

# Informatik-Bericht Nr. 2016-3

**Abschlussbericht zum Verbundvorhaben**

„econnect Germany“

Teilvorhaben econnect Trier-FVV: IKT für Elektromobilität in der Region Trier – Vom  
Windrad zum Elektroauto



Zuwendungsempfänger

Hochschule Trier

Förderkennzeichen

01ME12043

Autoren

Jörn Schneider, Tillmann Nett, Birte Möller

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Jörn Schneider

Berichtsdatum

30.07.2015

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

<b>I. ERGEBNISBERICHT - KURZDARSTELLUNG</b>	<b>3</b>
1. Aufgabenstellung	3
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	5
4. Stand der Wissenschaft und Technik	7
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
6. Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse	9
<b>II. ERGEBNISBERICHT - EINGEHENDE DARSTELLUNG</b>	<b>10</b>
1. Erzieltes Ergebnis	10
2. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses und Erfahrungen	23
3. Ergebnisse Dritter	24
4. Veröffentlichungen	24

## **I. Ergebnisbericht - Kurzdarstellung**

### **1. Aufgabenstellung**

Das Ziel des Vorhabens war die Vision einer dezentralen und regenerativen Energieerzeugung mit Ausgleichsspeicherung in Elektrofahrzeugen technisch vorweg zu nehmen und die Tragfähigkeit einer solchen Lösung bezüglich der Endnutzerakzeptanz im Rahmen eines Feldversuches wissenschaftlich zu evaluieren.

Bei der Versorgung durch erneuerbare Energien stellt sich das Problem der schwankenden Erzeugung, so steht beispielsweise Solarstrom nur dann zur Verfügung, wenn die Sonneneinstrahlung ausreichend ist. Um eine dauerhafte Bedarfsdeckung zu ermöglichen, ist es daher notwendig die ungleichmäßige Erzeugung durch Puffermöglichkeiten auszugleichen. Eine solche Pufferung kann derzeit u.a. durch Pumpspeicherwerke oder stationäre Batterien bewerkstelligt werden. Diese Möglichkeiten sind jedoch typischerweise mit hohen Anschaffungskosten verbunden. Eine Alternative, die zumindest aus Sicht des Energieversorgers mit geringeren Investitionskosten verbunden ist, wäre die Verwendung der Batterien von Elektrofahrzeugen zum Ausgleich der Erzeugungsschwankung. Dieses Prinzip des gesteuerten Ladens (Grid2Vehicle) und gesteuerten Rückspeisens (Vehicle2Grid) ist hinlänglich bekannt und wird von vielen Stellen als Lösung für die Probleme einer rein regenerativen Energieerzeugung propagiert. Obwohl es bereits Forschungsaktivitäten zu dieser Thematik gab, wurde nach Kenntnis der Autoren die entscheidende Frage der Nutzerakzeptanz einer solchen Lösung zuvor nicht unter realistischen Bedingungen wissenschaftlich evaluiert. Letzteres war Kerngegenstand des Projektes und wurde in einem dazu konzipierten Feldversuch durchgeführt.

Um ein realistisches Grid2Vehicle/Vehicle2Grid Szenario darzustellen, müssen einerseits die Bedürfnisse des Energieversorgers und andererseits die Bedürfnisse der Fahrzeugnutzer gleichermaßen bei der Lade- und Rückspeiseplanung beachtet werden. Dazu ist es notwendig, dass der Fahrzeugnutzer Daten über die geplanten nächsten Fahrten angibt, und der Energieversorger Daten über die zukünftigen Energiebedarfe im betroffenen Bilanzkreis liefert. Diese Daten bilden die Grundlage für sinnvolle Berechnungen eines Lade- und Rückspeiseplans für das Fahrzeug. Ein Teilziel des Projektes war somit ein System zu entwickeln, durch welches die Daten von Feldversuchsteilnehmern erfasst und mit den Daten des Energieversorgers zusammen zu einem Lade- und Rückspeiseplan umgesetzt

werden. Hierfür war unter anderem die Realisierung einer geeigneten IKT-Kette zwischen Fahrzeugnutzer, Fahrzeug und Energieversorger erforderlich. Eine wesentliche Kernkomponente dieser IKT-Kette stellt ein eigens entwickelter Fahrzeugrechner dar. Für die Planung, Durchführung und Auswertung des Feldversuches wurde das Projekt von Psychologen der Universität Trier begleitet. Dabei sollten zum einen die Verhaltensdaten aus psychologischer Perspektive analysiert und interpretiert werden, als auch Messmethoden entwickelt werden, um die Akzeptanz von Elektromobilität und gesteuertem Laden/Rückspeisen gezielt zu evaluieren. Infolgedessen musste die zu entwickelnde IKT-Kette zusätzlich die kontinuierliche Erfassung des Nutzungsverhaltens der Feldversuchsteilnehmer gewährleisten und die seitens der Probanden wahrnehmbaren Aspekte des gesteuerten Ladens und Rückspeisens realisieren.

## **2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Das Teilvorhaben war Bestandteil des Verbundprojekts „econnect Germany“ und wurde in enger Kooperation mit den Partnern Stadtwerke Trier (SWT) und ABB AG, Mannheim durchgeführt. Ausführende Stelle war der „Forschungsverbund Verkehrstechnik und Verkehrssicherheit Trier“ (FVV), an dem die Hochschule Trier und die Abteilung für „Allgemeine Psychologie und Methodenlehre“ von Prof. Dr. Frings der Universität Trier beteiligt sind.<sup>1</sup> Diese breite Aufstellung war notwendig, um einerseits die technischen Fragestellungen und die Fragestellungen von Seiten der Energieanbieter zu betrachten, zugleich jedoch die Nutzerakzeptanz gezielt zu evaluieren. Hierbei war es insbesondere hilfreich, auf die existierende Kooperation der Fachbereiche Technik und Informatik der Hochschule Trier mit Psychologen an der Universität Trier innerhalb des FVV zurückgreifen zu können. Auch innerhalb der Hochschule war eine weitreichende, interdisziplinäre Kooperation zwischen den Fachrichtungen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik erforderlich. So wurde ein großer Teil der notwendigen Hardwareanpassungen und -entwicklungen zur Umsetzung des Systems im Fahrzeug von der Fachrichtung Elektrotechnik übernommen. Die Fachrichtung Maschinenbau steuerte eine erste Studie zum Mobilitätsverhalten und dem damit verfügbaren theoretischen Nutzungspotential des gesteuerten Ladens und Rückspeisens bei Elektrofahrzeugen hinzu und entwickelte einen Rahmen für die mechanische Integration des Fahrzeugrechners in die

---

<sup>1</sup> Da der FVV keine eigenständige rechtliche Institution ist, erfolgte die Einbindung der Universität Trier in Form eines Unterauftrages.

Feldversuchsfahrzeuge. Die Gesamtverantwortung und die Softwareentwicklung waren im Fachbereich Informatik angesiedelt. Innerhalb der Informatik waren mehrere Arbeitsgruppen eingebunden. Wesentliche Aufgaben dabei waren die Entwicklung der Nutzerschnittstelle, der Fahrzeugsoftware, der Kommunikationsschnittstelle zum Energieversorger und der Software zur Prognose von Windstromproduktion. In all diesen Fällen wirkten sich die bereits bestehenden Kontakte und Kooperationen positiv auf den Projektverlauf aus.

### **3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Vorhaben unter Beteiligung der Projektpartner Stadtwerke Trier und ABB AG war in drei Teilprojekte gegliedert.

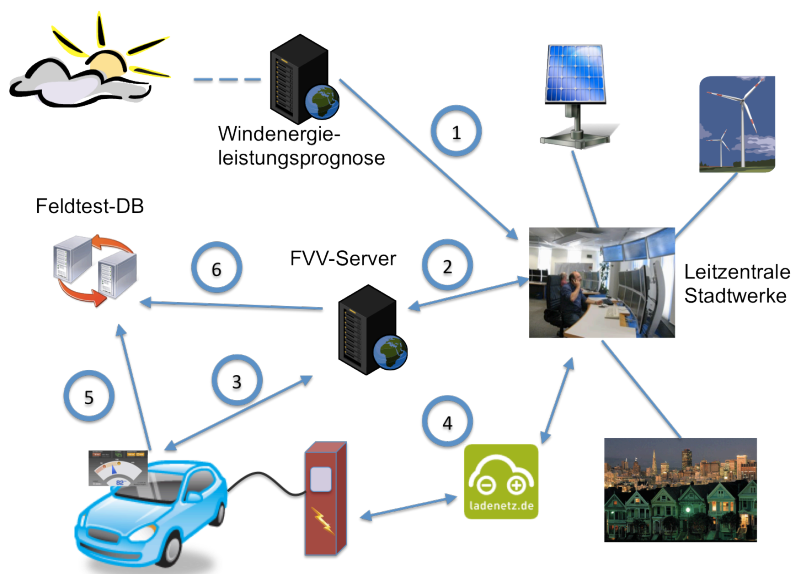
Im Teilprojekt 1 (TP 1) wurde die Entwicklung eines virtuellen Energieverbundsystems angestrebt, das insbesondere eine Einbindung von Elektrofahrzeugen ermöglicht. TP 1 wurde im Wesentlichen von den Projektpartnern SWT und ABB AG bearbeitet. Der Hauptbeitrag durch die Hochschule Trier war die Entwicklung einer Software, welche kommerziell verfügbare Windleistungsprognosen unter Berücksichtigung der spezifischen Situation an einzelnen Windkraftanlagen deutlich verbessert. Die wichtigsten Ergebnisse zu TP 1 werden in dem Bericht der Projektpartner zusammengefasst.

