschöpfung durch Elektromobilität

Autoren: Christoph Pietz (IfaS)
Fabian Theis (IfaS)

Unter Mitwirkung von: Dr. Uwe Klann (IZES)
Alexander Zipp (IZES)
Matthias Sabatier (IZES)

1 Kernfragestellungen und Erkenntnisinteresse

Die vorliegende Studie widmet sich der Fragestellung, welchen Beitrag die Elektromobilität zur Regionalen Wertschöpfung (RWS) bzw. zu regionaler Kaufkraft in Form von unternehmerischen Gewinnen, Einkommen von Angestellten bzw. Bürgern und Steuereinnahmen sowie Arbeitsplatzeffekten in Rheinland-Pfalz langfristig (2050) leisten kann. Ausgehend von generierten Umsätzen, sollen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte untersucht werden, die entlang der Wertschöpfungskette von der Herstellung, über den Handel, die Wartung sowie in angelagerten Branchen wie dem Banken- oder Versicherungswesen generiert werden können. Auf der Basis einzelner Profiteursgruppen (Stakeholder im Wertschöpfungsprozess) werden Erkenntnisse hinsichtlich der Verteilung und Lenkungsansätzen finanzieller Ströme abgeleitet.
In dieser Kurzfassung werden die Effekte im Bereich von Kraftfahrzeugen – ausschließlich Pkw, d.h. die Substitution von Kfz mit Verbrennungsmotor durch Elektrostraßenfahrzeuge, beleuchtet. Die notwendigen Veränderungen der Infrastruktur im Bereich der Energieversorgung (Tankstellen- und Ladeinfrastruktur) sind nicht Bestandteil der vorliegenden Kurzfassung. Jedoch hängen diese unmittelbar mit der Transformation hin zur Elektromobilität zusammen. Nur die Summe aller Wertschöpfungseffekte (Fahrzeuge und Energieversorgung) kann eine endgültige Argumentations- bzw. Entscheidungsbasis liefern. Die Gänze der Ergebnisse hierzu wird in der Langfassung dieser Studie dargestellt.

2 Methodisches Vorgehen zur Ermittlung sozio-ökonomischer Regionaler Wertschöpfungseffekte

Das im Folgenden beschriebene methodische Vorgehen bezieht sich auf die Ermittlung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten im Bereich Elektrofahrzeuge anhand eines Berechnungsmodells. Abweichungen hinsichtlich Zahlengenauigkeit im Vergleich zur realen Entwicklung können nicht ausgeschlossen werden. Somit eignet sich das Modell zur Ermittlung von Trendentwicklungen, das nach wissenschaftlichen Maßstäben entwickelt wurde.
Es findet die Verwendung von variablen Parametern statt (z. B. Energie-Preissteigerungsraten). Es sind die nach Erfahrung und Einschätzung einflussreichsten Berechnungsparameter ins Modell eingeflossen. Tatsächlich existieren weitere Rechengrößen, die ins Modell einfließen könnten, jedoch vor dem Hintergrund des Nutzens und aufgrund eines nicht gerechtfertigten Aufwands bewusst außen vor bleiben. Hierzu zählen beispielsweise die Abschätzung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, technologischer Fortschritt (abgesehen von direkten energetischen Effizienzsteigerungen in Kfz) oder Weltenergiereserven und weitere Parameter im Zusammenhang mit der Preisentwicklung.

2.1 Wertschöpfungskette und Wertschöpfungsstufen

Die Ermittlung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten findet entlang der Wertschöpfungskette auf den drei Wertschöpfungsstufen „Herstellung & Handel (Investitionen)“, „Dienstleistung & Handwerk“ sowie „Fahrzeughaltung“ statt.
Investitionen entsprechen einer Produkt- oder Dienstleistungsnachfrage und sind der Beginn jeder Wertschöpfung. Denn erst mit einer Investition oder einem Investitionsvorhaben wird ein Prozess ausgelöst. Investitionen umfassen die Anschaffungskosten (auch Reinvestitionen) und setzen sich zusammen aus den Herstellungskosten sowie den Handelsmargen aus Vorket-

ten bis zum Abnehmer. Investitionen bilden die Grundlage zur Berechnung von Handelsmargen und Betriebskosten.
Die Wertschöpfungsstufe Dienstleistung & Handwerk wird entweder als Prozentwert in Abhängigkeit von den Investitionen oder als absoluter Wert eingerechnet. Sie umfasst das Handwerk sowie die Dienstleistungsbereiche Bankenwesen, Versicherungswesen und Stromversorgung. Grundsätzlich können darüber hinaus weitere Branchen berücksichtigt werden.
Die Fahrzeugnutzung umfasst eine dynamische jahresscharfe Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus Sicht des Fahrzeughalters. Hierbei findet eine Fahrzeugnutzung von 12 Jahren statt.

2.2 Definition „Regionale Wertschöpfung"

Als Regionale Wertschöpfung (RWS) wird die Summe aller zusätzlichen Werte verstanden, die in einer Region in einem bestimmten Zeitraum entstehen. Der Begriff „Wert" kann hierbei eine subjektiv unterschiedliche Bedeutung erfahren, d. h., er kann ökonomisch, ökologisch und soziokulturell verstanden werden. Im Rahmen dieser Studie werden ausschließlich sozioökonomische Effekte für die im Folgenden genannten Stakeholder ermittelt.

- Ansässige Unternehmen:
  - Gewinne von Herstellern, Händlern, Handwerkern, Versicherern, Bankern, Stromversorgern

- Bürger:
  - Einkommen von Angestellten in ansässigen Unternehmen
  - Einsparungen aus dem Fahrzeugbetrieb
  - Vollzeitarbeitsplätze

- Öffentliche Hand (Land, Gemeinden):
  - Anteile der Gewerbe- & Einkommensteuer aus den oben erwähnten Gewinnen und Einkommen

Darüber hinaus definiert sich die RWS durch die festgelegten Administrationsgrenzen der betrachteten Region sowie die zu berücksichtigenden Geldströme. Die Betrachtung endet beim ersten Stakeholder innerhalb der definierten Wertschöpfungskette, d. h. beispielsweise Überschüsse der Unternehmen und Einsparungen der Fahrzeughalter sind regionale Kaufkraft, die wieder in Wirtschaftskreisläufe eingebracht wird. Ob und wie diese zusätzlichen Mittel weiter verwendet werden, d. h. ob sie regional oder überregional bis international investiert bzw. ausgegeben werden, ist nicht Fragestellung dieser Untersuchung.

2.3 Stakeholder und regionale Relevanz

Wertschöpfungseffekte können nur in dem Umfang als Regionale Wertschöpfung ausgewiesen werden, sofern die von der Wertschöpfung betroffenen Stakeholder im betrachteten Raum angesiedelt sind. Dann werden erwirtschaftete finanzielle Mittel zunächst wieder in den regionalen Wirtschaftskreislauf eingebracht. Daraus ergibt sich, dass zur Ermittlung des tatsächlich im betrachteten Raum verbleibenden Anteils der Wertschöpfung, ausschließlich die Anteile der regional ansässigen Stakeholder in die Berechnung eingehen. Der Anteil der RWS steigt mit zunehmendem Ansässigkeitsgrad betroffener Stakeholder.
Neben der Befragung von Behörden wurden zur Ermittlung der regionalen Ansässigkeit von Unternehmen Recherchen bei Fachverbänden durchgeführt sowie Verzeichnisse (IHK) bzw. Branchenbücher wie die Gelben Seiten analysiert. Bei den Herstellern wurde unterschieden nach einzelnen Komponenten und Anteilskosten. Zur Herleitung geeigneter Gewinnmargen und Personalkostenanteile wurden entsprechend der Kostenstruktur des Gesamtfahrzeuges die folgenden zugehörigen Wirtschaftszweige anteilig zugeordnet [1]:

- Fahrzeugbau
- Maschinenbau
- H. v. Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie elektrischen Ausrüstungen

- Metallerzeugung und -bearbeitung, H.v. Metallerzeugnissen
- H.v. Gummi- und Kunststoffwaren sowie v. Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- H.v. Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen

Im Bereich des Handwerks und weiterer Dienstleister sind die Anteile aufgrund einer zahlreichen Ansässigkeit von Unternehmen in RLP bis zu 100 % hoch.
Dabei entspricht die Versorgung durch die Stromlieferanten dem angenommenen Anteil regenerativer Energien am Gesamtverbrauch, der laut der Zielsetzung der rheinlandpfälzischen Regierung bereits 2030 100 % beträgt.

2.4 Substitutionseffekte

Eine Transformation der Strukturen hin zur Elektromobilität führt zu Verschiebungen und Substitutionseffekten innerhalb der Wertschöpfungsketten. Elektrostraßenfahrzeuge, welche die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor ersetzen, führen bei den betroffenen Stakeholdern zur wirtschaftlichen Veränderung, da sich die Aufwendungen bei der Herstellung, der Wartung und Unterhaltung sowie der Benutzung unterscheiden.
Zur Ermittlung der Vor- bzw. Nachteile einer Systemtransformation werden zunächst die Bruttoeffekte sowohl für Elektroautos als auch für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor kalkuliert. Diese werden dann miteinander verrechnet, wodurch die zusätzlichen Nettoeffekte ersichtlich werden. Diese können auch negativ ausfallen, sofern die Effekte aus der Elektromobilität geringer ausfallen als die der konventionellen Mobilität. Fallen sie jedoch positiv aus, so sind Arbeitsplätze gesichert und darüber hinaus entsteht neue Beschäftigung in Höhe des Deltas.

2.5 Wirtschaftlichkeitsrechnung und grundlegende Berechnungsparameter

Zur Ermittlung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten wird zunächst eine dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung aus Sicht des Fahrzeughalters durchgeführt. Diese umfasst die Aufwendungspositionen (Kosten des Fahrzeughalters), welche den Hinweis auf betroffene Stakeholder und deren Umsätze darstellen. Als elektrisch betriebenes Referenzfahrzeug wird der Renault Kangoo Z.E. herangezogen. Das substituierte Referenzfahrzeug stellt ein Renault Kangoo mit Verbrennungsmotor (Anteilig Diesel oder Superbenzin) dar. Für beide Fahrzeuge steht eine detaillierte Datenbasis zur Verfügung.

Stakeholder	regionale Ansässigkeit
Hersteller	30,00%
Autohändler	100,00%
Kraftstoffhändler	100,00%
Dienstleister	100,00%
Handwerk	100,00%
Versicherung	100,00%
Bank	60,00%
Stromversorger	
2014	30,00%
2020	60,00%
2030	100,00%

Tab. M8b-1: Regionale Ansässigkeit von Stakeholdern
Unter Dienstleistern sind die Vermietung von Batterien und die Autopflege zusammengefasst.

Zur Ermittlung der Stromaufwendungen wurde der aktuelle Strompreis laut dem Bundesverband für Energie- und Wasserwirtschaft e.V. herangezogen. Im Juni des Jahres 2014 betrug der Strompreis im Mittel 29,13 Cent/kWh [2]. Zur künftigen Strompreisentwicklung wurde eine durchschnittliche Preissteigerungsrate auf Basis der Zeitperiode 1993 bis 2014 i.H.v. 2,93 % p. a. angesetzt [3].
Im Gegensatz hierzu wurden die aktuellen Kraftstoffpreise für Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor laut dem Statistischen Bundesamt, dem Mineralölwirtschaftsverband und Energie Informationsdienst verwendet. Diese betrugen im Mittel zwischen Juni 2013 und Juli 2014 1,40 € für Diesel und 1,57 € für Superbenzin[4]. Für die künftige Betrachtung wurde ebenfalls die vergangene Preisentwicklung der Jahre 1991 bis 2013 herangezogen und Mittelwerte abgeleitet. Bei Diesel beträgt die Steigerungsrate 4,47 % p.a, bei Superbenzin 3,99 % [5].
Darüber hinaus wurden über den künftigen Betrachtungszeitraum Effizenzsteigerungen bei allen Fahrzeugtypen vorgenommen. Aus der Kostenstruktur der Gesamtfahrzeuge nach Kampker et al [6] geht hervor, dass der Herstellungspreis der Batterie einen wesentlichen Kostenpunkt – d.h. 40 % der Teilekosten und rund 24 % der Gesamtkosten – bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen darstellt. Der prognostizierte Batteriepreis und die daraus hervorgehende jährliche Kostensenkung wurden aus der optimistischen Prognose des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln (EWI) [7] abgeleitet, da die Ausgangswerte dieser Schätzung am ehesten den heutigen Aussagen zur Batteriepreisentwicklung entsprechen [8].
Daraus ergibt sich beim Herstellungspreis von Batterien eine jährliche Kostensenkung von 2,5 % bis 2030 und 0,4 % bis 2050. Diese Kostensenkung wurde entsprechend anteilig (24 %) bei der Entwicklung des Gesamtfahrzeugpreises der Elektrofahrzeuge berücksichtigt.

Bei der Prognose des Verbrauchs von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor wurden die prognostizierten Werte für Kfz mit vier Sitzen nach EWI 2010 herangezogen. Demnach reduziert sich der Kraftstoffverbrauch ab dem Jahr 2015 bis zum Jahr 2030 bei Benzinern um 14,5 % und bei Dieselfahrzeugen um 14,3 %. Bis zum Jahr 2050 kann die Effizienz bei Benzinern um weitere 3,8 % und bei Dieselfahrzeugen um 4,8 % gesenkt werden.

Im Folgenden werden die Berechnungsparameter beider Fahrzeuge gegenüber gestellt.

Zur Finanzierung von elektrischen Neuwagen wurde ein pauschaler Fremdkapitalanteil von 50 % veranschlagt. Als Fremdkapitalzinssatz wurden 4,0 % und als Kreditlaufzeit 6 Jahre angesetzt. Die Lebensdauer eines Fahrzeugs beträgt im Modell 12 Jahre. Nach dieser Zeit wird ein Fahrzeug durch ein neues ersetzt.
Alle sonstigen operativen Aufwendungen, z. B. Wartung & Instandhaltung oder Versicherung, wurden mit einer Inflationsrate i. H. v. 1,91 % p. a. multipliziert [15].

