



Georg-August-Universität
Göttingen

Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Professur für Informationsmanagement
Prof. Dr. Lutz M. Kolbe

Seminararbeiten Sammelband

E-Mobility as a Future Market: New Challenges for the IS Community

Busse, S.; Lehmann E.; Kolbe, L.M.

Göttingen, 05.11.2012



Autoren der Seminararbeiten

Achenbach, Julius

Ahrens, Carolin

Ehrenwerth, Felix

Ewler, Tino

Hensch, Peter

Hoffmann, Marco

Irrgang, Tim

Koswig, Raisa

Lehmann, Eileen

Osmani, Hewad

Praël, Sebastian

Raddatz, Leonard

Schulenburg, Daniel

Schultz, Niels

Schygulla, Sebastian

Toenjes, Jan

Witt, Tobias

Wollert, Tim

Inhaltsverzeichnis

<u>Abkürzungsverzeichnis</u>	vi
<u>Abbildungsverzeichnis</u>	x
1 Einleitung.....	1
2 E-Mobility - Evolution and Glossary.....	5
2.1 Einleitung.....	6
2.2 Methodik.....	7
2.3 Die Geschichte der Elektromobilität.....	8
2.4 Die Stakeholder.....	10
2.4.1 Automobilwirtschaft.....	10
2.4.1.1 State of the Art.....	11
2.4.1.2 Ausblick.....	13
2.4.2 Die Energiewirtschaft.....	15
2.4.2.1 State of the Art.....	16
2.4.2.2 Ausblick.....	17
2.4.3 Die Informations- und Kommunikationstechnologie.....	17
2.4.3.1 State of the Art.....	17
2.4.3.2 Ausblick.....	19
2.4.4 Die Politik.....	20
2.4.4.1 State of the Art.....	20
2.4.4.2 Ausblick.....	21
2.4.5 Die Nutzer.....	22
2.5 Die Schnittmenge der Stakeholder.....	25
2.5.1 Schnittmenge Energiewirtschaft / IKT.....	25
2.5.2 Schnittmenge Energiewirtschaft / Automobilwirtschaft.....	28
2.5.3 Schnittmenge IKT / Automobilwirtschaft.....	30
2.6 Die Elektromobilität als Zusammenspiel der Stakeholder.....	33
2.7 Fazit.....	34
3 Germany as the market leader for E-Mobility architectures and services.....	36
- A gap analysis.....	36
3.1 Einleitung.....	37
3.2 Definitive Grundlagen.....	38
3.2.1 Marktführerschaft.....	38

3.2.2 Leitmarkt und Leitanbieter.....	39
3.3 Bedeutung der Automobilbranche in Deutschland	41
3.4 Pläne zur Entwicklung der Elektromobilität	43
3.4.1 Der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität	43
3.4.1.1 Fahrzeugtypen.....	43
3.4.1.2 Die Nationale Plattform Elektromobilität	44
3.4.2 Meilensteine und Marktaufbau	46
3.5 Deutschland im internationalen Vergleich	47
3.5.1 Vorgehensweise und Methodik	47
3.5.2 Kriterienkatalog.....	48
3.5.2.1 Aktuelle Marktsituation.....	48
3.5.2.1.1 Angebot	48
3.5.2.1.2 Nachfrage und Nutzerakzeptanz	50
3.5.2.2 Staatliche und industrielle Unterstützung	51
3.5.2.2.1 Fördergelder	52
3.5.2.2.2 Anreizmaßnahmen.....	55
3.5.2.3 Batterieforschung und -entwicklung	56
3.5.2.4 Patente	58
3.5.2.5 Normung und Standardisierung	61
3.5.2.6 Strommix.....	62
3.6 Schlussbetrachtung.....	64
3.6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	64
3.6.2 Der Electric-Vehicle-Index.....	65
3.6.3 Fazit und Ausblick.....	67
<u>4 E-Mobility working practices –</u>	<u>69</u>
<u>An overview about existing projects and their architecture.....</u>	<u>69</u>
4.1 Einleitung	70
4.2 Grundlagen.....	71
4.2.1 Herausforderungen bei der Markteinführung von Elektrofahrzeugen	71
4.2.2 Virtuelles Kraftwerk.....	72
4.2.3 Intelligentes Stromnetz.....	72
4.2.4 Vehicle-to-grid.....	72
4.3 Methodik	73
4.3.1 Kriterien	73
4.3.2 Wissenschaftliches Vorgehen	74

4.4 Projekte – Vorstellung & Untersuchung.....	76
4.4.1 Projekte privater Unternehmen	76
4.4.1.1 Car Sharing Inc.	76
4.4.1.2 ChargePoint.....	77
4.4.1.3 Charging Network Development Organization, LLC	77
4.4.1.4 E-Komfort	78
4.4.1.5 e-mobility italy	78
4.4.1.6 Energieautarkes Wohnen.....	79
4.4.1.7 eVgo	79
4.4.1.8 EV Network UK.....	80
4.4.1.9 OnStar – General Motors	81
4.4.1.10 Weitere Projekte geringen technologischen Aufwandes	81
4.4.2 Staatliche Projekte.....	82
4.4.2.1 Projekte des BMWi	82
4.4.2.1.1 E-Energy	83
4.4.2.1.2 IKT für Elektromobilität	84
4.4.2.1.2.1 eE-Tour Allgäu	85
4.4.2.1.2.2 Future Fleet	86
4.4.2.1.2.3 MeRegioMobil	87
4.4.2.1.2.4 Smart Wheels	88
4.4.2.1.2.5 Weitere Projekte des „IKT für Elektromobilität“	89
4.4.2.1.3 Weitere Projekte des BMWi.....	90
4.4.2.2 EDISON	91
4.4.2.3 MOBILE.....	92
4.4.2.4 Singapur.....	93
4.4.2.5 Smart Network	94
4.5 Auswertung und Projektgegenüberstellung	94
4.5.1 Einteilung	94
4.5.2 Projektgegenüberstellung.....	99
4.6 Fazit.....	101
5 Communication Protocols and Standards in the E-Mobility Domain.....	104
5.1 Einleitung	105
5.2 Methodik	106
5.2.1 Inhaltsanalyse.....	106
5.2.2 Morphologische Analyse	106
5.3 Standards und Protokolle im E-Mobility Sektor.....	107
5.3.1 Politische Rahmenbedingungen	107
5.3.2 Technische Rahmenbedingungen.....	110

5.3.2.1 Fahrzeug.....	111
5.3.2.2 Ladestationen	112
5.3.3 Am Normungsprozess beteiligte Organisationen.....	113
5.3.4 Kommunikation zwischen Ladestation und Fahrzeug	114
5.3.4.1 Standards und Protokolle	114
5.3.4.1.1 Energiefluss.....	115
5.3.4.1.2 Datenfluss.....	116
5.3.4.1.3 Datensicherheit.....	119
5.3.4.1.4 Gegenwärtiger Stand der Normung	119
5.3.5 Kommunikation zwischen Ladestation und Backend	120
5.3.5.1 Morphologische Analyse	121
5.3.5.1.1 Anwendungsfall: EDISON Project	124
5.3.5.1.2 Anwendungsfall: Siemens AG	127
5.3.5.1.3 Anwendungsfall: Bosch Software Innovations	131
5.3.5.1.4 Vergleichsergebnisse	134
5.4 Schlussbetrachtung.....	136
<u>6 Paying for Fuel in the Age of E-Mobility</u>	<u>137</u>
6.1 Einleitung	138
6.2 Methodik	140
6.3 Definitionen	141
6.3.1 Allgemeine Begriffsdefinitionen.....	141
6.3.2 Infrastruktur und Netzanschluss.....	143
6.3.3 Definition Marktakteure.....	144
6.3.3.1 Bestehende Akteure.....	144
6.3.3.2 Neue Akteure	145
6.4 Geschäftsmodelle für E-Mobilität.....	146
6.4.1 Definition Geschäftsmodelle.....	146
6.4.2 Notwendigkeit neuer Geschäftsmodelle	146
6.4.3 Bestehende Geschäftsmodelle.....	147
6.4.4 Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementierung von Geschäftsmodellen	152
6.5 Zahlungssysteme	156
6.5.1 Herleitung eines allgemein Zahlungsmodells/Referenzmodell	156
6.5.1.1 Identifikation	157
6.5.1.2 Konfiguration	159
6.5.1.3 Stromfluss.....	160
6.5.1.4 Abrechnung	160

6.5.2 Anwendung des Modells auf verschiedene Szenarien	166
6.5.2.1 Privater Bereich mit privatem Zugang	167
6.5.2.2 Privater Bereich mit öffentlichem Zugang	168
6.5.2.3 Öffentlicher Bereich mit öffentlichem Zugang	170
6.5.3 Bewertung zukünftiger Abrechnungsmodelle	171
6.5.3.1 Die Ergebnisse des MERGE-Projekts	171
6.5.3.2 Expertenbefragung	173
6 Schlussbetrachtung	175
<u>7 Vehicle-2-Grid (V2G) – An Overview of the Current</u>	177
<u>Technical, Economical and Political Discussion</u>	177
7.1 Einleitung	178
7.2 Konzeptionelle Grundlagen und Definitionen	180
7.2.1 Definitionen	180
7.2.1.1 Elektromobilität	180
7.2.1.2 Vehicle-to-Grid	181
7.2.1.3 Smart Grid	183
7.2.2 Bereiche des Vehicle-to-Grid	184
7.2.2.1 Infrastruktur	184
7.2.2.2 Geschäftsmodelle	185
7.2.2.3 Beschleunigungsfaktoren	187
7.2.3 Elektrofahrzeugtypen	189
7.2.3.1 Batterie EDV	189
7.2.3.2 Brennstoffzellen EDV	190
7.2.3.3 Hybrid EDV	191
7.2.4 Stromnetze	192
7.2.4.1 Grundlast und Mittellast	192
7.2.4.2 Spitzenlast	193
7.2.4.3 Reserveleistung	193
7.3 Literaturanalyse und Methodik	194
7.3.1 Vorgehensweise und Analysemethodik	194
7.3.2 Auswahl der Literaturquellen	195
7.3.3 Übersicht der erfassten Quellen	197
7.3.4 Forschungsfelder	198
7.3.4.1 Technik	198
7.3.4.2 Ökonomik	199
7.3.4.3 Politik	199
7.3.4.4 Nachhaltigkeit	199
7.3.4.5 Vehicle-to-Grid Netz	199
7.3.4.6 Vehicle-to-Grid Fahrzeuge	200
7.3.5 Forschungslandkarte	200

7.4 Implikationen der Forschungslandkarte	202
7.4.1 Technische Implikationen	202
7.4.2 Ökonomische Implikationen	202
7.4.3 Politische Implikationen.....	203
7.4.4 SWOT-Analyse zum V2G-Konzept, Elektromobilität und Smart Grid.....	203
7.5 Ausblick und Fazit	206
7.5.1 Fazit.....	206
7.5.2 Ausblick.....	207
<u>8 E-Mobility for Use in the Health Care Sector – Is that Feasible?</u>	210
8.1 Warum Elektrofahrzeuge.....	211
8.1.1 Motivation	211
8.1.2 Vorgehen.....	212
8.1.3 Risiken und Chancen des Elektromotors	212
8.2 Begriffsdefinition	215
8.2.1 Netzstrukturen im Überblick.....	215
8.2.2 Digitale Stromzähler	216
8.2.3 Motorentechnologie	217
8.3 Auswertung der Experteninterviews	218
8.3.1 Die Einstellung zu der Elektromobilität.....	218
8.3.2 Bewertung von Elektroautos gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungs-motor ...	219
8.3.3 Einbindung von IKS der Elektromobilität im Gesundheitswesen	221
8.3.4 Schlussbetrachtung und Zusammenführung richtungsweisender Ergebnisse.....	221
8.4 Elektroautos im Health Care Bereich.....	223
8.4.1 Anforderungen an Elektroautos bei Pflegedienstleistern	223
8.4.2 Elektrisch angetriebene Rettungswagen	224
8.4.3 Kosten von herkömmlichen Fahrzeugen im Vergleich zu Elektroautos	224
8.4.4 Zukünftige Entwicklungen.....	228
8.4.5Abschließende Betrachtung	230
8.5 Bedeutung der IKT für das Gesundheitswesen	230
8.5.1 Rolle der IKT	230
8.5.2 Netzintegrationkonzepte mit dem digitalen Stromzähler.....	233
8.5.3 Informationsmanagement im Pflegedienstbereich.....	235
8.5.4 Maximale Wertschöpfung durch direkter Netzanbindung und erfolgsversprechender	

Ladestrategie	238
8.6 Schlussbetrachtung.....	238
9 E-Mobility Applications in the Agriculture Domain.....	241
– A Scenario Analysis	241
9.1 Einleitung	242
9.2 Grundlagen.....	243
9.2.1 Elektromobilität / Charakteristika von Elektrofahrzeugen	243
9.2.1.1 Rein batteriebetriebene Elektrofahrzeuge	244
9.2.1.2 Hybridfahrzeuge.....	244
9.2.1.3 Batterie- und Ladetechnik.....	245
9.2.1.4 Gewinnung von Wasserstoff durch Elektrolyse	246
9.2.2 Charakteristika der Agrarmobilität.....	247
9.2.2.1 Fahrzeugtypen und technische Aspekte	247
9.2.2.2 Betankung	249
9.2.2.3 Einsatzbedingte Besonderheiten	250
9.2.3 Möglichkeiten der Stromerzeugung im Agrarbereich.....	250
9.2.3.1 Solarenergie.....	252
9.2.3.2 Biogasanlagen und Blockheizkraftwerke.....	252
9.2.3.3 Windkraftanlagen	253
9.3 Elektromobilität in der Landwirtschaft – Abgleich der Anforderungen und Möglichkeiten	254
9.3.1 Fahrzeugtechnische Aspekte	254
9.3.2 Einsatzbedingte Aspekte	258
9.4 Möglichkeiten der Stromversorgung und daraus resultierende Geschäftsmodelle	259
9.4.1 Geschäftsmodell für batteriebetriebene Fahrzeuge	260
9.4.2 Geschäftsmodell für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge.....	262
9.5 Nutzenbetrachtung für Elektromobilität in der Landwirtschaft.....	264
9.5.1 Nachteile	264
9.5.2 Vorteile	265
9.6 Zusammenfassung und Ausblick	266
<u>10 E-Mobility – Green Utopia or Automobile Evolution</u>	268
10.1 Einleitung	269
10.1.1 Zentrale Fragestellungen.....	270
10.1.2 Abgrenzungskriterien	271
10.1.3 Aufbau der Arbeit.....	271
10.2 Grundlagen.....	272

10.2.1 E-Mobility	272
10.2.1.1 Elektromobilität aus Sicht der Stakeholder.....	272
10.2.1.2 Technische Grundlagen.....	274
10.2.1.3 Komponenten der Elektromobilität.....	276
10.2.2 Nachhaltigkeit	276
10.2.2.1 Drei-Säulen-Modell	277
10.2.2.2 Schwache und starke Nachhaltigkeit	279
10.2.2.3 Strategien.....	280
10.2.2.4 Kennzahlen zur Messung der Nachhaltigkeit	280
10.3 Methodik	281
10.3.1 Quantitative Methoden	281
10.3.2 Qualitative Methoden	283
10.4 Auswertung	283
10.4.1 Fachgespräche.....	283
10.4.2 Strommix	285
10.4.2.1 CO2-Bilanz	287
10.4.2.2 Emissionen im Vergleich.....	288
10.4.2.3 Nachhaltigkeit	290
10.4.3 Recycling	291
10.4.3.1 LithoRec	292
10.4.3.2 LiBRi.....	293
10.4.3.3 Umicore.....	294
10.4.3.4 Karosserierecycling.....	294
10.4.4 Seltene Erden	295
10.5 Fazit.....	298
<u>Glossar</u>	303
<u>Literaturverzeichnis</u>	304

Abkürzungsverzeichnis

<u>Abkürzung</u>	<u>Bedeutung</u>
A	Ampere
AC	Alternating Current
Akku	Akkumulator
AvD	Automobilclub von Deutschland
BEV	Battery Electric Vehicle
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMI	Bundesministerium des Innern
BMJ	Bundesministerium der Justiz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BSI	Bosch Software Innovations
BSS	Battery Swap Station
CAR	Center Automotive Research
CeBIT	Centrum für Büroautomation, Informationstechnologie und Telekommunikation
CEER	Council of European Energy Regulators
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COM	Commission of the European Communities
CP	Charging Point
CPM	Charging Point Manager
DAI-Labor	Distributed Artificial Intelligence Laboratory
DB	Deutsche Bahn
DC	Direct Current
DFKI	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
DSM	Demand Side Management
DSO	Distribution System Operator
DV	Datenverarbeitung
DZLF	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EC	Electronic Cash
ECar	Electronic Car
EDTA	Electric Drive Transportation Association
EDV	Electric Drive Vehicle
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPRI	Electric Power Research Institute
ERP	Enterprise Resource Planning
ESMA	European Smart Metering Alliance
EV	Electric Vehicle
e.V.	Eingetragener Verein
EVSA	Electric Vehicle Supplier/Aggregator
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FCHEV	Fusion cell hybrid electric vehicle (Brennstoffzellenfahrzeuge)
F&E	Forschung und Entwicklung
FES	Friedrich Ebert Stiftung
FSR	Florence School of Regulation
GbR	Gesellschaft bürgerlichen Rechts
GCDC	Grand Cooperative Driving Challenge
GGEMO	Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HTTP	Hypertext Transfer Protocol Overview

HV-Batterie	Hochvolt-Batterie
ICT	Information- and Communication Technology
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IKS	Information- und Kommunikationssysteme
IKT	Informations-und Kommunikationstechnologie
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IS	Information System
ISO	Independent System Operator
ISOE	Institut für sozial-ökologische Forschung
IT	Informationstechnik
ITG	Informationstechnische Gesellschaft
ITS	Intelligent Transport System
KMWI	Multikonferenz der Wirtschaftsinformatik
kV	Kilovolt
kW(h)	Kilowatt(stunde)
LAN	Local Area Network
LBG	Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft
LFP	Lithiumeisenphosphat
LIB-2015	Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie
LiBRi	Lithium-Ionen Batterierecycling Initiative
LS	Ladestation
MERGE	Mobile Energy Resources in Grids of Electricity
MPC	Model Predictive Controller
NCA	Nickel/Kobalt/Aluminium
NEPE	Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität
NMC	Nickel/Mangan/Kobalt
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
OEM	Original-Equipment-Manufacturer
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PAYG	Pay As You Go

PEMFC	Proton exchange membrane fuel cell (Polymerelektrolytbrennstoffzelle)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PLC	Power Line Communication
QR-Code	Quick Response Code
REEV	Range Extended Electric Vehicle
REST	Representational State Transfer
RFID	Radio Frequency Identification
RSC	Robert Schuman Centre of Advanced Studies
SA	Electricity Supplier/Aggregator
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SOAP	Simple Object Access Protocol
TCO	Total Cost of Ownership
TSO	Transmission System Operator
TWh	Terawattstunde
ÜBN	Übertragungsnetzbetreiber
UGR	Umweltökonomische Gesamtrechnung
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UN	United Nations
UNFPA	United Nations Population Fund
UNO	United Nations Organization
UPI	Umwelt- und Prognoseinstitut
User-ID	User Interface Design
V2G	Vehicle-2-Grid
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VN	Vereinte Nationen
WI	Wirtschaftsinformatik
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Language

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Modell - E-Mobility als interdisziplinärer Bereich.....	7
Abbildung 2 : Kraftstoffverbrauch von Benzinmotoren (Jahr, Liter pro 100km).....	11
Abbildung 3 : Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft der Elektromotoren	14
Abbildung 4 : Entwicklung des Marktes "Elektromobilität"	21
Abbildung 5 : Prognose der Forschungsfortschritte im Bereich Elektromobilität.....	33
Abbildung 6 : Ursachen der Marktführerschaft	39
Abbildung 7 : Bereiche der Elektromobilität	41
Abbildung 8 : Vorgeschlagene Budgets der NPE.....	45
Abbildung 9 : Entwicklungsphasen des Leitmarkts.....	46
Abbildung 10 : Kaufbereitschaft Auto mit alternativem Antrieb (in Prozent)	51
Abbildung 11 : bestehende Modellregionen	53
Abbildung 12 : Patentveröffentlichungen E-Mobility vs. EP-Anmeldungen	59
Abbildung 13 : Patentveröffentlichungszahlen - Fahrzeughersteller.....	59
Abbildung 14 : Patentveröffentlichungszahlen - Kontinentalvergleich.....	60
Abbildung 15 : Zusammenfassender Ländervergleich	64
Abbildung 16 : Electric-Vehicle-Index.....	66
Abbildung 17 : Einteilung der Projekte	98
Abbildung 18 : Projektgegenüberstellung.....	99
Abbildung 19 : Ladebetriebsarten.....	113
Abbildung 20 : ISO/OSI Schichtenmodell.....	118

Abbildung 21 : Normenübersicht Frontend	120
Abbildung 22 : Morphologischer Kasten.....	121
Abbildung 23 : Morphologischer Kasten (Edison).....	127
Abbildung 24 : Morphologischer Kasten (Siemens).....	131
Abbildung 25 : Morphologischer Kasten (Bosch)	134
Abbildung 26 : Wertschöpfungskette RWE.....	148
Abbildung 27 : Kombinationsmöglichkeiten für mögliche Abrechnungssysteme	166
Abbildung 28 : Die Situation auf dem Stromversorgungsmarkt heute	167
Abbildung 29 : "Dumb Charging" in einem privaten Bereich mit privatem Zugang	167
Abbildung 30 : "Smart Charging" in einem privaten Bereich mit privatem Zugang.....	168
Abbildung 31 : Ladeprozess in einem privaten Bereich mit öffentlichem Zugang	169
Abbildung 32 : SAP-Future Fleet : Systemlandschaft	170
Abbildung 33 : Ladeprozess in einem öffentlichen Bereich mit öffentlichem Zugang	171
Abbildung 34 : Bewertungsmatrix für Abrechnungsmodelle im heimischen Bereich	172
Abbildung 35 : Bewertungsmatrix für Abrechnungsmodelle im nicht-heimischen Bereich	173
Abbildung 36 : Geschätzte Wahrscheinlichkeiten, dass sich Abrechnungsmodelle in den jeweiligen Anwendungsszenarien durchsetzen.....	174
Abbildung 37 : Überblick der Kapitel.....	179
Abbildung 38 : Abhängigkeit des V2G-Konzepts von Elektromobilität und Smart Grid .	180
Abbildung 39 : Konzept des V2G.....	182
Abbildung 40 : Übersicht F&E-Leuchttürme, Themencluster und vorgeschlagene Budgets	188

Abbildung 41 : Batterie EDV	190
Abbildung 42 : Brennstoffzellen EDV	191
Abbildung 43 : Hybrid EDV	192
Abbildung 44 : Betrachtete Zeitschriften der Literaturanalyse.....	196
Abbildung 45 : Betrachtete Institutionen der Literaturanalyse.....	197
Abbildung 46 : Zeitlicher Verlauf der Veröffentlichungen	198
Abbildung 47 : Forschungslandkarte	201
Abbildung 48 : SWOT-Analyse: V2G, Elektromobilität und Smart Grid.....	204
Abbildung 49 : Durch die 2G-Konzeption ermöglichter Profit für EV-Besitzer.....	209
Abbildung 50 : Messsystementwurf	209
Abbildung 51 : Fahrzeugherstellkosten nach Antriebstechnologie	213
Abbildung 52 : Der überwiegende Teil der Weltbevölkerung wird 2050 in Städten wohnen	214
Abbildung 53 : Überblick der ausgewählten Experten hinsichtlich ihres Fachbereichs....	218
Abbildung 54 : Gegenüberstellung des Smart fortwo electric drive und des Smart fortwo coupé	222
Abbildung 55 : Rechnungsweg zum Einsparpotential	225
Abbildung 56 : Preise für einen VW Polo 1.2 im Vergleich	226
Abbildung 57 : Preise für einen Think City (mit Li-Ionen Akku) im Vergleich	227
Abbildung 58 : Kosten vom VW Polo und Think City im Vergleich.....	227
Abbildung 59 : Lernkurve bei Lithium-Ionen Akkus	228
Abbildung 60 : Kosten von VW Polo und Think City im Vergleich (Zukunftsaussicht)..	229
Abbildung 61 : Energiepolitisches Dreieck	231

Abbildung 62 : Die Verbindung von Smart Metering und Smart Grid	233
Abbildung 63 : Indirekt und direkte Netzanbindung	234
Abbildung 64 : Angewendeter EWIM Ansatz in einem Pflegedienstleistungsunternehmen	236
Abbildung 65 : Einteilung von Nutzfahrzeugen nach der Fahrzeugfunktion	247
Abbildung 66 : Treibstoffverbrauch pro Arbeitsschritt und Jahr auf dem Landwirtschaftsbetrieb.....	249
Abbildung 67 : Anteil erneuerbarer Energien am Energieendverbrauch in Deutschland im Jahr 2011	251
Abbildung 68 : E-Premium modifiziert als Hybrid-Traktor	255
Abbildung 69 : Besondere Bestandteile eines wasserstoffbetriebenen Traktors	256
Abbildung 70 : Strommix Deutschland 2011	286
Abbildung 71 : Vergleich der CO ₂ -Emissionen Mini	289
Abbildung 72 : Vergleich der CO ₂ -Emissionen smart fortwo	289
Abbildung 73 : CO ₂ -Emissionen herkömmlicher Stromproduzenten.....	289
Abbildung 74 : CO ₂ -Emissionen ökologischer Stromproduzenten	290
Abbildung 75 : CO ₂ -Emissionen nach Anbietern	290
Abbildung 76 : Übersicht der für die Elektromobilität relevanten Metalle	295
Abbildung 77 : Übersicht der Abbaugebiete kritischer Metalle	297
Abbildung 78 : Vergleich des CO ₂ -Ausstoßes nach Modell und Stromanbieter	301
Abbildung 79 : Kalkulation CO ₂ -Ausstoß Deutschland 2011	302
Abbildung 80 : Kalkulation CO ₂ -Ausstoß ökologischer Anbieter	302

1 Einleitung

Egal ob beruflich oder privat, auf individuelle Mobilität lässt es sich in unserer dynamischen Welt schlecht verzichten. Laut Schätzungen des Bundesministeriums für Umwelt wird sich die Anzahl der Pkw bis 2030 verdoppeln und das Umwelt- und Prognoseinstitut e.V sagt sogar einen Anstieg um das 4,5-Fache voraus, (vgl. UPI 2009, 1). Die Nachfrage wird dabei besonders in Schwellenländern wie Indien oder China künftig weiter steigen. Dadurch würden bei gleichbleibender Antriebsart nicht nur die CO₂-Emissionen immer weiter wachsen (vgl. BMU 2009b, 1), sondern auch die Abhängigkeit von den knapper werdenden fossilen Brennstoffen und Rohstoffimporten zunehmen. Als eine Alternative zur Sicherung zukünftiger und vor allem Nachhaltiger Mobilität wird die Elektromobilität, also die Nutzung elektrischer Energie bei Fahrzeugantrieben inkl. Hybridantrieben, gesehen. Einst eine bloße Zukunftsvision hat sich die Elektromobilität bis heute zu einem wichtigen und international hart umkämpften Markt entwickelt. Theoretisch ist der Einsatz von rein batteriebetriebenen Fahrzeugen überzeugend: höhere Umweltfreundlichkeit, komfortables Fahren durch eine direkte Umsetzung der Beschleunigung und fehlender Motorlärm sowie die Möglichkeit der Einbindung der Fahrzeugbatterien in so genannte Smart Grids. Doch welche politischen, regulatorischen, technischen und infrastrukturellen Voraussetzungen müssen dazu national und international geschaffen werden? Welche Pläne und Projekte gibt es derzeit in den einzelnen Ländern zur Entwicklung der Elektromobilität und wie fortgeschritten sind diese ? Welche Rolle spielen erneuerbare Energien, um eine nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten? Welche Herausforderungen kommen auf Automobil- und Stromproduzenten zu und in welchen Bereiche ist die Anwendung der Elektromobilität überhaupt sinnvoll?

Mit diesen aktuellen Fragestellungen beschäftigen sich die neun anschließenden Seminararbeiten, die im Wintersemester 2011/2012 an der Georg-August Universität Göttingen im Rahmen des Seminars „E-Mobility as a Future Market: New Challenges for the IS Community“ an der Professur für Informationsmanagement von Prof. Dr. Lutz M. Kolbe entstanden sind. Um einen möglichst umfassenden Überblick über das Themengebiet der Elektromobilität zu geben, wird in diesem White Paper mit den allgemeineren Themen begonnen während die spezielleren am Ende stehen. Nachfolgend erfolgt ein kurzer Überblick über die Inhalte und Fragestellungen der einzelnen Arbeiten.

Die erste Seminararbeit „E-Mobility - Evolution and Glossary“ von Marco Hoffmann und Julius Achenbach widmet sich der allgemeinen Entwicklung der Elektromobilität bis zum heutigen Zeitpunkt und der an ihrer Entwicklung beteiligten Akteure. Dabei werden ihre Zukunftsprognosen und die Schnittmengen ihrer Handlungsfelder verdeutlicht. Anschließend werden neuartige Begriffe ermittelt und allgemeingültig definiert, da durch die relativ junge Entwicklung der Disziplin Elektromobilität bisher nur wenige allgemeingültige Begriffsdefinitionen in der Fachliteratur zu finden sind.

Auch die deutsche Bundesregierung hat die Wichtigkeit der Elektromobilität erkannt und sich das Ziel gesetzt, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen zu haben und Deutschland gleichzeitig zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln (vgl. Bundesregierung 2009, 2). Im Rahmen der nächsten Arbeit, mit dem Titel „Germany as the market leader for E-Mobility architectures and services- A gap analysis“ von Eileen Lehmann und Carolin Ahrens, wird die voraussichtliche Entwicklung der Elektromobilität in den nächsten Jahren in Deutschland untersucht. Ziel ist es darzulegen, wie der deutsche Entwicklungsplan zur Elektromobilität aussieht, ob und wie Deutschland Marktführer in diesem Bereich werden kann und welche Hindernisse es auf dem Weg dorthin zu überwinden gilt.

In der sich daran anschließenden Arbeit „E-Mobility working practices – An overview about existing projects and their architecture“ von Tim Irrgang und Raisa Koswig erfolgt eine Vorstellung und Untersuchung aktueller Elektromobilitätsprojekte. Hierbei wird kein Fokus auf ein spezielles Land gelegt, jedoch eine Unterteilung in staatlich und privat getroffen, um einerseits einen möglich umfassenden Überblick zu geben aber andererseits auch die unterschiedliche Fokussierung der Projekte in Hinblick auf Umsetzung und Forschung zu verdeutlicht. Die Betrachtung erfolgt mithilfe von drei Kriterien: „Komplexitätsgrad der Technologie“, „Umfang“ sowie „Wertschöpfungskette“ anhand der beteiligten Partner. Somit können Forschungs- und Umsetzungsstand verschiedener Projekte nicht nur einzeln dargestellt und differenziert betrachtet werden, sondern später auch bewertet und gegenübergestellt werden.

Um bereits früh eine führende Position im Bereich der Elektromobilität einzunehmen und nachträgliche Kosten der Vereinheitlichung zu vermeiden, ist es von großer Bedeutung positive Effekte von Normung und Standardisierung in den Entwicklungsprozess zu integrieren. Hierbei ist besonders, dass es sich um Aktivitäten verschiedener Branchen und Industriezweige handelt, welche nicht nur in Deutschland, sondern auch international genormt und standardisiert werden müssen. Mit der Frage, ob durch den Vergleich von Systemlösungen relevanter Unternehmen des Elektromobilitätssektors Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszufinden sind, beschäftigt sich die Arbeit „Communication Protocols and Standards in the E-Mobility Domain“ von Daniel Schulenburg und Niels Schultz. Des Weiteren wird untersucht, ob diese bereits auf bestehende Quasistandards bezüglich der Kommunikation schließen lassen und es werden Bereiche aufgezeigt, in denen eine Normung bzw. Standardisierung besonders wichtig erscheint.

Ziel der nächsten Arbeit „Paying for Fuel in the Age of E-Mobility“ von Peter Hensch und Felix Ehrenwerth ist es, zu klären, welche Geschäftsmodelle werden derzeit getestet und angewendet werden, sowie die Bedingungen für eine erfolgreiche Einführung von innovativen Geschäftsmodellen aussehen. Außerdem wird der Frage nachgegangen wie sich die Zahlungsmodalitäten im Bereich Elektromobilität genau verändern, welche Vor- und Nachteile verschiedene Zahlungssysteme haben und welche davon erfolgsversprechend für die Zukunft sind.

Im Rahmen der darauffolgenden Seminararbeit „Vehicle-2-Grid (V2G) – An Overview of the Current Technical, Economical and Political Discussion“ von Tino Ewler und Hewad Osmani

wird das V2G-Konzept aus der technischen, ökonomischen und politischen Perspektive betrachtet und diskutiert. Darauf folgend wird eine Forschungsübersicht auf Basis einer Literaturanalyse erstellt. Diese verdeutlicht, auf welchen Bereichen des V2G momentan der wissenschaftliche Fokus liegt und in welchen dagegen noch Forschungsbedarf herrscht.

In den USA wurde durch eine Szenariotechnik das Einsparungspotenzial im Gesundheitswesen auf 105 bis zu 210 Milliarden Dollar geschätzt, welches durch eine Minderbelastung durch Luftverschmutzung, Schwermetalle, Öle und Schmierstoffe begründet worden ist (vgl. Becker et al. 2009, 22-23). Herauszufinden, ob Elektromobilitätslösungen in Bereichen des deutschen Gesundheitswesens bereits angestrebt werden und ob die Technologie das Potenzial zum Ersatz des Verbrennungsmotors besitzt, dienen als Motivation der Arbeit „E-Mobility for Use in the Health Care Sector – Is that Feasible?“ von Jan Toenjes und Sebastian Schyulla.

Die Arbeit „E-Mobility Applications in the Agriculture Domain – A Scenario Analysis“ von Tobias Witt und Leonard Raddatz beschäftigt sich mit der Anwendung von Elektromobilität in der Landwirtschaft. Vor dem Hintergrund der abweichenden Gegebenheiten im Agrarbereich gegenüber dem privaten Bereich sind für die Einführung der Elektromobilität in diesem Bereich dessen besondere Anforderungen zu beachten. Weiterhin gilt es, die Übertragbarkeit von Elektromobilitätskonzepten, die ursprünglich für den privaten Konsum entwickelt worden, auf den landwirtschaftlichen Bereich zu überprüfen. Dabei wird untersucht, welche Anwendungsszenarios für Elektromobilität im landwirtschaftlichen Bereich existieren und wie das Potenzial der Elektromobilität im landwirtschaftlichen Bereich zu bewerten ist. Hierbei geht es vor allem um die Zusammentragung generischer Konzepte von Geschäftsmodellen zur Elektromobilität in der Landwirtschaft und weniger um konkrete technische Ausführungen z.B. bei der Gestaltung der Smart Grids.

Im Rahmen der letzten Arbeit „E-Mobility – Green Utopia or Automobile Evolution“ von Sebastian Praël und Tim Wollert wird erläutert, inwiefern einige kritische Prozesse, wie der Recyclingprozess der Fahrzeugkomponenten, im Hinblick auf ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit zu bewerten sind. Weiterhin wird der Strommix der Bundesrepublik Deutschland dargestellt und auch hinsichtlich der Nachhaltigkeit untersucht. Es sollen Aussichten zukünftiger Energieinfrastrukturen geliefert werden und deren nachhaltiger Nutzen in Bezug auf die Elektromobilität geprüft werden. Ziel dieser Arbeit ist es, eine qualitative Aussage über die Umweltfreundlichkeit von stromgetriebenen Fahrzeugen zu geben sowie einen Vergleich zu konventionellen Verbrennungstechniken zu liefern.

2 E-Mobility - Evolution and Glossary

(Marco Hoffmann, Julius Achenbach)

2.1 Einleitung

Aufgrund der limitierten fossilen Brennstoffe und den steigenden Ölpreisen rückt das Thema Elektromobilität immer mehr in den Vordergrund. Die Energiespeicher und die Informationstechnik haben sich in den letzten Jahren stark weiter entwickelt. Auch die Sensibilität für ökologische Nachhaltigkeit wird im Bewusstsein der Bevölkerung mehr und mehr verankert. Deutlich wird dies durch immer wieder neue Diskussionen um Emissionsgesetze und den Klimawandel, der mit Treibhauseffekten zusammenhängt. Elektroautos weisen einige Vorteile gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren auf. Zum einen besteht die Möglichkeit, Elektrofahrzeuge allein durch erneuerbare Energien anzutreiben, wodurch keine Umweltbelastung durch Schadstoffe entsteht. Zum anderen sind diese leicht zu bedienen und die Motorenlautstärke ist sehr gering, wodurch der Fahrkomfort gesteigert wird.

Diese Seminararbeit widmet sich der Entwicklung der Elektromobilität und der an ihrer Entwicklung beteiligten Akteure. Darüber hinaus werden Vorausblicke für die Zukunft anhand von Beispielen gegeben. Aufgrund der neuen Entwicklung der Disziplin Elektromobilität sind bisher nur wenige allgemeingültige Begriffsdefinitionen in der Fachliteratur zu finden. Neuartige Begriffe sollen ermittelt und allgemeingültig definiert werden.

In dieser Seminararbeit behandeln wir Elektromobilität nur im Kontext der Automobilindustrie. Zum einen ist der Wandel von den Benzinmotoren hin zur Elektromobilität bei Automobilen zurzeit aktuell. Zum anderen stellt Elektromobilität bei anderen Fortbewegungsmitteln wie z.B. Zügen schon den Standard dar. Die technischen Einzelheiten der verschiedenen Konzepte und Entwicklungen werden hier nicht erläutert, da diese Arbeit nur einen Einblick in die Elektromobilität liefern soll und anderenfalls zu umfangreich werden würde. Ziel dieser Arbeit ist es, den Lesenden die Geschichte der Elektromobilität kurz zu vermitteln und ihnen darüber hinaus die heutigen Standpunkte der Akteure sowie ihre Zukunftsprognosen näher zu bringen. Weiterhin sollen die Schnittmengen der Handlungsfelder dieser Akteure verdeutlicht werden.

2.2 Methodik

Die erste Literaturrecherche diente dazu, einen Überblick über den Themenkomplex Elektromobilität zu gewinnen. Dabei lag der Fokus auf Texten, die die geschichtliche Entwicklung der Elektromobilität thematisieren. Im Laufe der Literatursuche wurden unterschiedlich definierte Begriffe gesammelt. Diese Begriffe werden ausgewertet und dabei allgemeingültige Definitionen entwickelt.

Bei einem Besuch der CeBIT-Messe - einer Messe für Informationstechnik - wurden Interviews mit fachkompetenten Personen geführt und neue Literaturquellen gesammelt. Sowohl die Quellenrecherche als auch die Forschungen und Entwicklungen auf der CeBIT-Messe ergaben, dass die Elektromobilität besonders aus den Perspektiven der Branchen Automobilwirtschaft, Energiewirtschaft und Informations- und Kommunikationstechnologie zu betrachten ist. Die Zusammenhänge zwischen diesen Themengebieten und Elektromobilität werden in dem folgendem dargestellt.

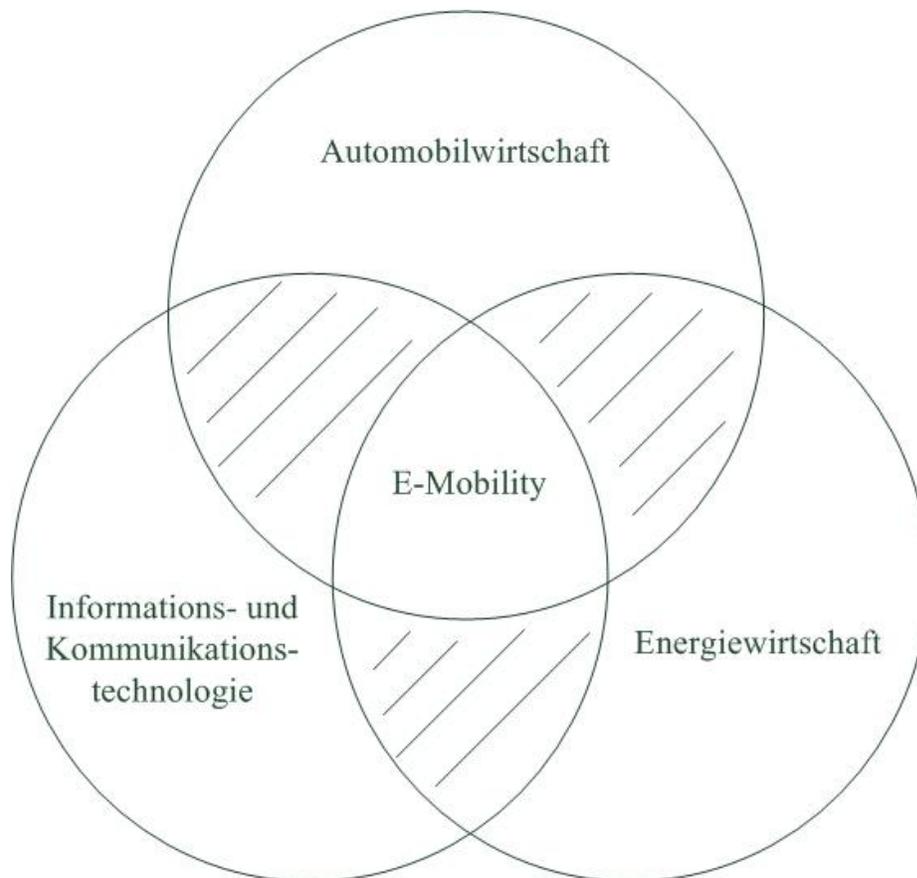


Abbildung 1 : Modell - E-Mobility als interdisziplinärer Bereich

Das Modell besteht aus drei sich überlagernden Kreisen, die die Hauptbranchen der Elektromobilität (E-Mobility) repräsentieren. Wir unterscheiden direkte und indirekte Stakeholder in der Elektromobilität. Unsere Grafik bezieht sich dabei auf die direkten Stakeholder, da diese die Forschung und Entwicklung in der Elektromobilität vorantreiben, um Profit zu erzielen und um ihre Marktposition zu sichern. Zu den indirekten Stakeholdern zählen wir die Nutzer und die Politik, da diese nicht unmittelbar den Wertschöpfungsprozess vorantreiben. Diese Stakeholder werden unabhängig von dem Modell betrachtet. Die Schnittstellen der Kreise im inneren Bereich des Modells symbolisieren die interdisziplinären Wirtschaftssektoren. Die Elektromobilität steht dabei im Zentrum des Modells als gemeinsame Schnittstelle aller Bereiche.

Die Struktur der Arbeit ist an die Grafik angelehnt. Anschließend an die geschichtliche Einführung in das Thema werden die einzelnen Bereiche des Modells erläutert und Bezüge zum Kernthema Elektromobilität hergestellt. Zunächst werden die äußeren Themen behandelt, dann die interdisziplinäre Themen im inneren Teil des Modells und abschließend der zentrale Bereich des Modells, die Schnittstelle aller Bereiche - die Elektromobilität. Jedes Kapitel beginnt mit einer kurzen Einführung, gefolgt von einer Übersicht zum State of the Art und einem Bezug zur Elektromobilität. Die entwickelten Definitionen werden bei der Erstverwendung der Termini präsentiert und in den Textfluss in Form von Definitionsblöcken eingebettet.

Als externe Stakeholder werden die Rollen der Akteure Politik und Nutzer untersucht. Bei dem Nutzer werden die Kaufinteressen und die Faktoren zur Begünstigung von Kaufentscheidungen dargestellt. Die Politik wird an dem Beispiel Deutschland betrachtet. Besonderer Fokus liegt hierbei auf dem nationalen Entwicklungsplan für Elektromobilität der Bundesregierung. Der letzte Diskussionspunkt dieser Arbeit ist der Vergleich der Prognosen aller Kapitel und eine Herausarbeitung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden.

2.3 Die Geschichte der Elektromobilität

Im 19. Jahrhundert wurde von Salvatore dal Negro der Grundstein der Elektromobilität gelegt. 1831 konstruierte er mithilfe von Elektromagneten einen Elektromotor, der eine

Lokomotive antrieb. Moritz Hermann von Jacobi entwarf 1834 einen Gleichstrom-Motor, der 1838 ein Schiff antrieb (vgl. Yay 2009, 15). 1865 entwickelte Gaston Plante eine verbesserte Batterie. Diese schaffte die Basis für den Bau eines Blei-Akkumulators durch Camille A. Faure und Volkmar 1881, der Strom speichern konnte (vgl. Schwertle 2009, 38). Dies war einer der wichtigsten Schritte in der Entwicklung der Elektromobilität (vgl. Yay 2009, 16). Nach dieser Erfindung bauten in kurzen Zeitabständen William Edward Ayrton und John Perry ein dreirädriges Elektroauto, Thomas Edison sein fahrendes „Electric Runabout“ und Adolph Müller sein „Baker Runabout“ (vgl. Schwertle 2009, 39). Parallel zu diesen Forschungen stellte Werner von Siemens 1866 das dynamoelektrische Prinzip auf. Dieses war die Grundlage für das kurz darauf entwickelte Tramcar von Nicolas J. Raffard, das mit Elektroenergie bis zu 40 Personen transportieren konnte. Das erste Elektroauto mit vier Rädern erbaute William Morrison 1892 in den USA (vgl. Yay 2009, 16). Im Jahr 1900 entwickelte Ferdinand Porsche den „Lohner Porsche“, der mit einer Ladung schon 50 km fahren konnte. Jedoch verdrängten die „Benziner“ die Elektromotoren aufgrund größerer Reichweiten und eines nicht ausreichend ausgebauten Stromnetzes. Nachdem längere Zeit das Thema Elektrofahrzeuge weniger Beachtung fand, stellte Mercedes 1982 sein elektronisch betriebenes Nahverkehrsfahrzeug „NAFA“ vor. Anfang der 90er Jahre folgten dann auch BMW und General Motors mit ihren Elektrofahrzeugen (vgl. Schwertle 2009, 41f).

Bevor die einzelnen Stakeholder der Elektromobilität genauer betrachtet werden, wollen wir näher darauf eingehen, warum Elektromobilität in der Zukunft nahezu unvermeidlich sein wird. Aufgrund der umweltschädlichen Abgase durch Benzinmotoren und der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe, rückt die Elektroenergie immer weiter in den Vordergrund. Ein langfristiges Problem, das den mit Benzin betriebenen Autos zu Lasten fällt, sind die steigenden Ölpreise. Da Öl ein fossiler Brennstoff und auf der Erde nur endlich verfügbar ist, wird in Zukunft nicht genügend Benzin zur Verfügung stehen, um Benzinmotoren anzutreiben. Studien zufolge soll dies 2050 der Fall sein (vgl. Rottwilm 2008, 1). Gemäß Prognosen der UNO (vgl. UNFPA 2011, 4) werden 2050 circa 2,3 Mrd. Menschen mehr als heute auf der Welt leben. Durch das begrenzte Angebot und die steigende Nachfrage steigt der langfristige Preis der mit Benzin betriebenen Autos, bis Elektroautos eine günstigere Alternative darstellen. Des Weiteren ist der Klimaaspekt zu beachten. Durch Abwendung vom Rohöl hin zu den erneuerbaren Energien soll eine CO₂-

neutrale und – abgesehen von der Anfangsinvestition - kostenlose Energie zur im „**Well-to-Wheel**“-Prozess zur Verfügung gestellt werden.

„**Well-to-Wheel**“ steht für die Gesamtkette von der Kraftstoffbereitstellung bis zur Verwendung der Automobile (vgl. NPE 2011, 53). Im 19. Jahrhundert

Um diese Alternative bieten zu können, erforschen die Automobilkonzerne, Batteriehersteller, Energiekonzerne und Informationswissenschaftler Konzepte und Modelle, welche gegenwärtig in Modellprojekten getestet werden.

2.4 Die Stakeholder

Der Erfolg der Elektromobilität hängt von verschiedenen Akteuren ab. Jeder dieser Akteure verfolgt seine eigenen Interessen und Ziele. In den folgenden (Unter-)Kapiteln wollen wir auf die verschiedenen Stakeholder der Bereiche der Automobil- und Batteriehersteller, der Informations- und Kommunikationstechnologie und der Energiewirtschaft eingehen und danach ihre Schnittmengen verdeutlichen (vgl. Schuler 2011, 13). In diesem Kapitel werden zuerst die einzelnen Stakeholder analysiert.

2.4.1 Automobilwirtschaft

Der Wandel von fossilen Brennstoffen hin zur Elektromobilität stellt die Automobilindustrie vor neue Herausforderungen. Bisher wurden wesentliche Teile von Motor und Getriebe intern entwickelt (vgl. Klink et al. 2009, 6). Da die Technologien zum Bau eines Elektroautos aber an Bedeutung verlieren und hauptsächlich in der Hand der Zulieferer liegen, entfallen diese Wertschöpfungsmöglichkeiten der Automobilindustrie. Zurzeit verfügt die deutsche Auto- und Elektroindustrie über keine besondere Wertschöpfung bei solchen Produkten (vgl. Appelrath et al. 2012, 30). Durch die sinkenden Markteintrittsbarrieren verspüren die Automobilbauer zudem weiteren Konkurrenzdruck. Unternehmen aus der Elektroindustrie sowie Batteriehersteller versuchen sich auf dem Markt zu positionieren (vgl. Klink et al. 2009, 3). Um diesem Konkurrenzdruck teilweise entgegenzuwirken, versuchen Automobilunternehmen Kooperationen mit z.B. Batterieherstellern einzugehen. VW hat beispielweise eine Kooperation mit Toshiba. Einen

anderen Weg hat Daimler eingeschlagen. Durch Aufkaufen von Unternehmensanteilen versucht Daimler, sich Zugang zu den fehlenden Technologien zu schaffen (vgl. Schuler 2011, 13). Durch diese Investitionen entstehen den Automobilbauern aber Doppelbelastungen. Zum einen müssen sie, um den Auflagen der Europäischen Union gerecht zu werden, bis Ende diesen Jahres ihre Autos auf einen maximalen CO₂-Ausstoß von 120mg/km optimieren (vgl. Santer 2007, 1), zum anderen müssen sie aber in die vermeidliche Zukunft von Elektroautos investieren (vgl. Schuler 2011, 13).

2.4.1.1 State of the Art

Die Erhöhung der Umweltfreundlichkeit und Verbrauchersparbarkeit ist seit vielen Jahren ein zentrales Entwicklungsziel der Automobilindustrie. Im Vordergrund stand bisher die Weiterentwicklung der Benzinmotoren durch moderne Einspritzsysteme und innermotorische Optimierungsmaßnahmen. Dadurch konnte wie in der folgenden Grafik dargestellt, der Kraftstoffverbrauch fast halbiert werden (vgl. IKH 2010, 23).

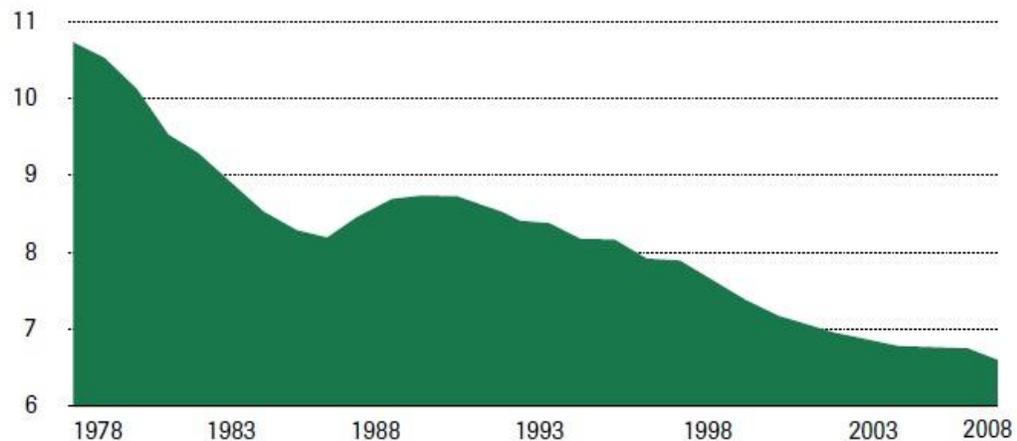


Abbildung 2 : Kraftstoffverbrauch von Benzinmotoren (Jahr, Liter pro 100km)

So ist der Kraftstoffverbrauch von Benzinmotoren - und damit der CO₂-Ausstoß - von circa 10,7 Liter pro 100 Kilometer im Jahr 1978 auf circa 6,6 Liter pro 100 Kilometer im Jahr 2008 gesunken. Aufgrund der weltweit zunehmenden Motorisierung reicht diese Weiterentwicklung nicht aus, um die Zukunft der benzinbetriebenen Mobilität zu sichern. Vor dem Hintergrund der klimapolitischen Rahmenbedingungen entwickelt sich die Forschung daher in Richtung CO₂-neutraler und regenerativer Kraftstoffe (vgl. IKH 2010, 23). Die Entwicklung der Motoren liegt dabei in der Hand der Automobilwirtschaft bzw. ihrer Zulieferer. Die verschiedenen Arten von (Elektro-)Motoren werden nachfolgend

aufgelistet und kurz erklärt.

Alternative Kraftstoffmotoren: Zu den alternativen Kraftstoffen zählen Erdgas, Autogas und Biokraftstoffe. Das CO₂-Reduktionspotential von Antrieb durch diese Stoffe liegt zwischen 20 und 90 Prozent. Ein Problem, das sich jedoch bei den Biokraftstoffen ergibt, ist die Konkurrenz zur Lebensmittelkette. Daher bezweifeln Experten, dass diese Kraftstoffe sich durchsetzen. Die alternativen Kraftstoffe sind ein Schritt in die richtige Richtung. Vor allem die Kraftstoffe, die aus regenerativer Energie erzeugt werden, sind sehr umweltfreundlich. Jedoch wäre das Energiepotential bei einer Verbrennung im Kraftwerk und Einspeisung in das Stromnetz zur Nutzung für Elektroautos größer als bei motorisierten Fahrzeugen (vgl. IKH 2010, 23).

Hybrid-Motoren: Die am technisch weitesten ausgereifte Alternative zum konventionellen Verbrennungsmotor ist der Hybridantrieb. Je nach Unterstützung des Fahrbetriebes werden verschiedene Unterstufen unterschieden; betrachtet wird hier nur der Voll-Hybrid. Der Voll-Hybrid fährt nach Möglichkeit immer mit den Strom aus der Batterie, und schaltet nur wenn diese leer ist auf den Benzin-Motor um. Mit diesem ist es möglich, kurze Strecken vollelektrisch zu fahren. Die Stärke des Voll-Hybrid ist es, dass die Batterie beim Bremsen durch die entstehende Energie wieder aufgeladen wird. Somit eignet sich der Hybrid vor allem für kurze Stadtstrecken. Aufgrund seiner hohen Anschaffungskosten und nur begrenzten CO₂-Ausstoßreduzierung - nur wenn der Elektromotor läuft - steht er anderen Modellen nach (vgl. IKH 2010, 24).

Plug-In-Hybrid-Motoren: Plug-In-Hybride sind Hybride, deren Batterie aufgeladen werden kann. Der Vorteil dabei ist, dass bei nur kurzen Strecken die Batterie statt Benzin genutzt werden kann. Eine Variante des Elektrobetriebes stellen sogenannte Plug-In-Hybride mit „**Range Extender**“ dar.

„**Range Extender**“ liefern einen Automobil Energie, falls die primäre Antriebsressource ausfallen sollte. Der Range Extender ist unabhängig von der Elektromobilität zu betrachten, da er theoretisch alle mit allen gängigen Treibstoffen ausgestattet sein könnte (vgl. IEEE 1994, 1).

Der Range Extender wird erst aktiviert, wenn die Batterien leer sind. Somit kann eine genauso hohe Reichweite wie bei Benzinmotoren gewährleistet werden, obwohl das Auto primär mit Elektrizität betrieben wird (vgl. IKH 2010, 27).