Im Teilprojekt 2 (TP 2) sollte das Energiemanagementsystem und Energieleitsystem durch die Einbindung von Elektrofahrzeugen als Energiespeicher optimiert werden. Wesentliche Aufgaben in diesem Teilprojekt wurden von Seiten der Hochschule bzw. des FVV übernommen. Hierzu wurde zunächst das mögliche Potential der Fahrzeugbatterien auf der Basis von bestehenden sowie eigens erhobenen Daten zum Mobilitätsverhalten abgeschätzt. Zudem wurde eine IKT-Kette entwickelt, die das gesteuerte Laden und Rückspeisen unter Einbeziehung der Bedürfnisse der Fahrzeugnutzer und des Energieversorgers erlaubt, sowie die Erfassung aller zur wissenschaftlichen Evaluation des Feldversuches erforderlichen Daten ermöglicht. Als Kernkomponente dieser IKT-Kette wurde ein eigener Fahrzeugrechner entwickelt, der die Funktionen Fahrerschnittstelle, Fahrzeugschnittstelle, Lade-/Rückspeiseplanung, Datenerfassung und mobile Kommunikation zu den fahrzeugexternen Diensten auf sich vereint. Hierzu wurde der Fahrzeugrechner als ein hybrides System zur gleichzeitigen Ausführung eines interaktiven Betriebssystems (Linux) und eines Echtzeitbetriebssystems (AUTOSAR) entwickelt. Hierdurch konnte den heterogenen Anforderungen der Einzelfunktionen bezüglich Sicherheit und Zuverlässigkeit Rechnung

getragen werden und die erforderliche Einflussfreiheit zwischen diesen gewährleistet werden.

Über die eigens entwickelte ergonomische Fahrereingabeschnittstelle konnten die Feldversuchsteilnehmer die gewünschte Nutzung der Elektrofahrzeuge (erforderliche Reichweite und Abfahrtszeitpunkt) eingeben. Diese Eingaben stellen eine Grundlage für die Berechnung der Lade-/Rückspeisepläne dar. Weitere Eingangsgrößen des Planungsalgorithmus sind der über die Fahrzeugschnittstelle ausgelesene Batteriezustand und der vom Energieversorger gemeldete Bedarf zur Speicherung bzw. Abgabe von Energie. Als universelle Führungsgröße für den Bedarf des Energieversorgers wurde ein variabler Preis in Cent/kWh für die zu speichernde bzw. die abzugebende Energie je Viertelstundenintervall gewählt. Die so berechneten Lade-/Rückspeisepläne jedes Fahrzeugs wurden an die Energieleitzentrale der Stadtwerke Trier übermittelt.

Für die praktische Umsetzung des Feldversuchs war es erforderlich die einzelnen Schnittstellen in der IKT-Kette gemäß den Anforderungen der Einzelkomponenten und der Projektpartner zu spezifizieren und zu implementieren. Ein Überblick der realisierten IKT-Kette findet sich in Abbildung 1.



**Abbildung 1: Übersicht IKT-Kette econnect Trier**

Im Teilprojekt 3 (TP 3) sollten die entwickelten oder angeschafften Systeme demonstriert und evaluiert werden. Unter Leitung der Hochschule Trier wurde hierzu insbesondere ein Feldversuch mit 58 Probanden und fünf Elektrofahrzeugen im Raum Trier durchgeführt. Diese Elektrofahrzeuge wurden jeweils mit dem an der Hochschule Trier entwickelten Fahrzeugrechner ausgestattet und in die beschriebene IKT-Kette eingebunden. Jeder Proband erhielt eines der Fahrzeuge für die Dauer von drei Wochen. Über den

Fahrzeugrechner wurde das Nutzungsverhalten inklusive der jeweiligen Benutzereinstellungen protokolliert und die für den Benutzer wahrnehmbaren Aspekte des gesteuerten Ladens/Rückspeisens realisiert. Im Feldversuch wurde somit die technische Vision gesteuerten Ladens/Rückspeisens zur Kompensation der Volatilität erneuerbar erzeugter Energie in dezentralen Energieverbundsystemen vorweggenommen. Zentraler Zweck des Feldversuchs war dabei die Endnutzerakzeptanz für diese technische Vision zu untersuchen, die insbesondere Voraussetzung für die wirtschaftliche Tragfähigkeit einer solchen Lösung ist.

Der Feldversuch wurde in enger Kooperation mit den Stadtwerken Trier durchgeführt, die u.a. die Fahrzeuge und die in einem eigens für den Feldversuch etablierten Bilanzkreis gebündelten Energieerzeuger sowie die unmittelbare Betreuung der Feldversuchsteilnehmer einbrachten. Die Feldversuchsplanung, die Datenerfassung, technische Betreuung hinsichtlich Fahrzeugrechner und weiterer Kernbestandteile der IKT-Kette sowie die Datenauswertung wurden vom FVV durchgeführt. Hierbei wurden die technischen Aspekte von der Hochschule Trier und die psychologischen Aspekte durch die Abteilung für allgemeine Psychologie und Methodenlehre (Prof. Dr. Frings) der Universität Trier bearbeitet. Bei der Vorbereitung des Feldversuches kam es aus den in den Zwischenberichten geschilderten Gründen zu deutlichen Verzögerungen. Um trotz der Verzögerungen die Ergebnisse des Feldversuches nicht zu beeinträchtigen, wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Projektes beantragt und auch genehmigt. Weiterhin wurde die Dauer einer Probandenperiode von vier auf drei Wochen reduziert. Hierdurch konnte eine für die aussagekräftige statistische Auswertung notwendige Probandenzahl weiterhin gewährleistet werden.

#### **4. Stand der Wissenschaft und Technik**

Bisherige Ansätze für gesteuertes Laden und Rückspeisen wurden primär im Hinblick auf die Perspektive des Stromversorgers entwickelt. So wurde z.B. von S. Kamboj, W. Kempton, und K. S. Decker (2011) ein System entwickelt, bei dem die Fahrzeuge und Energieversorger als Multi-Agenten-System implementiert wurden. Alle an diesem Multi-Agenten-System beteiligten Agenten hatten die Möglichkeit autonom auf einem virtuellen Marktplatz Ladezeiten und -mengen zu verhandeln. Hierdurch wird allerdings von den Fahrzeugnutzern verlangt, dass diese erhebliche Einbußen von Autonomie hinsichtlich ihrer individuellen Mobilität hinnehmen.

Andere Ansätze betrachten das Problem des gesteuerten Ladens und Rückspeisens als ein rein technisches Optimierungsproblem (z.B. Y. He, B. Venkatesh, and L. Guan, 2012).



Ansätze, die Nutzerakzeptanz von Elektromobilität und insbesondere von gesteuerten Lade- und Rückspeisesystemen unter realistischen Bedingungen betrachten, existieren bisher kaum. Angesichts der zentralen Bedeutung der Nutzerakzeptanz für die wirtschaftliche Tragfähigkeit eines solchen Systems, war dies eine klare Lücke, die in diesem Projekt geschlossen wurde.

## **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Aktive Kooperation fand insbesondere innerhalb des Hubs Trier mit den Stadtwerken Trier und der ABB AG sowie innerhalb des FVV statt. Insbesondere die Definition der Schnittstellen zwischen den an der Hochschule Trier betriebenen Systemen und den Systemen der Stadtwerke fand in enger Kooperation statt. So wurden die Preisdaten durch SCADA-Systeme auf Seiten der SWT ermittelt und von dort über ein von der ABB AG entwickeltes Gateway an einen Server der Hochschule Trier übermittelt, der die Daten zum Abruf durch die Fahrzeugrechner bereithielt. Umgekehrt wurden die Lade- und Rückspeisepläne der Fahrzeuge zunächst an den Server der Hochschule Trier übermittelt und von dort aus in einem festen Intervall von einem System der Stadtwerke Trier abgerufen. Die dafür notwendige Software wurde von der ABB AG entwickelt.

Zur weiteren Optimierung des Bilanzkreismanagements und zur besseren Verwendung der erneuerbaren Energien wurde von der Hochschule Trier ein System zur Optimierung von Erzeugungsprognosen für Energie aus Windkraft entwickelt. Dieses System wurde in das Bilanzkreismanagement der SWT integriert und wurde in die Bilanzkreisoptimierung einbezogen. Die Auswertung der Möglichkeiten zur Bilanzkreisoptimierung erfolgte durch die Stadtwerke Trier.

Zusätzlich zu der Kooperation mit den Partnern im Hub Trier, fand die Zusammenarbeit innerhalb des FVV Trier in der bereits beschriebenen Form inklusive des Unterauftrags an die Abteilung für „Allgemeine Psychologie und Methodenlehre“ von Prof. Dr. Frings statt. Im Rahmen dieses Unterauftrags wurden insbesondere die psychologisch relevanten Aspekte der Prozeduren für die Durchführung des Feldversuches (Fahrzeugübergabe und Interaktion mit den Probanden) sowie die Messinstrumente für die Nutzerakzeptanz entwickelt. Die tatsächliche Interaktion mit den Probanden des Feldversuches wurde durch die Stadtwerke Trier übernommen, unter Anleitung durch die Abteilung von Prof. Frings. Durch die Aufteilung auf mehrere Partner, war insbesondere eine effektive Pseudonymisierung der

gesammelten Daten möglich. Da innerhalb des Feldversuches insbesondere auch personenbezogene Daten gesammelt wurden, war ein funktionierender Datenschutz notwendig. Durch die Aufteilung der Durchführung und Auswertung auf verschiedene Projektpartner konnte sichergestellt werden, dass keiner der Projektpartner zugleich Zugriff auf datenschutzrelevante Daten und Informationen über die Identität der Probanden hatte. Auf diese Art konnte ein verbesserter Datenschutz für die Probanden sichergestellt werden.