	2014	2030	2050
optimistisch	264	176	163
Referenz	402	219	186
pessimistisch	657	391	311

Tab. M8b-2: Szenarien zur künftigen Batteriepreisentwicklung in €/kWh (Quelle: [9])

	2015	2030	2050
Benziner	6,20	5,30	5,10
Diesel	4,90	4,20	4,00

Tab. M8b-3: Szenarien zu künftigem Kraftstoffverbrauch in l / 100 km (Quelle: [10])

Fahrzeugtyp	Renault Kangoo Z.E.	Renault Kangoo (Benziner)	Renault Kangoo (Diesel)
Anschaffungspreis	24.157 €	20.220 €	21.470 €
Batteriemiete	107,10 €/a	-	-
Preissteigerung Batterie	-2,50% p.a.	-	-
Lebensdauer Batterie	9 Jahre	-	-
Verbrauch/100km	15,5 kWh	54,9 kWh	46,0 kWh
Strom-/Kraftstoffpreis	0,29 €/kWh	0,17 €/kWh	0,14 €/kWh
Preissteigerung Strom/Kraftstoff	2,93% p.a.	3,99% p.a.	4,47% p.a.
Versicherungskosten	1000,00 €/a	1097,50 €/a	1161,50 €/a
Kfz-Steuer	63,00 €/a	202,00 €/a	190,00 €/a
Wartungskosten	408,00 €/a	612,00 €/a	612,00 €/a
pro km	0,024 €/km	0,036 €/km	0,036 €/km
Kostenstruktur Gesamtfahrzeug			
Teilekosten	60,00%	60,00%	60,00%
Verschiedenes	6,00%	10,50%	6,00%
Fahrwerk	3,60%	6,30%	3,60%
Karosserie	7,80%	9,30%	7,80%
Antrieb	8,40%	13,80%	8,40%
Ausstattung	10,20%	20,10%	10,20%
Batterie	24,00%	0,00%	24,00%
Endfertigung	25,00%	25,00%	25,00%
Händler	15,00%	15,00%	15,00%
Herstellerkennzahlen			
Gewinnmarge vor Steuern	3,01%	3,11%	3,11%
Gewinnmarge nach Steuern	2,03%	2,06%	2,06%
Anteil Personalaufwand am Umsatz	17,22%	16,24%	16,24%

Tab. M8b-4: Gegenüberstellung Fahrzeug spezifischer Berechnungsparameter (Quellen: [11, 12, 13, 14])

2.6 Ableitung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten

Alle Aufwendungen eines Fahrzeughalters entsprechen an anderer Stelle den Umsätzen von betroffenen Unternehmen. So kommen die Aufwendungen des Halters für Versicherung den Umsätzen der Versicherungen gleich, Aufwendungen für Wartung und Instandhaltung entsprechen den Umsätzen von Handwerkern, Investitionen stellen die Umsätze von Herstellern dar usw. Entsprechend statistisch ermittelter prozentualer Anteile werden anhand der Umsätze Gewinne und Einkommen nach Wirtschaftszweigen je Stakeholder abgeleitet. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über verwendete Gewinnmargen und Anteile der Personalaufwendungen je Stakeholder.

Die Gewinne und Personalaufwendungen stellen die Grundlage zur Berechnung des Steueraufkommens dar. Die Anteile für Gemeinden und das Land verbleiben als Regionale Wertschöpfung bei der öffentlichen Hand in der betrachteten Region Rheinland-Pfalz. Im Bereich der Investition wird darüber hinaus der Anteil der Umsätze von Händlern anhand der Handelsmarge i.H.v. 15 % berechnet [17]. Zinsaufwendungen gehen als Umsätze bei den Banken ein. Entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise wird die Wertschöpfung sowohl für den

Stakeholder	Gewinn vor Steuern	Gewinn nach Steuern	Personalaufwand
Hersteller			
konventionell	3,11%	2,06%	16,24%
elektrisch	3,01%	2,03%	17,22%
Autohändler	2,28%	1,83%	0,11%
Kraftstoffhändler	0,64%	1,83%	10,61%
Dienstleister	2,00%	1,67%	13,72%
Handwerk	2,28%	1,83%	10,61%
Versicherung	2,00%	1,64%	10,25%
Bank	1,70%	1,39%	54,00%
Stromversorger	7,27%	5,47%	8,63%

Tab. M8b-5: Gewinnmargen und Anteil Personalaufwendungen je Stakeholdergruppe (Quelle: [16])

Renault Kangoo Z.E. als auch einen Renault Kangoo mit Verbrennungsmotor, anteilig als Diesel und Super, ermittelt. Hierdurch werden für alle Varianten die Bruttoeffekte errechnet, somit können die Verdrängungseffekte aufgezeigt werden. Schließlich führt die Verrechnung beider Ergebnisse zur Darstellung der zusätzlichen Netto-Wertschöpfungseffekte.
An dieser Stelle ergeben sich auch Wertschöpfungseffekte für Fahrzeughalter aufgrund der Gegenüberstellung von Strom und Kraftstoff auf Basis von fossilen Energieträgern.
Basierend auf den ermittelten Wertschöpfungseffekten erfolgt die Analyse der Beschäftigungseffekte. Hierbei sind Einkommen die Grundlage der Ermittlung. Durchschnittliche Einkommen relevanter Branchen laut des Statistischen Bundesamts gelten als Maßstab zur Bestimmung der Anzahl von Arbeitsplätzen. Die betroffenen Berufsgruppen wurden, wie in der folgenden Übersicht dargestellt, den betrachteten Beschäftigungsbereichen zugeteilt. Die Löhne werden entsprechend einer jährlichen Lohnsteigerungsrate von 2 % in die Zukunft aufgewertet.
Zusätzlich zu den durchschnittlichen Bruttoeinkommen wurde eine Lohnnebenkosten-Pauschale von 32,0 % addiert [19]. Ein Jahreseinkommen inkl. Lohnnebenkosten (Arbeitgeber-Brutto) entspricht einem Vollzeitarbeitsplatz.

	Brutto-Arbeitgeberlohn	Wirtschaftszweig
Hersteller	121.875 €	H.v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen, Leder, Lederwaren, Gummi- und Kunststoffwaren, Glas und Glaswaren, Metallerzeugnissen, elektrischen Ausrüstungen; Metallerzeugung und -bearbeitung; Maschinenbau; Sonstiger Fahrzeugbau
Autohändler	131.857 €	Handel mit Kraftfahrzeugen
Kraftstoffhändler	114.071 €	Einzelhandel
Dienstleister	143.606 €	Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen, Vermietung von beweglichen Sachen
Handwerker	137.829 €	Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen
Versicherungen	195.254 €	Versicherungen
Banken	210.400 €	Finanzdienstleistungen
Stromversorger	193.220 €	Energieversorgung

Tab. M8b-6: Brutto-Arbeitgeberlöhne nach Stakeholdergruppen (Quelle: [18])

	2020	2030	2040	2050
WWF-Szenario	0,75%	3,22%	7,78%	16,56%
Best-Case-Szenario	5,00%	20,00%	60,00%	100,00%

Tab. M8b-7: Szenarien – Entwicklung des Anteils von Elektrofahrzeugen am Fahrzeugbestand RLP

2.7 Szenarienanalyse

Zur Veranschaulichung des Ausmaßes einer sukzessiven Substitution von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor durch Elektrostraßenfahrzeuge werden zwei Szenarien aufgestellt. Ausgehend vom rheinland-pfälzischen Kraftfahrzeugbestand im Jahr 2010 i.H.v. 2.288.429 [20] liegt der Anteil von Elektrofahrzeugen im WWF-Szenario bis zum Jahr 2050 bei 16,56 %[21]. Im Best-Case-Szenario soll ein vollkommener Austausch bis zum Jahr 2050 erfolgen. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Substitutionspfade beider Szenarien.

3 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Wertschöpfungsrechnung im Bereich der sukzessiven Substitution von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren durch Elektrostraßenfahrzeuge bis zum Jahr 2050 aufgeführt. Dabei werden zunächst die Effekte bei verschiedenen Stakeholdern ohne die Berücksichtigung der Fahrzeughalter betrachtet. Demzufolge wird in Summe eine negative Wertschöpfung i.H.v. rund -178 Mio. € im WWF-Szenario und -1,25 Mrd. € im Best-Case-Szenario erreicht. Dabei sind insbesondere Einbußen bei den Einkommen für Beschäftigte zu verzeichnen, was sich entsprechend auf die Steuereinnahmen des Landes auswirkt. Im Gegensatz könne jedoch mehr Gewinne erwirtschaftet werden (Vgl. Abbildungen M8b-2 und M8b-3). Aufgrund hoher Einnahmen an Gewerbesteuer und eines geringeren Anteils an der Einkommensteuer können die Gemeinden eine

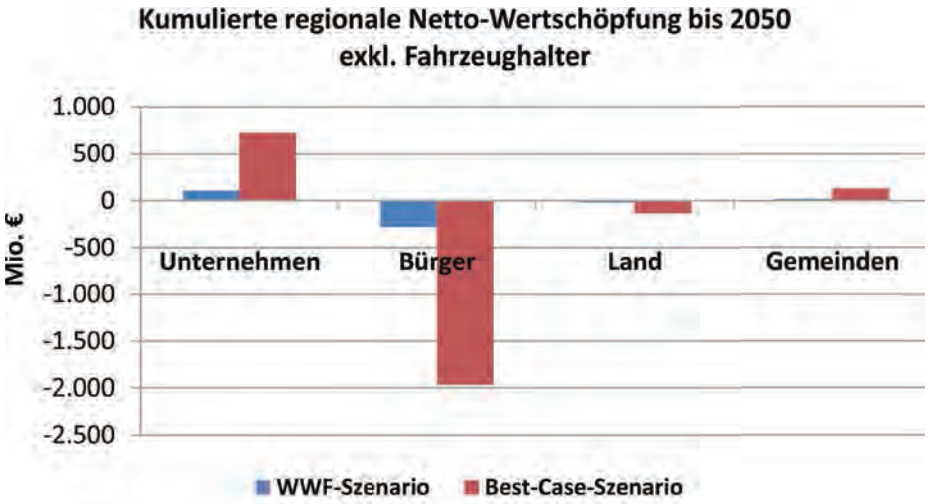


Abb. M8b-1: Kumulierte Wertschöpfungseffekte - Szenarienvergleich exkl. Fahrzeughalter

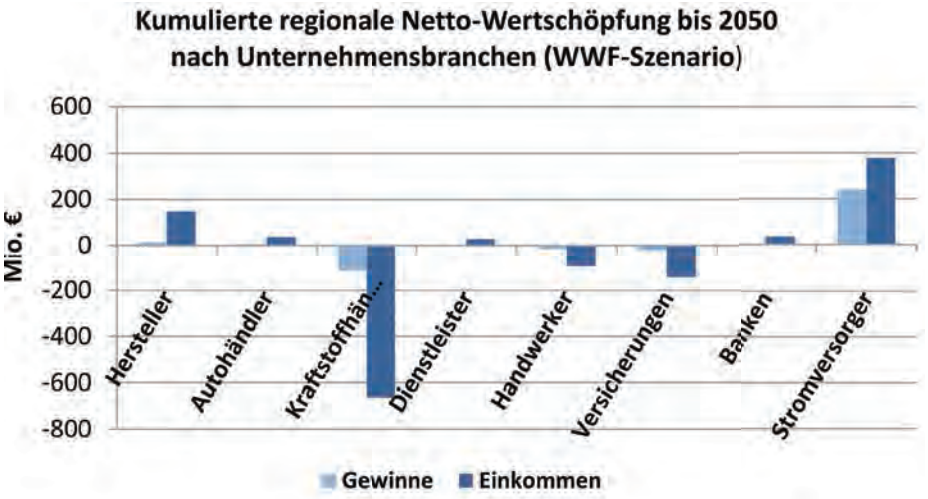


Abb. M8b-2: Kumulierte Wertschöpfungseffekte in Unternehmen – WWF-Szenario

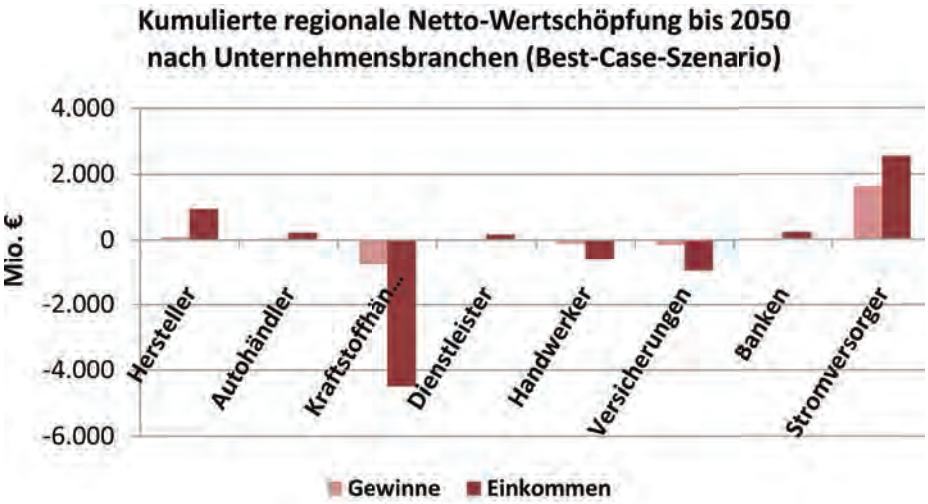


Abb. M8b-3: Kumulierte Wertschöpfungseffekte in Unternehmen – Best-Case-Szenario

positive Wertschöpfung verzeichnen. Die nachfolgende Grafik gibt eine Übersicht der Wertschöpfungseffekte im Vergleich beider Szenarien. Dabei bleibt der Fahrzeughalter als Stakeholder erstmal unberücksichtigt.

Wie sich die Effekte bei Unternehmen in Form von Gewinnen und Einkommen in unterschiedlichen Branchen darstellen, zeigen die folgenden zwei Grafiken anhand der definierten Szenarien. Das Verhältnis der Branchen untereinander ist in beiden Szenarien gleich. Absolut gesehen sind die Effekte im Best-Case-Szenario mit einem vollständigen Anteil von Elektrofahrzeugen bis 2050 um ein Vielfaches höher.

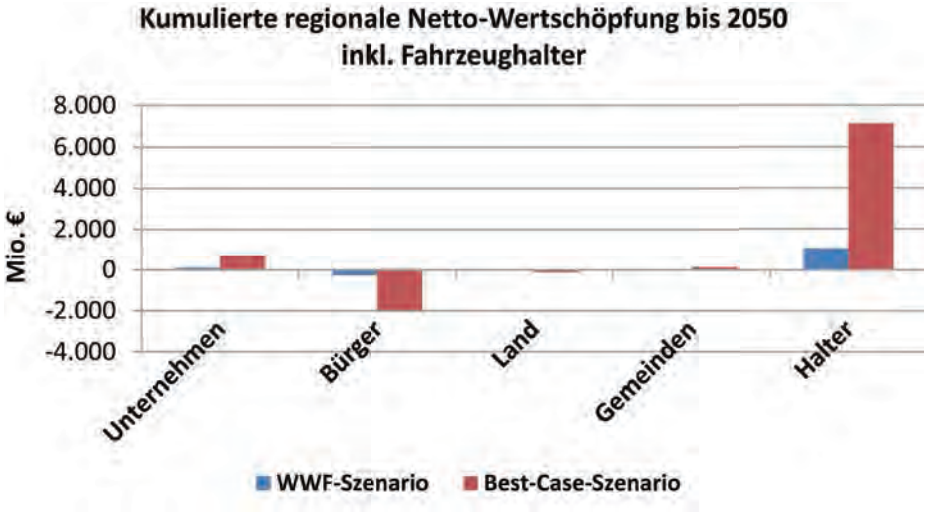


Abb. M8b-4: Kumulierte Wertschöpfungseffekte - Szenarienvergleich inkl. Fahrzeughalter

me der regionalen Wertschöpfung im WWF-Szenario auf ca. 873 Mio. €. Im Best-Case-Szenario steigen die

Effekte auf 5,88 Mrd. € an. Die Fahrzeughalter können rund 1,0 bis 7,7 Mrd. € an zusätzlicher Kaufkraft aufgrund der Einsparung von Energiekosten erwirtschaften.

Die höchsten Wertschöpfungseffekte können Stromversorger aufgrund des zusätzlichen Absatzes an Nutzer von Elektrofahrzeugen verzeichnen. Außerdem profitieren Hersteller aufgrund höherer Verkaufspreise, demnach auch Autohändler und die Banken aufgrund der Vergabe zusätzlicher Darlehen. Dienstleister können aufgrund der Vermietung von Batterien positive Effekte verbuchen.
Auffällig werden die Einbußen bei den Kraftstoffhändlern, die nach und nach an Marktanteilen verlieren. Des Weiteren reduzieren sich die Effekte im Bereich Wartung und Instandhaltung aufgrund des geringeren Wartungsaufwandes von Elektrofahrzeugen, wodurch Handwerker negative Wertschöpfungseffekte verbuchen müssen. Außerdem wurden bei Elektrofahrzeugen geringere Versicherungskosten angenommen, wodurch sich die Effekte an dieser Stelle negativ auswirken.