Brennstoffzellen-Motor: Bei Brennstoffzellenfahrzeugen handelt es sich um Elektrofahrzeuge. Der Unterschied zu den herkömmlichen Elektrofahrzeugen ist jedoch, dass der Strom für den Elektromotor durch eine chemische Reaktion erzeugt wird. Dabei wird Wasserstoff in Wasser umgewandelt. Die Brennstoffzelle ist aufgrund der kostengünstigen Herstellung von Wasserstoff sehr preiswert. Ein weiterer Verwendungszweck könnte die Verwendung der Brennstoffzelle als „Range Extender“ sein. Hiermit würde die CO₂-Emission - bei Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien - im Gegensatz zu den Plug-In-Hybriden wegfallen (vgl. IKH 2010, 28).

Batteriegetriebene Elektromotoren: Batterien dienen reinen Elektrofahrzeugen als einzige Energiequelle. Durch CO₂ neutrale Produktion des Stroms sind sie umweltfreundlich. Das Problem der Elektrofahrzeuge ist die beschränkte Reichweite. Die elektronisch betriebene Version des Minis hat eine Reichweite von 200 bis 250 Kilometern (vgl. energieblock24 2012, 1). Ein weiteres Problem bei Elektrofahrzeugen ist das Aufladen der Batterien, was zurzeit bis zu vier Stunden dauert. Durch verschiedene Geschäftskonzepte wie z.B. den Batteriewechsel, bei dem eine leere Batterie gegen eine aufgeladene getauscht wird, lässt sich diese Wartezeit jedoch umgehen (vgl. IKH 2010, 24f).

Nachdem die verschiedenen Motorentchniken vorgestellt worden sind, gilt es nun, die Frage zu beantworten, welche dieser Technologien sich in Zukunft durchsetzen wird.

2.4.1.2 Ausblick

Auf Grund der Knappheit der fossilen Brennstoffe, der Klimaproblematik und der politischen Diskussionen wird der Verbrennungsmotor immer mehr in Frage gestellt. Durch den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität wurde diese Diskussion mehr in den Fokus der Öffentlichkeit gezerrt. So stimmen die meisten Experten überein, dass die reine Elektromobilität den Verbrennungsmotor ablösen wird. Der Zeitpunkt ist an die Fortschritte der Batterietechnologien geknüpft, denn erst, wenn Elektroautos die

Reichweitenproblematik größtenteils aus dem Weg geschafft haben, werden sie sie für den Massenmarkt attraktiv (vgl. FES 2010, 24). Wie sich die Entwicklung der Elektromotoren vollzogen hat und wie die Zukunft bis 2030 prognostizieren könnte, wird in der folgenden Grafik dargestellt (vgl. Korthauer 2011, 27).

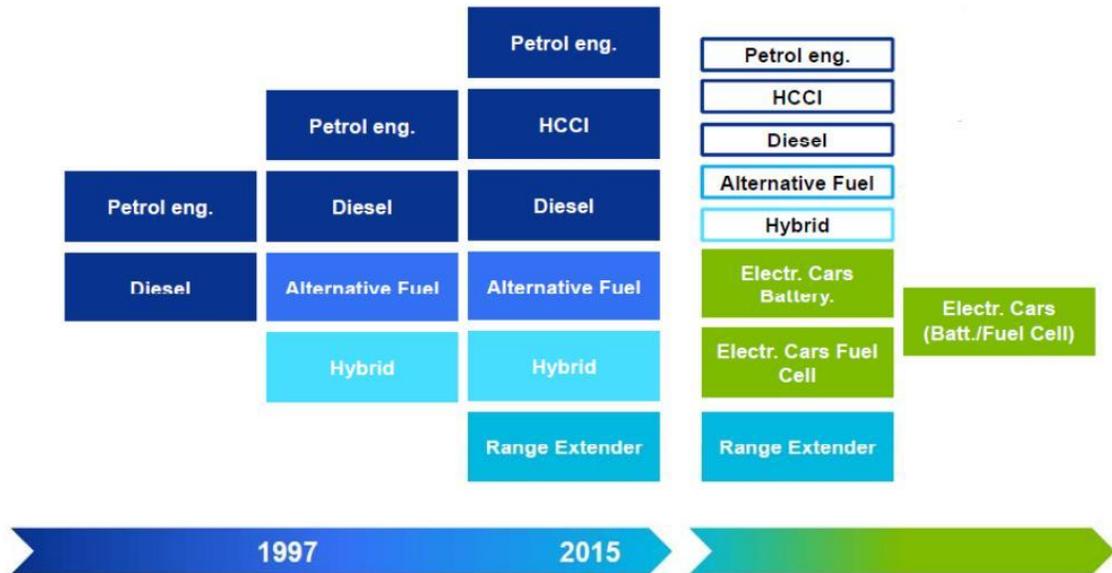


Abbildung 3 : Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft der Elektromotoren

Es wird vermutet, dass die fossilen Brennstoffe immer mehr an Bedeutung verlieren. Am Ende (hier: 2030) sollen größtenteils nur Elektroautos verwendet werden. Ein weiterer Punkt, der Elektroautos momentan und auch zukünftig unattraktiver machen kann ist, dass der „**Strommix**“ in Deutschland zum größten Teil aus Kohlekraftwerken erzeugt wird. Um eine bessere CO₂-Bilanz zu bekommen, müsste ein Umbruch in der Energiewirtschaft stattfinden (vgl. FES 2010, 24).

„**Strommix**“ bezeichnet die Zusammensetzung des Stroms aus den verschiedenen Teilen der Stromproduktion. Dabei wird zwischen CO₂-neutralen (Wind-, Solar-, Atomenergie) und CO₂-produzierenden Energiequellen (Braunkohlekraftwerk) differenziert (vgl. dena 2012, 1).

Das größte Problem, das auf die Automobilhersteller zukommt, ist das sie auf mehreren Technologiefeldern gleichzeitig agieren müssen, um ein möglichst gutes Produkt abzuliefern.

2.4.2 Die Energiewirtschaft

Genau wie die Automobilindustrie steht die Energiewirtschaft vor einer großen Herausforderung. Eine Schlüsselkomponente zum problemlosen Umstieg auf Elektroenergie stellt die Ladeinfrastruktur dar. Neben den hohen Investitionen in neue intelligente Stromnetze („Smart Grids“) bieten sich aber neue Umsatzpotentiale und Geschäftsfelder. Durch „**Smart Grids**“ können Über- und Unterproduktion von Energie kostengünstig aufgefangen werden.

„**Smart Grid**“ ist eine Kombination von Technologien, Hardware, Software und Praktiken, die das Stromnetzwerk und die Energieversorgung zuverlässig, sicher, widerstandsfähig, vielseitig, bidirektional und dem Energiebedarf anpassbar gestalten (vgl. Sionshansi 2012, xxxf)

Diese Definition alleine reicht nicht aus, um alle Aspekte des „Smart Grids“ zu erläutern. Intelligente Stromnetzwerke müssen Schnittstellen zu verschiedenen Energieproduktionsquellen integrieren. Nutzende sollten ihren selbsterzeugten Strom an das „Smart Grid“ abgeben und verkaufen können. Die Energieerzeugung sollte sich der Nachfrage anpassen. Auch eine dynamische Preisgestaltung sollte integriert sein, um intelligenten Geräten die Möglichkeit zu geben, den Bedarf zu regulieren. Der Energiefluss darf nicht mehr einseitig von den Energieversorgern ausgehen, sondern soll bidirektional sein, um jeder Zeit jede Energiequelle zum Einspeisen verwenden zu können. Mehr Energiespeichermöglichkeiten werden benötigt, um Strom bei Energieüberschuss zu speichern und bei Energiemangel zu verbrauchen oder private Reserven wieder zu verkaufen (vgl. Sionshansi 2012, xxxf).

„**Vehicle-to-Grid**“ (kurz: V2G) ermöglicht der Energiewirtschaft viele Kostenersparnisse. Den Spitzenlasten des Stromverbrauchs wurde bisher mit Hinzuschalten zusätzlicher Generatoren oder Hinzukaufen von Strom anderer Energieversorger begegnet. V2G ermöglicht durch die bidirektionale Verbindung einen Rückkauf des Stroms vom Verbraucher und macht somit unabhängiger von Konkurrenten. Des Weiteren kann dadurch eine höhere Netzstabilität erreicht werden (vgl. Schluchter 2007, 3ff).

V2G: Unter „Vehicle-to-Grid“ versteht man ein System von Elektromobilen, die über eine bidirektionale Verbindung mit dem Stromnetz verbunden sind. Durch diese Verbindung können die Batterien mit einem intelligenten Last- und Speichermanagement als Netzpuffer eingesetzt werden (vgl. Bundesregierung 2009, 53), um bei Spitzenlast den Strommarkt zu regulieren oder den Ausfall der Solarenergie in der Nacht aufzufangen (vgl. Schluchter 2007, 1).

2.4.2.1 State of the Art

Durch großzügige Investitionen, beispielsweise in den Ausbau der Energieversorgungsstruktur, eröffnen sich neue Geschäftsfelder. Strom-Flatrates für Endverbraucher und Unternehmen mit Elektroautos oder Verträge mit Tankstellen sind möglich. Da die Automobilbatterien momentan eine der teuersten Komponenten sind, wäre der Stromverkauf an Batteriehersteller oder ähnliches denkbar. Diese Möglichkeiten erzeugen nach einer Studie von A.T. Kearney (2009, 1) ein Umsatzpotential von bis zu 17 Milliarden Euro bis 2020 (vgl. Schuler 2011, 21).

Energieversorger versuchen nicht nur, die mögliche Bandbreite an Kunden zu erreichen, sondern „sauberen“ und möglichst günstigen Strom zu erzeugen. RWE (2012a, 1) stellt auf ihrer Homepage zum Beispiel regenerative Energien vor, mit denen sie zurzeit – ohne die Investition zu berücksichtigen – kostenlosen Strom beziehen. Aber auch Forschungsthemen wie geothermale Energie werden Energielieferanten immer mehr in den Mittelpunkt rücken, um die Stromversorgung nicht nur von einer Quelle abhängig zu machen (vgl. RWE 2012a, 1).

Ein Problem der Energieversorger, seitdem es Kraftwerke gibt, ist der Umgang bei zu niedriger bzw. zu hoher Produktionsleistung. Aufgrund der hohen Kosten für Energiespeicher hat RWE den Pressluftspeicher „ADELE“ entwickelt. Dabei stößt die überschüssige Energie Luft in unterirdische Hohlräume und erzeugt damit Druck. Sollte zu wenig Energie produziert werden, kann der Druck wieder in Energie geformt werden (vgl. RWE 2011b, 21).

Dieses Prinzip entspricht in etwa dem „Smart Grid“-Prinzip. Durch ein intelligentes Stromnetz werden dezentral gelagerte oder erzeugte Energien zur Lastenoptimierung eingesetzt. Das Aufkaufen dezentral produzierter Energie von zum Beispiel Photovoltaik-Anlagen wurde bereits umgesetzt. Das Auslagern von überproduzierter Energie wird im „Smart Grid“-Ansatz durch ein Senken der Strompreise und die damit verbundene Nachfragesteigerung in „Smart Grid“-Systemen realisiert (vgl. BVIT 2010, 6).

2.4.2.2 Ausblick

Das Projekt „Desertec“, bei dem RWE mit verschiedenen Partnern zusammenarbeitet, soll bis 2050 so viele Solarstromzellen in den Wüsten Nordafrikas aufgestellt haben, dass 15% des europäischen Bedarfs gedeckt werden (vgl. RWE 2011b, 13).

Ein weiteres Projekt zur vermehrten Erzeugung von regenerativen Energien versucht E.ON umzusetzen. Von Ende 2013 bis Sommer 2015 soll ein Offshore-Windpark mit 80 Windturbinen aufgebaut werden. Der dadurch erzeugte Strom soll 70.000 Menschen Strom liefern (vgl. E.ON 2012a, 1f).

2.4.3 Die Informations- und Kommunikationstechnologie

Der Begriff Informations- und Kommunikationstechnologie wird in unserer Arbeit mit IKT abgekürzt. Ursprünglich entwickelte sich der Begriff IKT während der Digitalisierung von Telekommunikation und Rechentechnik. Die Differenzierung zwischen Telekommunikation und Rechentechnik ist bei dem Stand der Technik nicht mehr möglich, da neue Geräte mit vielen kombinierbaren Funktionen entwickelt wurden. Diese decken die Bereiche Sprach-, Bild- und Datenkommunikation ab. Grundsätzlich ist der Begriff IKT ohne Kontextbezug kaum zu definieren. Im Allgemeinen umfasst die IKT die Aufgabenbereiche Datenerfassung, Datenverarbeitung, Datenspeicherung, Datenübertragung und Datenbereitstellung (vgl. Fraunhofer ISI/IZM 2009, 2f). Aufgrund der Größe des Themenfeldes IKT werden nur einige Beispiele der IKT-Branche diskutiert und Forschungsgebiete mit Bezug auf die Automobilbranche erläutert.

2.4.3.1 State of the Art

Ein bedeutender Entwickler von Informations- und Kommunikationstechnologien für viele Branchen ist die Aktiengesellschaft SAP. Unter anderem entwickelt und vertreibt SAP das

Unternehmens-Informationssystem „SAP ERP“. Dieses Informations- und Kommunikationssystem unterstützt Betriebe bei Unternehmensprozessen im operativen Bereich, im Finanzwesen und in der Personalwirtschaft und wird exemplarisch für die Funktionsweise von IKT in der Wirtschaft dargestellt. Dieser Abschnitt dient als Grundlageinformation für die Erläuterung der im Kapitel Elektromobilität vorgestellten IKT. SAP hat bereits eigene Lösungen in dem Projekt "Future Fleet" entwickelt, die eine Erweiterung von SAP ERP darstellt. Diese ergänzt das standardmäßige SAP ERP mit der Möglichkeit Elektrofahrzeuge als Firmenwagen zu verwenden(vgl. SAP 2012g, 1).

SAP ERP unterstützt Unternehmen bei der Verknüpfung von Betriebsabläufen mit Unternehmensstrategien, indem es Informationen zur Verfügung stellt und Problembereiche ermittelt. Durch unternehmensweite Analysen können Betriebsabläufe effizienter gestaltet werden. Dadurch wird das Unternehmen transparenter und produktiver. Die „Enterprise Service Architecture“ - Funktion standardisiert Prozesse und macht diese effizient und anpassungsfähig. „SAP ERP Financials“ unterstützt Funktionen für das Finanzwesen im Unternehmen. Durch die „Human Capital Management“ Funktion wird die Personalplanung automatisiert. Sie schafft die Voraussetzungen, um qualifizierte Mitarbeiter zu gewinnen und deren Talente und Potenziale zu fördern. Dadurch werden die Mitarbeiter optimal entsprechend ihrer Qualifikationen den Projekten zugeteilt. Klar definierte Karriere- und Entwicklungspläne mit eventuellen Vergütungsprogrammen für Leistungen können Mitarbeiter an das Unternehmen binden. Zentrale Geschäftsprozesse in den Bereichen Beschaffung und Logistik, Produktentwicklung und Fertigung oder Vertrieb und Service können durch „SAP ERP Operations“ vereinfacht oder optimiert werden (vgl. SAP 2012g, 1).

Sehr weit verbreitet findet die Navigation mit GPS durch integrierte Navigationsgeräte in Fahrzeugen oder über Smartphones Anwendung. Das GPS-System basiert auf der Kommunikationstechnologie zwischen Satelliten. Um den eigenen Standort zu bestimmen, müssen zunächst vier Satelliten und anschließend die Distanz zu diesen ermittelt werden. Diese Distanz wird durch die Zeit gemessen, die das Signal vom Satelliten zum Empfänger benötigt. Mit Hilfe der Position von drei Satelliten und den Distanzen kann die eigene Position auf den vorgeschichteten Karten im Navigationssystem bestimmt werden. Der

vierte Satellit dient dazu, die Zeitgenauigkeiten der drei anderen Satelliten zu kontrollieren (vgl. TomTom 2012, 2).

Aktuelle findet die GPS-Technik bei dem Projekt "myTaxi" Anwendung. Von Taxiunternehmen wird zurzeit ein Service angeboten, bei dem der Kunde seinen Standort über das GPS-System in seinem Smartphone ermittelt und weitergeleitet. Gleichzeitig wird durch die Software von der Zentrale der Standort des am nächsten gelegenen Taxis ermittelt. Die nächsten Taxifahrer bekommen Fahrangebote auf ihr Smartphone übermittelt und können dieses anklicken um den Auftrag anzunehmen (vgl. Randelhoff 2012, 1f).

Für Elektrofahrzeuge werden Navigationsgeräte gebraucht, die bei Routenberechnungen den Ladezustand der Autobatterie berücksichtigen und entsprechende Routenempfehlungen präsentieren. Ohne diese Informationstechnologie müsste der Nutzer einschätzen, ob er sein Ziel erreicht, bevor die Batterieladung aufgebraucht ist. In diesem Bereich hat der Elektronikhersteller Pioneer eine für Elektrofahrzeuge spezialisierte Navigationstechnologie entwickelt, welche über diese Funktionen verfügt. Über das Internet werden Informationen zur Berechnung der stromsparendsten Strecken ermittelt. Dazu gehören Wetterberichte über Windrichtungen und -stärken, so wie Geographische Informationen, wie Gefälle auf der Route. Informationen zum Stromverbrauch und Ladestand der Batterie werden auf der Anzeige zur Verfügung gestellt. Zur Unterhaltung verfügt dieses Gerät zusätzliche Funktionen, wie Radio, DVD-Spieler oder das Fernsehen (vgl. Pioneer 2011, 4f).

2.4.3.2 Ausblick

Der IKT-Sektor ist ein wichtiger Bereich für die Wirtschaft des 21. Jahrhunderts, da die IKT in allen Wirtschaftsbereichen verwendet wird. Die Europäische Kommission strebt eine Standardisierung von IKT-Schnittstellen europaweit an, um das Wirtschaftswachstum zu begünstigen. Durch globale Standards sollen neue Technologien und Anwendungen schneller integriert werden (vgl. COM 2009, 3). Die berufliche und akademische Bildung ist ein weiterer Schwerpunkt, bei dem IKT unterstützend eingesetzt werden kann. Durch die Bereitstellung und Aufarbeitung von Wissen wird der umfassenden Herausforderung des Technologiewandels begegnet. Des Weiteren besteht die Notwendigkeit der Ausbildung von

qualifizierten Fachkräften, um den Personalbedarf in Schlüsseltechnologien zu decken. Die IKT fördert die praxisorientierte Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und trägt unmittelbar zur Vernetzung von Wissenschaft und Wirtschaft bei. Ein weiteres Ziel der IKT ist es, die interdisziplinäre und branchenübergreifende Zusammenarbeit zu ermöglichen (vgl. NPE 2011, 25f).

2.4.4 Die Politik

Die Politik spielt eine besondere Rolle. Sie kooperiert nicht direkt mit den anderen Stakeholdern, sondern bildet eine Grundlage zur Förderung der anderen Stakeholder, beispielsweise durch Subventionen und Standardisierungsmaßnahmen. Des Weiteren ist sie nicht direkt an den Wertschöpfungsketten der Elektromobilität beteiligt. Wir betrachten in unserer Arbeit nur die Politik innerhalb der EU und besonders innerhalb Deutschlands.

2.4.4.1 State of the Art

Es gibt viele Gründe, warum die Politik den Fortschritt der Elektromobilität fördern sollte. Deutschland verspricht bis 2020 ihren CO₂-Ausstoß (im Vergleich zu 1990) um 40% zu senken (vgl. Dehmer 2009, 2). Das Ziel bleibt, den Strom nur durch regenerative Energien zu gewinnen und somit Elektroautos CO₂-neutral zu betreiben. Darüber hinaus können Einnahmen aus dem Verkauf von Emissionsrechten innerhalb der EU erzielt werden (vgl. Schuler 2011, 13). Ein weiterer Grund für die Förderung ist es, die Abhängigkeit von politisch instabilen ölfördernden Regionen zu verringern. Somit soll Deutschland wirtschaftlich unabhängiger werden (vgl. Schuler 2011, 13f).

2009 investierte der Bund mit dem Konjunkturpaket II 5 Milliarden Euro für die Automobilindustrie in Form der „Abwrackprämie“ (vgl. Spiegel 2009, 1). Im selben Jahr hingen 5,3 Mio. Arbeitsplätze direkt oder indirekt vom Automobilbau ab (vgl. Verband der Automobilindustrie 2009, 12). Somit ist die Automobilbranche einer der wichtigsten Arbeitgeber. Es liegt daher nahe, dass die Bundesregierung diese Arbeitsplätze erhalten und ausbauen möchte, da mit ihr auch Steuereinnahmen zusammenhängen (vgl. Schuler 2011, 14f). Bis 2009 gab es keinen ganzheitlichen Ansatz für eine erfolgreiche Entwicklung und Einführung der Elektromobilität seitens der Bundesregierung. Am 19. August 2009 hat die Bundesregierung den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ etabliert. Ziel dieses Entwicklungsplans ist es, die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung und die

Markteinführung von elektrischen Fahrzeugen voranzubringen und somit Deutschland zum Marktführer zu machen. Dabei soll die Entwicklung des Marktes bis 2020 in drei Phasen erfolgen (vgl. Bundesregierung 2009, 44).

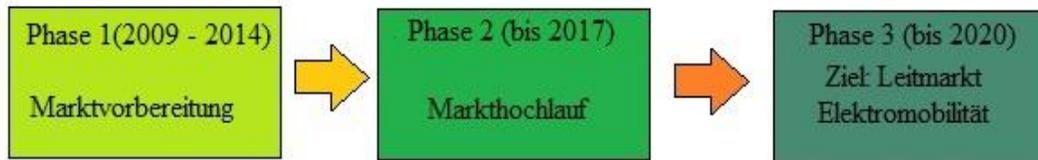


Abbildung 4 : Entwicklung des Marktes "Elektromobilität"

Der zweite Bericht der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE), einem Gremium aus Vertretern der Industrie, Wissenschaft, Politik, Gewerkschaften und Gesellschaft, prognostiziert die Dauer der drei Phasen. Somit ist die Dauer von Phase 1, der Marktvorbereitung, um 3 Jahre, und die Dauer der Phase 2, dem Markthochlauf um ein Jahr später vorherbestimmt worden. Im Zentrum der Marktvorbereitung sieht die NPE (2011, 12) die Ausbildung von qualifizierten Fachkräften sowie Forschung und Entwicklung. Des Weiteren sollen Elektrofahrzeuge subventioniert und erste Ladestationen aufgebaut werden. Dadurch sollen Schaufensterprojekte ermöglicht werden, um die Kundenakzeptanz zu steigern. Darüber hinaus zeigen Pilotprojekte den Stand der deutschen Technologie und ermöglichen potentiellen Investoren einen Einblick (vgl. NPE 2011, 12).

2.4.4.2 Ausblick

Bis Ende 2017 sollen die Grundlagen für „**Smart Grids**“ gegeben sein. Dies fordert kontinuierliche Forschung und Entwicklung. Die intelligente Einbindung von Elektrofahrzeugen in das Energiesystem wird durch „Smart Grids“ sichergestellt. Diese Entwicklungen erfordern das Zusammenspiel von IKT und Energiewirtschaft, was im Kapitel „Energiewirtschaft“ thematisiert wird. Durch weitere Investitionen sollen Kaufanreize für Kunden geschaffen, sowie die Wettbewerbsfähigkeit der Elektrofahrzeuge und die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im Bereich Elektromobilität gestärkt werden (vgl. NPE 2011, 12).

„**Smart Grid**“ ist eine Kombination von Technologien, Hardware, Software oder Praktiken die das Stromnetzwerk und die Energieversorgung zuverlässig, sicher, widerstandsfähig, vielseitig, bidirectional und dem Energiebedarf anpassbar zu gestalten (vgl. Sionshansi 2012, xxxf).

Das Ziel der Bundesregierung, am Ende dieser drei Phasen 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf dem deutschen Markt zu haben, blieb im zweiten Bericht der Plattform Elektromobilität erhalten (vgl. Bundesregierung 2009, 2 / vgl. NPE 2011, 3). Nachdem die Infrastruktur und die Fahrzeugtechnik für den Massenmarkt geeignet sind, soll laut dem Bericht der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (vgl. NPE 2011, 12) die Nachfrage nach Elektroautos zunehmend steigen. Dadurch seien dann auch tragfähigere Geschäftsmodelle denkbar. Über alle der oben genannten Phasen hinweg soll Deutschland auf europäischer Ebene eine führende Rolle beim Thema Elektromobilität einnehmen. Hierbei steht die Gestaltung konsistenter und international einheitlicher Rahmenbedingungen im Vordergrund (vgl. NPE 2011, 12).

Ein Beispiel für ein von der EU angestoßenes Projekt ist „Green eMotion“. Dieses Projekt wurde auf vier Jahre angelegt (2011-2015) und dient zum Aufbau von interdisziplinärem Wissen und Erfolgen. Dabei sollen Automobil- und Industrieunternehmen, Stromversorger, Stadtverwaltungen, Universitäten und Forschungseinrichtungen eingebunden werden, um Standardisierungen branchenübergreifend zu verankern. In Modellregionen sollen hierbei Erfahrungen gesammelt und Ansätze für Elektromobilität geschaffen werden (vgl. Green eMotion 2011, 1). Weiterführend sollen bis 2030 über 5 Millionen und 2050 überwiegend alle Fahrzeuge elektrisch angetrieben werden (vgl. Bundesregierung 2009, 46).

2.4.5 Die Nutzer

2008 war in Deutschland das Auto das am meisten benutzte und somit wichtigste Verkehrsmittel (vgl. BVBS 2008, 29). Gerade deshalb sind die Nutzer ein wichtiger Stakeholder der Elektromobilität. Für eine erfolgreiche Etablierung von Elektromobilität in der Zukunft werden verschiedene Technologien zur Grundlagenschaffung benötigt. Diese Technologien für die Einbindung von regenerativen Energieressourcen, Energiespeichern

und Energieabrechnungssystemen in ein Stromnetz werden für ein revolutionäres Energiesystem benötigt, durch welche die Vermarktung von Elektromobilität ermöglicht wird. Dieses Kapitel betrachtet den Stakeholder Nutzer im Bezug auf den Einfluss der Nutzer auf die Entwicklung innovativer Technologien. Besonderer Fokus liegt auf der Funktionsweise des Nutzers als Käufer und Überlegungen zu vermarktenden Produkte in naher Zukunft, da die Durchsetzung der Elektromobilität von den Kaufentscheidungen der Nutzer abhängt.

Um die potentiellen Benutzer zu begeistern, müssen verschiedene Faktoren gegeben sein. Dazu gehören beispielsweise Flexibilität, Zuverlässigkeit, Schnelligkeit und Kostenersparnis (vgl. Appelrath et al. 2012, 257ff).

Eine Herausforderung stellt die Verbraucherakzeptanz für neue Technologien im Bereich von „Smart Grids“ dar. Vorantreibend für die Entwicklung von „Smart Grids“ ist der Anstieg von Energiepreisen und des damit zusammenhängenden Verbraucherbewusstseins unter Berücksichtigung der umweltbezogenen Konsequenzen der Energieherstellung. Auch Katastrophen wie Fukushima treiben den Atomausstieg voran und erhöhen das Bewusstsein zu verbessertem Energiemanagement und vermehrter Gewinnung durch erneuerbare Energien und fördern letztendlich ein neuartiges „Smart Grid“. Die Bedürfnisse der Nutzer des zukünftigen „Smart Grids“ müssen berücksichtigt werden, um die Etablierung herbeizuführen. Laut einer Umfrage erwarten 75 Prozent der befragten Experten eine Marktpenetration von „Smart Grids“ innerhalb der nächsten 10 bis 15 Jahre. Etwa 65 Prozent sehen „Smart Grids“ als Bedingung für eine Integration erneuerbarer Energien (vgl. Appelrath et al. 2012, 257ff).

Finanzielle Vorteile können die Nutzerakzeptanz für neue Energielösungen erhöhen oder sogar zu Investitionen führen. Energiesparende Geräte erhöhen die Nutzerakzeptanz neuartiger Technologien, da die Kunden darin Geldsparpotenzial entdecken. Kritisch zu sehen sind Smart-Home-Produkte mit hohen Anschaffungskosten bei kaum Mehrnutzen, wie beispielsweise intelligente Kühlschränke (vgl. Appelrath et al. 2012, 258). Kontrolle über den eigenen Energiebedarf und das daraus resultierende Verbraucherbewusstsein gibt Anreize, neuartige Produkte zu erwerben, auch wenn diese zusätzliche Service- und

Wartungskosten bedeuten (vgl. Frauenhofer 2010, 24). Die Möglichkeit, nicht verwendeten Strom, der beispielsweise in Elektroautobatterien zwischengespeichert wird, zu verkaufen, könnte ebenfalls zu privaten Investitionen im Bereich von Smart-Home-Technologien führen. Nach Acatech (2012, 259) ist das Wissen über intelligente Technologien in Bezug auf Kosten und Nutzen beim Endverbraucher zu gering, um zuverlässige Prognosen über private Nutzerinvestitionsbereitschaft zu erstellen.

Der Kauf von Smart Metern gibt potentiellen Kunden Bedenken, da sie darin eine technische Abhängigkeit von den Stromanbietern sehen. Die Stromanbieter haben Zugriff auf persönliche Daten, die sie beim Warten und Ablesen der Smart Meter erhalten (vgl. Appelrath et al. 2012, 259).

„**Smart Meter**“ sind Geräte, die Messdaten automatisch verarbeiten, übertragen und verwalten. Es kann Messungen durchführen, wobei die Datenübertragung auf zwei Wegen mit den Zählern funktioniert. Die Daten werden zeitnah für die relevanten Akteure im eigenen System und an die Energieverbraucher bereitgestellt. Sie unterstützen Dienste zur Energieeffizienz in Bezug auf Energieerzeugung, Energieübertragung, Energieverteilung, und deren Endnutzung (vgl. Koponen et al. 2008, 4f).

Die Wohnsituation hat Einfluss auf die Investitionsbereitschaft. So haben Mieter ein geringes Interesse, die gemieteten Wohnungen durch energiesparende Maßnahmen aufzuwerten, da letztendlich der Eigentümer der Wohnung davon profitiert. Andererseits sehen Letztere zu wenig Eigennutzen darin, die Investitionen vollständig selbst zu übernehmen. Zur Lösung könnte eine gemeinsame Investition der Eigentümer und der Mieter führen (vgl. Appelrath et al. 2012, 258). Der Integrationsaufwand neuer Technologien in Neubauten und die damit verbundenen Kosten sind geringer als bei älteren Gebäuden, weswegen sich bei ersteren erhöhte Investitionsbereitschaft feststellen lässt (vgl. BMWi 2006, 133f).

Um das Interesse und die Akzeptanz von neuartigen „intelligenten“ Haushaltsprodukten, die in ein Smart-Grid integriert werden können, zu prognostizieren, werden vergleichbare bereits existierende Produkte mit einer ausreichenden Marktdurchdringung analysiert. Bei

Untersuchungen wurde ein hohes Interesse an intelligenten Haushaltsgeräten festgestellt (vgl. Appelrath et al. 2012, 260). Zwar sind die spezifischen Funktionen meist unbekannt, jedoch wird erhöhter Komfort und Entlastung im Haushalt erwartet. Besonders vielversprechend sind Systeme im Heizungsbereich, da dort hohe Energiekosten wahrgenommen werden. Der Aspekt von Preisschwankungen für Energie ist für die Betriebszeiten von Spülmaschinen relevant, so dass diese zu Zeiten eingeschaltet werden, in denen der Preis niedriger ist. Waschmaschinen bei Nacht und damit wahrscheinlich zu geringeren Strompreisen laufen zu lassen, würde den Nachteil haben, dass die Wäsche über Nacht in der Maschine bleiben würde, und wird deshalb als kritisch gesehen (vgl. Appelrath et al. 2012, 260). Intelligente Kühlschränke müssten bei einer intelligenten Funktionsweise eine konstante Temperatur vorweisen, um verderbliche Produkte zu erhalten. Dies hat zur Folge, dass zurzeit eine Vorstellung der Umsetzung eines solchen Kühlschranks nicht ausgereift ist. „Intelligente Wasserboiler“ sind zurzeit eher kritisch anzusehen, da der Warmwasserbedarf im deutschen Komfortstandard jeder Zeit gegeben sein sollte. Daher würde die Anschaffung eines solchen Geräts wahrscheinlich nicht die Kosten durch Stromersparnis ausgleichen (vgl. Appelrath et al. 2012, 261).

Generell wird beim Vertrieb von neuartigen Produkten im Haushaltsbereich eine persönliche Beratung gewünscht und bedingt, um das Kaufverhalten der Nutzer zu begünstigen. Um eine Durchsetzung von Smart-Grid-Technologien zu erzielen, müssen Berater sowie Handwerker und Architekten über genügend technisches Verständnis und Fachwissen verfügen, um eine kompetente Beratung und überzeugende Information zu gewährleisten. Ansonsten werden Unsicherheiten und Skepsis beim potentiellen Kunden geschaffen, wodurch sich die Produkte nicht absetzen lassen (vgl. Appelrath et al. 2012, 262).

2.5 Die Schnittmenge der Stakeholder

Nachdem die Stakeholder einzeln vorgestellt worden, werden nun die gemeinsamen Konzepte und Kooperationen der Stakeholder untereinander vorgestellt.

2.5.1 Schnittmenge Energiewirtschaft / IKT

Im Kontext der Schnittstelle Informations- und Kommunikationstechnologie und

Energiewirtschaft verwenden wir die Definition der IKT nach Appelrath (2012, 74f): Informations- und Kommunikationstechnologie im Kontextbezug auf Energiewirtschaft realisiert den Austausch von Informationen zwischen allen Akteuren des „Smart Grids“ sowie deren Zugriff auf die im Energienetzwerk vorhandenen Daten, Dienste oder Geräte. Sicherheit, Zuverlässigkeit und die Berücksichtigung von Datenschutzbedingungen müssen beim Datenabruf gewährleistet sein.

Ziel der IKT mit der Energiewirtschaft ist beispielsweise die Entwicklung von Abrechnungssystemen für Ladestrom. Dadurch soll die Verfügbarkeit für Ladestationen erhöht werden, um die Verbreitung von Elektromobilität zu begünstigen. Ebenfalls benötigen Elektroautos entsprechende Informations- und Kommunikationstechnologien, um die Aufladung an der Ladestation zu optimieren. Eine eventuell durch Politik begünstigte Standardisierung von Protokollen (vgl. VDE 2012, 1).

„**Smart Home**“ gilt als großes Ziel der IKT und Energiewirtschaftsbranche. Sowohl die Entwicklung von Technologien für das „Smart Home“ als auch die Integration von Elektromobilität in den privaten Sektor wird mit der Entwicklung von „Smart Grids“ vorangetrieben.

Das „**Smart Home**“ ist ein Haushalt, der durch IKT integriert wird. Heimnetze, Kommunikation, Computertechnik und Unterhaltungsindustrie werden dabei übergreifend in einem System zur manuellen oder automatischen Kontrolle zur Verfügung gestellt. In Zusammenarbeit mit der Energiewirtschaft verbreitet sich die Energieproduktion der Haushalte und die damit verbundene Einspeisung in das Stromnetz aus. Darüber hinaus ist ein „intelligentes Haus“ notwendig, um den „Vehicle-to-Grid“-Ansatz umzusetzen (vgl. ITWissen 2012, 1).

IKT bietet verschiedene zukunftsweisende Chancen für die Integration erneuerbarer Energien. Dynamische Preisgestaltung im Energiemarkt oder die Umsetzung neuer Angebote und Produkte im Bereich der Elektromobilität zählen dazu. Bisher findet die Versorgung mit elektrischer Energie nach dem „Top-Down-Prinzip“ statt, bei welchem die IKT meist durch die Energiebetreiber eingesetzt wird. Einen Aspekt, der die Dringlichkeit von IKT verdeutlicht, ist die zunehmende Anzahl von Energieerzeugungsmöglichkeiten,

wie zum Beispiel Windkraft- oder Solaranlagen. Die Energieeinspeisung sowie die Bereitstellung von Informationen über den Energiebedarf regelt das IKT-System. Eine IKT-Lösung könnte der Einsatz von „**Smart Metern**“ sein. Smart Meter können die Verbrauchsdaten analysieren und bereitstellen, Fernablesung und -steuerung ermöglichen, Verbrauchsprofile und Prognosen unterstützen oder dynamische Tarife ermöglichen. Sowohl eine ausgeprägte IKT-Infrastruktur als auch eine elektrische Infrastruktur der Energiewirtschaft für die Energieversorgung im Automobilbereich sind erforderlich, um die Verbreitung von Elektromobilität umzusetzen. (vgl. Appelrath et al. 2012, 47f)

Die „European Smart Metering Alliance“ (ESMA) ist ein Projekt zum Sammeln von Informationen für intelligente Energieausnutzung durch Smart Metering. Demnach werden Messgeräte, die mit einem Mikroprozessor ausgestattet sind, als „smart“ bezeichnet und bei Großkunden schon seit circa 15 Jahren eingesetzt. Der Einsatz dieser Geräte bei kleineren Kunden ist zurzeit im Entwicklungsstadium. Sowohl die Produktion soll kostengünstig sein als auch die Funktion, viele Messdaten zu verarbeiten und diese an die Verwendungsstellen weiterzugeben (vgl. Koponen et al. 2008, 4).

Ein aktueller IKT-Dienstleister im Bereich von Abrechnungssystemen für Stromabrechnung ist die Energiepartner GmbH. Beispielsweise bietet diese ein Abrechnungssystem zur Netzuntersuchungsprüfung für das Energiedatenmanagement von Stromlieferanten. Dieses System unterstützt die rechnerische und preisliche Prüfung von Energienetznutzungsrechnungen. Die Funktionen können rechnungsrelevante Daten erfassen, die Rechnungen überprüfen und den Abnahmestellen zuordnen, die Netznutzungspreise kontrollieren, Jahresprognosewerte entsprechend anpassen und gewünschte Daten bereitstellen. Dabei werden Informationen von Lieferanten, den Abnahmestellen, einer Datenbank mit den momentanen Energiepreisen und vom Netzbetreiber verwendet (vgl. Energiepartner 2012, 1f).

Bei der Kommunikation zwischen Elektrofahrzeugen und einem Abrechnungssystem werden indirekte und direkte Varianten unterschieden. Bei der indirekten Variante kommuniziert das Fahrzeug über PLC oder WLAN mit einem Smart Meter. Zur Abrechnung kann das Internet als Medium verwendet werden. Die direkte Variante

funktioniert über eine Mobilfunkverbindung zwischen dem Fahrzeug und dem Abrechnungssystem und parallel dazu über PLC oder WLAN oder per RFID mit dem Smart Meter der Ladestation. Praktisch werden Lade- und Abrechnungssysteme meistens getrennt betrachtet, wobei das indirekte Abrechnungskonzept bevorzugt wird (vgl. VDE 2012, 1).

2.5.2 Schnittmenge Energiewirtschaft / Automobilwirtschaft

Verschiedene Faktoren die den Durchbruch der Elektromobilität fördern, stammen aus dem Bereich der Schnittstelle der Automobilwirtschaft und Energiewirtschaft. 28 Prozent des Energieverbrauchs von Deutschland und 20 Prozent der CO₂-Emission durch den Verbrauch von Energie wird durch den Straßenverkehr verursacht. Um die Ziele des Klimaschutzes zu erreichen muss die CO₂-Emission verringert werden (vgl. Pehnt et al. 2011, 2). Eine Maßnahme die CO₂-Emission zu verringern, ist der vermehrte Einsatz von regenerativen Energiequellen. Die Elektromobilität ermöglicht grundsätzlich die Nutzung erneuerbarer Energien in erhöhtem Ausmaß weil Wind- Solar- und Erdwärmeenergie in den Batterien der Elektroautos gespeichert werden können. Diese fungieren dabei als "Energiepuffer" und können bei Energiemangel angezapft werden. Dadurch werden Smart Grids ermöglicht – es gäbe sonst keine Energiespeichermöglichkeiten. (vgl. Pehnt et al. 2011, 3).

Bei der Entwicklung der Batterien begünstigen verschiedene Aspekte das Kaufverhalten der Automobilhersteller und Nutzer. Akzeptable Reichweiten müssen gegeben sein, da der Nutzer sein Fahrzeug wie gewohnt verwenden will. Die Kosten bei der Entwicklung beeinflussen die Preise für Batterien unmittelbar und stellen einen Kritikpunkt des momentanen Stands von Elektroautos dar. Ersatz für das herkömmliche "Tanken" sollte durch rasche Ladezeiten oder die Möglichkeit einen Batteriewechsel durchzuführen gegeben sein. Um die Idee des Batteriewechsels umzusetzen, sollten internationale Standards für Batterien und Ladesteckersysteme gegeben sein um jedes Fahrzeugmodell bei Stationen laden zu können. (vgl. Burkhard 2011, 2)

Für das Laden über Ladestationen werden verschiedene Standorte in Betracht gezogen. Diese untergliedern sich in private, halböffentliche und öffentliche Ladestationenstandorte.

Halböffentliche Standorte sind beispielsweise öffentlich zugängliche Parkplätze von Unternehmen. Ladestationen am Straßenrand oder auf öffentlichen Stellplatzanlagen ermöglichen es im Alltag, wie beispielsweise beim Einkaufen oder bei der Arbeit das Fahrzeug zu laden (vgl. Schreiber 2011, 5).

Nach der Studie "Strategic Analysis of the European EV Charging Station Infrastructure" von Frost & Sullivan werden bis 2017 über zwei Millionen öffentlich zugängliche Ladestationen europaweit aufgestellt prognostiziert. 2010 waren es hingegen weniger als Zehntausend. Diese Einschätzungen beruhen auf der Erwartung, dass Regierungen etwa 700 Millionen Euro in derartige Projekte investieren. Am weitesten verbreitet sind dabei langsame Ladestationen, bei denen eine Aufladung sechs bis acht Stunden dauert, welches ein Infrastrukturproblem darstellt. Es wird eine große Anzahl an Ladestationen benötigt um langsamen Ladezeiten entgegen zu kommen. Durch Schnellladestationen über Starkstromanschlüsse könnte dem entgegengewirkt werden. Sicherheitsbedenken entstehen bei dem Gedanken mit Starkstrom im Alltag zu hantieren (vgl. Frost/Sullivan 2011, 1).

Alternativ zu Steckerladesystemen werden induktive Ladesysteme entwickelt. Diese ermöglichen weitere Anwendungsmöglichkeiten bei denen kein Eingriff des Fahrers nötig ist um einen Ladevorgang zu starten. Dabei kommuniziert das Fahrzeug über eine V2G-Anwendung mit seiner Umgebung und wird über Induktion geladen. Die Induktion funktioniert bidirektional, wodurch die Batterie an ein Smart Grid angebunden werden kann. Es wurde bereits ein Standard zur Induktion entwickelt und veröffentlicht, welcher zur internationalen Norm werden soll. In der Automobilindustrie wird er bereits verwendet. Im Bereich des V2G, so wie im Vehicle-to-X-Kommunikation werden ebenfalls Normen benötigt (vgl. VDE 2012, 1).

Die Unterhaltskosten für Elektroautos werden wahrscheinlich stark reduziert. Eine Tankfüllung heute kostet zwischen 70 und 80 Euro und reicht etwa 800 Kilometer. Eine Ladung einer 30kWh-Batterie mit einer Reichweite von etwa 150 Kilometern wird etwa sieben bis acht Euro kosten, wobei etwa fünf bis sechs Ladungen nötig sind um dieselben Strecken zu fahren (vgl. KPMG 2011, 10).

Die Erforschung der Energiespeicherung steht im Interesse beider Branchen. Automobilhersteller benötigen langlebige Akkumulatoren mit hoher Speicherkapazität und die Energieversorger suchen in dieser Forschung nach Wertschöpfungspotential. Ein Ansatz ist die V2G-Idee, bei der Energieüberschüsse in Autobatterien zwischengelagert werden kann. Eine weitere Idee ist die Kombination von Strom- und Mobilitätsangeboten. Dabei sollen potentiellen Kunden Elektrofahrzeuge mit einem Stromliefervertrag kombiniert verkauft werden (vgl. KPMG 2011, 11).

Die technische Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge und die Kosten der Batterien sind wichtige Faktoren für den Vertrieb von Elektroautos. Bei einem Interview mit Sven Bauer, dem Geschäftsführer der Batterien-Montage-Zentrum GmbH wird diese Thematik diskutiert. Demnach existieren bereits Technologien, wie sie die Autoindustrie benötigt mit ausreichender Leistungsfähigkeit, Langlebigkeit und Sicherheit. Diese finden bereits bei Anwendung in der Lagertechnik bei dem Betrieb von Staplern. Die Problematik liegt hierbei bei den Herstellungskosten (vgl. Rudschies 2011, 1f).

2.5.3 Schnittmenge IKT / Automobilwirtschaft

Über die letzten dreißig Jahre wurden wesentliche Neuheiten in Automobilen durch IKT ermöglicht. 1978 wurde das Antiblockiersystem eingeführt. Als Weiterentwicklung entstand 1995 das Elektronische Stabilitätsprogramm, wodurch einzelne Räder von Kraftfahrzeugen kontrolliert abgebremst werden können, um das Ausbrechen des Wagens zu verhindern. Der 2008 entwickelte Einparkassistent ermöglicht das Einparken in unüberschaubare Parkplätze. Etwas aktueller hingegen ist der 2010 entwickelte Notbremsassistent, welcher in kritischen Situationen Sicherheitsmaßnahmen ergreift und das Fahrzeug abbremst. Die IKT-Gestaltung ist in Bezug auf die neuen Technologien und deren realisierten Funktionen in den letzten Jahren komplexer geworden. Beispielsweise ist der Anteil der Zeilen-Programmcodes pro Fahrzeug seit den 1970er-Jahren von circa hundert auf bis zu zehn Millionen Zeilen angestiegen. (vgl. ForTISS 2011, 18f).

Bei der Entwicklung von neuen Automobilen sind Entwicklungszyklen von über acht Jahren üblich. Verkürzungen dieser Zeiten, führen zu wenig Entlastung, da dafür häufiger neue Innovationen beachtet werden müssen und die erwarteten Funktionen erweitert

werden. Außerdem verfolgt die Automobilbranche eine evolutionäre Entwicklungsstrategie, wodurch Entscheidungen getroffen wurden, die sich negativ auf die IKT-Architektur des heutigen Stands im Automobil ausgewirkt haben. Eine modulare Entwicklung hat nicht zum Ergebnis übergreifender Funktionen geführt, welche unzureichende Kompatibilität besitzen. Die dadurch entstandene Komplexität der IKT führt zu hohen Kosten für das Ergänzen von innovativen Funktionen. Sicherheitskritische Fahrzeugfunktionen werden zögerlich umgesetzt, da die Risikofaktoren bei höherer Komplexität schwerer vorauszusehen sind. Deswegen bleibt die eingesetzte IKT hinter ihren technischen Möglichkeiten zurück. Beispielsweise Notbremsassistenten stellen hohe Anforderungen an die IKT und werden deshalb nur zurückhaltend eingebaut. Auch bei der Forschung im Bereich „**Drive-by-Wire**“, also der Unterstützung der Steuerung des Fahrzeugs durch IKT, ist Zurückhaltung festzustellen. (vgl. ForTISS 2011, 19f).

„**Drive-by-Wire**“ bezeichnet die Steuerung eines Fahrzeugs ohne den Einsatz von mechanischen Steuermitteln, wie z.B. Lenkrad, mit Hilfe von IKT (vgl. ForTISS 2011, 20).

Durch die Entwicklung der IKT-Netzwerke wird die drahtlose Kommunikation zwischen Autos im Straßenverkehr ermöglicht. Dies wird als Car-to-X-Kommunikation oder Smart Traffic bezeichnet. Die Neuheit besteht in dem bidirektionalen Informationsfluss, wobei jedes Fahrzeug sowohl Informationen empfängt als auch eigene Informationen versendet. Das „X“ in Car-to-X steht für alle mit dieser IKT ausgerüsteten Verkehrsteilnehmer, die sich in Sendereichweite befinden, und für die Straßeninfrastruktur, wie z.B. Ampeln und Verkehrsleitsysteme. Durch diese Technik werden Verkehrsinformationen schneller als bisher verbreitet, so dass der Verkehrsfluss ständig optimiert wird und gegebenenfalls Unfallsituationen sofort von Pannen- und Rettungsdiensten erkannt werden können. Unter anderem könnten der lokalen Parkplatzsuche intelligente Parkplätze den Fahrer zum freien Parkplatz lotsen (vgl. Götze/Rehme 2011, 9).

Ein aktuelles Beispiel für die Entwicklung von Effizienz im Straßenverkehr demonstriert eine erfolgreiche Integration von IKT in die Automobilbranche. Als umweltbelastend und wirtschaftsschädigend wird Verkehrsstau auf Fernverkehrsstraßen angesehen.

Verkehrsexperten sehen in einer Verkehrsflusskontrolle und damit in der Entwicklung eines technischen Assistenten für die Steuerung von Gas und Bremse in Fahrzeugen einen wichtigen Schritt zur Optimierung des Verkehrsflusses auf Fahrbahnen mit hohem Verkehrsaufkommen. Diesbezüglich hat die Forschungsgesellschaft TNO vor drei Jahren einen Wettbewerb ausgeschrieben. Ziel ist es, mit fahrerlosen Automobilen gegeneinander anzutreten und dabei zu beweisen, dass maschinengesteuertes Kolonnenfahren möglich ist und dadurch ein gleichfließender Verkehr bewirkt werden kann. Der „Grand Cooperative Driving Challenge“ fand in Helmond in den Niederlanden statt. Das Siegerfahrzeug wurde mit Kameras, Laserscannern, Gas- und Bremssteuerung ausgestattet; zur Geschwindigkeitsmessung des voranfahrenden Fahrzeugs wurde ein bereits integriertes Radarsystem verwendet. Die Genauigkeit der GPS-Informationen zur Navigation wird durch Korrektursignale einer Bodenstation erhöht. Durch ein Funksystem können Informationen über die Fahrmanöver von vorausfahrenden Fahrzeugen empfangen und verarbeitet werden, auch Geschwindigkeitsbegrenzungen und Ampelphasen können dadurch ermittelt werden. Durch einen eigens entwickelten Algorithmus namens „model predictive controler“ werden Umgebungsdaten jede zehntausendstel Sekunde neu ausgewertet, um die Geschwindigkeitsanpassungen durchzuführen. Nicht relevant für diesen Wettbewerb war die automatisierte Lenkung, welche von Menschen übernommen wurde, weil die Integration der „Drive-by-Wire“-Technologie zu aufwendig wäre bzw. nicht ausreichend entwickelt ist (vgl. Lauer 2011, 86ff). Nach ForTISS werden verschiedene Zukunftsszenarien prognostiziert. Für wahrscheinlich wird eine Integration der „Drive-by-Wire“-Idee bis zum Jahr 2020 gehalten. Damit wird die Ausrüstung preislich günstiger Autos ermöglicht. Die Akteure können dabei über elektronische Steuergeräte angesprochen und der Verkabelungsaufwand der herkömmlichen Steuergeräte verringert werden (vgl. ForTISS 2011, 54f).

Mit mehr Funktionen könnten Autos bis 2030 ausgerüstet werden. Das Szenario basiert dabei ebenfalls auf dem „Drive-by-Wire“-Ansatz. Dieser soll weiterentwickelt werden, um für Kunden mit hohen Ansprüchen interessant zu sein. Außerdem wird angenommen, dass die IKT so organisiert ist, dass neue Funktionen mit geringem Aufwand in Fahrzeuge integriert werden und dadurch stark individualisierte Modelle hergestellt werden können (vgl. ForTISS 2011, 55f).

Für Kunden mit hohem Komfortanspruch und einer hohen Zahlungsbereitschaft können Fahrzeuge entwickelt werden, bei denen der Fokus auf den neusten Techniken liegt. Jedoch wird dabei die IKT, die in herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor verwendet wird, ohne Entwicklungsfortschritte angewendet. Diese Fahrzeuge besitzen ein weitgehend geschlossenes System, wodurch nach der Auslieferung kaum Änderungsmöglichkeiten oder Erweiterungsmöglichkeiten bestehen. Des Weiteren benötigt die Entwicklung dieser Autos etwa fünf Jahre. Dies stellt ein Problem dar, da die Infotainment-, Kommunikations-, und Navigationstechniken sich in diesem Zeitraum weiterentwickeln und nur mit hohem Aufwand nachträglich eingebaut werden können (vgl. ForTISS 2011, 57).

2.6 Die Elektromobilität als Zusammenspiel der Stakeholder

Nachdem die einzelnen Stakeholder und ihre Schnittmengen betrachtet worden sind, lässt sich feststellen, dass die Elektromobilität die Gesamtschnittmenge der drei direkten Stakeholder ist. Nachfolgend werden gegenwärtige und zukünftige Projekte der Elektromobilität vorgestellt, welche die Zusammenarbeit aller Akteure voraussetzen. Welche Forschungsthemen in diesem Bereich relevant sind, werden in der folgenden Grafik dargestellt und zeitlich eingeordnet (vgl. Korthauer 2011, 24).



Abbildung 5 : Prognose der Forschungsfortschritte im Bereich Elektromobilität

Wie in der Grafik zu erkennen ist, werden Forschungen aller Akteure der Elektromobilität verlangt. Beispielweise seien für die Automobilwirtschaft die Entwicklung der Fahrzeug- und Batteriesicherheit im Auto, für die IKT die Ladeschnittstellenkommunikation und für

die Energiewirtschaft der Ausbau und die Sicherheit der Ladestationen zu nennen (vgl. Korthauer 2011, 24). Ein Beispiel für die Zusammenarbeit von allen Akteuren und somit ein Beispiel zur Umsetzung der Elektromobilität stellt das „Future Fleet“ Projekt von SAP dar. Der Automobilbauer German e-Cars, der Energielieferant MVV Energie und SAP – als IKT-Dienstleister – haben gemeinsam im Auftrag von SAP 27 Elektroautos sowie deren Infrastruktur aufgebaut. Diese Firmenflotte stand den SAP-Mitarbeitern für Dienstreisen zur Verfügung. Dieser Feldversuch stieß bei fast allen teilnehmenden Mitarbeitern auf Zustimmung. Durch die Einsparung von Benzinkosten, sichert sich SAP somit einen Wettbewerbsvorteil (vgl. ISOE 2012, 1).

Ein weiteres Ziel der Akteure, unter dem Druck der Politik, ist die Reduktion der Treibhausgasemission. Das bisherige Problem, dass z.B. Solarenergie nur am Tag genutzt werden kann, muss durch Energiespeicher gelöst werden. Der Vehicle-to-Grid Ansatz ist hierbei ein Lösungsvorschlag. Durch die bidirektionale Stromverbindung der an die Ladestation angeschlossenen Automobile, ist es möglich Energie dezentral zu speichern und bei Bedarf wieder in das Netz einzuspeisen. Durch genormte Schnittstellen der Automobil-, Energiewirtschaft und der IKT lässt sich so emissionsfreier Strom speichern (KPMG 2011, 21).

2.7 Fazit

In dem geschichtlichen Überblick wird die Entwicklung der Elektromobilität seit 1831 vermittelt und auf die Problematik der Ressourcenknappheit hingewiesen. Bei der einzelnen Betrachtung der Stakeholder beginnen wir mit der Automobilwirtschaft. Dabei wurden die verschiedenen Antriebstechnologien erläutert. An dem Beispiel von SAP und einem Pioneer-Navigationsgerät wurden Bezüge der IKT-Branche mit Elektromobilität verdeutlicht. Ein Ausblick auf den Entwicklungsplan der Bundesregierung präsentiert die Rolle der Politik und ihre Zukunftsprognosen. Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien durch die Energiewirtschaft, lassen sich die CO₂-Reduktionsziele der Politik erreichen. Der Nutzer entscheidet mit seinem Kaufverhalten über die Durchsetzung der neuen Technologien.

