

Abschlussbericht der **TU Berlin**

zum Verbundvorhaben

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

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

Berlin, Januar 2011

Kurztitel: Mini-E 1.0

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

Projektlaufzeit: 01.11.2008 – 30.11.2010

Gefördert durch das:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



Erneuerbar  
mobil

# Schlussbericht

## Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen – MINI E 1.0

### Teilvorhaben: Vehicle 2 Grid – Intelligentes Laden und Entladen verteilter Energiespeicher

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Berlin, DAI-Labor	Förderkennzeichen 16EM0004
Vorhabensbezeichnung: Mini E 1.0: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen	
Laufzeit des Vorhabens: 01. Dezember 2008 – 30. November 2010	
Berichtszeitraum 01. Dezember 2008 – 30. November 2010	

*Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 16EM0004 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.*

GEFÖRDERT VOM



## Mini E 1.0 Schlussbericht

### **Zuwendungsempfänger:**

Technische Universität Berlin  
Fakultät IV für Elektrotechnik und Informatik  
Institut für Wirtschaftsinformatik und Quantitative Methoden  
Fachgebiet Agententechnologien in betrieblichen Anwendungen und der Telekommunikation, DAI-Labor

Ernst-Reuter-Platz 7  
D 10587 Berlin

### **Förderkennzeichen:**

16EM0004

### **Kontaktperson:**

Prof. Dr.-Ing. Sahin Albayrak  
Sekretariat TEL 14  
Ernst-Reuter-Platz 7  
D-10587 Berlin  
Tel.: +49 30 314 74001  
Email: [sahin.albayrak@dai-labor.de](mailto:sahin.albayrak@dai-labor.de)

### **Autoren:**

Dr. Jan Keiser  
Thomas Geithner  
Nils Masuch  
Marco Lützenberger  
Sebastian Ahrndt  
Frank Steuer

Weitere Informationen zum Mini E 1.0 Projekt:

[http://www.dai-labor.de/act/abgeschlossene\\_projekte/mini\\_e\\_powered\\_by\\_vattenfall/](http://www.dai-labor.de/act/abgeschlossene_projekte/mini_e_powered_by_vattenfall/)

# Inhaltsverzeichnis

<b>TEIL I. KURZE DARSTELLUNG</b> .....	<b>4</b>
<b>1 AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>4</b>
<b>2 PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS</b> .....	<b>4</b>
2.1 AP 0: PROJEKTMANAGEMENT UND ABLAUFSTEUERUNG .....	6
2.2 AP 1: ANFORDERUNGSANALYSE & KONZEPT.....	7
2.3 AP 2: EMOBILITY TESTBED.....	7
2.4 AP 3: EMOBILITY CONNECTIVITY PLATFORM .....	8
2.5 AP 4: EMOBILITY SERVICE PLATFORM & ENERGY ASSISTANT .....	8
2.6 AP 5: INTEGRATION UND GESAMTEVALUATION .....	9
2.7 AP 6: FORSCHUNGSBERICHT UND DISSEMINATION.....	9
<b>3 WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER AUSGANGSSTAND</b> .....	<b>9</b>
3.1 VERWENDETE KONSTRUKTIONEN, VERFAHREN UND SCHUTZRECHTE.....	9
3.2 VERWENDETE FACHLITERATUR SOWIE INFORMATIONS- UND DOKUMENTATIONSDIENSTE .....	11
<b>4 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN</b> .....	<b>11</b>
<b>TEIL II. EINGEHENDE DARSTELLUNG</b> .....	<b>12</b>
<b>5 ERZIELTE ERGEBNISSE</b> .....	<b>12</b>
5.1 FAHRZEUGKOMPONENTEN.....	13
5.2 LADESTATION ALS LABORAUFBAU .....	13
5.3 AUTHENTIFIZIERUNGS-, AUTORISIERUNGS- UND ABRECHNUNGSSYSTEM .....	13
5.4 V2G STEUERUNGSSYSTEM .....	15
5.5 FAHRZEUGEMULATION .....	15
5.6 INTELLIGENTES V2G PLANUNGSSYSTEM.....	16
5.7 ABLAUFSIMULATIONSSYSTEM .....	18
5.8 INTEGRIERTE DEMONSTRATIONSUMGEBUNG .....	23
<b>6 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN</b> .....	<b>26</b>
6.1 ERFINDUNGEN/SCHUTZRECHTSANMELDUNGEN UND ERTEILTE SCHUTZRECHTE.....	27
6.2 WIRTSCHAFTLICHE ERFOLGSAUSSICHTEN.....	27
6.3 WISSENSCHAFTLICHE UND/ODER TECHNISCHE ERFOLGSAUSSICHTEN .....	27
6.4 WISSENSCHAFTLICHE UND WIRTSCHAFTLICHE ANSCHLUSSFÄHIGKEIT .....	27
<b>7 FORTSCHRITTE BEI ANDEREN STELLEN AUF DEM GEBIET DES VORHABENS</b> .....	<b>28</b>
<b>8 ERFOLGTE UND GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN</b> .....	<b>29</b>
8.1 PROJEKTPRÄSENTATIONEN .....	29
8.2 PUBLIKATIONEN .....	29
<b>REFERENZEN</b> .....	<b>29</b>

## **Teil I. Kurze Darstellung**

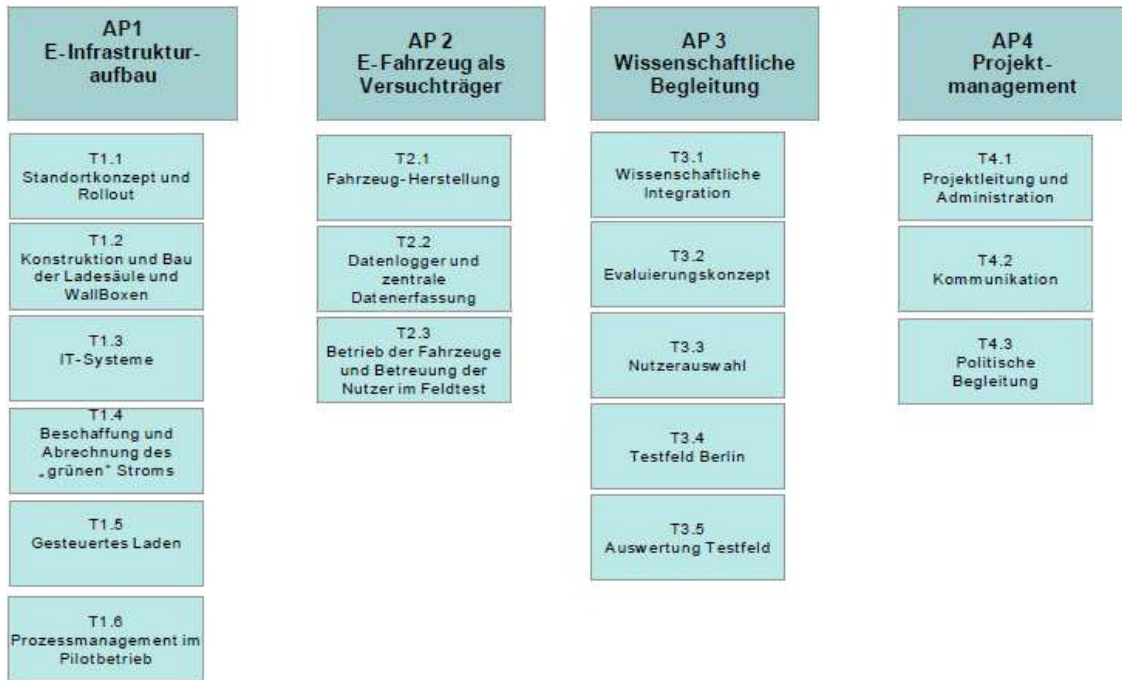
### **1 Aufgabenstellung**

Ziel des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Verbundprojektes „Mini E Berlin 1.0“ mit den Partnern Vattenfall Europe AG, BMW AG, Technische Universität Chemnitz, Technische Universität Berlin und Technische Universität Ilmenau war die Optimierung der Einbindung erneuerbarer Energien in das elektrische Versorgungssystem mit Hilfe des Einsatzes von Elektrofahrzeugen zur Energiespeicherung. Mit einer angebotsabhängigen Nutzung erneuerbarer Energien durch die Elektrofahrzeuge kann ein Beitrag zur Abfederung windabhängiger Angebotsüberschüsse im Stromnetz geleistet werden. Dazu wurde ein Steuerungssystem entwickelt und im Rahmen eines Flottenversuchs untersucht, das den Ladevorgang in Abhängigkeit vom Windenergieaufkommen regelt. Da der Verkehrssektor knapp 20 Prozent aller CO<sub>2</sub>-Emissionen der Bundesrepublik Deutschland verursacht, kann durch die verstärkte Aufladung von Elektrofahrzeugen mit sogenanntem „Grünstrom“ ein wesentlicher Beitrag zur Umsetzung der klimapolitischen Ziele geleistet werden.

Im Rahmen des von der TU Berlin durchgeführten Teilprojektes „Vehicle 2 Grid – Intelligentes Laden und Entladen verteilter Energiespeicher“ werden die Elektrofahrzeuge zudem als Teil eines virtuellen Kraftwerks eingesetzt, um einen wesentlichen Beitrag zur Versorgungssicherheit zu leisten. Hierbei soll unter realen Bedingungen außerhalb des Flottenversuchs ein Batteriesystem so eingesetzt werden, dass es nicht nur Strom bezieht, sondern bei Bedarf auch elektrische Energie ins Netz einspeisen kann. Dadurch können sowohl die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromerzeugung zu Spitzenlastzeiten und zur Netzregelung als auch der notwendige Netzausbau reduziert werden. Zu diesem Zweck wurden ein dezentrales intelligentes Energiemanagementsystem sowie eine Lösung für den diskriminierungsfreien Zugang zur Ladeinfrastruktur und eine anbieterunabhängige Abrechnung entwickelt. Die benutzerorientierte Aus- und Einspeisung von Energie zum Laden und Entladen der Batterie bezieht dabei den Kontext des Autofahrers mit in das System ein, indem die geplanten Einsätze des Fahrzeuges und die Verfügbarkeiten von Ladestationen an den Zielorten berücksichtigt werden.

### **2 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Projekt „Mini E Berlin 1.0“ wurde im Oktober 2009 rückwirkend zum 01. Dezember 2008 mit einer Laufzeit von zwei Jahren bewilligt. Es setzte sich aus vier Arbeitspakete (AP) zusammen (siehe Abbildung 1):



**Abbildung 1: Arbeitspakete im Projekt Mini E 1.0**

- Arbeitspaket 1 beschäftigte sich mit dem Aufbau und Pilotbetrieb der E-Infrastruktur, welche einen Beitrag zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch verstärkten Einsatz regenerativer Energiequellen leistet. Damit Windenergie im Alltagsbetrieb noch stärker eingesetzt werden kann, müssen sowohl ein auf technische und organisatorische Aspekte ausgerichtetes Netzmanagement entwickelt und erprobt als auch die Schnittstellen zu den eingesetzten Elektrofahrzeugen geschaffen werden. Die öffentlich zugänglichen Ladesäulen werden so gestaltet, dass sie für alle Elektrofahrzeuge unabhängig von Fahrzeugtyp und Stromlieferant zugänglich sind. Im Mittelpunkt dieses Projektes und somit auch dieses Arbeitspaketes steht jedoch die Entwicklung und Erprobung des Gesteuerten Ladens mit seinen beiden Anwendungen „Wind-to-Vehicle“ (W2V) und „Vehicle-to-Grid“ (V2G). W2V wird unter Alltagsbedingungen erprobt, wohingegen V2G in einem Laborversuch getestet wird.
- Im Arbeitspaket 2 wurden 50 Elektrofahrzeuge vom Typ MINI E mit entsprechenden Datenloggern bereitgestellt sowie im Rahmen des Feldtestes deren Betrieb sichergestellt und deren Nutzer technisch betreut. Die Herstellung der Fahrzeuge erfolgt in einem Sonderproduktionsprozess mit umfangreichen Anpassungen hinsichtlich Batteriemodule, Antriebsstrang, Craschanforderungen, Umgang mit Hochvolttechnologie sowie Fahrwerk. Sie bilden die Grundlage für die Felderprobung und die Erforschung der Kundenakzeptanz in Rahmen von AP3, um die Vor- und Nachteile im direkten Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen zu erfahren.
- Arbeitspaket 3 befasste sich mit der Entwicklung einer Methodik zur Evaluation objektiven (Datenlogger) und subjektiven Daten (Kundenerwartungen, Kundenerleben, Akzeptanz), die auf die Anforderungen verschiedener Testfelder (Deutsch-

land, UK, USA) zugeschnitten und über die einzelnen Testfelder hinweg vergleichbar ist. Darüber hinaus wurde in diesem AP die Koordination, Durchführung und Auswertung der Einzelstudien geleistet. Inhaltlich umfasste das AP die Erfassung von Nutzungsszenarien, Vorteilen und Restriktionen der Elektromobilität, die Einbindung erneuerbarer Energien, die Anforderungen an Infrastruktur und Fahrzeugkonzepte sowie Akzeptanz und Kundenerleben.