Berücksichtigt man zusätzlich die Fahrzeughalter, so erhöht sich die Sum-

4 Beschäftigungseffekte

Als Grundlage zur Bestimmung der Beschäftigungseffekte wurden die Einkommen des Jahres 2049 herangezogen. In diesem Jahr werden Investitionen in neue Fahrzeuge getätigt, was im Berechnungsmodell aufgrund der definierten Nutzungsdauer nur alle 12 Jahre stattfindet. Hierdurch können Beschäftigungseffekte bei Herstellern und Autohändlern abgebildet werden, welche einen wesentlichen Anteil ausmachen.
Insgesamt können im WWF-Szenario zusätzlich 741 Vollzeitarbeitsplätze generiert werden. Im Best-Case-Szenario sind es 4.070.

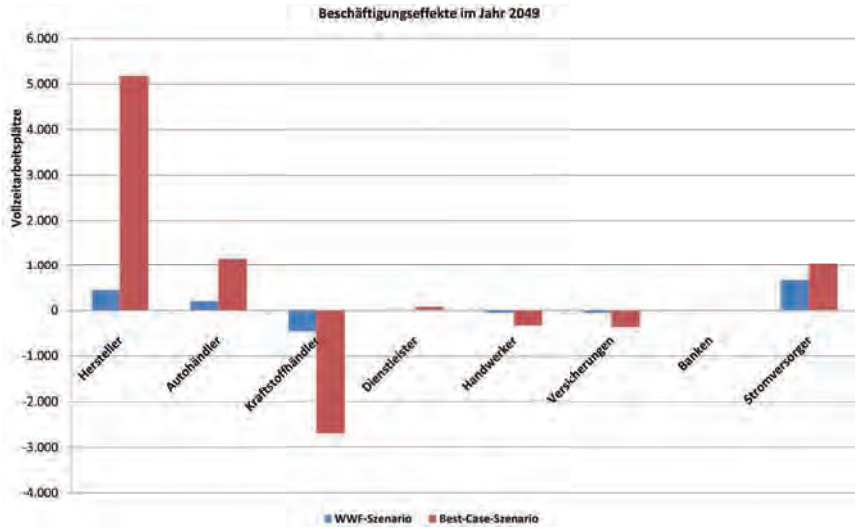


Abb. M8b-5: Beschäftigungseffekte

Dabei sind die höchsten Beschäftigungseffekte in der Herstellung, gefolgt vom Autohandel und der Stromversorgung zu generieren. Hohe Einbußen gibt es hingegen im Handel mit Diesel- und Benzinkraftstoffen. Negative Arbeitsplatzeffekte gibt es außerdem im Handwerk sowie dem Versicherungswesen zu verzeichnen.

5 Schlussfolgerung und politische Handlungsoptionen

In Summe fallen die regionalen Wertschöpfungseffekte bei Unternehmen im Bereich der Kraftfahrzeuge negativ aus. Erst mit Berücksichtigung von Fahrzeughaltern sind positive Resultate um ein Vielfaches höher zu verbuchen.
Daraus folgt die Option, dass, um keine Stakeholder schlechter zu stellen, eine gezielte Verteilung zusätzlicher finanzieller Mittel denkbar ist. Die Kosteneinsparungen bei den Fahrzeughaltern könnten zur Kompensation von Stakeholdern, welche Einbußen verbuchen müssten, verwendet werden.
Um jedoch ganzheitliche Wirkungen einer systemischen Umstellung der heutigen Mobilität hin zur Elektromobilität interpretieren zu können, ist eine zusätzliche Betrachtung der Energieversorgungsstruktur erforderlich, die unmittelbar mit der zunehmenden Nutzung von Elektrofahrzeugen einhergeht. Hierzu zählen eine neue Infrastruktur an Ladestationen von elektrischem Strom unter Berücksichtigung von Verdrängungseffekten in der gegenwärtigen Tankstellenstruktur sowie der wachsende Anteil von regenerativen Energien mit Substitutionseffekten im konventionellen Energiemarkt.

6 Quellen

[1] Deutsche Bundesbank: Verhältniszahlen aus Jahresabschlüssen deutscher Unternehmen von 2008 bis 2009. Statistische Sonderveröffentlichung 6. Frankfurt am Main. Mai 2012.

[2] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: BDWE-Strompreisanalyse Juni 2014, Haushalte und Industrie.

[3] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie et al.: Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes. Berlin. 14.02.2014.

[4] Statistisches Bundesamt et al.: Durchschnittlicher Preis für einen Liter Benzin in Deutschland von Juni 2013 bis Juni 2014. Durchschnittlicher Preis für einen Liter Diesel in Deutschland von Juni 2013 bis Juni 2014.

[5] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie et al.: Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes. Berlin. 14.02.2014.

[6] Kampker, Achim et al.: Elektromobilität. Grundlagen einer Zukunftstechnologie. Berlin Heidelberg. 2013.

[7] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI): Potenziale der Elektromobilität bis 2050. Eine Szenarien basierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration. Köln. 2010.

[8] Elon Musk, in: AutoblogGreen: Battery cost dropping below $200 per kWh soon, says Tesla´s Elon Musk. 21.02.2012. und Jens Meyer, RWE Effizienz GmbH: Elektromobilität – Neuer Alltag – Neues Geschäftsfeld. Hauptkonferenz Elektromobilität 2014.

[9] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI): Potenziale der Elektromobilität bis 2050. Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration. Köln. 2010.

[10] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI): Potenziale der Elektromobilität bis 2050. Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration. Köln. 2010.

[11] Renault: Der Renault Kangoo Z.E. – Preise und Ausstattungen. Gültig ab ersten Juli 2014.

[12] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI): Potenziale der Elektromobilität bis 2050. Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration. Köln. 2010.

[13] ADAC: Autokosten. Kostenübersicht über 1.800 aktuelle Neuwagen-Modelle, in: ADAC Fahrzeugtechnik. Ausgabe 04/2013. München. 2013.

[14] Kampker, Achim et al.: Elektromobilität. Grundlagen einer Zukunftstechnologie. Berlin Heidelberg. 2013.

[15] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie et al.: Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes. Berlin. 14.02.2014.

[16] Deutsche Bundesbank: Verhältniszahlen aus Jahresabschlüssen deutscher Unternehmen von 2008 bis 2009. Statistische Sonderveröffentlichung 6. Frankfurt am Main. Mai 2012. und Deutsche Bundesbank: Monatsberichtsaufsätze. Die Ertragslage der deutschen Kreditinstitute. Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht: Erstversicherungsunternehmen und Pensionsfonds. Statistik 2012.

[17] Kampker, Achim et al.: Elektromobilität. Grundlagen einer Zukunftstechnologie. Berlin Heidelberg. 2013.

[18] Statistisches Bundesamt: Verdienste und Arbeitskosten, 1. Vierteljahr 2014. Wiesbaden. 2014.

[19] Statistisches Bundesamt: Lohnnebenkosten. https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemi%20tteilungen/2012/04/PD12_144_624.html (Abgerufen am 16.02.2014)

[20] Kraftfahrt-Bundesamt: Kraftfahrzeugbestand nach Kraftfahrzeugarten - Stichtag 01.01. - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte. Flensburg. 2013. statista GmbH: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/204714/umfrage/neuzulassungen-von-personenkraftwagen-in-rheinland-pfalz/

[21] WWF: Modell Deutschland, Klimaschutz bis 2050. Berlin. 2009

Modul 8c: Elektromobile Konzepte und Geschäftsmodelle

Autoren: Sascha Baron, Barbara Dröschel, Lars Grote, Oliver Hahn, Andreas Hemmerling, Patrick Hoffmann, Juri Horst, Johannes Roos, Guillem Tänzer

1. Hintergrund und Ziele

Zur schlechten Klimabilanz des Individualverkehrs tragen gleichermaßen die geringen Pkw-Besetzungsgrade sowie der schlechte Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren und die Verwendung fossiler Kraftstoffe bei. Im Schnitt ist ein Fahrzeug nur mit 1,5 Personen besetzt, im Berufsverkehr sogar nur mit 1,2 Personen, was dazu führt, dass für die erforderliche Transportleistung mehr Fahrzeuge als nötig bewegt werden [1]. Ziel muss daher sein, zum einen die Anzahl der bewegten Fahrzeuge je Strecke zu reduzieren, gleichzeitig deren Effizienz zu steigern und die Verwendung nachwachsender Treibstoffe voranzutreiben, um das Ziel einer nachhaltigen, energieeffizienten Mobilität zu erreichen. Dem Problem des begrenzten Wirkungsgrads von Verbrennungsmotoren in der Prozesskette kann dabei mit Elektroantrieben effektiv begegnet werden, sofern erneuerbare Energien zum Einsatz kommen. Potentielle Geschäftsmodelle zur wirtschaftlichen Nutzung (voll)elektrischer, nicht schienengebundener Fahrzeuge im Rahmen von Konzepten vernetzter, multimodaler Mobilität stehen im Fokus des Moduls „Elektromobile Konzepte und Geschäftsmodelle“. Zur optimalen Nutzung von Elektromobilität ist deren Integration in entsprechend adaptierte Verkehrskonzepte (z. B. Carsharing oder Kombination mit ÖPNV-Angeboten) notwendig. Zugleich erfordert der wirtschaftliche Betrieb der Elektrofahrzeuge innovative Geschäftsmodelle (Mobilitätspakete, Leasing, etc.). Erste Angebote hierzu befinden sich im Pilotstadium.
Hauptziel des Moduls ist es, die Basis zur Entwicklung und wirtschaftlichen Bewertung von elektromobilen Geschäftsmodellen zu legen.

2. Vorgehensweise und Methodik

Um möglichst ausgereifte Geschäftsmodelle entwickeln zu können, ist es sinnvoll, auf Erfahrungen aus innovativen, bereits existierenden Mobilitätskonzepten zurückzugreifen. Zum Einsatz kommen in diesem Zusammenhang eine Best-Practice-Studie und Experteninterviews. Die gewonnenen Ergebnisse werden im Rahmen von Workshops mit den Netzwerkpartnern im Netzwerk Elektromobilität Rheinland-Pfalz diskutiert und in der Konzeption weiterverwendet. Zur Ermittlung möglicher Kooperationen zwischen Akteuren (am Beispiel der Netzwerkpartner) wird eine geeignete Methode entwickelt, in deren Rahmen standardisierte Befragungen durchgeführt werden. Die Ergebnisse münden in

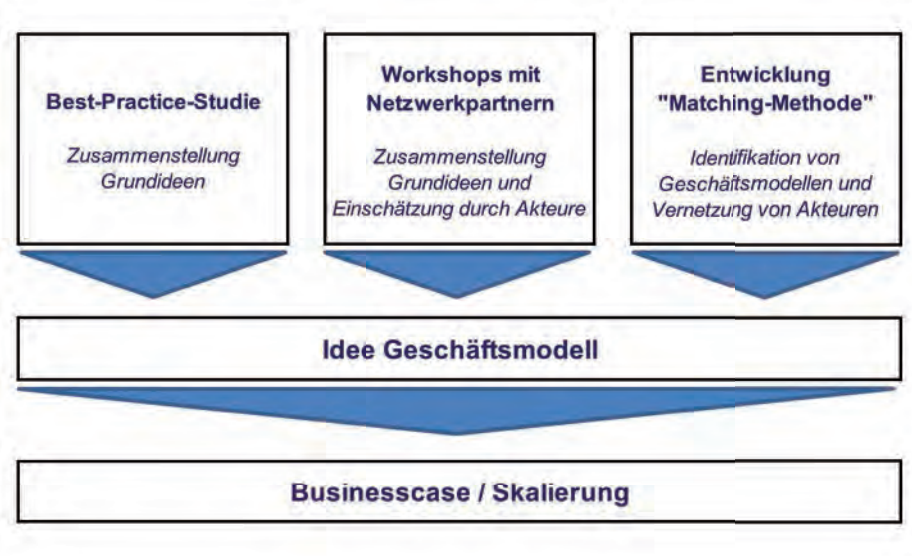


Abb. M8c-1: Vorgehensweise (Quelle: Eigene Darstellung)

der Konzeption eines Geschäftsmodells und der detaillierten Betrachtung der Wirtschaftlichkeit.

Einige der vorgesehenen Arbeitsschritte mussten aufgrund nicht verfügbarer Daten angepasst bzw. beispielhaft durchgeführt werden. Die jeweilige Änderung wird im Folgenden jeweils an der entsprechenden Stelle beschrieben.

2.1 Best-Practice-Studie

Die Vorstellung von „Best-Practice"-Beispielen zielt darauf ab, bereits bestehende innovative Mobilitätsangebote sowie Akteure aufzuzeigen und hinsichtlich Übertragbarkeit auf den Bereich der Elektromobilität zu prüfen. Insbesondere Informationen zu Wirtschaftlichkeit, Anwendung der Elektromobilität, Kundenakzeptanz und organisatorischen Rahmenbedingungen sind hier von Belang. Die Zusammenstellung basiert auf den Ergebnissen von leitfadengestützten Experteninterviews und ergänzenden Recherchen. Die Auswahl der Beispiele erfolgte durch die Arbeitsgruppe auf Grundlage der Interessen der Netzwerkpartner sowie der Aktualität der jeweiligen Beispiele in den Verkehrswissenschaften.

2.2 Workshops mit Netzwerkpartnern

Auf Basis der Ergebnisse der Best-Practice-Studie werden mehrere Workshops im Rahmen des Netzwerks Elektromobilität durchgeführt, um die zuvor gewonnenen Ergebnisse zu diskutieren sowie die Ausgangslagen und Interessen bei den Netzwerkpartnern auszuloten. Als Formate werden ein World-Café, eine Planungswerkstatt sowie Kleingruppendiskussionen und strukturiertes Brainstorming durchgeführt [2].

2.3 Entwicklung „Matching-Methode"

Die Methode geht von der Grundannahme aus, dass Unternehmen gleichermaßen Probleme und Kompetenzen in bestimmten Bereichen aufweisen, die durch eine Zusammenarbeit zu beiderseitigem Vorteil gelöst werden können. Die in der weiteren Bearbeitung als „Kompetenz-Matching" bezeichnete Methode besteht im Wesentlichen aus einer Betriebsbefragung zu den Themenbereichen Mobilität, Energieerzeugung und Energieverbrauch sowie einer weitergehenden Belegschaftsbefragung zum Mobilitätsverhalten im Sinne eines betrieblichen Mobilitätsmanagements (vgl. [3] und [4]). Die Betriebsbefragung ist an alle Netzwerkpartner im Netzwerk Elektromobilität gerichtet und dient der Profilierung der Unternehmen, um u.a. Handlungsvorschläge zur Zusammenarbeit aufstellen zu können. Die Daten aus der Belegschaftsbefragung sollen eine Bilanzierung des Verkehrsaufwandes ermöglichen.