Durch die interdisziplinären Kooperationen versuchen Unternehmen Schlüsseltechnologien

wie z.B. „Smart Grid“ und „Vehicle-to-Grid“ zu entwickeln. Diese Investitionen sollen sich durch den Vorteil einer frühen Marktführerposition rentieren. Das Beispiel der SAP „Future-Fleet“ zeigt, dass die Investition in die Technologien der Elektromobilität zeitnah zu einem Wettbewerbsvorteil führen kann.

Das Thema Elektromobilität hat uns sehr interessiert. Wir werden das Thema in Zukunft weiter verfolgen. Unserer Meinung nach, wird die Elektromobilität in den kommenden Jahren stärker in den Mittelpunkt der Öffentlichkeit rücken.

3 Germany as the market leader for E-Mobility architectures and services

- A gap analysis

(Carolin Ahrens, Eileen Lehmann)

3.1 Einleitung

Für die meisten Deutschen hat das Auto einen sehr hohen Stellenwert: rund drei Viertel aller Haushalte besitzt mindestens einen PKW (vgl. Focus 2009, 1) und ca. 70% geben an, dass ihnen ein eigenes Auto „sehr wichtig“ ist (vgl. Valid Research 2012, 1). Egal ob beruflich oder privat, auf individuelle Mobilität lässt es sich in unserer dynamischen Welt schlecht verzichten. Besonders in Schwellenländern wie Indien oder China wird die Nachfrage weiter steigen. Das Umwelt- und Prognoseinstitut e.V. (UPI) sagt einen Anstieg des weltweiten PKW-Bestandes bis 2030 um das 4,5-Fache voraus (vgl. UPI 2009, 1) und somit werden auch die bekannten Probleme, die mit dem Gebrauch eines herkömmlichen PKW einhergehen, immer mehr in den Fokus rücken. Damit auch in Zukunft Mobilität gewährleistet werden kann, gilt es, eine Lösung zur Reduzierung des CO₂ Ausstoßes und eine Alternative zu den immer knapper werdenden fossilen Brennstoffen zu finden, um die Abhängigkeit von Rohstoffimporten zu reduzieren. Nur so kann eine nachhaltige Entwicklung gewährleistet werden, die den Klimawandel nicht noch weiter voran treibt.

Eine Alternative ist die Elektromobilität, also die Nutzung elektrischer Energie bei Fahrzeugantrieben inkl. Hybridantrieben, die sich von einer bloßen Zukunftsvision in eine technologisch bedeutsame Realität mit einem hart umkämpften Markt entwickelt hat. Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen, setzt sich die Bundesregierung das Ziel, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen zu haben und Deutschland gleichzeitig zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Diese Zielsetzung impliziert den Anspruch, Deutschland in absehbarer Zeit als Marktführer in diesem Bereich zu etablieren. Notwendig dafür sei jedoch zuerst die Schaffung einer Reihe von politischen, regulatorischen, technischen und infrastrukturellen Voraussetzungen. (vgl. Bundesregierung 2009, 2-4) Bezogen auf die Umweltproblematik sollten alle Überlegungen zur Elektromobilität mit dem Ausbau erneuerbarer Energien einher gehen. Mit dem heutigen Strommix sind die CO₂-Emissionen immerhin erst um 46% geringer als bei klassischen Verbrennungsmotoren (vgl. Beyers 2009, 1).

Im Rahmen dieser Arbeit soll die voraussichtliche Entwicklung der Elektromobilität in den nächsten Jahren in Deutschland untersucht werden. Ziel ist es, darzulegen, wie der deutsche Entwicklungsplan zur Elektromobilität aussieht, ob und wie Deutschland Marktführer in

diesem Bereich werden kann und welche Hindernisse es auf diesem Weg zu überwinden gilt.

Dazu werden zum Verständnis des Themas einleitend zentrale Begriffe wie Marktführerschaft, Leitmarkt und Leitanbieter definiert. Bevor anschließend die konkreten Pläne und Ziele der Bundesregierung zur Entwicklung der Elektromobilität erläutert werden, soll die Relevanz dieses Themas anhand der Bedeutung der traditionellen Automobilindustrie in Deutschland erklärt werden. Um Deutschlands Chancen bei dem Ziel Marktführer zu werden beurteilen zu können, ist ein Vergleich mit der Entwicklung in anderen Ländern zwingend erforderlich. Anhand eines Kriterienkatalogs bestehend aus sechs bedeutenden Bereichen der Elektromobilität soll der Gap zwischen Deutschland und dem jeweiligen Benchmark gefunden werden. Im Rahmen dieser Arbeit beschränkt sich der Vergleich auf die vier stärksten Konkurrenten Deutschlands in der Automobilbranche. In einem abschließenden Fazit werden die Ergebnisse dann zusammenfassend dargestellt und die eingangs aufgeworfenen Fragen beantwortet.

3.2 Definitive Grundlagen

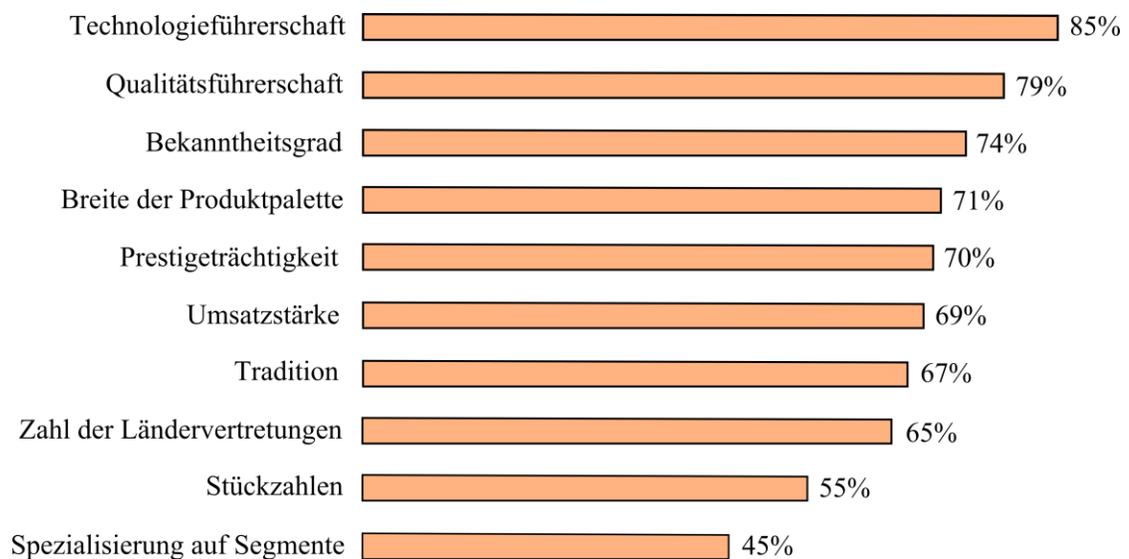
Die deutsche Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, Deutschland bis 2020 zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität (vgl. Bundesregierung 2009, 2) zu entwickeln, was den Anspruch der Marktführerschaft auf diesem Gebiet impliziert. Bevor auf die Pläne der Bundesregierung jedoch genauer eingegangen wird, dient das folgende Kapitel der Definition dieser zentralen Begriffe und Konzepte, die im weiteren Verlauf der Arbeit immer wieder Verwendung finden und letztendlich nötig sind, um Deutschlands Chancen bei diesem Vorhaben einschätzen zu können.

3.2.1 Marktführerschaft

„Leadership erweist sich daran, dass man für andere zum Maßstab wird“ steht im Leitbild des deutschen Unternehmens Sick (2012, 2), einem der Weltmarktführer in der Sensortechnik. Auf dem Weltmarkt Standards setzen, genau das will Deutschland mit der Elektromobilität „Made in Germany“ auch erreichen. Was macht also einen Marktführer aus?

Allgemein versteht man unter einem Marktführer einen Anbieter (sei es ein Land, ein Unternehmen oder ein Produkt), das auf einem gegebenen Markt unter allen Anbietern den

größten Marktanteil besitzt. Es bleibt dabei allerdings offen, ob es sich dabei um den wertmäßigen oder den stückzahlenmäßigen Marktanteil handelt. Eine Studie von Hermann Simon (2007, 75), bei der Unternehmen auf die Frage antworteten: „Aus welchem Grund sehen Sie sich als Marktführer?“ ergab allerdings, dass die wertmäßige Ausschöpfung des Marktes im Vordergrund steht. Wie in Abbildung 6 zu sehen, hat das Fraunhofer-Institut im Jahr 2007 auch eine Studie über Ursachen und Inhalte einer Marktführerschaft veröffentlicht. Hier zeigt sich, dass insbesondere die Attribute Technologie- und Qualitätsführerschaft am bedeutsamsten sind und Stückzahlen dagegen eher eine untergeordnete Rolle spielen, wie dies auch Hermann Simon herausgefunden hat. Die weit oben platzierten Merkmale Bekanntheitsgrad, Prestigeträchtigkeit und Tradition lassen erkennen, dass Marktführerschaft eher auf einer lang anhaltenden Überlegenheit beruht und mehr umfasst als nur den größten Marktanteil (vgl. Simon 2007, 75-76).



**Abbildung 6 : Ursachen der Marktführerschaft
(Quelle: Simon 2007, 76)**

3.2.2 Leitmarkt und Leitanbieter

Leitmärkte werden definiert als „geographisch abgegrenzte Märkte, die globale Innovationen durch günstige lokale Präferenzen und Rahmenbedingungen fördern“ (Beise 2006, 24) und können anhand von fünf Attributen ähnlich denen der Wettbewerbsfähigkeit nach Michael Porter identifiziert werden. Diese werden nach Klodt (2011, 1-2) wie folgt definiert:

1. *Preis- und Kostenvorteile:* Aus der Massenproduktion lässt sich auf diesen Märkten

gegenüber anderen Märkten eine Kostendegression erzielen.

2. *Nachfragevorteil*: Es ergeben sich Vorteile aus dem Niveau und der Struktur der heimischen Nachfrage. Von Vorteil sind z.B. ein hohes nationales Einkommensniveau (Möglichkeit, Geld für Trends auszugeben), die Antizipation globaler Trends durch die heimischen Nachfrager (Trendsetterrolle, andere Länder ziehen später nach) oder eine bereits bestehende komplementäre Nachfrage.
3. *Transfervorteil*: Einfluss des Konsumverhaltens in dem betreffenden Markt auf das Konsumverhalten in anderen Märkten. Sind Produkte und Innovationen aus einem Land international bekannt, werden diese bei gleichen Präferenzen auch in anderen Ländern nachgefragt. Ist die Funktionsfähigkeit einer neuen Lösung bewiesen, sinkt die Unsicherheit und das Risiko für ausländische Nachahmer. Das Internet und die immer weiter fortschreitende internationale Harmonisierung von Vorschriften begünstigen diese Entwicklung.
4. *Exportvorteil*: Ähnlichkeit der Nachfragestrukturen und Rahmenbedingungen zwischen dem Leitmarkt und den Märkten in anderen Ländern sowie eine enge Vernetzung der heimischen Unternehmen und Politik mit ausländischen Märkten. Das bedeutet, dass z.B. schon bei der Produktentwicklung ausländische Präferenzen berücksichtigt werden und dass auf dem Heimatmarkt international akzeptierte Standards und Normen angewendet werden (Adaptionsfähigkeit eines Innovationsdesigns).
5. *Marktstrukturvorteil*: Eine Marktstruktur mit einer hohen Wettbewerbsintensität ist vorteilhaft, weil der Wettbewerb unter den Produzenten die Suche nach einem kundengerechten Innovationsdesign begünstigt.

Der Begriff Leitanbieter bezieht sich dagegen nicht nur auf den deutschen Markt, sondern auf den internationalen Absatz deutscher Produkte und Technologien, die im besten Fall weltweit zum Standard werden. Im Zusammenhang mit der Elektromobilität bedeutet Leitanbieter zu sein, die meisten und qualitativ besten Fahrzeuge zu produzieren und weltweit zu verkaufen. Im heimischen Markt die meisten Elektrofahrzeuge in einem definierten Zeitraum zu verkaufen, ist dabei von eher untergeordneter Bedeutung.

Die besondere Herausforderung bei dem Ziel Leitmarkt und -anbieter zu werden ist, dass

viele vorher getrennte Industrien wie Strom- und Automobilproduzenten gemeinsam agieren und Lösungen finden müssen, wie Abbildung 7 verdeutlicht.

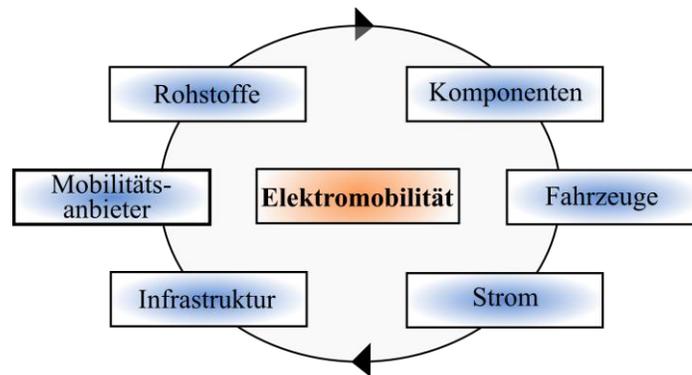


Abbildung 7: Bereiche der Elektromobilität
(Quelle: vgl. Bundesregierung 2009, 9)

Es braucht nicht nur eine bloße Antriebstechnologie, sondern es ist z.B. in Bereichen wie der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) und Energieinfrastruktur eine Systemkompetenz Elektromobilität erforderlich. Die Wertschöpfung geht also über das reine Automobil hinaus. So müssen unter anderem auch Geschäftsmodelle entwickelt, großflächig Ladestationen gebaut und umweltschonende Verfahren zum Recycling der Batterie entwickelt werden. Parallel ist es wichtig, dass schnellstmöglich umfassende Normen und Standards festgelegt werden, die auch international gültig sind. Um Leitmarkt und Leitanbieter zu werden, muss Deutschland dabei nicht nur besser, sondern auch schneller als die Konkurrenz sein. Doch warum hat dieses Thema für die Bundesregierung überhaupt so einen hohen Stellenwert? Dies soll im Folgenden anhand der Bedeutung der traditionellen Automobilindustrie für Deutschland geklärt werden. Des Weiteren wird anhand der weiter oben vorgestellten fünf Attribute von Klodt geprüft, ob es sich dabei um einen Leitmarkt handelt.

3.3 Bedeutung der Automobilbranche in Deutschland

Deutschland ist nach Japan, China und den USA die viertgrößte Automobil produzierende Nation der Welt (vgl. BMWi 2010, 1). Rund 20% aller weltweit hergestellten PKW kommen aus Deutschland, wodurch *Preis- und Kostenvorteile* (sog. Skaleneffekte) erzielt werden können. Viele bekannte deutsche Autohersteller wie z.B. Volkswagen, Mercedes-Benz oder auch BMW können dank einer zunehmenden Nachfrage nach Mobilität besonders in Schwellenländern wie Indien oder China eine steigende Produktion

verzeichnen. Gerade auf diesen Märkten spielen Aspekte wie das Image der Marke und des Ursprungslandes eine große Rolle, was den bei uns beliebten deutschen Autobauern dort einen *Transfervorteil* verschafft. Dies zeigt auch eine Studie von Globeone (2011, 1-3) zur Wahrnehmung deutscher Marken in den Wachstumsmärkten Brasilien, Russland, Indien und China. Besonders in Bezug auf traditionelle Werte wie Zuverlässigkeit, exzellente Qualität und Vertrauenswürdigkeit schneiden deutsche Automarken sehr gut ab. 2011 stieg die Produktion der deutschen Automobilindustrie auf 5,9 Mio. Fahrzeuge, was ein Plus von 300.000 im Vergleich zum Vorjahr bedeutet (vgl. VDA 2012a, 1). Insgesamt belief sich der Umsatz der deutschen Automobilbranche auf 351 Mrd. Euro, davon waren 128 Mrd. Euro Inlands- und 223 Mrd. Euro Auslandsumsatz. Dies entspricht einem Anteil von 20% des Gesamtumsatzes der deutschen Industrie, womit die Automobilbranche ihren wichtigsten Zweig darstellt. (vgl. VDA 2012b, 1) Der relativ hohe Anteil des Inlandsumsatzes verdeutlicht den *Nachfragevorteil* der Automobilhersteller auf dem deutschen Markt. Dort ist diese Branche auch als Arbeitgeber mit etwa 714.000 Beschäftigten sehr bedeutend (vgl. VDA 2012c, 1).

Wie am Umsatz zu sehen, werden deutsche Automobile weltweit nachgefragt. So wurden 2011 beispielsweise 4,52 Mio. Fahrzeuge mit einem Wert von insgesamt 184 Mrd. Euro aus Deutschland exportiert und waren damit das wichtigste Exportgut der Bundesrepublik (vgl. Statistisches Bundesamt 2011, 1). Das bedeutet, dass drei von vier in Deutschland gebauten Autos im Ausland abgesetzt werden (vgl. NPE 2010a, 15). Durch die Ähnlichkeit der Nachfragestrukturen und Rahmenbedingungen in anderen Ländern haben die deutschen Autohersteller einen *Exportvorteil*. Jedoch ist die Wettbewerbsintensität in der Automobilbranche sehr hoch. Beispielsweise hat sich Volkswagen das Ziel gesetzt, bis 2018 Toyota als weltweit größten Automobilhersteller (gemessen am Umsatz) zu überholen (vgl. Müller 2010, 1). Durch diese wettbewerbliche Organisation des Marktes hat Deutschland einen *Marktstrukturvorteil*. Damit sind alle fünf Kriterien nach Klodt erfüllt und es kann darauf geschlossen werden, dass es sich bei der deutschen Automobilindustrie um einen weltweiten Führungs- bzw. Leitmarkt handelt.

3.4 Pläne zur Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland

Die oben genannten Zahlen verdeutlichen, was für ein enorm wichtiger Bestandteil die Automobilbranche für die deutsche Wirtschaft ist. Da verwundert es nicht, dass auch die Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland mit großem Interesse und einer hohen Erwartungshaltung verfolgt und aktiv betrieben wird. Angesichts des weltweit steigenden Mobilitätsbedarfs war Anstoß dazu nicht zuletzt die dringende Notwendigkeit der Reduktion von Treibhausgasen sowie das zunehmende Bewusstsein der Endlichkeit fossiler Brennstoffe. So sollen die Treibhausgase gegenüber 1990 bis 2020 um 40% und bis 2050 um 80% verringert werden (vgl. BMU 2007, 2). Von der Bundesregierung wird die Elektromobilität als „Chance und Herausforderung, die Spitzenposition Deutschlands als Industrie-, Wirtschafts-, Wissenschafts- und Technologiestandort weiter auszubauen“ gesehen (NPE 2011a, 5). Dieses Kapitel widmet sich daher den konkreten Plänen der Bundesregierung und deren geplanter praktischer Umsetzung.

3.4.1 Der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität

Das Bundeskabinett hat im Rahmen des Integrierten Energie- und Klimaprogramms im August 2009 den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität (NEPE) verabschiedet, um „die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung und die Markteinführung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland voranzubringen“ (Bundesregierung 2009, 2). Zunächst soll spezifiziert werden, um welche Art von Fahrzeug es sich dabei handelt.

3.4.1.1 Fahrzeugtypen

Elektromobilität umfasst per definitionem rein batteriebetriebene Fahrzeuge, sämtliche Formen des Hybridantriebes und Brennstoffzellenfahrzeuge. Vor dem Hintergrund des Integrierten Energie- und Klimaprogramms konzentrieren sich die Aktivitäten des Entwicklungsplans allerdings nur auf rein batteriebetriebene Elektrofahrzeuge und Plug-in Hybridfahrzeuge einschließlich Elektrofahrzeugen mit Range Extender (vgl. Bundesregierung 2009, 7), die sich wie folgt unterscheiden:

Reine Elektrofahrzeuge:

Nach der Definition der UN ECE-R 100 ist ein *Battery Electric Vehicle (BEV)* ein

Fahrzeug mit Aufbau, das für die Benutzung im Straßenverkehr bestimmt ist und ausschließlich von einem Elektromotor angetrieben wird, dessen Antriebsenergie ausschließlich von einer in das Fahrzeug eingebauten Antriebsbatterie geliefert wird (vgl. BMVBS 20011, 12). Sie werden zum Wiederaufladen an eine Steckdose angeschlossen oder die leere Batterie wird gegen eine aufgeladene getauscht.

Hybridfahrzeuge:

Das Wort Hybrid kommt ursprünglich aus dem Griechischen und bedeutet „von zweierlei Herkunft“ bzw. „gemischt“. Nach der UNO-Definition handelt es sich dabei um ein Fahrzeug, „welches mindestens zwei Energiewandler und zwei im Fahrzeug eingebaute Energiespeichersysteme besitzt, um das Fahrzeug anzutreiben“ (Wallentowitz et al. 2009, 52).

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) verfügen meist über ein zweifaches Energiesystem, Batterie und herkömmlichen Motor. Im Gegensatz zum reinen Hybrid-Elektrofahrzeug (HEV) wurde der Elektromotor und –speicher vergrößert und der Verbrennungsmotor verkleinert sowie die Möglichkeit des externen Batterieaufladens an der Steckdose am Stromnetz geschaffen. Erst wenn diese Kapazität aufgebraucht ist, wird der Verbrennungsmotor zugeschaltet. (Bundesregierung 2009, 7)

Bei einem *Range Extended Electric Vehicle (REEV)* erfolgt der mechanische Antrieb des Fahrzeugs allein über einen oder mehrere Elektromotoren. Der ebenfalls vorhandene Verbrennungsmotor dient alleine dazu, die Hochvolt-Batterie (HV-Batterie), welche die elektrische Energie für den Antrieb liefert, über einen Generator zu laden. (Bundesregierung 2009, 7)

3.4.1.2 Die Nationale Plattform Elektromobilität

Im Nationalen Entwicklungsplan wurde von der Regierung auch das Ziel definiert, dass bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren sollen und Deutschland gleichzeitig zum Leitanbieter und zum Leitmarkt für Elektromobilität werden soll. Weiterhin erklärt die Bundesregierung, dass bis zum Jahr 2030 über fünf Millionen Fahrzeuge elektrisch angetrieben sein sollen und bis 2050 der Stadtverkehr vorwiegend ohne fossile Brennstoffe auskommen soll (vgl. Bundesregierung, 2009, 18).

Um diese Ziele zu erreichen, hat die Bundesregierung im Mai 2010 die Nationale Plattform

Elektromobilität (NPE) gegründet, die aus Vertretern der Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Verbänden und Gewerkschaften besteht. Innerhalb der NPE gibt es sieben Arbeitsgruppen mit 157 Teilnehmern zu den Themen (vgl. NPE 2011a, 18):

- Antriebstechnologie
- Batterietechnologie
- Ladeinfrastruktur und Netzintegration
- Normung, Standardisierung und Zertifizierung
- Materialien und Recycling
- Ausbildung und Qualifizierung
- Rahmenbedingungen

Des Weiteren wurde die Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität (GGEMO) gegründet, die von den Bundesministerien für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Wirtschaft und Technologie (BMWi), Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Bildung und Forschung (BMBF) getragen wird.

Zur Erzielung von Synergien und Bündelung von bereits bestehenden Vorhaben der Produkt- und Komponentenentwicklung sollen alle Vorhaben der Regierung zur Forschung und Entwicklung in themenübergreifende Gruppen, sogenannte Leuchttürme, vernetzt werden. Diese sechs Leuchttürme sowie die von der NPE vorgeschlagenen Budgets (in Mio. Euro) sind in der nachfolgenden Abbildung zu sehen.

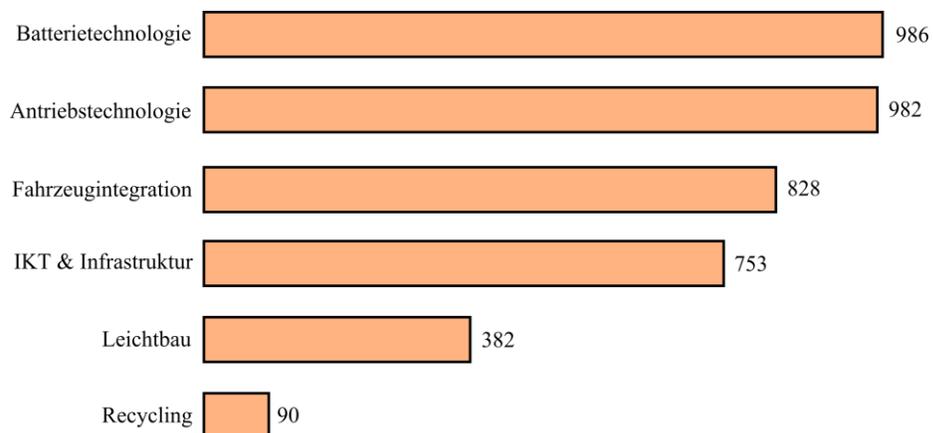


Abbildung 8 : Vorgeschlagene Budgets der NPE
(Quelle: vgl. NPE 2011a, 18)

Zu erkennen ist, dass ganz besonders die Entwicklung der Batterie vorangetrieben werden

soll, da diese mit einem Wertschöpfungsanteil von 30-40% die wichtigste Komponente des Fahrzeugs ist. Bisherige Förderprogramme decken wesentliche Aspekte, „wie Prozesstechnologien für Zellen- und Batteriefertigung, Grundlagen der Batteriesicherheit, Erprobungskonzepte sowie Modellierung und Simulation für die in den nächsten Jahren zur Marktreife zu entwickelnden Batterien sowie die Entwicklung innovativer Materialien“ noch nicht ab (NPE 2011, 18-19).

3.4.2 Meilensteine und Marktaufbau

Im zweiten Bericht der NPE vom Mai 2011 wurden für das Erreichen der Zielmarke von einer Million Elektrofahrzeuge bis 2020 konkrete Meilensteine definiert. So soll es im Jahr 2014 bereits 100.000 Elektrofahrzeuge geben und im Jahr 2017 500.000 Stück. Dabei werden BEV und PHEV mit einem ungefähren Anteil von ca. 45% bzw. 50% die größte Bedeutung haben (vgl. NPE 2011a, 31). Schwerpunkt der Marktentwicklung liegt dabei anfänglich auf Metropolregionen und deren Umland, da der Vorteil der lokalen Emissionsfreiheit besonders in dieser Nische von Vorteil ist. Der urbane Raum soll so als Katalysator der Elektromobilität fungieren (vgl. Rothfuss 2010, 1).

Der Marktaufbau soll laut der NPE (2011a, 5) in drei Phasen erfolgen:

1. *Marktvorbereitung* bis 2014 mit Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung sowie Schaufensterprojekten
2. *Markthochlauf* bis 2017 mit einem Fokus auf den Marktaufbau bei Fahrzeugen und Infrastruktur
3. Beginnender *Massenmarkt* bis 2020 mit tragfähigen Geschäftsmodellen



Abbildung 9 : Entwicklungsphasen des Leitmarkts

(Quelle: NPE 2011a, 5)

Nach Angaben der NPE (2011a, 5) entsteht so bis 2020 in der Automobil- und Zulieferindustrie und im Bereich Infrastruktur ein Potenzial von ca. 30.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen.

3.5 Deutschland im internationalen Vergleich

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die Pläne sowie Ziele der Bundesregierung näher betrachtet wurden, geht es in diesem Abschnitt darum, die Position Deutschlands im internationalen Vergleich einzuordnen. Dazu wird in Abschnitt 3.5.1 zunächst die Analysemethodik vorgestellt, während danach in den Abschnitten 3.5.2.1 bis 3.5.2.6 Vergleiche zwischen Deutschland und anderen Ländern hergestellt werden, um letztendlich die Frage beantworten zu können, wie gut oder schlecht Deutschland im Gegensatz zu anderen Nationen im Bereich Elektromobilität aufgestellt ist.

3.5.1 Vorgehensweise und Methodik

Um abschätzen zu können, ob Deutschland bis 2020 Leitanbieter und Leitmarkt im Bereich Elektromobilität werden kann, genügt es nicht, den Blick allein auf Deutschland und die Ziele der Bundesregierung zu richten. Vielmehr bedarf es einer Gegenüberstellung mit anderen Ländern, um sagen zu können, ob Deutschland im Vergleich eine Vorreiterrolle besitzt. In den folgenden Abschnitten wird ein solcher Vergleich zu den Ländern Frankreich, USA, Japan und China hergestellt, die ebenfalls daran arbeiten, Marktführer im Bereich Elektromobilität zu werden. Die Wahl der genannten Länder beruht auf der Tatsache, dass es sich hierbei neben Deutschland um die weltweit größten Automobil produzierenden Nationen handelt (vgl. Abschnitt 3). Von daher kann davon ausgegangen werden, dass das Thema Elektromobilität auch in diesen Ländern einen hohen Stellenwert einnimmt. Natürlich beschäftigen sich auch viele weitere Länder mit batteriebetriebenen Fahrzeugen, jedoch muss im Rahmen dieser Arbeit auf eine genauere Betrachtung verzichtet werden. Nach der Auswahl der Länder erfolgte nach eingehender Literaturanalyse eine Identifizierung verschiedener Kernbereiche der Elektromobilität, anhand derer ein Vergleich lohnenswert erscheint. Dabei wurde jedoch nicht immer ein Vergleich zu allen vier Ländern gezogen, sondern meist nur zu den Ländern, die die derzeitige Benchmark sind. Der Grund ist, dass es in dieser Arbeit nicht darum geht, eine Rangfolge der fünf Länder zu ermitteln, sondern zu prüfen, ob Deutschland in der Lage ist, Marktführer zu werden und sich an die Spitze im Bereich Elektromobilität zu befördern.

3.5.2 Kriterienkatalog

Die identifizierten Kernbereiche sind im Folgenden aufgelistet:

- Aktuelle Marktsituation
 - Angebot
 - Nachfrage und Nutzerakzeptanz
- Staatliche und industrielle Unterstützung
 - Fördergelder
 - Anreizmaßnahmen
- Batterieforschung und –entwicklung
- Patente
- Normung und Standardisierung
- Strommix

Die folgenden Abschnitte beschäftigen sich nacheinander mit den genannten Bereichen und untersuchen die aktuelle Situation sowie mögliche Entwicklungspotentiale in den einzelnen Ländern.

3.5.2.1 Aktuelle Marktsituation

Dem Thema umweltfreundlicher Mobilität wird schon seit Jahren große Aufmerksamkeit geschenkt, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß in den einzelnen Ländern.

Um einen ersten Eindruck vom Status Quo der Elektromobilität in den fünf Nationen zu gewinnen, wird mit einem Vergleich der aktuellen Marktsituation begonnen. Dafür werden Angebote der nationalen Autohersteller sowie die länderspezifische Nachfrage und Nutzerakzeptanz näher untersucht.

3.5.2.1.1 Angebot

In Deutschland arbeiten die Autohersteller intensiv daran, elektrisch betriebene Fahrzeuge auf den Markt zu bringen. So stellte beispielsweise BMW Mitte 2011 zwei Elektro-Konzeptautos vor. Anfang 2012 wird davon das erste Modell (BMW i3) in Produktion gehen und voraussichtlich Ende 2013 auf den Markt kommen. Der Marktstart für das zweite Modell (BMW i8) wird für Anfang 2014 erwartet. Hierbei handelt es sich jedoch um ein PHEV und nicht um ein reines Elektrofahrzeug. (vgl. Elxnat 2011b, 2-4)

Bei Volkswagen wird damit gerechnet, dass ab 2013 reine Elektroautos serienmäßig

angeboten werden können. Unter dem Label *Blue-e-Motion* werden Up und Golf Teil der E-Modellpalette sein. (vgl. Volkswagen 2012, 1) Die Strategie von Volkswagen ist es, bereits bekannte Autos zu elektrifizieren und so ihren Bekanntheitsgrad und guten Ruf zu nutzen. Das könnte sich als strategischer Vorteil erweisen, denn Kunden sind so möglicherweise eher bereit, auf ein Elektroauto umzusteigen, wenn sie das Modell schon kennen und von diesem an sich überzeugt sind. Bis Elektroautos von BMW oder Volkswagen zu erwerben sind, kann jedoch noch einige Zeit vergehen. Es gibt aber durchaus deutsche Hersteller, die bereits einen Schritt weiter sind. So hat der Rüsselsheimer Autobauer Opel im November 2011 den Opel Ampera auf den Markt gebracht. Bei dem von Opel als Elektroauto vermarkteten Ampera handelt es sich technisch gesehen allerdings eher um ein Hybridauto. (vgl. Elxnat 2011a, 2) Nur die Daimler-Tochter Smart hat bereits ein rein elektrisch betriebenes Fahrzeug auf den Markt gebracht. Seit Frühjahr 2012 ist die dritte Generation des Zweisitzers Smart Fortwo Electric Drive erhältlich. (vgl. Elxnat 2011c, 1-2)

Insgesamt gesehen ist das Angebot an Elektroautos der deutschen Hersteller jedoch noch recht übersichtlich. Andere Nationen sind da bereits einen Schritt voraus. Der französische Autohersteller Peugeot beispielsweise bietet bereits seit 2010 Elektroautos an und Renault wartet gleich mit vier *Zero-Emission*-Modellen auf, von denen bereits zwei serienmäßig erhältlich sind. Bis Ende 2012 sollen alle vier Modelle auf den Markt kommen. (vgl. Elxnat 2011d, 2)

Vor allem in Japan ist die Elektrifizierung der Automobile weit fortgeschritten. Der erste große Erfolg wurde mit dem Hybridauto Prius von Toyota erzielt, der weltweit über drei Millionen Mal verkauft wurde. Doch auch im Bereich der rein elektrisch betriebenen Fahrzeuge war Japan Vorreiter, indem bereits Mitte 2009 die Serienfertigung des Mitsubishi i-MiEV anlief und dieses Modell damit das erste in Großserie produzierte Elektroauto wurde. (vgl. Elxnat 2011d, 2)

Nach Elxnat (2011d, 2) scheint die positive Entwicklung der Elektromobilität in Japan kaum ein Ende zu finden, obwohl nach der Erdbebenkatastrophe im März 2011 der Absatz von Elektrofahrzeugen deutlich zurückging. Durch die frühe Einführung von E-Modellen, der Strategie des Hybridpioniers Toyota und der Begeisterung japanischer Kunden hält die positive Entwicklung aber weiter an. Laut einer Studie von McKinsey (vgl. Elxnat 2011d, 3) wird der Anteil an Elektroautos an der gesamten japanischen Autoproduktion in den

nächsten fünf Jahren von Marktanalysten auf 8,6% geschätzt. Damit läge Japan weltweit an der Spitze (vor den USA mit 4,1% und Frankreich mit 3,6%). Für Deutschland hingegen wird von Experten eine wenig befriedigende Prognose gestellt: lediglich 0,9% soll der Anteil von Elektroautos an der nationalen Fahrzeugproduktion betragen. (vgl. Elxnat 2011d, 3)

3.5.2.1.2 Nachfrage und Nutzerakzeptanz

Trotz der ambitionierten Pläne der Bundesregierung sieht die Realität im Bereich der deutschen Nachfrage nach Elektroautos noch ernüchternd aus. Laut dem Center Automotive Research (CAR) wurden 2011 in Deutschland gerade einmal 1808 E-Autos neu zugelassen und nur 101 davon wurden von Privatkunden gekauft. Der Rest wurde bei Autobauern, Autohändlern oder Unternehmen wie z.B. Stromkonzernen neu zugelassen. (vgl. Tagesspiegel 2011, 1) Somit waren am 1. Januar 2012 bei knapp 43 Mio. Kraftfahrzeugen insgesamt gerade einmal 4.541 Elektroautos zugelassen (vgl. Steiler 2012, 1). Doch auch weltweit gesehen ist die Nachfrage sehr gering. Nur 50.000 Elektrofahrzeuge wurden 2011 verkauft (vgl. Tagesspiegel 2011, 1). Diese eher verhaltene Nachfrage resultiert zum großen Teil aus einer noch sehr geringen Nutzerakzeptanz. Diese wird im psychologischen Sinne definiert als die „positive Annahme oder Übernahme einer Idee, eines Sachverhalts oder eines Produktes, und zwar im Sinne aktiver Bereitwilligkeit und nicht nur im Sinne reaktiver Duldung“ (Dethloff 2004, 18). Diese Definition impliziert, dass Nutzer Innovationen annehmen, weil diese attraktiver als bisherige auf dem Markt erhältliche Angebote sind (vgl. Peters/Dütschke 2010, 5). Da in Bezug auf Elektromobilität noch viele offene Fragen herrschen, überwiegen für potentielle Käufer bisher noch die Unsicherheiten. Zu dem Ergebnis einer weltweit geringen Nutzerakzeptanz kommt auch eine Studie von Continental (vgl. Sommer 2011, 24) zum Thema Mobilität. Dort wurden in den Ländern Deutschland, USA, Frankreich und China Hauptnutzer eines Autos nach ihrer Kaufbereitschaft für ein Auto mit alternativem Antrieb gefragt. Abbildung 10 veranschaulicht die Ergebnisse.

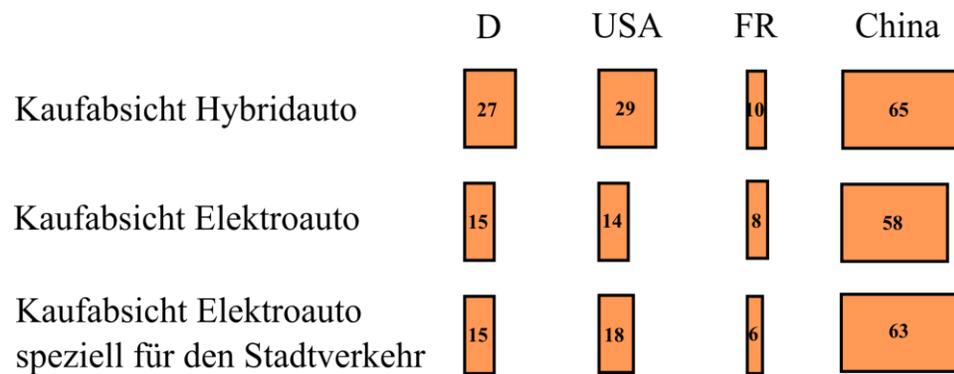


Abbildung 10 : Kaufbereitschaft Auto mit alternativem Antrieb (in Prozent)

(Quelle: Sommer 2011, 24)

Lediglich 15% der deutschen Befragten gaben an, „wahrscheinlich“ oder „ganz bestimmt“ ein Elektroauto kaufen zu wollen. Für die USA (14%) und Frankreich (8%) ergaben sich ähnlich niedrige Prozentwerte. Nur in China scheint die Mehrheit der Autofahrer den Elektroautos gegenüber sehr aufgeschlossen zu sein. Dort haben 58% der Befragten Interesse am Kauf eines Elektrofahrzeugs. Das mag nicht zuletzt an den dort vorhandenen großen Ballungsräumen liegen, in denen die Umweltprobleme wie beispielsweise starker Smog die Bewohner sehr belasten.

3.5.2.2 Staatliche und industrielle Unterstützung

Zurzeit befindet sich die Elektromobilität noch in der Phase der Marktvorbereitung. Der Schwerpunkt dieser Phase liegt hauptsächlich in der Forschung und Entwicklung und bedarf daher massiver Investitionen. Die dafür erforderlichen Geldmengen müssen sowohl vom Staat als auch von der Industrie bereitgestellt werden, damit Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten schnell voran gebracht werden können. Eine schnelle und erfolgreiche Entwicklung der Elektromobilität hängt demnach entscheidend von der finanziellen Unterstützung ab. Es bietet sich also an, die bereitgestellten Fördermittel in den einzelnen Ländern einem Vergleich zu unterziehen, weil von da aus mögliche Rückschlüsse auf den Erfolg der Elektromobilität gezogen werden können.

3.5.2.2.1 Fördergelder

Im Rahmen des *Konjunkturpakets II* stellte die deutsche Bundesregierung Fördergelder in Höhe von insgesamt 500 Mio. Euro zur Verfügung, die den unterschiedlichen Bereichen der Elektromobilität zugutekommen sollen (vgl. Bundesregierung 2009, 24). Inhaltlich konzentriert sich das Konjunkturpaket auf Themen wie z.B. Zell- und Batterieentwicklung, Stromnetze, Ausbildung sowie Markt- und Technologievorbereitung. Vor allem der Batterieentwicklung kommt eine große Bedeutung zu, weswegen die Bundesregierung (vgl. 2009, 20) zusammen mit der Industrie 2008 die *Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie* (LIB-2015) initiierte. 60 Mio. Euro stellte das BMBF zu Verfügung, mit weiteren 360 Mio. Euro beteiligte sich die Industrie.¹

Daneben gibt es noch weitere Förderkonzepte, die im Nationalen Entwicklungsplan genannt werden (vgl. Bundesregierung 2009, 20-23):

- Das BMWi unterstützt von 2009 bis 2012 mit 35 Mio. Euro die Verbesserung der Wertschöpfungskette von Stromspeichern
- Das *Forschungsprogramm E-Energy: IKT-basiertes Energiesystem der Zukunft* soll u.a. die Integration erneuerbarer Energien vorantreiben. Von BMWi und BMU werden für das bis 2012 laufende Programm 60 Mio. Euro bereitgestellt. Die beteiligten Industriepartner mobilisieren weitere 140 Mio. Euro.
- Zur Marktvorbereitung fördert das BMU mit 15 Mio. Euro einen Flottenversuch mit PHEV, um die Nutzung und Zwischenspeicherung von Strom aus erneuerbaren Energien in Fahrzeugen zu testen.

Des Weiteren liegt der Fokus des *Konjunkturpakets II* auf regionalen Schwerpunkten, insbesondere den Modell- und Schaufensterregionen. Bis zum heutigen Zeitpunkt gibt es davon acht Stück mit 190 Einzelprojekten für Elektromobilität. Unter der Führung des Bundesverkehrsministeriums wurden diese mit einem Budget von 130 Mio. Euro zwischen 2009 und 2011 finanziert. (vgl. BMVBS o.J.a, 2)

¹Für weitere Informationen zu LIB-2015 siehe Abschnitt 4.2.3



Abbildung 11 : bestehende Modellregionen

(Quelle: BMVBS o. J.a, 2)

Die derzeitigen Modellregionen weisen jedoch Schwächen auf. So hat bereits 2010 Ferdinand Dudenhöffer (2010, 6-7) vom CAR diese Projekte kritisiert, indem er darauf hinwies, dass Doppelt- und Dreifachforschung herrsche und es sinnvoller sei, mit dem wenigen Fördergeld Leuchtturmprojekte zu fördern. Die aktuellen Modellregionen würden bloß der Gewinnung von Grundstrukturen, zur Errichtung von Ladestationen und dem Testen der Ladestruktur dienen. Diese Schwächen wurden nun auch von der Regierung erkannt. Um Ressourcen zu bündeln, sollen zwischen 2012 und 2015 wenige groß angelegte „Schaufenster Elektromobilität“ in ganz Deutschland entstehen, die Teile der alten Modellregionen ersetzen. Dort sollen konzentriert “Technologien und in ein Gesamtsystem eingebundene Lösungen aus allen Teilsystemen der Elektromobilität (Energie, Fahrzeug, Verkehr) angewendet werden“ (NPE 2011a, 55). Hierfür stellt der Bund Fördermittel in Höhe von 180 Mio. Euro bereit (vgl. BMVBS o.J.b, 1). Um die Akzeptanz und Wahrnehmung von Elektromobilität zu steigern, soll es Ziel sein, mittels Demonstrations- und Pilotvorhaben die Alltagstauglichkeit von Elektromobilität zu beweisen. Im Januar endete die Bewerbungsfrist für die Schaufenster und im April sollen drei bis fünf der insgesamt 23 Bewerbungen ausgewählt und spätestens im Herbst 2012 gestartet werden (vgl. Forum ElektroMobilität e.V. 2012, 2).

Das französische Pendant zum *Konjunkturpaket II* ist der im Februar 2009 veröffentlichte

Pacte Automobile, der für die Entwicklung umweltfreundlicher Fahrzeuge Gelder in Höhe von 250 Mio. Euro zur Verfügung stellt (vgl. Gouvernement 2009, 2).

Diese Fördersummen der deutschen sowie französischen Regierung mögen auf den ersten Blick viel erscheinen, sind jedoch ein Bruchteil dessen, was andere Regierungen in Elektromobilität investieren. So fordert Präsident Barack Obama bis 2015 eine Million elektrisch betriebene PKW auf US-amerikanischen Straßen (vgl. Lee 2009, 1) und plant für die nächsten fünf Jahre 22 Mrd. Euro für die Forschung, Entwicklung und Produktion von Elektroautos ein. Diese Summe stellt weltweit das größte monetäre Fördervolumen dar. (vgl. WirtschaftsWoche 2010, 2) Des Weiteren stellt das US-Energieministerium im Rahmen des *Advanced Technology Vehicles Manufacturing Loan Program* Automobilherstellern Kredite von insgesamt 25 Mrd. US-Dollar zur Verfügung. Im Hinblick auf Elektromobilität erhielten u.a. die Ford Motor Company, Nissan, Tesla Motors und Fisker Automotive Kreditzusagen, um Elektroautos und Batterien herzustellen und ihre Produktionsstätten auf Elektroautos umzurüsten. Zudem wurde anlässlich des *American Recovery and Reinvestment Act of 2009* ein Fond gegründet, der mit 2,4 Mrd. US-Dollar die Entwicklung von zukünftigen Elektrofahrzeugen und deren Komponenten unterstützen soll. (vgl. Zielke et al. 2010, 2-3)

Um ihre Ambitionen im Bereich Elektromobilität zu unterstreichen, hat die chinesische Regierung die Entwicklung von Elektrofahrzeugen in ihren wichtigsten nationalen Plan aufgenommen, den zwölften Fünf-Jahres Plan. Übergeordnetes Ziel ist die schnelle Elektrifizierung des Automobils sowie die Marke von einer Million Elektroautos bis 2015 auf chinesischen Straßen zu erreichen. (vgl. Tagscherer 2012, 1) Dazu wurde einer der wichtigsten Pläne, der *Development Plan für Fuel-efficient and New Energy Vehicles 2010* ins Leben gerufen, der die gesamte Wertschöpfungskette der Elektroautobranche unterstützen soll. Dieser Plan konzentriert sich dabei auf die Entwicklung von reinen Elektroautos und wird von der Regierung mit ungefähr 11 Mrd. Euro gefördert und stellt somit weltweit die zweithöchste staatliche Unterstützung dar. Die Summe kommt verschiedenen Bereichen zugute wie z. B. der Forschung und Entwicklung von Schlüsseltechnologien (Brennstoffzellen, Batterien, Hybrid), der Verbreitung von Elektroautos und dem Aufbau von Pilotprojekten. (vgl. Tagscherer 2012, 4-6)

3.5.2.2.2 Anreizmaßnahmen

Die bisher noch bestehenden Nachteile gegenüber konventionellen Autos, wie etwa die hohen Anschaffungskosten, die noch relativ geringe Batteriekapazität und hohe Ladezeit, die geringe Verbreitung von Ladestationen und eine Reichweite von nur 80-300 km je nach Modell, schrecken noch viele Käufer ab. Von daher ist es wichtig, dass staatliche Fördergelder nicht nur in die Forschung und Entwicklung von Elektrofahrzeugen fließen, sondern auch Gelder zur Kompensation der genannten Nachteile zur Verfügung gestellt werden. Es gilt also Anreizmaßnahmen zu schaffen. Diese können in zwei Kategorien unterschieden werden. Zum einen gibt es nicht-monetäre Maßnahmen, die den Nutzern von Elektrofahrzeugen bestimmte Privilegien einräumen. Zum anderen sollen monetäre Maßnahmen den Kostennachteil bei der Anschaffung eines Elektrofahrzeugs gegenüber einem konventionellen Auto verringern. Wie die staatlichen Aktivitäten in den einzelnen Ländern dazu aussehen, wird im folgenden Abschnitt aufgezeigt.

In Deutschland hat die NPE (vgl. 2011a, 43-49) einen Katalog von monetären und nicht-monetären Anreizmaßnahmen mit konkreten Handlungsempfehlungen erstellt. Im Bereich der nicht-monetären Maßnahmen wird empfohlen, den Einsatz von Parkprivilegien (Ausweisung von privilegierten Parkflächen in Innenstädten) und Sonderspurnutzung (Möglichkeit der Nutzung von Bus-/Taxispuren) ab 2012 in Schaufensterprojekten zu testen. Auf Basis einer Evaluation im Herbst 2013 soll über eine Weiterführung nach 2014 entschieden werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass diese Maßnahmen sich nur an spezifische Kundengruppen richten und für andere keinen Anreiz darstellen. Außerdem darf es durch kommunalpolitische Steuerungsmaßnahmen weder zu einer Verletzung bestehender Rechtsvorschriften noch zu einer Diskriminierung anderer Verkehrsteilnehmer kommen. Im Rahmen der monetären Anreize schlägt die NPE eine Anpassung der Bemessungsgrundlage bei der Dienstwagenbesteuerung, Sonderabschreibungen beim gewerblichen Erwerb von Elektrofahrzeugen, die Vergabe von zinsgünstige Darlehen der Kreditanstalt für Wiederaufbau zum privaten Erwerb von Elektrofahrzeugen sowie die Gewährung eines jährlichen Steuerincentives, orientiert an der Speicherkapazität eines Elektrofahrzeugs, vor.

In anderen Ländern baut man vor allem auf Anschaffungssubventionen, um die Nachfrage zu steigern. So werden beispielsweise in Frankreich, China und den USA um die 5000 Euro

und in Japan etwa 9000 Euro vom Staat beim Kauf eines Elektroautos übernommen (vgl. Bauer et al. 2010, 23). In Deutschland wird jedoch auf solche Verkaufsprämien verzichtet, weil diese hierzulande als kritisch angesehen werden (vgl. Dudenhöffer 2010, 8). So können Kaufanreize eine marktverzerrende Wirkung haben (beispielsweise auf die Produktionskapazitäten) und nach Beendigung derartiger Förderung kann sich die Umstellung auf marktkonforme Strukturen als schwierig gestalten (vgl. Bauer et al. 2010, 25).

3.5.2.3 Batterieforschung und -entwicklung

Nach Spath (2010, 21) sind die Batterien "heute wie in der Zukunft die Schlüsselkomponente der Elektromobilität". Drei Dimensionen macht er dafür verantwortlich. Erstens nennt er die Leistungsfähigkeit der Batterie, die maßgeblich die Eigenschaften des Elektroautos bestimmt und damit ein zentrales Differenzierungsmerkmal sein wird. Zweitens wird der Preis der Batterie einen ganz entscheidenden Einfluss auf den Fahrzeugpreis und somit auf die Wettbewerbsfähigkeit haben. Und drittens nimmt die Wertschöpfung der Batterie mit einem Anteil von 30-40% des Gesamtfahrzeuges eine zentrale Rolle ein. Diese Punkte zeigen, dass die effiziente Energiespeicherung und die Kosten der Batterie von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Elektromobilität sind. Um Deutschland als Marktführer für Elektromobilität zu etablieren, ist es daher ein Muss, eine leistungsstarke und zugleich erschwingliche Batterie zügig zu entwickeln, um sich gegenüber den anderen Nationen zu behaupten. Wie der aktuelle Stand der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Deutschland und anderen Ländern ist, wird im Folgenden untersucht.

Nach Garcke et al. (2009, 40-41) gibt es in Deutschland eine lange Tradition bei der Batterieforschung und -entwicklung, vor allem in Bezug auf Elektrofahrzeuge. So hat z. B. Volkswagen in den 20 Jahren nach der Ölkrise (1973) bis zu 300 Elektroautos entwickelt, um die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren. Um diese Entwicklung weiter voran zu treiben, wurde 1990 vom Bundesministerium für Forschung und Technologie das "Rügen-Projekt" ins Leben gerufen. In dieser Großstudie wurden 60 verschiedenen Elektroautos von unterschiedlichen Herstellern sowie verschiedene Batteriesysteme untersucht. Eines der Ergebnisse war, dass die Effizienz und CO₂-Emission

von elektrisch betriebenen Autos sich vom herkömmlichen Verbrennungsmotor nicht großartig unterscheiden. Dieses ernüchternde Ergebnis führte dazu, dass die Bundesregierung nahezu alle finanziellen Mittel für die Batterieforschung strich. Zusätzlich wurden viele deutsche Batterieunternehmen an ausländische Firmen verkauft, was zu einer deutlichen Reduzierung der Batterieforschung und -entwicklung führte. Erst die Erkenntnis, dass Elektrofahrzeuge tatsächlich einen großen Beitrag zur CO₂-Reduzierung leisten könnten, führte zu einer Wiederbelebung der Batterieforschung in Deutschland.

Zurzeit befindet sich diese noch im Anfangsstadium und aktuelle Batterietypen stoßen bereits jetzt an ihre Grenzen. Die gängigen Batteriesysteme, basierend auf Metallhydriden und Lithium-Ionen, können in der Praxis bei einem kWh-Preis von 1000 Euro lediglich eine Reichweite von etwa 150 km erreichen und eignen sich somit ausschließlich für den Stadtverkehr. Eine zentrale Herausforderung stellt also die Steigerung der Batterieleistung dar. Es wird zwar angenommen, dass in den nächsten Jahren die Energiedichte bis zu 50% erhöht werden kann, jedoch bedarf es noch verstärkter Forschungsanstrengungen bis zur Marktreife. (vgl. Spath 2010, 21-22)

Dafür wurde bereits 2007 von der Bundesregierung (2008, 3) in Kooperation mit verschiedenen Projektpartnern aus Wirtschaft, Politik, Wissenschaft und Forschung das Projekt LIB-2015 ins Leben gerufen. Ende 2008 starteten diese Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, die die Förderung von Lithium-Ionen-Batterien sicherstellen soll. Finanziert wird das Projekt vom BMBF mit einem Budget von 60 Mio. Euro und der Industrie, die 360 Mio. Euro zur Verfügung stellt. Dabei ist es jedoch nicht nur wichtig die bereits bestehenden Lösungen zu optimieren, sondern auch parallel die Forschung an Folgegenerationen voranzubringen (vgl. NPE 2011a, 19).

Besonders erfolgreich hat sich die Batterieforschung in China entwickelt. Bereits Mitte der 90er Jahre startete China die Produktion von Nickel-Metallhydrid-Batterien für Elektrogeräte, Elektrospielzeug und Kommunikationsgeräte, und seit 2000 zählen auch große Lithium-Ionen-Batterie-Produktionslinien für Handys, Laptops etc. zu Chinas Batterieproduktion. Der Marktanteil liegt mittlerweile bei fast 50%. Basierend auf diesem Know-How, einer starken Unterstützung der Regierung und einer gut entwickelten Forschungsinfrastruktur für Batterien kann die Entwicklung von Fahrzeugbatterien schnell vorangebracht werden. (vgl. Garcke et al. 2009, 38- 39) Weitere Vorteile sind zudem die geringeren Produktionskosten von bis zu 30% weniger gegenüber Deutschland aufgrund

von relativ niedrigeren Material- und Personalkosten sowie große Ressourcen an Lithiumcarbonat (16,5 Mio. t), dem wichtigsten Rohstoff für Lithium-Batterien (vgl. Garche et al. 2009, 50).