- Arbeitspaket 4 war ausschließlich mit Projektmanagementaufgaben betraut. Es umfasste sowohl die Projektleitung und Administration als auch die Kommunikation der Projektinhalte und die politische Begleitung. Hierbei wurden beispielsweise Expertenhearings sowie Zwischen- und Endergebnisse öffentlichkeitswirksam kommuniziert. Ein weiterer Kommunikationsanlass ergab sich zu Beginn und in der Mitte (Nutzerwechsel) der Pilotphase. Dieses AP stellte ebenfalls die Rückkopplung mit den politischen Akteuren (NGOs, wissenschaftliche Experten, Behörden, europäische Institutionen) und das Aufgreifen sinnvoller zusätzlicher relevanter Fragestellungen sicher.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über das Konsortium und die Beteiligung der Projektpartner an den Arbeitspaketen. In der Tabelle ist die Beteiligung an einem Arbeitspaket durch ein x markiert.

**Tabelle 1: Konsortiumsübersicht und Arbeitspaketbeteiligung**

Nr	Name	Arbeitspaket			
		AP 1	AP 2	AP 3	AP 4
1	Vattenfall Europe AG	x		x	x
2	BMW AG		x	x	x
3	Technische Universität Chemnitz		x	x	
4	Technische Universität Berlin	x			
5	Technische Universität Ilmenau	x			

Das DAI-Labor der TU Berlin war ausschließlich an der Teilaufgabe T1.5.2 des Arbeitspaketes 1 beteiligt. Diese Aufgabe ist durch das Teilvorhaben „Vehicle 2 Grid – Intelligentes Laden und Entladen verteilter Energiespeicher zur Netzoptimierung“ des DAI-Labors in sieben eigene Hauptarbeitspakete (AP 0 – AP 6) unterteilt. Ziele und Ablauf dieser einzelnen Arbeitspakete werden im Folgenden näher erläutert.

## 2.1 AP 0: Projektmanagement und Ablaufsteuerung

Das Arbeitspaket 0 umfasste ein kontinuierliches Management des Teilprojektes, die Öffentlichkeitsarbeit sowie die Koordination mit den Projektpartnern im Rahmen des Verbundprojektes Mini E 1.0. Im Rahmen des Managements erfolgte neben der eigentlichen Steuerung der Arbeiten und Zuständigkeiten, der Budgetkontrolle und Personalplanung sowie der fristgerechten Einreichung der Zwischenberichte auch die Bereitstellung der Projektinfrastruktur wie bspw. Mailinglisten, Dokumentenserver, Wiki, Versionsverwaltung, Continuous Integration Server, etc. Mit der Erstellung von Projektblättern

und Webseiten wurden Informationen über das Projekt der Öffentlichkeit verfügbar gemacht. Eine regelmäßige Teilnahme sowohl an den zweiwöchentlich als auch außerplanmäßig stattfindenden Projekttreffen sowie die Durchführung von Ergebnispräsentationen stellten den Austausch mit den Projektpartnern sicher.

Eine Herausforderung an das Projektmanagement stellte sowohl der sehr spät erhaltene Bewilligungsbescheid als auch die nicht zur Verfügung stehende Hochvoltbatterie mit entsprechender Leistungselektronik dar. Ersteres erforderte eine komplette Überarbeitung des Projektzeitplanes, da aufgrund der fehlenden Möglichkeit Personal einzustellen in der ersten Projekthälfte nicht genügend Mitarbeiter vorhanden waren. Der zwangsweise Verzicht auf die Batterie machte für die Sicherstellung der Projektergebnisse die Entwicklung einer Emulation der fahrzeugseitigen Steuerungseinheit notwendig (siehe Abschnitt 5.5). Diese Änderung und der damit verbundene erhöhte Arbeitsaufwand seitens des DAI-Labors wurden in Form eines Änderungsantrages dem Projektträger mitgeteilt.

## **2.2 AP 1: Anforderungsanalyse & Konzept**

Das Arbeitspaket 1 beschäftigte sich mit der Beschreibung des Ablaufes möglicher Szenarien jeweils mit den Aktionen der involvierten Akteure und Komponenten (Fahrer, Fahrzeug inkl. Batterie, Ladeinfrastruktur, Backend), um anschließend die daraus resultierenden funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an das eMobility Testbed, die eMobility Connectivity Platform und die eMobility Service Platform mit seinem Energieassistenten zu spezifizieren. Unter Berücksichtigung der Anforderungen wurde jeweils ein Grobkonzept für diese Teilbereiche erarbeitet. Basierend auf diesen Konzepten erfolgte die Definition der Gesamtarchitektur, die in den folgenden Arbeitspaketen als Input für die Feinspezifikation der einzelnen Systemkomponenten diente. Die Grobkonzeption umfasste die Erstellung von Modellen und Diagrammen über die Komponenten, Anwendungsfälle und Rollen im System unter Verwendung von UML.

## **2.3 AP 2: eMobility Testbed**

Im Arbeitspaket 2 wurden abgeleitet aus den Szenarien und unter Berücksichtigung der resultierenden Anforderungen die Topologie und Systemkomponenten des eMobility Testbeds definiert sowie ein Konzept für die Integration des Gesamtsystems mit den Systemkomponenten der Testumgebung erstellt. Auf Basis der Topologiedefinition und dem Wissen um die benötigten Hard- und Softwarekomponenten erfolgte der Aufbau der Testumgebung, deren Betrieb für den Rest der Projektlaufzeit sichergestellt wurde. Dabei wurden notwendige Anpassungen vorgenommen und gelegentliche Ausfälle von Komponenten behoben.

Der ursprüngliche Plan sah die Integration einer isolierten Hochvoltbatterie inklusive entsprechender Leistungselektronik in die Testumgebung vor, um auch die technischen Aspekte des Rückspeisens von elektrischer Energie in das Netz untersuchen zu können. Im Laufe des Projektes hat sich allerdings herausgestellt, dass entgegen den ursprünglichen Annahmen ein isoliertes Batteriesystem aus technischen Gründen nicht für die Erprobung von V2G Diensten geeignet ist. Daher hat der Projektpartner BMW nach Alternativlösungen gesucht, jedoch keine betriebswirtschaftlich vertretbare Lösung gefunden, die sicherheitstechnisch umsetzbar gewesen wäre. Mit der computerbasierten Emulation des internen Zustandes der elektronischen Steuerungseinheit eines V2G-fähigen Mini E sowie dessen entsprechender Kommunikation via CAN-Bus wurde von der TU Berlin



eine Kompensationslösung gefunden, mit der vergleichbare Ergebnisse zur Beantwortung der Forschungsfragen und zur Zielerreichung wie mit der Integration einer realen Hochvoltbatterie und Leistungselektronik (inkl. Steuerungseinheit) in die Testumgebung erreicht werden konnten. Einzig und allein die Betrachtung möglicher technischer Auswirkungen durch die Rückspeisung elektrischer Energie von der Fahrzeugbatterie ins Stromnetz konnte im Rahmen dieses Projektes somit nicht durchgeführt werden. Durch die Entwicklung und Integration des Emulators kam es allerdings zu vertretbaren Zeitverzögerungen und Mehraufwänden.

## **2.4 AP 3: eMobility Connectivity Platform**

Das Arbeitspaket 3 umfasste basierend auf den Anforderungen und dem Grobkonzept aus AP1 die Entwicklung und Bereitstellung der eMobility Car Platform, der eMobility Station Platform und des eMobility Servers. Die Plattform für die Fahrzeuge ist eine Hard- und Softwareplattform mit einem Basissystem, einer Abstraktionsschnittstelle für die Integration mit der Fahrzeugelektronik, Funktionalitäten für Authentifizierung, Konnektivitäts- und Mobilitätsmanagement sowie einem Laufzeitsystem für die in AP4 entwickelte Dienstplattform mit seinem Energieassistenten. Die Hard- und Softwareplattform für die Ladestationen enthält neben dem Basissystem Komponenten für die Authentifizierung gegenüber AAA-Architekturen, eine Datenerfassung und Freischaltungsmechanismen. Der Server umfasst eine Hard- und Softwareplattform als Pendant zu den anderen beiden Plattformen mit Funktionalitäten für die AAA-Architektur und die Unterstützung des Mobilitäts- und Konnektivitätsmanagements. Die Kommunikation zwischen den beteiligten Systemen erfolgt auf Basis verschiedener Technologien (UMTS/3G, Power Line Communication, WLAN), wobei zwischen Fahrzeug und Ladestation die Kommunikation über die Energieleitung favorisiert wird.

## **2.5 AP 4: eMobility Service Platform & Energy Assistant**

Im Arbeitspaket 4 wurde basierend auf dem am DAI-Labor der TU Berlin entwickelten Agentenframework JIAC V sowie den Anforderungen und dem Grobkonzept aus AP1 eine verteilte Dienstplattform für die Ausführung der verschiedenen Module des Energieassistenten bereitgestellt. Zu den Modulen dieses intelligenten Planungs- und Steuerungssystems gehören ein Terminplaner für die Verwaltung und Aushandlung der persönlichen Termine der Fahrzeugnutzer und der Einsatzzeiten der Fahrzeuge, ein Routenplaner für die Berechnung der Zeit und des Energieverbrauchs eines zu planenden Fahrzeugeinsatzes, eine Funktionalität für das Auffinden und die Reservierung freier Ladestationen, ein intelligenter Planer zur Optimierung der Auf- und Entladungen für die gezielte Steuerung der Netzbelastung und Gewährleistung der Mobilität, eine Steuerungseinheit für die sichere Durchführung und Überwachung der geplanten Auf- und Entladungen der an Ladestationen angeschlossenen Fahrzeuge sowie ein Informationsdienst zur gezielten Bereitstellung personalisierter und zusammengefasster Informationen über die Fahrzeugnutzungen. Die Bereitstellung eines zusätzlichen Routensimulators ermöglicht die Simulation von Fahrzeugeinsätzen sowie Auf- und Entladungen für Demonstrationszwecke. Zu jedem dieser Module gab es jeweils eine Entwurfs-, Implementierungs- und Testphase. Die Feinspezifikation umfasste dabei je nach Bedarf entsprechende Klassen-, Aktivitäts- und Geschäftsprozessdiagramme basierend auf UML und BPMN.

## 2.6 AP 5: Integration und Gesamtevaluation

Arbeitspaket 5 beschäftigte sich mit der Integration der getesteten Einzelkomponenten aus AP3 und AP4 innerhalb der Testumgebung aus AP2 zu einem Gesamtsystem. Mit der Bereitstellung eines an den Szenarien orientierten Demonstrators konnte dieses System gegenüber den Anforderungen aus AP1 evaluiert werden. Im Rahmen dieses AP erfolgte auch eine Dokumentation des Demonstrators.

Der ursprüngliche Plan sah eine zweistufige Entwicklung des Demonstrators vor. Nach der ersten Hälfte der Projektlaufzeit sollte bereits ein erstes integriertes System bereitgestellt werden, das die Planung und Durchführung der an den Tagesablauf des Fahrers angepassten Aufladevorgänge des Fahrzeuges unabhängig von der Netzlast demonstriert. Diese erste Version sollte bis zum Ende des Projektes zu einem finalen Demonstrator erweitert werden, der zusätzlich zum Ladevorgang auch das gesteuerte Entladen von Fahrzeugen beispielsweise zum Zwecke der Lastspitzenkappung beinhaltet. Durch die zeitlichen Verzögerungen aufgrund des erst spät erhaltenen Zuwendungsbescheides und der Suche nach einer Alternativlösung für die nicht vorhandene Hochvoltbatterie inklusive Leistungselektronik konnte die erste Version des Demonstrators erst zum Ende des Projektes zusammen mit der finalen Version erstellt werden.

## 2.7 AP 6: Forschungsbericht und Dissemination

Im Rahmen von Arbeitspaket 6 wurden sowohl dieser Bericht als auch Präsentationen über die Projektergebnisse erstellt. Die Ergebnisse wurden zudem auf verschiedenen Veranstaltungen (Expertenrunden, Partnertreffen) präsentiert sowie auf Konferenzen und Workshops veröffentlicht.

# 3 Wissenschaftlicher und technischer Ausgangsstand

Mit Beginn des Projektes existierten bereits wissenschaftliche Arbeiten und technische Lösungen insbesondere zu den Themen Energiemanagement, verteilte Softwaresysteme und Kommunikationsinfrastruktur. Die verwendeten vorwiegend frei verfügbaren Technologien sowie die genutzte Fachliteratur werden in den folgenden beiden Abschnitten genauer dargestellt.