Die während des Feldversuchs gesammelten Mobilitätsdaten wurden anonymisiert an die ebenfalls im Projekt „econnect Germany“ beteiligte Hochschule Kempten zur Aufbereitung und Verwendung im Rahmen des Gesamtfeldversuches „econnect Germany“ weitergeleitet.

## **6. Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse**

Die im Ergebnisbericht (siehe unten) detailliert dargestellten Ergebnisse des Feldversuches liefern wissenschaftlich fundierte Aussagen hinsichtlich der Nutzerakzeptanz von gesteuertem Laden und Rückspeisen und der Elektromobilität im Allgemeinen. Diese stellen einen wertvollen Beitrag zur fortschreitenden Diskussion und Umsetzung der Themen „Ausbau erneuerbarer Energie“ und „Elektromobilität“ dar. Weiterhin stellt die für den Feldversuch realisierte technische Umsetzung einen bezüglich Endnutzerakzeptanz evaluierten Referenzrahmen für künftige Systeme dar.

Darüber hinaus ist insbesondere das dem entwickelten Fahrzeugrechner zugrundeliegende Hybridkonzept ein wichtiges Einzelergebnis auf dessen Grundlage weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aufbauen.

Ein besonders hervorzuhebendes Ergebnis des Feldversuches ist der Nachweis, dass sich gesteuertes Laden und Rückspeisen zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Fahrzeuge im signifikantem Umfang von 25 % gegenüber dem Stand der Technik (ungesteuertes Laden) verwenden lässt. Damit ist bezüglich der Dimension Nutzerakzeptanz die Tragfähigkeit der Vision zur dezentralen und regenerativen Energieerzeugung mit Ausgleichsspeicherung in Elektrofahrzeugen belegt. Jedenfalls insofern die wechselseitigen Anforderungen von Energievertrieb und Fahrzeugnutzer in der im Feldversuch realisierten Art und Weise berücksichtigt werden.

Die Daten aus der Nutzerbefragung zeigen, dass vor allem die mangelnde Reichweite von Elektrofahrzeugen die Akzeptanz negativ beeinflusst. Dies zeigt weiteren Innovationsbedarf, um eine große Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen zu erreichen.

## **II. Ergebnisbericht - Eingehende Darstellung**

### **1. Erzieltes Ergebnis**

Das Projekt hat sowohl wichtige Teilergebnisse erzielt, die für sich einen erheblichen Fortschritt darstellen, als auch erhoffte Erkenntnisse geliefert über die grundsätzliche Tragfähigkeit der Vision einer dezentralen, regenerativen Energieerzeugung deren regionalen Schwankungen durch die Nutzung von E-Fahrzeuggatterien kompensiert werden.

#### **Hybride Softwareplattform**

Im Rahmen des Projektes wurde eine Software-Plattform entwickelt, die es ermöglicht ein interaktives Betriebssystem (Linux) mit einem im Automobilbereich standardisierten Echtzeitbetriebssystem (AUTOSAR) gemeinsam auf einer Hardware auszuführen. Diese Lösung wurde gewählt, um die heterogenen Anforderungen an den Fahrzeugrechner bzgl. Zuverlässigkeit, Sicherheit und Funktion erfüllen zu können. So war AUTOSAR die Basis für die sicherheitsrelevante Kommunikation mit anderen Systemen im Fahrzeug insbesondere dem herstellerseitigen Batteriemangement. Linux hingegen war u.a. die Ausführungsplattform für die grafische Benutzerschnittstelle samt Steuerung über einen berührungsempfindlichen Monitor, wozu gängige Bibliotheken verwendet werden konnten. Die Trennung der Systeme wurde gewährleistet, indem die verfügbare Hardware statisch zwischen den Systemen aufgeteilt wurde, so dass die problematischen Wechselwirkungen zwischen den Systemen eliminiert werden konnten. Zusätzlich wurde ein Kommunikationskanal zwischen den Systemen implementiert, um u.a. Informationen über den Batteriestand auszutauschen. Das entwickelte Hybridsystem erlaubt die gemeinsame, enggekoppelte Ausführung von AUTOSAR- und Linuxanwendungen auf dem gleichen Rechner und bietet daher einen vielversprechenden Lösungsansatz für zukünftige hochintegrierte Systeme im Automobil. Die implementierte Plattform kann insbesondere für weitere Projekte wiederverwendet werden. Die bei der Entwicklung gemachten Erfahrungen dienen der weiteren Forschung an Betriebssystemansätzen für solche Systeme.

#### **Grundkonzept zur Realisierung der Steuerung von Lade-/Rückspeisevorgängen**

Betrachtet man die Perspektiven des Endnutzers oder des Energieversorgers isoliert, kommt man zunächst zu Lösungen, die nicht den Anforderungen der jeweils anderen

Interessensgruppe entsprechen. Solche durchaus mitunter von Dritten propagierte Lösungsvorschläge waren für den geplanten Feldversuch nicht geeignet, da bereits ohne wissenschaftliche Untersuchung erhebliche Zweifel an der Tragfähigkeit dieser Ansätze existieren. Es galt daher eine verteilte Steuerung zur Realisierung des gesteuerten Ladens/Rückspeisens zu finden, die mindestens den Anforderungen des Energievertriebs und des Endnutzers Rechnung trägt. Beispielsweise muss der Energievertrieb die Möglichkeit haben einen Ausgleich für schwankende Erzeugung und schwankenden Verbrauch durch Nutzung der Fahrzeugbatterien herzustellen. Der Endnutzer benötigt die Freiheit auch entgegen der seitens des Energievertriebs gewünschten Lade-/Rückspeiseverläufe sein Fahrzeug gemäß seiner Mobilitätsanforderungen mit Energie versorgen zu können.

Von entscheidender Bedeutung ist hier die Gestaltung der Schnittstelle und der Rollenverteilung zwischen Energievertrieb und der zukünftigen Masse der Elektrofahrzeuge. Für den Feldversuch wurde der Preis in Cent/kWh als Basis für die Schnittstelle gewählt. Dadurch ist maximale Flexibilität, Transparenz und Datenschutz gleichermaßen gewährleistet. Die Rolle der Planung des Lade- und Rückspeiseverhaltens ist verteilt realisiert.

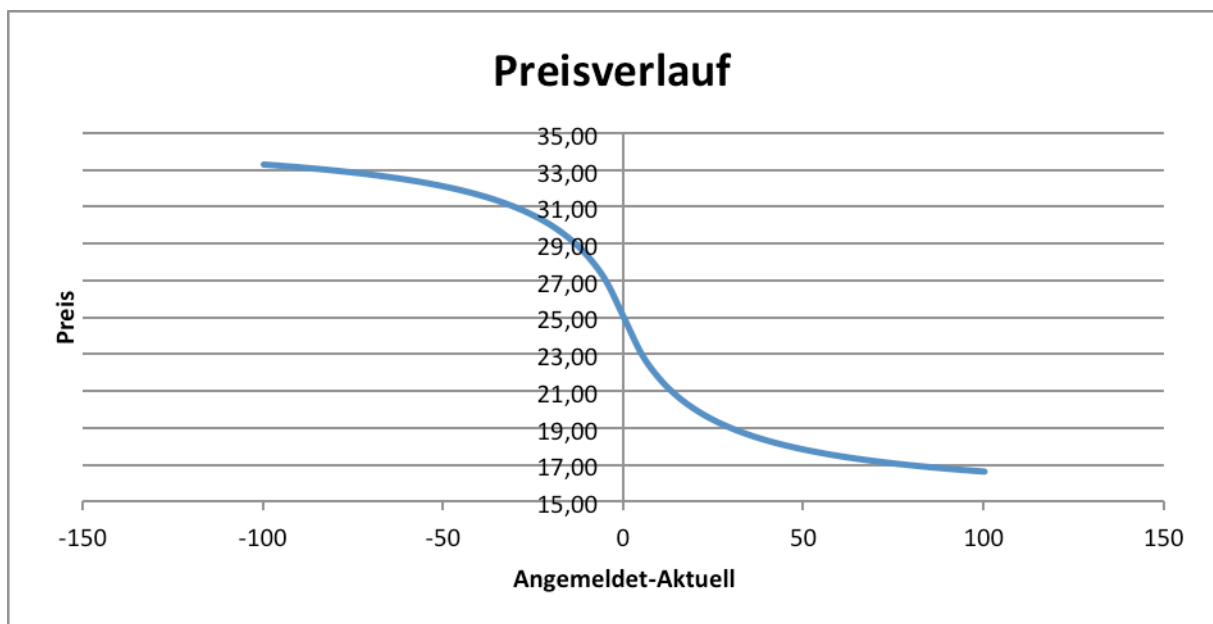
Der Energieversorger ermittelt zunächst den aus energiewirtschaftlicher Sicht sinnvollen Bedarf an Energiespeicherung bzw. –abgabe durch die Masse an Elektrofahrzeugen. In Abhängigkeit davon bestimmt er den Preis für jedes betrachtete Zeitintervall (für den Feldversuch waren dies die in der Energiewirtschaft etablierten Viertelstundenintervalle) für Laden und Rückspeisen je Kilowattstunde. Die Preisinformation inkl. der erwarteten Preisentwicklung für zukünftige Zeitintervalle wird an die Fahrzeuge übermittelt.