In den Vereinigten Staaten sind es vor allem staatliche Fördersummen, die die Batterieentwicklung schnell vorantreiben. So werden Produktionsstätten von Hochenergiebatterien mit Millionen unterstützt, wie z. B. das gemeinsame Werk von dem US-Autozulieferer Johnson Controls und dem französischen Batteriespezialist Saft, das Fördermittel in Höhe von 300 Mio. Dollar und Steuervergünstigungen von 180 Mio. Dollar erhielt. (vgl. Eckl-Dorna 2011, 1)

3.5.2.4 Patente

Nach §1 Abs. 1 PatG werden Patente “für Erfindungen auf allen Gebieten der Technik erteilt, die neu sind, auf einer erfinderischen Tätigkeit beruhen und gewerblich anwendbar sind”. Es handelt sich also um gewerbliche Schutzrechte. Diese setzten innovative Unternehmen laut dem berühmten Ökonom Josef Schumpeter ein, um temporäre Monopolgewinne zu erzielen. Dadurch werden Anreize für Erfindungen und technischen Fortschritt geschaffen, welche Wachstum und Wohlstand einer Volkswirtschaft erhöhen (vgl. Gassmann/Bader 2006, 22). Durch seine Innovationskraft kann ein Unternehmen also komparative Wettbewerbsvorteile erlangen. Da die Innovationsstärke durch die Mehrdimensionalität des Begriffs jedoch schwer zu messen ist, kann oft nur die Anzahl der Patente als Indikator dienen. Auch wenn “die reine Anzahl der Patentveröffentlichungen noch nichts über die Qualität der darin beschriebenen Erfindungen aussagt, erweist sich der Umfang eines Patentportfolios erfahrungsgemäß als einer der zentralen Faktoren bspw. in Lizenzverhandlungen“ (Koch/Meisinger 2011, 4).

Im Bereich Elektromobilität stieg die Anzahl der Patentanmeldungen und Patente in den letzten Jahren stark an und erreichte 2011 einen Rekord. Die Entwicklung der Anzahl der Patentveröffentlichungen² (in Prozent) (2006 = 100%) der deutschen Automobilhersteller Audi, BMW, Daimler, Porsche und Volkswagen im Bereich Elektromobilität im Vergleich zu den Anmeldezahlen des Europäischen Patentamts zeigt das nachstehende Diagramm:

²Patentanmeldungen und Patente in Deutschland, Europa, USA, internationale Patentanmeldungen gemäß PCT-Vertrag (WO), Patent Abstracts of Japan.

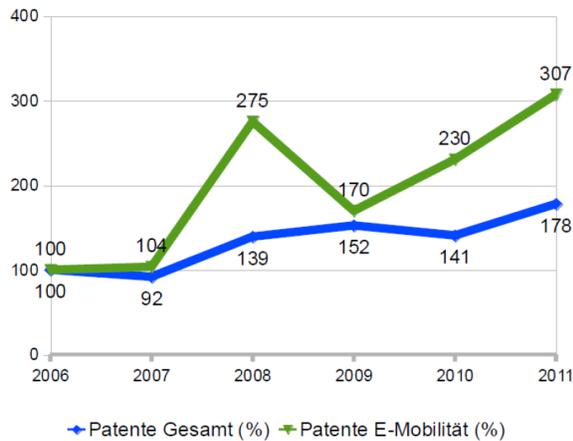


Abbildung 12 : Patentveröffentlichungen E-Mobility vs. EP-Anmeldungen
(Quelle: Koch/Meisinger 2011, 4)

Wie zu erkennen, ist die Anzahl der Patentveröffentlichungen gegenüber 2006 um das Dreifache gestiegen. Dies zeigt, dass die Bedeutung der Elektromobilität für die deutschen Autohersteller in den letzten Jahren gestiegen ist. In Abbildung 13 werden die Patentveröffentlichungszahlen international anhand der Top 15 Automobilhersteller im Bereich Elektromobilität in der zeitlichen Entwicklung in den Jahren 2006 bis 2011 betrachtet.

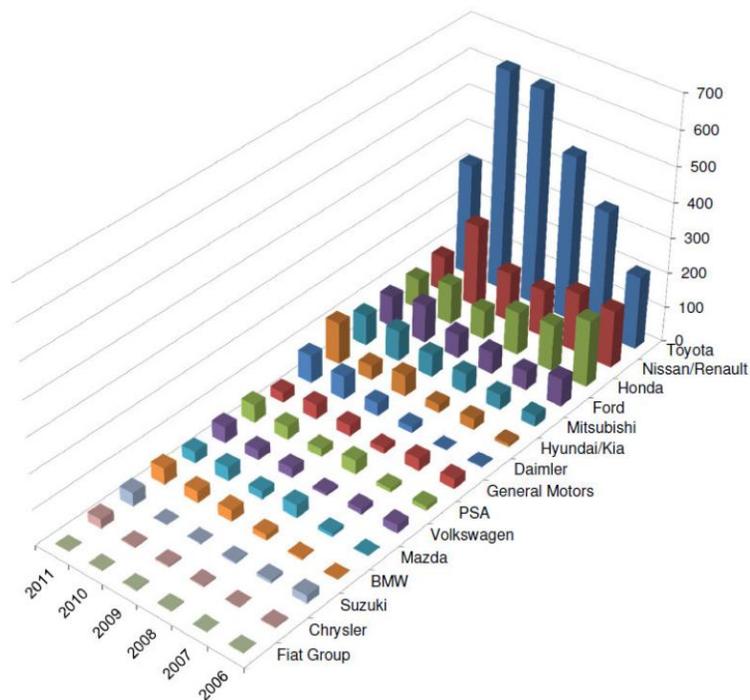


Abbildung 13 : Patentveröffentlichungszahlen - Fahrzeughersteller
(Quelle: Koch/Meisinger 2011, 9)

Wie zu erwarten, ist Toyota der Hersteller mit den am meisten für sich geschützten technischen Innovationen. Wie bei Nissan/Renault ist jedoch ein deutlicher Abwärtstrend zu erkennen, der u.a. im Zusammenhang mit erheblichen Budgetkürzungen in Folge der Finanzkrise steht (vgl. Koch/Meisinger 2011, 9). Eine rasante Entwicklung ist vor allem bei Daimler und Hyundai/Kia zu beobachten. Volkswagen fiel trotz eines Vorsprungs im Jahr 2006 erstmals hinter die nationalen Konkurrenten BMW und Daimler zurück. Diese drei deutschen Hersteller halten jedoch nur insgesamt 4% aller Patente und Patentanmeldungen und liegen im Vergleich mit den asiatischen Konkurrenten weit zurück. Ford hat seit 2006 einen deutlichen Vorsprung vor seinen US-Amerikanischen Konkurrenten General Motors und Chrysler, bei dem als einzigem der drei ein Aufwärtstrend zu beobachten ist. Diese Ergebnisse werden in Abbildung 14 nun noch einmal als Vergleich der Regionen Europa, Asien und Amerika dargestellt.

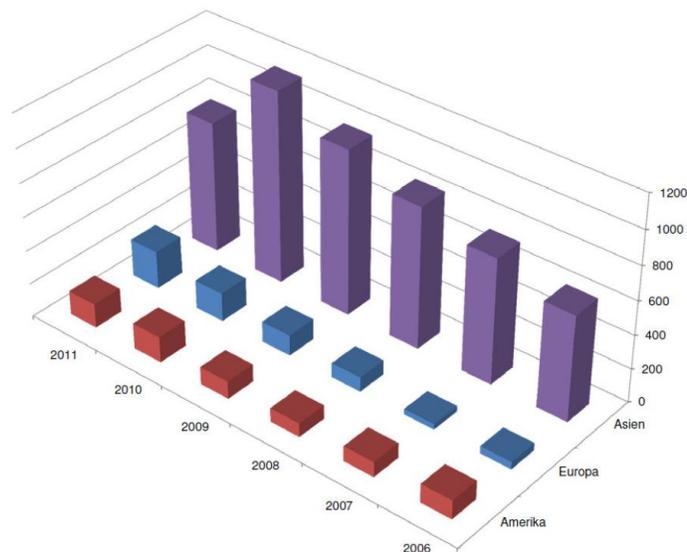


Abbildung 14 : Patentveröffentlichungszahlen - Kontinentalvergleich
 (Quelle: Koch/Meisinger 2011, 13)

Zu erkennen ist ein deutlicher Vorsprung der Asiaten um ca. das Vierfache vor den Europäern und Amerikanern. Ungefähr die Hälfte der Patentveröffentlichungen kommt von den asiatischen Autoherstellern Honda, Nissan, Suzuki und Branchenführer Toyota. Zwar gibt es bei den Europäern einen (vergleichsweise niedrigen) Aufwärtstrend, doch wann und ob sie die Asiaten einholen, bleibt eher fragwürdig.

3.5.2.5 Normung und Standardisierung

Der Bereich der Normung und Standardisierung unterscheidet sich insofern von den anderen untersuchten Punkten, indem es hier nicht darum geht als Land das "beste" System zu entwickeln, sondern eine enge Kooperation der Länder erforderlich ist. Trotzdem erscheint es im Rahmen dieser Arbeit sinnvoll auf den Aspekt einzugehen, um zu zeigen, wie Deutschland es schaffen kann, positive Effekte aus dieser internationalen Zusammenarbeit zu ziehen.

Es gibt viele gute Gründe für den Kauf eines Elektroautos, die jedoch alle nebensächlich werden, wenn sich der potentielle Käufer nicht sicher sein kann, ob er im Ausland und auch noch 5 Jahre nach dem Kauf sein Auto aufladen kann. Hier gilt es, dem Kunden Standards und Normen zu präsentieren, die ihm die Sicherheit geben, auch in Zukunft sein Elektroauto nutzen zu können. Der optimale Zeitpunkt der Einigung auf einen Standard und die Erarbeitung einer Norm wird also einen ganz entscheidenden Einfluss auf den Erfolg der Elektromobilität in Deutschland haben. Eine der Herausforderungen besteht darin, diesen Zeitpunkt so zu legen, dass weder eine zu frühe Festlegung technische Fortschritte außer Acht lässt noch eine zu späte Durchsetzung finanzielle und zeitliche Einbußen mit sich bringt (vgl. Spath 2010, 27). Laut der NPE (vgl. 2010b, 4) ist es für eine erfolgreiche Positionierung Deutschlands im internationalen Wettbewerb von ganz entscheidender Bedeutung, dass rechtzeitig Entwicklungen auf dem Gebiet der Elektromobilität gebündelt werden, damit positive Effekte der Standardisierung und Normung von Anfang an mit in den Entwicklungsprozess einbezogen werden. Dies stellt eine besondere Herausforderung im Gegensatz zu anderen Normungen dar, denn im Bereich der Elektromobilität gilt es die verschiedenen Industrien und Branchen mit ihren eigenen Aktivitäten zu koordinieren und zu integrieren. So gilt es, die bislang getrennten Bereiche der Elektrotechnik/Energietechnik und Automobiltechnik zusammenzuführen und eine übergreifende Sichtweise zu entwickeln.

Die Festlegung von Standards muss sehr sorgfältig geschehen, weil spätere Korrekturen mit einem großen finanziellen Aufwand verbunden sind (vgl. Spath 2010, 27). Damit dies vermieden werden kann, wurde von der NPE (vgl. 2010, 4) eine Normungs-Roadmap entwickelt, die die Sichtweisen aller involvierten Akteure im Bereich Elektromobilität beinhaltet und Handlungsempfehlungen vorschlägt.

Wie bereits zu Anfang erwähnt ist es im Bereich der Normung und Standardisierung äußerst wichtig, dass eine enge Kooperation der verschiedenen Länder stattfindet. Eine Marktführerschaft kann nicht erreicht werden, indem ein Normen- und Standardsystem entwickelt wird, das zwar nationalen, aber keinen internationalen Anforderungen gewachsen ist. So gilt es die unterschiedlichen Ausgangspositionen der Länder zu berücksichtigen, was die verschiedenen Energienetze in Europa, Japan und den USA hinsichtlich Spannung, Sicherheit und Phasenzahl angeht (vgl. Spath 2010, 27-28).

Um also Deutschland als erfolgreichen Leitmarkt und -anbieter zu etablieren, bedarf es unter anderem einer schnellen und internationalen Normung. Eine deutsche bzw. europäische Normung für Elektromobilität wird nicht ausreichen, denn die Fahrzeugmärkte erstrecken sich weltweit. Es gilt also, die zurzeit konkurrierenden Systeme zu vereinigen. Bei diesem Prozess könnte Deutschland eine führende Rolle einnehmen, indem eine schnelle Erarbeitung nationaler Vorschläge und damit erzielte Ergebnisse Grundlage für internationale Standards sein könnten. Die NPE (vgl. 2010b, 4-5) betont, dass für Deutschland das Mitwirken an der europäischen und internationalen Normung essentiell sei, um aktiv Einfluss nehmen und deutsche Ziele umsetzen zu können. Sie fordert daher ein verstärktes Einbringen deutscher Unternehmen in den Prozess der Bildung von Normen und Standards. Dabei müsse jedoch beachtet werden, dass nicht die Interessen der Unternehmen im Vordergrund stehen, sondern vor allem die Interessen der Konsumenten. So müsse z. B. sichergestellt werden, dass eine Aufladung des Elektrofahrzeugs zu jeder Zeit und vor allem in jedem Land möglich ist, unabhängig davon, wo das Auto gekauft wurde.

3.5.2.6 Strommix

Eine bloße Verlagerung des CO₂-Ausstoßes vom Auspuff zum Kraftwerk sei reine Augenwischerei, sagt Bundesumweltminister Dr. Norbert Röttgen und bringt es damit auf den Punkt (vgl. BMU 2012a, 2). Eine signifikante CO₂-Reduzierung kann nur dann erreicht werden, wenn die Energie für die Elektroautos aus erneuerbaren Energien gewonnen werden kann und nicht, indem die Produktion des zusätzlichen Stroms einen erhöhten CO₂-Ausstoß der Kraftwerke mit sich bringt. Es erscheint als unwahrscheinlich, dass ein Land als Leitanbieter und -markt für Elektromobilität angesehen wird, wenn durch die Nutzung von Elektroautos mehr Emission stattfindet, zwar nicht durch die Autos an sich, aber

verursacht durch die zusätzliche Stromerzeugung. Deswegen gehören zu der Diskussion, welche Nation das größte Potential zur Marktführerschaft im Bereich Elektromobilität hat, neben Zahlen aus Produktion, Forschung etc. auch moralische Aspekte.

Zu den erneuerbaren Energieträgern zählen unter anderem Wasserkraft, Windenergie und Biomasse. Deutschland ist bereits seit Jahren dabei, die Stromgewinnung aus diesen Energiequellen stetig zu fördern, um einen Beitrag zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes zu leisten und die Abhängigkeit von importierten fossilen Rohstoffen zu verringern. Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2020 den Anteil erneuerbarer Energien auf mindestens 35% aufzustocken (vgl. BMU 2012b, 3). Um diese Entwicklung voran zu treiben, wurde das *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien* (kurz: Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)) beschlossen (vgl. Bayer 2008, 1). Das Gesetz soll die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen fördern und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern verringern. Bereits 2000 trat die erste Fassung in Kraft. Um Veränderungen und Herausforderungen der sich schnell entwickelnden Branche zu berücksichtigen, wird das Gesetz in regelmäßigen Abständen angepasst. Zuletzt geschah dies Anfang 2012. Durch das EEG konnte in Deutschland der Anteil erneuerbarer Energien von 5.4% im Jahr 1999 auf 16% im Jahr 2009 erhöht werden. Zudem konnten 74 Mio. Tonnen CO₂ durch den EEG-geförderten Strom eingespart werden. (vgl. Bundesverband WindEnergie o.J., 1) Auch im Bereich Photovoltaik (direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie) hat das Gesetz positive Auswirkungen gezeigt. Mit einer Jahresleistung von 5,1 GWp und 48.000 Arbeitsplätzen (Stand: 2008) ist Deutschland Marktführer auf diesem Gebiet (vgl. o.V. 2009a, 1).

In Frankreich spielt die Stromgewinnung aus erneuerbaren Energiequellen nur eine untergeordnete Rolle. Nach wie vor wird auf Atomkraftwerke gebaut. Diese Art der Stromerzeugung ist zwar CO₂-arm, ist jedoch aus anderen Gründen sehr umstritten.

Das Ziel der chinesischen Regierung ist bis 2015 den Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Strommix auf 11.4% und bis 2020 auf 15% zu erhöhen. Dieses Ziel könnte eine positive Auswirkung auf die CO₂-Emission haben und somit ein Teil der Lösung für das aktuelle Luftverschmutzungsproblem sein. Jedoch scheint es, dass die Umgestaltung des Energiesystems im Zusammenhang mit Elektroautos zurzeit nicht ernsthaft von der chinesischen Regierung betrachtet wird. Von daher bleiben Zweifel, ob eine signifikante Reduktion des CO₂-Ausstoßes erreicht werden kann. (vgl. Tagscherer 2012, 13-14)

3.6 Schlussbetrachtung

Im letzten Teil dieser Arbeit werden zunächst die Ergebnisse und Beobachtungen des Kriterienkatalogs zusammenfassend aufgeführt, um einen Überblick über die aktuelle Position Deutschlands zu erhalten. Abschließend wird in einem Fazit auf die zu Beginn der Arbeit aufgeworfenen Fragen eingegangen, damit letztendlich eine Aussage darüber getroffen werden kann, wie die Chancen für Deutschland stehen, Marktführer im Bereich Elektromobilität zu werden.

3.6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die untersuchten Punkte im Bereich Elektromobilität machen deutlich, dass andere Nationen wie die USA, Frankreich, Japan oder auch China in den meisten Bereichen weiter entwickelt sind als Deutschland. Welche Länder in welchen Bereichen derzeit führend sind, wird in Abbildung 15 visualisiert.

Angebot	Japan 	Batterieforschung und -entwicklung	China 
Nachfrage & Nutzerakzeptanz	China  Japan 	Patente	Japan 
Fördergelder	USA 	Normung und Standardisierung	Nicht festlegbar
Anreizmaßnahmen	Individuelle Bewertung notwendig	Strommix	Deutschland 

**Abbildung 15 : Zusammenfassender Ländervergleich
(eigene Darstellung)**

Es wird deutlich, dass deutsche Autohersteller einen erheblichen Nachholbedarf haben, um vor allem mit den französischen und japanischen Fahrzeugbauern mithalten zu können. Während diese schon serienmäßig E-Modelle auf den Markt gebracht haben, stellen

deutsche Produzenten gerade erst ihre Konzepte für rein elektrisch batteriebetriebene Fahrzeuge vor. Damit Deutschland Marktführer werden kann, ist es aber dringend erforderlich, dass die deutschen Autobauer in den kommenden Jahren wettbewerbsfähige Modelle auf den Markt bringen und nicht im Forschungs- und Entwicklungsstadium verharren. Dazu ist es notwendig, dass die Bundesregierung massive staatliche Förderung zur Verfügung stellt, damit derzeitige Forschungsprojekte nicht aufgrund mangelnder finanzieller Unterstützung ins Stocken geraten. Wie der Abschnitt "Staatliche Unterstützung" aber aufgezeigt hat, fallen die Fördersummen der deutschen Bundesregierung im internationalen Vergleich eher gering aus. Doch gerade niedrig verzinsten Darlehen des Staates sind notwendig, um große Elektromobilitätsprojekte durchzuführen. Aufgrund der hohen Anlaufkosten und der erst spät erzielbaren Gewinne fallen die Kapitalwerte solcher Investitionen zumeist negativ aus und sind damit aus betriebswirtschaftlicher Sicht unrentabel. Fehlt solch eine Förderung, könnte das dazu führen, dass deutsche Projekte klein bleiben und neue Fabriken für Komponenten der Elektromobilität und Hochleistungsbatterien außerhalb von Deutschland entstehen. (vgl. Dudenhöffer 2010, 7) Wie der Abschnitt "Batterieentwicklung und -forschung" aber gezeigt hat, hängt der Erfolg der Elektromobilität ganz entscheidend von einer leistungsstarken und erschwinglichen Batterie ab. Deutschland kann es sich demnach nicht leisten, in diesem Bereich nachlässig zu sein. Die Initiative LIB-2015 ist ein Schritt in die richtige Richtung, weil sie die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien fördert. Diese Unterstützung gilt es noch auszubauen, damit der Abstand zu asiatischen Ländern, insbesondere China, nicht noch größer wird. Wie immens dieser jetzt schon ist, zeigt sich vor allem auch an der Anzahl der von den Asiaten angemeldeten Patente in diesem Bereich. Lediglich im Bereich "Strommix" scheint Deutschland eine führende Position einzunehmen. Im Gegensatz zu anderen Ländern wie China oder Frankreich könnte Deutschland durchaus in der Lage sein, den Strom für Elektrofahrzeuge größtenteils aus regenerativen Quellen zu gewinnen. Dies wäre ein großer Schritt in Richtung einer umweltbewussten und nachhaltigen Mobilität.

3.6.2 Der Electric-Vehicle-Index

Dass Deutschland in den meisten Bereichen noch Defizite aufweist und im internationalen Vergleich derzeit hinter anderen Nationen liegt, bestätigt auch der Electric-Vehicle-Index

(EVI). Dieser Elektromobilitätsindex wurde von der Beratungsfirma McKinsey für die WirtschaftsWoche entwickelt (vgl. Böhmer 2010, 1). Er misst die Verbreitung und Bedeutung von Elektrofahrzeugen in verschiedenen Ländern und gibt an, zu wie viel Prozent ein Land die von Experten für 2020 prognostizierte Elektromobilität erreicht. Als Bemessungsgrundlage dienen sowohl Größen der Nachfrage als auch der Produktion von reinen Elektrofahrzeugen und Plug-in Hybridautos. Diese ergeben zusammen und zu gleichen Teilen das Maß für die Elektromobilität eines Landes. So eine Messung kann dazu führen, dass ein Land mit einem geringen Angebot an Elektroautos, aber einer großen Nachfrage gleichauf mit einem Land liegt, in dem viel produziert, aber wenig nachgefragt wird. (vgl. Böhmer 2010, 1) Für zehn Länder werden die Daten regelmäßig gesammelt und zu einem EVI-Wert zusammengeführt. Ein Kurvendiagramm veranschaulicht die gefundenen Ergebnisse. Die Daten der jeweiligen Erhebung befinden sich auf der Abszisse, während der EVI-Wert auf der Ordinate ablesbar ist. In Abbildung 16 wird die Entwicklung des EVI nur für die bereits zuvor betrachteten Länder (Deutschland, USA, Japan, China, Frankreich) dargestellt. Aus Vereinfachungsgründen wurden weitere Länder außer Acht gelassen.³

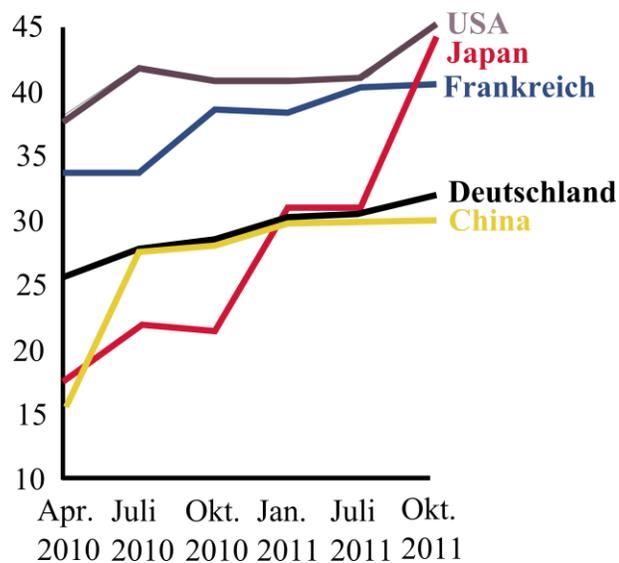


Abbildung 16 : Electric-Vehicle-Index

(Quelle: Elxnat 2011d, 2)

Die Grafik zeigt für Deutschland wie vermutet ein eher ernüchterndes Ergebnis. Die

³Keines der weggelassenen Länder befindet sich unter den Top Fünf. Sie sind daher im Rahmen der Themenstellung dieser Arbeit nicht von Bedeutung.

Bundesrepublik befindet sich zwar unter den Top Fünf Nationen, wird von Experten jedoch weit hinter den führenden Nationen wie den USA, Japan und Frankreich gesehen. Erst an vierter Position steht Deutschland, dicht gefolgt von China. Das gute Abschneiden der USA ist vor allem der massiven staatlichen Förderung für Forschung und Entwicklung zu verdanken. In Japan ist es hingegen hauptsächlich die breite Produktpalette, aufgrund derer eine derart rasante Entwicklung stattgefunden hat und weiter zu erwarten ist. Dank hoher Verbrauchervorteile und eines breiten Angebots an Elektrofahrzeugen belegt Frankreich einen guten dritten Platz. Deutschland und China liegen dicht beieinander, und es ist wahrscheinlich, dass China in naher Zukunft vorbeizieht. Ein Grund dafür könnte der technologische Vorsprung im Bereich der Batterie sowie die hohe Nutzerakzeptanz auf diesem Markt sein.

3.6.3 Fazit und Ausblick

Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu werden und bis 2020 eine Million Elektroautos auf deutsche Straßen zu bringen. Dazu wurde 2009 der *Deutsche Entwicklungsplan Elektromobilität* verabschiedet und 2010 die *Nationale Plattform Elektromobilität* gegründet. Derzeit läuft die Phase der Marktvorbereitung, die 2014 vom Markthochlauf und 2017 vom Massenmarkt abgelöst werden soll. Trotz aller Bemühungen schreitet die Entwicklung der Elektromobilität hierzulande jedoch langsamer voran als in anderen Ländern. Im Verlauf dieser Arbeit wurde aufgezeigt, dass die USA, Japan, Frankreich und China Vorbilder in den meisten Bereichen der Elektromobilität sind. In der technologischen Entwicklung sind es vor allem China und Japan, die Deutschland einen großen Schritt voraus sind, während die USA ein gutes Beispiel in Bezug auf staatliche Fördergelder darstellen. Damit der Gap zwischen Deutschland und diesen Ländern nicht noch weiter wächst, muss Deutschland schnell nachziehen, damit die guten Grundvoraussetzungen, resultierend aus der bereits etablierten Autobranche, nicht ungenutzt bleiben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass trotz einer traditionell starken Automobilindustrie mit weltweitem Absatz Deutschlands Chancen, bis 2020 Marktführer für Elektromobilität zu werden, eher gering sind. Andere Nationen sind deutlich weiter entwickelt und es erscheint als unwahrscheinlich, dass Deutschland in den kommenden

Jahren den Gap vor allem zu China, Japan und den USA schließen kann. Kurzfristig werden wohl diese Länder die Rolle des Marktführers unter sich ausmachen. Aufgrund der guten Grundvoraussetzungen kann es Deutschland aber langfristig dennoch schaffen, sich auf diesem Markt besser zu etablieren. Dazu ist es aber wichtig, dass erstens die deutschen Forschungs- und Entwicklungsbudgets deutlich erhöht werden, zweitens deutsche Autohersteller bald serienmäßig E-Modelle auf den Markt bringen und drittens die Weiterentwicklung von Hochleistungsbatterien voran gebracht wird. Des Weiteren gilt es, Hindernisse wie eine fehlende Normung und Standardisierung sowie die fehlende Infrastruktur zu beseitigen. Diese Nachteile, vor allem aber höhere Kosten gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen und viele noch bestehende Unsicherheiten resultieren in einer noch sehr geringen Nutzerakzeptanz. Kurzfristig müssen daher monetäre Anreizmaßnahmen zur Steigerung der Nachfrage und zur Beschleunigung des Markthochlaufs geschaffen werden. Langfristig gesehen gilt es jedoch, einen selbsttragenden, subventionsfreien Markt zu etablieren.

4 E-Mobility working practices –
An overview about existing projects and their architecture
(Tim Irrgang, Raisa Koswig)

4.1 Einleitung

Seit über 20 Jahren ist die Bundesregierung engagiert, den Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren. So sollen die Emissionen in dem Zeitraum von 1990 bis 2020 um 40% gesenkt werden. Eines der Gase, die das Klima am stärksten beeinflussen, ist das Kohlendioxid, welches in Deutschland zu 20% durch den Verkehr verursacht wird. Aus diesem Anlass hat es sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt, Deutschland zu einem Vorreiter in der Elektromobilität zu machen. (vgl. BMU 2010, 2-3)

Die Elektromobilität hat jedoch nur das Potenzial zur CO₂-Senkung, wenn der dafür benötigte Strom aus zusätzlichen regenerativen Energiequellen stammt, da Kohle- oder Kernenergie durch ihre niedrige Energieeffizienz bereits für die Strombereitstellung entsprechend viel Kohlendioxid ausstoßen wie etwa ein Verbrennungsmotor. Der Anteil regenerativer Energien am deutschen Strom-Mix liegt bisher allerdings lediglich bei 15%. Der Elektromotor bietet jedoch im Vergleich zum Verbrennungsmotor einen weitaus höheren Wirkungsgrad. Zudem ist der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid um ein Vielfaches geringer als bei herkömmlichen Fahrzeugen. (vgl. BMU 2010, 2-3)

Im Zuge dieser Arbeit erfolgt eine Vorstellung und Untersuchung aktueller Elektromobilitätsprojekte. Dabei ist kein Fokus auf ein spezielles Land gelegt, um eine möglichst heterogene Auswahl zu gewährleisten und die Erforschung und Erprobung der verschiedenen Aspekte, die für die Elektromobilität eine wichtige Rolle spielen, umfassend zu beleuchten. Unter anderem wird hierbei eine Unterteilung in staatlich und privat getroffen, was die unterschiedliche Fokussierung der Projekte in Hinblick auf Umsetzung und Forschung um ein weiteres verdeutlicht. Bereits im Rahmen der Vorstellung erfolgt die Betrachtung anhand von drei Kriterien: „Komplexitätsgrad der Technologie“, „Umfang“ sowie „Wertschöpfungskette“ anhand der beteiligten Partner.

Diese Kriterien stellen eine Beleuchtung der wichtigsten Ausprägungen sicher und ermöglichen eine Erleichterung der späteren Bewertung und Gegenüberstellung. In diesem Zusammenhang wird ebenso die zentrale Fragestellung der Arbeit deutlich. Durch die Untersuchung einer Vielzahl von Projekten anhand der gewählten Kriterien soll der derzeitige Forschungs- und Umsetzungsstand dieser dargestellt und differenziert betrachtet werden.

An die Vorstellung der einzelnen Projekte knüpft die Einteilung gemäß den genannten Kriterien in die drei Kategorien gering, mittel und hoch an. Diese Einteilung wird anhand einer Tabelle dargestellt, welche eine übersichtliche Darstellung zum erleichterten Verständnis bietet. Die darauffolgende Auswertung erfolgt anhand eines Blasendiagramms, welches im gleichen Zuge eine Vergleichbarkeit und Gegenüberstellung der Projekte ermöglicht.

Ein anschließender, umfassender Text vertieft die Aussagen des Blasendiagramms und wertet die aktuellen Forschungen vergleichend aus. Das Fazit bietet schließlich eine Zusammenfassung der Forschungsergebnisse sowie einen darüber hinausgehenden Ausblick.

4.2 Grundlagen

Im nachfolgenden Kapitel werden Hintergründe zur Thematik der Elektromobilität erläutert, die im Rahmen dieser Arbeit zum erleichterten Verständnis des Zusammenhangs beitragen.

4.2.1 Herausforderungen bei der Markteinführung von Elektrofahrzeugen

Im Gegensatz zu herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, die eine Reichweite von über 1000km besitzen können, weisen Elektromobile bei dem aktuellen Stand der Technik eine wesentlich niedrigere auf. Zwar gehen Experten davon aus, dass bis zum Jahr 2020 eine Reichweite von bis zu 800km erreicht werden könnte, jedoch beträgt diese bei derzeitigen Modellen unter optimalen Bedingungen wie geringer Zuladung oder mäßigen Temperaturen im Schnitt 100-150km (vgl. o.V. 2010a, 1-2). Kommt ein Elektrofahrzeug im Winter zum Einsatz, kann sich diese Reichweite erheblich reduzieren (vgl. Bloch 2011, 1-2). In Verbindung mit einer Ladezeit von zweieinhalb Stunden an Schnellladestationen (400V, 63Ampere) bzw. sechs bis acht Stunden an normalen Ladestationen (230V, 16Ampere) (vgl. o.V. 2011b, 1) sind Elektrofahrzeuge ohne einen Ausbau der Infrastruktur nur auf kurzen Strecken sinnvoll einsetzbar (vgl. Fasse 2009, 1). Ein weiterer Aspekt hinsichtlich der mangelnden Ladeinfrastruktur ergibt sich aus dem Anspruch, die Fahrzeuge mit Energie aus regenerativen Quellen zu versorgen. In einigen Gegenden ist

dies ohne eine Erhöhung der Investitionen in die Stromerzeugung aus regenerativen Energien nicht möglich (vgl. AER 2011, 1).

4.2.2 Virtuelles Kraftwerk

Ein virtuelles Kraftwerk ist der Zusammenschluss mehrerer, kleiner Stromerzeugungseinheiten zu einem Verbund. Dabei können unterschiedliche Typen von Kraftwerken zusammengeschlossen werden. Die hierdurch erreichte verbesserte Planbarkeit und somit erhöhte Versorgungssicherheit bieten die Möglichkeit, regenerative Energiequellen besser in das bestehende Versorgungsnetz zu integrieren (vgl. Böhling 2009, 2-3). So können Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (z.B. Blockheizkraftwerke) die Versorgung sicherstellen, sollte es den Photovoltaik- oder Windkraftanlagen im gleichen Verbund aufgrund der Wetterlage nicht möglich sein, die benötigte Leistung bereitzustellen (vgl. Arndt et al. 2006, 1-2).

4.2.3 Intelligentes Stromnetz

Ein Versorgungsnetz, welches in kurzen Zeitabständen bidirektional Informationen über Bedarf und Angebot an Energie austauscht, wird als intelligentes Stromnetz (englisch: „smart grid“) bezeichnet (vgl. Smart Grids Austria o.J., 1-5). Voraussetzung hierfür ist die Installation von intelligenten Stromzählern (englisch: „smart meter“) auf Abnehmerseite. Dies ermöglicht dem Verbraucher eine bessere Überwachung des eigenen Stromverbrauchs und den Anbietern eine Anpassung der zur Verfügung gestellten Leistung an den tatsächlichen Bedarf (vgl. Leipner o.J., 1). Dieser Informationsaustausch stellt zum einen die Grundlage für eine effizientere Nutzung der Kapazitäten und Potenziale von virtuellen Kraftwerken sowie erneuerbaren Energien dar und bietet zum anderen eine Möglichkeit zur Kostenoptimierung (vgl. Stiftung Warentest 2008, 1; Smart Grids Austria o.J., 1-5).

4.2.4 Vehicle-to-grid

Die wetterbedingten Schwankungen in der Stromerzeugung durch regenerative Energiequellen sowie die Asynchronität von Angebot und Nachfrage machen es erforderlich, die gewonnene Energie zwischenspeichern. Hierzu muss eine ausreichende Kapazität zur Verfügung gestellt werden. In diesem Zusammenhang können Elektrofahrzeuge (englisch: electric vehicle, kurz: EV) nicht nur als Verbraucher, sondern

ebenso als Zwischenspeicher eingesetzt werden. So speichert ein Fahrzeug, das an das Versorgungsnetz angeschlossen ist, über das von dem Benutzer festgelegte oder benötigte Mindestmaß an Energie und kann diese später bei Bedarf wieder an das Stromnetz zurückführen. Dieses Konzept ist unter dem Begriff „vehicle-to-grid“ (kurz: v2g) bekannt (vgl. RWE Mobility o.J., 1; E.ON 2012b, 1).

4.3 Methodik

Im Zuge der Methodik werden zum einen die Kriterien erläutert, nach denen die Projektvorstellung und spätere Auswertung erfolgt. Zum anderen wird die wissenschaftliche Vorgehensweise, nach denen die Arbeit erstellt wurde, eingehend beschrieben.

4.3.1 Kriterien

Die im späteren Verlauf der Arbeit vorgestellten Projekte sollen anhand der drei Kriterien Komplexitätsgrad der Technologie, Umfang und Wertschöpfungskette gemäß den beteiligten Partnern bewertet werden, sofern Informationen dazu vorliegen. Die Vorstellung jedes Projektes erfolgt in der oben genannten Reihenfolge, indem die Behandlung eines nächsten Kriteriums jeweils durch einen neuen Absatz gekennzeichnet ist. Ein möglicher vierter Abschnitt gibt darüber hinausgehende wichtige Informationen über ein Projekt. In der Auswertung (siehe 5.1 Einteilung) wird jedes Projekt anhand dieser Kriterien in die drei Kategorien gering, mittel und hoch eingeteilt.

Der Komplexitätsgrad der Technologie spiegelt zum einen den für den reibungslosen Ablauf des Projektes benötigten Informationsfluss und den einhergehenden Systemaufbau wider. Zum anderen fließt in die Bewertung der Umfang der Einbindung in ein bestehendes Netzwerk ein. Aspekte wie die Integration des Elektromobils in ein bestehendes „smart grid“, die Authentifizierung der Nutzer oder die kundenbezogene Abrechnung des Verbrauchs erhöhen die Anforderungen an das Softwaresystem. Projekte fallen in die Kategorie „gering“, sofern sie nur einen dieser Punkte umfassen, im Gegensatz dazu bieten „mittlere“ Projekte einen umfassenderen Systemansatz. Typisch hierfür ist die Einbindung der EVs in ein „smart grid“ oder die Vernetzung mehrerer Ladestationen. Als „hoch“ werden Projekte erachtet, die all diese Eigenschaften aufweisen und darüber hinausgehende

Services, wie die Routenplanung oder Zustandsüberwachung des Fahrzeuges, anbieten. Die Grenzen zwischen den einzelnen Stufen verlaufen jedoch fließend und sind nicht an absoluten Werten festzumachen.

Unter dem Umfang sind die Anzahl der Ladestationen und Fahrzeuge sowie der finanzielle Rahmen des Projektes zu verstehen. Unter diesem Kriterium gelten solche Projekte als „gering“, deren Umsetzungsrahmen sich auf eine oder wenige Forschungsstätten beschränkt. In die Kategorie „mittel“ gehören solche Projekte, deren Anzahl an Ladestationen bzw. EVs zwischen 10 und 100 liegt. Wohingegen Projekte, deren Umfang diese Zahl übersteigt, als „hoch“ eingestuft werden.

Als weiteres Kriterium soll der Rahmen der Wertschöpfungskette betrachtet werden, der durch das Projekt abgedeckt wird. Die beteiligten Unternehmen und ihre erbrachten Teilleistungen spielen hierbei eine zentrale Rolle. So sind an Elektromobilitätsprojekten nicht nur die Hersteller von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur beteiligt, sondern auch Forschungsinstitute, Energieversorger, Softwareentwickler und Unternehmen aus anderen angrenzenden Wirtschaftszweigen spielen eine wichtige Rolle bei der Gewährleistung einer umfassenden Betrachtung der Wertschöpfungskette.

4.3.2 Wissenschaftliches Vorgehen

Die Literaturrecherche wurde auf Onlinesuchen beschränkt, da keine Fachliteratur in Form von Büchern oder Papern vorliegt, die die benötigten Informationen bereitstellt, um die Projekte anhand der festgelegten Kriterien bewerten zu können. Dabei wurde keine Einschränkung bezüglich der betrachteten Länder oder anderer Eigenschaften vorgenommen, damit eine umfangreiche Übersicht gegeben werden kann.

Einen Einstieg bildete hierbei die Suche nach Projekten, die durch die deutsche Bundesregierung gefördert werden (Suchmaschine: Google, Stichwort: Elektromobilität Bundesregierung). Dadurch ergab sich, dass das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (kurz: BMWi) für diesen Fachbereich zuständig ist und federführend an sieben Projekten beteiligt ist. Dazu gehören unter anderem die zwei großen Projekte „E-Energy“ und „IKT für Elektromobilität“, dessen einer Technologiepartner Siemens darstellt (siehe 4.2.1.2.5 Harz.EE- Mobility). Siemens ist darüber hinaus an weiteren

Elektromobilitätsprojekten beteiligt, wozu „MOBI.E“ und das „EDISON“-Projekt auf der Insel Bornholm ebenso zählen wie die europaweite Initiative „Green eMotion“ (vgl. Siemens AG 2012f, 1-3). Letztere umfasst zahlreiche Projekte in unterschiedlichen Ländern und bietet auf der zugehörigen Homepage eine Übersicht über teilnehmende Unternehmen (vgl. Green Emotion 2012, 1). Hierzu gehört unter anderem die Daimler AG und der italienische Energieversorger Enel, die zusammen das Projekt „e-mobility italy“ umgesetzt haben. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang die Firma Bosch genannt, welche Initiator des Elektromobilitätsprojektes in Singapur ist.

Im Weiteren wurde die Suche anhand des Stichwortes der amerikanischen Drogeriekette Walgreens weitergeführt, welche in den einführenden Gesprächen genannt wurde. Diese Eingabe (Suchmaschine: Google, Stichwort: „electric vehicle Walgreens“) führt zu einem umfassenden Bericht, welcher die Projekte „eVgo“, „OnStar“ sowie die „Car Charging Inc.“ nennt. Eine anschließende Suche nach diesen Projekttiteln führte zu ausreichenden Informationen, um diese anhand der Kriterien vorzustellen (vgl. Guevarra 2011, 1). Zudem führten die Recherchen zur „Car Charging Inc.“ zu dem Hersteller von Ladestationen Coulomb Technologies, der das „ChargePoint“-Netzwerk betreibt. In diesem Rahmen wurde die wichtige Rolle von Netzwerken im Zusammenhang mit Elektromobilität deutlich, sodass gezielt nach Netzwerken gesucht wurde. Speziell wurden diese Nachforschungen auf Japan konzentriert, da diese gemäß des Elektroauto-Index von McKinsey als Marktführer gelten (vgl. Elektroauto-News 2012, 2-3). Demnach konnten unter entsprechenden Suchbegriffen Projekte gefunden werden, wie das Projekt „Charging Network Development Organization“ (Suchmaschine: Google, Stichwort: „e-mobility network Japan“) oder „smart network“ (Suchmaschine: Google, Stichwort: „electric vehicle network Japan“).

Der Idee des „vehicle-to-grid“ (siehe 2.4) folgend, welche das Elektrofahrzeug ebenso als Zwischenspeicher für Strom in Betracht zieht, wurde nach einem Projekt gesucht, das diesen Ansatz in die Praxis umsetzt (Suchmaschine: Google, Stichwort: Elektroauto Zwischenspeicher). Dies führte zu dem Siedlungsbau-Projekt „Energieautarkes Wohnen“ in Norderstedt.

Um den technischen Aspekt der Elektrofahrzeuge stärker zu beleuchten, wurden darüber hinaus entsprechende Projekte bedeutender Fahrzeughersteller betrachtet, wobei „E-Komfort“ von VW aufgrund der Reichweitenproblematik (siehe 2.1) hervorstach.

Diese Informationen werden innerhalb der Kurzbeschreibung der Projekte in der Reihenfolge Technologie, Umfang und Partner vorgestellt. Dabei erfolgt eine getrennte Darstellung der privaten und staatlichen Projekte jeweils in alphabetischer Reihenfolge. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die Darstellung teilweise in sehr unterschiedlichem Umfang erfolgt, da über einige Projekte keine umfassenden Quellen zur Verfügung stehen.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden diese anhand der zusammengetragenen Fakten gemäß den oben genannten Kriterien entsprechend bewertet (Einteilung in gering, mittel, hoch). Daraufhin werden die Ergebnisse in Tabellenform zusammengefasst und in einem Blasendiagramm graphisch dargestellt. Anschließend folgt eine Auswertung hinsichtlich der zentralen Fragestellungen. Hierbei werden zunächst die Wirkungszusammenhänge der drei Kriterien betrachtet und es schließt sich eine Gegenüberstellung von privaten und staatlichen Projekten an.

4.4 Projekte – Vorstellung & Untersuchung

In diesem Kapitel erfolgt die Projektbeschreibung anhand der ausgewählten Kriterien in der Reihenfolge Komplexitätsgrad der Technologie, Umfang und Wertschöpfungskette. Zusätzlich werden in einem möglichen vierten Abschnitt weitere wichtige Details der Projekte dargestellt.

4.4.1 Projekte privater Unternehmen

Zunächst werden die Projekte, welche von privaten Institutionen getragen werden, beschrieben.

4.4.1.1 Car Sharing Inc.

Die 2009 gegründete Firma „Car Charging Inc.“ hat ihren Sitz in Miami, Florida (USA). Hauptgeschäftsfeld ist die Installation, Wartung und das Betreiben von Ladestationen in privaten Wohngebäuden, öffentlichen Plätzen und Parkhäusern (vgl. o.V. 2012a, 3). Das Unternehmen installiert Ladestationen des Typ2 und Typ3 der Firma Coulomb Technologies, welche ein Elektrofahrzeug innerhalb von mehreren Stunden bei 220-240 Volt (Typ2) bzw. in etwa einer halben Stunde bei 440-480 Volt (Typ3) aufladen können. Die Gebühr für die Nutzung der Stationen variiert dabei je nach Standort und Tageszeit. In

Staaten, die die Bezahlung pro Kilowattstunde zulassen, kostet diese 50cent, andernfalls wird eine Gebühr von 3\$ pro Stunde erhoben (vgl. Motavalli 2010, 2-3).

Zu den Partnern der „Car Charging Inc.“ gehört das „ChargePoint“-Netzwerk (vgl. carcharging 2012a, 1), in welches die Stationen eingebunden werden. Abgesehen von Coulomb Technologies, deren Stationen die „Car Charging Inc.“ installiert, unterhalten sie Partnerschaften mit mehreren großen Parkhausbetreibern wie Icon Parking System, Laz Parking oder Ace Parking, aber auch mit Immobilienfirmen wie Equity One und Equity Residential sowie Kaufhausketten wie Mall of America und Aventura Mall, die im Gegenzug für die Erlaubnis zum Betreiben der Stationen in ihren Gebäuden am Gewinn der „Car Charging Inc.“ beteiligt werden (vgl. carcharging 2012b, 1; Motavalli 2010, 2-3).

4.4.1.2 ChargePoint

Der bedeutende Hersteller von Ladestationen für Elektrofahrzeuge Coulomb Technologies betreibt das „ChargePoint“-Netzwerk, welches öffentlich installierte Ladestationen unterschiedlicher Betreiber miteinander verbindet. Kunden dieses Netzwerks können über einen Onlinezugang Ladestationen finden und reservieren lassen (vgl. chargepoint 2012, 1). Die Identifizierung des Kunden an der Ladestation erfolgt mittels einer RFID-Karte (vgl. coulomb 2012a, 1). Die Stationen des Netzwerks werden über „ChargePoint“ überwacht und bei Bedarf wird eine zeitnahe Ferndiagnose und Reparatur von entsprechenden Technikern über die Verbindung durchgeführt. Zudem können die Stationen ohne Wartungszeit mit Softwareupdates versorgt werden (vgl. coulomb 2012b, 1).

Im Zuge des „ChargePoint“-Netzwerkes sind derzeit über 3000 Stationen in 14 Ländern verbunden (vgl. coulomb 2012c, 1), wovon sich allein in den USA über 2500 Stationen befinden (vgl. chargepoint 2012b, 1).

Das Netzwerk besitzt derzeit über 800 Mitglieder, unter ihnen namhafte Firmen wie McDonald's (Fastfood-Restaurantkette), SAP (Softwarehersteller) und Adobe (Softwarehersteller) (vgl. 4.1.10, coulomb 2012b, 1).

4.4.1.3 Charging Network Development Organization, LLC

Das Projekt „Charging Network Development Organization, LLC“ wurde im Jahr 2011 in Japan ins Leben gerufen. Es soll eine Datenbank von Schnellladestationen verwalten und diese den Mitgliedern zugänglich machen. Durch einen Mitgliedsbeitrag soll die

Anschaffung der Stationen, welche sich wirtschaftlich bisher kaum rentiert hat, refinanziert werden. Auf diesem Weg soll die Verbreitung von Elektrofahrzeugen und der Ausbau der für die Nutzung von EVs benötigten Ladeinfrastruktur gefördert werden. Derzeit sind ca. 800 derartige Stationen in der Datenbank gelistet.

Mitglieder des Projektes sind ULVAC Inc. (Vakuum Technologie), Kanematsu Corporation (Mischkonzern), Kandenko Co., Ltd. (Generelle Infrastruktur), Suzuyo Shoji Co., Ltd. (Chemische Industrie), Chubu Electric Power Co., Inc. (Energieversorger), Toyota (Automobilhersteller), Development Bank of Japan Inc. (staatl. Entwicklungsbank), Honda (Automobilhersteller) und Mitsubishi (Automobilhersteller) (vgl. *evworld* 2011, 1).

4.4.1.4 E-Komfort

Seit 2011 forscht ein Firmen-Konsortium unter der Leitung von Volkswagen an Klimatisierungs- und Komfortkonzepten für Elektrofahrzeuge mit dem Ziel, die Akzeptanz dieser Fahrzeuge zu erhöhen. Die aktuell geringe Reichweite von EVs (siehe 2.1) wird durch den Einsatz von Klimaanlage weiter beeinträchtigt. Die Mitglieder des Konsortiums untersuchen unter Zuhilfenahme von Computermodellen das Energiekonzept der Fahrzeuge mit Rücksicht auf das Temperaturempfinden der Insassen.

Weitere Mitglieder des Projekts, welches mit 1,3 Mio. € vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mitfinanziert wird, sind das Fraunhofer Institut für Bauphysik und die P+Z Engineering GmbH (vgl. Volkswagen 2011, 1).

4.4.1.5 e-mobility italy

Das Projekt „e-mobility italy“ existiert seit dem Jahr 2008 und umfasste ursprünglich die Regionen Rom, Mailand und Pisa. Das wesentliche Ziel ist die Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik von EVs sowie die Etablierung offener Standards voranzutreiben (vgl. Daimler 2008, 2-3).

Dazu wurden von der Daimler AG 100 Elektrofahrzeuge vom Typ „Smart Fortwo Electric“ (vgl. Daimler 2008, 2-3) zur Verfügung gestellt, während Enel in den genannten Regionen die Ladeinfrastruktur mit über 400 Ladestationen und einem zentralen Kontrollsystem aufbaut. Die Anzahl der Fahrzeuge wurde mittlerweile auf 140 EVs erhöht und das Projekt auf andere Städte in Italien erweitert (vgl. Enel 2011, 1; Enel o.J., 1).

Um der Nachhaltigkeit bei dem Einsatz von Elektrofahrzeugen im Hinblick auf die CO₂-Reduktion Nachdruck zu verleihen, versorgt Enel die Ladestationen mit RECS-zertifiziertem („renewable energy certificate system“) Strom (vgl. RECS o.J., 1-3). Dieser kann über eine monatliche Flatrate von 25€ unbegrenzt an den Ladestationen bezogen werden (vgl. Enel 2010, 1).

Konsortialpartner sind der Automobilhersteller Daimler AG und Italiens größter Energieversorger namens Enel.

4.4.1.6 Energieautarkes Wohnen

Das Projekt des energieautarken Wohnens in Norderstedt beginnt im Herbst 2012 und ähnelt in der Umsetzung dem Projekt „MeRegioMobil“ (vgl. 4.2.1.2.3), welches ebenso die Erforschung des „smart home“ in den Mittelpunkt der Forschung stellt.

Im Zuge dieses Projektes werden mehrere Häuser zum Verkauf angeboten, die ihre Energie ausschließlich über die hauseigene Photovoltaikanlage sowie ein nahes Blockheizkraftwerk beziehen. Im Finanzierungsrahmen der Häuser ist die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs verpflichtender Bestandteil (vgl. openpr 2012, 1), welches dem Konzept des „vehicle-to-grid“ folgend ein aktives Element des Versorgungsnetzes darstellt (vgl. CleanTech News 2012, 1). Die in den Häusern verwendete Technik unterstützt den Plan des energieautarken Wohnens, indem z.B. durch speziell isolierte Fenster der Energiebedarf für das Heizen gesenkt wird (vgl. Eco-System-Haus 2012, 2).

Das Projekt wird von der ECO System HAUS GmbH in Kooperation mit der Stadt Norderstedt, Schilling Immobilien und dem Elektrofahrzeuganbieter Karabag GmbH umgesetzt (vgl. Eco-System-Haus 2012, 2; Zankl 2012, 1-2). Darüber hinaus sind die Firmen Schüco (Bauzulieferer und Solarbranche), I+ME Actia (Automobilzulieferer und Softwareentwicklung, Brillux (Lack- und Farbenhersteller) und Linde (Maschinenbau) an dem Projekt beteiligt (vgl. Stegemann 2012, 1).

4.4.1.7 eVgo

Im Rahmen dieses amerikanischen Projektes wird das „eVgo“-Netzwerk von dem Energieerzeuger NRG entwickelt, welches dem in Kapitel 4.1.2 beschriebenen „ChargePoint“-Netzwerk sehr ähnlich ist (vgl. eVgo 2011a, 1).

Der Betreiber unterscheidet hierbei zwischen „freedom station sites“, welche an öffentlichen Plätzen jederzeit zugänglich sind, und „convenience stations“, welche ausschließlich zu den Öffnungszeiten der jeweiligen Einrichtung erreichbar sind, denen sie eingegliedert sind (vgl. eVgo 2011b, 1). Zusätzlich erhält jeder Nutzer eine Heimladestation und kann auf der Homepage des „eVgo“-Netzwerks Positionen für mögliche neue Ladestationen vorschlagen, die daraufhin vom Unternehmen geprüft werden (vgl. eVgo 2011c, 1).

Die Bezahlung erfolgt in gestaffelten, festen Beträgen von 49\$, 79\$ und 89\$. Jeder Tarif beinhaltet die Installation einer Heimladestation sowie ein dreijähriges Nutzungsrecht. Der Unterschied der drei Tarife liegt in dem Umfang, in dem die Kosten für die verbrauchte Energie – sowohl an der Heimstation als auch an öffentlichen Stationen – in den Fixkosten enthalten sind (vgl. eVgo 2011d, 1).

Derzeit sind über 50 Stationen in den Gebieten Houston und Dallas in Betrieb oder geplant (vgl. eVgo 2012, 1).

Zu den Partner des „eVgo“-Projektes gehören als Stationsbetreiber unter anderem die Unternehmen Walgreens, Crescent Real Estate und BestBuy Co. Inc., als Partner im Bereich des Automobilverkaufs und der –vermietung smart USA, Nissan North America und Hertz sowie Siemens im Bereich Technologie und die Green Mountain Energy Company als Energieerzeuger (vgl. eVgo 2011e, 1).

4.4.1.8 EV Network UK

Einen mehr auf den Aspekt der Kooperation ausgerichteten Ansatz verfolgt das Projekt „EV Network UK“. Dabei handelt es sich um eine Gemeinschaft von Elektrofahrzeugbesitzern mit Ladestationen in Großbritannien. Mit Beitritt zu diesem Netzwerk gestattet jedes Mitglied den anderen teilnehmenden Mitgliedern die Nutzung seiner Ladestation. So soll eine möglichst umfangreiche Datenbank geschaffen werden, die nicht nur private, sondern auch öffentliche Ladestationen umfasst (vgl. EV Network UK 2011a, 1).

Das Netzwerk unterscheidet zwei Klassen der Mitgliedschaft: „personal members“ und „business members“. Während „personal members“ Privatpersonen mit Heimladestationen sind und einen jährlichen Beitrag von 3£ zahlen, sind „business members“ Firmen oder Geschäfte, die zusätzlich zu ihren gewöhnlichen Dienstleistungen oder Waren das Aufladen

des EVs anbieten. Ladestationen öffentlicher Einrichtungen oder Firmen gelten als „public charge points“, sind allerdings kein tatsächliches Mitglied des „EV Network UK“ (vgl. EV Network UK 2011b, 1).

In der Datenbank sind 198 öffentliche und eine unbekannte Anzahl an privaten Ladestationen erfasst (vgl. EV Network UK 2011c, 1).

4.4.1.9 OnStar – General Motors

Seit 2011 entwickelt General Motors in diesem Projekt eine Erweiterung des „OnStar“-Systems, welches eine Software in den Oberklassemodellen von General Motors ist, die unter anderem Ferndiagnosen ermöglicht, die Routenplanung übernimmt und ein Entertainmentangebot beinhaltet (vgl. Aston 2011a, 1). Diese zusätzliche Software soll es den Energieversorgern mit der Erlaubnis des Nutzers ermöglichen, Daten zur besseren Vorhersage von Ladebedarf und der sinnvollen Platzierung neuer Ladestationen zu geben. Bei Bedarf übernimmt das „OnStar“-System ebenso das Lademanagement des Fahrzeugs, um das Laden auf Zeiten niedriger Last des Stromnetzes zu verlegen. Hierdurch wird die benötigte Energiemenge zu Spitzenzeiten reduziert und der Energieversorger kann dem Nutzer einen niedrigeren Tarif als Anreiz bieten. Zudem soll eine „vehicle-to-home“-Integration (ähnlich dem „vehicle-to-grid“) ermöglicht werden (vgl. greencarcongress 2011, 1-2).