## 3.1 Verwendete Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte

Ausgehend von vielen Übereinstimmungen der Anforderungen im Bereich Nutzerauthentisierung und Abrechnungsdatenerfassung zwischen heutigen Telekommunikationssystemen (z.B. Mobilfunk, DSL) und der zukünftigen Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge konnte auf viele existierende Verfahren (Protokolle, Standards) und Komponenten aus dem Telekommunikationsbereich zurückgegriffen werden.

In dem gewählten Szenario erfolgte sowohl die Authentisierung der Nutzer als auch die für das V2G Steuerungssystem notwendige Kommunikation per *Power Line Communication (PLC)* auf Basis der *HomePlug AV* Technologie<sup>1</sup>. Die Basis für die Kommunikation zwischen allen Teilsystemen bildet das Internet Protokoll Version 4 (*IPv4*) [1]. Zur Absicherung der Kommunikation über öffentliche Netze wurde *IPSec* [2] eingesetzt.

---

<sup>1</sup> <http://www.homeplug.org/home/>

Die Authentisierung der Fahrzeuge bzw. Nutzer gegenüber der Ladeinfrastruktur erfolgte nach dem Standard EAPoL (IEEE 802.1X-2004) [3] mit EAP-MD5 [4] und EAP-TLS [5]. Dafür wurden die Open-Source-Komponenten *wpa\_supplicant*<sup>2</sup> (Fahrzeug/CarPC) und *hostapd*<sup>3</sup> (Ladestation) eingesetzt.

Zwischen Ladestation und Backend diente das RADIUS-Protokoll [6][7] mit anwendungsspezifischen Erweiterungen (*Vendor Specific Attributes*) für die Nutzerauthentisierung und Abrechnungsdatenerfassung. Die Umsetzung im Backend erfolgte auf Basis von *FreeRADIUS*<sup>4</sup> und MySQL<sup>5</sup>.

Ein Arbeitspaket des vorliegenden Projekts war die Entwicklung eines Ablaufsimulationssystems (siehe Kapitel 5.7). Im Rahmen der Implementierung wurde dabei auf das Open Streetmap Framework (OSM)<sup>6</sup> zurückgegriffen. Das OSM Projekt verfolgt die Erstellung einer weltumfassenden und GPS-genauen Karte und erlaubt unautorisiert das Hinzufügen von GPS Positionen. Die Informationen werden vor der Veröffentlichung stets auf Fehler überprüft. Durch die sehr große involvierte Gemeinschaft garantieren die Karten eine sehr hohe Aktualität, wobei die Validierung der Informationen die Qualität der Daten sicherstellt. OSM Karten bürgen damit – gerade bei der Verwendung in größeren – Städten nahezu kommerzielle Qualität (wobei derzeit weite Landstriche in ländlichen Regionen nicht abgedeckt sind). Für die Entwicklung wurde sowohl die ausführliche Dokumentation der projekteigenen Website als auch das OpenStreetMap Buch [8] verwendet.

Der Eclipse Modeling Framework (EMF) [9] unterstützt die Softwareentwicklung anhand des Model-Driven-Engineering Paradigmas (MDE). Die Idee von MDE ist es Programmieraufgaben, welche bei der Softwareentwicklung anfallen, durch die (graphische) Spezifikation von Modellen zu ersetzen und aus diesen dann den ausführbaren Maschinencode abzuleiten. Der Vorteil der Technik ist vor allem das bessere Verständnis, welches durch die Modelle bewirkt wird, sowie einfachere Handhabbarkeit, Fehlersuche und die Unterstützung inkrementeller Verfahren. Resultierend aus den oben genannten Vorteilen wurde im vorliegenden Projekt auf EMF zurückgegriffen.

Belief-Desire-Intention (BDI) [10] ist ein psychologisches Modell, welches in der Lage ist die Entscheidungsfindung des Menschen zu konzeptualisieren. Um die Effizienz der in diesem Projekt gewählten Planungsverfahren zu „gewöhnlichen“ Nutzern ohne jegliche Planungsfunktionalität zu bewerten ist es unerlässlich ein entsprechendes psychologisches Modell zu integrieren. Im Rahmen dieses Projektes wurde vor allem die Notwendigkeit dieser Betrachtung deutlich und ein entsprechendes Konzept [11][12] für das Folgeprojekt Gesteuertes Laden 2.0 erarbeitet.

Das agentenorientierte Programmierparadigma [13] bezeichnet Systemteile mit den Eigenschaften: Autonom, reaktiv, pro-aktiv sowie sozial kompetent als Softwareagenten.

---

<sup>2</sup> Linux WPA/WPA2/IEEE 802.1X Supplicant: [http://hostap.epitest.fi/wpa\\_supplicant/](http://hostap.epitest.fi/wpa_supplicant/)

<sup>3</sup> IEEE 802.11 AP, IEEE 802.1X/WPA/WPA2/EAP/RADIUS Authenticator: <http://hostap.epitest.fi/hostapd/>

<sup>4</sup> FreeRADIUS: <http://freeradius.org/>

<sup>5</sup> MySQL: <http://www.mysql.com/>

<sup>6</sup> OSM: <http://www.openstreetmap.de>

Die Agentenorientierte Softwareentwicklung (AOSE) [14] gilt als aktiver Forschungszweig und beschäftigt sich mit der Bereitstellung von Methoden, Werkzeugen, Frameworks sowie vielen weiteren Aspekten in und um den Bereich der Entwicklung von Softwareagenten. Für das vorliegende Projekt wurde eine agenten-orientierte Sicht vor allem im Rahmen der simulierten Fahrzeuge angewandt, da die oben genannten Eigenschaften diesen inhärent zu Eigen sind.

### **3.2 Verwendete Fachliteratur sowie Informations- und Dokumentationsdienste**

Folgende Fachliteratur wurde für die Arbeit im Projekt angeschafft oder aus dem Internet heruntergeladen. Zu letzterem ist jeweils auch die zugehörige URL angegeben.

- „802.1x Port-Based Authentication“ [15]
- „AAA and Network Security for Mobile Access“ [16]
- „Android Application Development“ [17]
- „Essential SNMP“ [18]
- „Linux iptables-kurz & gut“ [19]
- „Das vernetzte Automobil“ [20]
- „Auswirkungen von Elektroautos auf den Kraftwerkspark und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland“ [21]
- „Planning Electric-Drive Vehicle Charging under Constrained Grid Conditions“ [22]
- “The V2G Concept: A new Model for Power?” [23]

## **4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Für die Realisierung der Kommunikationsplattform, die sowohl über UMTS bzw. WLAN mit den Server-Komponenten als auch über Powerline Communication (PLC) direkt über die Ladestation mit dem Backend kommuniziert, wurde eine Mobilitätsmanagement-Lösung benötigt, die Netzwerkwechsel und nahtlose Übergänge ermöglicht. Hier wurde auf Mobilitätsmanagement-Komponenten der Firma SemperLink GmbH zurückgegriffen, welche auch im Source Code vorlagen, so dass projektspezifische Änderungen durchgeführt und der Mobile IP Stack mit den anderen Komponenten der Kommunikationsplattform integriert werden konnte.

## Teil II. Eingehende Darstellung

### 5 Erzielte Ergebnisse

Ziel des zweiten Teils der Aufgabe T1.5 „Gesteuertes Laden“ des Verbundprojektes Mini E 1.0 und somit auch Ziel des Teilprojektes „Vehicle 2 Grid – Intelligentes Laden und Entladen verteilter Energiespeicher zur Netzoptimierung“ des DAI-Labors war die Entwicklung eines Systems, das dem Energieversorger intelligentes Einspeisen ins Netz auf Basis verteilter Energiespeicher unter Nutzung der Speicherkapazität von Elektrofahrzeugen ermöglicht. Intelligentes Laden und Entladen von verfügbaren Fahrzeugbatterien ermöglicht eine gezielte Steuerung der Netzbelastung beispielsweise zur Lastspitzenkappung. Dabei ist es zur Gewährleistung der Mobilität und Akzeptanz des Nutzers notwendig den Kontext des Autofahrers einzubeziehen, indem die geplanten Einsätze des Fahrzeuges und die Verfügbarkeiten von Ladestationen berücksichtigt werden. Eine diskriminierungsfreie Abrechnung unterschiedlicher Fahrzeugtypen und Stromlieferanten muss aus Akzeptanzgründen ebenso möglich sein.

Zur Erreichung dieses Zieles war es notwendig entsprechende Hard- und Softwarekomponenten für Fahrzeuge, Ladestationen und Backend zu entwickeln sowie eine entsprechende Kommunikationsinfrastruktur bereitzustellen. Für eine diskriminierungsfreie Abrechnung wurde ein an die Anforderungen der Elektromobilität angepasstes Authentifizierungs-, Autorisierungs- und Abrechnungssystem entwickelt.

Die Basis des intelligenten Energiemanagements bildet ein dezentrales Software-Agentensystem, welches auf dem am DAI-Labor entwickelten Framework JIAC V aufsetzt. Spezielle Software-Agenten sind für die Verwaltung von Teilaspekten des Systems, wie der Fahrer, das Fahrzeug bzw. dessen Batterie, die Ladestationen sowie Zustände im Energienetz zuständig. Diese können auf Basis möglicher Lade- und Einspeisezeiten kooperativ mögliche Lastpläne berechnen, die basierend auf den Zielen (CO<sub>2</sub>-Reduzierung, Mobilität, Netzauslastung) den Gesamtnutzen der beteiligten Rollen optimieren. Die Zeiten ergeben sich dabei dynamisch aus den geplanten Nutzungsterminen des Fahrzeuges, Ladezustand der Batterie, Verfügbarkeit der Ladestationen, sowie Energieverbrauch und Nutzerverhalten. Das Energiemanagementsystem besteht dabei aus einem intelligenten Planungssystem und einem Steuerungssystem, wobei das Steuerungssystem das Zusammenspiel zwischen den Hardwarekomponenten (Sensoren) und dem intelligenten Planungssystem übernimmt, indem es den Zustand der Fahrzeuge und Ladestationen überwacht und entsprechende Aktionen zur Steuerung anbietet.

Die realitätsnahe Test- und Demonstrationsumgebung beinhaltet zusätzlich sowohl eine Emulation der fahrzeugseitigen Steuerungseinheit, um Zustände und Aktionen der Leistungselektronik und Batterie abzubilden, als auch eine Ablaufsimulation, welche die Fahrten, Standzeiten sowie Auf- und Entladungen der Fahrzeuge in Zeitraffer durchführt und visualisiert.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des DAI-Labors ausführlich beschrieben.

## 5.1 Fahrzeugkomponenten

Die Umsetzung der fahrzeugseitigen Komponenten fand in enger Abstimmung mit dem Projektpartner BMW statt. Die Basis bildet ein handelsüblicher Car-PC, der um zusätzliche Module erweitert wurde. Für die direkte Kommunikation mit dem Fahrzeug (Batteriemangement) wurde ein CAN-Bus-Modul integriert. Zusätzliche UMTS- und WLAN-Module dienen der Datenübertragung im nicht mit der Ladestation verbundenen Zustand. Die Mobilitätsmanagementlösung stellt die Verbindungen automatisch her und gewährleistet ein nahtloses Umschalten zwischen den verschiedenen Zugangstechnologien. Zur direkten Kommunikation zwischen Ladestation und Fahrzeug wurde ein Embedded-PLC-Modul in den Car-PC integriert. Um die direkte Verbindung zum Car-PC spannungsfrei zu halten, erfolgt die Auskopplung des PLC-Signals aus dem Ladekabel außerhalb des Car-PCs mittels eines dafür eigens entwickelten PLC-Couplers.

Da, entgegen des ursprünglichen Projektplans, kein Batteriesatz mit Leistungselektronik und Kontrolleinheit zur Verfügung stand, mussten die fahrzeuginternen Funktionen nachgebildet werden. Dazu wurde ein Car-Emulator entwickelt, welcher mittels CAN-Bus mit dem Car-PC kommuniziert und die fahrzeuginterne Ladeelektronik nachbildet. Diese Emulation wurde mit Hilfe der vom Projektpartner BMW zur Verfügung gestellten Daten und der vereinbarten Schnittstellen (CAN-Bus basiertes Protokoll) umgesetzt.

## 5.2 Ladestation als Laboraufbau

Der Laboraufbau der Ladestation nimmt auf die besonderen Anforderungen des gewählten Szenarios, die Nutzerauthentisierung per PLC-Kommunikation und die Einspeisefähigkeit des Fahrzeugs, Rücksicht. Die technische Umsetzung erfolgte im Hinblick auf die für das Szenario relevanten Funktionen, andere für einen realen Einsatz notwendige Anforderungen (z.B. elektrische Absicherung für den Einsatz im Außenbereich) wurden nicht berücksichtigt.