2.4 Entwicklung des Geschäftsmodells als Businesscase und Skalierung

In der Entwicklung der Geschäftsmodelle werden alle zuvor gewonnenen Erkenntnisse gebündelt. Zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit elektromobiler Geschäftsmodelle wird ein auf der Kapitalwertmethode basierendes Berechnungstool entwickelt. Je nach Geschäftsmodell werden dabei teilweise unterschiedliche Eingangsgrößen verwendet, die mithilfe einer Sensitivitätsanalysefunktion variiert werden können. Durch individuelle Anpassung der Eingangsparameter lässt sich das Berechnungstool flexibel auf verschiedene Rahmenbedingungen anpassen, um die grundlegende Wirtschaftlichkeit abschätzen zu können.

Der Kapitalwert lässt sich anhand der folgenden Formel berechnen (Gleichung 1).

Anhand des Wertes für den Kapitalwert lässt sich ablesen, ob das Geschäftsmodell prinzipiell wirtschaftlich zu betreiben ist (ohne Berücksichtigung sonstiger Verwaltungskosten). Ein Kapitalwert von null oder größer bedeutet, dass die Einnahmen die Ausgaben innerhalb der Nutzungsdauer abdecken und dass die Zahlungsströme eine Verzinsung in der Höhe des angestrebten kalkulatorischen Zinssatzes ermöglichen.

Gleichung (1)

$$Co = \sum_{t=0}^{N} \frac{Z_t}{(1+i)^t}$$

Für Z_t gilt:

$$Z_t = E_t - A_t$$

mit:

Z_t	=	Bilanz der Zahlungsströme zum Zeitpunkt t	
E_t	=	Einnahmen zum Zeitpunkt t	
A_t	=	Ausgaben zum Zeitpunkt t*	
C_o	=	Kapitalwert zum Zeitpunkt t = 0	
N	=	Nutzungsdauer	Jahre
i	=	Kalkulationszinssatz	%

* Die Investitionsausgaben sind in den laufenden Ausgaben enthalten, da eine lineare Abschreibung in den ersten drei Jahren erfolgt.

Während der Bearbeitung hat sich gezeigt, dass die für die Erstellung und Bewertung von Geschäftsmodellen notwendigen betriebswirtschaftlichen Informationen als Geschäftsgeheimnis zu verstehen sind und nicht preisgegeben werden. Die geplante Vorgehensweise musste für diese Situation adaptiert werden. Anstelle der Entwicklung eines Geschäftsmodells in Form eines skalierbaren Businesscase wurde der Entscheidungs- und Auswahlprozess an einem Beispiel exemplarisch aufgezeigt und dessen Wirtschaftlichkeit überprüft.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Best-Practice-Studie

In der Best-Practice-Studie wurden verschiedene Konzepte betrachtet:

- car2go (Carsharing nach dem „free-floating"-Prinzip)
- HANNOVERmobil (Kombiniertes Mobilitätsangebot für ÖV-Zeitkarteninhabern)
- ElectroDrive Salzburg (Leasingverträge für Autos, Fahrräder, Segways)
- Aktivitäten der STAWAG Aachen (Stromhandel, Abrechnungsverfahren)
- Aktivitäten der Stadtwerke Trier (Infrastrukturdienstleistungen)
- mobil.punkt Bremen (Vernetzung von Bus, Straßenbahn und Carsharing an sinnvollen Punkten)
- Autolib' Paris (Carsharing nach dem „free-floating"-Prinzip)

Wesentliche Erkenntnisse beziehen sich auf Wirtschaftlichkeit, Technik und beteiligte Akteure.
Fast alle befragten Unternehmen gaben an, die Elektromobilität als strategisches Geschäftsfeld zu sehen, da die Angebote unter Einbeziehung von Elektro-Pkw derzeit **nicht wirtschaftlich** betrieben werden können (öffentlich oder privat querfinanziert). Problematisch sind insbesondere auch die hohen Anschaffungskosten für Elektrofahrzeuge.
Als weitere Hemmnisse werden zum einen **fehlende technische Standards** in der Branche (z. B. genormte Ladestecker) und zum anderen die schwach ausgebaute Ladeinfrastruktur gesehen (Anmerkung: Diese Einstellung hat sich mit der Einführung eines europäischen Standards für Ladestecker 2013 womöglich positiv verändert). Die Einführung und Nutzung von Elektrofahrzeugen wird in der Regel in Verbindung mit der Speicherung von Energie, Lastmanagement und „Smart Grids" (siehe auch Modul 7b) gesehen. Die Koordination bzw. **Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure** ist maßgeblich für den Erfolg eines Geschäftsmodells. Insbesondere die Vernetzung der Akteure, die sich mit ihren spezifischen Kompetenzen gegenseitig ergänzen, stellt eine sinnvolle Lösung dar und birgt weniger Risiko als der Versuch, alle benötigten Kompetenzen selbst aufzubauen. Dies ist in der weiteren Bearbeitung als gedankliche Basis in

die Entwicklung des „Kompetenz-Matchings“ eingeflossen. Weiterhin müssen den potentiellen Kunden die bestehenden Bedenken bezüglich der Nutzung von Elektrofahrzeugen (Stichwort Reichweite) genommen werden. Die Elektromobilität sollte daher nicht als Konkurrenz, sondern eher als Ergänzung zum bisherigen Mobilitätssystem und womöglich als Brückentechnologie für den motorisierten Individualverkehr gesehen und dargestellt werden.

3.2 Ergebnisse der Workshops

Von Interesse für die Partner sind vor allem Erkenntnisse zur Fahrzeugreichweite im Abgleich mit typischen Fahrtrelationen und der in Rheinland-Pfalz vorhandenen Topographie (siehe auch Modul 6a). Der Aspekt Zuverlässigkeit spielt hier eine große Rolle und wird auch von einer Reichweitenprädiktion (siehe auch Modul 7b) erwartet. Als typische Tagesfahrleistungen werden 60 km genannt. Dieser Wert ist deckungsgleich mit den Ergebnissen der Erhebung „Mobilität in Deutschland 2008“ und kann mit den derzeit verfügbaren Elektroautos bewältigt werden. Gründe für die hohe Pkw-Nutzung in Rheinland-Pfalz sind die disperse Raumstruktur und das dünne ÖV-Angebot im ländlichen Raum.
Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird nicht davon ausgegangen, dass Elektrofahrzeuge im Privatbereich Marktanteile gewinnen, in diesem Bereich werden Pedelecs als massentaugliche Elektrofahrzeuge angesehen. Hierzu sind bereits eine Reihe verschiedener Geschäftsmodelle etabliert, neben dem reinen Pedelec-Verkauf sind dies beispielsweise das „Flottenleasing“ sowie Pedelec-Verleih- und Akkutauschangebote.
Für elektrische Fahrzeuge werden vorrangig Flotten, beispielsweise Carsharing, Autovermietungen, Lieferverkehre oder Dienstwagenflotten, genannt. Dem Thema werden momentan vor allem imagerelevante Effekte zugesprochen. Deutlich wurde aus Verkehrssicht, dass der mit dem Pkw durchgeführte berufliche Pendlerverkehr bei den meisten Netzwerkpartnern zu Engpässen im Parkraum führt.
Als größtes Hemmnis für den Einsatz von Elektrofahrzeugen werden aktuell die hohen Anschaffungskosten der Elektrofahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Verbrennerfahrzeugen sowie Unsicherheiten hinsichtlich Werterhalt und Batterielebensdauer gesehen.
Die im Netzwerk vertretenen Stärken der Partner liegen vorrangig in den Bereichen Planung, Beratung (Consulting), Kommunikation, Bau (Infrastruktur), Betrieb und Wartung. Energieversorgungsunternehmen sind im Kreis der Netzwerkpartner leicht überrepräsentiert.
Als mögliche Geschäftsmodelle wurden von den Partnern drei Ideen vorgeschlagen:

- **Mobilitätsportale für Unternehmen** unter Einbeziehung intermodaler Verkehrsangebote, Mobilitätszentrale als internetgestütztes Werkzeug
- **Elektromobile Events** zur Akzeptanzsteigerung, Wissensverbreitung und Sensibilisierung
- **Mobilitätskarten**, die verschiedene Mobilitätsangebote auf einem Zugangsmedium bündeln und eine zentralisierte Abrechnung ermöglichen

Im Rahmen der Workshops wurde darüber hinaus ein Brainstorming zu Kompetenzen und Problemen der Unternehmen sowie zu Bewertungsindikatoren für elektromobile Geschäftsmodelle durchgeführt, was in der weiteren Bearbeitung das Kompetenz-Matching und die Gestaltung der Betriebsbefragung eingeflossen ist. Der wichtigste genannte Bewertungsindikator, die Wirtschaftlichkeit, entspricht dem Projektziel dieses Moduls.

3.3 Ergebnisse aus der Betriebsbefragung

Von etwa 30 Netzwerkpartnern haben 6 Unternehmen an der Betriebsbefragung teilgenommen, was einer Rücklaufquote von 20 % entspricht. Unter den Teilnehmern befinden sich gleichermaßen kleine und große Unternehmen (zwischen 6 und 515 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter).
Die meisten Beschäftigten haben eine normale Arbeitszeit mit Gleitzeit. Dienstreisen erfolgen

mit dem Dienstwagen und öffentlichen Verkehrsmitteln. Bis auf eine Ausnahme haben alle teilnehmenden Unternehmen hierzu Regelungen erlassen, die allesamt die Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln in den Vordergrund stellen. Die Organisation der Dienstreise erfolgt gleichermaßen zentral und dezentral, unabhängig von der Betriebsgröße. Im Mittel halten die Unternehmen 0,5 Stellplätze je beschäftigter Person vor. Bei zwei Unternehmen ist eine Nutzungsberechtigung erforderlich, die einmal nach Betriebshierarchie und einmal Entfernung zum Wohnort vergeben wird. Keines der Unternehmen erhebt Parkgebühren. Die Parkplätze sind an Werktagen überwiegend gut ausgelastet und in zwei Fällen überlastet. Mit weitem Abstand ist der konventionelle Pkw mit Verbrennungsmotor das am häufigsten vorhandene Dienstfahrzeug. Fahrräder und Pedelecs sind als Dienstfahrzeuge die Ausnahme, E-Bikes bzw. Elektroroller werden nicht genutzt. Ein kleiner Teil dieser Fahrzeuge kann auch privat genutzt werden. Elektro-Pkw sind nicht weit verbreitet. Mit insgesamt 44 und 35 Stück sind Lieferfahrzeuge bis 3,5 Tonnen und Lkw über 3,5 Tonnen der häufigste Fahrzeugtyp. Zwei der teilnehmenden Unternehmen haben eine mit Mobilitätsmanagement beauftrage Person. Als Maßnahmen in diesem Bereich werden in drei Unternehmen Vergünstigungen für ÖPNV-Fahrkarten angeboten, in einem Unternehmen gibt es Duschen für Radfahrende, ein weiteres (Verkehrs-)Unternehmen gestattet den Beschäftigten die kostenlose Mitfahrt in den eigenen Bussen. Die Eigenenergieerzeugung erfolgt – den teilnehmenden Energieversorger außen vor gelassen – überwiegend mittels Photovoltaikanlagen, ein Unternehmen betreibt eine Windkraftanlage. Die gesamte Installierte Leistung liegt bei den Photovoltaikanalgen bei etwa 280 kW, die durchschnittlichen Volllaststunden im Jahr liegen bei circa 800. Dem teilnehmenden Energieversorger stehen gleichermaßen Gasturbinen, Dampfturbinen und KWK-Anlagen mit entsprechender Leistung zur Verfügung.
Ergänzend wurden, wie bereits im Rahmen des Workshops, Probleme und Kompetenzen abgefragt, die in das „Kompetenz-Matching" eingeflossen sind (siehe 3.4).

3.4 Ergebnisse aus dem „Kompetenz-Matching"

Dem Grundgedanken folgend, dass ein Netzwerkpartner durch eine bestimmte Kompetenz das Problem eines anderen lösen kann, wurden mögliche Kooperationsmöglichkeiten bzw. Maßnahmenbausteine ermittelt. Die Durchführung erfolgte mit Hilfe eines offenen Brainstormings und – als Weiterentwicklung aus dem Workshop – in der standardisierten Betriebsbefragung mittels Onlinefragebogen. Die Nennung der Kompetenzen und Probleme aus beiden Erhebungen sind in Tab. M8c-1 dargestellt. Im Ergebnis liegt beispielsweise im Bereich der Mobilitätsinfrastruktur (u.a. Fuhrpark, Kfz-Wartung) Potential. Eine Kooperation in Form eines Carsharingmo-

	Workshop		Betriebsbefragung	
	Kompetenz	Problem	Kompetenz	Problem
E-Fahrzeugtechnik (Hersteller, Zuliefer, Umbauer, Messtechnik, etc.)	2		1	4
Energiewirtschaftliches Know-how (Stromhandel)	1		3	
Flottenmanagement (ÖV, Taxi, Carsharing…)			2	
Infrastruktur Mobilität (Fuhrpark, Kfz-Wartung, Stellplätze etc.)	2	3	3	1
Infrastruktur Netz: Ladeinfrastruktur, Lademanagement	3	2	2	
Marketing/Öffentlichkeitsarbeit	2		2	1
Netzwerken (Vermittlung von Geschäftsbeziehungen)			4	
Ökologische Bilanzierung (Primärenergieverbrauch, Emissionen, etc.)	2		2	1
Ökonomische Bilanzierung			4	
ÖPNV-Anbindung schlecht*		3		
Parkraumbewirtschaftung / Parkraumbereitstellung		3		
Stromerzeugung	2		3	
Vertrieb			2	

** Die ÖPNV-Anbindung wurde in der standardisierten Betriebsbefragung nicht thematisiert, da dies vor allem vom Wohnort der Beschäftigten abhängig ist.*

Tab. M8c-1: Kompetenz-Matching (Quelle: Eigene Darstellung)

dells wird daher in der weiteren Bearbeitung in die Konzeption des Geschäftsmodells einfließen.

Deutlich wird, dass die Denkweise einer Kooperation verschiedener Unternehmen (und Wirtschaftszweige) an einem Standort richtig ist und die Unternehmen – wie angenommen – Probleme und Kompetenzen aufweisen, die sich gegenseitig ergänzen. Eine weitere Anwendung dieser Methode an größeren Gewerbestandorten ist im Rahmen eines betrieblichen Mobilitätsmanagements daher empfehlenswert.