Die Entwicklung dieser Software-Erweiterung wird mit 30 Mio. \$ durch die „transportation electrification initiative“ (vgl. US Department of Energy 2009, 1) der US-Regierung mitgetragen (vgl. General Motors 2011, 1).

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit dem Energieversorger General Electric durchgeführt.

4.4.1.10 Weitere Projekte geringen technologischen Aufwandes

Als Reaktion auf die steigende Anzahl an Elektrofahrzeugen unternehmen auch branchenfremde Firmen Anstrengungen, um dem Bedarf einer umfangreichen Ladeinfrastruktur für diese Fahrzeuge gerecht zu werden. Beispiel hierfür sind die Drogeriekette Walgreens (vgl. greenbiz 2011b, 1), die Fastfood- Restaurantkette McDonald's (vgl. hybridcars 2009, 1) oder die Kaufhauskette Kohl's (vgl. energyboom 2011, 1), die öffentlich zugängliche Ladestationen installieren. Weitere Beispiele sind der

Multi-Technologiekonzern 3M (vgl. environmentalleader 2011, 1) oder das Softwareunternehmen SAP (siehe 4.2.2.3), die den Zugang zu Ladestationen für ihre Mitarbeiter und Gäste freigeben. Diese Projekte umfassen jeweils ausschließlich die Installation von einigen wenigen Ladestationen, jedoch gewinnen sie durch die Anzahl an Filialen, in denen sie aufgestellt werden (wie im Fall von Walgreens, ca. 800 Stationen) deutlich an Umfang. Zudem sind sie oftmals Teil eines Netzwerks, wie etwa dem „eVgo“-Netzwerk (siehe 4.1.7, vgl. Guevarra 2011b, 1).

4.4.2 Staatliche Projekte

In diesem Abschnitt folgt eine Vorstellung staatlich geführter Projekte verschiedener Länder.

4.4.2.1 Projekte des BMWi

Bei der Betrachtung von Elektromobilitätsprojekten in Deutschland ist vor allem die umfangreiche Förderung durch die Bundesregierung bemerkenswert – dies wurde bereits in dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ von 2009 festgehalten. Mit dem Konjunkturpaket II wurde ein Finanzierungsumfang von 500 Millionen Euro festgelegt, um das Ziel von einer Million Elektrofahrzeuge auf dem deutschen Markt zum Jahre 2020 zu realisieren. Davon entfallen 119 Millionen Euro auf das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (kurz: BMWi), welches diese Finanzmittel auf die Bereiche Verkehrs-, Informations- und Kommunikationstechnik- sowie Energieforschung aufteilt. Ziel ist es dabei, die gesamte Wertschöpfungskette zu betrachten, indem Industrie, Wissenschaft und Politik gemeinsam anhand von Projekten in einem Drei-Phasen-Plan eng zusammenarbeiten: Forschung und Marktvorbereitung bis 2014, Marktaufbau bis 2017 und der beginnende Massenmarkt bis 2020. Im Zuge der Forschungsphase bis 2014 unterstützt das BMWi mit den zugewiesenen Forschungsgeldern einige verschiedene Modellprojekte, die jeweils unterschiedliche Aspekte der Elektromobilität erforschen und in Feldversuchen auf ihre Alltagstauglichkeit prüfen. (vgl. BMWi 2012a, 1-3)

Die beiden größten Projekte des BMWi, die in diesem Zusammenhang vorgestellt werden, sind das „E-Energy“-Projekt sowie das Förderprogramm „IKT für Elektromobilität“.

4.4.2.1.1 E-Energy

Das Projekt „E-Energy“ legt den Fokus auf die Entwicklung von Schlüsseltechnologien für ein „Internet der Energie“, welches die Vernetzung der verschiedenen Akteure am Markt als Ziel hat, um den Verbrauch, die Speicherung und die Verteilung von Strom intelligent zu gestalten (vgl. B.A.U.M. GmbH 2012, 12). Die Anbindung des „electric vehicle“ (kurz: EV) erfolgt über einen „plug&play“-Anschluss, wie z.B. einer Steuerbox, sodass eine Aufnahme in das Regelsystem und die automatisierte Abstimmung mit anderen Akteuren, wie etwa dem Energielieferanten, ermöglicht wird und ein integriertes Daten- und Energienetz entsteht. Die Herausforderung stellen in diesem Zusammenhang Niederspannungsnetze dar, die etwa Photovoltaikanlagen an das Stromnetz anschließen. In Zeiten hoher Produktivität (z.B. hoher Sonneneinstrahlung) müssen einzelne Erzeugungsanlagen aufgrund zu hoher Netzfrequenzen abgeschaltet werden und stören somit die Systemstabilität. Diese Problematik soll zukünftig mit Hilfe intelligenter Wechselstromrichter gelöst werden, die ebenfalls an das Gesamtsystem angebunden sind und eine zeitgenaue Zuschaltung der verschiedenen Energielieferanten sicherstellen (vgl. B.A.U.M. GmbH 2012, 13). Die einzelnen Modellregionen werden in einem Kompetenzzentrum in der deutschen „Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik“ (kurz: DKE) zusammengefasst und mit weiteren Ansätzen in Deutschland und weltweit verbunden, um eine Standardisierung zu erreichen (vgl. Deutsche Kommission Elektrotechnik 2010, 5). Neben dem Ziel einer weltweiten Normierung stehen ebenso Datenschutzfragen im Mittelpunkt aktueller Forschungen, welche von der Abteilung für Rechtsfragen umfassend in einem Buch untersucht und zusammengefasst wurden. Sie sollen Aufschluss über die Möglichkeit des Einsatzes von „smart Metern“ geben, welche durch die Messung von Stromverbrauch und Stromeinspeisung Abrechnungen erstellen, sowie Strombedarf, Netzspannung und Frequenz messen sollen, um die Grundlage zur intelligenten Netzsteuerung zu bilden. Allerdings steht diesem Einsatz die Nutzung sensibler Daten von Privatpersonen gegenüber (vgl. B.A.U.M. GmbH 2012, 12, 34). Die Kosten für den Ausbau der Infrastruktur werden auf etwa 500 Milliarden Euro geschätzt, wobei gewerbliche Akzeptanz aufgrund des hohen Kosteneinsparungspotenzials energieintensiver Branchen bereits gegeben ist. Im privaten Sektor könnte vor allem durch die zeitliche Flexibilität (intelligente Nutzung von Zeittarifen) gespart werden. Bezüglich der Netzstabilisierung durch Rückspeisung sowie

der wirtschaftlichen Machbarkeit konnte das Projekt ein positives Fazit ziehen (vgl. B.A.U.M. GmbH 2012, 30, 36).

Zu diesem Zweck werden unter dem Einsatz von 200 Millionen Euro (von BMWi, BMU und Eigenmitteln teilnehmender Unternehmen) in sechs Modellregionen, den sogenannten „Smart Energy Regions“, im Zeitraum von Ende 2008 bis 2012 IKT-basierte Energiesysteme entwickelt und in Feldversuchen getestet, die den Anforderungen zukünftiger, dezentraler und volatiler Erzeugungsstrukturen gerecht werden. Letztere entstehen durch den verstärkten Einsatz regenerativer Energiequellen (vgl. IKT 2012a, 1).

Die Partner der Modellregionen setzen sich größtenteils aus den Bereichen der Energieversorgung und Netzbetriebung, der Wissenschaft (etwa Unternehmen der Informationstechnik und Informatik, Universitäten), der Umweltforschung und Energiesystemtechnik sowie der Automobil- und Antriebstechnik zusammen. Darüber hinaus beteiligen sich an einigen der genannten Projekte die jeweiligen Landkreise und Unternehmen anderer Bereiche wie etwa Unternehmensberatung oder Distribution (vgl. EWE 2012c, 1; 50Hertz Transmission GmbH 2012b, 1-5; RWE 2012c, 1; MVV Energie AG 2012b, 1-2; utilicount 2012, 1-2; EnBW 2012b, 1).

Die oben genannten „Smart Energy Regions“ werden unter den folgenden Namen als Einzelprojekte geführt: „eTelligence“ in der Region Cuxhaven (vgl. EWE 2012a, 1), „RegModHarz“ in der Region des Harz (vgl. 50Hertz Transmission GmbH 2012, 1), „E-DeMa“ in den Regionen Mühlheim an der Ruhr und Krefeld (vgl. RWE 2012b, 1), „moma“ in der Modellstadt Mannheim (vgl. MVV Energie AG 2012, 1), „Smart Watts“ in der Modellstadt Aachen sowie das Projekt „MeRegio“ in der Modellregion Baden-Württemberg (vgl. EnBW 2012, 1).

4.4.2.1.2 IKT für Elektromobilität

Das Förderprogramm „IKT für Elektromobilität“ wird vom BMWi in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit initiiert. In sieben Modellprojekten sollen hier mögliche Informations- und Kommunikationstechnologien zu intelligenten Lade-, Steuerungs- sowie Abrechnungsmechanismen verhelfen. Die Projekte werden dabei in sehr unterschiedlichen Zusammenhängen durchgeführt, sodass entsprechend andere Aspekte der Elektromobilität erforscht werden, die mehr als die bloße IKT-Architektur betreffen (vgl. BMWi 2012b, 1).

4.4.2.1.2.1 eE-Tour Allgäu

Das Allgäu als größtes zusammenhängendes Tourismusbereich im deutschen Raum konzentriert sich auf ein System des „car-sharing“ im Tourismusbereich. Über eine Vielzahl von Partnerhotels wird eine heterogene Fahrzeugflotte auf Mietbasis angeboten (vgl. FZA 2012a, 2-4) und im Umland eine Ladeinfrastruktur, auf die Anforderungen des Tourismus angepasst, installiert (vgl. FZA 2012b, 1-2). Eine Identifizierung an den Ladestationen erfolgt mittels ID-Karte (über einen eingebauten RFID-Chip erfolgt hier eine Authentifizierung (vgl. FZA 2012c, 1)), die ebenfalls Voraussetzung zum Start und Beenden des Tankvorgangs ist. Nach jedem Ladevorgang werden die jeweiligen Zählerstände mittels GPRS-Technologie an eine Mobilitätszentrale gesendet (vgl. FZA 2012d, 1). Der Tankvorgang wird über zwei verschiedene Stecker ermöglicht, sodass mit einer Stromstärke von 230V oder 400V geladen werden kann (vgl. FZA 2012e, 1). Weiterhin wird jedes Fahrzeug mit einem „car-PC“ ausgestattet, der Informationen über optimale Strecke, Reichweite, Ladestatus und nutzbare Ladestationen entlang der Strecke für den Fahrer bereithält und ebenfalls an die Mobilitätszentrale weiterleitet (vgl. FZA 2012d, 1). Über ein Webportal können die Informationen eingesehen und Fahrzeuge gebucht werden. Im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen in diesem Projekt unter anderem die Dateninformationen, die durch den „car-PC“ bereitgestellt werden. So wird zum einen die regionstypische Topographie in der Reichweitenberechnung berücksichtigt, zum anderen werden die Möglichkeiten einer exakteren Ladezustandserfassung der Lithium-Ionen-Batterien erforscht. Bisher wird der Ladezustand anhand von Spannung unter Last gemessen, wobei die Alterungsprozesse durch Temperatur, Spannung und Strom, die eine sehr wichtige Rolle spielen, vernachlässigt werden (vgl. FZA 2012f, 1).

Die eingesetzten Fahrzeuge umfassen 50 unterschiedliche PKW sowie einige E-Roller und Segways (vgl. FZA 2012a, 2-4), zu der installierten Ladeinfrastruktur zählen elf Ladestationen (vgl. FZA 2012h, 2-3).

Das Projektkonsortium setzt sich aus Vertretern der Wissenschaft, Energieversorgern sowie Vertretern der Tourismus- und Motorsportbranche zusammen, um ein ganzheitliches, regional-angepasstes Konzept zu entwickeln (vgl. FZA 2012g, 2-3).

4.4.2.1.2.2 Future Fleet

Das „Future Fleet“-Projekt setzt im gewerblichen Bereich an und soll auf diesem Wege unter anderem die Akzeptanz durch die Mitarbeiter neben den Zielen der Nachhaltigkeit und Alltagstauglichkeit prüfen. Gleichzeitig soll die aufgebaute Ladeinfrastruktur an das öffentliche Stromnetz angeschlossen werden und durch die Entwicklung eines IKT-Systems eine effizientere Stromnutzung ermöglichen. (vgl. BMWi 2012c, 1)

Das IKT-System stellt eine gezielte und intelligente Batterieladung durch ständige Kommunikation zwischen Nutzer, Fahrzeug, Ladeinfrastruktur und Stromnetz sicher. Den Mitarbeitern von SAP wird eine Buchungssoftware zur Verfügung gestellt, welche Informationen über jedes Fahrzeug (Ladestatus und Reichweite) sowie Ladekapazitäten entlang der Strecke bereithält und eine Ladesäule unterwegs bucht, falls ein Halt eingeplant ist (vgl. SAP AG 2012a, 2). Die Fahrzeugflotte ist homogen angesetzt und besteht ausschließlich aus Fahrzeugen des Typs „Stromos“ des Unternehmens German E-Cars. Sie sind mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestattet, die aufgeladen werden und den Motor während der Fahrt mit Energie versorgen. Die installierten Ladestationen sehen eine Ladung von zwei Stunden mittels 400-Volt-Anschluss vor und sind über einen sogenannten „chargemaster“ verbunden, der auf diese Weise eine Netzüberlastung verhindert (vgl. SAP AG 2012d, 14). Eine Ladung am Hausanschluss bräuchte entsprechend längere Ladezeiten (vgl. SAP AG 2012b, 2). Die Identifizierung jedes Fahrzeugs erfolgt über eine RFID-Transponderkarte (vgl. SAP AG 2012c, 2). Vernachlässigt wird in diesem Projekt allerdings der Vorgang der intelligenten Abrechnung mittels „smart Metern“ (vgl. 2.3) – das Stromladen ist für alle Mitarbeiter gratis und es erfolgt keine Zählererfassung je Tankvorgang (vgl. SAP AG 2012c, 2).

Im Rahmen des Projektes werden 27 EVs an insgesamt vier verschiedenen Standorten der SAP AG in die Firmenflotte integriert und eine eigene Ladeinfrastruktur von 36 Ladesäulen aufgebaut (vgl. BMWi 2012c, 1).

Die Projektpartner stammen aus den Bereichen der Energiebereitstellung, Ökologie und Wissenschaft. Dies sind die SAP AG als Konsortialführer sowie die MVV Energie, das Öko-Institut e.V., Institut für sozial-ökologische Forschung sowie die Hochschule Mannheim als Konsortialpartner (vgl. SAP AG 2012f, 1).

Aus dem Projekt konnte bezüglich der Akzeptanz von Mitarbeiterseite (vgl. SAP AG 2012d, 23) sowie der Sinnhaftigkeit des Einsatzes von Elektrofahrzeugen im Rahmen der

Firmenflotte ein positives Fazit gezogen werden. Letzteres bewies sich vor allem durch die durchschnittlichen Fahrtstrecken von SAP-Mitarbeitern, die zu 90% unter 100km liegen und sich gut mit der Reichweite eines EV decken, die derzeit bei 100-120km liegt (vgl. SAP AG 2012e, 2). Jedoch erwies sich die Installation der Ladeinfrastruktur als sehr langwierig – jeder Neuentwurf der Ladesäulen erfordert neue CE-Zertifizierungen und EMV-Tests. Darüber hinaus ist die Stromanbindung meist sehr kostenintensiv, da viele Parkhäuser in ihrer Stromanbindung auf Beleuchtungstechniken ausgelegt sind und für die Ladestationen in vielen Fällen eine Transformatorstation inklusive Mittelspannungsabgang installiert werden muss (vgl. SAP AG 2012d, 12). Im Weiteren können die Ergebnisse dieses Projektes nur schwer auf andere Szenarien übertragen werden, da die IKT-Technologie einen sehr homogenen Aufbau aufweist und der Einsatz des sogenannten „chargemaster“ nicht auf umfangreichere Projekte übertragen werden kann (vgl. SAP AG 2012d, 14).

4.4.2.1.2.3 MeRegioMobil

Das Projekt wird von dem Karlsruher Institut für Technologie (kurz: KIT) als Konsortialführer angeführt und hat das Ziel, eine umfassende Ladeinfrastruktur für Baden-Württemberg zu entwickeln (vgl. BMWi 2012d, 1). Bevor das entwickelte Geschäftsmodell später in einem Feldtest in Karlsruhe, Stuttgart und Kehl Anwendung findet, wurde zunächst ein Forschungslabor als Prototyp eines sogenannten „smart home“ installiert, um den intelligenten Fahrzeuganschluss an das Haus-Managementsystem zu erproben (vgl. KIT 2012a, 1-2). Parallel dazu wird untersucht, wie eine Abrechnung durch verschiedene Betreiber und die Netzstabilisierung durch die Einbindung des EV (in diesem Fall eines Opel Meriva) in das „smart grid“ (vgl. KIT 2010a, 1) sowie ein grenzüberschreitendes Roaming zu anderen EV-Netzwerken (hier: „Electricité de Strasbourg“) realisiert werden können (vgl. KIT 2012c, 2). In diesem Zusammenhang ist der Forschungsmittelpunkt dieses Projektes mit der Entwicklung des Prototyps eines „smart home“ in dieser Form einzigartig. Es handelt sich um ein Fertighaus, welches Strom aus einer eigens betriebenen Photovoltaikanlage sowie einer Mikrokraftwärmekupplungsanlage bezieht. Neben typischen sind auch intelligente Haushaltsgeräte in den Stromkreis eingeschlossen, welche ihre Stromnutzung gemäß Hoch- und Tiefpreiszeiten anpassen. Das EV als weiterer Faktor dient neben dem Verbrauch ebenso als Energiespeicher und kann zu Hochtarifzeiten Strom zurück in den Kreislauf einspeisen und für andere Haushaltsgeräte zu Verfügung stellen

(vgl. KIT 2010b, 5-6). Für diese Zwecke entwickelte Opel den ersten Elektro-Meriva, der ein besonders schnelles Stromtanken (230-Volt Hausstrom ebenso wie 400-Volt-Schnellladung an öffentlichen Ladestationen) sowie die Einbindung in das „smart grid“ zulässt. Dabei werden Stromverbrauch sowie Wiedereinspeisung mit Hilfe einer bidirektionalen Anbindung an das intelligente Stromnetz (vgl. „vehicle-to-grid“, siehe 2.4) ermöglicht (vgl. Zuber-Knost 2010, 1-2).

Die Entwicklung der genannten Ladeinfrastruktur erfolgt hierbei etwas zeitverzögert, sodass „MeRegioMobil“ bisher einzig und allein die Erforschung des „smart home“ umfasst. Für Erstere ist noch kein angestrebter Umfang bekannt.

Das Projekt setzt sich aus Partnern der Wissenschaft, Energiebereitstellung, Technologieforschung und Automobilbranche zusammen. Namentlich sind dies EnBW, Bosch, SAP, Opel, KIT, Fraunhofer Gesellschaft sowie die Stadtwerke Karlsruhe (vgl. KIT 2012b, 1)

4.4.2.1.2.4 Smart Wheels

Das Projekt „Smart Wheels“ erforscht den intelligenten Einsatz von Elektromobilität in der Modellregion Aachen, aufgeteilt in kleinere Teilprojekte. Der Aspekt einer heterogenen Fahrzeugflotte steht hier unter anderem im Mittelpunkt, um später den gesamten innerstädtischen und regionalen Verkehr (Bus, PKW und Roller) auf Elektromobilität umstellen zu können. Aufgrund der ähnlichen Zielsetzungen findet eine hohe Kooperation und Abstimmung mit dem Projekt „eE-Tour Allgäu“ (siehe 4.2.1.2.1) statt. Die Besonderheit dieses Projektes stellt die ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette dar, indem sich die Teilprojekte auf die einzelnen Aspekte spezialisieren. Bei der Erforschung des „Internet der Energie“ wird eine möglichst kostengünstige Netzintegration durch Informationstechnologien erforscht und versucht, eine spätere Kompatibilität zu dem „E-Energy“-Projekt „Smart Watts“ (eine der sechs „Smart Energy Regions“, siehe 4.2.1.1) zu realisieren (vgl. TEMA AG 2012a, 1). Im Bereich der Ladeinfrastruktur ist eine enge Zusammenarbeit von Stadtwerken, öffentlichen Verkehrsbetrieben sowie Parkhausnetz vorgesehen, um ein maximales Maß an Mobilität zu gewährleisten (vgl. TEMA AG, 2012b, 1). Das Teilprojekt der Integration der zuvor entwickelten Ladeinfrastruktur in die regionalen Verteilungsnetze wird in einem Phasenmodell abgearbeitet. Neben der intelligenten Nutzung eines Batterie- und Netzmanagement sollen Potenziale und Grenzen

der Einbindung des EV in das Verteilungsnetz erforscht werden (vgl. 2.3). In einem Prüfczentrum werden verschiedene Netzzustände simuliert und die Möglichkeit der Stabilisierung sowie Gefahr durch Überlastung ausgetestet (vgl. TEMA AG 2012c, 1-2). Ein weiteres Teilprojekt befasst sich mit der Entwicklung von Hard- und Software für die Ladeinfrastruktur (vgl. TEMA AG 2012d, 1). Darüber hinaus wird nach einer IT-Lösung für die zunehmend komplexer werdenden Abrechnungsstrukturen gesucht, da durch die Nutzung verschiedener Ladestationen eines Nutzers auch regionale Unterschiede der Netznutzungsgebühren anfallen und mit zunehmender Expansion der Elektromobilität Roaming-Strukturen auftreten (vgl. TEMA AG 2012e, 1). Ein weiterer Punkt ist das Fahrzeug selbst, welches mittels einer Software in die Kommunikation zwischen Nutzer, Ladestation, Datenzentrale, Leitwarte und Elektromobilitätsbetreiber geschaltet werden soll. Vor allem gilt es, die funktionale und wirtschaftliche Realisierbarkeit in diesem Teilaspekt der Elektromobilität aufzuzeigen (vgl. TEMA AG 2012f, 1).

Anschließend folgt ein Feldversuch unter Einsatz der erforschten Techniken, in dem 12 PKW, ein Bus sowie eine Flotte von Elektrorollern in der Modellregion getestet werden (vgl. TEMA AG 2012g, 1).

Das Konsortium setzt sich größtenteils aus Unternehmen der Elektronikforschung (FGH= Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V., IFHT= Institut für Hochspannungstechnik, ISEA= Institut für Stromrichtertechnik und elektrische Antriebe, MENNEKES Elektrotechnik GmbH & Co KG), der Informationstechnologie (regio IT Aachen= Gesellschaft für Informationstechnologie mbH), der Automobilbranche (FEV GmbH als unabhängiger Automobilhersteller, IKA= Institut für Kraftfahrzeuge,) und der Wissenschaft (VKA: Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen an der RWTH Universität Aachen) zusammen. Hinzu kommt im Bereich des Dienstleistungsmanagement das Forschungsinstitut für Rationalisierung (=FIR) sowie die Stadtwerke Aachen (=STAWAG) als Energielieferant. (vgl. TEMA AG 2012h, 3-4)

4.4.2.1.2.5 Weitere Projekte des „IKT für Elektromobilität“

Die weiteren Projekte des Förderprogramms „IKT für Elektromobilität“ des BMWi lauten: „e-mobility“, „Gridsurfer“ sowie „Harz.EE-Mobilty“. Auf eine umfangreiche Darstellung wird in diesem Zusammenhang verzichtet, da im Rahmen dieser Projekte keine neuen Aspekte mehr betrachtet werden. Im Zuge des Projektes „e-mobility“ wird eine

schnittstellenoffene Kommunikationstechnologie sowie ein zentrales Abrechnungssystem entwickelt. Somit bildet das Projekt die Grundlage zu einer späteren, flächendeckenden Infrastruktur. Ein Feldversuch findet durch den Einsatz von 500 E-bikes in der Modellregion Stuttgart statt, welcher bei der Entwicklung des „smart home“ helfen sollen (vgl. BMWi 2012e, 1). Im Zuge des Projektes „Harz.EE-Mobility“ soll vor allem der regional erzeugte Strom, der bereits jetzt zu 60% aus regenerativen Energien besteht, intelligent genutzt werden. Ähnlich wie im Projekt „MeRegioMobil“ soll durch eine intelligente Verteilung der Ladestationen ein maximales Maß an Mobilität für die Nutzer gewährleistet werden. In diesem Sinne stellt das Projekt eine Erweiterung des „E-Energy“-Projektes „RegModHarz“ dar (siehe 4.2.1.1). Parallel dazu steht ebenfalls die Entwicklung eines IKT-Systems im Vordergrund (vgl. BMWi 2012f, 1). Das Projekt „GRID Surfer“ findet in der Region von Weser, Ems und Elbe statt. Ebenso wie im Projekt „Harz.EE-Mobility“ soll das Reichweitenproblem der Elektromobilität vor allem für ländliche Regionen gelöst werden. Im Gegensatz zu den anderen Projekten wird in diesem Falle erstmals auch die Idee des Batteriewechsels als Zusatz zu einer umfassenden Ladeinfrastruktur in Betracht gezogen. (vgl. EWE 2012b, 1)

4.4.2.1.3 Weitere Projekte des BMWi

Darüber hinaus fördert das BMWi neben den beiden genannten Großprojekten „E-Energy“ und „IKT für Elektromobilität“ fünf kleinere Projekte, die im Folgenden aus Gründen der Vollständigkeit kurz erwähnt werden.

Das Projekt „MEMO- Mediengestützte Lern- und Kollaborationsdienste für Elektromobilität“ soll einfache und nutzerfreundliche Applikationen zur Nutzung in der Elektromobilitätsbranche entwickeln, die später als einzelne Bausteine, je nach Anforderungen, aus einer „MEMO-Cloud“ zusammengestellt werden können (vgl. BMWi 2012g, 1).

Im Zuge der ForTISS-Studie „Mehr Software (im) Wagen: IKT als Motor der Elektromobilität der Zukunft“ wird mit Hilfe einer SWOT-Analyse die benötigte Charakteristika der IKT-Systematik analysiert, die in spätere Fahrzeuge eingebaut wird (vgl. ForTISS GmbH 2011, 1-2).

Ein weiteres Projekt namens „ZALM (sms&charge)- Fahrzeuge laden per SMS“ entwickelt ein innovatives System, welches eine Fahrzeugaufladung mittels SMS startet. Diese

Technik würde spontane Ladenvorgänge ohne komplexe Authentifizierungsprozesse zulassen und eine deutliche Kostensenkung bezüglich der Anschaffungskosten ermöglichen (vgl. Kachouh 2011, 1).

Das Projekt „IRENE- Einbindung regenerativer Energien und Elektromobilität“ entwickelt eine wirtschaftliche Lösung für Verteilnetzbetreiber zur zeitlichen Optimierung der verschiedenen regenerativen Energiequellen (vgl. Allgäuer Überland GmbH 2012, 1).

Zuletzt soll im Zuge des Projektes „Konsensbildung bei disruptiven Innovationsprozessen unter Einbezug von IKT“ eine bessere Kooperation zwischen den einzelnen Akteuren (Wirtschaft, Wissenschaft, Politik, Energieversorger) während der Forschungen erreicht werden, um ein hohes Maß an Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen (vgl. Deutsches Dialog Institut 2012, 1-2).

4.4.2.2 EDISON

Der Name „EDISON“ bedeutet „Electric vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks“ und verdeutlicht die klare Zielsetzung des Projektes (vgl. Foosnæs 2009, 1-2). Dies ist die ganzheitliche Integration und Anbindung elektrisch betriebener Fahrzeuge an das öffentliche Stromnetz, während regenerative Energien den dazu benötigten Strom liefern und ein umfangreicher Netzverbund („smart grid“) mit Hilfe offener Kommunikationstechnologien erfolgt (vgl. EDISON 2012a, 1). Ansatzpunkt ist in dieser Region vor allem die Nutzung des regenerativen Stromes, der bereits von Windrädern produziert und häufig nicht umfassend genutzt wird, sowie dessen Integration in den Verkehrsbereich (vgl. UmweltDialog 2009, 1). Um eine umfassende Forschung entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu erreichen, wurde das Projekt in sieben Arbeitsbereiche eingeteilt (vgl. Foosnæs 2010a, 1). Nach ausreichender Forschung und technologischer Entwicklung, die durch ständige Absprachen zwischen den Arbeitsbereichen begleitet wird, findet schließlich ein Feldversuch auf der Insel Bornholm, Dänemark, statt (vgl. UmweltDialog 2009, 1). Die Forschungsarbeiten erfolgen dabei auf der Grundlage von Baumustern und Simulationen (vgl. Foosnæs 2010b, 1). Wie bereits erwähnt, ist eine sehr umfassende Betrachtung Ziel des Projektes – so soll im Zuge der Entwicklung eines intelligenten Stromnetzes („smart grid“) eine „vehicle-to-grid“-Anbindung ermöglicht werden (vgl. EDISON 2012b, 1). Auf diese Weise kann das EV das Stromnetz durch Rückspeisungen stabilisieren, gleichzeitig kann der private Nutzer zu

günstigen Zeiten Strom tanken und zu Zeiten allgemeinen hohen Verbrauchs durch den Stromverkauf zu höheren Preisen selbst Profite erzielen (vgl. Euronews 2010, 1). Diese Möglichkeit schafft Anreiz zu einer ständigen Anbindung des EV an das öffentliche Stromnetz, insofern es nicht genutzt wird, und erhöht somit die Chancen auf eine durchgehende Netzstabilisierung. Daneben steht die Entwicklung umfangreicher Lademöglichkeiten im Vordergrund, um den Nutzern neben öffentlichen Schnellladestationen sowie der „vehicle-to-grid“-Anbindung im privaten Haushalt auch die Möglichkeit des Batteriewechsels bei längeren Strecken ohne zeitaufwändige Ladezeiten zu ermöglichen (vgl. EDISON 2012c, 1). Parallel dazu sollen Schnellladestation entwickelt werden, die eine Ladung von 50-80% innerhalb einem Zeitumfang von 5-15 Minuten ermöglichen (vgl. EDISON 2012d, 1).

„EDISON“ ist ein internationales Forschungsprojekt, welches zu 4,5 Millionen Euro durch das Forschungsprogramm „FORSKEL“ des Übertragungsnetzbetreibers Energinet.dk finanziert wird. Die Gesamtkosten werden auf etwa 6,5 Millionen Euro geschätzt (vgl. Foosnæs 2009, 1-2).

Partner des Forschungskonsortiums sind die Energieversorger Østkraft, Dong Energy und die dänische Energiegesellschaft sowie die wissenschaftlichen Partner IBM, Siemens, EURISCO sowie die technische Universität DTU (vgl. Foosnæs 2009, 1-2).

4.4.2.3 MOBI.E

Das „MOBI.E“-Projekt der portugiesischen Regierung ist ein Netzwerk, welches neben der Aufladung von Elektrofahrzeugen andere Dienste wie etwa die Bezahlung und die Routenplanung unter Einbeziehung der Positionen von Ladestationen beinhalten soll. Weiterhin ist die Implementierung der Fahrzeuge in das Stromversorgungsnetz im Sinne des „vehicle-to-grid“-Konzepts und die intelligente Ladesteuerung geplant, sodass bei Bedarf Energie an das Netz zurückgegeben wird und die Ladevorgänge geplant werden können, um etwa das Laden zu Spitzenzeiten zu senken (vgl. MOBI.E o.J.a, 2). Die Authentifizierung des Nutzers und Bezahlung für Ladevorgänge ist personenbezogen und erfolgt über eine Mitgliedskarte. Außerdem ist es dem Nutzer möglich, sich online auf der Homepage mit Nutzernamen und Passwort einzuloggen, um seinen Verbrauch und den Rechnungsbetrag zu überwachen. Bei der finalen Markteinführung soll zwischen den drei Kartentypen „anonyme Prepaidkarte“, „personenbezogene Prepaidkarte“ und

„Postpaidkarte“ unterschieden werden. Nach der Pilotphase wird der Tarif für die Stromabrechnung vom jeweiligen örtlichen Betreiber selbst festgesetzt (vgl. MOBI.E o.J.b, 2).

Das Netzwerk umfasst 1300 normale Ladestationen an öffentlichen Plätzen, die sich über 25 Städte in Portugal verteilen, und 50 Schnellladestationen, welche auf Routen zwischen diesen Städten für Transferfahrten oder Notfallaufladungen installiert wurden (vgl. MOBI.E o.J.a, 2).

Partner des Projekts im Rahmen der Entwicklung der benötigten Technologie sind Novabase, Critical Software, Siemens, efacec und Magnum Cap. Weitere Partner sind Inteli, Renner Living Lab, Ceiiia-Ce und Remobi im Bereich Forschung und Innovation, Brandia Central im Bereich Kommunikation und edp im Bereich Energieversorgung (Vgl. MOBI.E o.J.c, 1-2).

4.4.2.4 Singapur

Im Oktober 2010 hat Bosch erfolgreich für ein Pilotprojekt in Singapur geboten, welches seit Juni 2011 in Betrieb ist und ein Infrastruktur- und Kommunikationsnetzwerk für Elektromobilität als Ziel hat (vgl. Bosch SI 2010, 1). Als Basis für den Informationsaustausch innerhalb des Netzwerks entwickelte Bosch das internetbasierte System „eMobility Solutions“. Es soll über die einfache Steuerung und Verwaltung der Ladestationen hinausgehende Services anbieten. So können Nutzer die Positionen von Ladestationen ebenso in ihre Routenplanung einbeziehen wie die Nutzung alternativer Transportmittel. Dies ist in einem dicht besiedelten Gebiet wie Singapur unter Berücksichtigung des starken Verkehrsaufkommens und geringen Platzangebots besonders interessant (vgl. Vincken 2011, 2).

Dieses Netzwerk umfasst auf der Hardwareseite 40 Ladestationen von Bosch, welches aber durch die absichtlich offen gestaltete Plattform durch Stationen anderer Anbieter und Betreiber ergänzt werden kann (vgl. Krogh 2012, 1). Hierdurch ist das Projekt leicht skalierbar, sodass es zukünftig als Grundlage für eine umfassende Ladeinfrastruktur dienen kann (vgl. Bosch Presse 2010, 2).

Die Nutzung des Netzwerkes kostet 180 Singapur Dollar (ca. 108€) monatlich (vgl. o.V. 2011a, 1).

4.4.2.5 Smart Network

Das Projekt „Smart Network“ wurde im Jahr 2010 vom japanischen „Ministerium für innere Angelegenheiten und Kommunikation“ ins Leben gerufen und verfolgt das Ziel einer nachhaltigen CO₂-Reduktion durch die Implementierung von „smart grids“ (vgl. 2.3). Im Rahmen dieser Forschungen sollen Kommunikationsstandards etabliert werden, welche unter anderem die Integration von Elektrofahrzeugen in ein „smart grid“ ermöglichen sollen (vgl. NTTdocomo 2010a, 1-2).

Der Umfang der Umsetzung dieses Projektes beschränkt sich auf ein Testgelände in Yokohama (vgl. NTTdocomo 2011b, 1).

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der „Japan Smart Community Alliance“ und den Partnern NTTdocomo (Mobilfunk), Sekisui House (Bauwesen), NEC (Informationstechnologie), Bandai Namco Games (Videospiele, Animation), Aiphone (Kommunikationssysteme), Uchida (Informationstechnologie), NTT Facilities (Bau- und Elektrizitätswesen), JX Nippon Oil & Energy (Energieversorger), Nissan (Automobilhersteller), Unisys (Informationstechnologie), Nomura Research Institute (Unternehmensberatung) und Mitsubishi (Automobilhersteller) durchgeführt (vgl. NTTdocomo 2010b, 1).

4.5 Auswertung und Projektgegenüberstellung

Im Folgenden wird jedes Projekt gemäß den Kriterien bewertet und in die Kategorien gering, mittel und hoch eingeordnet (siehe dazu 3.1). Ebenso erfolgt anschließend eine vergleichende Gegenüberstellung der einzelnen Projekte.

4.5.1 Einteilung

Zunächst werden die Projekte hohen Umfangs betrachtet und in verschiedene Klassen hinsichtlich der Technologie sowie Wertschöpfungskette eingeteilt. Hierbei ergibt sich eine deutliche Abgrenzung der Projekte „Charging Network Development Organization“, „EV Network UK“ und „Weitere Projekte geringen technologischen Aufwandes“, da diese weder einen hohen Informationsaustausch, noch weitere Services oder die Einbindung in ein Netzwerk bieten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sie lediglich Datenbanken darstellen oder Ladestationen zur Verfügung stellen, die über kein Lastenmanagement verfügen und keine intelligente Abrechnung anbieten. Darüber hinaus ist die Anzahl der

Partner sowie die daraus resultierende Abdeckung der Wertschöpfungskette als gering zu erachten.

Von den oben erwähnten Projekten hebt sich das Projekt „Car Charging Inc.“ insofern ab, als dass in Staaten, die es gestatten, „smart metering“ eingesetzt wird, um flexible Abrechnungen zu ermöglichen. Im Gegensatz dazu bietet „ChargePoint“ ein Netzwerk, das die Ladestationen verschiedener Betreiber verbindet, Wartungsservices ermöglicht und die Buchung freier Stationen zulässt.

Die Projekte „MOBI.E“ und „EDISON“ bieten durch die Bereitstellung eines umfangreichen Netzwerkes ebenfalls einen hohen Komplexitätsgrad an Technologie, wobei sie sich hinsichtlich der Einbindung erneuerbarer Energien („EDISON“) auf der einen Seite und der Anzahl angebotener Services auf der anderen Seite („MOBI.E“) unterscheiden. Zu diesen Services zählt unter anderem die intelligente Routenplanung. Darüber hinaus ist beiden Projekten eine geplante Schnittstelle mit einem „smart grid“ gemein. Auf Ebene der Wertschöpfungskette findet eine Integration von dem Energieversorger bis zur Anbindung der Fahrzeuge statt, während die Betrachtung der Fahrzeuge als solches bei beiden unterbleibt.

Über das Projekt „e-mobility italy“ sind neben einem System der Lastenverteilung keine Informationen über zusätzliche Services bekannt, sodass eine Zuordnung zur mittleren Kategorie im Bereich der Technologie erfolgt. Die Partner beschränken sich auf den Energieversorger Enel und den Automobilhersteller Daimler, was auf eine umfassende, jedoch keine vollständige Abdeckung der Wertschöpfungskette schließen lässt.

Das Projekt in Singapur, welches mit 40 Ladestationen einen mittleren Umfang aufweist, ist aufgrund der entwickelten offenen Standards und der beinhalteten Services von ähnlich hohem technologischen Aufwand wie etwa das „ChargePoint“-Netzwerk. Vor allem für den dicht besiedelten Raum Singapur spielt die Einbindung der öffentlichen Verkehrsmittel in die Routenplanung eine entscheidende Rolle. Die leichte Skalierbarkeit des Systems ermöglicht den flächendeckenden Ausbau der Infrastruktur.

Im Vergleich zu „ChargePoint“ bietet das „eVgo“-Netzwerk zwar ein Lastenmanagement, jedoch keine Fernwartung der Stationen und auch keine weiteren Dienste. Die Abrechnung erfolgt nicht verbrauchsgesteuert, sondern über einen Fixbetrag. Bezüglich des Kriteriums der Wertschöpfung wurden durch den Initiator NRG bei der Entwicklung der

Technologiekonzern Siemens eingebunden, allerdings wurde die Einbindung eines Automobilherstellers vernachlässigt. Ähnliche Ausprägungen bezüglich der Kriterien Technologie und Wertschöpfungskette weisen die beiden Projekte „Future Fleet“ sowie „eE-Tour Allgäu“ auf. Die Unterschiede liegen hier in der mangelnden Übertragbarkeit des SAP-Projektes, obwohl es einen „smart grid“-ähnlichen Ansatz zum Energiemanagement bietet. Im Allgäu hingegen konzentriert sich die Entwicklung auf das „car-PC“-System, welches zur Routenplanung unter Einbezug des Höhenprofils und Energieverbrauchs des Fahrzeuges eingesetzt wird. Ebenso wie im Falle von „eVgo“ ist kein Vertreter aus der Automobilbranche eingebunden.

Den umfassendsten Ansatz der bisher betrachteten Projekte bietet „Smart Wheels“. Hier findet eine Unterteilung in Teilprojekte statt, um eine differenzierte Betrachtung sämtlicher Aspekte gewährleisten zu können. Dazu gehört neben der Erforschung komplexer Abrechnungsstrukturen ebenso die Einbindung des EV in das „smart grid“. Zusätzlich sollen Laborversuche Aufschluss darüber geben, welche Chancen und Risiken diese Netzeinbindung mit sich bringt. Das Konsortium setzt sich aus Vertretern aus allen angrenzenden Wirtschaftszweigen zusammen.

Zuletzt erfolgt die Betrachtung von Projekten geringen Umfangs. Unter diesen bildet „E-Komfort“ als reines Forschungsprojekt hinsichtlich der Fahrzeugtechnik das am wenigsten Komplexe.

Im Zuge des „energieautarkes Wohnen“ in Norderstedt erfolgt die Einbindung des EV als aktives Element in die Energieversorgung eines „smart home“. Ebenso werden die Häuser in ein intelligentes Stromnetz eingebunden, in dem Vorhersagen über die Stromproduktion der Photovoltaikanlagen getroffen werden und die Ausbringungsleistung des integrierten Blockheizkraftwerkes gesteuert wird. Dieser Aspekt führt zu einer hohen Einordnung des Projektes bezüglich des Technologie-Kriteriums. Allerdings ist keine umfangreiche Betrachtung der Wertschöpfungskette gegeben, da weder die Automobilbranche noch Energieversorger Teil des Projektes sind.

Das „OnStar“-Projekt von General Motors befasst sich mit der Entwicklung einer Software zum Lademanagement des EV, die eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Energieversorger zur Lasten- und Verbrauchssteuerung ermöglicht. Durch die Einschränkung der beteiligten Partner auf General Electric sowie eine fehlende Betrachtung

einer möglichen Ladeinfrastruktur ergibt sich eine mittlere Ausprägung hinsichtlich beider Kriterien.

Ein weiteres Projekt, dessen technologischer Komplexitätsgrad dem von „OnStar“ entspricht, ist „E-Energy“. Im Fokus stehen die Vernetzung und der Informationsaustausch unterschiedlicher regenerativer Energiequellen, um deren Ausbringungsmengen und -zeitpunkte abzustimmen. Obwohl Unternehmen aus allen in Frage kommenden Branchen beteiligt sind und die Abdeckung der Wertschöpfungskette somit als hoch angesehen werden muss, ist das entwickelte System jedoch auf die Energieanbietersicht beschränkt. Durch das Außerachtlassen der Anbindung von EVs oder auch der Installation von Ladestationen fehlen wichtige Aspekte, die eine hohe Bewertung des technologischen Aufwandes rechtfertigen würden.

Die Projekte „MeRegioMobil“ und „Smart Network“ sind Forschungsprojekte, deren Ziele sich größtenteils überschneiden. Schwerpunkt ist hier die Integration von „smart homes“ inklusive EV in ein „smart grid“. Ebenso sind an der Entwicklung beider Projekte Unternehmen aus der gesamten Wertschöpfungskette von Energieversorger bis zum Fahrzeughersteller beteiligt. Somit sind „MeRegioMobil“ und „Smart Network“ sowohl hinsichtlich der Technologie als auch der Wertschöpfungskette in die Kategorie „hoch“ einzuordnen.

Die folgende, eigens entworfene Abbildung verdeutlicht die getroffene Einteilung der Projekte in einer übersichtlichen Tabelle.

	car charging		ChargPoint		Charging Netw.		E-Komfort		e-mobility italy		Norderstedt		eVgo		
	niedrig	mittel	niedrig	hoch	niedrig	mittel	niedrig	hoch	niedrig	mittel	niedrig	hoch	niedrig	mittel	hoch
Technologie		X		X	X					X		X	X		
Umfang		X		X		X				X		X	X		
Wertschöpfungskette	X		X		X				X	X	X		X		

	EV Netw. UK		OnStar		Weitere		E-Energy		eE-Tour		Future Fleet		MeRegio		
	niedrig	hoch	niedrig	hoch	niedrig	mittel	niedrig	hoch	niedrig	mittel	niedrig	hoch	niedrig	mittel	hoch
Technologie	X		X		X					X		X	X		
Umfang	X		X		X				X	X	X	X	X		
Wertschöpfungskette	X		X		X			X	X	X	X	X	X		

	Smart Wheels		Edison		MOBI.E		Singapur		Smart Network	
	niedrig	hoch	niedrig	hoch	niedrig	mittel	niedrig	hoch	niedrig	hoch
Technologie		X		X	X			X		X
Umfang		X		X	X			X	X	X
Wertschöpfungskette	X		X		X		X	X	X	X

Abbildung 17 : Einteilung der Projekte

(Quelle: eigene Darstellung)

4.5.2 Projektgegenüberstellung

Im Folgenden werden die einzelnen Projekte nach der oben getroffenen Einordnung gemäß der Kriterien in eine Matrix eingeordnet. Diese folgt weiterhin den drei Dimensionen Umfang (Blasengröße), Wertschöpfungskette (x-Achse) sowie Komplexitätsgrad der Technologie (y-Achse).

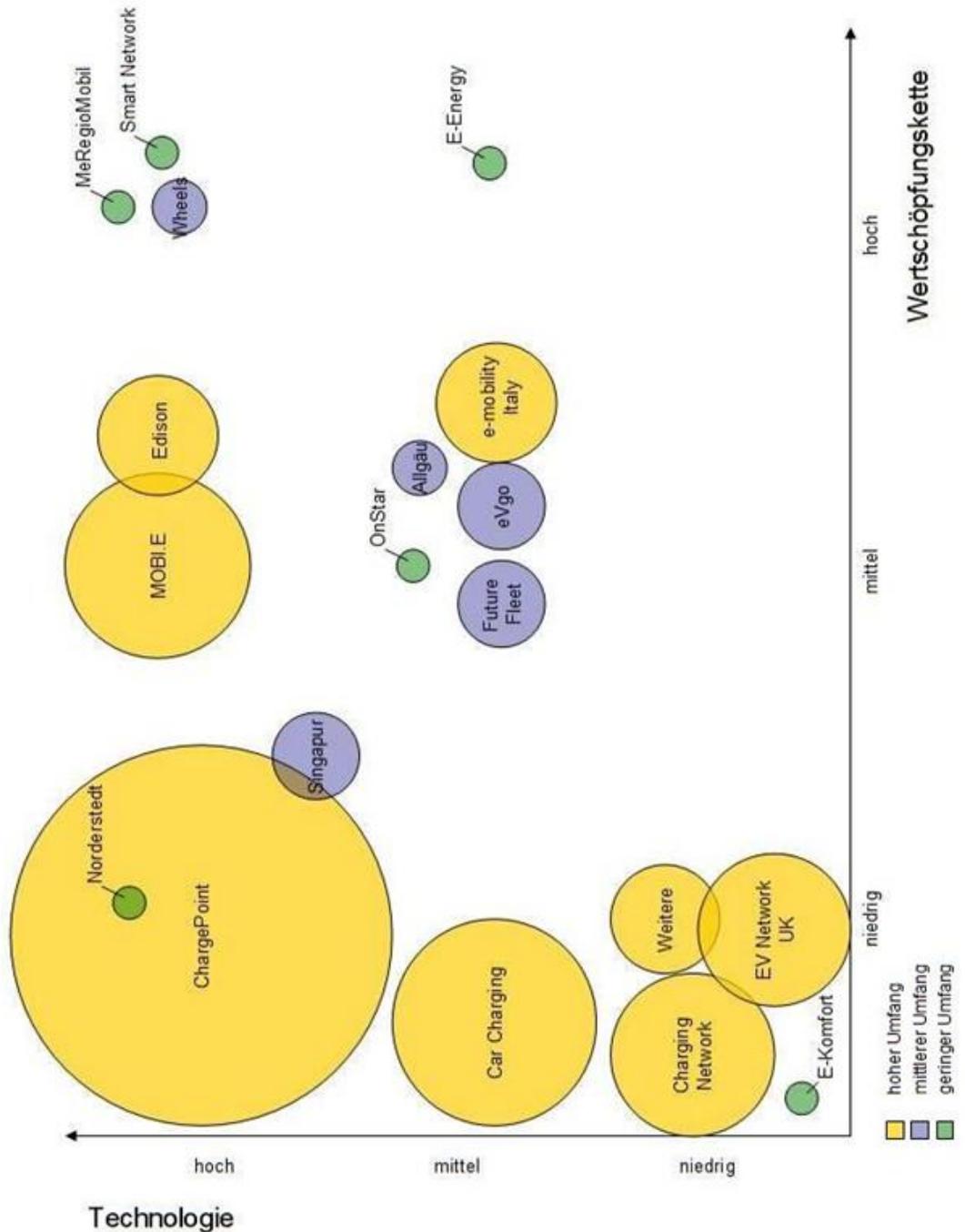


Abbildung 18 : Projektgegenüberstellung

(Quelle: eigene Darstellung)

Anschließend wird eine Auswertung dieser Grafik gemäß den ausgewählten Fragestellungen vorgenommen.

Vergleicht man die Projekte bezüglich der Anzahl ihrer beteiligten Partner und des bisher umgesetzten bzw. geplanten Umfangs, so fällt auf, dass Projekte mit großem Umfang meist von wenigen Firmen getragen werden. Diese Anzahl nimmt zu, je geringer der Umfang ist. Die größte Anzahl an Partnern weisen folglich Projekte auf, die sich vor allem auf Forschung konzentrieren und deren Umsetzung sehr eingeschränkt erfolgt ist. Projekte mittleren Umfangs folgen ebenfalls diesem festgestellten Wirkungszusammenhang und befinden sich im mittleren Bereich der Matrix.

Deutlich wird dieser Zusammenhang bei der Betrachtung der gewählten Farben – so sind die reinen Forschungsprojekte (geringer Umfang und somit grün) hauptsächlich im hohen Bereich der Wertschöpfungskette bzw. des Technologiegrades anzutreffen. Einzig das „E-Komfort“-Projekt stellt hier eine Ausnahme dar. Die Projekte mittleren Umfangs (in der Abbildung blau gekennzeichnet) sind ebenfalls als Forschungsprojekte anzusehen, allerdings erfolgt hier in mittlerem Ausmaße auch eine parallele Umsetzung (siehe 3.1., Ladestationen/EV zwischen 10 und 100), um die erforschten Erkenntnisse in der Praxis zu erproben. Die Projekte hohen Umfangs (gelb) konzentrieren sich auf den Bereich geringer Wertschöpfungskette, allerdings variiert der Komplexitätsgrad der Technologie von gering bis hoch. Die Begründung für ersteres liegt hauptsächlich in der Absicht, Profite zu machen, indem die Marktfähigkeit der Elektromobilität erprobt wird. Es werden Ladestationen in großem Umfang bereitgestellt und die Nutzung vorangetrieben, ohne (in den meisten Fällen) weitergehende Forschungsarbeiten zu betreiben. Hier stellen die drei Projekte „EDISON“, „MOBI.E“ und „e-mobilty italy“ Ausnahmen dar – diese befinden sich im mittleren Wertschöpfungsgrad, da neben dem hohen Umsetzungsgrades zur weitestgehenden Abdeckung der Wertschöpfungskette Partner weiterer Branchen eingebunden sind.

Ein klarer Wirkungszusammenhang wird neben dem Projektumfang ebenso auf Ebene der zentralen Finanzierungsinstanz deutlich. So zeigt die bereits in der Projektvorstellung getroffene Einteilung in private und staatliche Projekte in der Grafik eine deutliche Tendenz. Die staatlichen Projekte umfassen den Großteil der Forschungsprojekte geringen

und mittleren Umfanges. Eine Ausnahme stellen hier erneut die Projekte aus Portugal und Dänemark („EDISON“, „MOBILE“) dar, da diese trotz ihres Forschungsschwerpunktes einen sehr hohen Umfang aufweisen bzw. dieser im Falle von Dänemark in Planung ist.

Die privaten Projekte umfassen vor allem solche hohen Umfangs, aber geringer Abdeckung der Wertschöpfungskette. In dieser Kategorie werden die Projekte meist von ein bis zwei Partnern durchgeführt, die sich statt wichtiger Forschungsergebnisse hauptsächlich eine hohe Nutzung versprechen, um hierbei langfristig hohe Einnahmen zu verbuchen und eine Vorreiterrolle einzunehmen. In diesem Bereich stellen das Projekt in Singapur sowie die Projekte „OnStar“ und „E-Komfort“ Ausnahmen dar. Hier ist das Hauptaugenmerk auf die Forschung gelegt, wobei ebenfalls ein sehr geringer Umfang vorliegt. Trotzdem wird in diesen Fällen keine umfassende Forschungsarbeit geleistet, sondern jedes der Projekte konzentriert sich auf die Erforschung eines kleinen Teilaspektes der Elektromobilität. Eine weitere Ausnahme stellt „energieautarkes Wohnen“ in Norderstedt dar. Obwohl durch die Einbindung des EV in ein „smart home“ ein sehr hoher technologischer Komplexitätsgrad vorliegt, fehlt die Einbindung von Vertretern aus der Automobilbranche oder eines Energielieferanten. Letzteres weist wiederum auf eine private Projektdurchführung hin.

Zuletzt bleibt die Betrachtung der Möglichkeit einer Einbindung von Partnern aller wichtigen Branchen bei gleichzeitig geringem Komplexitätsgrad der Technologie. In diesem Bereich befindet sich in der Matrix keines der ausgewählten Projekte, da eine solche Positionierung kaum möglich erscheint. Mit der Einbindung zusätzlicher Partner erfolgt automatisch ein differenzierterer Aufbau des Technologiegerüsts, da jede Branche ihre Spezialisierung in den Forschungsprozess einfließen lässt. Somit ist dieser Bereich grundsätzlich (und auch bei der Wahl anderer als der hier vorgestellten Projekte) als nicht sinnvoll anzusehen und bleibt somit in jedem Falle unausgefüllt.

4.6 Fazit

Im Rahmen der Untersuchung wurde deutlich, dass derzeit viele unterschiedliche Aspekte der Elektromobilität untersucht und umgesetzt werden. Hierbei unterscheiden sich die betrachteten Projekte stark in den Ausprägungen der gewählten Kriterien. Es ist zu erkennen, dass sehr umfangreiche Projekte wie z.B. „Charge Point“ oft nur von wenigen Partnern getragen werden und sich auf die Installation einer Ladeinfrastruktur beschränken.

Hier werden weitergehende Services oder die Integration eines Energieversorgers außer Acht gelassen. Im Gegensatz dazu sind kleinere Projekte oft nicht sehr weit umgesetzt, obwohl sie den umfangreichsten Ansatz zur Einbindung von Elektromobilen in den Straßenverkehr und das Energienetz bieten. Die mangelnde Umsetzung dieser umfassenden Ansätze deutet darauf hin, dass es weiterer Forschung und Entwicklung bedarf, bevor eine breite Markteinführung sinnvoll und möglich ist.

Vor dem Hintergrund, dass die Batterien der Fahrzeuge bei dem jetzigen Stand der Technik eine sehr geringe Reichweite ermöglichen und die Fahrzeuge in der Anschaffung sehr kostenintensiv sind, bestätigt sich diese Meinung. Der Automobilhersteller Toyota setzt bei dieser Problematik an und hat eine Batterie entwickelt, die im Zeitraum von 2015 bis 2020 Serienreife erlangen und eine Reichweite von bis zu 1000km ermöglichen soll (vgl. chosun 2011, 1).