In jedem Einzelfahrzeug wird anhand der individuellen Mobilitätsbedürfnisse des Nutzers und des Ladezustandes der Batterie ein kostenoptimierter Lade-/Rückspeiseplan erstellt und an den Energievertreiber gesandt.

Anschließend steuert der Energievertrieb die Ladesäule bzw. –box gemäß dieser Vorgaben an. Dieser Prozess erlaubt auch die frühzeitige Einbeziehung der Netzsicht, z.B. hinsichtlich begrenzter Übertragungskapazitäten. Im Rahmen des Feldversuchs wurden die Anforderungen des Netzes allerdings nicht betrachtet.

Über die realisierte IKT-Kette wurden die Lade- und Rückspeisepreise für jedes Planungsintervall des Energieversorgers an die Fahrzeuge übermittelt. Diese Preise wurden dabei auf Basis der Differenz der aktuellen zu der ursprünglich geplanten Bilanzkreisauslastung berechnet. Um die Preise in einem Wertebereich zwischen 15 und 35 Cent zu halten, wurde dabei die Auslastungsdifferenz durch eine spezielle Abbildungsfunktion in einen Preiswert übersetzt (siehe Abbildung 2). Gezielt gewählte

Eigenschaften der Abbildungsfunktion sind die hohe Empfindlichkeit (Steigung) um den Nullpunkt (entspricht dem ausgeglichenem Bilanzkreis) und die infinitesimale Annäherung an den Maximal- bzw. Minimalpreis. Für eine zukünftige Verwendung gesteuerten Laden und Rückspeisens im Realbetrieb mit einer Vielzahl von Elektrofahrzeugen wären zuvor weitere Untersuchungen zur exakten Berechnung des Preises als Führungsgröße erforderlich. Da der Schwerpunkt des Feldversuches auf einer grundsätzlichen Untersuchung der Nutzerakzeptanz lag konnte die Preisgestaltung während des Feldversuches nicht variiert werden. Dies hätte die Vergleichbarkeit der Verhaltensdaten der Probanden untereinander gefährdet.



**Abbildung 2: Funktion zur Umrechnung von Differenzen zur Bilanzpreisprognose in Preise**

Um auf Basis der Preisdaten innerhalb des Fahrzeugs einen Lade- und Rückspeiseplan zu berechnen, wurde ein eigener Algorithmus entwickelt. Dieser Algorithmus ist speziell darauf abgestimmt, auf einer On-Board-Unit in einem Fahrzeug verwendet zu werden. Dazu ist es möglich das Verhalten des Algorithmus auf den für die jeweils verfügbare Rechenleistung passenden Kompromiss zwischen Genauigkeit und Geschwindigkeit einzustellen. Auf diese Art kann der Algorithmus auf die ressourcenlimitierte Umgebung innerhalb des Fahrzeugs eingestellt werden.

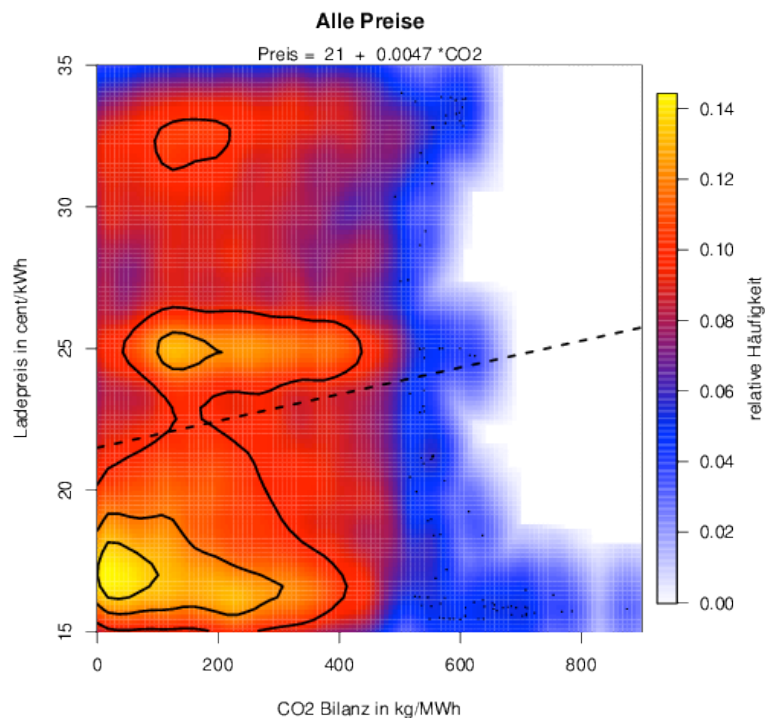
Der Algorithmus wurde im Feldversuch auf den Fahrzeugrechnern innerhalb der Fahrzeuge ausgeführt. Dafür wurde der für die Anpassung des Algorithmus entscheidende Parameter  $\epsilon$  so gewählt, dass eine Reaktionszeit des Systems im Bereich von maximal 500 ms für typische Benutzereingaben gewährleistet war. Eine experimentelle Analyse des Algorithmus zeigt, dass für die typischerweise in dem Feldversuch verwendeten Ladeeinstellungen bei

der Wahl dieses  $\varepsilon$  keinerlei Verluste der Genauigkeit auftraten. Dieser Algorithmus wurde auf der *International Conference on Connected Vehicles and Expo 2014* in Wien präsentiert.

### **Analyse der erzielbaren CO<sub>2</sub>-Reduktion**

Auf Basis der im Feldversuch erfassten Daten wurde eine Analyse der erzielbaren Reduktion an CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Verwendung des verwendeten Ansatzes für gesteuertes Laden/Rückspeisen durchgeführt.

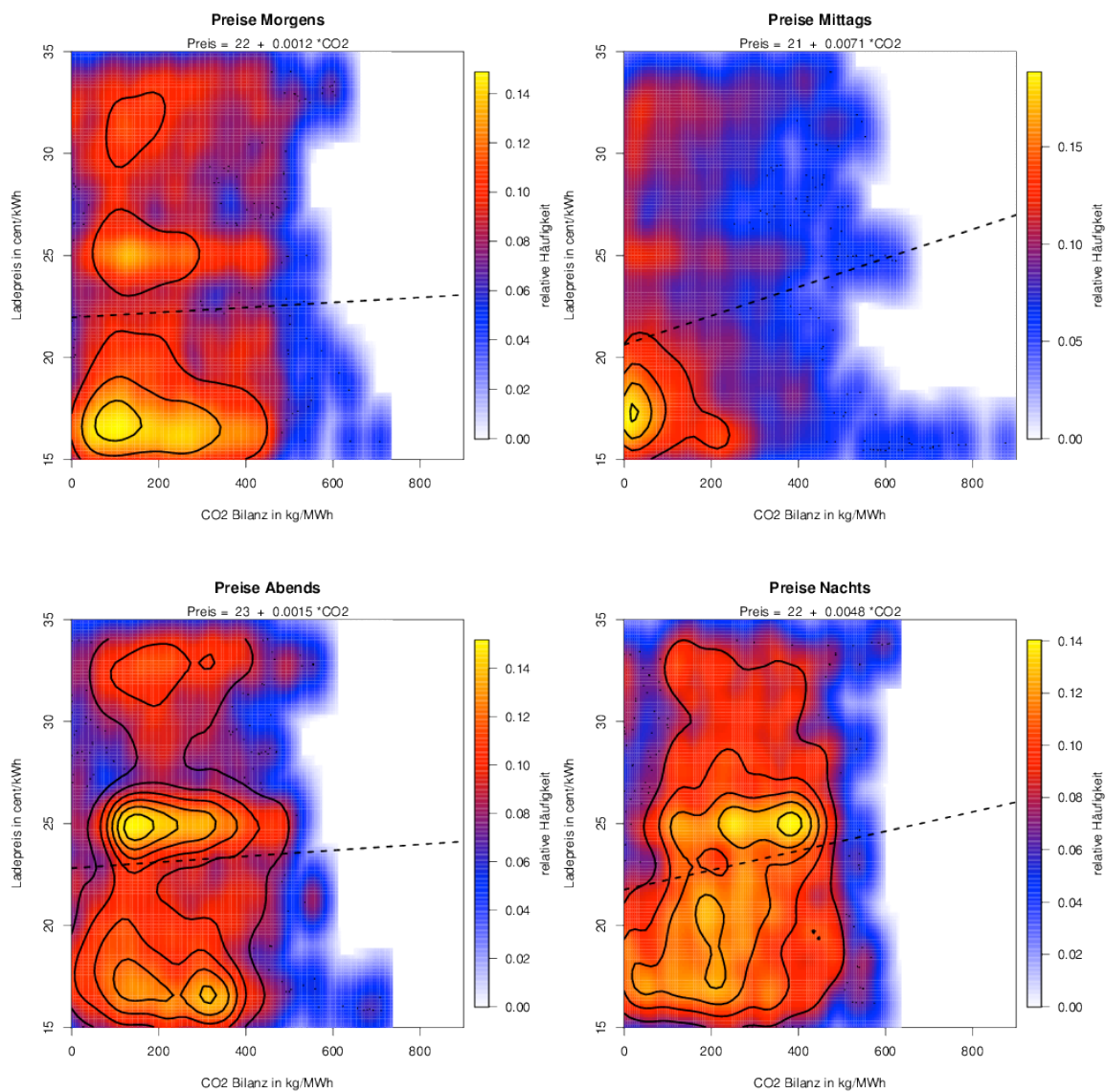
Zunächst wurde hierzu betrachtet inwiefern kleinere Preise mit einem niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß einhergehen. Dabei wurden die CO<sub>2</sub>-Daten aus dem von dem Projektpartner für das Projekt modellierten virtuellen Bilanzkreis sowie die für das Projekt verwendeten Preise verwendet. Eine Regressionsanalyse dieser Daten zeigt einen klaren Zusammenhang zwischen Preisen und CO<sub>2</sub>-Ausstoß (siehe Abbildung 3). Für diese Auswertung wurden die Preisdaten sowie die CO<sub>2</sub>-Bilanz für den Zeitraum vom 31.03.2014 bis zum 31.08.2014 zugrunde gelegt. Die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes erfolgte durch die SWT auf Basis des im Projekt verwendeten simulierten Bilanzkreises mit realen Energieerzeugern und -verbrauchern (siehe Abschlussberichte der SWT und der ABB AG). Dieser Bilanzkreis setzte sich zusammen aus drei Blockheizkraftwerken (BHKW) mit einer CO<sub>2</sub>-Bilanz von jeweils etwa 150 kg/MWh, zwei Notstromdieselaggregaten mit einer CO<sub>2</sub>-Bilanz von etwa 798 kg/MWh sowie jeweils zwei Windkraft-, zwei Solarkraft- und zwei Wasserkraftwerken. Für die erneuerbaren Energien wurden 0 kg/MWh CO<sub>2</sub>-Produktion eingesetzt. Für Ausgleichsenergie aus dem übergeordneten Netz und Einkäufe am SpotMarket wurde eine CO<sub>2</sub>-Bilanz von ca. 559 kg/MWh angenommen. Dies entspricht dem durchschnittlichen deutschen Strommix.