3.5 Ergebnisse aus der Mitarbeiterbefragung

Von den sechs Unternehmen, die an der Betriebsbefragung teilgenommen haben, waren zwei bereit, eine weitergehende Befragung der Belegschaft durchzuführen: Ein Forschungsinstitut mit etwa 50 Beschäftigten und ein Mischkonzern aus Energieversorger und Verkehrsunternehmen mit rund 700 Beschäftigten. Im Folgenden werden die Bilanzierung des Verkehrsaufwands und die Abschätzung der Reduktionsmöglichkeiten beispielhaft anhand des Energieversorgers bzw. Verkehrsunternehmens aufgezeigt.
Ansatzpunkte sind hierbei die Verlagerung auf andere Verkehrsmittel, die Effizienzsteigerung der Fahrzeuge (Endenergiebedarf) sowie die Deckung des elektrischen Energiebedarfs aus erneuerbaren Energien (unter Berücksichtigung des zusätzlichen Energiebedarfs).
Die erhobenen Daten werden in einem vierstufigen Verfahren ausgewertet, um Wege für eine Reduzierung des durch das Pendeln induzierten Energieverbrauchs aufzuzeigen (siehe Abb. 4). Im ersten Schritt wird die Verkehrsmittelwahl der Beschäftigten für den Weg zur Arbeit analysiert. Das Auto (Selbstfahrerin bzw. Selbstfahrer) wird zu 70 % täglich oder fast täglich für den Arbeitsweg im Winter genutzt. Im Sommer lässt sich eine leichte Bevorzugung des Fahrrades bzw. des Motorrades feststellen. Während die Bahnnutzung nur wenig Schwankung unterliegt, wird der Bus im Winter häufiger genutzt. Im zweiten Schritt wird das theoretische Verlagerungspotential vom Auto hin zu ÖPNV, Rad- und Fußverkehr abgeschätzt. Für den überwiegenden Teil der Beschäftigten, die das Auto nutzen (62 %) ist aufgrund der großen Entfernung zwischen Wohnort und Arbeitsplatz (über 8km) nur eine Verlagerung auf den ÖPNV, sofern vorhanden, beziehungsweise auf Fahrgemeinschaften denkbar. Personen, die näher am Arbeitsplatz wohnen, können auf Pedelecs oder Fahrräder zurückgreifen beziehungsweise zu Fuß zur Betriebsstätte gelangen. Aus den weiteren Befragungsergebnissen (hier nicht dargestellt) geht hervor, dass der überwiegende Teil der autofahrenden Befragten nicht bereit ist, das Verkehrsmittel zu wechseln. Immerhin 35 % könnten sich jedoch die Gründung einer Fahrgemeinschaft vorstellen. In Schritt drei wird der Energieaufwand errechnet (siehe Gleichung 2 unten).

Als Anzahl der Produktivtage pro Jahr werden 175 Tage angenommen. Der recht niedrige Wert ist in der Einberechnung von Teilzeitarbeit begründet (vgl. [5]). Der Endenergieverbrauch liegt für die Autofahrer zwischen ca. 1.200 MWh/Jahr im Sommer und ca. 1.600 MWh/Jahr im Winter. Erwartungsgemäß ist der Energieverbrauch bei den Autofahrern am größten. Dies

$$W_{U,j} = (\bar{x}_U \cdot 2) \cdot N_U \cdot T_U \cdot V_j \cdot E_j \qquad \text{Gleichung (2)}$$

mit:

$W_{U,j}$	=	Endenergieverbrauch eines Unternehmens U für Verkehrsmittel j pro Jahr	[kWh]
$\bar{x}_U$	=	Mittelwert der Wegstrecke Wohnen-Arbeiten aller Beschäftigten des Unternehmens U	
N_U	=	Anzahl der Beschäftigten des Unternehmens U	
T_U	=	Anzahl der jährlichen Arbeitstage im Unternehmen U	
V_j	=	Nutzungshäufigkeit des Verkehrsmittels j am Verkehrsaufwand des Unternehmens U	[%]
E_j	=	Spezifischer Endenergieverbrauch bzw.-äquivalent des Verkehrsmittels j	

erklärt sich durch die häufige Nutzung, sowie die ineffiziente Antriebstechnik und den niedrigen Besetzungsgrad. Der letzte Schritt zeigt stufenweise ein Szenario für den Umstieg der Autofahrer auf alternative Verkehrsmittel beziehungswiese Elektrofahrzeuge und dessen Auswirkungen auf den Energieverbrauch auf. Bei einer Verlagerung der Kurzstreckenfahrten (bis 8 km) hin zum Fuß- und Radverkehr, ergibt sich ein Energieverbrauch von rund 800 MWh/a im Sommer und rund 1.200 MWh/a im Winter, was einer Einsparung von 20 % bis 40 % entspricht. Bei einer Verlagerung der verbleibenden Autofahrten (über 8 km) auf Elektrofahrzeuge erhält man eine weitere Einsparung. Der Energieverbrauch sinkt auf nur noch rund 200 MWh/a. Wird an dieser Stelle mit Fahrgemeinschaften operiert und der Besetzungsgrad der Fahrzeuge auf zwei Personen pro Fahrzeug angehoben, so kann nochmals eine Halbierung erreicht werden. Die Szenarien des Endenergieverbrauchs zeigen, dass eine Verwendung von vollelektrischen Fahrzeugen, eine Veränderung des Modal-Splits und eine höhere Auslastung der Fahrzeuge den Endenergieverbrauch massiv senken können. Eine Ökobilanzierung von Elektrofahrzeugen wird in Modul 8a dargestellt, daher wird dieser Aspekt hier nicht weiter verfolgt.

3.6 Konzeption der Geschäftsmodelle und Wirtschaftlichkeitsbewertung

Da die erhobenen Daten – wie bereits erwähnt – zur Aufstellung eines Geschäftsmodells an einem realen Beispiel nicht ausreichen, werden im Folgenden exemplarische Geschäftsmodelle aufgestellt, die aus den vorangegangen Schritten abgeleitet sind.

Aspekt	Wert	Quelle
Anzahl Produktivtage im Jahr	175	[5]
Energiegehalt Benzin	8,97 kWh/l	Berechnung auf Basis von [6]
Durchschnittsverbrauch Pkw	7,5l / 100km	[7]
Durchschnittsverbrauch Krad	6,0l / 100km	[8]
Energieverbrauch Nissan LEAF	15,0 kWh/100km	[9]
Primärenergieverbrauch Bahn Regionalverkehr	1,16 MJ/Pkm	[10]
Primärenergieverbrauch Busverkehr	1,18 MJ/Pkm	[10]
Entfernungsangaben zur Verlagerung auf Fuß- und Radverkehr bzw. ÖV	Siehe Abb.	Annahmen auf Basis von [1]

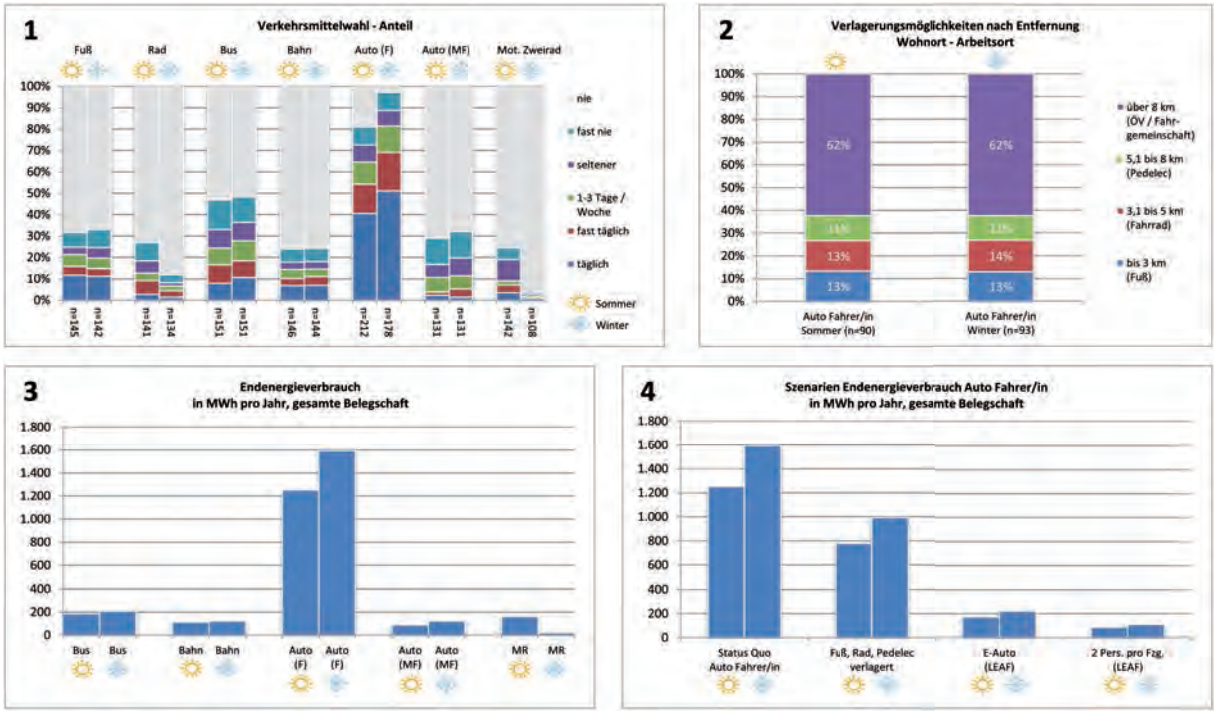


Abb. M8c-2: Auswertungsschema, Diagramme 1-4 (Quelle: Eigene Darstellung)

Als gedankliche Basis werden die beiden Unternehmen herangezogen, bei denen eine Befragung der Belegschaft durchgeführt wurde: ein Verkehrsunternehmen bzw. ein Energieversorger (Mischkonzern) und ein Forschungsinstitut. In der Realität liegen die Firmensitze der beiden befragten Akteure räumlich etwa 70 km voneinander entfernt, weshalb die tatsächliche Nutzung eines gemeinsamen Mobilitätsangebotes nicht realistisch ist. Um die beiden in einem beispielhaften Geschäftsmodell zusammen betrachten zu können, wird im Folgenden unterstellt, dass beide Unternehmen an einem Standort ansässig sind. Bei einer Vollauslastung der Fahrzeuge (Fünf Personen pro Fahrzeug) ergibt sich somit eine notwendige Flottenstärke von 34 Fahrzeugen. Setzt man eine Abdeckung der Lademöglichkeiten von 80 % sowohl für die gewerbliche als auch für die private Nutzung voraus, werden jeweils 27 Anschlusspunkte benötigt. Diese können auf dem Gewerbegebiet in Form von Wallboxen umgesetzt werden, da dieses rund um die Uhr überwacht ist. Für die Ladepunkte im Einzugsgebiet wird in einer ersten Abschätzung eine Verteilung auf sieben öffentliche Ladestationen (mit jeweils zwei Anschlussmöglichkeiten) und 13 Wallboxen vorgeschlagen, die bei den Nutzern zuhause installiert werden. Es wird dabei angenommen, dass die Ladepunkte so verteilt werden, dass zumindest jeweils ein Mitglied einer Fahrgemeinschaft in fußläufiger Nähe zu einer Ladestation wohnt oder eine Wallbox in der eigenen Garage installiert hat. Beide untersuchten Geschäftsmodelle unterstellen zudem eine hohe Bereitschaft der beteiligten Unternehmen möglichst viele Privatfahrer zur Nutzung eines Carsharing-Angebots und zur Teilnahme an einer Fahrgemeinschaft zu animieren.

Geschäftsmodell 1 „Konventioneller Fuhrpark"
Im Geschäftsmodell 1 betreiben die beiden Unternehmen einen gemeinsamen konventionellen Fuhrpark. Ein Teil der Angestellten nutzt diese Fahrzeuge zur An- und Abreise. Fahrzeuge, die während der Arbeitszeit auf dem Firmengelände abgestellt werden, können als Firmenfahrzeuge genutzt werden. Während die gewerbliche Nutzung der Fahrzeuge für die Angestellten kostenfrei ist, wird für die private Nutzung eine Gebühr erhoben, über die sich das System finanziert. Eine Software ermöglicht die Vergabe von Sperrzeiten und stellt sicher, dass Fahrzeuge zu vorreservierten Zeiten zur Verfügung stehen. Die Betankung erfolgt durch die Nutzer. Als Vorgabe muss das ausgeliehene Fahrzeug bei Rückgabe einen Füllstand von mindestens 25 % aufweisen. Die Tankkosten sind im Mietpreis inbegriffen, so dass in den Fahrzeugen entsprechende Kreditkarten für die Bezahlung deponiert werden müssten.

Geschäftsmodell 2 „Elektromobiler Fuhrpark"
Auch im Geschäftsmodell 2 betreiben die beiden Unternehmen einen gemeinsamen Fuhrpark, der jedoch vollständig aus Elektrofahrzeugen besteht. Zusätzlich wird eine entsprechende Ladeinfrastruktur betrieben. Diese besteht aus Wallboxen auf dem Firmengelände sowie aus Ladestationen und Wallboxen, die über das Einzugsgebiet verteilt sind. Die Nutzung erfolgt analog zu Geschäftsmodell 1.

Die Auswahl der verwendeten Eingangsdaten orientiert sich einerseits an einschlägigen Quellen, andererseits erfolgte die Dimensionierung unter Berücksichtigung von Erfahrungen aus vergangenen Projekten. Aus Platzgründen wird an dieser Stelle auf eine vollständige Aufstellung der Eingangsdaten mit Erläuterung der einzelnen Werte verzichtet. Diese kann der Langfassung des Abschlussberichtes zum Modul 8c entnommen werden.
Die Einnahmen orientieren sich beispielsweise an Tarifen aktueller Carsharingangebote. Diesen werden die Investitionsbeträge (samt Kapitalkosten) und die laufenden Kosten für die Fahrzeuge und die Infrastruktur auf der Basis einer jahresweisen Betrachtung gegenüber gestellt. Anschließend werden diese Jahresbilanzen anhand des gewählten kalkulatorischen Zinssatzes auf den Zeitpunkt der Investition abgezinst. Ist der resultierende Kapitalwert positiv, ist das Geschäftsmodell prinzipiell praktikabel. Die beiden Akteure müssen dann entscheiden, ob der Kapitalwert ausreicht, um weitere Kosten wie Verwaltung, zusätzliche Personalkosten etc. zu decken.

Geschäftsmodell 1

Gesamteinnahmen	6.706	€/a
- Kosten	5.413	€/a
Einnahmenüberschuss pro Fahrzeug (Fzg)	1.293	€/a
Kapitalwert insgesamt	*417.157*	*€*

Geschäftsmodell 2

Einnahmen pro Fahrzeug	6.707	€/a
- Kosten pro Fahrzeug	5.656	€/a
Einnahmenüberschuss pro Fzg	1.050	€/a
- Infrastrukturkosten pro Fzg	548	€/a
Einnahmenüberschuss pro Fzg	502	€/a
Kapitalwert insgesamt	*109.978*	*€*

Tab. M8c-2: Wirtschaftlichkeit der Geschäftsmodelle (Quelle: Eigene Darstellung)

Im Ergebnis liegen beide Geschäftsmodelle im wirtschaftlichen Bereich. Dabei ist das Geschäftsmodell 1 – auf Basis konventioneller Verbrennungsfahrzeuge – mit einem fast viermal höheren Kapitalwert zum aktuellen Zeitpunkt betriebswirtschaftlich deutlich interessanter als das Geschäftsmodell mit elektrischer Fahrzeugflotte.

In der anschließenden Sensitivitätsanalyse werden alle Parameter, die in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eingeflossen sind, hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Wirtschaftlichkeit untersucht. Hierzu wird betrachtet, wie stark sich der Einnahmenüberschuss bei Variation eines jeden Parameters um +/- 25 % bzw. +/- 50 % verändert. Das Ergebnis ist eine Funktion in Form einer Gerade für jede Eingangsgröße. Je positiver bzw. negativer die Steigung dieser jeweiligen Gerade ausfällt, umso stärker wirkt sich der jeweilige Parameter auf die Wirtschaftlichkeit (resultierender Kapitalwert) aus, wenn er in die entsprechende Richtung beeinflusst wird. Eine Darstellung der Sensitivitäten aller Eingangsparameter ist ebenfalls der Langfassung des Abschlussberichtes zum Modul 8c zu entnehmen.