Aus Sicht der umzusetzenden Funktionen bildet ein embedded Computer die zentrale Komponente der Ladestation. Alle wesentlichen Funktionen (Steuerung und Überwachung der elektrischen Installation, Kommunikation, Nutzerauthentisierung, Datenerfassung) werden dort koordiniert. Die Kommunikation zum Backend erfolgt mittels eines dedizierten UMTS-VPN-Routers. Eine Ladebuchse stellt die elektrische und die datentechnische Verbindung zum Fahrzeug zur Verfügung. Die elektrische Verbindung wird erst nach erfolgreicher Authentisierung des Nutzers durch ein Schütz hergestellt, so dass die Ladebuchse im Grundzustand spannungsfrei ist. Zur Datenübertragung wird ein handelsüblicher PLC-Adapter verwendet. Um die Kommunikation zum Fahrzeug auch im spannungsfreien Zustand (bei geöffnetem Schütz) zu ermöglichen, wurde ein speziell entwickelter PLC-Coupler integriert. Der verwendete Energiezähler ist in der Lage, die entnommene und die eingespeiste Energie unabhängig zu zählen. Diese Daten werden vom embedded Computer erfasst und weiterverarbeitet.

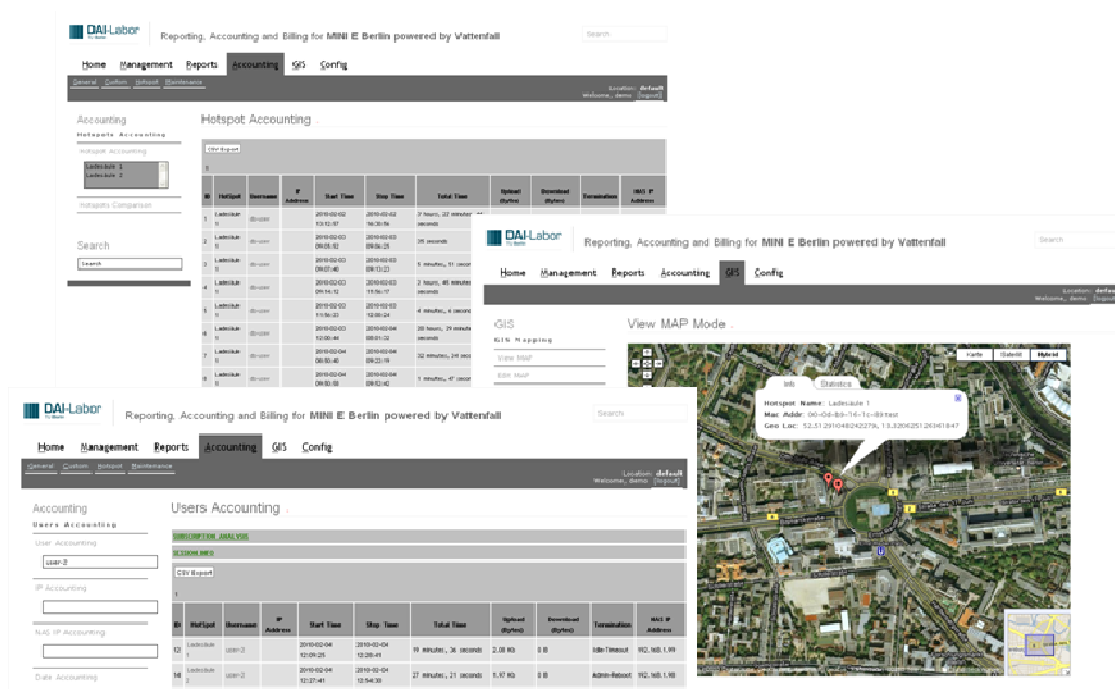
## 5.3 Authentifizierungs-, Autorisierungs- und Abrechnungssystem

Das umgesetzte System zur Nutzerauthentifizierung, -autorisierung und Abrechnungsdatenerfassung baut auf etablierten Standards und Komponenten aus dem ISP- und Telekommunikationsbereich auf. Den Kern bilden dabei standardisierte Protokolle, EA-

*PoL/IEEE 802.1X* [3] zwischen Ladestation und Fahrzeug und *RADIUS* [6][7] zwischen Ladestation und Backend.

Die *EAPoL*-Authentifizierung des Fahrzeugs gegenüber der Ladestation ist ein Verfahren, welches den Einsatz einer Vielzahl verschiedener Authentifizierungsmethoden (z.B. Nutzernamen/Passwort, SIM-Karte, kryptographische Zertifikate) gestattet. Im Rahmen dieses Projektes wurden exemplarisch zwei Methoden, das passwortbasierte *EAP-MD5* [4] und das zertifikatsbasierte *EAP-TLS* [5], umgesetzt. Um die Nutzeridentität nicht fest an ein Fahrzeug zu binden, wurde diese auf einem USB-Token gespeichert. Dadurch lassen sich verschiedene Szenarien umsetzen, beispielsweise 1-Fahrzeug-n-Nutzer (z.B. Familie, Mietwagen aus Betreibersicht), n-Fahrzeuge-1-Nutzer (z.B. Mietwagen aus Nutzersicht) oder 1-Nutzer-n-Energieverträge (z.B. berufliche und private Nutzung eines Fahrzeugs).

Das *RADIUS*-Protokoll stellt eine standardisierte Methode zur Nutzerauthentifizierung und Abrechnungsdatenerfassung in Verbindung mit einem AAA-Server dar und kommt zwischen Ladestation und Backend zum Einsatz. Mittels der vorgesehenen Methoden zur anwendungsspezifischen Erweiterung, den *Vendor Specific Attributes (VSAs)*, konnte eine Erweiterung zur Übertragung der Zählerstände (entnommene und eingespeiste Energie) vorgenommen werden. Durch den Einsatz von *RADIUS* oder eines vergleichbaren standardisierten Protokolls wäre in Zukunft eine von einzelnen Herstellern unabhängige Ladeinfrastruktur möglich. Darüber hinaus ließen sich auch anbieterübergreifende Infrastrukturen aufbauen, welche Nutzungskonzepte ähnlich dem Roaming im Mobilfunkbereich erlauben würden.



**Abbildung 2: Web-Frontend für Nutzerverwaltung und Datenauswertung**

In der Ladestation werden die Verbindungsdaten (Nutzer, An- und Abmeldezeitpunkt) mit den Verbrauchsdaten (Energienmengen, Datenvolumina) verknüpft und per *RADIUS*

zu einem Server im Backend übertragen (*Accounting*). Diese Datensätze bilden die Grundlage für eine spätere Abrechnung gegenüber dem Kunden (welche nicht Bestandteil des Vorhabens war). Für den Laborbetrieb wurde ein einfaches Web-Frontend für die Nutzerverwaltung und Datenauswertung umgesetzt (siehe Abbildung 2).

## 5.4 V2G Steuerungssystem

Das V2G Steuerungssystem übernimmt die Zustandsüberwachung und -steuerung der Hochvoltkomponenten des Fahrzeuges. Hierfür ist zusammen mit dem Projektpartner BMW ein Nachrichtenkatalog für den CAN-Bus eines MINI E definiert worden. Basierend auf diesem Nachrichtenkatalog liest das Steuerungssystem regelmäßig die Fahrzeugdaten vom CAN-Bus (Zustand, Ladeleistung, Batteriespannung, Ladezustand, Energieverbrauch, Batterietemperatur, etc.) und sendet bei aktiviertem V2G Modus die gewünschte Auf- bzw. Entladeleistung.

Zusätzlich überwacht das Steuerungssystem die Authentifizierung und Autorisierung des Nutzers während des Aufbaus der Power Line Communication (PLC) nach Anstecken des Ladekabels. Mögliche Ereignisse und die zugehörigen Aktionen sind dabei:

- *Gestartet*: Wechsel in V2G Modus ohne Ladestrom, um ungesteuertes Laden des Fahrzeuges nach erfolgreichem Verbindungsaufbau zu verhindern.
- *Verbunden*: Verbindung zum Stromnetz besteht und Spannung liegt an, so dass das Fahrzeug versucht mit gewünschter Leistung zu laden oder zu entladen.
- *Fehler*: V2G Modus wird beendet, da aufgrund einer fehlgeschlagenen Authentifizierung oder Autorisierung keine Verbindung zum Stromnetz zustande kommt.
- *Unterbrochen*: V2G Modus wird aufgrund einer Abmeldung oder Unterbrechung der Verbindung zum Stromnetz beendet.

Das V2G Steuerungssystem wird einerseits von der Simulation verwendet, um abzufragen ob eine Verbindung mit dem Stromnetz besteht und um den V2G Modus mit gewünschter Ladeleistung zu aktivieren bzw. wieder zu deaktivieren. Andererseits fragt das Planungssystem den aktuellen Ladezustand der Batterie ab, um den Bedarf des Aufladens bzw. die Möglichkeit des Entladens abzuschätzen.

## 5.5 Fahrzeugemulation

Ursprünglich war geplant eine isolierte Hochvoltbatterie inklusive entsprechender Leistungselektronik in die Testumgebung zu integrieren, um auch die technischen Aspekte des Rückspeisens von elektrischer Energie in das Netz untersuchen zu können. Im Laufe des Projektes hat sich allerdings herausgestellt, dass entgegen den ursprünglichen Annahmen ein isoliertes Batteriesystem aus sicherheitstechnischen Gründen nicht für die Erprobung von V2G Diensten geeignet ist. Mit der Entwicklung eines Car Emulators wurde aber eine Lösung gefunden, mit der die Projektziele in vergleichbarer Art und Weise erreicht werden konnten.

Der Car Emulator ist dabei für die Emulation der fahrzeugseitigen Steuerungseinheit zuständig, die den internen Zustand der Batterie und Leistungselektronik verwaltet und eine Schnittstelle zum CAN-Bus besitzt. Die maximale Leistung für das Auf- und Entladen sowie die nominale Kapazität und Spannung der Batterie lässt sich konfigurieren.



Neben der eigentlichen Verwaltung des internen Fahrzeugzustandes werden regelmäßig die aktuellen Fahrzeugdaten (Zustand, Ladeleistung, Batteriespannung, Ladezustand, Energieverbrauch, Batterietemperatur, etc.) auf den CAN-Bus gesendet. Bei Empfang einer Nachricht vom Steuerungssystem wird in Abhängigkeit von deren Inhalt entweder der V2G Modus mit angegebener Auf- oder Entladeleistung aktiviert oder wieder deaktiviert. Die tatsächliche Leistung wird nicht zuletzt durch den aktuellen Fahrzeugzustand beeinflusst:

- *Kein Laden und Entladen:* Es ist keine Verbindung zum Stromnetz vorhanden oder die Batterie ist bereits vollständig geladen bzw. entladen.
- *Ungesteuertes Laden (konstante Leistung):* Verbindung zum Stromnetz ist vorhanden, V2G Modus ist deaktiviert und Batterie ist noch nicht vollständig aufgeladen.
- *Gesteuertes Laden oder Entladen (variable Leistung):* Verbindung zum Stromnetz ist vorhanden, V2G Modus ist aktiviert und Batterie ist noch nicht vollständig geladen bzw. entladen.

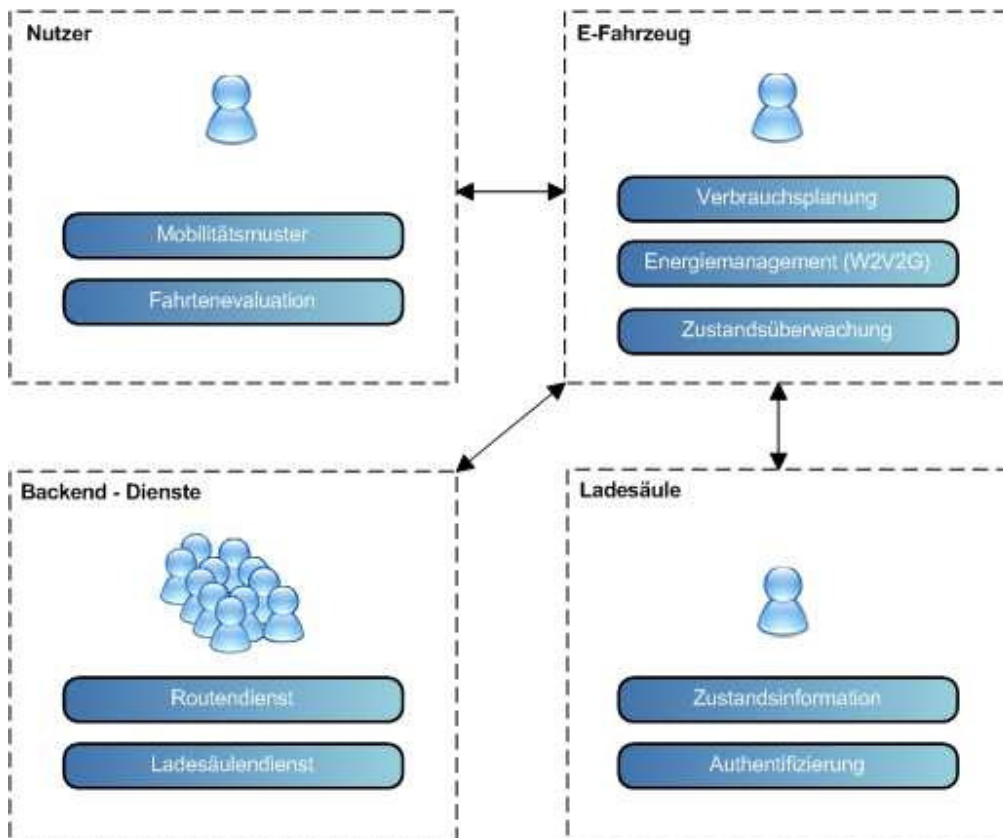
Unter Angabe einer Zeitdauer ist der Emulator basierend auf dem internen Fahrzeugzustand in der Lage den aktuellen Ladezustand der Batterie selbständig anzupassen. Nichtsdestotrotz kann der aktuelle Ladezustand aber auch durch die Simulation direkt gesetzt werden. Der Car Emulator erlaubt ebenfalls das explizite Starten und Stoppen des Fahrzeuges.