Ebenso sollte bedacht werden, dass die Elektromobile nur dann einen Beitrag zur Reduktion der schädlichen Treibhausgase leisten können, wenn sie mit Energie aus zusätzlichen regenerativen Energien versorgt werden. Ohne diese zusätzlichen Kapazitäten werden Elektromobile zwar teilweise mit zertifiziertem Strom aus regenerativen Quellen geladen, jedoch reduziert sich der Anteil beim sonstigen Stromverbrauch entsprechend (vgl. BUND 2010, 1).

Die praktische Umsetzung von Projekten wie „EDISON“ wird zeigen, ob der nachhaltige Einsatz von Elektromobilität zumindest unter den richtigen Bedingungen (z.B. hoher Anteil an regenerativen Energien im Strom-Mix) heute schon möglich ist. Ebenso bieten die Projekte des BMWi insgesamt einen sehr umfassenden Ansatz. Diese erforschen zwar für sich betrachtet jeweils nur Teilaspekte des Einsatzes von Elektrofahrzeugen und deren Einbindung in ein „smart grid“, jedoch beleuchten sie zusammen alle möglichen Fragestellungen im Hinblick auf dieses Thema. Hierdurch werden über die Koordination des BMWi Partner aus allen benötigten Wirtschaftsbereichen einbezogen und sich deren jeweilige Expertise zunutze gemacht. Mit einer Weiterentwicklung der Technik sowohl auf Infrastruktur- (z.B. Laden durch Induktion) als auch auf Fahrzeugseite (z.B. höhere Kapazität der Batterien) und den richtigen Maßnahmen zur Erweiterung der Kapazitäten regenerativer Energien scheint es möglich, dass die Elektromobilität in absehbarer Zukunft zur Marktreife gelangt. Derzeit bieten jedoch Hybridfahrzeuge eine sinnvolle Alternative sowohl zum reinen Verbrennungs- als auch zum reinen Elektromotor. Durch die

Kombination der beiden Antriebsarten kann die Umweltbelastung deutlich gesenkt werden und eine Einbuße hinsichtlich der Leistung oder des Komforts ist bei diesen Fahrzeugen nicht gegeben.

5 Communication Protocols and Standards in the E-Mobility Domain

(Daniel Schulenburg, Niels Schultz)

5.1 Einleitung

Bis in das Jahr 2020 sollen in Deutschland laut Bundesregierung eine Millionen Elektrofahrzeuge in Gebrauch sein (vgl. Teichmann et al. 2012, 2). Im Jahr 2011 betrug die Anzahl der in der Bundesrepublik zugelassenen elektrisch angetriebenen Neuwagen 2154, was eine Vervierfachung gegenüber dem Vorjahr bedeutet (vgl. Kraftfahrt-Bundesamt 2012, 1). Diese Zahlen zeigen auf der einen Seite, dass die Elektromobilität noch am Anfang ihrer Entwicklung und Verbreitung steht, auf der anderen Seite ist ein exponentieller Anstieg der Zulassungszahlen bereits gegenwärtig zu erkennen. Um bereits früh eine führende Position im Bereich der Elektromobilität einzunehmen, ist es von großer Bedeutung positive Effekte von Normung und Standardisierung in den Entwicklungsprozess miteinzubeziehen, um Technologieentwicklungen in Deutschland zukünftig sicherzustellen. Hierbei ist besonders, dass es sich um Aktivitäten verschiedener Branchen und Industriezweige handelt, welche genormt und standardisiert werden müssen. Bisher wurden Normen und Standards domänenspezifisch getrennt (vgl. NPE 2012, 4).

Zentrale Fragen dieser Arbeit sind, ob durch den Vergleich von Systemlösungen relevanter Unternehmen des Elektromobilitätssektors Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszufinden sind. Des Weiteren wird untersucht ob diese einerseits bereits auf bestehende Quasistandards bezüglich der Kommunikation schließen lassen, andererseits Bereiche aufzeigen in denen eine Normung bzw. Standardisierung besonders wichtig erscheint.

Zunächst soll ein Überblick über die in der Arbeit verwendete Methodik gegeben und diese näher erläutert werden. Folgend wird die aktuelle Situation unterteilt in politische Maßnahmen und Ziele, den technischen Stand der Elektroautomobilentwicklung und der Ladestationen sowie die an der Normung beteiligten Institutionen dargelegt. Im Hauptteil werden Protokolle und Standards der Kommunikation zwischen Ladestation und Fahrzeug aufgezeigt. Anschließend werden mithilfe eines eigens entwickelten morphologischen Kastens relevante Unternehmen des Elektromobilitätssektors und deren Lösungsansätze, bezogen auf ausgewählte Merkmale, verglichen. Hierbei treten bei einigen Merkmalen große Gemeinsamkeiten, also bereits bestehende Quasistandards, auf, bei anderen besteht aufgrund großer Unterschiede noch ein hoher Standardisierungsbedarf. Abschließend

werden die gewonnenen Erkenntnisse in einem Fazit in Zusammenhang mit der aktuellen Situation und Zukunftsaussichten der Branche gesetzt.

5.2 Methodik

Um eine systematische Analyse des Forschungsproblems zu ermöglichen, ist zunächst eine Auseinandersetzung mit den Forschungsmethoden, die in der Wirtschaftsinformatik zum Einsatz kommen, notwendig. Grundsätzlich sollte die eingesetzte Methodik im Einklang mit den jeweiligen Rahmenbedingungen der wissenschaftlichen Arbeit stehen und in erster Linie der Beantwortung der aufgestellten Forschungsfrage dienen. Dabei ist anzumerken, dass die in der Wirtschaftsinformatik eingesetzten Methoden sich vor allem an den Vorgehensweisen der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sowie der Psychologie orientieren (vgl. Heinrich 2011, 97). Ein wichtiges Werkzeug dieser Teilgebiete bildet die empirische Forschung, die ein breites Spektrum an Methoden zum wissenschaftlichen Arbeiten bietet. Je nach Forschungsproblem ist es dabei sinnvoll, sich nicht nur auf eine Vorgehensweise zu beschränken. Häufig ermöglicht die Kombination verschiedener Forschungsmethoden eine differenziertere Analyse der Thematik (vgl. Heinrich 2011, 108).

5.2.1 Inhaltsanalyse

In dieser Arbeit liegt der Fokus vor allem bei der Untersuchung von bestehenden Technologien in Bezug auf Normen und Standards bei der Kommunikation innerhalb des E-Mobility Sektors. Informationen aus verschiedenen Quellen werden zusammengetragen und strukturell aufbereitet. Dies findet in erster Linie durch die Anwendung von Inhaltsanalysen statt. Das Ziel dieser Vorgehensweise ist die Reduktion von Komplexität unter einer bestimmten forschungsleitenden Perspektive (vgl. Früh 1991, 40). Als Ergebnis dieses Prozesses werden zum einen relevante Daten in Fließtextform erfasst. Darüber hinaus werden auf Grundlage dieser Informationen Zusammenhänge mithilfe von grafischen Darstellungen veranschaulicht.

5.2.2 Morphologische Analyse

Im Hauptteil dieser Arbeit wird ein Morphologischer Kasten entwickelt. Die Morphologie beschreibt das „Zergliedern eines Problems in aufeinanderfolgende Stufen, welche ihrerseits in Elemente (Lösungsmöglichkeiten) aufgeteilt werden“ (Hürlimann 1981, 91).

Der Morphologische Kasten, welcher ein Teil der Konstruktionsmethodik ist, zeigt die Zusammensetzung von Lösungsmöglichkeiten der einzelnen Teilprobleme bezogen auf verschiedene Anwendungsfälle auf (vgl. Hürlimann 1981, 91). Der erste Schritt ist das Bestimmen einer Hauptfunktion. Diese wird in verschiedene Elemente unterteilt, welche verschiedene Merkmale der Hauptfunktion repräsentieren und als Vorspalte einer Tabelle angeordnet werden. Hinter diesen werden alle möglichen Ausprägungs- oder auch Lösungsmöglichkeiten aufgelistet (vgl. Hering et al. 2009, 58-59). Im Hauptteil wird die Art der Ausprägungen der verschiedenen Objekte untersucht. Dabei wird nacheinander, für relevante Unternehmen des E-Mobility Sektors, zunächst die Art der Ausprägung bestimmter Objekte bestimmt. Diese werden anschließend erläutert und in den morphologischen Kasten eingetragen. Abschließen entsteht so ein morphologischer Kasten, welcher einen Überblick über die verschiedenen Lösungsmöglichkeiten und Ansätze der ausgewählten Aufgaben und Herausforderungen des E-Mobility Sektors aufzeigt.

5.3 Standards und Protokolle im E-Mobility Sektor

Die Festlegung von Protokollen und Standards zur Elektromobilität ist eine besondere Herausforderung, da neue Technologien zum Einsatz kommen, für die noch keine einheitlichen Vorgaben existieren. Dabei kann zwar auf bestehende Normen aus den Segmenten der Automobil- und Elektrotechnik sowie der Informationstechnologie zurückgegriffen werden (vgl. NPE 2012, 53). Diese müssen jedoch an die speziellen Anforderungen neuer Technologien im Bereich der Elektromobilität angepasst werden. Darüber hinaus erfordern neuartige Anwendungsfälle, wie das kontaktlose Aufladen eines Fahrzeugs durch induktive Ladetechnologien, die Entwicklung von neuen Ansätzen zur Standardisierung dieser Prozesse.

5.3.1 Politische Rahmenbedingungen

In Zukunft wird die Verfügbarkeit fossiler Energieträger sinken. Diese sind jedoch ein elementarer Bestandteil der Energieversorgung des Menschen in einer Vielzahl von Bereichen (vgl. NPE 2012, 6). Einer dieser Bereiche ist die Mobilität, wobei herkömmliche Verbrennungsmotoren Energie mit Hilfe von fossilen Energieträgern erzeugen (vgl. NPE 2012, 6). Die beschriebene Verknappung der Ressourcen sowie ein Anstieg der CO₂ Emissionen, welcher allgemein mit traditionellen Verbrennungsmotoren verbunden wird,

hat zu einem steigenden Interesse an der Benutzung und Verbreitung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen geführt (vgl. Binding et al. 2010, 1). Das Gewinnen und Bereitstellen von Energie aus umweltverträglichen und nachhaltigen Quellen ist deshalb ein wichtiger Faktor bei der Sicherstellung eines nachhaltigen Erfüllens des Mobilitätsbedürfnisses des Menschen (vgl. NPE 2012, 6). Deutschland zu einem Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln ist ein von der Bundesregierung vorgegebenes Ziel (vgl. Teichmann et al. 2012, 16).

Elektromobilität kann erneuerbare Energien verwenden, besitzt einen geringen CO₂-Fußabdruck, ist leiser und hat weniger Einfluss auf die Luftverschmutzung als Verbrennungsmotoren, doch es werden auch teure Batterien mit geringer Reichweite benötigt (vgl. Leurent/Windisch 2011, 221). Fahrzeuge mit elektronischem Antrieb besitzen also Vorteile für die Allgemeinheit, für den einzelnen Konsumenten sind sie im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor allerdings mit höheren Kosten verbunden. Um einen Nutzen für die Allgemeinheit zu erzielen muss die Elektromobilität attraktiver für den einzelnen Verbraucher gemacht werden. Indem die Entwicklung nicht nur auf die Verfügbarkeit in Bezug auf Fahrzeuge und die Infrastruktur des Aufladens abzielt, sondern auch auf die Wirtschaftlichkeit eines Fahrzeugs über dessen Nutzungszeitraum (vgl. Leurent/Windisch, 222). Eine wichtige Komponente hierbei ist eine internationale Normung und Standardisierung. Diese steigern das Qualitätsniveau und fördern sowohl die Technikkonvergenz als auch den Wettbewerb, was zu höherer Akzeptanz der Nutzer führt (vgl. Teichmann et al. 2012, 16).

Die folgenden Ausführungen zu den getroffenen politischen Maßnahmen der Europäischen Union und der Deutschen Bundesregierung basieren auf dem Paper „Triggering the development of electric mobility: a review of public policies“ von Leurent und Windisch (2011, 224-225).

Ende April 2010 veröffentlichte die Europäische Kommission die „European strategy on clean and energy efficient vehicles“. Diese Strategie soll die Entwicklung von sauberen und energieeffizienten Fahrzeugen fördern. Erklärtes Ziel ist die Markt- und Technologieführerschaft in diesem Segment, eine nachhaltige Wachstumsrate und die Reduktion, sowohl der Abhängigkeit der EU von fossilen Energieträgern als auch von Emissionen, die durch deren Transport entstehen. Außerdem wird vorgesehen, dass

bestehende rechtliche Rahmenbedingungen, welche Standards und Vorschriften bezüglich Fahrzeugemissionen beinhalten, weiterverfolgt und erneuert werden. Als Folge soll die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Umwelttechnik gefördert werden, sodass die Konsumenteninformation und das Marktverständnis durch die Einführung EU-weiter Elektromobilitätsprojekte verbessert werden und die Teilnahme an internationalen Standardisierungsdialogen realisiert wird. Aufgrund der hohen Komplexität der Elektromobilität ist es ein weiteres Ziel der EU sicherzustellen, dass europaweite Standards auch für die Infrastruktur der Kommunikation und des Aufladens gelten.

Im Oktober 2009 wurde die europäische Roadmap „Electrification of Road Transport“ veröffentlicht, die einen Konsens bedeutender Unternehmen und Organisationen enthält. In einer Einführungsphase bis in das Jahr 2012 sollen 200.000 elektronisch angetriebene Fahrzeuge registriert sein. Weiterhin sollen Vorführungen veranstaltet, Praxistests durchgeführt und erste Nischenprodukte entwickelt werden. Innerhalb einer Zwischenphase bis 2016 sollen 1.000.000 Elektrofahrzeuge registriert und die Technologie und Infrastruktur so weit entwickelt sein, dass elektronisch angetriebene Fahrzeuge in verschiedenen Städten und Regionen benutzt werden können. Ab 2018 beginnt die Phase der Massenproduktion, bis hierhin sollen 5.000.000 Fahrzeuge registriert sein. Ab diesem Zeitpunkt soll es möglich sein ein, Elektrofahrzeug zusammen mit weiterentwickelten Batterien ohne Subventionen zu verkaufen.

Im November 2008 lancierte die Europäische Kommission die „Public-Private Partnership European Green Cars Initiative“. Bis zum 22. Oktober 2010 wurden so fünf Milliarden Euro für die Forschung und Entwicklung von Technologien und Infrastrukturen, welche essentiell zum Erreichen von Durchbrüchen auf dem Gebiet der erneuerbaren und nicht umweltverschmutzenden Energiequellen sind, zur Verfügung gestellt.

Der Deutsche Bundestag beschloss im Januar 2009 das Konjunkturpaket II. Einer der 14 darin enthaltenen Beschlüsse adressiert speziell die Elektromobilität. Innerhalb dieses Rahmens wurden 500 Millionen Euro für die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität zur Verfügung gestellt. Bis zum Ende der aktuellen Leistungsperiode wurde zusätzlich eine Milliarde Euro zugesichert.

Im August 2009 verabschiedete die Bundesregierung den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität (NEPE), welcher das Ziel vorgibt, dass bis 2020 eine Millionen Elektrofahrzeuge auf dem deutschen Markt sind, bis 2030 mehr als fünf Millionen und bis 2050 soll ein Großteil des Verkehrs innerhalb der Städte ohne fossile Brennstoffe auskommen. Die Entwicklung des Marktes bis 2020 ist nach dem Entwicklungsplan in die folgenden drei Phasen unterteilt.

Die Phase der *Marktvorbereitung* lief bis 2011 und diente hauptsächlich Fortschritten in der Forschung. Im Fokus standen Energiespeicherung, Fahrzeugtechnologien und der Schnittstellenintegration. Erste Ladestationen sollten zum Einsatz kommen und verschiedene Vorführprojekte sollten abgeschlossen werden.

Die Phase des Marktdurchlaufs, welche bis 2016 läuft, sieht die Einführung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen auf dem Markt vor. Außerdem soll eine breite Infrastruktur, welche eine Vielzahl von Städten umfasst, installiert werden.

In der Phase des Volumenmarktes ab 2017 soll ein Massenmarkt für Elektrofahrzeuge geschaffen werden. Die Produktion von Elektrofahrzeugen und Lithium-Ionen Batterien innerhalb Deutschlands ist ebenfalls vorgesehen.

Im Mai 2010 wurde die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) veröffentlicht. Ein Ziel war es, konkrete Sätze zu schaffen, um die in der NEPE beschriebenen Ziele zu erreichen (vgl. Leurent/Windisch 2011, 224-225).

Festzuhalten ist, dass die Standardisierung eine zentrale Rolle einnimmt. Auf europäischer Ebene wurde eine Anzahl von Beschlüssen gefasst, welche eine einheitliche Normung innerhalb der Europäischen Union sicherstellen sollen. Nachdem dieser Prozess sich anfangs hauptsächlich ausschließlich auf politischer Ebene abspielte, nehmen mittlerweile vermehrt Autohersteller an der Standardisierung teil (vgl. Foosnæs/Rasmussen 2011, 8).

5.3.2 Technische Rahmenbedingungen

Der Sektor der Elektromobilität steht noch am Anfang seiner Entwicklung. Sowohl für die Fahrzeuge selbst, als auch für Ladevorgang, Batterien oder Sicherheitskonzepte ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht mit Sicherheit festzustellen welche der verschiedenen Techniken

sich letztlich durchsetzt. Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über die technischen Rahmenbedingungen der Fahrzeuge gegeben. Es folgt eine Betrachtung der Ladestationen.

5.3.2.1 Fahrzeug

Für Elektrofahrzeuge gibt es nach heutigem Stand eine Vielzahl an verschiedenen Konzepten für den Antrieb. Diese basieren beispielsweise auf Batterietechnik, Brennstoffzellen, Brennstoffzellen-Hybriden oder reinen Elektrofahrzeugen (vgl. NPE 2012, 34). Eine große Anzahl von Automobilherstellern hat Programme zur Entwicklung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen initiiert. Die Produktpalette reicht dabei von Elektrorollern bis hin zu hochleistungsfähigen Sportfahrzeugen (vgl. Foosnæs 2010c, 3). Betrachtet man sowohl die aktuelle Marktsituation als auch bereits bekannten Produktankündigungen der Automobilindustrie, so ist zu erkennen dass in naher Zukunft, d.h. den nächsten 10 Jahren, Hybridfahrzeuge in den Mittelpunkt der Elektromobilität rücken werden. Besonderes Merkmal solcher Fahrzeuge ist die Kombination aus Verbrennungsmotor und elektrischem Antrieb (vgl. NPE 2012, 34).

Auch beim Laden des Fahrzeugs gibt es verschiedene Systemansätze, welche verschiedene Anforderungen erfüllen müssen. Diese Anforderungen umfassen vielfältige Komponenten, wie die Sicherheit, die breite Verfügbarkeit von Anfang an, die Dauer des Ladens, den Komfort, die Kosten sowie Gewicht und Bauraum im Fahrzeug, die Möglichkeit des Lastenmanagements, die Möglichkeit zur Energierückspeisung in das Netz und die internationale Kompatibilität (vgl. NPE 2012, 35). Die verschiedenen Systemansätze basieren entweder auf dem Ladeverfahren des Wechselstromladens (AC-Laden) oder des Gleichstromladens (DC-Laden). Beim AC-Laden befindet sich das Ladegerät (Gleichrichter) im Fahrzeug, beim DC-Laden in der Ladestation (vgl. NPE 2012, 35).

Einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren bei der Verbreitung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ist es, dass Verbraucher ähnlich weite Strecken zurücklegen können, wie es mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren möglich ist (vgl. Christensen 2011, 8). Legen letztgenannte Strecken von 500-600 km zurück, sind mit Elektrofahrzeugen aktuell bis zu 200 km ohne ein Aufladen möglich (vgl. Christensen 2011, 8). Batterien sind dementsprechend der Grund, warum Elektrofahrzeuge in der Vergangenheit nicht mit konventionellen, von Verbrennungsmotoren angetriebenen Fahrzeugen konkurrieren konnten (vgl. Foosnæs 2010c, 9). In den letzten 20 Jahren hat es allerdings große

Entwicklungssprünge in der Batterientechnologie gegeben. Hauptsächlich aufgrund der Entwicklungen von tragbaren elektrischen Geräten wie Laptops und mobilen Telefonen (vgl. Foosnæs 2010, 9). In den nächsten zehn Jahren werden Lithium-Ionen-Batterien eine übergeordnete Rolle spielen. Laut Experten würden diese derzeit die beste technische Lösung im Hinblick auf Speicherdichte und Handhabung darstellen (vgl. NPE 2012, 37).

5.3.2.2 Ladestationen

Die Platzierung von Ladestationen kann in verschiedenen Umfeldern realisiert werden. Auf öffentlichen Parkplätzen sind sie der gesamten Verbraucherschaft zugänglich, in halböffentlichen Bereichen, wie dem Parkhaus eines Kaufhauses, können sie von den Kunden genutzt werden. Im halbprivaten Umfeld, wie etwa auf einem Firmengelände, können Mitarbeiter ihr Fahrzeug aufladen. Außerdem ist es möglich, eine private Ladestation in der eigenen Garage installieren zu lassen (vgl. Siemens 2012, 4-5). Für verschiedene Bereiche und Funktionsumfänge sind verschiedene Funktionseinheiten einer Ladestation nötig. Vier Ladebetriebsarten für leistungsgebundenes Laden sind in der IEC 61851-1 definiert. Die folgende Abbildung ist angelehnt an die NPE (2012, 41) und gibt einen Überblick über diese vier Ladebetriebsarten. Die ersten drei beschreiben Technologien, welche ein im Fahrzeug befindliches Ladegerät (On-Board-Ladegerät) Laden, die vierte verdeutlicht hingegen das Laden mit einem Off-Board-Ladegerät (vgl. NPE 2012, 41).

Ladebetriebsart 1:

- AC Laden an Standardsteckdose mit bis zu 16 A
- 250 V (AC) einphasig oder 480 V (AC) dreiphasig
- keine Sicherheitseinrichtungen im Ladekabel
- RCD in der vorgelagerten Hausinstallation wird zwingend vorausgesetzt
- ohne Rückspeisung, ohne Kommunikation
- nicht zugelassen z. B. für die USA

Ladebetriebsart 2:

- AC Laden an Standardsteckdose mit bis zu 32 A
- 250 V (AC) einphasig oder 480 V (AC) dreiphasig
- Ladekabel mit Sicherheitseinrichtungen über eine „In-cable control box“ bestehend aus RCD, Control Pilot und Proximity
- ohne Rückspeisung, Kommunikation zwischen "In-cable control box" und Elektrofahrzeug über Control Pilot möglich

Ladebetriebsart 3:

- AC Laden an speziellen Ladestationen mit bis zu 63 A
- 250 V (AC) einphasig oder 480 V (AC) dreiphasig
- Ladekabel mit Stecker nach IEC 62196-2
- keine "In-cable control box" im Ladekabel erforderlich da Sicherheitseinrichtung fester Bestandteil der Ladestation
- Steckerverriegelung ermöglicht unbeaufsichtigten Betrieb auch im öffentlichen Umfeld
- Im Gegensatz zu den Ladebetriebsarten 1 und 2 ist eine Rückspeisung grundsätzlich möglich, da durchgehende bidirektionale Kommunikation, Steuerung und Steckerverriegelung vorhanden

Ladebetriebsart 4:

- DC Laden an speziellen Ladestationen, zumeist Schnellladestationen
- Ladespannung und Ladestrom systemabhängig, daher Standardisierungsbedarf
- Ladekabel mit Energie- und Steuerleitungen
- Komplexe Schutzfunktionen aufgrund DC erforderlich, z. B. Isolationsüberwachung

Abbildung 19 : Ladebetriebsarten

5.3.3 Am Normungsprozess beteiligte Organisationen

Am Standardisierungsprozess sind sowohl nationale als auch europäische und internationale Akteure beteiligt. Auf nationaler Ebene ist vor allem der Lenkungsreis E-Mobility, gegründet von der Deutschen Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE), sowie dem Normenausschuss Automobil und die Geschäftsstelle Elektromobilität im Deutschen Institut für Normung (DIN) hervorzuheben (vgl. NPE 2012, 8). Zusammen entwickeln diese Gremien Konzepte zur Normierung der

verschiedenen Technologien, die für die Elektromobilität relevant sind. Als Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstands werden die Ergebnisse in der deutschen Normungs-Roadmap von der Nationalen Plattform Elektromobilität veröffentlicht. Im europäischen Raum sind vor allem das Europäische Komitee für Normung (CEN) und das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) am Entwicklungsprozess beteiligt (vgl. NPE 2012, 8). Darüber hinaus gibt es internationale Organe, die für die speziellen Standardisierungsvorgaben verantwortlich sind. Hier setzen sich die Internationale Organisation für Normung (ISO) und die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) für eine Weiterentwicklung der Normen ein (vgl. NPE 2012, 8).

5.3.4 Kommunikation zwischen Ladestation und Fahrzeug

Im Bereich der Elektromobilität ist die Definition der Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Ladestation für den flexiblen Einsatz von Fahrzeugen mit Elektroantrieb von zentraler Bedeutung. Einheitliche Standards stellen dabei ein zentrales Kriterium für die Einsatzfähigkeit der Versorgungsinfrastruktur dar, vor allem im Hinblick auf Kompatibilität und Sicherheit, besonders da sich Ladestationen wesentlich bzgl. technischer Eigenschaften, Standort und Funktionen unterscheiden können.

Grundsätzlich ist der direkte Ladevorgang bei Fahrzeugen auf zwei Arten zu realisieren. Zum einen durch eine konduktive bzw. kabelgebundene Verbindung mit dem Stromnetz. Zudem kann durch das induktive Verfahren eine kontaktlose Aufladung erfolgen (vgl. Teichmann et al. 2010, 113). Für beide Vorgehensweisen wurden bereits entsprechende Ausarbeitungen zur Standardisierung der Schnittstellen durchgeführt. Für die Kommunikation zwischen Ladestation und Fahrzeug ist neben dem Energiefluss ein Datenweg notwendig, welcher beim konduktiven Laden über eine Leitung erfolgen kann. Da entsprechende Möglichkeiten beim induktiven Laden noch nicht ausgearbeitet wurden, liegt der Fokus der Betrachtung auf das kabelgebundene Laden des Elektrofahrzeugs.

5.3.4.1 Standards und Protokolle

Der Normungsprozess für die Kommunikation zwischen Ladestation und Fahrzeug ist bzgl. Energie- und Datenfluss so weit fortgeschritten, dass u.a. Empfehlungen zu Steckervorrichtungen, Lademodi sowie der Datenübertragung und Sicherheitskriterien

ausgesprochen werden können. In diesem Abschnitt wird in erster Linie auf IEC Normen eingegangen, da sie international anerkannt sind und den gegenwärtigen Forschungsstand widerspiegeln. Dabei ist es sinnvoll, eine Unterscheidung zwischen Energie- und Datenfluss zu treffen. Zusätzlich werden Anforderungen und technische Grundlagen zur Gewährleistung der Datensicherheit betrachtet.

5.3.4.1.1 Energiefluss

Die Aufladung der Energiespeicher des Fahrzeugs ist, wie bereits erwähnt, durch konduktive oder induktive Verbindung möglich. Das konduktive Verfahren erfordert aufgrund der physischen Verbindung des Fahrzeugs mit der Ladestation mittels Ladekabel einheitliche Vorgaben für die Steckvorrichtungen. Diese werden durch die IEC 62196 definiert. In Deutschland ist diese Norm als DIN-Norm gültig und besteht aus drei Abschnitten. IEC 62196-1 und -2 sind bereits veröffentlicht, wohingegen sich IEC 62196-3 noch in Arbeit befindet (vgl. Mennekes 2012, 1). Der erste Teil der Norm liefert Vorgaben für das Laden von Elektrofahrzeugen via Wechsel- und Gleichstrom. Im zweiten Teil werden drei verschiedene Verbindungssysteme definiert, die sich u.a. in Strom-, Leistungs- und Spannungskapazitäten unterscheiden, wohingegen sich IEC 62196-3 auf Gleichspannung (DC)-Stecker bezieht (vgl. IEC 2011, 1).

Die Standardisierung des konduktiven Ladevorgangs wird durch die IEC 61851-1 Norm angestrebt. Sie beschreibt Ladetechniken und Signalisierung zwischen Ladesäule und Fahrzeug. Dabei ist anzumerken, dass nicht nur reine Elektrofahrzeuge, sondern auch solche mit Hybridantrieb in die Betrachtung mit einbezogen werden (vgl. VDE Verlag 2012, 1). Dies gilt für Wechselspannungen bis 1000 V und Gleichspannungen bis 1500 V ausgehend von der Ladestation. Außerdem wird zwischen vier Lademodi unterschieden, die sich bzgl. Ladegeschwindigkeit- und spannung sowie Anschlussvariante unterscheiden (vgl. VDE Verlag 2012, 1). Zudem werden Eigenschaften und Betriebsbedingungen der Stromversorgungseinrichtungen und des Anschlusses an das Elektrofahrzeug sowie die elektrische Sicherheit bei der Bedienung betrachtet (vgl. VDE Verlag 2012, 1).

Die IEC 61851 Norm umfasst noch weitere Teile, die IEC 61851-1 um relevante Aspekte erweitert. So beinhaltet IEC 61851-21 die nötigen Anforderungen von Elektrofahrzeugen für die konduktive Verbindung an die AC- bzw. DC-Versorgung (vgl. Beuth Verlag 2012,

1). IEC 61851-22 spezifiziert die Eigenschaften von Wechselstrom-Ladestationen für Elektrofahrzeuge, während IEC 61851-23 Gleichstrom-Ladestationen behandelt (vgl. DKE 2012, 1). IEC 61851-24 umfasst schließlich die Kommunikation zwischen externem DC-Ladegerät und dem Elektrofahrzeug während des konduktiven Ladevorgangs (vgl. DKE 2012, 1).

Bislang wurde nur der kabelgebundene Ladevorgang betrachtet. Vor allem in Bezug auf Smart Grids bietet das induktive Laden Möglichkeiten für mehr Sicherheit beim Austausch von Energie zwischen Fahrzeug und der Netzinfratrstruktur (vgl. e-mobil BW 2010, 24). Für den Einsatz dieser Technologie im Rahmen der Elektromobilität wurden bislang jedoch noch keine Normen veröffentlicht. Jedoch wurde mit IEC 61980-1 bereits ein Entwurf entwickelt, der sich mit den allgemeinen Anforderungen an elektronische Bauteile zur Aufladung von Elektrofahrzeugen befasst (vgl. NPE 2012, 8).

5.3.4.1.2 Datenfluss

Dem Ladevorgang liegen zahlreiche Anwendungsfälle zugrunde, die sich in vielerlei Hinsicht unterscheiden. Neben dem Energiefluss bildet während des Ladevorgangs eine zusätzliche Übertragung von Daten die Voraussetzung für die Integration in ein Smart Grid sowie die Nutzung von Netzdienstleistungen.

Die Nationale Plattform Elektromobilität beschreibt in ihrer Normungsroadmap (2012, 28), wie die Kommunikation mit dem Smart Grid durch den Einsatz von variablen Preismodellen seitens der Netzbetreiber es ermöglicht, Einfluss auf die Auslastung des Stromnetzes zu nehmen. So können kurzfristige Über- bzw. Unterkapazitäten durch entsprechende Preisanpassungen ausgeglichen werden. Auch kann die Kommunikation mit der Netzinfratrstruktur Strategien zum Speichermanagement ermöglichen. Rückspeisungen können bei Bedarf dazu dienen, die Höhe der Netzauslastung konstant zu halten. Mehr noch als bei der Realisierung von Last- und Speichermanagement liegt es nahe, durch Kommunikationsprotokolle die Nutzung von Diensten zu ermöglichen. Dies beinhaltet sowohl die Strommessung als auch die Abrechnung. Bei der Energiemessung durch Wechselstromladung kann dabei auf das gängige Zählersystem zurückgegriffen werden. Da für die Nutzung von Energieübertragungen durch Gleichstrom und Induktion noch keine einheitliche Zählertechnologie vorhanden ist, besteht hier noch Bedarf für eine

Standardisierung. Für die mit der Strommessung verbundene Abrechnung kann durch Normen auf Verfahren der Online-Abrechnung zurückgegriffen werden, wie bspw. die Vorgehensweisen von Kreditkartenunternehmen.

Für die Standardisierung der Kommunikation zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeug ist die Norm IEC 15118 mit der Bezeichnung „Road vehicles – Vehicle to grid communication interface“ zuständig. Der Entwurf ist in drei Teile untergliedert und befindet sich noch in der Entwicklung (vgl. IEC 2010, 94-95). Der erste Teil enthält allgemeine Informationen, Rollenbeschreibungen und Definitionen zu relevanten Anwendungsfällen. Teil zwei beschreibt technische Protokolle und die Anforderungen bzgl. des Open Systems Interconnection (OSI) Schichtenmodells. Außerdem werden Abläufe sowie das Sicherheitskonzept festgelegt. Im dritten Teil werden schließlich Anforderungen an die physikalischen und die Datenübertragungsschichten spezifiziert (vgl. Kaluza 2011, 3). Die IEC 15118 Norm berücksichtigt bestehende Standards aus dem IT-Umfeld sowie bewährte Konzepte der IT-Sicherheit. Ferner ist eine Integration von Value Added Services möglich, sowie die Abbildung von Abrechnungs- und Geschäftsmodellen. Datenvalidierung findet dabei mit Werkzeugen aus der Software-Entwicklung statt. Zudem wird in Ansätzen die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Backend-System beschrieben. Dabei wird das Kommunikationskonzept als Gesamtsystem verstanden (vgl. Hardt 2011, 20).

Die Protokolle, welche in der Elektromobilität für die Kommunikationsprozesse eingesetzt werden, lassen sich anhand des ISO/OSI Schichtenmodells beschreiben. Dieses Modell wurde von der internationalen Standardisierungseinrichtung zur Strukturierung der Rechnerkommunikation festgelegt und soll als gemeinsame Basis für die Kommunikation von verschiedenen Rechnern mit unterschiedlichen Betriebssystemen zur Verfügung stehen. Das in der ISO 7498 definierte OSI Referenzmodell unterscheidet zwischen sieben Schichten, wobei eine Kommunikation zwischen zwei Systemen nur auf gleichen Schichten erfolgen kann (vgl. Facchi 1995, 5).

Die folgende Abbildung, angelehnt an Hardt (2011, 19), veranschaulicht die in der IEC 15118 festgelegten Technologien für jede Schicht des OSI Referenzmodells.



Abbildung 20 : ISO/OSI Schichtenmodell

Die in den Schichten zwei bis sechs verwendeten Protokolle und Standards sind in der Informationstechnik etabliert und werden universell eingesetzt. Dies vereinfacht die Kommunikation mit bestehenden IT-Systemen und ermöglicht so eine bessere Integration. Für die Schichten eins und zwei sind in IEC 15118 jedoch spezielle Technologien vorgesehen. Der Homeplug GreenPHY IEEE 1901 Standard, welcher in der ersten Schicht zum Einsatz kommt, sieht eine Datenübertragung über das Stromnetz vor und ist speziell für den Einsatz in Smart Grids entwickelt worden (vgl. HomePlug Powerline Alliance 2012, 1). Gleichmaßen neu ist das Konzept der Vehicle to grid communication (V2G) bzw. Fahrzeugeinspeisung. Es beschreibt die Speicherung und Abgabe vom elektrischem

Strom aus dem öffentlichen Stromnetz in Elektro- und Hybridautos (vgl. Quinn et al. 2009, 1).

5.3.4.1.3 Datensicherheit

Um die Zugriffsrechte auf die zuvor beschriebenen Dienste durch eine Benutzerverwaltung zu steuern, sind Identifikations- und Authentifizierungsmaßnahmen notwendig. Dies ist bspw. Voraussetzung für eine personenbezogene Abrechnung des Aufladens an einer öffentlichen Ladesäule. Laut der Systemanalyse Bwe mobil (2010, 25) kommen für die Authentifikation eines Nutzers innerhalb eines Smart Grids mehrere Verfahren in Frage. Eine Simkarte im Fahrzeug könnte als Schnittstelle für eine kabellose Netzwerkverbindung dienen, durch welche die nötigen Daten übertragen werden. Ebenso bieten sich RFID und Smartcard als mögliche Schnittstellen an. Zusätzlich wäre eine Anmeldung via Mobiltelefon möglich.

Der Einsatz von Elektrofahrzeugen erfordert einen häufigen Informationsaustausch, durch den Daten an verschiedenen Stellen erfasst und gespeichert werden. Um die Sicherheit dieser Daten zu gewährleisten sind besondere Maßnahmen nötig. Vor allem sollten Vorkehrungen gegen Angriffe auf die IT-Infrastruktur getroffen werden, um sensible Daten zu schützen. Zur Gewährleistung der Datensicherheit kann jedoch auf bereits vorhandene Normen zurückgegriffen werden. So beschreibt die Norm IEC 27001 ein Managementsystem für Informationssicherheit, welches allgemeingültig ist und Informationssicherheitsbelange angemessen behandeln und geeignete Maßnahmen ergreifen kann (vgl. NPE 2012, 30). Zur Sicherung der Kommunikation mit den Steuerungssystemen der Energienetze wurden ebenfalls schon Empfehlungen getroffen. Dies geschieht vor allem durch IEC 61850 und wird bspw. durch IEC 62351 ergänzt (vgl. NPE 2012, 30). Außerdem stellt das bdeW Whitepaper „Anforderungen an sichere Steuerungs- und Telekommunikationssysteme“ die grundlegenden Sicherheitsanforderungen für die Steuerungssysteme im EVU-Umfeld auf (vgl. NPE 2012, 30). Dies erlaubt eine Anwendung für Systeme der Elektromobilität.

5.3.4.1.4 Gegenwärtiger Stand der Normung

Die Betrachtung der gegenwärtigen Situation bzgl. Normen und Standards zur Kommunikation in der Elektromobilität zeigt, dass in vielen Bereichen noch ein hoher

Abstimmungsbedarf herrscht. Der Standardisierungsprozess ist bzgl. der Kommunikation zwischen Ladesäule und Fahrzeug jedoch relativ fortgeschritten, so dass Vorschläge für Normen zu den Aspekten Energiefluss, Datenfluss, Informationssicherheit sowie der Authentifizierung des Anwenders bereits als Normen festgehalten wurden. Um die aktuelle Situation zusammenzufassen, veranschaulicht folgende Grafik die zuvor beschriebenen Normen und Standards.

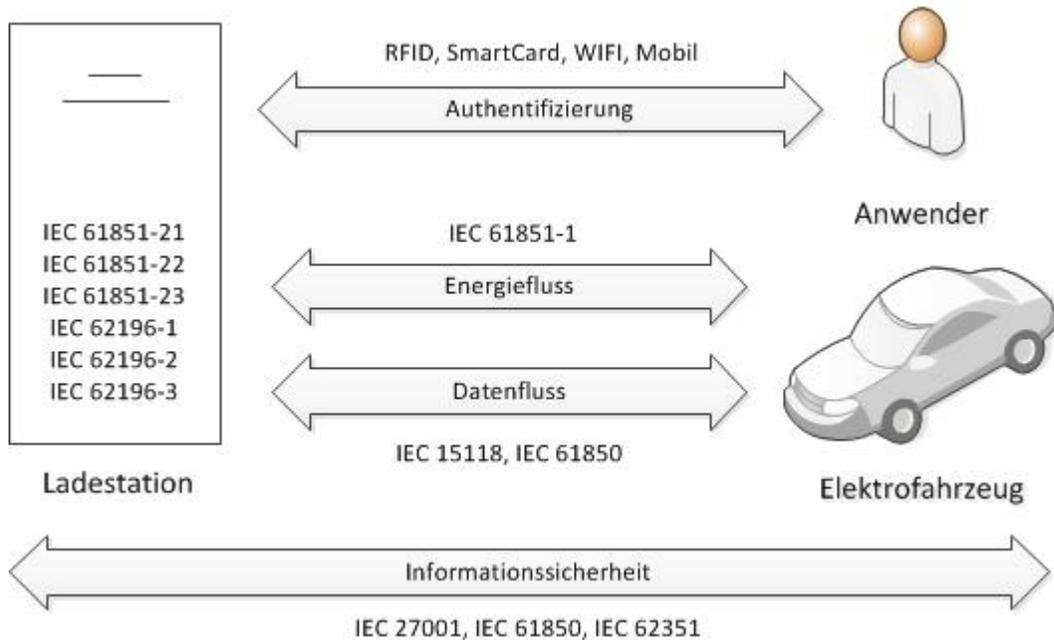


Abbildung 21 : Normenübersicht Frontend

5.3.5 Kommunikation zwischen Ladestation und Backend

Während die Normung zwischen Fahrzeug und Ladestation schon weit vorangeschritten ist, gibt es zwischen Ladestation und Backend noch erheblichen Normungsbedarf. Es gibt zwar Ansätze zur Standardisierung dieses Bereichs, bspw. in der IEC 15118, welche die Backend-Interaktion abstrakt spezifiziert (vgl. Kaluza 2011, 2). Es wird beschrieben, dass das Backend auf der einen Seite Zählerstände empfängt, auf der anderen Seite liefert es der Ladestation Zertifikate, Signaturschlüssel, Revocation-Listen und Preistabellen (vgl. Kaluza 2011, 9). Außerdem findet ein Austausch sicherheitsrelevanter Informationen statt (vgl. Kaluza 2011, 15). Jedoch erfordert der E-Mobility Sektor u.a. aufgrund der sehr hohen Datenmengen, welche beim Betrieb einer entsprechenden Infrastruktur entstehen, neue Konzepte für Backend-Systeme.

5.3.5.1 Morphologische Analyse

Kernpunkt der Morphologischen Analyse bildet der Morphologische Kasten. Um den Modellvergleich zu ermöglichen, welcher anhand dieser Methode durchgeführt werden soll, ist zunächst eine Definition der Merkmale sowie der entsprechenden Ausprägungen notwendig. Dazu werden Elemente identifiziert, die bzgl. der betrachteten Systeme eine hohe Relevanz aufweisen. Die Ausprägungen dieser Merkmale lassen sich eindeutig voneinander abgrenzen, so dass ein konkreter Vergleich möglich wird. Die folgende Abbildung zeigt den Morphologischen Kasten. Es folgt eine Definition der Merkmale sowie der zugehörigen Ausprägungen.

Merkmal	Ausprägung			
Authentifizierung mit Fahrer	RFID	Mobil (Simkarte)	SmartCard	WLAN
Energieübertragung	Konduktiv	Induktiv		Batteriewechsel
Kommunikationsmedium zu Backend	WLAN	Powerline		LAN
Authentifizierungsschnittstelle zu Backend	Nativ		Software as a Service	
Kommunikationsprotokoll	HTTP	SOAP	SIP	
Abrechnung eines Ladevorgangs	Zyklisch		Echtzeit	

Abbildung 22 : Morphologischer Kasten

Um Zugang zu Diensten einer E-Mobility Infrastruktur zu erhalten, ist eine *Authentifizierung* des Anwenders erforderlich. Nur so können Modelle zur individuellen Abrechnung angeboten werden. Da Authentifizierungsvorgänge auch in anderen Branchen notwendig sind, können Technologien eingesetzt werden, die durch den Einsatz in anderen Märkten erprobt sind. Drahtlose Verbindungen stehen dabei im Vordergrund. Die Kommunikation kann so durch RFID, Wireless Local Area Network (WLAN) oder das Mobilfunknetz erfolgen. Als RFID werden kontaktlose ID-Systeme bezeichnet, bei denen

eine drahtlose Übertragung der Daten zwischen Datenträger und zugehörigem Lesegerät erfolgt (vgl. Finkenzeller 2008, 1). Bei einem WLAN erfolgt die Kommunikation hingegen kabellos über ein lokales Netzwerk. Als erfolgreichste Technologie hat sich dabei der 802.11 Standard durchgesetzt (vgl. Gast 2005, 1). Zusätzlich ist der Einsatz einer SmartCard möglich. Dabei handelt es sich um Kunststoffkarten mit normierten Abmessungen, die mit einem Mikrochip ausgestattet sind. Die Daten, welche auf diesem Chip gespeichert sind, können zur Identifikation verwendet werden (vgl. Langer/Roland 2010, 33).

Die *Energieübertragung* ist der Kern eines Smart Grid und findet typischerweise an festgelegten Ladepunkten statt. Die Technologie, welche zur Aufladung eines Elektrofahrzeugs eingesetzt wird, hängt stark vom Geschäftsmodell ab. Als konventionelles Vorgehen kann das konduktive Laden durch eine kabelgebundene Verbindung mit der Ladesäule angesehen werden. Es gibt allerdings auch Bemühungen, den Ladevorgang induktiv zu ermöglichen und so auf eine kabelgebundene Verbindung zu verzichten. Zusätzlich bietet sich der vollständige Wechsel des Akkus an, um ohne Wartezeiten eine Weiterfahrt zu ermöglichen. Da der Aufbau der Infrastruktur zum Aufladen eines Elektrofahrzeugs durch die eingesetzte Ladetechnologie beeinflusst wird und damit auch die Anforderungen an die Kommunikation beeinflusst, ist eine Betrachtung dieses Aspekts sinnvoll.

Die Nutzung der Ladesäule erzeugt große Datenmengen, welche i.d.R. an das IT-System des Betreibers weitergeleitet werden. Die Übertragung dieser Daten erfordert ein *Kommunikationsmedium*, welches den Ansprüchen des Smart Grid gerecht werden kann. Besonders bei einer hohen Anzahl an Ladestationen ist die Infrastruktur zur Kommunikation mit dem Backend kritisch für die Stabilität des Systems. Dazu sollte das Kommunikationsmedium hinsichtlich Bandbreite und Zuverlässigkeit den Ansprüchen des Anwenders gerecht werden. Der Aufbau des Kommunikationsnetzes zwischen Backend und Ladestation kann durch Technologien erfolgen, welche in anderen Branchen ebenfalls zum Einsatz kommen. Die Verbindung via Local Area Network (LAN) erfolgt durch eine kabelgebundene Netzwerkverbindung. Ein kabelloses Netzwerk hingegen lässt sich wie im vorigen Absatz beschrieben durch WLAN realisieren. Die Datenübertragung via Powerline verfolgt einen anderen Ansatz. Bei dieser Technologie werden durch die

Trägerfrequenztechnik vorhandene Stromnetze genutzt, um neben der Energieübertragung zusätzlich Daten zu übermitteln (vgl. Carcelle 2006, 1).

Auf Grundlage des Kommunikationsmediums wird durch die *Authentifizierungsschnittstelle* des Backend-Systems die Organisation des Datenaustauschs festgelegt. Der Aufbau des IT-Systems kann hinsichtlich der Offenheit unterschiedlich ausgeprägt sein. Dabei wird bei dieser Analyse zwischen nativen Softwaresystemen und Software as a Service (SaaS) unterschieden. Native Software wird speziell für die Hardware-Infrastruktur entwickelt und ist dadurch nicht universell einsetzbar. Im Gegensatz dazu ermöglicht Software as a Service eine offene Gestaltung des Systems, da die Software nicht lokal installiert werden muss. Sie kann flexibel als Service über das Internet genutzt werden (vgl. Agrawal et al. 2011, 1). Durch die Betrachtung der Schnittstelle zwischen Backend und Ladestation können Aussagen über die Offenheit des Modells getroffen werden. Dies ist ein entscheidender Faktor für die Erweiterbarkeit des Systems.

Neben der Organisation und dem Medium der Kommunikation wird ergänzend dazu die Wahl des *Kommunikationsprotokolls* in die Betrachtung einbezogen. Die Ausprägung dieses Merkmals ist abhängig von der eingesetzten Schnittstelle zwischen Ladestation und Backend. Es wird hier zwischen drei Protokollvarianten unterschieden. Das Hypertext Transfer Protocol (HTTP) steuert den Datenaustausch zwischen Client und Server. Daten sind auf dem Server gespeichert und werden durch eine Anfrage des Clients aufgerufen. Dieses Prinzip bildet die Grundlage des Internets (vgl. Gourley/Totty 2002, 4). Zudem kommt das Session Initiation Protocol (SOAP) für die Kommunikation in Frage. SOAP ist ein Protokoll das auf der Extensible Markup Language (XML) basiert und für den Austausch von strukturierten Informationen in einer dezentralen und verteilten Umgebung entwickelt wurde (vgl. Gudgin et al. 2007, 1). Zudem wird das Session Initiation Protocol (SIP) als Ausprägung festgehalten. Durch dieses Protokoll können Kommunikationssitzungen zwischen mehreren Teilnehmern aufgebaut, modifiziert und terminiert werden (vgl. Rosenberg et al. 2002, 8-10).

Das letzte Merkmal, die *Abrechnung eines Ladevorgangs*, beschreibt den Abrechnungsvorgang bzgl. der zeitlichen Dimension. Die Nutzung von flexiblen Abrechnungsdiensten kann nur dann gewährleistet werden, wenn aktuelle Informationen zu

den Tarifen verfügbar sind. Auch legt die Regelmäßigkeit des Datenaustauschs zwischen Ladesäule und Backend fest, wie schnell der Zugriff auf registrierte Dienste des Nutzers erfolgen kann. Grundsätzlich kann die Abrechnung zyklisch oder in Echtzeit erfolgen. Eine Kommunikation ohne zeitliche Verzögerung erfordert eine Verbindung zum Backend, welche permanent online ist. Bei der Übertragung in Zyklen ist es ausreichend, wenn bspw. alle 24 Stunden ein Update erfolgt.

5.3.5.1.1 Anwendungsfall: EDISON Project

Das EDISON-Projekt ist ein teilweise öffentlich finanziertes internationales Forschungsprojekt. EDISON steht für Electric vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks (vgl. Foosnæs 2009, 1). Das Projekt wurde im Jahr 2009 gegründet um zu untersuchen, wie eine große Anzahl an elektrisch angetriebenen Fahrzeugen in Betrieb genommen werden kann und dabei sowohl die Fahrzeugeigentümer als auch die Allgemeinheit durch Reduktion von CO₂ Emissionen davon profitieren (vgl. Binding et al. 2010, 1). Die an dem Projekt beteiligten Partner sind: Die dänische Energievereinigung, DONG Energy, Østkraft, IBM, Siemens, die technische Universität Dänemark und das Unternehmen Eurisco (vgl. IDC-EMEA 2009, 102-103). Das gesamte Projekt ist in verschiedene Bereiche unterteilt, diese werden von jeweils einem Partner betreut. Die verschiedenen Bereiche sind: EV technology, project management (Dänische Energievereinigung), system architecture design for EV systems (Technische Universität Dänemark), central fast-charge and battery swapping dev. (Siemens), EV communication and physical charging post (Eurisco), distributed integration technology development (IBM), functional testing (DONG Energy) und field testing (Østkraft) (vgl. Foosnæs 2009, 1). Das Ziel des Projekts ist eine gründliche Untersuchung der Chancen und Herausforderungen von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen und die Entwicklung einer technischen Umgebung, welche auf der dänischen Insel Bornholm demonstriert werden soll. Zum Erreichen dieses Ziels werden Forschungen in verschiedensten Bereichen der Elektromobilität betrieben (vgl. Binding et al. 2010, 1). Im Zuge des Voranschreitens des Projekts werden Reporte und wissenschaftliche Arbeiten von Forschern der einzelnen Bereiche für den freien Zugang veröffentlicht. Diese dienen im Folgenden als Quellen für die Betrachtung der Ausprägungen des Morphologischen Kastens.

Authentifizierung mit Fahrer

Im Rahmen des EDISON-Projekts wird die Validierung des Nutzers durch die *RFID-Technologie* realisiert. Dies geschieht durch den Einsatz einer RFID-Karte und einem entsprechenden Lesegerät. Die Authentifizierung erfolgt durch einen Nachrichtenaustausch zwischen Anwender und Ladestation, wobei ausgehend von der Ladestation mit Kartenanbieter und Betreiber der Ladestationen kommuniziert wird um die Daten zu überprüfen. Anschließend wird der Zugriff auf die Ladestation freigegeben oder verweigert. Dabei wird betont, dass die Umsetzung dieser Technologie nicht zwingend durch eine Kunststoffkarte erfolgen muss, sondern prinzipiell andere Ausprägungen, wie etwa Schlüsselanhänger oder Aufkleber, zum Einsatz kommen können (vgl. Saabye 2011, 6).

Energieübertragung

Dem Report von Foosnæs et al. (2011, 13-14) ist zu entnehmen, dass der Ladevorgang *konduktiv* realisiert werden soll. So ist die kabelgebundene Verbindung des Elektrofahrzeugs mit der Ladestation im Gegensatz zum induktiven Laden oder dem Batteriewechsel kostengünstig zu realisieren. Zudem ist, wie in Kapitel 3.4 beschrieben, der Standardisierungsprozess für das konduktive Laden verglichen mit den Alternativen relativ weit fortgeschritten. Das Aufladen wird beim EDISON-Projekt anhand von vier unterschiedlichen Szenarien dargestellt, dem herkömmlichen Aufladen via Wechselstrom, dem Schnellladen durch Gleichstrom sowie Multifunktions-Ladestationen die sowohl Gleich- als auch Wechselstromübertragungen unterstützen.

Kommunikationsmedium zu Backend

Die Datenübertragung zwischen den Ladestationen und den Backend-Servern kann durch eine *LAN* oder *WLAN* Verbindung stattfinden, da der IEC 61850 Standard verwendet wird (vgl. Gantenbein 2011, 20). Dieser basiert auf einer Kommunikation via Ethernet (vgl. Beuth 2012, 1). Die im Folgenden beschriebenen Protokolle, welche bei EDISON Verwendung finden, können so ohne Kompatibilitätsprobleme eingesetzt werden, da (Wireless-)LAN in vielen Bereichen erprobt und dementsprechend robust ist.

Authentifizierungsschnittstelle zu Backend

Das Backend-System kann bei EDISON durch ein Web-Interface angesprochen werden, weshalb diese Lösung als *Software as a Service* einzuordnen ist. Die Website kann sowohl stationär von einem Desktop-PC als auch unterwegs von einem mobilen Endgerät aus erreicht werden. Als Benutzer dieser Anwendung ist es möglich, bspw. den Ladestatus oder die aktuelle Verfügbarkeit der Elektrofahrzeuge zu überprüfen. Zudem ist es möglich, Tariffinformationen abzulesen und entsprechende Pläne für das Aufladen zu erstellen (vgl. Gantenbein 2011, 34-36).

Kommunikationsprotokoll

Beim EDISON-Projekt kommen für die Kommunikation mehrere Protokolle zum Einsatz. Zum einen wird Representational State Transfer (REST) verwendet. Dies ist ein Web-Service, der auf dem *HTTP-Standard* basiert und sehr flexibel ist. Deshalb ist es möglich, durch die Verwendung von IEC 61850 sowohl die plattformübergreifende Kommunikation als auch die Interoperabilität zwischen den Systemen zu verbessern (vgl. Gantenbein 2011, 29-30). Außerdem kommt das Session Initiation Protocol (SIP) zum Einsatz. SIP ist ein offenes und flexibles Protokoll mit dem Zweck, Clienten über das Internet in Verbindung zu setzen. Da ein SIP-Dialog verbindungslos ist, kann die Kommunikation ressourcenschonend erfolgen (vgl. Gantenbein 2011, 33).

Abrechnung eines Ladevorgangs

Die IT-Infrastruktur, welche beim EDISON-Projekt zum Einsatz kommt, umfasst diverse Akteure die miteinander kommunizieren. Dabei gibt es keine festgelegten Zeiten, zu denen der dafür nötige Datenaustausch stattfindet (vgl. Gantenbein 2011, 21-25). Dementsprechend werden bspw. Tariffinformationen oder Nutzerdaten in *Echtzeit* abgefragt und übertragen, da der Informationsaustausch durch entsprechende Interaktionen mit den verschiedenen Teilnehmern der Infrastruktur ausgelöst wird.