Abbildung 5 zeigt eine Auswahl der betrachteten Parameter, die eine besonders hohe Sensitivität aufweisen. Das bedeutet, dass sich eine Änderung oder Beeinflussung dieser Parameter – im Vergleich zu anderen Parametern – besonders stark auf die Wirtschaftlichkeit des Geschäftsmodelles auswirkt. So sieht man z. B., dass neben der Auslastung der Preis pro Kilometer (für die Nutzung bis 100 km) erwartungsgemäß auch die Länge der Tagesstrecke der Privatfahrten im Zeitraum 7:00 Uhr bis 24:00 Uhr eine sehr große Rolle spielen, da hier der Großteil der Einnahmen des Geschäftsmodells generiert werden. Mithilfe der Variationsdarstellung lässt sich sehr schnell überschlägig erkennen, dass z. B. der Einnahmenüberschuss um fast das Doppelte ansteigt, wenn die Auslastung um 25 % gesteigert werden kann.

Die Sensitivitätsanalyse für das Geschäftsmodell 2 liefert in Bezug auf dieselben ausgewählten Parameter wie bei Geschäftsmodell 1 ähnliche Sensitivitäten. Unterschiedlich jedoch ist das Niveau des Kapitalwertes.

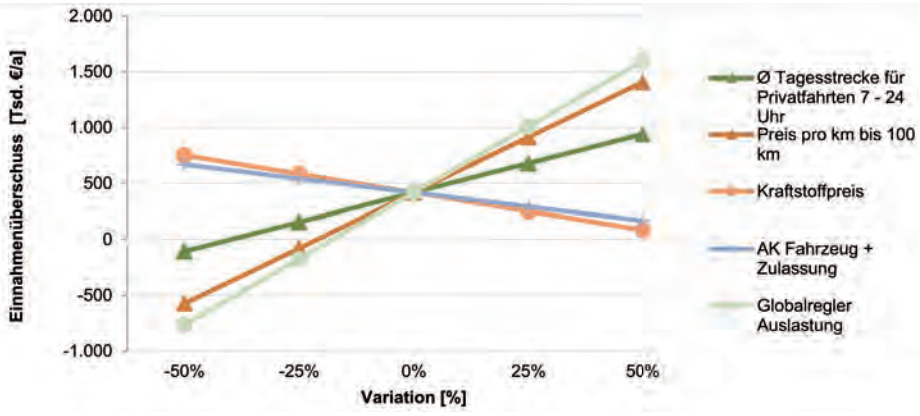


Abb. M8c-3: Sensitivitätsanalyse am Beispiel des Geschäftsmodells 1 - Auswahl an besonders sensitiven Eingangsgrößen (Quelle: Eigene Darstellung)

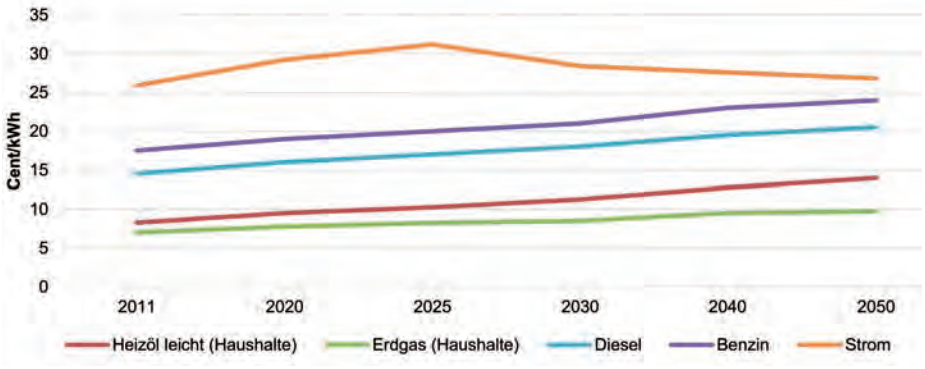


Abb. M8c-4: Prognostizierte Entwicklung der Verbraucherpreise für Strom und fossile Energieträger 2011 bis 2050 (Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von [11])

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse ermöglichen Rückschlüsse auf mögliche Stellschrauben zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. Eine Möglichkeit, die Wirtschaftlichkeit positiv zu beeinflussen, wäre eine Erhöhung der relevanten Stellgrößen „Auslastung" und „Tarife". Eine Erhöhung des „7:00 Uhr bis 24:00 Uhr"-Tarifs um beispielsweise einen Euro würde den Kapitalwert verdoppeln und den Einnahmenüberschuss um rund 50 % erhöhen. Um eine Wirtschaftlichkeit nahe der von Geschäftsmodell 1 zu erreichen, wäre eine Tariferhöhung um rund 2,50 € notwendig. Inwieweit solche Tarifgestaltungen in der Realität auf Akzeptanz der Nutzer stoßen würde, lässt sich im Rahmen dieser Studie nicht abschätzen.

Eine andere Möglichkeit wäre die Kostenminimierung. Die Hauptkostentreiber stellen Energiekosten sowie die Anschaffungskosten für Fahrzeuge dar. Im Bereich Strom ist seit dem Jahr 2000 eine relativ konstante Preissteigerung von etwa sieben Prozent pro Jahr für Haushaltsstrom zu beobachten. ewi, gws, prognos (2014) gehen davon aus, dass es bis 2025 zu weiterhin steigenden Endverbraucherpreisen kommen wird. In den Szenarien wird mit Strompreisen von ca. 0,29 bis 0,31,5 €/kWh zwischen 2020 und 2025 gerechnet ([11], S.16).

Die Kraftstoffpreise haben sich in den letzten zehn Jahren zwischen rund sechs Prozent (Diesel) und sieben Prozent (Superbenzin) nach oben entwickelt. Ein Ausreißer in der relativ linearen Anstiegskurve stellte vor allem das Jahr 2008 dar, der dem infolge der Finanzkrise gesunkenen Rohölpreis folgte (vgl. [12]). Es ist somit ersichtlich, dass eine wirtschaftliche Entwicklung, die bzgl. der Energiekosten für eine Entlastung sorgen könnte, auf absehbare Zeit nicht zu erwarten ist. Um die Preise der verschiedenen Kraftstoffe in Relation mit dem Strompreis setzen zu können, bietet sich ein Vergleich auf Basis der Äquivalenzwerte an.

Anderes ist bei den Anschaffungskosten für die Fahrzeuge zu beobachten: Hier kann davon ausgegangen werden, dass die Neupreise für Elektromobile in den kommenden Jahren deutlich sinken und das Niveau der fossilen Konkurrenz erreichen werden. Dies könnte wiederum dazu führen, dass sich auch im Bereich der Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb die Preise nach unten entwickeln werden, sodass bei beiden Geschäftsmodellen hier in einem Zeitraum von wenigen Jahren noch kostensenkende Effekte zum Tragen kommen könnten (vgl. [13]).

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Geschäftsmodelle zu vernetzter Mobilität und teilweise unter Einbeziehung von Elektrofahrzeugen sind bereits in der Pilotphase, wobei Aktivitäten in diesem Themenfeld oftmals strategische Ausrichtung haben und daher trotz teilweise defizitärem Ergebnis betrieben werden. Übergeordnete Problemlagen sind nach wie vor im Bereich fehlender Standards (hinsichtlich Zugang und Abrechnung) und schwach ausgebauter Ladeinfrastruktur zu sehen. Die Best-Practice-Beispiele zeigen zudem, dass die Koordination bzw. Zusammenarbeit von verschiedenen Akteuren aus unterschiedlichen Wirtschaftszweigen maßgeblich ist für den Erfolg eines Geschäftsmodells.

Die Partner des Netzwerks Elektromobilität Rheinland-Pfalz thematisieren darüber hinaus Fahrzeugreichweiten und heben die Aspekte Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen. Potential wird hier vor allem in Informationsangeboten und der Bewerbung von Elektromobilität gesehen, aber auch im Bereich von umfassenden Mobilitätsangeboten auf einer Karte. Die verwendete Methodik aus Befragungen im Sinne des Mobilitätsmanagements hat hauptsächlich Informationen zu möglichen Mobilitätsformen ergeben, ein Geschäftsmodell ließ sich jedoch nicht direkt ableiten, denn die dazu notwendigen Berechnungsgrundlagen sind in der Regel von den Unternehmen als vertraulich eingestuft und werden nicht weitergegeben. Die Methode des „Kompetenz-Matching" kann dennoch z. B. an größeren gewerblichen Standorten eingesetzt werden, um dort unternehmens- und wirtschaftszweigübergreifende Mobilitätszusammenhänge zu ermitteln, aufbauend darauf eine Zusammenarbeit und Vernetzung zu etablieren sowie eine Sensibilisierung zu Mobilitätsfragestellung zu erreichen.

Die im Rahmen dieser Studie geprüften beispielhaften Geschäftsmodelle liefern Ergebnisse im wirtschaftlichen Bereich, wobei derzeit noch ein Fuhrpark mit verbrennungsbetriebenen Fahrzeugen wirtschaftlicher ist als der Fuhrpark mit Elektrofahrzeugen. Dies könnte sich aber durch Mengeneffekte, die sich im Bereich der Elektrofahrzeuge ergeben sowie Preisentwicklungen im Energiesektor verändern. Die sehr geringen Einnahmenüberschüsse zeigen jedoch, dass keines der beiden Geschäftsmodelle genug wirtschaftliches Potential bietet, um als alleinige Entscheidungsgrundlage zur Eröffnung eines neuen Geschäftsfeldes zu dienen. Da beide geprüften Geschäftsmodelle jedoch prinzipiell kostendeckend betrieben werden können sind sie für Vorhaben, bei denen eine Gewinnerwirtschaftung nicht das primäre Ziel der Aktivitäten darstellt, durchaus von Interesse. Denkbar ist hier nach wie vor eine Anwendung im Rahmen von Standortbezogenem Mobilitätsmanagement.
Forschungsbedarf besteht weiterhin in der wirtschaftlichen Detailbetrachtung elektromobiler Geschäftsmodelle. Forschungsvorhaben in diesem Bereich sollten unter Einbindung von etablierten Anbietern verschiedener Verkehrsleistungen erfolgen, um die nötige Datenlage zu gewährleisten.

5. Quellen

[1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bundesweite Erhebung „Mobilität in Deutschland 2008"

[2] Koppen, Georg-Friedrich; Ahrens, Gerd-Axel; Baron, Sascha; Beckmann, Klaus J.; Frank, André; Knapstein, Yvonne; Krause, Juliane; Schäfer, Karl H.; Stete, Gisela; Stiewe, Mechtild: Hinweise zur Beteiligung und Kooperation in der Verkehrsplanung. (FGSV)

[3] Reutter, Ulrike ; Kemming, Herbert: Mobilitätsmanagement - eine historische, verkehrspolitische und planungswissenschaftliche Einordnung. In: Mobilitätsmanagement - Wissenschaftliche Grundlagen und Wirkungen in der Praxis. Stiewe, Mechtild and Reutter, Ulrike, 2012, S. 16–29

[4] Haendschke, Stefan: Mobilitätsmanagement als klima- und energiepolitisches Instrument. In: Mobilitätsmanagement - Wissenschaftliche Grundlagen und Wirkungen in der Praxis. Stiewe, Mechtild and Reutter, Ulrike, 2012, S. 154–163

[5] http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61711/arbeitszeit, abgerufen am: 23.10.2013

[6] DIN EN 228 – Unverbleite Ottokraftstoffe – Anforderungen und Prüfverfahren (Januar 2013)

[7] http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2330, abgerufen am: 10.09.2013

[8] http://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/IFEU%282004%29_Motorrad-Umwelt-Liste_Endbericht.pdf, abgerufen am: 10.09.2013

[9] http://www.nissan.de/DE/de/vehicle/electric-vehicles/leaf/prices-and-equipment/prices-and-specifications/model-details.106541_105000_105250.html, abgerufen am: 10.09.2013

[10] DB AG (Hrsg): Kennzahlen und Fakten zur Nachhaltigkeit 2011, http://www.deutschebahn.com/de/nachhaltigkeit/publikationen/nh_kennzahlen.html, abgerufen am: 10.09.2013

[11] Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Projekt Nr. 57/12 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Basel, Köln, Osnabrück, 2014.

[12] http://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/kraftstoffpreise/kraftstoff-durchschnittspreise/, abgerufen am 31.30.2014

[13] Thomsen, L., Elektromobilität: Revolution der Automobilindustrie. Vortrag auf der 26. internationalen „Motor und Umwelt"-Konferenz der AVL List GmbH, Graz, 12. Sep. 2013

Feldtest TU Kaiserslautern - Erfahrungsbericht

Autor: Johannes Roos

1. Überblick über die benötigten Komponenten

Im Rahmen des Netzwerks Elektromobilität Rheinland-Pfalz fanden Feldtests mit Elektrofahrzeugen statt. An der TU Kaiserslautern wurde dafür ein Dienstwagenverleihsystem mit Elektrofahrzeugen etabliert. Hierzu waren verschiedene Komponenten nötig. Es unterscheidet sich vom konventionellen Dienstwagenverkehr an der TU Kaiserslautern durch die zusätzliche Integration der beiden Komponenten Buchungsmanagement und Ladeinfrastruktur. Die Komponenten Nutzerkreis und Fahrzeuge sind grundsätzlich identisch, mussten jedoch an die geänderten Bedingungen angepasst werden. Jede dieser Komponenten bedingt die Einbindung unterschiedlicher Akteure an der Hochschule und hat unterschiedlich lange Vorlaufzeiten.

Abb. F-1: Komponenten

Die Komponenten sind in Abbildung F-1 dargestellt. Die einzelnen Bestandteile sind dabei idealerweise miteinander vernetzt und tauschen relevante Statusinformationen aus, um einen reibungslosen und komfortablen Betrieb zu ermöglichen.

Die folgenden Kapitel widmen sich der Umsetzung der einzelnen Komponenten und der Vorstellung der beteiligten Akteure.

2. Umsetzung

In diesem Abschnitt wird die Umsetzung an der TU Kaiserslautern bezogen auf die einzelnen Komponenten beschrieben.

Der Gesamtprozess an der TU Kaiserslautern ist in Abbildung F-2 visualisiert. Darin enthalten sind die einzelnen Schritte sowie die beteiligten Akteure über den gesamten Projektzeitraum.

Entgegen der Eingangsforderung nach einer durchgehenden Vernetzung der einzelnen Komponenten ist diese an der TU Kaiserslautern aus Aufwandsgründen nicht durchgehend umgesetzt worden. Folgende Schnittstellen waren vorhanden:

- Nutzer – Buchungssystem
- Fahrzeug – Ladeinfrastruktur
- Nutzer – Fahrzeug
- Nutzer – Ladeinfrastruktur

Damit hat der Nutzer zwar die Möglichkeit, über das Buchungssystem sich ein freies Fahrzeug zu buchen. Der aktuelle Zustand des Fahrzeugs wird ihm jedoch nicht angezeigt, da die Fahrzeuge nur mit der Ladeinfrastruktur interagieren, diese Informationen aber nicht an das Buchungssystem weitergegeben werden.

2.1 Fahrzeuge

2.1.1 Allgemeines

Im Rahmen des Feldtests wurden an der TU Kaiserslautern zwei Elektrofahrzeuge angeschafft. Das eine Auto sollte ein PKW der Mittelklasse mit mindestens vier Sitzplätzen sein sowie ausreichend Stauraum für Gepäck. Das zweite Auto ist ein leichtes Nutzfahrzeug mit fünf Sitzplätzen, das ebenfalls mit dem Führerschein der Klasse B gefahren werden darf.