## 5.6 Intelligentes V2G Planungssystem

Im Rahmen dieses Projektes ist das zentrale Ziel des V2G Planungssystems die intelligente Einspeisung von Energie mit Hilfe von Elektrofahrzeugen bei hoher Netzbelastung zur Lastspitzenkappung. Darüber hinaus ergeben sich zusätzliche Herausforderungen an das Lademanagement. So soll nicht nur bei hoher Last eingespeist werden, sondern auch nach Möglichkeit nur dann geladen werden, wenn ein hohes Maß an regenerativen Energien bei gleichzeitig geringer Netzlast zur Verfügung steht. Zudem müssen die Interessen des Fahrzeugnutzers vertreten werden, für den in erster Linie die Mobilitätsgarantie des Fahrzeuges gewährleistet werden muss. Weitere Anforderungen durch den Nutzer ergeben sich aus seiner ökologischen Einstellung (Bereitschaft zum Einspeisen) und seiner Risikobereitschaft (garantierte Mindestreichweite).

Aus den erwähnten Anforderungen, die das System erfüllen soll, wird deutlich, dass eine Vielzahl von Entitäten (Nutzer, E-Fahrzeug, Ladesäule, Netzbetreiber) in den Prozess der Lade- und Einspeiseevaluierung involviert sind. Aus diesem Grund haben wir uns dazu entschlossen das System als verteiltes, agentenbasiertes System umzusetzen, bei denen die einzelnen Agenten ihre jeweiligen Interessen vertreten und gemeinsam die Lade- und Einspeisevorgänge planen.

Abbildung 3 zeigt eine grobe Übersicht über die Architektur des Systems. Die bereits erwähnten Entitäten werden durch Dienste ergänzt, die auf Backend Servern laufen. Um möglichst realistische Szenarien umzusetzen, haben wir uns dazu entschlossen das V2G Planungssystem auf Grundlage von Mobilitätsmustern des Nutzers zu entwickeln. Das heißt, ausgehend von den Fahranforderungen des Nutzers werden die Notwendigkeiten für Aufladungen und das Potential für Einspeisungen ins Netz evaluiert und mit Hilfe unserer eigentlichen Ladealgorithmen entsprechende Vorgänge bestimmt.



**Abbildung 3: Die Entitäten des V2G Planungssystems**

Im Folgenden werden die einzelnen Funktionalitäten des Systems vorgestellt. Dabei gehen wir vom Nutzer aus und zeigen dann auf wie die Ladealgorithmen zu einer Entscheidung kommen.

Der Nutzer-Agent ermöglicht in erster Linie den Zugriff auf das Mobilitätsmuster des Fahrers. Dieser Ansatz erlaubt eine gezielte Planung der Ladevorgänge bereits vor Fahrtantritt, was nach unserer Meinung zu mehr Ladesicherheit für den Nutzer und zu mehr Netzstabilität auf Seiten des Netzbetreibers führt. Dabei können die Informationen über das Fahrverhalten aus verschiedenen Quellen (erlerntes Fahrverhalten, vom Nutzer angekündigte Fahrten) stammen. Relevant für die weitere Planung sind hierbei die Routen und die Standzeiten des Elektrofahrzeuges.

Um den Verbrauch des Fahrzeuges evaluieren zu können, müssen die entsprechenden Routen und deren Längen berechnet werden. Dafür greifen wir auf einen von uns implementierten *Routendienst* zurück, der kürzeste bzw. schnellste Strecken auf Grundlage der frei zugänglichen Karte OpenStreetMap berechnet. Darüber hinaus haben wir aus den Eigenschaften unserer simulierten Elektrofahrzeuge lineare Verbrauchsmodelle abgeleitet. Auf Grundlage dieser beiden Informationen können wir nun die entsprechenden Verbrauchsdaten des Fahrzeuges über den gesamten Tag berechnen und eine Energieverlaufskurve aufstellen.

Die Energieverlaufskurve stellt den eigentlichen Ausgangspunkt für das *Energiemanagement* dar. Mit ihrer Hilfe wird berechnet zu welchen Zeitpunkten Aufladevorgänge

notwendig sind und wann ein Rückspeisen von Energie überhaupt in Frage kommt. Für die beiden Vorgänge werden unterschiedliche Algorithmen verwendet, die im Folgenden erläutert werden.

Für den *Wind-to-Vehicle* (W2V, Aufladen des E-Fahrzeuges) Algorithmus ist die Notwendigkeit zum Evaluieren eines Ladeintervalls immer dann gegeben, wenn die voraussichtliche Energieverlaufskurve eine vom Nutzer als feste untere Grenze definierte Mindestreichweite unterschreitet. Dabei werden nun alle Zeitintervalle bis zu der entsprechenden Unterschreitung hinsichtlich Ihrer Eignung für das Laden überprüft. Dazu gehören sowohl der Effekt, den das Ladeintervall auf die Energieverlaufskurve hat, als auch die netzspezifischen Eigenschaften zu dieser Zeit. Dabei werden die Netzlast und der Anteil regenerativer Energien in Betracht gezogen. Ein optimaler Zeitpunkt zum Laden wird dann erachtet, wenn der Anteil an Windenergie als hoch und der Anteil der Netzlast als gering zu bewerten ist. Das heißt bei einem hohen Windenergie/Netzlast-Quotienten wird mit hoher Wahrscheinlichkeit eine hohe Menge an Windenergie in das Fahrzeug gespeist, was dem Anspruch an ein „grünes“ Auto gerecht wird.

So bietet der hohe Anteil regenerativer Energien in der Batterie des Fahrzeuges zudem die Möglichkeit nicht nur bei hoher Netzlast das Netz mit Strom zu versorgen, um die Lastspitzen zu glätten. Darüber hinaus kann die Batterie als Zwischenspeicher für potentiell nicht genutzte Windenergie verstanden werden, die zu Zeiten hoher Nachfrage ins Netz gespeist wird. Der *Vehicle-to-Grid* (V2G) Algorithmus wird vom Planungssystem bei jeder Zustandsänderung der Nutzerparameter (Änderung der Mindestreichweite) und der Umweltparameter (Netz-, Windkurvenprognose) aktiviert. Dabei werden die Netz- und Windenergieprognosen für die folgenden 24 Stunden betrachtet. Bei niedrigem Windenergieanteil und gleichzeitig hoher Last wird ein Einspeisen als sinnvoll erachtet. Daraufhin wird überprüft, was für Effekte ein Einspeisen auf die Energieverlaufskurve hat. Bei weiterhin gegebener Mindestreichweite für den Nutzer wird das entsprechende Zeitintervall als Einspeiseintervall vorgemerkt.

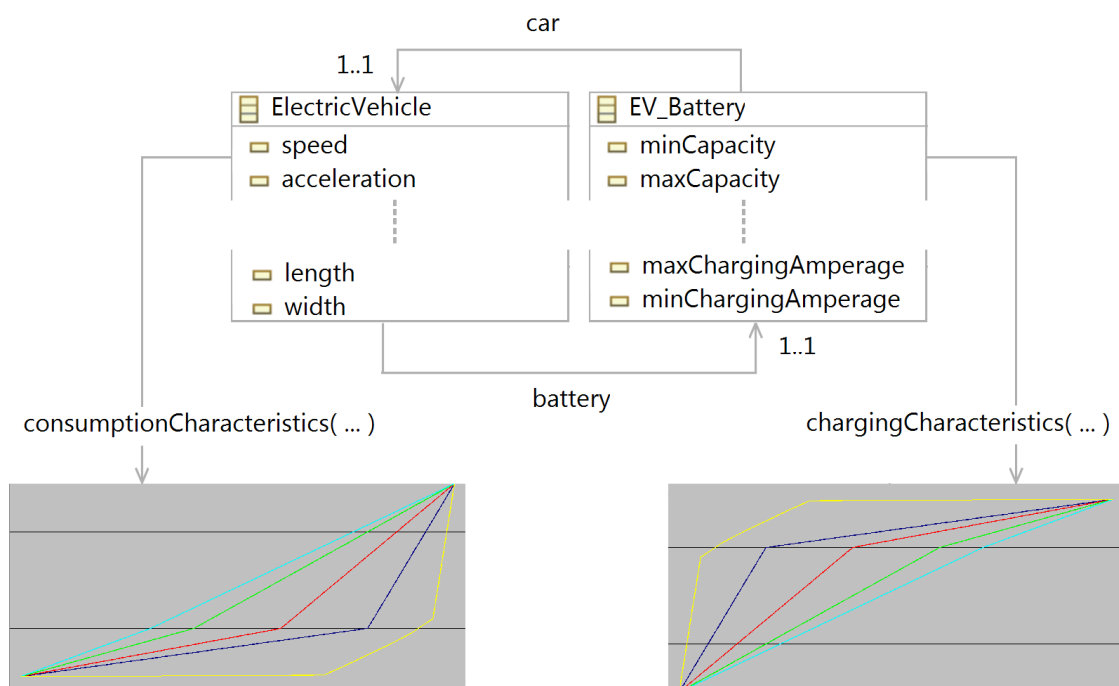
Um die evaluierten Lade- und Einspeisevorgänge auch umsetzen zu können, muss das Fahrzeug zu den vorgesehenen Zeiten an einer W2V bzw. V2G-fähigen Ladesäule angeschlossen werden. Aus diesem Grund wird mittels eines *Ladesäulendienstes* abgefragt, wo sich in entsprechender Nähe zu den Fahrzeugstandorten solche befinden. Die Details zu den Ladesäuleigenschaften (Ladesäulentyp, Ampere-Grenzen, Belegung) werden dann direkt von der Ladesäule ermittelt (*Zustandsinformation*).

Der soeben beschriebene Planungsablauf basiert auf prognostizierten Informationen über das Fahrverhalten des Elektrofahrzeugs. Der tatsächliche Ablauf kann allerdings durch unvorhersehbare Ereignisse von der Planung abweichen. Deswegen muss das System bei der eigentlichen Ausübung der Fahraufgaben eine *Zustandsüberwachung* durchführen, die dann in bestimmten Fällen Alarm schlägt und zu Umplanungen der Lade- und Einspeiseereignisse führt. So decken wir in unserem System bisher die Fälle ab, dass das An- bzw. Abstecken des Ladekabels vergessen wurde und dass Nutzerparameter wie die Mindestreichweite verändert werden, was zu einer Anpassung des Ladeverhaltens führen kann. Es gibt noch eine Reihe weiterer Zustandsabweichungen wie zum Beispiel der deutlich höhere Energieverbrauch gegenüber der Planung. Diese abzufangen war im Rahmen des Projektes jedoch nicht mehr umsetzbar.

## 5.7 Ablaufsimulationssystem

Für die Simulation der Fahrten, Standzeiten sowie Auflade- und Entladeprozesse wurde im Rahmen des Projektes ein Simulationsframework entwickelt. Bei dem Framework

handelt es sich um eine mikroskopische, Tageskontext, nicht raum-sensitive Verkehrssimulation, welches neben der Simulation von mehreren Fahrzeugen auch die Simulation eines ausgezeichneten Fahrzeugs (dem sog. „Demonstrator-Car“) durchführen kann. Unter Zuhilfenahme von EMF wurde zu diesem Zweck zunächst ein passendes Modell-element für ein elektrisches Fahrzeug definiert. Neben den gängigen Attributen, wie Verkehrssimulationsprogramme sie in der Regel nutzen, definiert das verwendete Modell zusätzlich einen Batterietyp, welcher detaillierte Informationen und Charakteristika über die Batterie des simulierten Fahrzeugs enthält. Der betreffende Teil des Domain-Modells ist in Abbildung 4 illustriert.