**Abbildung 3: Verhältnis von Preisen zu CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Die Regressionsgrade zeigt, dass niedrigere Preise vornehmlich auch mit niedrigerem CO<sub>2</sub>-Ausstoß zusammengetroffen sind.**

Dieser Zusammenhang war am stärksten in den Mittagsstunden ausgeprägt (siehe Abbildung 4), während es morgens und abends nur einen geringen Zusammenhang gab. Ein Grund für diese Unterschiede im Tagesverlauf konnte bisher nicht identifiziert werden. Vermutlich sind diese Unterschiede jedoch durch eine unterschiedliche Nutzungsmöglichkeit der verschiedenen Kraftwerkstypen zu den verschiedenen Jahreszeiten begründet. So produzieren beispielsweise Solarkraftwerke gerade in den Mittagsstunden den meisten Strom. Diese These wird dadurch gestützt, dass gerade in den Mittagsstunden vermehrt preisgünstiger Strom mit gleichzeitig niedriger CO<sub>2</sub>-Last von den Fahrzeugen geladen werden konnte. Im Gegensatz dazu waren sowohl die Strompreise als auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Nachtstunden häufig gleichzeitig erhöht.

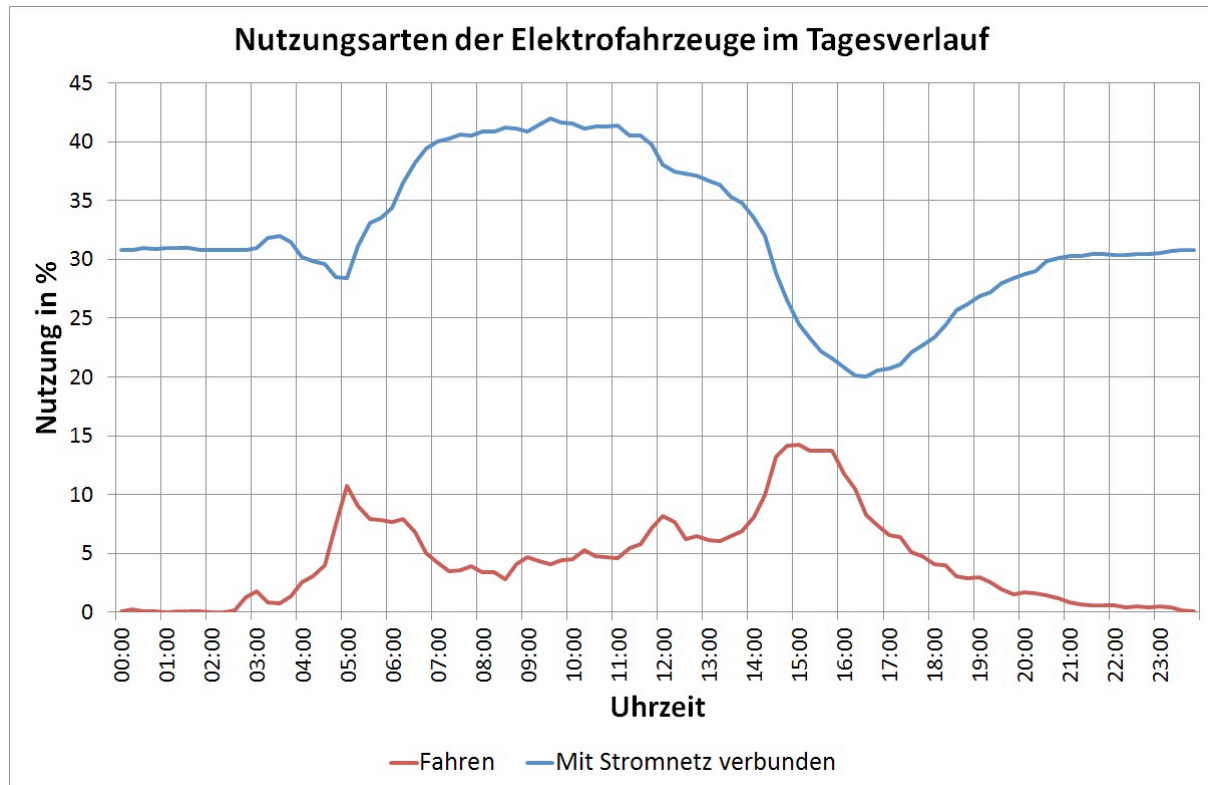




**Abbildung 4: Verhältnis von Preisen zu CO<sub>2</sub>-Ausstoß aufgeschlüsselt nach Tageszeiten. Für die Aufteilung wurden folgende Zeiten zugrunde gelegt: Morgens von 05:00 bis 11:00; mittags von 11:00 bis 17:00; abends von 17:00 bis 23:00 und nachts von 23:00 bis 05:00.**

Für den Vergleich der im Feldversuch realisierten Lösung mit dem Status Quo wurden Referenzladepläne herangezogen. Diese Referenzladepläne repräsentieren die aktuelle Situation für Elektrofahrzeuge, d.h. die Batterie wird hier so schnell wie möglich bis zum maximalen Ladestand geladen. Zu den Referenzladeplänen und den im Feldversuch verwendeten Ladeplänen wurde jeweils der gesamte CO<sub>2</sub>-Ausstoß berechnet, der durch diese Ladevorgänge im Bilanzkreis verursacht wurde.

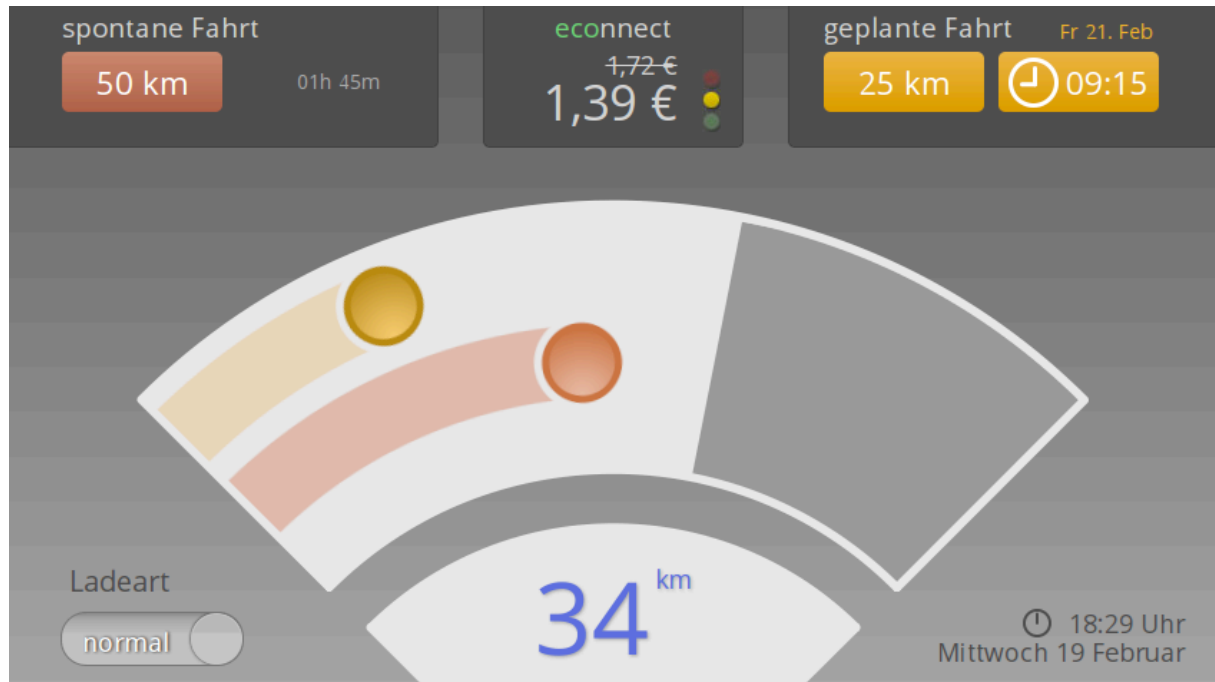




**Abbildung 5: Tageszeitlicher Verlauf Nutzungsarten**

Ein Vergleich der Referenzladepläne mit den gesteuerten Lade- und Rückspeiseplänen zeigt, dass durch gesteuertes Laden und Rückspeisen mit der in diesem Projekt verwendeten Methode im Mittel 25 % des produzierten CO<sub>2</sub> eingespart werden können. Für diese Analyse konnten die Daten von insgesamt 57 Probanden aus dem Zeitraum vom 26.03.2014 bis zum 23.12.2014 herangezogen werden. Die Ladedaten eines Probanden konnten aufgrund eines Erfassungsfehlers nicht ausgewertet werden.