Merkmale	Ausprägung			
Authentifizierung mit Fahrer	RFID	Mobil (Simkarte)	SmartCard	WLAN
Energieübertragung	Konduktiv	Induktiv	Batteriewechsel	
Kommunikationsmedium zu Backend	WLAN	Powerline	LAN	
Authentifizierungsschnittstelle zu Backend	Nativ	Software as a Service		
Kommunikationsprotokoll	HTTP	SOAP	SIP	
Abrechnung eines Ladevorgangs	Zyklisch	Echtzeit		

Abbildung 23 : Morphologischer Kasten (Edison)

5.3.5.1.2 Anwendungsfall: Siemens AG

Die folgende Ausarbeitung der Ausprägungen des Morphologischen Kastens in Bezug auf die Siemens AG basiert neben den im Text genannten Quellen auf einem telefonischem Interview mit Klaudia Kunze und der Befragung per E-Mail von Werner vom Eysler. Klaudia Kunze ist Pressesprecherin für die zentrale Forschung Corporate Technology bei Siemens und Werner vom Eysler ist ebenfalls bei Siemens Corporate Technology und war Projektleiter des Projekts Modellregion Elektromobilität München - Drive eCharged.

In diesem Abschnitt werden die Aktivitäten der Siemens AG anhand der Morphologischen Analyse untersucht. Die Siemens AG ist ein 1847 gegründeter integrierter Technologiekonzern, welcher sich in die vier Hauptgeschäftsfeldern Energie, Medizintechnik, Industrie sowie Infrastruktur und Städtebau gliedert (vgl. Siemens 2012, 7). Die Aktivitäten der Siemens AG im eCar Umfeld lassen sich in die drei Kategorien outside eCar, inside eCar und eCar-Produktion unterteilen. Die erstgenannte Kategorie beinhaltet die Bereiche Energieversorgung, -speicherung und Lastfluß-Management sowie die Mittelspannungsverteilung, das Smart Grid und Metering und das Laden von elektronisch angetriebenen Fahrzeugen. Die Kategorie inside eCar besteht aus den Feldern

Elektromotorenherstellung und der Leistungselektronik. Letztgenannte Kategorie unterteilt sich in die Automatisierung von Fahrzeugproduktion, Batterieproduktion und Elektromotorenproduktion. Jährlich verlassen mehr als 1,5 Millionen Elektromotoren die Werke von Siemens, aus der Produktion dieser gewonnenes Know-how und Kompetenzen sollen bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen profitabel eingebracht werden. So entwickelt Siemens beispielsweise Schlüsselkomponenten für den Antriebsstrang elektrisch angetriebener Fahrzeuge. Zum Portfolio gehören Elektromotoren, Leistungselektronik und intelligente On-Board Ladetechnik (vgl. Siemens 2012, 2). Das von Siemens entwickelte serielle und modulare Antriebssystem ELFA ist ein Hybridantrieb, welches dem Kunden (Fahrzeugherstellern) eine flexible Möglichkeit bieten soll, diesen individuell an die ihm gegebenen Anforderungen zu konfigurieren. Das ELFA Antriebssystem ist so konstruiert, dass allein der Elektromotor für den Antrieb sorgt. Einzig ein elektrischer Generator, welcher die Batterie lädt, wird von einem Verbrennungsmotor angetrieben. Durch diese Anordnung sollen sämtliche Vorteile eines rein elektrisch betriebenen Fahrzeugs zum Tragen kommen (vgl. Siemens 2012, 1). Außerdem ist Siemens an der Entwicklung von Ladesäulen beteiligt. Im Mittelpunkt des Interesses stehen verschiedene Einsatzzwecke und die Beschleunigung des gesamten Ladevorgangs. Ziel sei eine flächendeckende und modulare Ladeinfrastruktur, welche einfaches und sicheres Stromtanken überall möglich mache (vgl. Siemens 2012, 4).

Authentifizierung mit Fahrer

Im Rahmen des Pilotprojekts For Sustain-electromobility (4-S), welches von Corporate Technology, der globalen Siemens-Forschung geleitet wird, wurde ein Ganzheitliches System aus unterschiedlichen Technologien und Anwendungen, wie Ladeinfrastruktur, Antriebstechnik und Kommunikationssysteme zusammengeführt, welches im Alltag getestet wurden (vgl. Siemens 2011, 1). Hierbei wurden Ladesäulen entwickelt, welche dem Benutzer über die Identifizierung mithilfe von *RFID*-Karten zugänglich gemacht worden sind (vgl. Siemens 2012, 1). Für das Projekt Drive eCharged stellt Siemens die Ladeinfrastruktur in Form von Ladesäulen und Heimpladestationen. Auch hier erfolgt die Identifizierung über eine *RFID*-Karte (vgl. Siemens 2010, 2). Dies ist eine kontaktlose Art der Verbindung, die den für die Dienste des Energienetzes registrierten Benutzer die notwendige Autorisierung für den Zugang zur Ladestation verschafft.

Energieübertragung

Das Konzept der Siemens AG umfasst eine Vielzahl von Lademöglichkeiten für elektrisch angetriebene Fahrzeuge. Mit der modularen Ladesäule Charge CP700A wurde eine Ladestation für das Aufladen von Elektrofahrzeugen in der Öffentlichkeit entwickelt. Diese Ladestation lädt ein Fahrzeug innerhalb einer Stunde vollständig auf, Ladestation und Auto werden hierbei mit einem Kabel inklusive Stecker verbunden. Angedachte Einsatzgebiete sind unter anderem öffentliche Parkplätze und Parkhäuser von Einkaufszentren. Weitere konduktive Ladeansätze sind DC-(Gleichstrom) Schnellladestationen, welche dort zum Einsatz kommen sollen, wo bevorzugt kurz geparkt und somit auch schnell geladen werden muss. Auch die Wallbox ist eine konduktive Möglichkeit des Ladens. Sie ist für den privaten Bereich gedacht und soll sich platz sparend, schnell und einfach, beispielsweise in der eigenen Garage, installieren lassen (vgl. Siemens 2012, 5).

Auch das induktive Laden ohne den Einsatz eines Kabels spielt in den Entwicklungen von Siemens eine Rolle. Der Ansatz ist, dass eine Primärspule vollständig im Boden versenkt wird und damit die Verbindung zum öffentlichen Energienetz bildet. Startet der Fahrer das Laden, fließt Strom durch diese Primärspule. Als Folge baut sich ein Magnetfeld auf, das in der im Fahrzeug eingebauten Sekundärspule einen elektrischen Strom anregt. Dieser induzierte Strom lädt die Batterie des Elektrofahrzeugs auf (vgl. Siemens 2012, 5).

Ein weiterer von Siemens verfolgter Ansatz des schnellen Ladens sind so genannte Swapping Stations. Hierbei handelt es sich um den Austausch von leeren mit aufgeladenen Batterien. Da hierbei alle elektrischen Elemente innerhalb eines geschlossenen Prozesses oder Systems gehalten werden, erfolgt der Austausch sicher, schnell, komfortabel und erlaubt hohe Reichweiten ohne lange Wartezeiten (vgl. Siemens 2012, 5). Als Ausprägung des Morphologischen Kastens ist sowohl das *konduktive* und *induktive* Laden als auch der *Batteriewechsel* festzustellen.

Kommunikationsmedium zu Backend

Die Ladestationen des Projektes Modellregion Elektromobilität München - Drive eCharged waren nicht an ein Kommunikationsnetz angebunden. Die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem 10 monatigen Feldversuch wurden im Rahmen der Entwicklung der nächsten Generation verwertet. Die Ladestation CP500A ist kommunikationsfähig. Die Verbindung

mit dem Backend basiert auf einer Ethernetverbindung. Dies kann sowohl über eine *LAN*- als auch eine *WLAN-Verbindung* realisiert werden.

Authentifizierungsschnittstelle zu Backend

Die Siemens AG stellt Softwarelösungen bereit, welche eine Kommunikation mit dem Backend über ein Web Portal realisieren. Im Rahmen des Projekts Source London können Nutzer sich hierfür mit einer Mitgliedskarte anmelden. Das Portal ermöglicht diesen sich zu registrieren und den erstellten Account zu verwalten. Dieses Bereitstellen von Software für den Kunden ist als *Software as a Service* zu bezeichnen.

Kommunikationsprotokoll

Bei bisherigen Feldversuchen wie dem Source London wurde die Kommunikation innerhalb des Systems auf Basis von *HTTP* Protokollen realisiert. Auf speziellere Protokolle wie SIP oder SOAP wurde seitens der Siemens AG bewusst verzichtet.

Abrechnung eines Ladevorgangs

Möchte der Konsument sein Auto an einer öffentlichen Ladestation aufladen, so muss er sich an dieser anhand seiner User-ID für den Ladevorgang identifizieren. Von der Ladesäule wird die Authentifizierung an eine Mobilitätszentrale geleitet, welche dann die Autorisierung erteilt oder diese verweigert. Wird die Autorisierung erteilt, gibt die Ladesäule den Ladevorgang frei und das Elektrofahrzeug wird geladen. Nach Beendigung des Vorgangs wird eine Verbrauchsübermittlung zunächst von Ladesäule zu Mobilitätszentrale, im Anschluss dann von letzterer an das SAP des Anbieters gesendet. Die Verbuchung der an einer Ladesäule getätigten Aufladungen geschieht in regelmäßigen zeitlichen Abständen, wie beispielsweise jeweils um 23 Uhr (vgl. Zahnjel 2011, 4). Dementsprechend ist die Verbuchung als *zyklisch* zu bezeichnen.

Merkmal	Ausprägung			
Authentifizierung mit Fahrer	RFID	Mobil (Simkarte)	SmartCard	WLAN
Energieübertragung	Konduktiv	Induktiv		Batteriewechsel
Kommunikationsmedium zu Backend	WLAN	Powerline		LAN
Authentifizierungsschnittstelle zu Backend	Nativ	Software as a Service		
Kommunikationsprotokoll	HTTP	SOAP	SIP	
Abrechnung eines Ladevorgangs	Zyklisch	Echtzeit		

Abbildung 24 : Morphologischer Kasten (Siemens)

5.3.5.1.3 Anwendungsfall: Bosch Software Innovations

Die Morphologische Analyse soll im Folgenden auf ein Produkt der Bosch Software Innovations (BSI) GmbH angewendet werden. Das Unternehmen wurde 1997 gegründet und 2008 in die Bosch Gruppe eingegliedert. Seitdem bietet es neben Softwarelösungen für den Finanzsektor und IT-Beratung auch Systemlösungen für den E-Mobility Sektor. Aufgrund der starken Präsenz im E-Mobility Sektor, bspw. durch ein Pilotprojekt in Singapur, kann das besprochene Modell von Bosch als Referenz für künftige Entwicklungen angesehen werden und ist so relevant bei der Betrachtung von Standardisierungsprozessen. (vgl. Bosch Software Innovations 2012, 1)

Die Software-Lösungen von Bosch Software Innovations werden zur Bereitstellung von Elektromobilitäts-Diensten über das Internet eingesetzt. So lassen sich Ladestationen untereinander und mit den beteiligten Partnern, wie Fahrern, Service Providern und Geschäftspartnern, verbinden. Diese Systemlösung wird neben dem Internetauftritt der E-Mobility Sparte vor allem durch das E-Mobility White Paper „The Core Processes for Emerging Business Models“, verfasst von Tom Debevoise (2011), dargestellt, welche als Informationsgrundlage für die Morphologische Analyse dienen. Zusätzlich fließen

Informationen aus einem Interview mit Dr. Thomas Weber, Vertriebsleiter Systeme und Elektromobilität, Bosch Software Innovations, in die Analyse mit ein. Das Angebot gliedert sich demnach in das E-Mobility Starter Package, basierend auf der E-Mobility Solution. Mithilfe des Starter Packages sollen alle Kernprozesse einer Ladeinfrastruktur als Software as a Service betrieben und zur Verfügung gestellt werden. Diese umfassen einen Rechenzentrumsdienst zur Vernetzung von Ladestationen und die Verwaltung der entsprechenden Web-Portale. Im Rahmen der E-Mobility Solution werden Dienste ermöglicht, die die Kommunikation mit den Ladesäulen ermöglichen. Dies schließt Authentifizierung mit dem Fahrer sowie die Abrechnung des Energieverbrauchs mit ein. Zielgruppen für dieses Angebot bilden u.a. Stadtwerke, Parkplatzbetreiber und Handelsunternehmen.

Dieses System besteht im Kern aus einer modularen Software, die sowohl in den Ladestationen als auch in die Server des Backends implementiert wird. Die folgenden Teilabschnitte stellen den Bezug zwischen den Merkmalen und Ausprägungen des Morphologischen Kastens mit dem beschriebenen System her.

Authentifizierung mit Fahrer

Das betrachtete Modell verwendet zur Identifikation des Fahrers die *RFID-Technologie* zur Validierung der entsprechenden Nutzerkennung. Nachdem sich der Anwender für die Dienste des Energienetzes registriert hat, kann dadurch die notwendige Autorisierung erfolgen, um Zugang zur Ladestation zu erhalten. Dafür wird dem Nutzer eine RFID-Karte ausgestellt, die an den Fahrer-Account gebunden ist, welcher durch die Administrationssoftware verwaltet werden kann. Die Verbindung via RFID erfolgt zudem kontaktlos, wodurch eine unkomplizierte Anmeldung des Fahrers ermöglicht wird.

Energieübertragung

Das Konzept, welches der E-Mobility Solution von Bosch zugrunde liegt, basiert auf einem Netz aus Ladesäulen, die durch die Softwarelösung verwaltet werden. Diese dienen in erster Linie dazu Elektrofahrzeuge mit Energie zu versorgen. Dabei wird das Aufladen durch eine kabelgebundene Verbindung zwischen Fahrzeug und Ladestation realisiert. Als Ausprägung bzgl. der Morphologischen Analyse ist so das *konduktive* Laden festzustellen. Die Einbindung von Ladestationen unterliegt keinen Beschränkungen hinsichtlich der

Hersteller. Durch das offene Konzept der Software ist es möglich, dass sowohl Hardware von Bosch als auch von externen Produzenten in das System integriert werden können.

Kommunikationsmedium zu Backend

Das System der Bosch Software Innovations setzt auf eine Verbindung via *LAN oder WLAN* als physikalische Grundlage für die Datenübertragung. Diese Netzwerktechnologie kommt auch bei herkömmlichen IT-Systemen zum Einsatz und erleichtert dadurch eine Einbindung in bestehende Strukturen. Die Architektur von Bosch ist offen angelegt und soll über das Internet die Vernetzung der Module ermöglichen. Die Kommunikation via (Wireless-)LAN ist aufgrund der starken Verbreitung kostengünstig und flexibel, so dass Einschränkungen aufgrund unternehmensspezifischer Technologien vermieden werden können.

Authentifizierungsschnittstelle zu Backend

Die Software von Bosch wird durch das Hauseigene Rechenzentrum bereitgestellt, wodurch eine Installation von Software auf Kunden- oder Fahrerseite nicht nötig ist. Lediglich ein Internetbrowser ist erforderlich, um die Dienste in Anspruch zu nehmen. Auch der Betrieb des Systems kann über Fernzugriff auf Software und Hardware der Ladestationen über Rendezvous-Server erfolgen. Der Zugriff erfolgt in beiden Fällen über ein Web-Portal. Somit realisiert dieses Modell das Prinzip der *Software as a Service*. Durch diesen Aufbau können im Gegensatz zu nativen Realisierungen Kosten für Soft- und Hardware eingespart werden.

Kommunikationsprotokoll

Die Kommunikation zwischen den Modulen erfolgt bei der Bosch E-Mobility Solution durch HTTP. Dieses Protokoll bildet die Grundlage für Internetverbindungen, wodurch der Web-Service von Bosch im Wesentlichen mit anderen Internetdiensten konform ist. Durch den Einsatz von HTTP kann die gewünschte Offenheit der Architektur sichergestellt werden, da der Zugriff auf die Komponenten ohne die Installation von speziellen Protokollen erfolgen kann.

Abrechnung eines Ladevorgangs

Die Abrechnung erfolgt bei dem betrachteten Modell in *Echtzeit*. Eine permanente Internetverbindung stellt sicher, dass die Daten der Ladestationen mit denen des Backends übereinstimmen und damit auf dem neuesten Stand sind.

Merkmale	Ausprägung			
Authentifizierung mit Fahrer	RFID	Mobil (Simkarte)	SmartCard	WLAN
Energieübertragung	Konduktiv	Induktiv	Batteriewechsel	
Kommunikationsmedium zu Backend	WLAN	Powerline	LAN	
Authentifizierungsschnittstelle zu Backend	Nativ	Software as a Service		
Kommunikationsprotokoll	HTTP	SOAP	SIP	
Abrechnung eines Ladevorgangs	Zyklisch	Echtzeit		

Abbildung 25 : Morphologischer Kasten (Bosch)

5.3.5.1.4 Vergleichsergebnisse

Betrachtet werden im Rahmen der Morphologischen Analyse das Projekt EDISON sowie Systemlösungen der Unternehmen Bosch und Siemens, welche bereits in diversen Pilotprojekten zum Einsatz kommen. Durch einen Vergleich der jeweiligen Merkmalsausprägungen, die bei der Morphologischen Analyse für den Vergleich aufgestellt wurden, sollen Gemeinsamkeiten und Unterschiede verdeutlicht werden.

Authentifizierung mit dem Fahrer

Bei allen Projekten, welche in dieser Arbeit betrachtet werden, findet die Authentifizierung via *RFID* statt. Dies legt nahe, dass diese Technologie in Zukunft eine Große Rolle bei der Interaktion zwischen Fahrer und Ladestation spielen wird.

Energieübertragung

Auch bei der Energieübertragung ist eine gemeinsame Entwicklung zu beobachten. Das *konduktive* Laden ist in dieser Betrachtung ausnahmslos die favorisierte Technologie zum Aufladen eines Elektrofahrzeugs. Die dargelegte Situation bzgl. Normung und Technologiefortschritt der Alternativen zeigt, dass eine Veränderung dieses Trends in naher Zukunft nicht zu erwarten ist.

Kommunikationsmedium zu Backend

Die Datenübertragung von der Ladestation zum Backend erfolgt bislang über ein Ethernet, welches auf einer (*Wireless-*)LAN Verbindung basiert. Die Powerline Technologie wird bei den untersuchten Lösungen bislang lediglich für das Frontend verwendet, während bzgl. des Backends auf vorhandene Netzwerkverbindungen zurückgegriffen wird.

Authentifizierungsschnittstelle zu Backend

Die Schnittstelle zur Authentifizierung ist bei allen betrachteten Modellen als *Software as a Service* ausgeprägt. So wird der Zugang zu Verwaltungsdiensten der Ladestationen und Elektrofahrzeuge durch Web-Portale realisiert, über die auf Funktionen zur Überwachung und Planung zugegriffen werden kann.

Kommunikationsprotokoll

Während *HTTP* bei Siemens und Bosch die Grundlage für die Kommunikation via Internet bildet, kommt beim EDISON-Projekt zusätzlich *SIP* als Protokoll zum Einsatz. Auch wird bei EDISON auf den REST-Service gesetzt, welcher auf dem HTTP-Standard basiert, weshalb sich dieses Projekt von den beiden anderen in diesem Merkmal unterscheidet.

Abrechnung eines Ladevorgangs

Das letzte Merkmal des Morphologischen Kastens, die Abrechnung eines Ladevorgangs, weist ebenfalls unterschiedliche Ausprägungen auf. Bei Bosch und EDISON findet die Übertragung der Abrechnungsdaten an das Backend-System in *Echtzeit* statt. Siemens hingegen setzt auf *zyklische* Abrechnungsvorgänge, welche zu festgelegten Zeitpunkten durchgeführt werden.

5.4 Schlussbetrachtung

Zu Beginn dieser Arbeit wurde die Frage aufgeworfen, ob durch die Analyse von verwendeten Technologien Gemeinsamkeiten erkennbar sind, durch welche auf künftige Standards im E-Mobility Sektor geschlossen werden kann. Die gegenwärtige Situation der Normung und Standardisierung im E-Mobility Sektor ist in vielen Bereichen noch unklar und bedarf einer weiteren Ausarbeitung.

In Kapitel 3.3 konnte dargelegt werden, dass zwischen der Ladestation und dem Fahrzeug bereits weitreichende Vorgaben hinsichtlich Datenübertragung, Sicherheit und Energieübertragung getroffen wurden. Im Gegensatz dazu ist bei der Kommunikation zwischen Ladestation und Backend noch ein hoher Abstimmungsbedarf vorhanden. Dies führt dazu, dass Anbieter von IT-Systemen zur Elektromobilität unterschiedliche Lösungen entwickeln, die an keine Normen gebunden sind. Ein Vergleich dieser Modelle durch eine Morphologische Analyse sollte dabei den aktuellen Stand festhalten und künftige Entwicklungstendenzen aufzeigen.

Der Vergleich von führenden Unternehmen hinsichtlich ihrer Präferenzen unterschiedlicher Technologien im E-Mobility Bereich zeigt, dass der Ladevorgang vorwiegend konduktiv stattfindet und die dafür notwendige Authentifizierung des Fahrers durch die RFID-Technologie abgewickelt wird. Ferner lässt sich feststellen, dass als Kommunikationsmedium auf die bestehende Netzwerkinfrastruktur, dem Ethernet, zurückgegriffen wird. Bei der Umsetzung des Backend-Systems und der entsprechenden Kommunikationsprotokolle sowie dem Abrechnungskonzept sind jedoch Unterschiede zwischen den betrachteten Unternehmen festzustellen, so dass für diesen Bereich derzeit keine Tendenz ermittelt werden kann.

Die vorgenommene Analyse orientiert sich an ausgewählten Modellen relevanter Unternehmen im E-Mobility Sektor. Private und öffentliche Projekte werden jedoch weltweit durchgeführt, weshalb diese Arbeit lediglich einen Teilbereich des aktuellen Forschungsstands repräsentiert. Vor allem die Organisation der Umsetzung des Backend-Systems bedarf aufgrund mangelnder Standards einer weiteren Betrachtung. Die Ergebnisse dieser Ausführungen bieten jedoch einen Überblick über Entwicklungen relevanter Unternehmen, so dass diese als Ausgangspunkt für weitergehende Untersuchungen dienen können.

6 Paying for Fuel in the Age of E-Mobility

(Peter Hensch, Felix Ehrenwerth)

6.1 Einleitung

Steigende Ölpreise, der Klimawandel und damit verbundene Auflagen für Treibhausgasemissionen veranlassen die Suche nach Alternativen zu fossilen Brennstoffen, sowie nach Möglichkeiten zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes. Der Pkw-Verkehrssektor ist mit über 12% an den gesamten CO₂-Emissionen Deutschlands beteiligt (vgl. BMU 2010, 9). Unter gleichbleibenden Bedingungen müssten dort zukünftig Reduzierungen von 80% bis 94% erfolgen, damit die für das Jahr 2050 angesetzten Zielwerte der CO₂-Belastung erreicht werden können (vgl. BMU 2010, 2-5). Vor diesem Hintergrund wird das Thema Elektromobilität viel diskutiert.

Theoretisch ist der Einsatz von rein batteriebetriebenen Fahrzeugen überzeugend. Der wegfallende Motorlärm und eine direkte Umsetzung der Beschleunigung machen das Fahren komfortabel. Der Gebrauch von erneuerbaren Energien ist zudem umweltfreundlich und wenn ein elektronischer Antrieb verwendet wird, gibt es auch keine Belastung durch Feinstaub, Schadstoffe oder CO₂. Neben dem Aspekt Umweltfreundlichkeit bietet Elektromobilität noch weitere Potentiale. Die Abhängigkeit vom Öl kann verringert werden und eine Grundlage sowohl für den Ausbau und die Verbesserung der Stromnetze als auch für multimodale Mobilitätskonzepte wird geboten (vgl. Bundesregierung 2009, 8-9). Ferner könnte ein Aufschwung der Automobilindustrie die gesamte deutsche Wirtschaft stärken (vgl. Bundesregierung 2009, 8).

Darüber hinaus führen geopolitischer und demografischer Wandel, sowie Trends zur Nachhaltigkeit und technischer Fortschritt zu Veränderungen in der Automobilbranche und begünstigen den Wechsel zur E-Mobilität (vgl. Rademacher 2011, 12-13). Prognosen für den weltweiten Anteil aller Elektrofahrzeuge am Markt im Jahr 2020 variieren und reichen von 10% bis zu 33% des Gesamtmarktvolumens (vgl. Wittemann/Feldmann 2011, 1-2; BMU 2010, 9).

Im Rahmen des „nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“ soll Deutschland bis zum Jahr 2020 bereits 1 Million Elektroautos auf den Straßen haben und somit zum Leitmarkt für Elektromobilität werden (vgl. Bundesregierung 2009, 17-19). Hierfür ist ein Drei-Phasen-Programm vorgesehen welches die Marktvorbereitung bis 2014, den Markthochlauf bis 2017 und die Schaffung des Massenmarkts bis 2020 beinhaltet (vgl. NPE 2011, 5).

Die Einführung von elektrischen Fahrzeugen und damit verbundener Technologie birgt jedoch einige Hürden. Elektroautos sind aufgrund der Batterie kostspielig und der Aufbau der benötigten Ladeinfrastruktur befindet sich noch im Anfangsstadium. Zudem ist die Batteriereichweite begrenzt und die Ladezeit bei niedriger Spannung beträgt mehrere Stunden (vgl. Bundesregierung 2009, 10-12). Aus diesen Gründen ist die Nutzerakzeptanz von Elektroautos bisher eher gering (vgl. Arnold et al. 2010, 10-12). Von Akteuren der Anbieterseite sind daher langfristige Investitionen und die Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle erforderlich. Zusätzlich müssen Rahmenbedingungen bezüglich Rechtslage, Aus- und Weiterbildung, ebenso wie Standards und Normen geschaffen werden (vgl. Bundesregierung 2009, 12-13; Arnold et al. 2010, 80).

Weiterführend gibt es durch den Treibstoff Elektrizität einen Wandel vom üblichen Tankvorgang hin zum Aufladen der Fahrzeugbatterie. Dadurch verändert sich neben der Infrastruktur auch die Art und Weise der Informations- und Zahlungsstrukturen.

Ziel dieser Arbeit ist es folgende Fragen zu klären: Welche Geschäftsmodelle werden derzeit getestet und angewendet? Wie sehen die Bedingungen für die erfolgreiche Einführung von innovativen Geschäftsmodellen aus? Wie verändern sich die Zahlungsmodalitäten im Bereich Elektromobilität genau und welche Vor- und Nachteile haben verschiedene Zahlungssysteme? Welche Zahlungssysteme sind erfolgsversprechend für die Zukunft?

Um dies beantworten zu können, werden zunächst wichtige Begrifflichkeiten und Marktakteure definiert. Darauffolgend werden vier bestehende Geschäftsmodelle anhand von Beispielen vorgestellt. Zusätzlich werden die nötigen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementierung von neuen Geschäftsmodellen im Bereich Elektromobilität erörtert. Im Anschluss wird das bisherige Zahlungssystem betrachtet und daraufhin ein Modell für zukünftige Zahlungssysteme hergeleitet und präsentiert. Schlussendlich werden die Ergebnisse diskutiert und im Fazit noch einmal zusammengefasst.

Der Fokus der Arbeit liegt auf den Geschäftsmodellen und den Zahlungssystemen. Das Wettbewerbsumfeld wird dabei nicht näher betrachtet. Technologische Aspekte werden nicht im Detail behandelt, sondern auf das für die Fragestellung wesentliche beschränkt.

6.2 Methodik

Ausgangspunkt der Literaturrecherche war es allgemeine Informationen zum Themenkomplex Elektromobilität zu sammeln. Da es sich dabei um ein Thema handelt, welches erst in den letzten Jahren an Popularität gewann, war zu diesem Zeitpunkt wenig Basisliteratur in Buchform verfügbar. So beschränkte sich die Suche zum Großteil auf Internetquellen, Fachzeitschriften und Magazine. Bedingt durch die Internationalität von Elektromobilität war überwiegend englischsprachige Literatur zu finden.

Einen ersten Überblick boten von der Bundesregierung veröffentlichte Pläne und Stellungnahmen wie beispielsweise der „nationale Entwicklungsplan Elektromobilität“. In Verbindung damit kamen das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) als Quellen hinzu.

Im Anschluss an diverse weitere Suchmaschinen- und Datenbankabfragen (z.B. über IEEE Xplore) zum Stichwort „E-Mobility“ folgte eine präzisere Suche nach Geschäftsmodellen (engl. business models). Hierzu wurden einerseits erneut Datenbanken durchsucht, andererseits auch Unternehmen recherchiert, die im Bereich E-Mobility tätig waren bzw. sind. Beim Untersuchen dieser Unternehmen (z.B. RWE, Bosch, Daimler, Park & Charge, Better Place, Flinkster, Car2go usw.) wurde die Vielfalt an Geschäftsmodellen und Mobilitätskonzepten deutlich.

Durch sog. Rückwärtssuche, die Suche nach Verweisen, Autoren und Stichworten auf die sich gefundene Quellen beziehen, ebenso wie Vorwärtssuche nach weiteren Veröffentlichungen von Autoren und Artikeln die bereits vorhandene Quellen zitieren, konnten weitere Themengebiete wie rechtliche Rahmenbedingungen, Veränderungen des Elektrizitätsnetzes und die Entwicklung von intelligenten Messmethoden erschlossen werden.

In der Folge lag der Fokus der Recherche auf Zahlungsmodalitäten. Mit den oben beschriebenen Suchverfahren waren in diesem Gebiet nur wenig qualitativ hochwertige Quellen auffindbar. Gespräche mit verschiedenen im Thema Elektromobilität sachkundigen Personen auf der CeBIT-Messe bestätigten, dass im Bereich der Zahlungssysteme noch

Forschungsbedarf besteht. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Expertenbefragung zu diesem Themenfeld durchgeführt.

Durch Gespräche und Internetrecherche konnte eine Reihe von Experten ausfindig gemacht werden, welche per Email um die Ausfüllung einer Tabelle gebeten wurden (s. Anhang). In dieser Tabelle konnten Anwendungsszenarien und Abrechnungssysteme nach Kompatibilität bewertet werden. Wenn die Experten eine Anwendungsszenario/Abrechnungsmodell-Kombination für wahrscheinlich bzw. erfolgsversprechend hielten, sollten sie die Kombination mit „3“ bewerten. Eine eher unwahrscheinliche Kombination sollte mit „1“ bewertet werden, eine mögliche, nicht gänzlich ausgeschlossene Kombination mit „2“. Nach Erhalt der Antworten wurden die Daten mit Hilfe einer Excel-Tabelle ausgewertet und alle entsprechenden Mittelwerte ermittelt. Damit sollten die Zahlungsmodalitäten und zugehörige Anwendungsbereiche ausfindig gemacht werden, die sich nach subjektiven Expertenmeinungen in der Zukunft am wahrscheinlichsten durchsetzen werden.

Nachdem alle Daten gesammelt und eingetragen waren, wurden die beiden jeweils höchsten Werte pro Anwendungsszenario rot markiert und als relativ wahrscheinlich gegenüber den anderen Abrechnungsmodellen für dieses Szenario befunden.

6.3 Definitionen

In diesem Kapitel werden für Elektromobilität spezifische Begriffe definiert. Dabei wird eine Einteilung in allgemeine Begriffe, Netzanschluss und Infrastruktur, sowie Marktakteure vorgenommen.

6.3.1 Allgemeine Begriffsdefinitionen

E-Mobility/Elektromobilität: Überbegriff für elektrisch angetriebene Verkehrsmittel und damit verbundene Technologie (vgl. Bundesregierung 2009, 6). In dieser Arbeit beschränkt sich Elektromobilität ausschließlich auf den Straßenverkehrssektor.

Electric Vehicle (EV)/Elektrofahrzeug: Elektrisch angetriebenes Fahrzeug, welches Elektrizität von einer Batterie oder einem anderen portablen Energiespeicher bezieht (vgl. Fluhr/Laing 2011, 4). EV fungiert als Sammelbegriff für verschiedene EV-Typen: BEV, PHEV, REEV (vgl. NPE 2011, 62).

Battery Electric Vehicle (BEV): Ein rein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug (vgl. Bundesregierung 2009, 48).

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV): Fahrzeug mit Kombination aus verbrennungsmotorischem und elektromotorischem Antrieb, dessen Batterie aus dem allgemeinen Stromnetz per Stecker aufgeladen werden kann (vgl. Bundesregierung 2009, 51-52).

Range Extended Electric Vehicle (REEV): Elektrofahrzeuge mit zusätzlich eingebauten Aggregaten (z.B. Verbrennungsmotor, Brennstoffzelle), die eine Reichweite ermöglichen, die über die Reichweite der eingebauten Batterie hinaus geht (vgl. NPE 2011, 62; Bundesregierung 2009,52).

Smart Grid: Bezeichnet die Modernisierung des Elektrizitätsversorgungsnetzes hinsichtlich Überwachung, Schutz und Optimierung der Vorgänge zwischen verbundenen Elementen (vgl. EPRI 2009, 6). Ein durch IKT unterstütztes „intelligentes Stromnetz“ ermöglicht beispielsweise die Integration erneuerbarer Energien sowie Energie aus dezentraler Erzeugung, ebenfalls wird die Möglichkeit zur Optimierung des (kundenseitigen) Energiemanagements geschaffen (vgl. Bundesregierung 2009, 52).

Demand Side Manangement (DSM)/Laststeuerung: „Nach der Definition der Energy Information Administration der USA [...] sind unter DSM Maßnahmen von Energieversorgungsunternehmen zusammengefasst, die den elektrischen Verbrauchslastgang beeinflussen. Die zentrale Steuerung bestimmter Haushaltsgeräte könnte somit für die Bereitstellung positiver und negativer Reserveleistung genutzt werden“ (von Roon et al. 2010, 1).

Vehicle to Grid (V2G): Konzept zur Einbindung der EV-Batterien als Netzpuffer, d.h. bei Bedarf kann Strom in den EV-Flotten gespeichert oder zurück ins Elektrizitätsnetz gespeist werden (vgl. Bundesregierung 2009, 53).

Smart Meter: Intelligente Stromzähler, die Stromflüsse in Echtzeit messen und relevante Informationen für Kontroll- und Zahlungsprozesse weiterleiten (vgl. Gao/Redfern 2011, 3). Ergänzend können in Smart Meter Zusatzfunktionen (z.B. nützliche Begleitinformationen) implementiert werden (vgl. Bundesregierung 2009, 53).

E-Mobility Roaming/E-Roaming: E-Roaming bezeichnet die Situation in der ein EV Nutzer einen CP/EVSE (z.B. eine elektronische Zapfsäule) benutzt, welcher nicht zu dem

EVSE Operator des E-Mobility Provider/EVSA gehört, mit dem der EV Nutzer im Vertrag steht (vgl. Fluhr/Lutz 2011, 4).

6.3.2 Infrastruktur und Netzanschluss

Ladeinfrastruktur: Besteht aus einer oder mehreren Ladestationen mit Anschluss an das Elektrizitätsnetz (vgl. Rivier 2011, 15)

EV Charging Point (CP)/Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE)/ Ladestation (LS): CP und EVSE werden in der bestehender Literatur nicht einheitlich definiert, in dieser Arbeit nehmen wir deshalb an, dass mit beiden Begriffen eine Ladestation mitsamt zugehörigem Equipment wie z.B. dem Ladekabel beschrieben wird (vgl. Rivier 2011, 15-16; Fluhr/Laing 2011, 4). An einer Ladestation kann die EV-Batterie aufgeladen werden. Sie bildet folglich die Schnittstelle zwischen EV und Elektrizitätsnetz (vgl. Rivier 2011, 15-16).

Battery Swap Station (BSS): Station die einen mechanischen, vollautomatisierten Fahrzeugbatteriewechsel ermöglicht (vgl. Rivier et al. 2011, 101). Die ausgewechselten Batterien werden dort gelagert und aufgeladen (vgl. Better Place o.J.a, 1).

Energieversorgungsnetze: „Elektrizitätsversorgungsnetze und Gasversorgungsnetze über eine oder mehrere Spannungsebenen oder Druckstufen [...]“ (EnWG 2005, 9).

Elektrizitätsversorgungsnetze: Übertragungs- und Elektrizitätsverteilernetze (vgl. EnWG 2005, 7).

Energieversorgungsunternehmen (EVU): „Natürliche oder juristische Personen, die Energie an andere liefern, ein Energieversorgungsnetz betreiben oder an einem Energieversorgungsnetz als Eigentümer Verfügungsbefugnis besitzen“ (EnWG 2005, 9). Nach Gesetz sind Energielieferanten, Betreiber von Verteilernetzen und Betreiber von Übertragungsnetzen allesamt EVUs. In dieser Arbeit wird der Begriff EVU für Energielieferanten (SA, EVSA) oder ein vertikal integriertes EVU, welches auch als EVSA auftritt benutzt. Verteil- und Übertragungsnetzbetreiber werden als DSO/TSO abgegrenzt.

Vertikal integriertes Energieversorgungsunternehmen: „Ein in der Europäischen Union im Elektrizitäts- oder Gasbereich tätiges Unternehmen oder eine Gruppe von Elektrizitäts- oder Gasunternehmen [...], wobei das betreffende Unternehmen oder die betreffende Gruppe in der Europäischen Union im Elektrizitätsbereich mindestens eine der Funktionen

Übertragung oder Verteilung und mindestens eine der Funktionen Erzeugung oder Vertrieb von Elektrizität [...] wahrnimmt“ (EnWG 2005, 12).

6.3.3 Definition Marktakteure

In diesem Abschnitt werden für E-Mobilität relevante Marktakteure und Begriffe vorgestellt und definiert. Die Akteure werden in bereits vorhandene und neu auftretende Marktteilnehmer unterteilt.

6.3.3.1 Bestehende Akteure

Distribution System Operator (DSO)/Betreiber von Elektrizitätsverteilernetzen:

„Natürliche oder juristische Personen oder rechtlich unselbständige Organisationseinheiten eines Energieversorgungsunternehmens, die die Aufgabe der Verteilung von Elektrizität wahrnehmen und verantwortlich sind für den Betrieb, die Wartung sowie erforderlichenfalls den Ausbau des Verteilernetzes in einem bestimmten Gebiet und gegebenenfalls der Verbindungsleitungen zu anderen Netzen“ (EnWG 2005, 7).

Transmission System Operator (TSO)/Betreiber von Übertragungsnetzen:

„Natürliche oder juristische Personen oder rechtlich unselbständige Organisationseinheiten eines Energieversorgungsunternehmens, die die Aufgabe der Übertragung von Elektrizität wahrnehmen und die verantwortlich sind für den Betrieb, die Wartung sowie erforderlichenfalls den Ausbau des Übertragungsnetzes in einem bestimmten Gebiet und gegebenenfalls der Verbindungsleitungen zu anderen Netzen“ (EnWG 2005, 8).

DSOs und TSOs unterliegen Regulierungen bezüglich des Netzanschlusses, des Netzzugangs und der Nutzungsgebühren des Netzes (vgl. EnWG 2005, 25-53). Weiterführend haben sie kein Recht bzw. keinen direkten Einfluss auf die Energieerzeugung und den Energiehandel (vgl. EnWG 2005, 25-53; San Román et al. 2011, 2-3).

Electricity Supplier/Aggregator (SA)/Energilieferant:

Der SA vertreibt Strom an Dritte. Sollte es sich beim Energilieferanten um ein vertikal integriertes EVU handeln wird durch eine Entflechtung (§§ 6 bis 10e, EnWG) die Unabhängigkeit der Netzbetreiber von anderen Tätigkeitsbereichen der Energieversorgung sichergestellt, sodass ein transparenter und diskriminierungsfreier Netzbetrieb gewährleistet wird (vgl. EnWG 2005, 15-16).

Letztverbraucher: „Natürliche oder juristische Personen, die Energie für den eigenen Verbrauch kaufen“ (EnWG 2005, 10).

Original-Equipment-Manufacturer (OEM)/Automobilhersteller: Der OEM ist im E-Mobility Bereich für die Planung, Herstellung und den Vertrieb von EVs zuständig (vgl. Rivier 2011, 12).

6.3.3.2 Neue Akteure

EV Eigentümer/Fahrer: Der Eigentümer eines EVs benötigt Strom um die Batterie seines EVs zu laden und könnte zukünftig V2G-Dienste leisten (vgl. Rivier 2011, 12).

Batterie-Eigentümer: Der Eigentümer der Batterie hat die Möglichkeit die Batterie getrennt vom EV zu verkaufen/verleasen (vgl. Rivier 2011, 12).

EVSE Operator: Betreiber einer oder mehrerer Ladestationen, hat zu den Kunden allerdings kein vertragliches Verhältnis, außer er tritt gleichzeitig als entsprechender EVSA oder E-Mobility Provider auf (vgl. Fluhr/Laing 2011, 4).

EV Charging Point Manager (CPM): Unter der Annahme, dass ein privater Grundstücksbesitzer CPs aufstellen und für andere zugänglich machen kann, ist er der CPM für die auf dem Privatbesitz befindlichen CPs (vgl. San Román et al. 2011, 3). Darunter fallen beispielsweise Privatverbraucher die eine Ladestation für private Nutzung in der Garage anbringen oder Unternehmensgrundstückbesitzer die CPs für Angestellte auf dem Parkplatz des Unternehmens errichten (vgl. San Román et al. 2011, 3). Sollte der CPM Strom aus den Verteilernetzen kaufen und anschließend an Dritte weitervertreiben wird er nach dem Gesetz als Energielieferant bzw. EVU eingestuft (vgl. EnWG 2005, 9).

Bei öffentlichen Plätzen sollte der CPM der DSO selbst sein oder zumindest vom DSO reguliert werden (vgl. San Román et al. 2011, 3).

Es könnten noch weitere Szenarios und Annahmen abgeleitet werden, jedoch würden diese den Rahmen der Arbeit überschreiten und werden deshalb nicht weiter behandelt.

EV Supplier/Aggregator (EVSA): Der EVSA verkauft den über Ladestationen geflossenen Strom an den EV-Eigentümer (vgl. San Román et al. 2011, 3). Für den privaten Haushalt ist es wahrscheinlich, dass der bisherige Energielieferant diesen Posten übernimmt (vgl. San Román et al. 2011, 3). Ein EVSA kann ein Einzelhändler sein, weiterführend ist es aber denkbar, dass der EVSA als E-Mobility Provider auftritt.

E-Mobility Provider: Steht in einem Vertragsverhältnis mit Kunden und bündelt alle erforderlichen Leistungen und Services rund um das EV (vgl. Cupal. 2012, 33-34; Fluhr/Laing 2011, 4). Die angebotenen Leistungen gehen dabei über den reinen Elektrizitätsverkauf hinaus (vgl. Cupal 2012, 33-34). Der E-Mobility Provider kann folglich auch die Rollen des EVSE Operator und EVSA einnehmen (vgl. Fluhr/Lutz 2011, 4).

6.4 Geschäftsmodelle für E-Mobilität

In diesem Kapitel wird zunächst der Begriff Geschäftsmodell definiert. Darauffolgend wird die Notwendigkeit neuer Geschäftsmodelle diskutiert und anschließend werden vier konkrete Anwendungsfälle betrachtet. Weiterführend werden Voraussetzungen für die Implementierung von innovativen Geschäftsmodellen erläutert.

6.4.1 Definition Geschäftsmodelle

Der Begriff Geschäftsmodell ist in bestehender Literatur nicht einheitlich definiert (vgl. Porter 2001, 73). Nach Timmers (1998, 2) und Lehmann-Ortega/Schoettl (2005, 6) lässt sich ein Geschäftsmodell in drei Kernelemente aufteilen:

- Value proposition: Wertbeitrag des Produktes und/oder der Dienstleistung für die beteiligten Akteure (z.B. Stakeholder, Kunden)
- Value architecture: Struktur der Wertschöpfungskette unter Berücksichtigung sämtlicher Shareholder und Ressourcen des Unternehmens
- Revenue model: Kostenstruktur und Erlöserzeugung

Eine spezifische Wettbewerbssituation wird erst im Rahmen der Strategie berücksichtigt, weswegen ein Geschäftsmodell möglicherweise auf mehrere Unternehmen übertragbar sein kann (vgl. Seddon et al. 2004, 14).

In dieser Arbeit verwenden wir die oben genannte Definition einschließlich der getroffenen Erweiterungen.

6.4.2 Notwendigkeit neuer Geschäftsmodelle

Der Aufbau der benötigten Infrastruktur für EVs, die Integration von mobilen Energiespeichern in das Stromnetz und die veränderten bzw. neuen Rollen der Marktteilnehmer führen zu Veränderungen im Wertbeitrag, der Wertschöpfungskette,

sowie der Kostenstruktur und Erlöserzeugung (vgl. Lerch et al. 2010, 3; Lippautz/Winterhoff 2010, 3). Wandlungen der TCO, bedingt durch den hohen Kostenanteil und dem schnellen Wertverlust der Batterie gilt es ebenfalls zu berücksichtigen (vgl. Arnold et al. 2010, 66). Zusätzlich gewinnen IKT-Systeme immer mehr an Bedeutung, da sie für die Vernetzung mit der Infrastruktur sorgen und weitere Mobilitätsangebote ermöglichen (vgl. Arnold et al. 2010, 56-57). Aufgrund dieser technologischen Restriktionen und Herausforderungen lassen sich bisherige Geschäftsmodelle für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, nicht einfach auf Fahrzeuge mit Elektromotor übertragen (vgl. Lerch et al. 2010, 3). Die Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle ist folglich für eine erfolgreiche Einführung des EVs und damit verbundener Infrastruktur unabdinglich.

Um nachhaltig erfolgreiche Geschäftsmodelle zu schaffen reicht es allerdings nicht aus nur einzelne Aspekte (z.B. Fahrzeugbatterie oder Infrastrukturaufbau) zu betrachten, sondern das gesamte System sollte mitsamt allen Teilaspekten betrachtet werden. Eine vollständige Betrachtungsweise ist notwendig, da ansonsten Zusammenhänge zwischen den individuellen Bereichen vernachlässigt werden könnten (vgl. Lerch et al. 2010, 16-17).

6.4.3 Bestehende Geschäftsmodelle

In diesem Abschnitt werden vier verschiedene Geschäftsmodelle beispielhaft an Unternehmen präsentiert.

EVU stellt als E-Mobility Provider die Ladeinfrastruktur und Elektrizität bereit (am Beispiel RWE)

In diesem Geschäftsmodell sind OEMs für Herstellung und Vertrieb der Elektroautos zuständig. DSOs/TSOs stellen die Verteiler- und Übertragungsnetze bereit und verkaufen Strom an E-Mobility Provider, welche die benötigte Ladeinfrastruktur bereitstellen und den Strom an die EV-Eigentümer weiterverkaufen. Im Folgenden wird dieses Geschäftsmodell am Beispiel von RWE und Kooperationspartnern dargestellt. Die RWE AG ist in Deutschland einerseits in der Stromerzeugung („RWE Power“), andererseits über mehrere Tochtergesellschaften die unter „RWE Deutschland“ zusammengefasst werden, in den Bereichen Stromvertrieb und -verteilung tätig (vgl. RWE 2011a, 49). Es handelt sich folglich um ein vertikal integriertes EVU. Dies bietet den Vorteil, dass RWE je nach Standort als DSO und/oder EVSA auftreten kann. Zusätzlich ist RWE durch die

Herstellung eigener CPs, sowohl für private Haushalte, als auch für die öffentliche Nutzung, EVSE Operator (vgl. RWE 2012d, 1). Durch Kooperationen mit OEMs (z.B. Daimler, Nissan, Renault), weiteren Infrastrukturpartnern (z.B. APOCA, Sixt, zahlreiche Stadtwerke) und Batterieherstellern wird die gesamte Wertschöpfungskette abgedeckt (s. Abb.26) (vgl. RWE 2010, 20-23).



Abbildung 26 : Wertschöpfungskette RWE

(Quelle: Waffner 2010, 20)

Der Wertbeitrag erfolgt hier zum Großteil über Infrastrukturdienstleistungen, die es ermöglichen Elektrizität über verschiedene Kanäle an Kunden zu verkaufen (vgl. Walther et al. 2010, 5-6). Hinzukommen könnten außerdem Wertschaffung über Mehrwertdienste, Bündel-Angebote und bei Verwendung erneuerbarer Energien, Wertschaffung durch sog. „grüne Produkte“ (vgl. Walther et al. 2010, 5-6).

Probleme dieses Geschäftsmodells liegen hauptsächlich in der Kostenstruktur und Erlöserzeugung. Auf der einen Seite müssen die OEMs aufgrund teurer Batterien entsprechende Finanzierungs- und Leasingmöglichkeiten entwickeln, auf der anderen Seite sind die Ladeinfrastrukturkosten mit ca. 500€ bis 1.500€ für eine Normalladestation und ca. 20.000€ für eine intelligente Schnellladestation für das EVU enorm hoch (vgl. Arnold et al. 2010, 41-45). Aufgrund der noch niedrigen Nutzung von EVs und relativ niedrigen Strompreisen ist die Amortisationszeit für Investitionen in die Infrastruktur

dementsprechend lang und wird wahrscheinlich erst bei Eintritt des EV-Massenmarktes erreicht (vgl. Arnold et al. 2010, 44-49). Vorteile des frühzeitigen Auftretens als E-Mobility Provider sind positive Image- und Marketingeffekte, die Sicherung einer guten Ausgangsposition für den sich entwickelnden Markt und weiterführend großes Potential für erfolgreiche Wertschaffung und Reduzierung von CO₂ (vgl. Arnold et al. 2010, 43-49). Dieses Geschäftsmodell ist besonders für die großen EVUs (E.ON, RWE, EnBW, Vattenfall) und Kooperationspartner von Relevanz. Als Grundlage bietet es außerdem Möglichkeiten für Erweiterungen (z.B. Hinzufügen von zusätzlichen EVSAs).

Carsharing mit Elektrofahrzeugen (am Beispiel Flinkster)

Das Grundkonzept des Carsharing ist, dass ein Nutzer Zugriff auf die Fahrzeugflotte des Anbieters hat mit dem er im Vertrag steht bzw. bei dem er Mitglied ist (vgl. Bundesverband CarSharing 2012, 1). Der Tarif für den Gebrauch eines Wagens richtet sich nach gebuchter Zeit oder gefahrenen Kilometern (vgl. Bundesverband CarSharing 2012, 1). Beim klassischen Carsharing erfolgt Abholung und Rückgabe des Fahrzeugs an einer festen Station (vgl. Arnold et al. 2010, 53). Dynamisiertes Carsharing bietet die Möglichkeit Fahrzeuge an verschiedenen Stationen wie beispielsweise stark frequentierten Orten oder wichtigen Reisezielen (z.B. Bahnhöfen, Flughäfen, Geschäftszentren) abzuholen und abzustellen (vgl. Arnold et al. 2010, 53). Beim volldynamischen Carsharing sucht sich der Kunde das nächstgelegene verfügbare Fahrzeug und kann es nach der Nutzung innerhalb eines festgelegten Bereichs (z.B. innerhalb der Stadtgrenzen) beliebig auf öffentlichen Parkplätzen abstellen (vgl. Arnold et al. 2010, 54).

Bei diesem Geschäftsmodell tritt der Flotten-Anbieter als E-Mobility Provider auf. Er ist der Vertragspartner des Kunden und stellt eine Flotte an EVs zur Verfügung, die er von OEMs bezieht. Weiterführend sorgt er mit Hilfe von Kooperationspartnern für die benötigte Ladeinfrastruktur oder ermöglicht zumindest die Nutzung.

Im Rahmen des Projektes „BeMobility“ in der Modellregion Berlin/Potsdam bietet Flinkster, der Carsharing-Anbieter von DB, die Nutzung von EVs an (vgl. DB Rent 2012a, 1). Zur Verfügung stehen derzeit vier verschiedene EV-Modelle, die an den dafür angelegten Stationen geliehen und wieder abgestellt werden können (vgl. DB Rent 2012b, 1). Die Stationen sind dabei an wichtigen Übergangspunkten zum ÖPNV errichtet worden und werden so in das Mobilitätsnetz der Stadt integriert (vgl. DB Rent 2012a, 1). Hier gäbe es Ansatzmöglichkeiten für dynamisiertes Carsharing. Dazu müsste der Nutzer die

Möglichkeit erhalten das Fahrzeug nicht nur an der Entleihstation, sondern an jeder beliebigen Flinkster-Station abstellen zu können.

Der Aufbau der Ladeinfrastruktur für die Carsharing-Plätze wurde von zahlreichen Kooperationspartnern (private Flächenanbieter, Bezirksamter, Netzbetreiber, Energieversorger, Elektro- und IK-Techniker, Wasserbetriebe) ermöglicht (vgl. DB Rent 2012a, 1). Zusätzlich wird der Zugang zu den bereits vorhandenen öffentlichen Ladestationen (z.B. von RWE, Vattenfall) gewährt (vgl. DB Rent 2012a, 1).

Der Kunde hat die Möglichkeit zwischen einem Lokaltarif (für Berlin, Stuttgart, Köln) oder einem bundesweitem Tarif zu wählen (vgl. DB Rent 2012c, 1). Der Lokaltarif beinhaltet eine monatliche Grundgebühr i.H.v. 10€ und die gebuchte Zeit nach Stundentarifen (vgl. DB Rent 2012c, 1). Beim bundesweiten Tarif gibt es keine monatliche Grundgebühr, allerdings sind die Preise pro Nutzungsstunde teurer als beim Lokaltarif und es fallen einmalige Registrierungskosten i.H.v. 50€ an (vgl. DB Rent 2012c, 1). Die Kosten für den Ladevorgang sind im Tarif mit inbegriffen (vgl. DB Rent 2012c, 1). Mithilfe der Flinkster-Applikation kann das nächstgelegene Fahrzeug via Smartphone gesucht und reserviert werden (vgl. DB Rent 2012d, 1). Weiterführend lassen sich alle benötigten Informationen wie der Ladezustand, die Position von Ladesäulen, eine Routenberechnung und die Einbindung von öffentlichen Verkehrsmitteln über eine weitere Applikation abrufen (vgl. DB Rent 2012e, 1).

Die Wertschaffung des Geschäftsmodells geschieht hauptsächlich durch ein innovatives Mobilitätsangebot, welches die Vorteile von Elektromobilität nutzt und die Nachteile reduziert (vgl. Walther et al. 2010, 5-6). Ebenfalls spielen Angebotsbündelung und Informationsdienstleistungen eine wichtige Rolle (vgl. Walther et al. 2010, 5-6).

Zusätzliche Attraktivität gewinnt Carsharing durch Vergünstigungen (z.B. kostenloses Parken beim Ladevorgang, extra Parkplätze, Nutzung von Busspuren) und weiterführende Mobilitätsangebote (z.B. Anschlussmöglichkeiten durch ÖPNV) (vgl. Arnold et al. 2010, 54; DB Rent 2012a, 1).

Ein großer Vorteil von diesem Geschäftsmodell ist die Zahlungsstruktur. Die hohen Anschaffungskosten eines EVs werden auf mehrere Nutzer aufgeteilt (vgl. Arnold et al. 2010, 52-53). Urbanisierung und jährlich steigende Nutzerzahlen im Carsharing-Bereich können sich ebenfalls positiv auf das Geschäftsmodell auswirken (vgl. Leschus et al. 2009, 16-17; Arnold et al. 2010, 51). Weitere Vorteile sind, dass ein innovatives Markenimage

vermittelt wird, viele Nutzer EVs ausprobieren können und die Sichtbarkeit steigt, sodass auf längere Sicht der Kaufanreiz erhöht wird und neue Kundengruppen erschlossen werden können (vgl. Arnold et al. 2010, 62-66).

Ein volldynamisches Carsharing-Modell mit EVs wird gegenwärtig in Amsterdam von car2go, einem Tochterunternehmen von Daimler betrieben (vgl. car2go 2012, 1). Voraussetzung dafür ist eine flächendeckende Ladeinfrastruktur und intelligente Einbindung von IKT (vgl. Arnold et al. 2010, 54).

Ein Carsharing-Geschäftsmodell bietet sich in Deutschland ebenfalls für car2go oder DriveNow, dem Carsharing-Anbieter von BMW und Partnern, an, weil sie bereits in einigen Städten mit Carsharing-Flotten vertreten sind und weiterführend auf Konzerneigene EVs zurückgreifen könnten.