2.1.2 Beschaffung

Aufgrund der Vergabevorschriften der öffentlichen Hand wurde eine Vergleichsliste mit 16 verschiedenen Kriterien erstellt. Die gewünschten Autos sollten für die Projektdauer geleast werden. Ende Oktober 2012 fand die Beauftragung über Vergleichsangebote statt und Ende November erfolgte dann die Überführung der beiden Fahrzeuge an die TU Kaiserslautern.

Der Kriterienkatalog umfasste folgende Punkte:

- Konzeption als Elektrofahrzeug (kein Umrüstfahrzeug)
- Zulassung „B" (Pkw-Zulassung)
- 5-Sitzer (laut Zulassung)
- Ladefläche (nur für leichtes Nutzfahrzeug)
- Reichweite
  - PKW ≥ 150 km
  - Leichtes NFZ ≥ 110 km
- Verfügbarkeit unter 2 Monaten
- CAN/OBD Datenzugriff
- Kooperationsbereitschaft (Hersteller) zur Datenerhebung im Fahrzeug
- Ladedauer unter 8 Stunden mit Haushaltssteckdose
- Schnellladefähigkeit
- Erfahrungen anderer Partner
- Leasing mit FullService möglich
- Kosten € ≤ 40.000 €

Die Kriterien wurden anschließend gewichtet und die Merkmale der Fahrzeuge eingetragen. Daraus ergab sich eine Tabelle mit allen Fahrzeugen. Ausgewählt wurden letztlich der Nissan LEAF als Modell der Mittelklasse und der Renault Kangoo Zero Emission.

2.1.3 Versicherung

Entgegen der Landesregelung, wonach für Landesfahrzeuge keine Haftpflichtversicherung nach § 2 Abs. 1 Nr. 2 des Pflichtversicherungsgesetzes (PflVG) vorgeschrieben ist, waren beide Fahrzeuge der TU Kaiserslautern vollkaskoversichert, da ein Ausfall der Fahrzeuge nicht über das Forschungsbudget abgedeckt werden konnte. Für den Nissan Leaf bestand ein Full-Service-Leasing inklusive Versicherung. Der Renault Kangoo Z.E. wurde einzeln versichert. Während der Projektlaufzeit wurde die Versicherung des Nissan Leaf aus dem Leasingvertrag herausgelöst und eine neue Versicherung abgeschlossen, nachdem die Prämie durch den Leasinggeber erhöht worden ist.

2.1.4 Fahrzeugunterhaltung

LRS und imove trugen die administrativen Aufgaben der Fahrzeugbetreuung. Dies sind unter anderem die Versicherungsangelegenheiten und Zulassung der Fahrzeuge sowie die regelmäßige Wartung und Pflege der Fahrzeuge.

Für die täglich anfallenden Arbeiten wurde ein studentischer Mitarbeiter engagiert, der sich in Zusammenarbeit mit der Servicestelle Campus (HA-Z), die unter anderem auch die konventionellen Dienstwagen betreut, um die Pflege der Fahrzeuge kümmert und gleichzeitig Ansprechpartner für die Nutzer ist. Zu den Aufgaben gehörten die regelmäßigen Waschstraßenbesuche, die Innenraumpflege sowie regelmäßige Sichtkontrollen und allfällige Werkstattfahrten.

2.2 Ladeinfrastruktur

2.2.1 Allgemeines

Auf dem Campus der TU Kaiserslautern wurden zwei unterschiedliche Ladesysteme (Ladesäule und Park & Charge Box) betrieben. Die Ladesäule wurde exklusiv für den täglichen Einsatz der beiden universitätseigenen elektrischen Dienstfahrzeuge verwendet. Die „Park & Charge Boxen" sind für Besucher der Universität gedacht und waren zudem als Rückfallebene bei einem Ausfall der Ladesäule gedacht. In der Anlaufphase des Feldtests dienten sie zudem als Interimslösung bis zur endgültigen Inbetriebnahme der Ladesäule.

2.2.2 Beschaffung

Ladesäulen
Die Beschaffung der Ladesäule wurde über eine Bedarfsanmeldung im September 2012 angestoßen. Im Oktober 2012 fand dann eine Ausschreibung nach dem Kriterienkatalog von imove und LRS statt. Die Angebote der verschiedenen Anbieter wurden verglichen und das wirtschaftlichste ausgewählt. Im Februar 2013 wurde die Firma Rohde & Schwarz beauftragt. Ende Mai 2013 wurde die Ladesäule geliefert.

2.2.3 Inbetriebnahme

Ladesäulen
Für die notwendigen Baumaßnahmen vor Inbetriebnahme wurde im September 2012 ein Umbauantrag bei der Universitätsverwaltung (HA 5) gestellt. Dieser beinhaltete:

- Vorarbeiten für die Ladesäulen
- Anfertigung einer Fundamentplatte mit Kabeldurchführung
- Vorbereitung und Verlegung eines Leerrohrs und Netzwerkanschlusses
- Markierungsarbeiten
- Anbringen von Parkbügeln und Infotafeln

Die Ladesäule wurde durch die Hauptabteilung (HA 5) montiert. Die Inbetriebnahme erfolgte gemeinsam durch imove und LRS.

2.3 Nutzer

2.3.1 Nutzerkreis

Im Rahmen des allgemeinen Hochschuldienstreiseverkehrs war vorgesehen, dass beide Fahrzeuge allen Hochschulmitarbeitern entgeltfrei zur Verfügung gestellt werden, um eine hohe Nutzungsintensität und eine breite Datenbasis zu erreichen. Jeder Hochschulangehörige mit einem laufenden Arbeitsvertrag sowie einem gültigen Führerschein war grundsätzlich berechtigt, die Fahrzeuge zu nutzen.

2.3.2 Formalien für die Nutzung der Fahrzeuge

Damit die Elektrofahrzeuge ohne bürokratische Hürden von allen Mitarbeitern der TU flexibel und häufig genutzt werden konnten, mussten im Vorfeld eine unkomplizierte Lösung gefunden werden, die die strikten Vorgaben der konventionellen Dienstwagennutzung lockert.

Die reiserechtlichen Anforderungen für die Nutzung der Dienstwagen wurden in Zusammenarbeit mit der Hauptabteilung 3 erarbeitet. Grundsätzlich wird im Reiserecht zwischen Dienstgang und Dienstfahrt unterschieden. Dienstgang ist die Nutzung des Fahrzeuges für Erledigungen am Dienstort außerhalb des Dienstgeländes. Dienstort ist im Fall der Universität das Stadtgebiet von Kaiserslautern. Diese Fahrten können mündlich oder auch nachträglich genehmigt werden. Eine Dienstfahrt beinhaltet Erledigungen außerhalb des Dienstortes. Diese Fahrten müssen schriftlich vor Antritt durch die Kostenstelleninhaber und die zuständigen Dekanate genehmigt werden. Zusätzlich ist für die Nutzung von Dienstfahrzeugen jeglicher Art generell ein separater Nutzungsantrag erforderlich.

Allerdings konnte dieses Verfahren für die Elektrofahrzeuge wesentlich vereinfacht werden, indem mit pauschalen Anträgen gearbeitet wurde. Der Entleiher ist in diesem Fall selbst für das Vorliegen eines gültigen Dienstreiseantrages verantwortlich. Sollte dieser nicht vorliegen, so haftet er persönlich. Der vom Nutzer und dem zuständigen Kostenstelleninhaber unterzeichnete Nutzungsantrag für die Elektrofahrzeuge wurde einmalig bei der Servicestelle Campus (HA-Z) eingereicht. Sodann erfolgte die Freischaltung für das Buchungssystem und das Fahrzeug konnte jederzeit ausgeliehen werden.

2.3.3 Abrechnung

Die Reisekosten werden durch die gewohnte Abrechnung beglichen. Benötigt wird eine Kopie sowohl des pauschalen Dienstreiseantrags als auch des generellen Nutzungsantrags. Extern

entstanden Aufladekosten werden durch eine Barauslage bezahlt. Als Nutzungsanreiz gab es keine sonst übliche Nutzungspauschale.

2.3.4 Betreuung

Außerdem wurden für jedes Auto sowie die Ladeinfrastruktur und den Tresor ein Benutzungsleitfaden und ein erklärendes Video erstellt, der den Nutzern den Umgang mit den Fahrzeugen erleichtern soll.

2.4 Buchungssystem und Schlüsselmanagement

2.4.1 Allgemeines

Aufgrund des großen inhomogenen Nutzerkreises kam für die TU nur ein vollautomatisiertes Buchungs- und Schlüsselverwaltungssystem in Frage. Die bereits bestehende Methode für die konventionellen Dienstfahrzeuge war zu unflexibel und eignete sich nicht für das Ziel einer hohen Nutzungsintensität und Flexibilität.

2.4.2 Beschaffung

Nach intensiven Marktrecherchen über automatisierte Schlüsseltresore und entsprechende Softwarelösungen, wurden im März 2012 erste Anfragen an Hersteller gestellt. Daraufhin wurde ein Anforderungskatalog erstellt. Letztlich hat sich die TU für eine Schlüsseltresorlösung mit gemieteter extern gehosteter Software entschieden. Dies schien für den Projektzeitraum die kostengünstigste und am schnellsten realisierbare Lösung.
Durch freihändige Vergabe über Vergleichsangebote wurde im Juni 2013 der Next Generation Mobility GmbH (Markenname: fleetster) beauftragt, die Tresore samt Software für die TU Kaiserslautern bereitzustellen.

2.4.3 Montage und Inbetriebnahme

Für die Inbetriebnahme des Tresors wurde im Juni 2013 wiederum ein Umbauantrag bei der Universitätsverwaltung gestellt. Dieser beinhaltete:
- Anbringung des Schlüsseltresors
- Herstellen der elektrischen Verbindung
- Herstellen einer Ethernet Verbindung

Die Lieferung erfolgte im Juli 2013. Der Tresor entsprach jedoch nicht den Anforderungen für den vorgesehenen Aufstellort. Die bestellte Adaption für den Außenbereich stellte sich als eine Adaption für Feuchträume heraus. Die Rückwand war nicht abgedichtet, so dass Kondenswasser in das Gerät eindringen konnte. Eine Rücksendung und Neubeauftragung war aus Zeitgründen nur schwer möglich. Daher wurde mit dem Hersteller ein Kompromiss vereinbart und der Tresor in einem elektrischen Schaltschrank installiert. Dieser stellte den notwendigen Wetterschutz sicher, indem er entsprechend abgedichtet und von innen beheizt war, so dass sich kein Kondenswasser bilden konnte. Den Einbau des Tresors übernahmen die zentralen Metallwerkstätten in Absprache mit der Elektroabteilung der TU. Der Tresor konnte im Oktober 2013 aufgestellt und endgültig in Betrieb genommen werden.

Während des Betriebs kam es immer wieder zu Ausfällen, so dass der Tresor gegen ein neues Modell getauscht wurde.

2.4.4 Datenschutz

Zur Sicherstellung der datenschutzrechtlichen Vorgaben, was es nötig einen Vertrag zur Datenverarbeitung im Auftrag mit fleetster zu schließen, da für den Betrieb Daten von Universitätsangehörigen extern verarbeitet werden mussten. Für die Registrierung wurden dabei folgende Daten erhoben:

- Name
- Vorname
- E-Mail Adresse

- Telefonnummer (freiwillig)
- Handynummer (freiwllig)
- Kennwort
- PIN (zur Anmeldung am Schlüsseltresor)
- Kostenstelle (freiwillig)

Bei der Reservierung und Nutzung eines Fahrzeuges wurden zusätzlich folgende Daten erfasst:

- Name
- Vorname
- Ausleihdatum
- Rückgabedatum
- Geschätzte Entfernung
- Wunsch-Fahrzeug

Der Vertrag zur Datenverarbeitung im Auftrag stellte sicher, dass fleetster die Daten vertraulich und sicher behandelt und die entsprechenden Schutzmaßnahmen einleitet. Die Firma unterwirft sich den gültigen deutschen Datenschutzgesetzen. Dies beinhaltet auch das ausschließliche Hosting auf deutschen Servern.

Dieses Vorgehen wurde mit dem Datenschutzbeauftragten und der Rechtsabteilung (HA1) der TU Kaiserslautern abgestimmt.

3. Beteiligte Akteure

Unter Akteuren werden die in den Feldtest eingebundenen Abteilungen der TU verstanden. Hierbei ist zwischen den beiden Instituten imove und LRS und der Verwaltung zu unterscheiden. Die Universitätsleitung gliedert sich in sechs Hauptabteilungen, von denen fünf in den Feldtest involviert waren, sowie das Hochschulrechenzentrum, die allesamt dem Kanzler unterstellt sind.

3.1.1 Hochschulleitung

Allgemeine Aufgaben an der Universität
Die Universitätsleitung besteht aus dem Präsidenten, dem Vizepräsidenten für Forschung und Technologie, dem Vizepräsidenten für Studium und Lehre sowie dem Kanzler.
Der Präsident ist für die Außenvertretung, die Hochschulentwicklung und das Zusammenwirken der Organe zuständig. Der Vizepräsidenten kümmert sich um grundsätzliche Forschungsangelegenheiten und Forschungsförderung sowie um grundsätzliche Angelegenheiten der Lehre und des Studiums.
Der Kanzler ist der leitende Beamte der Verwaltung der Hochschule und erledigt die Rechts- und Verwaltungsangelegenheiten.

Aufgaben im Feldtest
Der Kanzler koordinierte im Feldtest an der TU die Tätigkeiten der verschiedenen Akteure und lädt hierzu immer wieder zu abteilungsübergreifenden Besprechungen ein, um über den aktuellen Sachstand und die weiteren Schritte zu beraten. Außerdem ist er der oberste leitende Vorgesetze der einzelnen Hauptabteilungen.

3.1.2 HA1 Rechtliches und Akademisches

Allgemeine Aufgaben an der Universität
Die Aufgaben der Abteilung Rechtsangelegenheiten umfassen allgemeine Rechtsangelegenheiten der Hochschule, Hochschul- und Hochschulverfassungsrecht, Vertrags- und Forschungsrechtsangelegenheiten und sonstige Rechtsangelegenheiten.

Aufgabe im Feldtest
Die Rechtsabteilung der Universität hat den Vertrag zur Datenverarbeitung im Auftrag mit dem Betreiber des Buchungsportals vorbereitet.

3.1.3 HA2 Finanzen

Allgemeine Aufgaben an der Universität
Die Hauptabteilung 2 „Finanzangelegenheiten" versteht sich als Dienstleister für die in- und externen Kunden der TU Kaiserslautern. Sie gliedert sich in die Aufgabengebiete/Abteilungen Controlling, Haushalt und Drittmittel sowie Beschaffung. Die „Beschaffungsabteilung" ist Ansprechpartner für sämtliche Beschaffungs-

(Grundsatz der zentralen Beschaffung) und Zollangelegenheiten der TU Kaiserslautern und übernimmt die kaufmännische und vergaberechtliche Bearbeitung der Beschaffungsvorgänge. Dies gilt sowohl für Beschaffungen aus Landes- wie auch aus Drittelmitteln.

Aufgabe im Feldtest
Die Hauptabteilung 2 war im Feldtest für alle Beschaffungsvorgänge zuständig, die über der freihändigen Vergabegrenze liegen. Hierzu zählen die Fahrzeuge, die Ladesäule sowie das Buchungssystem.
Die einzelnen Beschaffungen wurden von imove und LRS vorbereitet und begleitet, so dass die HA2 nur für die offizielle Ausführung übernahm.