### **Analyse der nutzbaren Zeiträume für gesteuertes Laden und Rückspeisen**



**Abbildung 6: Benutzeroberfläche des Fahrzeugrechners**

Die Analyse der in den Fahrzeugen erfassten Daten zeigt, dass der größte Anteil von mit dem Stromnetz verbundenen Feldversuchsfahrzeugen zu den Tageszeiten von 5:00 bis 16:00 Uhr gegeben war. In dieser Zeit waren bis zu 42% der Elektrofahrzeuge mit dem Stromnetz<sup>2</sup> verbunden (siehe Abbildung 5). Für diese Analyse konnten die Daten von insgesamt 58 Probanden aus dem Zeitraum vom 26.03.2014 bis zum 23.12.2014 herangezogen werden. Insgesamt waren die Fahrzeuge in dem ausgewerteten Zeitraum 32% der Zeit mit dem Stromnetz verbunden. Gefahren wurden die Fahrzeuge in 4,4% der Zeit. Die Hauptfahrzeiten vielen vor allem in die Morgen- und Nachmittagsstunden.

Dennoch zeigt sich, dass auch in zu anderen Tageszeiten noch mindestens ca. 20% und damit ein nicht unerheblicher Anteil der Fahrzeuge eine Verbindung mit dem Stromnetz hatte. Dies zeigt, dass auch zu diesen Stunden noch eine erhebliche Pufferkapazität für den Energieversorger zur Verfügung steht.

Eine wichtige Frage für die praktische Nutzungsmöglichkeit ist, ob Probanden sich an die von ihnen im Fahrzeug angegebenen Parameter gehalten haben. Um eine Planung durchführen zu können, waren die Probanden aufgefordert über eine innerhalb des Projekts

---

<sup>2</sup> Im Rahmen des Feldversuches wurde die tatsächliche Verbindungszeit der Fahrzeuge mit dem Stromnetz sowohl im Falle von Ladesäulen als auch von herkömmlichen 230 Volt Steckdosen erfasst.

entwickelte Benutzeroberfläche (siehe Abbildung 6) die gewünschten Daten der nächsten Fahrt angeben.

Für die korrekte Planung der Lade- und Rückspeisevorgänge waren hierbei überwiegend der geplante Abfahrtszeitpunkt und die bis dahin benötigte Reichweite relevant. Um die Freiheit der Probanden nicht einzuschränken, war es dennoch möglich das Fahrzeug auch jederzeit früher von der Ladesäule zu trennen und für spontane Fahrten zu verwenden. Für den Fahrzeugnutzer bedeutet dies, dass in der Regel nicht die gewünschte Zielreichweite zur Verfügung steht, da diese nur für den eingestellten Abfahrtszeitpunkt garantiert ist. Weiterhin ergibt sich in der Regel dann ein höherer Strompreis in Cent/kWh. Aus Sicht des Energieversorgers ist eine Kompensation innerhalb der betroffenen Viertelstundenperiode und u.U. eine Neuplanung für die restliche Dauer des zuvor vom Planungsalgorithmus des Fahrzeugs gemeldeten Lade-/Rückspeisplans erforderlich.

Durch eine zu niedrig eingestellte Abfahrtszeit kann ebenfalls nicht der volle theoretische Planungsspielraum ausgenutzt werden. Ab dem eingestellten Abfahrtszeitpunkt darf der Planungsalgorithmus die gewünschte Reichweite nicht mehr unterschreiten. Dadurch kommt es dazu, dass die Batteriekapazität nur noch im verminderten Maße für die Planung verwendet werden kann. Dieses Problem wirkt sich jedoch weniger drastisch aus, als ein verfrühtes Trennen von der Ladesäule.

Um diese potentiellen Probleme zu evaluieren, wurde analysiert, wie lange die Probanden das Fahrzeug über den eingestellten Abfahrtszeitpunkt hinaus an der Ladesäule belassen haben. Die Auswertung ergab, dass die Probanden die Fahrzeuge im Schnitt erst mehr als drei Stunden (199 Minuten) nach dem eingestellten Abfahrtszeitpunkt abgeholt haben. Dies zeigt, dass geplante Lade- und Rückspeisevorgänge nur selten verfrüht abgebrochen wurden.

Allerdings resultierte daraus eine Verschlechterung der Planungskapazität durch die große Zeitdifferenz zwischen eingestelltem Abfahrtszeitpunkt und tatsächlichem Abholen des Fahrzeuges. Da die durchschnittliche Gesamtdauer der Ladevorgänge nur rund 7 Stunden (432 Minuten) betrug, waren damit ca. 46% der Ladedauer nur eingeschränkt für die Planung nutzbar.

Eine Ursache für die Diskrepanz zwischen Einstellverhalten und tatsächlichem Fahrverhalten, kann auf Basis der vorliegenden Daten nur vermutet werden. Zu erwähnen ist hier, dass Probanden in der aktuellen Studie tendenziell einen Nachteil (möglicherweise weniger Reichweite als gewünscht und zum Teil potentiell höhere Stromkosten) durch ein verfrühtes Abholen des Elektroautos, aber keinen unmittelbar wahrnehmbaren Nachteil (und falls eine größere Reichweite als positiv gewertet wird, sogar unter Umständen einen Vorteil) durch ein verspätetes Abholen des Autos hatten. Sollten sich die Probanden z.B. durch eine

Verbesserung der Anreize noch dazu bewegen lassen, die Abfahrtszeiten genauer einzuhalten, ist davon auszugehen, dass eine weitere CO<sub>2</sub>-Reduktion mittels gesteuertem Laden und Rückspeisen möglich ist.

### **Analyse des Nutzens für die Fahrzeugnutzer**

Im Gegensatz zu anderen Projekten, war ein klares Ziel dieses Projektes auch den Nutzen und die Nutzerakzeptanz für die Fahrer von Elektrofahrzeugen zu untersuchen. Der Nutzen für die Fahrer ergibt sich hierbei vor allem durch eine Reduktion der Fahrkosten bei Verwendung von gesteuertem Laden und Rückspeisen. Eben diese Reduktion der Fahrkosten soll auch einen Anreiz für die Fahrzeugnutzer bieten das Fahrzeug dem Energieversorger als Pufferbatterie zur Verfügung zu stellen sowie den zusätzlichen Verlust an Autonomie in Kauf zu nehmen.

Um die Auswirkung und die Größe dieses Anreizes besser erforschen zu können, wurden in dem Projekt zwei Tarifmodelle gemäß psychologischer Theorien zur Risikowahrnehmung entwickelt. Im Tarifmodell 1 (risikoorientiertes Modell) waren die Preisschwankungen höher und hingen vom aktuellen Saldo aus Energieerzeugung und –bedarf im Bilanzkreis ab. Dadurch konnten die Probanden Gewinne machen; gleichzeitig war es jedoch auch möglich, dass Batterieladungen teurer als zum Standardpreis erkaufte werden mussten, falls es zur Zeit ein Unterangebot im Bilanzkreis gab. Dieses Modell war somit risikoorientiert und bot Gewinn- und Verlustmöglichkeiten.

Als Alternative wurde Tarifmodell 2 (Bonusmodell) entwickelt, bei dem der potentielle Nutzungsspielraum durch den Energieversorger unabhängig von der tatsächlichen Nutzung belohnt wurde. Dazu wurde das Produkt aus Bereitstellungszeitraum und zur Verfügung gestellter Batteriekapazität in Form eines dazu proportionalen Rabattes auf den Strompreis vergütet. Dieses Modell bot also einen sicheren, d.h. bereits zum Einstellungszeitraum garantierten, Rabatt für die Fahrzeugnutzer für die Verwendung von gesteuertem Laden und Rückspeisen.

Insgesamt zeigte sich durch beide Modelle eine gute Einsparmöglichkeit. Vor allem aufgrund der Rückspeisevergütung lagen die Gesamtkosten für die Ladevorgänge um etwa ein Drittel niedriger als der vergleichbare Referenzpreis (siehe Abbildung 7). Diese Gesamtersparnis ergab sich, obwohl die reinen Kosten für den Kauf von Ladungen etwas höher lagen als der Referenzpreis. Letzteres wird durch zwei Faktoren verursacht. Erstens ist es möglich, dass der Planungsalgorithmus je nach Preisverlauf auch zu Zeiten Ladungen einplanen kann, in denen der Preis über dem Referenzpreis liegt. Dies kommt dann vor, wenn davon

auszugehen ist, dass die eingekaufte und gespeicherte Energie zu einem späteren Zeitpunkt gewinnbringend verkauft werden kann.