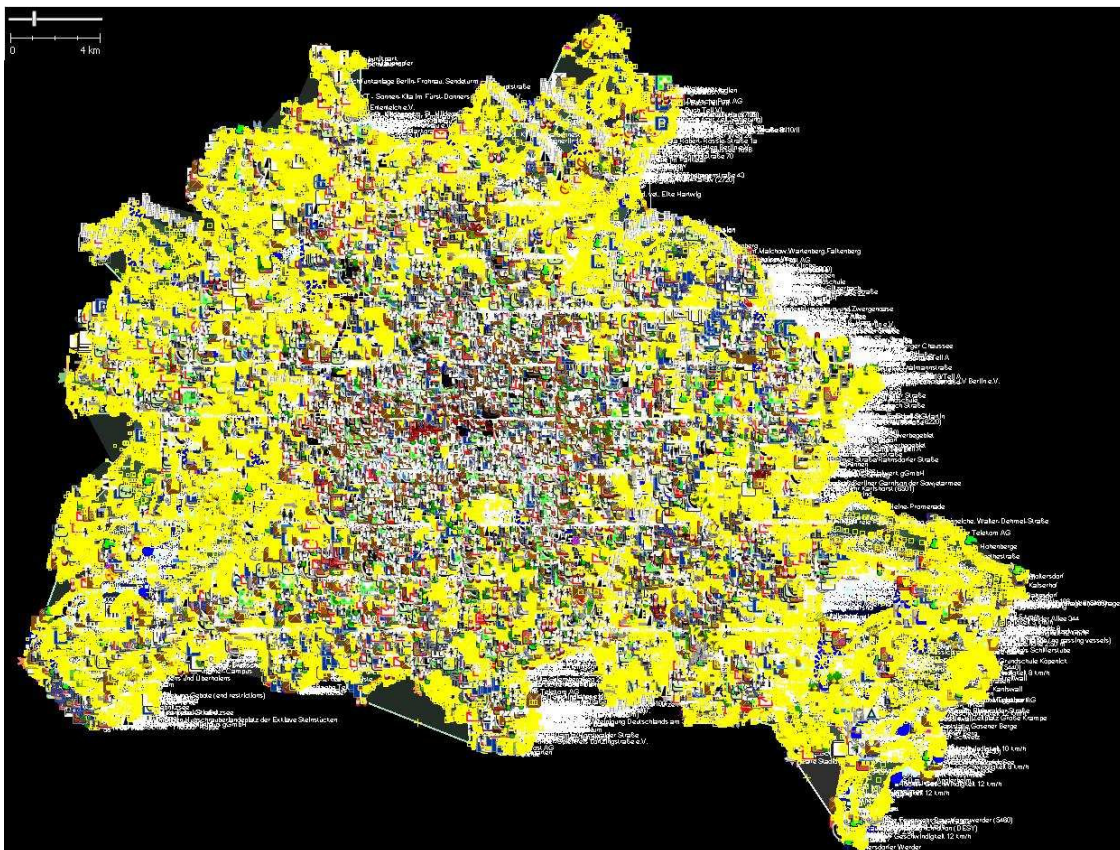
**Abbildung 4: Domain Modell für Elektrofahrzeuge**

Neben allgemeinen Informationen über das Fahrzeug selbst, referenziert der **ElectricVehicle** Typ mehrere Verbrauchscharakteristika. Diese werden später in der Simulation benötigt, um den Entladeprozess beim Fahren der Fahrzeuge zu emulieren. Der genaue Verbrauch wird dabei über die aktuellen Fahrdaten (Geschwindigkeit, Beschleunigung, aktueller Ladezustand, etc.) errechnet um die Ladung der Batterie entsprechend der Fahrleistung zu reduzieren.

Der referenzierte Batterietyp enthält im Detail die Charakteristika der Batterie. Neben allgemeinen Attributen wie minimaler Ladestrom, maximaler Ladestrom, Kapazität, etc., wird hier das Ladeverhalten der Batterie definiert. Anhand mehrerer Parameter (zugewiesener Ladestrom, Dauer der Ladung, Zeitpunkt der Ladung, usw.) wird hier das Ladeverhalten der Batterie berechnet. Die verwendete Architektur weist ein hohes Maß an Modularität auf. Diese Modularität gewährleistet zum einen das Parametrisieren der Batterie selbst. Durch fiktive Werte können hier Rückschlüsse auf die daraus resultierenden systemkritischen Werte wie z.B. Fahr-, Lade- und Entladeleistungen getroffen werden. Zudem begünstigt das Modulsystem das einfache Austauschen der verwendeten Batteriecharakteristika und ermöglicht somit sehr schnell die aktuellsten Messwerte oder gar

ein komplett neues Batteriemodell für die Simulation zu integrieren. Das Prinzip wurde als Publikation [24] abgefasst und beim Intelligent Vehicle Symposium 2011 eingereicht. Da für die eigentliche Umsetzung keine detaillierten Verbrauchs- sowie Ladedaten zur Verfügung gestellt wurden, musste im Kontext der Projektarbeit auf ein vereinfachtes Modell zurückgegriffen werden, welches lediglich aus gemittelten Verbrauchs- sowie Emissionsdaten besteht. Wie bereits weiter oben erwähnt können diese angenommenen Werte jederzeit durch realistische Messergebnisse ausgetauscht werden.

Die zentrale Komponente eines jeden Verkehrssimulationsframeworks stellt die verwendete Simulationstopologie dar. Konkret wird hierunter die Karte verstanden auf welcher die simulierten Fahrzeuge bewegt werden. Für das vorliegende Projekt wurde auf das Open Streetmap Framework (OSM) zurückgegriffen. Das OSM Projekt verfolgt die Erstellung einer weltumfassenden und GPS-genauen Karte und erlaubt unautorisiert das Hinzufügen von GPS Positionen. Die Informationen werden vor der Veröffentlichung stets auf Fehler überprüft. Durch die sehr große involvierte Gemeinschaft garantieren die Karten eine sehr hohe Aktualität, wobei die Validierung der Informationen die Qualität der Daten sicherstellt. OSM Karten bürgen damit – gerade bei der Verwendung in größeren – Städten nahezu kommerzielle Qualität (wobei derzeit weite Landstriche in ländlichen Regionen nicht abgedeckt sind). Eine Abbildung der Berlin Karte, wie sie im Rahmen dieses Projekts benutzt wurde ist in Abbildung 5 dargestellt.



**Abbildung 5: OSM Karte der Stadt Berlin**

Für die Implementierung der Simulation haben wir uns für einen Benutzerzentrierten Ansatz entschieden. Wir haben die Eigenschaften der Simulierten Fahrzeugen als autonom, reaktiv, pro-aktiv sowie sozial kompetent charakterisiert und haben uns damit an einer Definition von Wooldridge und Jennings [13] orientiert, welche Systeme mit den oben genannten Eigenschaften als Agent identifiziert. Die agenten-orientierte Sichtweise barg den Vorteil ein Implementierungsschema für die Fahrzeuge vorzugeben. Für die Steuerung der simulierten Fahrzeuge haben wir uns für einen ereignisbasierten Ansatz entschieden. Wir definieren hierbei für jedes simulierte Fahrzeug, eine Menge von Ereignissen und unterscheiden dabei zwischen drei verschiedenen Typen:

- *Abfahrt*: Das Abfahrt-Ereignis beinhaltet einen Startzeitpunkt sowie einen Zielpunkt und signalisiert dem Fahrzeug zum angegebenen Zeitpunkt eine Fahrt zum angegebenen Ziel zu beginnen.
- *Laden*: Das Lade-Ereignis beinhaltet einen Start-, einen Endzeitpunkt sowie eine Ladestromstärke und signalisiert dem Fahrzeug zum angegebenen Zeitpunkt einen Ladevorgang mit dem definierten Ladestrom zu starten.
- *V2G*: Das V2G-Ereignis beinhaltet einen Start-, einen Endzeitpunkt, sowie eine V2G Stromstärke und signalisiert dem Fahrzeug zum angegebenen Zeitpunkt einen V2G Vorgang mit der definierten Stromstärke zu starten.

Der Terminkalender der simulierten Fahrzeuge wird mit den o.g. Ereignissen gefüllt und dient der Verkehrssimulation als Anweisung, wie mit den simulierten Fahrzeugen zu verfahren ist. Jedem Fahrzeug wird darüber hinaus ein ausgezeichneter Wohnort als geographische Koordinate zugewiesen, sowie ein initialer Ladezustand, mit welchem das Fahrzeug die Simulation beginnt. Wie bereits weiter oben erwähnt wurde die Simulation dabei so entwickelt, dass nicht nur ein einzelnes selektiertes Fahrzeug betrachtet werden kann, sondern dahingehend, dass auch die Simulation einer großen Menge an Fahrzeugen unterstützt wird. Das Prinzip ist dabei stets dasselbe, weswegen dieses im Folgenden anhand eines Einzelbeispiels dargestellt wird.

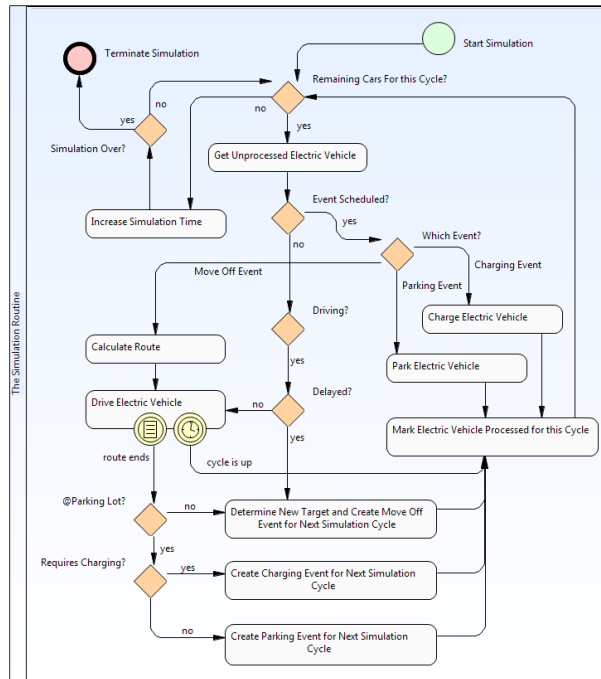
Jeder Simulationsdurchlauf beginnt zum fiktiven Zeitpunkt 00:00Uhr und durchläuft einen gesamten 24h Tagesablauf. Zu Beginn befindet sich das Fahrzeug an dem ihm zugewiesenen Wohnort. Die Simulation durchläuft nun den Tagesablauf in Minutenschritten, woraus für den Tagesablauf eine Gesamtanzahl von 1140 dieser sogenannten Simulationsschritte resultiert. In jedem Simulationsschritt wird nun der Kalender der Fahrzeuge überprüft und ermittelt, ob für das simulierte Fahrzeug eines der o.g. Ereignisse geplant ist. Ist dies nicht der Fall, so wird das Fahrzeug für den aktuellen Simulationsschritt als „bearbeitet“ markiert und in die Simulationszeit um eine Minute inkrementiert. Ist für das Fahrzeug ein Ereignis geplant, so wird anhand des Ereignistypen das resultierende Verhalten bestimmt:

- *Abfahrt*: Das Simulationsframework bestimmt aus dem auftretenden Ereignis die zugewiesene Zielposition und berechnet anhand der aktuellen Position des Fahrzeugs eine optimale Route. Die Route wird dem Fahrzeug zugewiesen und der Zustand des Fahrzeugs wird auf „Fahrend“ gesetzt.
- *Laden*: Das Simulationsframework bestimmt aus dem auftretenden Ereignis den festgelegten Ladestrom, welcher dem Fahrzeug anschließend zugewiesen wird. Zudem wird der Zustand des Fahrzeugs auf „Ladend“ gesetzt.
- *V2G*: Das Simulationsframework bestimmt aus dem auftretenden Ereignis den festgelegten V2G Strom, welcher dem Fahrzeug anschließend zugewiesen wird. Zudem wird der Zustand des Fahrzeugs auf „V2G“ gesetzt.

Wie soeben vorweggenommen besitzen Fahrzeuge einen sogenannten Zustand welcher benötigt wird, um Ereignisse nicht nur auszulösen, sondern diese auch auszuführen. Aus diesem Grund überprüft das Simulationsframework nicht nur ob für das Fahrzeug ein Ereignis im aktuellen Simulationsschritt geplant ist, sondern auch in welchem Zustand es sich befindet. Wir unterscheiden dabei zwischen vier verschiedenen Zuständen:

- *Fahrend:* Das Fahrzeug ist mit einer Fahraufgabe beschäftigt. Das Simulationsframework berechnet für den aktuellen Simulationsschritt unter Zuhilfenahme der maximal zulässigen Geschwindigkeit (enthalten in der OSM Karte), der Maximalgeschwindigkeit des Fahrzeugs (enthalten im Fahrzeugmodell), der aktuellen Straßenauslastung sowie vieler weiterer Faktoren (Ampeln, Beschleunigung, usw.) die für den Simulationsschritt resultierende Position, sowie den Verbrauch des Fahrzeugs und hinterlegt entsprechende Werte im Fahrzeugmodell. Erreicht das Fahrzeug sein Ziel, so wird sein Zustand für den nächsten Simulationsschritt auf „Parkend“ gesetzt und das Fahrzeug für den aktuellen Simulationsschritt als „bearbeitet“ markiert.
- *Parkend:* In diesem Zustand wird lediglich überprüft, ob für das Fahrzeug ein Ereignis ansteht.
- *Ladend:* In diesem Zustand wird der Ladezustand der Batterie anhand der im Fahrzeugmodell hinterlegten Ladestromstärke sowie den Batteriecharakteristika inkrementiert. Aktuell wird hierfür ein lineares Modell angewandt, da keine detaillierten Batteriecharakteristika als Datensatz vorliegen. Zudem wird in diesem Zustand überprüft ob der Ladeprozess in diesem Simulationsschritt terminiert.
- *V2G:* In diesem Zustand wird der Ladezustand der Batterie anhand der im Fahrzeugmodell hinterlegten Ladestromstärke sowie den Batteriecharakteristika dekrementiert. Aktuell wird hierfür ein lineares Modell angewandt, da keine detaillierten Batteriecharakteristika als Datensatz vorliegen. Zudem wird in diesem Zustand überprüft ob der V2G-Prozess in diesem Simulationsschritt terminiert.