3.1.4 HA 3 Personal

Allgemeine Aufgaben an der Universität
Die Personalabteilung gliedert sich in zwei Abteilungen. Einerseits die Abteilung für Beamtenrecht und personalrechtliche Nebengebiete, andererseits die Abteilung Arbeits- und Tarifrecht sowie Personalhaushalt. Ihr ist die Reisekostenstelle angegliedert.

Aufgabe im Feldtest
Die HA3 wurde im Feldtest für die Beantwortung reiserechtlicher und haftungsrelevanter Fragenstellungen hinzugezogen.

3.1.5 HA 5 Bau Technik Energie

Allgemeine Aufgaben an der Universität
Die Hauptabteilung 5 betreibt und bewirtschaftet die technischen und baulichen Anlagen der TU Kaiserslautern und unterstützt Forschung und Lehre durch die wissenschaftlichen Werkstätten. Die Hauptaufgabe und das tägliche Kerngeschäft bestehen in der technischen Instandhaltung der Liegenschaft. Darüber hinaus beraten und koordinieren sie die Lehr- und Forschungseinheiten sowie die zentralen Einrichtungen der TU bei Bau- und Umbauplanungen. Kleine bauliche Änderungsmaßnahmen können technisch je nach Kapazität von der HA5 selbst umgesetzt werden.

Aufgabe im Feldtest
Die Hauptabteilung 5 war im Feldtest für alle baulich notwendigen Veränderungen notwendig. Hierunter fallen die Montage der Ladesäule mit allen Zuleitungen sowie des Park&Charge Systems. Zudem wurde von ihr der Schlüsseltresor einschließlich Wetterschutzkasten installiert.

3.1.6 HA Z Zentrale Dienste

Allgemeine Aufgaben an der Universität
Das Aufgabenfeld dieser Abteilung ist sehr umfangreich und betrifft insbesondere folgende Themen: Arbeitssicherheit und aktiver Brandschutz, Organisation und innere Angelegenheiten, Umwelt, Gesundheit, Servicestelle „Campus“ sowie Hausdienste / Außenanlagen und Poststelle / Warenannahme.

Aufgabe im Feldtest
Die Servicestelle Campus arbeitete sehr eng mit imove und LRS zusammen, da dort die Nutzerbetreuung angesiedelt war. Hierzu wurde aus Projektmitteln ein HIWI zur Verfügung gestellt. Die dortigen Mitarbeiter kümmerten sich um die Registrierung der neuen Nutzer und unterstützen bei der Fahrzeugunterhaltung und der Bedienung des Buchungssystems.

3.1.7 Regionales Hochschulrechenzentrum (RHRK)

Allgemeine Aufgaben an der Universität
Das RHRK kümmert sich um Aufgaben in den Themenbereichen Netz und Telefonie, Internetdienste, Software und Lizenzen, Kopieren, Drucken, Scannen, Serverdienste sowie Beratung für alle Fragen rund um das Rechenzentrum.

Aufgabe im Feldtest
Das Rechenzentrum war während des Feldtests in alle Schritte involviert, bei denen ein Netzwerkzugang benötigt wurde. Dies betrifft zum einen die Ladesäulenansteuerung und zum anderen die Anbindung des Schlüsseltresors. Für beide mussten neue Netzwerkanschlüsse verlegt werden.

Außerdem ist der Datenschutzbeauftragte der TU dem RHRK angegliedert. Dieser begleitet die gesamte Langzeitdatenerhebung und den Vertrag zur Auftragsdatenverarbeitung mit fleetster.
3.1.8 imove und LRS.

Allgemeine Aufgaben an der Universität
Das Institut für Mobilität und Verkehr ist ein Fachgebiet des Bauingenieurwesens. Es deckt in der Lehre alle relevanten Verkehrsträger ab und ist in Studiengängen des Bauingenieurwesens und der Raum- und Umweltplanung präsent. In Vorlesungen und Übungen wird der Stoff vermittelt. Dabei liegt der Fokus von imove auf einer nachhaltigen Verkehrsplanung.

Dieser Gedanke setzt sich auch im Forschungsbereich fort. Hier dominieren vor allem Themen, die sich mit effizientem und nachhaltigem Verkehr auseinandersetzen. Hinzu kommen Themen zur Vereinbarkeit von Wohnen und Verkehr sowie der barrierefreien Gestaltung von Verkehrsanlagen.

Der Lehrstuhl für Regelungssysteme im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik betreibt Forschung und Lehre in allen Bereichen der Regelungstechnik. Die Forschungsschwerpunkte sind die Elektromobilität, insbesondere die Netzintegration von und das Energiemanagement in Elektro- und Hybridfahrzeugen, die Regelung von mechatronischen Systemen, leistungselektronischen Systemen und elektrischen Energiesystemen, vernetzte eingebettete Regelungssysteme, modellbasierte Diagnose sowie objektorientierte Modellierung. Für ersteren gibt es mittlerweile auch eine Juniorprofessur. Die Lehrgebiete umfassen die lineare, nichtlineare, optimale und robuste Regelung, die Regelung von Robotersystemen sowie Simulationsmethoden. Seit September 2013 wird die Forschung und Lehre zur Elektromobilität im Fachbereich für Elektrotechnik und Informationstechnik durch eine Juniorprofessur ergänzt.

Aufgaben im Feldtest
imove ist im Feldtest an der TU in vielen Bereichen tätig. Hauptaufgabe ist in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Regelungssysteme das Projektmanagement. Hierunter fällt in erster Linie die Koordinierung der beteiligten Akteure. Hinzu kommt die Vorbereitung von Ausschreibungen für die Beschaffung der benötigten Infrastruktur. Außerdem kümmert sich imove administrativ um die beschafften Fahrzeuge.
Der Lehrstuhl für Regelungssysteme koordiniert und evaluiert in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mobilität und Verkehr den Feldtest an der Technischen Universität Kaiserslautern. Hierzu gehört insbesondere die technische Betreuung der Elektrofahrzeuge und der Ladeinfrastruktur einschließlich der Ausstattung der Elektrofahrzeuge mit Messsystemen. Hinzu kommt die Koordination der Akteure aus Verwaltung (Beschaffung der Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur, Fuhrparkmanagement), Elektromanagement (Installation der Ladeinfrastruktur und des Schlüsseltresors) und Rechenzentrum (Datenkommunikation zu Ladeinfrastruktur und zum Schlüsseltresor, Datenschutz) zusammen mit dem Institut für Mobilität und Verkehr.

4.Zahlen und Fakten

Beide Fahrzeuge weisen im Gegensatz zu den angegebenen Verbrauchswerten aus dem sogenannten „Neuen europäischen Fahrzyklus“ höhere Werte auf: Im gemessenen Mittel liegen Sie für den Nissan LEAF bei rund 20 kWh / 100 km und für den Renault Kangoo bei rund 22,5 kWh / 100 km. Im reinen Verbrauchskostenvergleich mit äquivalenten Diesel-PKW zeigt sich hier eine um Faktor vier höhere Energieeffizienz. Denn für die rund 18.000 zurückgelegten Kilometer haben die Fahrzeuge nur rund 3.700 kWh benötigt. Entsprechende Dieselfahrzeuge, wie sie an der TU zur Verfügung stehen, hätten hierfür rund 15.000 kWh benötigt. Insofern der Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammt, könnte hiermit sogar Nullemission bezogen auf den Betrieb erreicht werden.

Rund zwei Drittel der Fahrleistung entfielen auf den LEAF, der zudem auch in rund 60 % der Fälle das bevorzugt gebuchte Fahrzeug war. Dies liegt vermutlich an seiner höheren Reichweite als auch am Erscheinungsbild des Fahrzeuges. Rund 1,4 Buchungen finden pro Tag statt, bei den zwei zur Verfügung stehenden Fahrzeugen also noch etwas „Luft nach oben". Dennoch hat sich die Zahl der Nutzungen im Vergleich zum Projektbeginn stark erhöht, derzeit zählt das Buchungssystem rund 100 Nutzerinnen und Nutzer.

5. Anhang

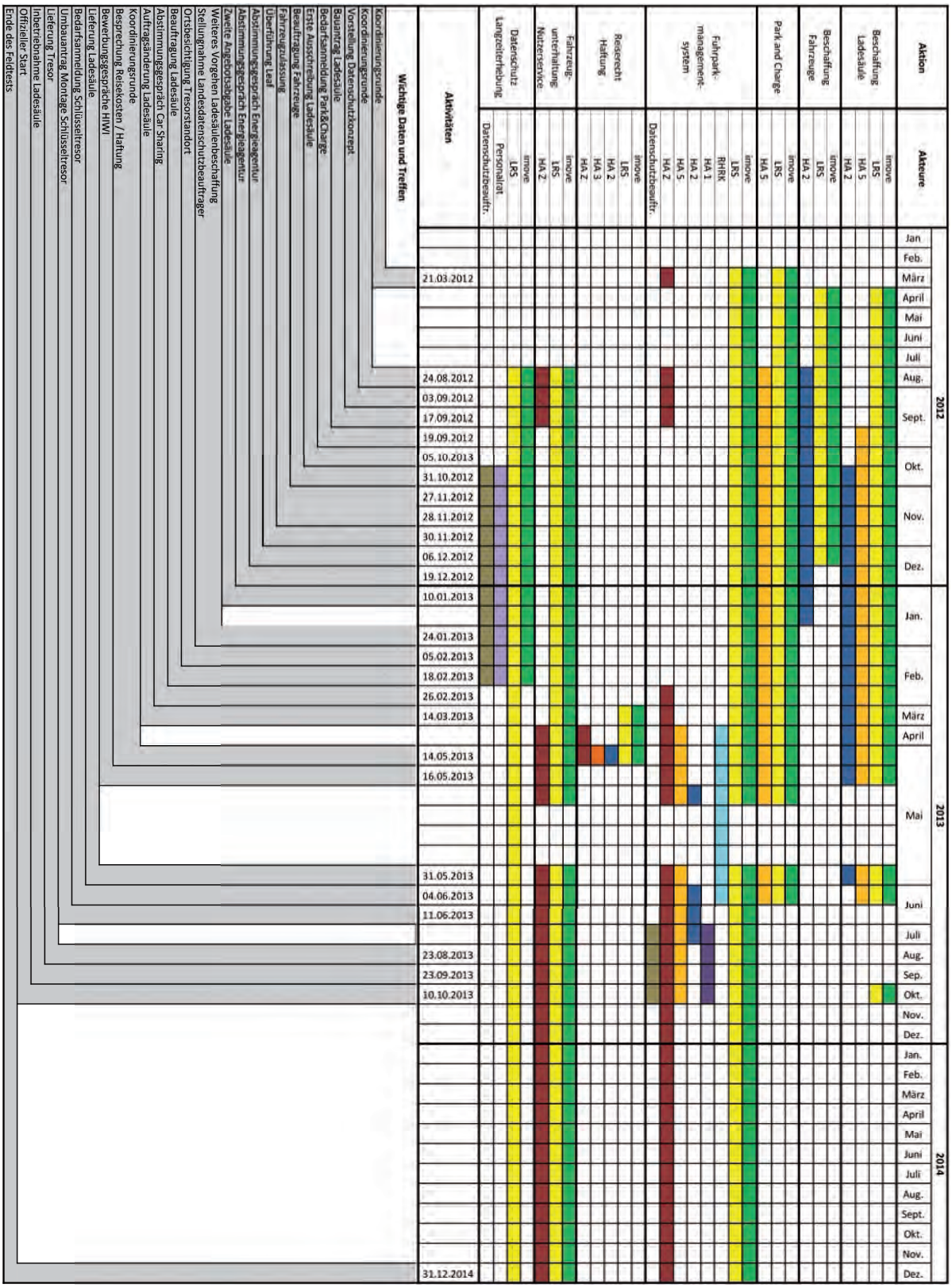


Abb. F-2: Zeitplan

Impressum

Netzwerk Elektromobilität
Forschungsergebnisse

Gefördert durch:

RheinlandPfalz
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ, ENERGIE UND LANDESPLANUNG

RheinlandPfalz
MINISTERIUM DES INNERN, FÜR SPORT UND INFRASTRUKTUR

Europäische Union
Wachstum durch Innovation – EFRE

Partner aus Wissenschaft und Forschung:

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN
LRS
imove
Institut für Mobilität & Verkehr
IfaS Institut für angewandtes Stoffstrommanagement
TSB
izes gGmbH
Institut für ZukunftsEnergieSysteme

Mitarbeit Drucklegung
Tim Nagel
Oliver Hahn
Sascha Baron

Kontakt
Sascha Baron, Oliver Hahn
Institut für Mobilität & Verkehr
Fachbereich BI
Technische Universität Kaiserslautern
Paul-Ehrlich-Straße, Gebäude 14
67663 Kaiserslautern

Tim Nagel
Lehrstuhl für Regelungssysteme
Fachbereich EIT
Technische Universität Kaiserslautern
Erwin-Schrödinger-Straße, Gebäude 12
67663 Kaiserslautern

Gesamtherstellung
Abteilung Foto-Repro-Druck
Technische Universität Kaiserslautern 2014

Titelbild
Elektrofahrzeug aus dem Feldtest, Eigene Darstellung TU Kaiserslautern, imove, 2013

Autorenverzeichnis

TU Kaiserslautern
Lehrstuhl für Regelungssysteme (LRS)
Juniorprofessur Elektromobilität (JEM)
http://www.eit.uni-kl.de/liu/
http://www.eit.uni-kl.de/jem/

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steven Liu
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Daniel Görges
Felix Berkel
Tim Nagel

TU Kaiserslautern
Institut für Mobilität & Verkehr (imove)
http://www.imove-kl.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrike Reutter
Sascha Baron
Göran Glauer
Oliver Hahn
Johannes Roos

Transferstelle Bingen (TSB)
http://www.tsb-energie.de/

Prof. Dr. Ralf Simon
Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Tiemann
Prof. Dr. Oliver Türk
Franziska Beringer
Urs Brand
Babett Hanke
Björn Heine
Joachim Walter
Jochen Weber

Institut für angewandtes
Stoffstommanagement (IfaS)
http://www.stoffstrom.org/

Prof. Dr. Eckhard Helmers
Markus Conrad
Johannes Dietz
Patrick Marx
Christoph Pietz
Fabian Theis

Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES)
http://www.izes.de/

Dr. Uwe Klann
Barbara Dröschel
Lars Grote
Andreas Hemmerling
Patrick Hoffmann
Juri Horst
Florian Noll
Matthias Sabatier
Guillem Tänzer
Andreas Weber
Alexander Zipp

Gefördert durch:

RheinlandPfalz
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR, LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU

RheinlandPfalz
MINISTERIUM DES INNERN, FÜR SPORT UND INFRASTRUKTUR

Europäische Union
Wachstum durch Innovation – EFRE

Partner aus Wissenschaft & Forschung:

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

imove
Institut für Mobilität & Verkehr

LRS

TSB

IfaS Institut für angewandtes Stoffstrommanagement

izes gGmbH
Institut für ZukunftsEnergieSysteme

Technische Universität Kaiserslautern
- Institut für Mobilität & Verkehr (imove)
  www.imove-kl.de
- Lehrstuhl für Regelungssysteme (LRS)
  http://www.eit.uni-kl.de/liu/

Land Rheinland-Pfalz
- Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (MWKEL)
  http://www.mwkel.rlp.de/
- Ministerium des Innern, für Sport und Infrastruktur (ISIM)
  http://isim.rlp.de/

Europäische Union
- Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)
  http://www.efre.rlp.de/

Weitere Informationen zum Projekt unter:
www.emobil-rlp.de