Zweitens konnten die Preise in manchen Fällen für das risikoorientierte Preismodell naturgemäß auch zeitweise über dem Referenzpreis liegen. Falls die Nutzer für solche Zeiten Einstellungen vorgeben, die kein zeitliches Verschieben des Ladens ermöglichen, kommt es unter Umständen zu einem insgesamt über dem Referenzpreis liegenden Ladepreis. Dies ist ein gezielter Teil der Steuerungsmechanismen dieses Preismodells, die ein Laden bei erhöhtem Energiebedarf im Bilanzkreis verhindern sollen.

Für die Analyse der Kosten wurden die Daten von 58 Probanden aus dem Zeitraum vom 26.03.2014 bis zum 23.12.2014 herangezogen. Bei der Auswertung wurden nur solche Ladevorgänge betrachtet, die länger als 3 Minuten gedauert haben.

Ein Vergleich der beiden Preismodelle zeigte keine Unterschiede in der Fahrzeugnutzung. Weder wurden die Fahrzeuge von Probanden der einen Gruppe häufiger geladen, noch nutzten diese Probanden die Fahrzeuge unterschiedlich. Auch in den erzielten Einsparungen gab es keine Unterschiede. Dies ist insofern positiv, als den Energieversorgern dadurch ein deutlicher Spielraum in der Gestaltung der Tarife bleibt, ohne dass der Nutzen von gesteuertem Laden und Rückspeisen dadurch beeinträchtigt wird.

Um den Nutzen für die Probanden weiter einzuschätzen, wurde betrachtet wie die Preise im Tagesverlauf variiert haben. Hierbei zeigte sich, dass die durchschnittlichen Preise fast immer unterhalb des festgesetzten Referenzpreises von 25 Cent lagen. Insbesondere in den Stunden von 10:00 bis 17:00 Uhr kam es vermehrt zu niedrigeren Preisen im Vergleich zum Referenzpreis (siehe Abbildung 8).

Die vor allem in der Zeit von 10:00 bis 17:00 Uhr verminderten Preise sind insofern für die Probanden positiv, da diese Zeit zu einem großen Teil mit der Hauptnutzungszeit der Ladeanschlüsse von 5:00 bis 16:00 Uhr übereinstimmt.

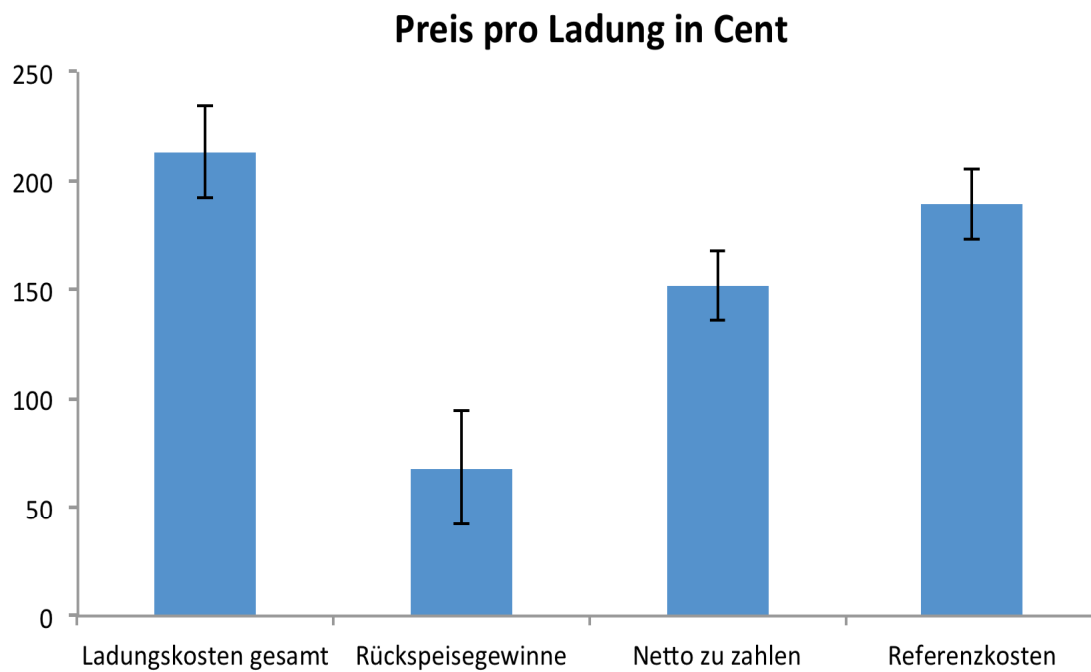


Abbildung 7: Vergleich der Kosten für die Ladevorgänge.

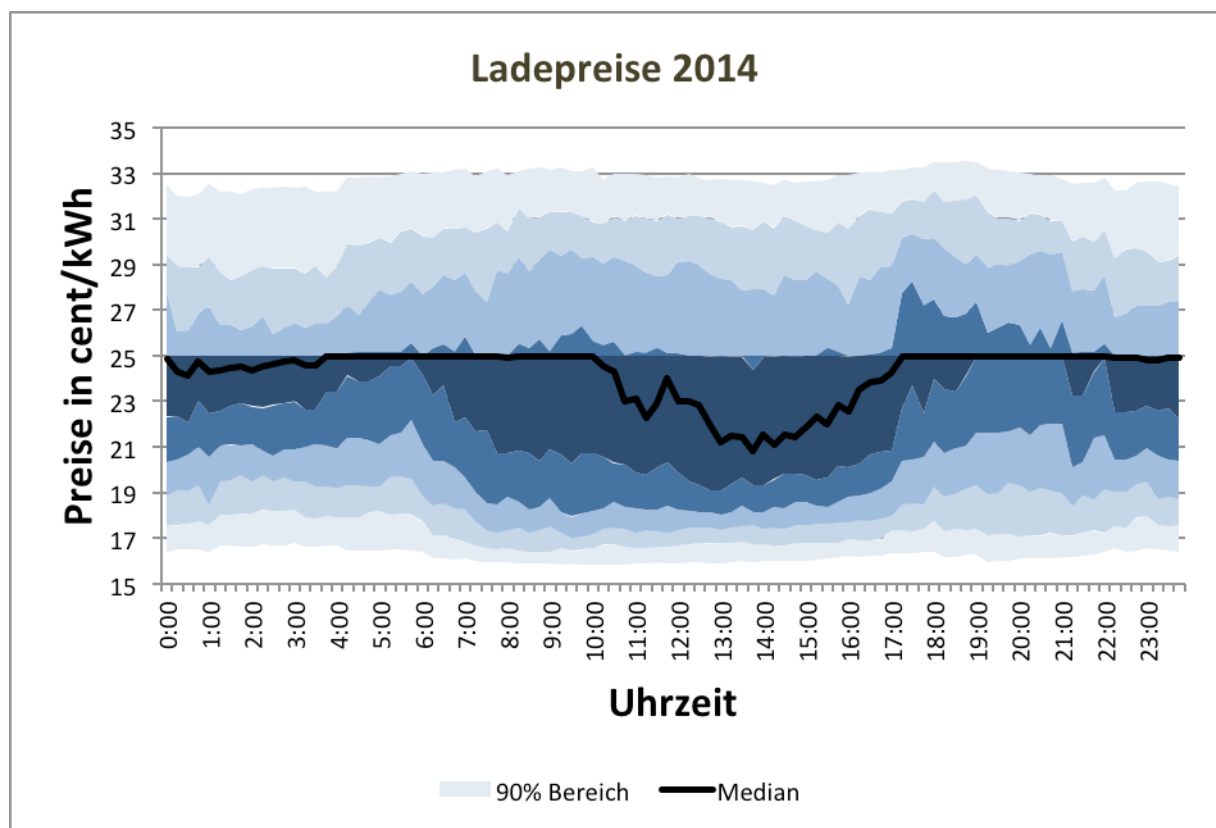


Abbildung 8: Tagesverlauf der Ladepreise über das ganze Jahr gemittelt. Die blauen Flächen zeigen die typische Schwankung der Preise zu den entsprechenden Zeiten.

## **Analyse der Nutzerakzeptanz**

Ein zentrales Ziel des Projektes war die Analyse der Nutzerakzeptanz. Insbesondere die Frage, ob die mit gesteuertem Laden und Rückspeisen verbundenen Autonomieeinbußen von den Probanden akzeptiert wurden. Hierzu wurde u.a. die Einstellung zur Elektromobilität sowohl vor als auch nach der dreiwöchigen Elektrofahrzeugnutzung mittels Fragebogen erfasst und zusätzlich zu den Verhaltensdaten der Probanden analysiert. Insgesamt konnten die Daten von 58 Probanden aus dem Zeitraum vom 26.03.2014 bis zum 23.12.2014 ausgewertet werden.

Eine Auswertung der Verhaltensdaten zeigte, dass das System zum Laden und Rückspeisen von den Probanden angenommen wurde. Dies zeigte sich u.a. darin, dass die gewünschte Spontanfahrt signifikant geringer eingestellt war, als die geplante Fahrt. Außerdem wurde die geplante Fahrt nur in seltenen Fällen auf das Maximum gesetzt, so dass durch den Algorithmus sowohl Lade- als auch Rückspeisepotential gut genutzt werden konnten.