Eine formelle Darstellung der Simulationsroutine ist in Abbildung 6 illustriert.



**Abbildung 6: Ablaufskizze der Simulation in BPMN**

Im Rahmen der Projektarbeit wurde vor allem deutlich, dass die zugrundeliegende Fahrzeugsimulation dahingehend erweitert werden muss, dass ein direkter Vergleich zwischen Fahrzeugen mit Planungsfunktionalität und Fahrzeugen ohne Planungsfunktionalität möglich ist. Der Grund hierfür ist vor allem die nötige Bewertung der zugrundeliegenden Algorithmen. Das implementierte Planungssystem muss zum einen mit dem Verhalten von „gewöhnlichen“ Fahrzeugen vergleichbar sein. Ein entsprechendes Konzept wurde bereits ausformuliert [11][12].

## 5.8 Integrierte Demonstrationsumgebung

Im Rahmen des geplanten Vorhabens waren ursprünglich zwei zeitlich aufeinanderfolgende Demonstratoren geplant. Aufgrund der Verzögerungen des Fördermittelbescheids musste auf den geplanten Zwischenschritt verzichtet werden, so dass nur der finale Demonstrator umgesetzt wurde.

Dieser Demonstrator umfasst alle entstandenen Komponenten. Die verschiedenen Teilaspekte werden in einem kombinierten Szenario veranschaulicht, welches simulierte Aspekte mit realen Komponenten und Abläufen verknüpft.

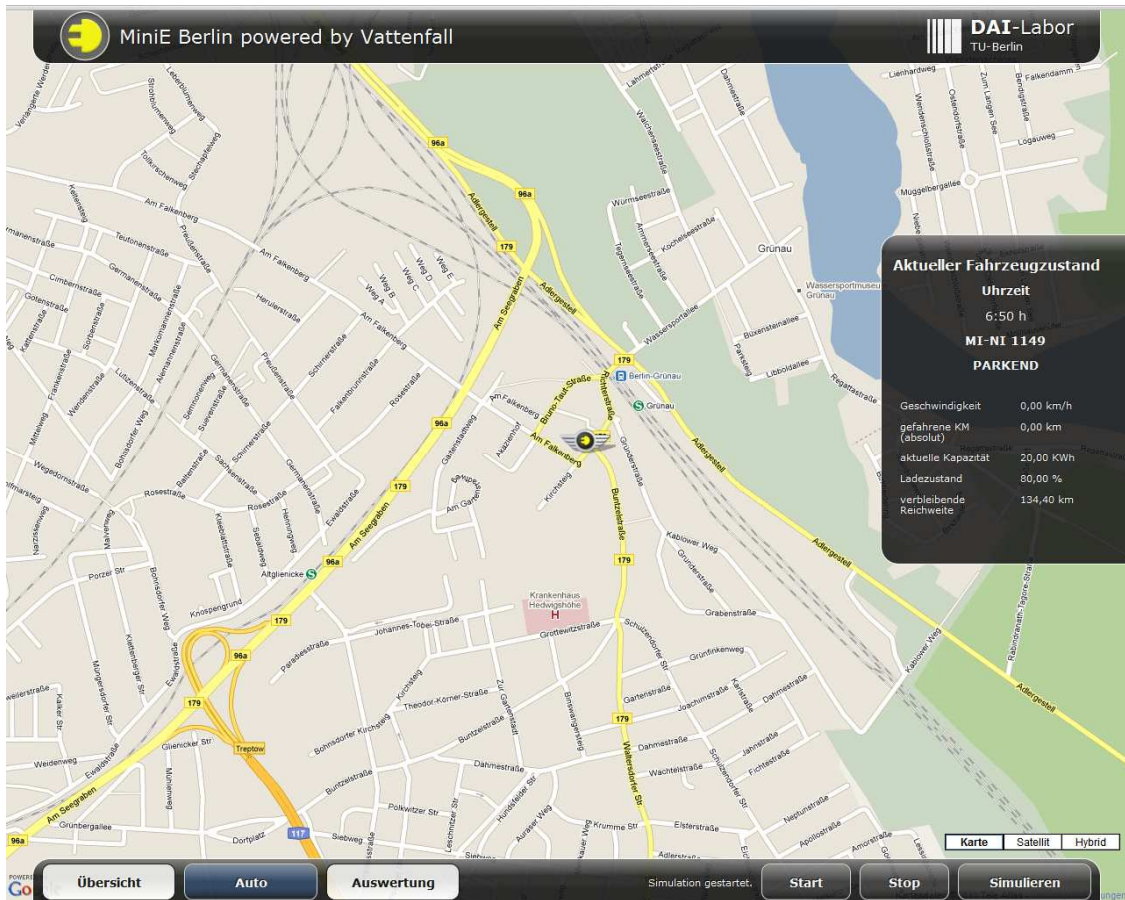
Für die Visualisierung des Ablaufes wurde eine webbasierte Benutzerschnittstelle entwickelt, die sowohl eine Übersichts-, Fahrzeug- und Auswertungsansicht bietet als auch das Starten und Simulieren eines vordefinierten Szenarios ermöglicht. In der Übersicht (siehe Abbildung 7) sind der prognostizierte Anteil (absolut/relativ) an regenerativen Energien (z.B. Wind) und die prognostizierte Netzlast des gestarteten Szenarios über den gesamten Tagesverlauf zu sehen, die wesentliche Faktoren für die Entscheidung über Auf- und Entladen des Fahrzeuges zu einem bestimmten Abschnitt des Tages darstellen.





**Abbildung 7: Darstellung der Wind- und Netzlastprognose**

Wurde die Simulation gestartet, wird ihr aktueller Verlauf in der Fahrzeugansicht angezeigt (siehe Abbildung 8). Die aktuelle Position des Fahrzeuges ist gemäß seinem Mobilitätsmuster als Symbol in einer Karte dargestellt. In einem Kasten auf der rechten Seite sind zusätzliche Informationen (Simulationszeit, Fahrzeugmodus, Geschwindigkeit, Ladezustand der Batterie und verbleibende Reichweite) zu sehen. Als Fahrzeugmodus kommt „Fahren“, „Parken“, „Aufladen“ oder „Einspeisen“ in Frage.



**Abbildung 8: Darstellung des simulierten Fahrzeugzustandes**

Ist es sinnvoll am neu erreichten Ort mit verfügbarer Ladestation das Fahrzeug aufzuladen oder zu entladen, so wird eine entsprechende Warnung zum Anstecken des Ladekabels angezeigt. Sobald das Anstecken erfolgt ist, wird eine Authentifizierung und Autorisierung der im USB-Stick hinterlegten Nutzeridentität vorgenommen. Erst nach erfolgreicher Autorisierung ist die PLC-Verbindung aufgebaut und der Schütz in der Ladestation geschlossen. In diesem Fall wird der Stromfluss durch die Aktivierung eines Verbrauchers (z.B. Lampe) angezeigt und gemessen. Mit dem Ende des Auf- oder Entladevorgangs ist eine Warnung zum Abstecken des Ladekabels zu sehen. Erst nach Abstecken des Ladekabels ist das Fahrzeug in der Lage weiterzufahren.

Nach Abschluss der Simulation können in der Auswertungssicht (siehe Abbildung 9) Details zu den berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen eingesehen werden. In einer Zusammenfassung wird dabei der Vergleich zwischen einem gesteuerten und einem ungesteuerten Elektrofahrzeug sowie einem aktuellen Benziner dargestellt. In dem ausgewählten Szenario mit einem typischen Pendler inklusive Freizeitaktivität und einer täglichen Fahrtstrecke von rund 133 km sowie einem Anteil an regenerativen Energien zwischen 25 und 100 Prozent ergibt sich nicht nur eine enorme Einsparung an CO<sub>2</sub> durch Elektrofahrzeuge sondern auch noch eine weitere Einsparung von knapp 50 Prozent durch die intelligente Steuerung der Auf- und Entladungen.

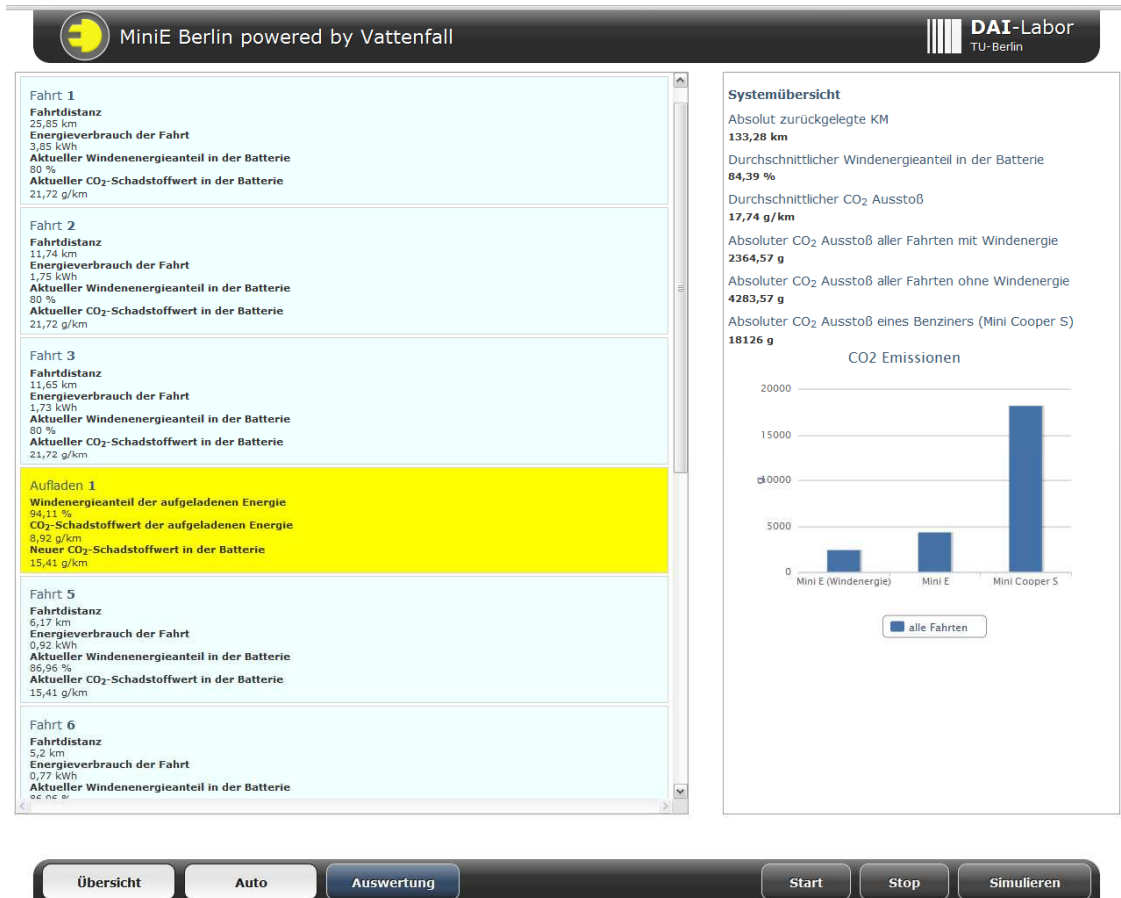


Abbildung 9: Auswertung des Simulationsergebnisses

Die tatsächlich geflossenen Energiemengen pro Auf- und Entladevorgang sowie die verwendete Nutzeridentität und Ladestation können über eine Benutzerschnittstelle des Abrechnungssystems eingesehen werden.

## 6 Voraussichtlicher Nutzen

Der Nutzen seitens des DAI-Labor besteht in der laufenden Verbreitung der Ergebnisse des Projektes in offiziellen Präsentationen, Messen, Workshops und internationalen Konferenzen sowie auf Webseiten.