Die Auswertung der Fragebögen zeigte eine Verschlechterung der Akzeptanz von Elektromobilität nach der jeweils dreiwöchigen Nutzung der Elektrofahrzeuge. Tendenziell betrachteten nach der Nutzungsphase weniger Probanden die Reichweite von Elektrofahrzeugen als ausreichend als zuvor. Insbesondere jüngere Probanden, die keine Lademöglichkeit zu Hause hatten, bemängelten die Reichweite nach der Nutzungsphase wesentlich stärker als davor. Im Gegensatz dazu änderte sich die Akzeptanz der Reichweite durch ältere Probanden, insbesondere falls eine Lademöglichkeit zu Hause vorhanden war, kaum bis gar nicht.

Die Reduktion der Akzeptanz scheint insbesondere durch die Nutzungsmöglichkeit von Elektrofahrzeugen für Freizeitfahrten verursacht zu werden. So nahm insgesamt über alle Probandengruppen die Zustimmung zu der Aussage, dass Elektroautos für Freizeitfahrten geeignet sind im vorher/nachher-Vergleich ab.

Bezüglich der Zustimmung zu der Aussage, dass ein Elektroauto für berufliche Fahrten geeignet ist, deuten sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern an. Während bei Frauen die Tendenz nach drei Wochen Nutzung in Richtung geringerer Zustimmung geht, gibt es bei Männern einen numerischen Trend hin zu mehr Zustimmung.

## **2. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses und Erfahrungen**

Die dargestellten Ergebnisse des Feldversuches liefern wissenschaftlich fundierte Aussagen hinsichtlich der Nutzerakzeptanz von gesteuertem Laden und Rückspeisen und der Elektromobilität im Allgemeinen. Diese stellen einen wertvollen Beitrag zur fortschreitenden Diskussion und Umsetzung der Themen „Ausbau erneuerbarer Energie“ und „Elektromobilität“ dar. Weiterhin stellt die für den Feldversuch realisierte technische Umsetzung einen bezüglich Endnutzerakzeptanz evaluierten Referenzrahmen für künftige Systeme dar.

Darüber hinaus ist insbesondere das dem entwickelten Fahrzeugrechner zugrundeliegende Hybridkonzept ein wichtiges Einzelergebnis auf dessen Grundlage weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aufbauen.

Ein besonders hervorzuhebendes Ergebnis des Feldversuches ist der Nachweis, dass sich gesteuertes Laden und Rückspeisen zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in signifikantem Umfang verwenden lässt. Die festgestellte Nutzerakzeptanz im Feldversuch ermöglichte eine Einsparung von ca. 25 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum Stand der Technik (ungesteuertes Laden). Damit ist bezüglich der Dimension Nutzerakzeptanz die Tragfähigkeit der Vision zur dezentralen und regenerativen Energieerzeugung mit Ausgleichsspeicherung in Elektrofahrzeugen belegt. Jedenfalls insofern die wechselseitigen Anforderungen von Energievertrieb und Fahrzeugnutzer in der im Feldversuch realisierten Art und Weise berücksichtigt werden.

Die Daten aus der Nutzerbefragung zeigen, dass vor allem die mangelnde Reichweite von Elektrofahrzeugen die Akzeptanz negativ beeinflusst. Dies zeigt weiteren Innovationsbedarf, um eine große Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen zu erreichen.

Die Verwertbarkeit der Ergebnisse durch die Hochschule Trier bzw. den Forschungsverbund für Verkehrstechnik und Verkehrssicherheit (FVV) ist insbesondere in Form zukünftiger Veröffentlichungen auf Basis der Feldversuchsergebnisse gegeben. Weiterhin stellt der entwickelte Fahrzeugrechner und das zugrundeliegende Hybridkonzept ein für zukünftige Forschung und Entwicklung verwertbares Nebenergebnis dar. Da aktuelle Automobile eine Vielzahl von verschiedenen eingebetteten Systemen mitbringen, von denen viele noch dazu oft nur gering ausgelastet sind, ist die Reduktion dieser Systeme auf eine geringere Zahl ein wichtiges Ziel innerhalb der Automobilindustrie. Insbesondere lassen sich durch die enge Kopplung von sicherheitsrelevanten Systemen zur Interaktion mit weiteren Fahrzeugsystemen und nicht-sicherheitsrelevanten Systemen zur Interaktion mit dem Nutzer



auch viele weitere Anwendungsszenarien erschließen, die anders nur schwer zu realisieren wären. Denkbar wäre beispielsweise eine direktere Integration von sicherheitsrelevanten Funktionen in Infotainmentsysteme.

Hinsichtlich der Verwertbarkeit der Ergebnisse aus Perspektive der Energiewirtschaft sei an dieser Stelle auf die Abschlussberichte der Partner Stadtwerke Trier und ABB AG verwiesen. Zusammenfassend zeigt sich durch die Ergebnisse dieses Projekts ein großes Potential von Elektrofahrzeugen, das zurzeit noch sehr unzureichend genutzt wird. Auch wenn dieses Potential erst durch entsprechende Investitionen in Infrastruktur und weitere FuE-Aktivitäten erschlossen werden kann, zeigen die vorliegenden Daten, dass eine solche Investition durchaus zielführend sein kann.

### **3. Ergebnisse Dritter**

Eine Analyse der öffentlich verfügbaren Solar- und Windprognosen durch die ABB AG zeigte, dass diese Prognosen mit einem großen Vorhersagefehler versehen sind. Da diese Prognosen insbesondere für die Day-Ahead Optimierung verwendet werden, ist es oftmals notwendig diese Fehler durch den Erwerb von Ausgleichsenergie zu korrigieren. Dies ist jedoch mit hohen Kosten verbunden. Die von der Hochschule Trier im Rahmen dieses Projektes entwickelte Software zur Optimierung der Wetterprognosen, ermöglicht stattdessen eine effizientere Nachregelung der Fahrpläne der BHKW. Hierdurch kann im Rahmen der von der Software der ABB AG durchgeführten Intra-Day-Optimierung die notwendige Menge an Ausgleichsenergie stark reduziert werden.

### **4. Veröffentlichungen**

#### **Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften und Konferenzen sowie technische Berichte**

Jörn Schneider und Tillmann Nett: "Safety Issues of Integrating IVI and ADAS functionality via running Linux and AUTOSAR in parallel on a Dual-Core-System". Automotive – Safety & Security 2015; Stuttgart-Feuerbach, Germany, April 21-22, 2015.

Jörn Schneider, Tillmann Nett: "econnect Germany: Feldversuch in Trier - Das Elektroauto als Nutzer und Speicher regenerativ erzeugter Energie" Hochschule Trier, Bericht „Lehre und Forschung 2014“.

Tillmann Nett und Jörn Schneider: "Automated Planning of Charge Processes for Privately Owned Electric Vehicles". 3rd International Conference on Connected Vehicles & Expo, Vienna, Austria, November 3-7, 2014.

Jörn Schneider und Tillmann Nett: "Integration of AUTOSAR and Linux on a Dual-Core-System". Embedded Software Engineering Kongress, Sindelfingen, Germany, December 1-5, 2014.

Tillmann Nett und Jörn Schneider: "Running Linux and AUTOSAR side by side". 7th Junior Researcher Workshop on Real-Time Computing, Sophia Antipolis, Frankreich, 2013.

Birte Moeller, Jörn Schneider und Christian Frings: "Place it on the side! Evaluation of stickers' positions on test cars used in field studies". Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2013, 20, 1-5.

Rolf Linn: „Fahrer-Fahrzeug-Interaktion zum gesteuerten Laden und Rückspeisen von Elektrofahrzeugen“. 7. VDI-Tagung "Der Fahrer im 21. Jahrhundert", 05. und 06. November 2013, Braunschweig, ISBN 978-3-18-092205-8, S. 101-106.

Rolf Linn: „Mit „grünem“ Strom mobil – Fahrer-Fahrzeug-Interaktion zur Optimierung der Aufladung von Elektrofahrzeugen“. Hochschule Trier, Bericht „Lehre und Forschung 2012“.

Jörn Schneider: „Forschungsprojekt econnect Trier-FVV – Das Elektroauto als Nutzer und Speicher regenerativ erzeugter Energie“. Hochschule Trier, Bericht „Lehre und Forschung 2012“.

### **Vorträge und Poster**

Tillmann Nett und Jörn Schneider: „econnect Trier - Using Electric Vehicles to Store Renewable Energy“. Poster auf der Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. 2013.

Tillmann Nett und Jörn Schneider: „Elektroautos als Energiespeicher der Zukunft - Soft- und Hardware“. Vortrag Job und Karrieremesse, Trier, 2013.

Tillmann Nett und Jörn Schneider: „Projekt eConnect-Trier - Projektvorstellung und Lessons Learned“. Vortrag bei „Pi and More“ Raspberry Pi Jam, Trier, 2013

Jörn Schneider und Christian Frings: „Forschungsprojekt econnect Germany - Trierer Feldversuch - Stromspeicher auf Rädern“. Vortrag beim Landesarbeitskreis Schule Wirtschaft, Trier, 2014.

Jörn Schneider und Christian Frings: „Mobilität der Zukunft - econnect Germany - Stromspeicher auf Rädern“. Vortrag bei der 4. Elektromobilitätstagung Rheinland-Pfalz, Birkenfeld, 2014.

Jörn Schneider und Christian Frings: „Mobilität der Zukunft - econnect Germany - Stromspeicher auf Rädern“. Vortrag auf Veranstaltung City Campus – Triers lange Nacht der Wissenschaft, Trier, 2014.