Die für das DAI-Labor relevanten Projektergebnisse sind vor allem dem zweiten Teil der Aufgabe T1.5 „Gesteuertes Laden“ des Verbundprojektes bzw. dem Teilvorhaben „Vehicle 2 Grid – Intelligentes Laden und Entladen verteilter Energiespeicher zur Netzoptimierung“ zuzuordnen. Nachfolgend wird deshalb die Verwertung der Ergebnisse dieses Teilvorhabens eingeschätzt.

## **6.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte**

Im Rahmen dieses Projektes wurden bisher weder vom DAI-Labor noch (soweit uns bekannt) von Projektpartnern Erfindungen und Schutzrechte angemeldet oder in Anspruch genommen.

## **6.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten**

Da die wirtschaftliche Verwertung im Wesentlichen durch die beteiligten Industriepartner erfolgt, wird das DAI-Labor an der Verwertung indirekt mitarbeiten. Die Möglichkeit einer direkten Verwertung seitens der TU Berlin durch Patente und/oder Ausgründungen wurde zwar noch nicht ausgeschöpft, ist aber weiterhin denkbar, z.B. im Bereich der Kommunikations- oder der Dienstplattform. In jedem Falle ist durch die TU Berlin bzw. die Verbundpartner eine Verwertung in Deutschland sichergestellt.

Des Weiteren ist zu erwarten, dass die Übertragung von Prozessen und Standards aus dem Mobilfunkbereich auf die AAA-Infrastruktur (Authentication, Authorisation and Accounting) der Elektromobilität einen wichtigen Beitrag zu Standardisierungsbestrebungen in diesem Bereich leisten kann. Der Einsatz offener Standards ermöglicht gegenüber den am Markt erhältlichen proprietären AAA-Anwendungen ein hohes Maß an Interoperabilität zwischen den IT-Systemen der Elektromobilitäts-Wertschöpfungskette was die Akzeptanz und Verbreitung beschleunigen kann. Darüber hinaus ist die V2G-Funktionalität darauf ausgelegt, Fahrzeugnutzern und EVUs einen zusätzlichen Mehrwert zum Betrieb von Elektrofahrzeugen zu bieten und im Fall einer späteren Einführung in den Massenmarkt die relativen Investitionskosten für Elektrofahrzeuge gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zu verringern bzw. die Amortisationszeit für die Anschaffung der vergleichsweise teuren Fahrzeugbatterie zu verkürzen.

## **6.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten**

Das DAI-Labor wird die Projektergebnisse in seiner Forschungsarbeit im Bereich intelligenter Systeme und in der Lehre integrieren. So wird ein Großteil dieser Ergebnisse bereits im Projekt „Gesteuertes Laden V2.0“ weiterverwendet. Beabsichtigt ist aber auch die Erstellung neuer Forschungsanträge, die auf den Arbeiten dieses Projekts basieren. Weiterhin wird mittels der Umsetzung von prototypischen Diensten, Interaktionsschnittstellen und Kommunikationstechnologien in Diplom- und Studienarbeiten sowie Dissertationen das Forschungsthema wissenschaftlich weiterentwickelt und verwertet. Die Einbeziehung der Anwendungspartner BMW und Vattenfall Europe garantiert die Praxisnähe und -tauglichkeit der erarbeiteten Lösungen.

## **6.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**

Die Skalierbarkeit der angestrebten Lösung ermöglicht eine wirtschaftliche Verwertung der im Rahmen dieses Teilprojektes erzielten Lösungen durch die einzelnen Industriepartner. Hier ist insbesondere auch die enge Abstimmung der Arbeiten mit den Industriepartnern und das Einbeziehen vorhandener standardisierter Technologien zu nennen, die eine wirtschaftliche Anschlussfähigkeit durch Integration in Produkte der Partner ermöglichen.

Die in diesem Teilprojekt realisierten Lösungen basieren auf wissenschaftlichen Fragestellungen, die sich in ausgewiesenen Forschungsfeldern (modellbasierte Benutzerschnittstellen, Heterogeneous Networks, Seamless Mobility und Serviceorientierte Architekturen, eMobility, zukünftige Struktur der Netze der Energieversorger, Service Centric Car) bewegen. Hier ist eine Reihe von Veröffentlichungen zu erwarten, die zu interessanten Erkenntnissen in den jeweiligen Forschungsgemeinden führen werden. Eine Integration von ausgewählten Inhalten in die Lehrveranstaltungen des DAI-Labors wird eine kontinuierliche Weiterverwendung und Verbesserung der Resultate mit sich bringen.

Aus den Erfahrungen im Projekt ist erkennbar, dass für eine weitere Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien, für eine größere Sicherheit bei der Verfügbarkeit von Elektrofahrzeugen und für eine bessere Skalierbarkeit des Systems noch wesentlich intelligenteren Algorithmen notwendig sind. Desweiteren kann beim Endanwender die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen im Allgemeinen und des gesteuerten Ladens und Entladens im Speziellen durch Integration geeigneter Mehrwertdienste gesteigert werden. Außerdem sind für das V2G-System nach erfolgreichen Labortests als nächsten Schritt entsprechende Freilandtests notwendig. Nicht zuletzt lässt sich eine Evaluation des Systems in großem Maßstab (beispielsweise bei mehreren Millionen Elektrofahrzeugen und Ladestationen) und für bestimmte Situationen nur durch aufwendige Simulationen erreichen. Aus diesen Gründen sind weitere Phasen sinnvoll um die FE-Ergebnisse erfolgreich umzusetzen.

## **7 Fortschritte bei anderen Stellen auf dem Gebiet des Vorhabens**

Es sind während der Projektlaufzeit keine F&E-Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens direkt relevant waren. Es fand jedoch ein intensiver Austausch mit anderen Projekten statt, die ähnliche Themen bearbeiteten bzw. teilweise immer noch bearbeiten, wie beispielsweise die Projekte MeRegio<sup>7</sup> und BeMobility<sup>8</sup>. Hierbei wurde Potential für Synergien identifiziert, aber auch erkannt, dass das Teilprojekt „Vehicle 2 Grid“ wesentliche Alleinstellungsmerkmale hat.

So wird in unserem Ansatz eine Vorausplanung der Lade- / Einspeisevorgänge auf Basis der evaluierten Mobilitätsmuster der Nutzer vorgenommen. Im Rahmen des MeRegio Projektes sieht das Lademanagement lediglich eine Empfehlung für günstige Ladeintervalle vor, richtet sich aber dabei nicht nach dem typischen Nutzerverhalten. Die Regelung der Lade- und Einspeisevorgänge erfolgt dort somit nur auf ad-hoc Basis. Im Rahmen des Projektes BeMobility werden im Unterschied zu unserem Ansatz vordergründig multimodale Mobilitätskonzepte (Integration von Elektrofahrzeugen in den ÖPNV) verfolgt, dementsprechend liegt ein deutlich geringerer Fokus auf den Lademanagementkonzepten.

Des Weiteren wurde das Teilprojekt „Vehicle 2 Grid“ als dezentrales, agentisches System erstellt, bei denen die einzelnen Entitäten (Nutzer, Fahrzeug, Netzbetreiber, Lade-

---

<sup>7</sup> MeRegio Mobil: <http://www.meregiomobil.de>

<sup>8</sup> BeMobility: <http://www.bemobility.de>

säule) als autonome Software-Agenten agieren und ihre jeweiligen Interessen mit den anderen Instanzen aushandeln.

## 8 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

### 8.1 Projektpräsentationen

- [CeBIT11] MINI E Messeauftritt auf dem Stand des DAI-Labor mit Vorführung des V2G Demonstrators, CeBIT 2011, Hannover, 01.-05. März 2011
- [MobiliTec11] MINI E Messeauftritt auf dem Stand des BMU, MobiliTec 2011, Hannover, 04.-08. April 2011

### 8.2 Publikationen

- [A] M. Lützenberger, N. Masuch, B. Hirsch, S. Ahrndt, A. Heßler, and S. Albayrak, The BDI Driver in a Service City, In *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Taipei, Taiwan, 2011, To appear.
- [B] M. Lützenberger, N. Masuch, B. Hirsch, S. Ahrndt, A. Heßler, and S. Albayrak, Strategic Behaviour and Dynamic Cities, In *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation*, Taipei, Taiwan, Submitted to.
- [C] M. Lützenberger, N. Masuch, B. Hirsch, A. Heßler, and S. Albayrak, Predicting Futur(E-)Traffic, In *Proceedings of the 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Baden-Baden, Germany, Submitted to.

## Referenzen

- [1] J. Postel: *Internet Protocol*. DARPA Internet Program Protocol Specification, RFC 792, USC/Information Sciences Institute, September 1981.  
<http://www.ietf.org/rfc/rfc791.txt.pdf>
- [2] S. Kent, K. Seo: *Security Architecture for the Internet Protocol*. RFC 4301, Dezember 2005. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4301.txt.pdf>
- [3] T. Jeffree: *Port-Based Network Access Control*. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, IEEE 802.1X, IEEE Computer Society, 2004.  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1X-2004.pdf>
- [4] B. Aboba, L. Blunk, J. Vollbrecht, J. Carlson, H. Levkowitz: *Extensible Authentication Protocol (EAP)*. RFC 3748, Juni 2004.  
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3748.txt.pdf>
- [5] D. Simon, B. Aboba, R. Hurst: *The EAP-TLS Authentication Protocol*. RFC 5216, März 2008. <http://www.ietf.org/rfc/rfc5216.txt.pdf>
- [6] C. Rigney, S. Willens, A. Rubens, W. Simpson: *Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)*. RFC 2865, Juni 2000.  
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2865.txt.pdf>
- [7] C. Rigney: *RADIUS Accounting*. RFC 2866, Juni 2000.  
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2866.txt.pdf>

- [8] F. Ramm, J. Topf: *OpenStreetMap: Using and Enhancing the Free Map of the World*. UIT Cambridge Ltd., 1<sup>st</sup> Edition, September 2010.
- [9] F. Budinsky, D. Steinberg, E. Merks, R. Ellersick, T. J. Grose: *Eclipse Modeling Framework*. The Eclipse Series. Addison-Wesley Professional, August 2003.
- [10] A. S. Rao, M. P. Georgeff: "BDI Agents: From Theory to Practice". In *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Multiagent Systems*, San Francisco, CA, USA, April 1995.
- [11] M. Lützenberger, N. Masuch, B. Hirsch, S. Ahrndt, A. Heßler, S. Albayrak: "The BDI Driver in a Service City". In *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Taipei, Taiwan, 2011, to appear.
- [12] M. Lützenberger, N. Masuch, B. Hirsch, S. Ahrndt, A. Heßler, S. Albayrak: "Strategic Behaviour and Dynamic Cities". In *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation*, Taipei, Taiwan, Submitted to.
- [13] M. Wooldridge, N. R. Jennings: *Intelligent Agents: Theory and Practice*. Knowledge Engineering Review 10(2), 115-152, Juni 1995.
- [14] N. R. Jennings: *On Agent-Based Software Engineering*. Artificial Intelligence, 177(2):277-296, März 2000.
- [15] E. L. Brown: *802.1x Port-Based Authentication*. Auerbach Publications, 2007.
- [16] Madjid Nakhjiri, Mahsa Nakhjiri: *AAA and Network Security for Mobile Access*. Wiley, 2005.
- [17] R. Rogers, J. Lombardo, Z. Mednieks, B. Meike: *Android Application Development*. O'Reilly, 2009.
- [18] D. R. Mauro, K. J. Schmidt: *Essential SNMP*. O'Reilly, 2005.
- [19] G. N. Purdy: *Linux iptables - kurz & gut*. O'Reilly, Deutsche Übersetzung (P. Klicman), Dezember 2004.
- [20] Eberspächer, Arnold, Herrtwich: *Das vernetzte Automobil - Mehr Sicherheit und Effizienz durch Informations- und Kommunikationstechnik*. Hüthig, 2009.
- [21] J. Horst, G. Frey, U. Leprich: *Auswirkungen von Elektroautos auf den Kraftwerkspark und die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland*. WWF Deutschland, Frankfurt am Main, März 2009. [http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf\\_neu/wwf\\_elektroautos\\_studie\\_final.pdf](http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/wwf_elektroautos_studie_final.pdf)
- [22] O. Sundstrom, C. Binding: "Planning Electric-Drive Vehicle Charging under Constrained Grid Conditions". In *Proceedings of the International Conference on Power System Technology*, Hangzhou, China, 2010. <http://www.ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5666620>
- [23] S. E. Letendre, W. Kempton: *The V2G Concept: A new Model for Power?* Public Utilities Fortnightly, Februar 2002, 17-26. <http://www.udel.edu/V2G/docs/V2G-PUF-LetendKemp2002.pdf>
- [24] M. Lützenberger, N. Masuch, B. Hirsch, A. Heßler, S. Albayrak: "Predicting Future(E-)Traffic". In *Proceedings of the 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Baden-Baden, Germany, Submitted to.