Insgesamt bietet Carsharing viele Ansätze für innovative Mobilitätskonzepte und birgt großes Potential.

EVSE Operator als E-Mobility Provider (Am Beispiel von Park and Charge)

Das Schweizer Unternehmen „Park & Charge“ betreibt öffentlich Ladesäulen in der Schweiz, Österreich, Deutschland, Frankreich und Italien bereits seit 1992 (vgl. Reichel 2001, 4).

Der Nutzer erhält für eine nominale Gebühr von 40-50€ einen Schlüssel für ein vierräderiges Fahrzeug in Deutschland, der an alle Park & Charge-Ladestationen in Europa passt, sowie eine Vignette, die ihn zum Parken an der Ladestation sowie zum Beziehen von Elektrizität legitimiert (vgl. Park & Charge o.J.a, 1). Diese Vignette muss jährlich erneuert werden. Effektiv handelt es sich damit um ein Abonnement oder „Flatrate“ der Dienstleistung (s. Kapitel [5.1.4.1 Abonnements \(Flatrate\)](#)). Der „Einsatz einfacher technischer Lösungen und pauschaler Verrechnung der bezogenen Energie“ helfen die Kosten niedrig zu halten (Park & Charge o.J.b, 1). Dieses Geschäftsmodell erzeugt einen Wertbeitrag hauptsächlich über die Bündelung von Angeboten, sowie über ein innovatives Finanzierungsangebot für den Kunden (vgl. Walther et al. 2010, 5-6).

In Deutschland sind nach Stand Februar 2012 über 150 Park & Charge-Stationen gelistet (Park & Charge o.J.c, 1).

Battery Swap (Am Beispiel von Better Place)

Das Unternehmen Better Place vertreibt nicht nur das „klassische“ Ladestationenkonzept mit öffentlichen und privaten CPs, sondern fokussiert einen Großteil seiner Bemühungen auf dem Ausbau eines Netzwerks von „Battery Swap Stations“ (BSS). Der Automobilhersteller Renault-Nissan tritt als Kooperationspartner auf und entwickelt die Fahrzeuge, welche die Battery-Swap-Technologie von Better Place unterstützen (vgl. Better Place 2008, 2). Dabei hat Better Place von Beginn der Entwicklung der Battery-Swap-Technologie einkalkuliert, dass die Standards anderer Anbieter mit ähnlicher Technologie in das System des Unternehmens integriert werden können (vgl. Kerschbaum 2010, 1).

Better Place hat bereits begonnen in Israel, Dänemark, Australien und anderen Ländern auf der ganzen Welt ein Netzwerk an CPs und BSSs zu installieren (vgl. Better Place o.J.b, 1). Aus diesem Geschäftsmodell mit auswechselbarer Batterie ergibt sich, dass der EV-Nutzer nicht Besitzer der Batterie sein kann. Er muss sie von dem Unternehmen Better Place leasen (vgl. Bending et al., 2010, 26). Für den Nutzer bedeutet das zwar laufende Kosten, dafür ist der hohe Preis für die Batterie beim Kauf des Autos nicht mit inbegriffen. Zusätzlich hat der Nutzer auch den Vorteil die Reichweite des EV an einer dafür vorgesehenen BSS innerhalb weniger Minuten durch einen Batterieaustausch wieder auf das Maximum erhöhen zu können.

Der Wertbeitrag des Geschäftsmodells wird durch einen innovativen Mobilitätsdienst, ebenso wie neue Finanzierungsmöglichkeiten und Ladefunktionalitäten erzielt (vgl. Walther 2010, 5-6).

Die Umwelt profitiert ebenfalls von dem Geschäftsmodell von Better Place: Nicht nur, dass Better Place nach eigenen Angaben ausschließlich erneuerbare Energiequellen zum Aufladen der Batterien bereitstellt (vgl. Bending et al., 2010, 59). Auch bietet die Battery-Swap-Technologie die Möglichkeit Batterien in den BSS-Stationen nach einem für die Batterie schonendem Profil zu laden, so dass die Lebensdauer der Batterie erhöht werden kann.

6.4.4 Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementierung von Geschäftsmodellen

In diesem Kapitel werden die nötigen Anforderungen für eine erfolgreiche Einführung von Geschäftsmodellen im Bereich Elektromobilität diskutiert.

Kooperation

Durch die Veränderungen in der Wertschöpfungskette stehen Automobilindustrie, Energieversorger, Technologiezulieferer und Batteriehersteller in einem komplett neuen Verhältnis zueinander (vgl. Wittemann/Feldmann 2011, 2-3).

Im Bereich der Batterietechnologie haben Unternehmen aus der Elektronik- und Chemiebranche mehr Erfahrung und sind deutlich weiterentwickelt als Unternehmen aus der Automobilbranche (vgl. Arnold et al. 2010, 38). Um Batterien für EVs effizienter zu gestalten und die Kosten zu reduzieren holen OEMs deshalb fehlendes Know-how durch enge Zusammenarbeit mit Batterieherstellern ein (vgl. Arnold et al. 2010, 38).

Ein weiterer Aspekt ist die benötigte Lademöglichkeit der Batterie. Eine weitreichende Nutzung von EVs wird nur mit Hilfe von kompatibler Ladeinfrastruktur möglich, dementsprechend ist es notwendig, dass Fahrzeughersteller mit Energieversorgern kooperieren und gemeinsam eine Grundlage für neue Geschäftsmodelle schaffen (vgl. Arnold et al. 2010, 30-32).

Für die Kommunikation und Vernetzung mit der Infrastruktur, sowie weiterführende Mobilitätsangebote wird die IKT unverzichtbar (vgl. Arnold et al. 2010, 56-57). Durch Integration von IKT und entsprechende Zusammenarbeit mit Technologiezulieferern können folglich neue Mobilitätskonzepte erarbeitet werden (vgl. Arnold et al. 2010, 55-57). Zusammenfassend sind Kooperationen zwischen allen beteiligten Branchen und Akteuren für die Entwicklung eines funktionierenden Gesamtsystems notwendig und heutzutage schon in Vielzahl zu finden (vgl. Arnold et al. 2010, 32; Petry/Kainer 2009, 26).

Regulatorische und politische Rahmenbedingungen

Regulierungsmechanismen sind notwendig um Investitions- und Rückzahlungsstrukturen für die Infrastruktur aufzustellen, die Rechtslage der beteiligten Akteure zu definieren und um ein einheitliches und faires Wettbewerbsumfeld zu schaffen (vgl. San Román et al. 2011, 2).

Speziell im Bereich Smart Grid und Smart Metering muss ein Rechtsrahmen definiert werden (vgl. Geipel/Mayer 2012). Grund dafür ist, dass eine verbesserte Netzsteuerung, die je nach Auslastung sowohl die Streckung oder Unterbrechung des Ladevorgangs als auch die gezielte Zuschaltung von Stromverbrauchern erlaubt, neue Vertriebsmöglichkeiten bietet und die Grundlage für ein variables Tarifsysteem schafft (vgl. Geipel/Mayer 2012). Erste Schritte dafür werden im neuen Energiewirtschaftsgesetz unter „Steuerung von

unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen in Niederspannung“ getätigt (vgl. EnWG 2005, 32).

Von politischer Seite aus sind kontinuierlich Förderungs- und Regulierungsmaßnahmen auf verschiedenen Ebenen durchzuführen (vgl. Arnold et al. 2010, 79-80). Der Staat ist einerseits für die Koordination der beteiligten Akteure, der Schaffung von Grundvoraussetzungen und rechtlichen Rahmenbedingungen verantwortlich, andererseits für die gezielte Förderung und Transparenz der Branche (vgl. Arnold et al. 2010, 75-78). Die Förderungen umfassen dabei Zuschüsse und vergünstigte Kredite für Forschung und Entwicklung bzw. den Aufbau der Infrastruktur, sowie steuerliche Maßnahmen, Kaufzuschüsse und Privilegierungen für die erfolgreiche Einführung und Verbreitung von EVs (vgl. Arnold et al. 2010, 75-80; San Román et al. 2011, 2). Hierbei ist es wichtig, dass die Maßnahmen die Akzeptanz der Nutzer hinsichtlich E-Mobility fördern und den Weg für einen sich selbst tragenden Markt ebnet (vgl. Arnold et al. 2010, 25-26).

Die Europäische Union setzt bereits Richtlinien und Rahmenbedingungen für den Elektrizitätsbinnenmarkt und für elektrische Fahrzeuge fest, um einen einheitlichen und standardisierten E-Mobility-Markt in Europa zu ermöglichen (vgl. EU 2009; EU 2010).

Standards und Normen

Durch Standards und Normen besteht die Möglichkeit den Wissensstand zu sichern und Innovationen zu verbreiten (vgl. Heusinger/Fritsche. 2011, 16-17). Sie sind somit ein wichtiger Einflussfaktor für die Übernahme von neuen Technologien und damit zusammenhängend für die Gewinnung eines Massenmarktes und Erzielung nachhaltiger Rendite (vgl. Brown et al. 2010, 2; Heusinger/Fritsche 2011, 16-17). Weiterführend helfen international konsistente E-Mobility Standards dem internationalen Handel in der Automobil- und Technologiebranche und ermöglichen durch globale Kompatibilität den Nutzen von EVs und zugehöriger Infrastruktur über verschiedene Zuständigkeitsbereiche hinweg (vgl. Brown et al. 2010, 2; Castaldo 2009, 1). Sie sind demnach für das sogenannte E-Mobility Roaming von großer Bedeutung (vgl. Fluhr/Lutz 2011, 4).

Um die Annahme der EVs am Markt voranzutreiben und gleichzeitig Sicherheit und Umweltschutz zu gewährleisten werden Standards in allen Bereichen, namentlich EV, Elektrizitätssektor und -netz (einschließlich V2G), Batterie, Batterieladesystem und zugehöriger IKT benötigt (vgl. Brown et al. 2010, 6; Fluhr/Lutz 2011, 5; NPE 2010, 4-5). Dabei ist zu beachten, dass die Standardisierung keine Einschränkung oder Behinderung

der Technologieentwicklung bewirkt (vgl. Brown et al. 2010, 6; Heusinger/Fritsche 2011, 16-17).

Grundlegende Standards und Normen gibt es bereits, aber besonders in den Bereichen neuer Batterietechnologien, V2G-Technologie und für Auswirkungen des EVs auf die Umwelt, sind Überarbeitungen und Neuerungen nötig (vgl. Brown et al. 2010, 10). Die NPE hat eine deutsche Normungs-Roadmap erstellt, an der sich die Bundesregierung orientieren will (vgl. Bundesregierung Deutschland 2011, 32; NPE 2010, 5). Hohe Priorität haben darin Normen und Standards für Ladestationen, Batteriesicherheit, Hochspannungsbordnetz und die Ladeschnittstelle (vgl. NPE 2010, 5)

Datensicherheit

Das Thema Datensicherheit spielt im Bereich Elektromobilität eine tragende Rolle, da zahlreiche Informationen an verschiedenen Stellen erfasst, gespeichert und ausgetauscht werden (vgl. NPE 2010, 27). Da ein Großteil dieser Daten personenbezogene Informationen enthält, ist Datensicherheit ein bedeutsamer Faktor für die Nutzerakzeptanz von Elektromobilität (vgl. NPE 2010, 27). Es existieren diverse Kommunikationsschnittstellen zwischen Datenverarbeitungssystemen und -netzen, daher ist Datensicherheit und Datenschutz in sämtlichen Bereichen (z.B. für Systeme zur Energiesteuerung, Systeme zu Servicezwecken, Systeme der Ladeinfrastruktur) zu gewährleisten (vgl. NPE 2010, 27).

Die Ladeinfrastruktur und damit verbundene Abrechnungssysteme stellen ein potentielles Ziel für Angriffe und Versuche der Rechnungsmanipulation dar (vgl. Schneider et al. 2010, 5). Alle Daten müssen dementsprechend authentifiziert und verschlüsselt werden (vgl. Schneider et al. 2010, 5). Die Verschlüsselung erfolgt wahrscheinlich über kryptographische Verfahren, wie beispielsweise mit Algorithmen aus dem Bereich der Elliptischen-Kurven-Kryptographie, die auch bei dem neuen Personalausweis und intelligenten Stromzählern angewendet werden (vgl. NPE 2010, 27; Knechtel 2011). Je nach Art der Datenübertragung (z.B. UMTS, GPRS, PLC etc.) sind noch weitere spezifische Sicherheitsvorkehrungen zu treffen (vgl. Schneider et al. 2010, 2-5).

Im Bereich der Informationssicherheit gibt es schon zahlreiche Normen die ebenfalls in der Elektromobilität Anwendung finden können, jedoch sind Sicherheitsstandards besonders bei neuen Kommunikationsschnittstellen wie z.B. zwischen Nutzer bzw. Fahrzeug und Ladestation zu definieren (vgl. NPE 2010, 28). Im Rahmen der Norm ISO 15118 werden

Sicherheitsaspekte für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladestation festgelegt (vgl. NPE 2010, 28).

Diese kann als Basis dienen, trotzdem sind je Technologieentwicklung weitere Maßnahmen für die Datensicherheit durchzuführen (vgl. Knechtel 2011).

6.5 Zahlungssysteme

Viele Gesprächen mit Firmen- und Forschungsvertretern über mögliche Zahlungsmethoden ergaben, dass es zwar viele Ansätze, jedoch kaum konkret durchgeführte Modelle gibt. Jens Mey vom DFKI sagte in einem Interview, dass der Grund dafür vor allem die hohen Entwicklungs- und Wartungskosten eines Abrechnungssystems sind. Diese Kosten übersteigen aktuell die niedrigen Umsätze um ein Vielfaches. Daher wird der Strom von den EVU zur Zeit meist kostenlos zur Verfügung gestellt.

Um trotzdem eine bessere Einschätzung zu erlangen wurden 13 Experten via E-Mail (s. Anhang) befragt und um eine Einschätzung möglicher Abrechnungsmethoden im privaten, öffentlichen und halb-öffentlichen Bereich gebeten.

6.5.1 Herleitung eines allgemein Zahlungsmodells/Referenzmodell

Im Allgemeinen wurden drei Anwendungsszenarien für den Ladevorgang identifiziert. Am häufigsten wird das Auto zu Hause und am zweithäufigsten am Arbeitsplatz geladen (vgl. E.ON, 2011, 14). Erst an dritter Stelle stehen öffentliche CPs oder halb-öffentliche CPs an Kaufhäusern oder in Parkhäusern. Für jedes dieser drei Szenarien (Privat, halb-öffentlich, öffentlich) spielen unterschiedliche Aspekte eine Rolle. Daher sind nicht alle Abrechnungsmodelle für jedes Anwendungsszenario gleichermaßen relevant.

Das Modell beschreibt einen gewöhnlichen Informations-, Elektrizitäts- und Zahlungsaustausch. Dabei wurde der Zahlungsprozess in einzelne Schritte zerlegt:

1. **Identifikation** des Nutzers
2. **Informationsfluss** der Kundendaten zum DSO und Empfang der aktuellen Preise/Tarife der Ladestation auf der anderen Seite
3. **Konfiguration** der Stromladung
4. **Informationsfluss** der Einstellungen des Nutzers
5. **Stromfluss** (Einspeisung aber auch ggf. „Auspeisung“ bei V2G)
6. **Abrechnung**

Besonders Identifikation, Konfiguration und Abrechnung können im Detail auf mehrere Arten realisiert werden. Deshalb werden zunächst für jeden Schritt alle Möglichkeiten aufgezählt und erläutert. Danach wird auf die unterschiedlichen Szenarien eingegangen und sinnvolle Kombinationsmöglichkeiten aufgezeigt.

6.5.1.1 Identifikation

Bevor der eigentliche „Tankvorgang“ beginnen kann, muss in den meisten Fällen eine Identifikation durchgeführt werden, damit der Nutzer mit seinem Konto abgeglichen werden kann. Nachfolgend sollen mögliche Methoden zur Identifikation vorgestellt werden.

Smartcard (Kundenkarte)

Eine solche Smartcard oder Kundenkarte kann der Nutzer aus unterschiedlichen Gründen bekommen: Zum einen könnte es sich um die Karte des EVUs oder EVSE Operators handeln. Solche Karten könnten mit einem RFID-Chip versehen werden und müssten so vom Nutzer lediglich vor den CP gehalten werden. Im Gegensatz zum neuen Personalausweis müssen auf der einen Seite nicht alle sensiblen privaten Informationen wie beispielsweise Biometriedaten auf der Karte gespeichert werden und zum anderen lassen sich für die Transaktion zusätzliche nützliche Informationen wie Kontostand o.Ä. speichern. Diese Daten können zwar online gespeichert werden, eine Speicherung auf die Karte erlaubt jedoch auch eine „Offline-Nutzung“ als Prepaid-Karte, beispielsweise, wenn eine Kommunikationsstörung zwischen dem CP und dem EVSE Operator vorliegt.

Die Forschung von Bending et al. hat ergeben, dass RFID-Smartcards heutzutage von den meisten Herstellern benutzt werden (z.B. von Siemens in ihrer Software-Suite „Charge eMosphere“), während GPRS als Kommunikation vom CP zum DSO eingesetzt wird (vgl. Siemens, 2011, 9).

Personalausweis der Bundesrepublik Deutschland

Der Personalausweis funktioniert im Grunde wie die Smartcard, bietet jedoch keine Möglichkeit Daten auf der Karte selbst zu speichern. Es steht lediglich die eID-Funktion zur Verfügung (vgl. BMI 2010, 1). Dafür entstünden dem Unternehmen jedoch keine Kosten bei der Entwicklung und Distribution von Smartcards.

EC-Karte oder Kreditkarte

Electronic Cash- bzw. Kreditkarten sind ähnlich geeignet wie der Personalausweis. Auch sie bieten genug persönliche Informationen um sich eindeutig an einem CP identifizieren zu können. Zwar haben diese Karten keine RFID-Chips, dafür ermöglichen sie theoretisch eine direkte Zahlung auch ohne ein Kundenkonto, da alle für die Geldtransaktion benötigten Daten auf den Karten gespeichert sind. Die Kommunikation zwischen dem CP und dem EVSA entspricht damit dem bereits heute bestehenden Verfahren der Zahlung mit EC-/Kreditkarte an einer Tankstelle.

QR-Codes und Smartphone-Gerätenummer

Das Distributed Artificial Intelligence Laboratory (DAI-Labor) hat einen anderen Ansatz zum identifizieren des Nutzers und der Zuordnung der entsprechenden Ladestation entwickelt. Der Nutzer fotografiert mit Hilfe einer Anwendung von seinem Smartphone einen QR-Code an der Ladestation. Dieses Bild wird dann mitsamt der „International Mobile Subscriber Identity“ (IMSI)⁴ und/oder der „International Mobile Equipment Identity“ (IMEI)⁵ je nach Informationsfluss an den EVSE Operator bzw. den EVSA gesendet. Der Nutzer kann mit Hilfe dieser beiden Nummern (IMSI bzw. IMEI) eindeutig identifiziert und anhand des QR-Codes der entsprechenden Ladestation zugeordnet werden. Diese Methode ist vielleicht besonders Anwenderfreundlich, setzt jedoch ein internetfähiges Smartphone mit Internetvertrag beim Nutzer voraus. Der EVSE Operator muss zusätzlich eine eigene Datenverbindung mit dem CP herstellen, wodurch Datenübertragungskosten entstehen.

Stromkabel

Klaus Kreutzer von Kreutzer Consulting geht davon aus, dass in der Zukunft auch die Identifikation via Verbindungskabel zwischen Auto und Ladestation möglich ist (s. Anhang 3). Möglich ist dies über den CAN-bus oder den RS-485-Standard. Auch Bending et al. (2010, 70) merken die Vorteile dieser Form der Kommunikation an: hohe Datenübertragung bei hoher Simplizität und vergleichsweise niedrigen Kosten.

⁴ Die IMSI-Nummer ist eine weltweit einmalige Identifikationsnummer für die SIM (Subscriber Identity Module)-Karte (vgl. Misra 2009, 111)

⁵ Die IMEI-Nummer ist eine 15-stellige weltweit einmalige Identifikationsnummer für jedes GSM- oder UMTS-Gerät (vgl. Misra 2009, 111)

Die Kommunikation via Verbindungskabel ersetzt zwar nicht ein Kundenkonto bei EVSE Operator bzw. EVSA, jedoch wird der eigentliche Identifizierungsprozess stark vereinfacht, da der Nutzer nur das EV und den CP mit einem Kabel verbindet und das EV die restliche Kommunikation übernimmt.

Ohne Identifikation

Auch ein kompletter Wegfall des Identifikationsprozesses ist theoretisch möglich. Allerdings gilt dies nur für einen möglichen CP im privaten Haus oder im öffentlichen Raum mit Bargeld- oder Kartenzahlung. Im ersten Fall ist eine Identifikation nicht notwendig, da der CP auf dem Grundstück des Eigentümers steht und daher der Strom über die private Stromrechnung abgerechnet werden kann. Im zweiten Fall ist eine anonyme Zahlung möglich, da die offene Rechnung direkt durch Bargeld oder eine EC-/Kreditkarte beglichen werden kann und daher keine Kontoeinrichtung beim EVSE Operator notwendig ist. Eine solche Zahlungsmöglichkeit wird z.B. im zweiten Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität gefordert, um Diskriminierung von Kunden anderer EVUs an den CPs zu vermeiden (vgl. NPE 2011, 42).

6.5.1.2 Konfiguration

Auch hier sind viele unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten - vom kompletten Entfall bis zur detaillierten Konfiguration - denkbar. Je nach EVSE Operator kann es sein, dass der Kunde möglicherweise zwischen unterschiedlichen Stromanbietern, konventionellem und „grünem“ Strom auswählen kann.

EVU ist durch den Operator vorgegeben

Sind EVU und EVSE Operator identisch, so ist es naheliegend, dass nur der „hauseigene“ Strom verkauft wird. Der Nutzer hat an der Ladestation keine Auswahl, stattdessen ist er an das Angebot des Stromanbieters gebunden (Beispiel: E.ON-Ladesäulen).

Es könnte sein, dass man als Kunde eines anderen EVU diskriminiert wird. Dies könnte sich dahingehend äußern, dass der EVSE Operator vom Nutzer höhere Strompreise (Roaming-Gebühren) verlangt oder ihm das „zapfen“ von Strom vollständig verwehrt. Wenn EVU und EVSE Operator nicht identisch sind kann es jedoch sein, dass zwischen den beiden Marktakteuren eine strategische Partnerschaft besteht und nur der Strom eines bestimmten EVUs vom EVSE Operator angeboten wird. In diesem Fall könnte für Fremdkunden ebenfalls Roaming-Gebühren anfallen.

Nutzer kann EVU frei wählen

In der nahen Zukunft könnte es möglich sein, dass der Nutzer an einer Ladestation zwischen den unterschiedlichen EVU nach seiner Präferenz wählen kann. Neben dem normalen Preisunterschied zwischen den Mitbewerbern für Strom können unterschiedliche Boni für V2G-Einspeisung oder Loyalitätsprogramme für zusätzliche Konkurrenz sorgen.

Ökostrom

Ebenfalls kann dem Nutzer die Wahl gegeben werden zwischen konventionellem Strom oder sog. „grünem“ Strom, auch Ökostrom genannt, aus erneuerbaren Energien zu wählen. Grüner Strom ist zwar in der Regel etwas teurer, bietet jedoch im Gegensatz zum konventionellen Strom aus Kohle-, Gas- und Atomkraftwerken emissionsloses und umweltfreundliches Fahren (vgl. Stiftung Warentest 2009, 1).

Vehicle-to-Grid

Wenn die Ladesäule V2G-kompatibel ist, könnte der Nutzer auch diese Funktion optional anschalten und dadurch beispielsweise einen günstigeren Tarif bekommen. Ihm muss jedoch auch die Möglichkeit gegeben werden die gewünschte Mindestladung zu definieren, damit er mit seinem Auto nach dem Ladeprozess die für ihn nötige Distanz fahren kann.

6.5.1.3 Stromfluss

Während der Strom in das EV fließt, kann es dem Nutzer möglich sein, den Ladestand aus dem Internet über eine Webseite oder via Smartphone abzurufen (vgl. Arnold et al. 2010, 57). Der Stromfluss endet, wenn das EV vollständig geladen ist. Andere Gründe zum Beenden des Ladevorgangs könnten im Falle eines Prepaid-Kontos ein aufgebrauchtes Guthaben oder – im Falle eines auf Parkzeit basierenden Modells – abgelaufene Parkzeit sein.

6.5.1.4 Abrechnung

Die Zahlungsmethode hängt zum großen Teil vom Geschäftsmodell ab. Dabei kann zwischen vorzeitiger-, direkter Zahlung und dem Zahlen auf Rechnung unterschieden werden. Dem Kunden können (unter anderem) folgende Methoden angeboten werden (vgl. Bending et al. 2010, 42):

- Abonnement
- Pay as you Go

- Cash & Card
- Pay per Mobile
- Stromrechnung
- Separate Rechnung
- Vertraglicher Energieverbrauch

Abonnements (Flatrate)

Der Kunde zahlt dem EVSE Operator oder EVSA vorab ein fixen Betrag für einen bestimmten Zeitraum und darf dafür die Leistungen des Operators unbegrenzt in Anspruch nehmen. Der größte Vorteil dieser Methode ist ihre Einfachheit. Gegen dieses System spricht allerdings, dass Kunden an die CP eines Anbieters gebunden wären oder die Tatsache, dass einige Kunden zu viel, andere wiederum zu wenig für Elektrizität zahlen könnten (vgl. Bending et al. 2010, 43). Derzeit wird dieses Geschäftsmodell z.B. von Park & Charge betrieben. Patrick Lobert von Bosch System Innovations hält diese Abrechnungsmethode für erfolgsversprechend. Als Vorzeigebeispiel nennt er das Unternehmen NRG Energy, welches dieses Geschäftsmodell in den USA erfolgreich einsetzt.

Dr. Klaus Woltron, Aufsichtsratsvorsitzender der Advengys AG, glaubt, dass dieses Abrechnungsmodell lediglich in der anfänglichen Entwicklungsphase des Marktes als Eye-Catcher und Akquisitionsinstrument genutzt werden wird. Auch Hans Günter Wolf von dem Wirtschaftsprüfungsunternehmen Deloitte kann sich mit seinen Kollegen vorstellen, dass dieses Modell als Bestandteil von Kundenbindungsmaßnahmen im öffentlichen Bereich Verwendung finden wird.

Peter Wüstnienhaus vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DZLF) bezweifelt allerdings, dass dieses Geschäftsmodell im privaten sowie im öffentlichen Raum erfolgreich sein wird. Er geht davon aus, dass der Nutzer den Strom zu Hause über den normalen Stromanschluss bezieht. Da er den öffentlichen Raum als kaum relevant betrachtet zweifelt er daran, dass ein Nutzer „kaum Gegenwert für ein Abo bekommt“, jedoch sieht er das Modell interessant für Arbeitgeber: Der Arbeitnehmer müsste „den geldwerten Vorteil versteuern“, wenn der Arbeitnehmer den Strom beim Arbeitgeber ohne finanziellen Mehraufwand bekommen würde.

Auch Dr. Jan Keiser vom DAI-Labor der Technischen Universität Berlin hat Zweifel an

dem Einsatz dieses Modells im öffentlichen Raum: Er sieht die Schwierigkeit vor allem in der Kalkulation des Abonnement-Preises und somit ein „Risiko für den öffentlichen LS-Betreiber“ oder einen „zu hohen Festbetrag für Normalnutzer“.

Klaus Kreutzer von Kreutzer Consulting befürchtet ein Abonnement wäre eine „Aufforderung zum kostenlosen Parken, unabhängig vom Ladebedarf“ und auch Sebastian Martin von der EnBW AG sieht Widersprüchlichkeiten zu den EU-Energieeffizienz-Richtlinien.

Florian Struzyna vom Beratungsunternehmen Mücke, Sturm & Company glaubt zudem, dass ein auf einem Abonnement basierendes Modell „aufgrund des ungewissen LS-Ausbaus (...) im halböffentlichen oder öffentlichen Raum zu erwarten“ ist. Von einer Anwendung dieses Modells in der Startphase der E-Mobilität geht Benjamin Teufel von KPMG aus: „solange Verbräuche noch gering“ sind und die „Ladennutzung sehr regional erfolgt“.

Pay-as-you-go (PAYG)

Der Kunde erhält vom Anbieter ein Kredit- oder Prepaidkonto, auf welches er einzahlen kann. Über eine „Smartcard“ oder auch das Smartphone kann er sich an dem CP identifizieren und das Konto wird direkt nach dem Ladevorgang belastet. Die Autoren Bending et al. (2010, 43) schlagen dabei zwei Methoden zur Abbuchung vom Konto des Nutzers vor: Entweder werden die Daten von dem CP direkt mit dem EVU abgerechnet oder der verbleibende Kredit wird auf dem Gerät, welches bereits zur Identifizierung genutzt wurde gespeichert. Dadurch muss der CP nicht mit dem EVSE Operator bzw. EVU kommunizieren. In diesem Fall kann der Kredit an zentralen Stationen wieder aufgeladen werden.

Diese Methode ist zwar komplexer als beispielsweise das Abonnement-Modell, dafür erlaubt sie theoretisch Roaming, da das Guthaben für Ladesäulen verschiedener Anbieter genutzt werden könnte. Diese Flexibilität sehen vor allem Wüstnienhaus und Lobert. Martin sieht jedoch für die Nutzer mögliche Probleme, wenn in einer dringenden Situation das Guthaben auf der Karte nicht ausreicht (Prepaid-Risiko), und auch Keiser glaubt, dass dieses System zu „umständlich für Nutzer bzw. LS-Betreiber“ ist. Woltron meint, dieses Abrechnungssystem sei sicher „für viele, insbesondere EVU – und Stadtwerke – dominierte Systeme zukunftssträftig“. Struzyna hält diese eine PAYG-Lösung „geeignet für einen Anbieterübergreifenden Einsatz im nicht-privaten Bereich“ und sowohl Teufel als auch

Wolf und Kollegen glauben an einen Erfolg im nicht-privaten Bereich.

Cash & Card

Der Kunde kann an der Ladesäule seinen fälligen Betrag in Bar, mit EC-Karte oder mit Kreditkarte zahlen. Damit kommt diese Methode dem klassischen Zahlungsvorgang an einer Tankstelle am nächsten. Der CP muss in diesem Falle mit einem Kredit/Schulden-Back Office verbunden sein, wodurch das System komplexer wird.

Eine Lösung mit Bargeld ist nach Bending et al. (2010, 44) eher unwahrscheinlich, da die geringen Umsätze eine „physikalischen Mechanismus um das Bargeld zu sammeln und lagern“ und die Beschäftigung von Leuten, die das Bargeld einsammeln, nicht rechtfertigt.

Auch Michael Westerburg von der EWE AG, Felix Ott von SAP Research, Lobert, und Keiser sehen dieses System als sehr teuer an. Ott rechnet dennoch mit einer Anwendung dieser Methode, u.a. da die Bundesregierung es fordert. Struzyna sieht durch die Möglichkeit des anonymen Ladens Vorteile, kritisiert jedoch ebenfalls die hohen Kosten. Wüstnienhaus sieht neben den höheren Kosten durch die höhere Komplexität auch größere Sicherheitsrisiken als bei der PAYG-Methode. Kreuzer vermutet, dass der Kunde im „Roaming“-Fall diese Zahlungsmethode gerne wahrnehmen würde und auch Martin rechnet mit einer großen „Kundenakzeptanz im öffentlichen Bereich“, weist jedoch auch auf die hohen Kosten hin. Wegen der hohen Kundenakzeptanz glauben auch Wolf und Kollegen, dass bestehende Kartenprogramme durch eine Bar- bzw. Kartenzahlungsmöglichkeit aufgewertet werden. Woltron bewertet diese Methode als „viel zu umständlich“. Teufel weist auf mögliche zusätzliche Probleme durch Vandalismus hin.

Pay-per-Mobile

Der Kunde nutzt eine Applikation oder eine SMS um den Ladesäulenbetreiber zu kontaktieren. Der ausstehende Betrag wird daraufhin im Rahmen der Handyrechnung abgebucht. Dieses System ist sehr bequem, setzt allerdings ein Internetfähiges Handy und/oder einen Kommunikationskanal zwischen dem Mobilfunkunternehmen und dem Stromanbieter voraus.

Die von uns befragten Experten sind sich einig: Im privaten Haushalt macht dieses System keinen Sinn. Woltron glaubt sogar, dass sich dieses Verfahren in keinem der drei Anwendungsszenarien durchsetzen wird, da es teurer als die PAYG-Lösung ist. Struzyna sieht Pay-per-Mobile als möglichen Ersatz für die Abrechnungsmethode „Stromrechnung“

im nicht-privaten Bereich. Ott hingegen sieht das Verfahren als kostengünstige Alternative zur Cash&Card-Lösung, bezeichnet es aber als „nervig für den Nutzer“. Wüstnienhaus glaubt es handelt sich um eine „einfach und unkomplizierte Möglichkeit, die bedarfsgerecht Strom anbietet“. Problematisch würde es allerdings eventuell bei Diensthandys. Auch Martin nennt die fehlende Vertragsbindung an Ladesäulenbetreiber/Stromanbieter „erfolgsversprechend“. Wolf und Kollegen können sich das Verfahren gut in Städten vorstellen, die „Mobile Payment bereits zur Parkraumbewirtschaftung einsetzen“. Damit das Verfahren durchführbar ist, setzt Keiser allerdings Regelungen zwischen dem EVSE Operator und allen Mobilfunkanbietern voraus, so dass Kunden aller Netze mit dem EVSE Operator kommunizieren können. Lobert geht davon aus, dass zwischen dem Nutzer und dem EVSE Operator ein Vertrag besteht und merkt an, dass er in diesem Fall Roaming für „nicht praktikabel“ hält und auch Teufel sieht bei dieser Methode nur „zusätzliche Hürden“.

Stromrechnung

Der Kunde identifiziert sich an der Ladesäule, der zu zahlende Betrag wird der heimischen Stromrechnung hinzugefügt. Dieses Verfahren ist nicht nur sehr bequem für den Nutzer, sondern auch kostenschonend, da die bestehende Back-Office-Infrastruktur genutzt werden kann. Um jedoch Roaming zu ermöglichen muss entweder der Nutzer bei den anderen Anbietern ein Konto haben oder die Stromanbieter müssen untereinander Kommunikationskanäle eingerichtet haben (vgl. Bending et al. 2010, 44).

Nahezu alle befragten Experten sind der Meinung, dass sich dieses System im privaten Bereich durchsetzen wird. Auch ein separater Stromzähler bzw. ein SmartMeter wird diskutiert, denn dadurch ist zum einen eine separate Aufführung der Kosten für das EV und ggf. angepasste Stromtarife möglich.

Im öffentlichen Bereich wird unterschieden, ob der Nutzer vertraglicher Kunde des jeweiligen EVSE Operator bzw. EVSA ist. Trifft dies zu, so erfolgt die Abrechnung wie im heimischen Bereich mit der gesamten Stromrechnung. Problematisch wird es, wenn der Nutzer kein vertraglicher Kunde ist und folglich Roaming in Anspruch nehmen muss. Keiser weist darauf hin, dass der EVSE Operator dafür Regelungen mit allen EVUs treffen muss. Westerburg empfiehlt alternative Zahlungsmethoden für Fremdnutzer z.B. Pay-per-Mobile. Wüstnienhaus hält die Abrechnung via Stromrechnung im öffentlichen Bereich für „uninteressant, da komplex“. Im Halböffentlichen Bereich sieht er erhöhten Aufwand, da

privates und dienstliches „Tanken“ miteinander gekoppelt werden muss, aber hält ein fertig konfiguriertes System für „bequem“. Wolf und Kollegen bezweifeln sogar, dass sich der Aufwand gemessen am Nutzen im halb-öffentlichen Bereich überhaupt lohnt. Woltron bezeichnet das Modell als „EVU-freundlich“, da der Kunde ohne separates Konto nicht von tageszeitabhängigen Strompreisen profitieren kann und weißt insbesondere auf die übliche Aufladung von EVs über Nacht hin. Struzyna glaubt, dass sich diese Methode im privaten Bereich durchsetzen wird, hält die Umsetzung im nicht-privaten Bereich jedoch nur mit einem „’Autostrom-Tarif’ für ein umfassendes LS-Netz“ für sinnvoll.

Separate Rechnung

Der Kunde identifiziert sich an der Ladesäule, die Abrechnung erfolgt separat zu sonstigen Rechnungen. Ein Grund dafür könnte beispielsweise sein, dass die Elektrizität, die zu Mobilitätszwecken genutzt wird zukünftig anders besteuert wird gewöhnliche Haushaltselektrizität (vgl. Bending et al. 2010, 44).

Diese Methode wurde von den befragten Experten in erster Linie für Nutzer aber auch Ladesäulenbetreiber als zu „aufwendig“, „nervig“ und „umständlich“ bezeichnet. Eine Abrechnung mit der Stromrechnung ist wesentlich komfortabler. Ein hoher Aufwand im halb-öffentlichen und öffentlichen Bereich spricht laut Wolf und Kollegen jedoch gegen eine Einführung in diesen Bereichen. Lobert glaubt dennoch, dass diese Methode „im Halböffentlichen Bereich als Dienstleistung angeboten und separat abgerechnet“ wird. Auch Wüstnienhaus unterstützt diese Hypothese. Woltron hält dieses System in Kombination mit einem Smartmeter zu Hause und/oder „Intelligenz im Fahrzeug“ für die einfachste und fairste Lösung für alle Marktakteure. Struzyna hingegen sieht nur eine Einsatzmöglichkeit für Autostromanbieter im privaten Bereich. Für Einzeltransaktionen sei die Marge zu gering.

Vertraglicher Energieverbrauch

Der Kunde zahlt monatlich einen festen Betrag (z.B. Grundgebühr) und erhält dafür ein bestimmtes Kontingent. Bei Überschreitung wird die zusätzliche Menge in Rechnung gestellt (vgl. Bending et al. 2010, 44).

Wüstnienhaus kann sich vorstellen, dass ein solches Modell für solche Nutzer relevant ist, die selber Strom erzeugen (z.B. mit Solar-Panelen) um den „Strombedarf und die Einspeisung zu tarieren“. Struzyna sieht diese Abrechnungsmethode lediglich als tarifliche

Variation von der Abrechnungsmethode „Stromrechnung“. Für Kreutzer ist ein solcher Vertrag sinnvoll, wenn man „seinen Verbrauch gut einschätzen kann oder finanzielle Vorteile durch einen Vorab-Kauf erzielt. Im Gegenzug könnten die EVUs laut Martin durch die garantierten Zahlungen besser planen. Woltron glaubt, dass diese Methode in Kombination mit einer „separaten Rechnung“, V2G und Smart Metering viele Tarifabstufungen zulässt. Für Teufel ist dieses Modell nicht mehr als eine „Kombination aus jetzigem Stromvertrag plus Zusatzstrom“ und auch Wolf und Kollegen sehen hier – wie bereits beim Abonnement - eher eine Möglichkeit Kunden zu binden als ein lukratives, langfristiges Geschäftsmodell. Keiser sieht Probleme insbesondere beim Thema Roaming, da der Nutzer auf den jeweiligen EVSE Operator festgelegt ist.

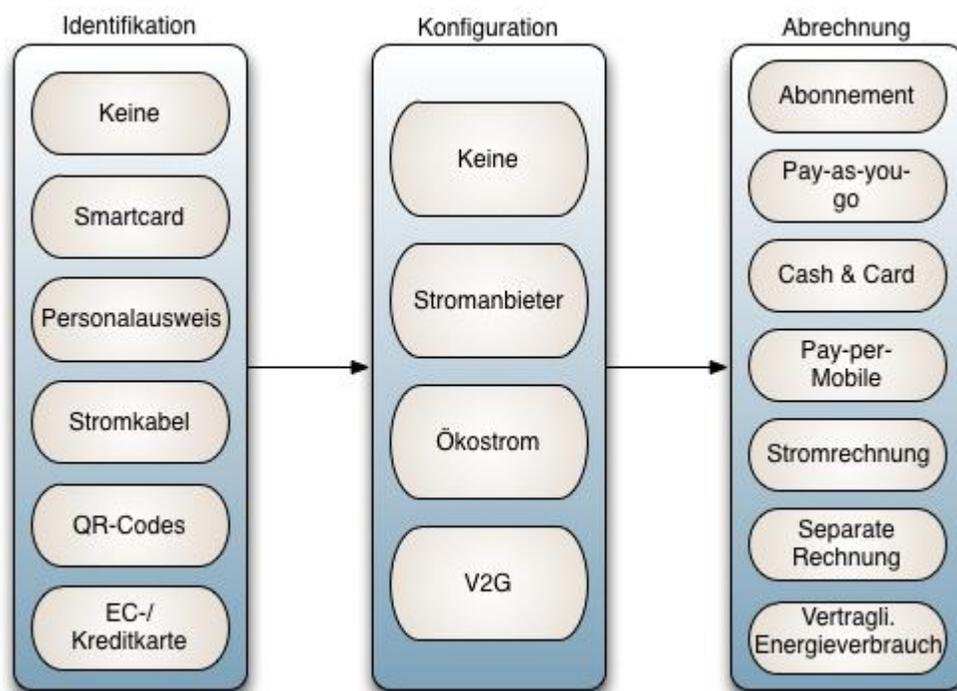


Abbildung 27 : Kombinationsmöglichkeiten für mögliche Abrechnungssysteme

6.5.2 Anwendung des Modells auf verschiedene Szenarien

Das oben beschriebene Modell lässt sich nun auf die unterschiedlichen Szenarien anpassen und anwenden. Dazu wird zunächst das jeweilige Szenario beschrieben und anschließend anhand des Modells die Konsequenzen für den Abrechnungsverlauf aufgezeigt.

6.5.2.1 Privater Bereich mit privatem Zugang

Heutzutage ist der Stromversorgungsmarkt eindeutig geregelt. Das EVU verkauft dem Nutzer den Strom, welchen es selbst vom Strommarkt kauft. Dort wird der Strom von den Stromerzeugungsunternehmen angeboten und dann vom TSO zum DSO geleitet, welcher schließlich das Haus des Endkunden beliefert (s. Abb. 28). Für die Zukunft sieht nicht nur der E.ON Konzern das eigene Heim als die wichtigste Station für das Aufladen des EV (vgl. E.ON 2011, 14), sondern auch die befragten Experten waren sich in dem Punkt alle einig. Zu Hause reichen bereits ein einfaches Kabel und eine gewöhnliche Steckdose um das EV aufzuladen. Diese sehr einfache aber auch langsame Methode wird „dumb charging“ genannt, da keine Kontrolle über die Laderate besteht (vgl. Bending et al. 2010, 49). Durch die Installation einer speziellen Ladevorrichtung (z.B. „Wallbox“ von E.ON) können neben schnelleren Ladeprozessen dank höherer Stromleistung auch Technologien wie V2G oder Smart Metering unterstützt werden. Vor allem das Zusammenspiel dieser beiden Technologien macht aus einem „Dumb charging“-Haus eine „SmartHome“ (vgl. Bending et al. 2010, 50). Wie die Abbildung 30 zeigt, fließt der Strom vom EV auch zurück zum DSO. Damit dies reibungslos funktioniert und

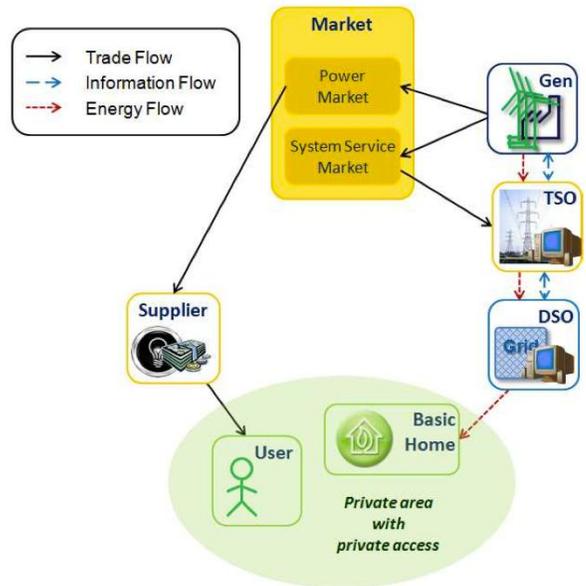


Abbildung 28 : Die Situation auf dem Stromversorgungsmarkt heute

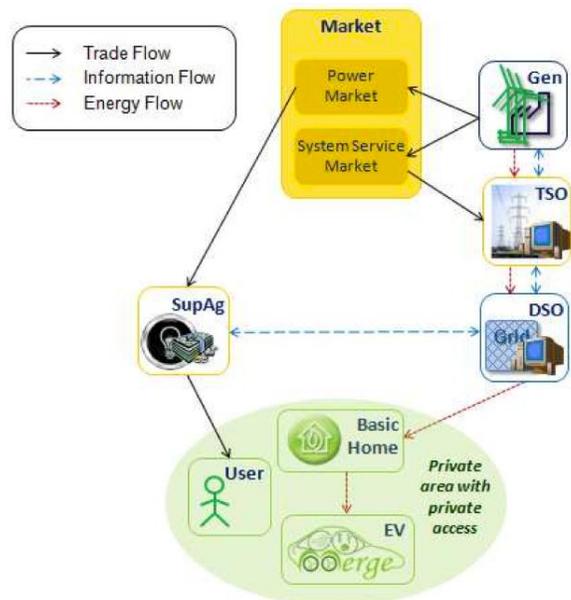


Abbildung 29 : "Dumb Charging" in einem privaten Bereich mit privatem Zugang (Quelle: Bending et al. 2010, 50)

korrekt abgerechnet werden kann ist ein „Informationsdreieck“ zwischen EVU, DSO und „Smart Home“ notwendig, so dass alle Stromflüsse gemessen, reguliert und zum richtigen Preis abgerechnet werden können. Dies geschieht indem vom Smart Home alle notwendigen Daten an den DSO und von dort an das EVU gesendet werden (vgl. Bending et al. 2010, 50). Das EVU kann mit dem Smart Home kommunizieren und beispielsweise anfragen, ob V2G möglich ist. Es muss allerdings auch mit dem DSO kommunizieren, da es nicht zu Netzinstabilitäten kommen sollte und dieser die Anfrage ggf. ablehnen kann (vgl. Bending et al. 2010, 50).

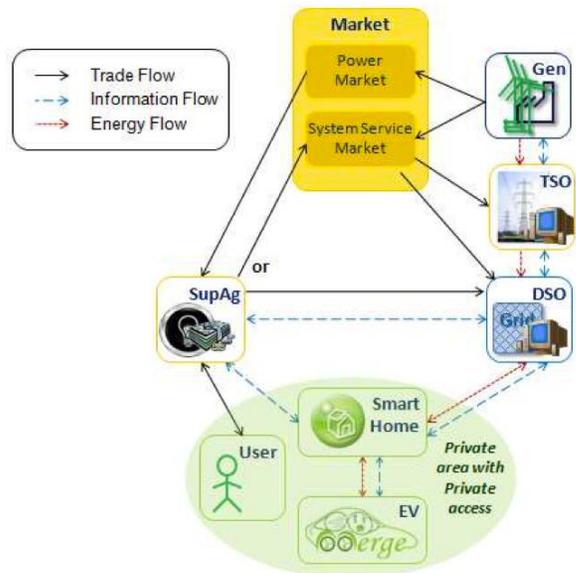


Abbildung 30 : "Smart Charging" in einem privaten Bereich mit privatem Zugang
 (Quelle: Bending et al. 2010, 51)

6.5.2.2 Privater Bereich mit öffentlichem Zugang

Als Beispiele für einen solchen Bereich nennen die Autoren Bending et al. (2010, 40) große Parkplätze, die Arbeitsstelle oder ausgewiesene Lade- bzw. Batterie-Austausch-Stationen. Im Falle eines großen Parkplatzes (z.B. an einem Supermarkt oder Bahnhof) wird es wahrscheinlich eine zentrale Zahlungsstelle geben, ähnlich den zentralen Ticketautomaten auf Parkplätzen und in Parkhäusern heute (vgl. Bending et al. 2010, 40). Der Betreiber einer solchen privaten Fläche zum öffentlichen Gebrauch mit mehreren CPs wird Charging Point Manager (CPM) genannt. Der CPM bezieht seinen Strom von dem EVU und kann diesem auch DSM- und V2G-Funktionen zur Verfügung stellen (vgl. Bending et al.

2010, 51). Eine mit einem Smart Meter ausgestattete Zentraleinheit übernimmt die Funktion ähnlich den Ticketautomaten auf Parkplätzen heute: An dieser Zentraleinheit kann man sich autorisieren, abrechnen und zahlen. Nur diese Zentraleinheit muss mit dem DSO bzw. EVU kommunizieren. Alle anderen CPs sind dieser Einheit untergeordnet (vgl. Bending et al. 2010, 51-52). Die Arbeitsstelle ist sicherlich nach dem eigenen Haus der Ort, an dem das Auto am meisten steht. Daher bietet es sich an, auch hier CPs zu installieren, damit vor allem die Mitarbeiter mit längerer Anfahrt

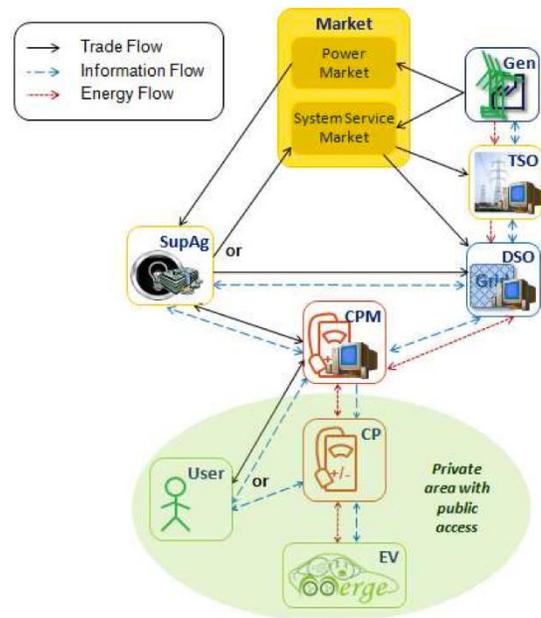


Abbildung 31 : Ladeprozess in einem privaten Bereich mit öffentlichem Zugang (Quelle: Bending et al. 2010, 52)

auch ausreichend Energie für die Rückfahrt haben. Der Strom könnte für jedes EV einzeln oder aber für alle insgesamt von dem Arbeitgeber abgerechnet werden. Eine CPM-ähnliche Einrichtung wäre hier daher sinnvoll, damit alle CPs kontrolliert und gesteuert, aber auch ggf. separat abgerechnet werden können. SAP nutzt diesen Ansatz genauso bei seiner Future Fleet (vgl. SAP 2011, 19). Ebenfalls bei der SAP Future Fleet geplant oder bereits umgesetzt sind V2G- und DSM-Konzepte. Denn wenn ein Unternehmen selbst viel Elektrizität aus erneuerbaren Energien erhält könnte es ein eigenes DSM einrichten und die Autobatterien als Pufferspeicher für die unter Umständen stark schwankende Stromversorgung nutzen, um so einen kontinuierlichen Stromfluss garantieren. Da die im Verhältnis zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor geringe Reichweite eines der größten Defizite des EVs ist, kann davon ausgegangen werden, dass Stationen entstehen die den heutigen Tankstellen ähnlich sind, an denen in relativ kurzer Zeit viel Energie aufgenommen werden und dadurch zusätzliche Reichweite erreicht werden kann. Dabei kann grundsätzlich zwischen zwei Modellen unterschieden werden. Einer Schnell-Ladestation, die sich im Grunde von einer gewöhnlichen Ladestation nur durch einen höheren Energiefluss in kürzerer Zeit unterscheidet und einer Batterie Swap Station.

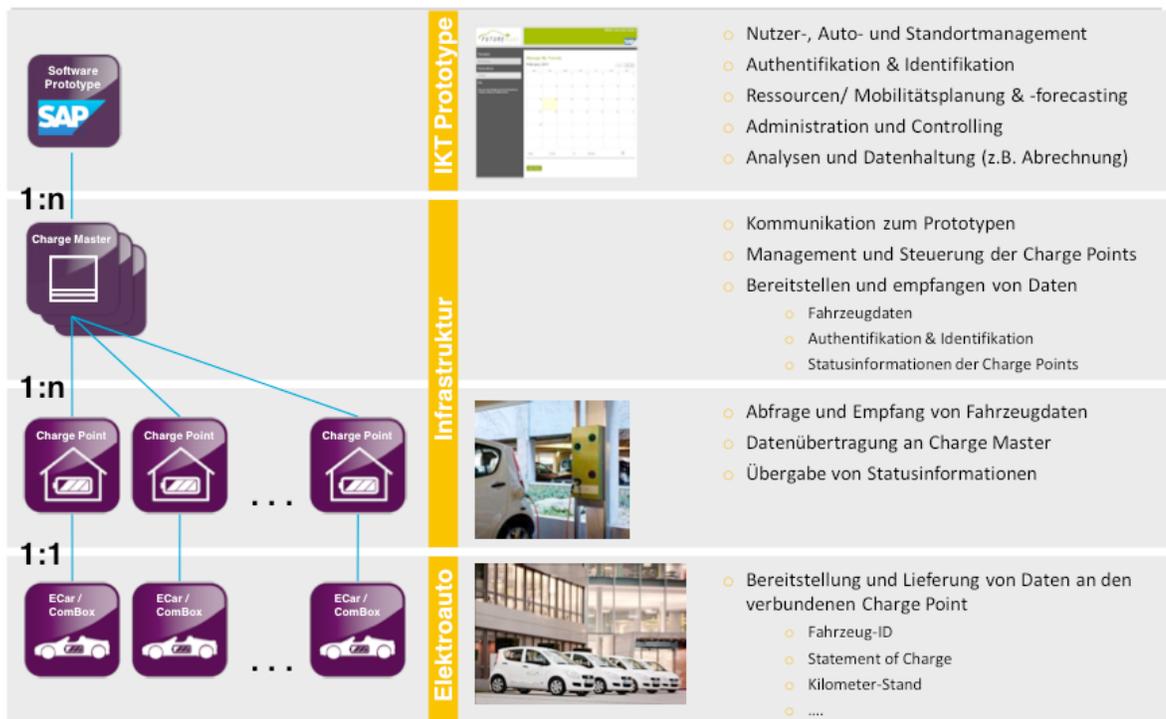


Abbildung 32 : SAP-Future Fleet : Systemlandschaft

(Quelle: SAP 2011, 15)

Erstere könnten innerhalb weniger Minuten die Reichweite um bis zu 50km erweitern (vgl. E.ON, 2011, 17), allerdings muss auch bei solchen Stromstärken in so kurzer Zeit mit enormer Hitzeentwicklung gerechnet werden und entsprechende Kühlungssysteme sind schwer und teuer. BSSs bieten zwar noch kürzere Ladezeiten, erfordern jedoch strenge Standards für die Technologie. Zudem muss das ganze Geschäftsmodell auf Batterie-Leasing beruhen. In der BSS müssen permanent ausreichend Batterien aufgeladen in einem gutem Zustand vorhanden sein. Der Kauf und die anschließende Lagerung aller Batterien ist sehr kapitalintensiv.

6.5.2.3 Öffentlicher Bereich mit öffentlichem Zugang

Als Nutzer für diese „On-Street“-CP nennen Bending et al. (2010, 41) natürlich solche Leute in urbanen, dicht besiedelten Gebieten die keine eigene Zufahrt haben in der sie ihr Gerät aufstellen könnten aber auch diejenigen, die tagsüber ihr EV nachladen möchten. Ein solcher CP muss den Stromfluss eigenständig messen und mit dem Stromversorger kommunizieren können (vgl. Bending et al. 2010, 41). Die Autoren gehen ebenfalls davon aus, dass öffentliche CPs mit einem Smart Meter ausgestattet sein werden und folglich

DSM und V2G unterstützen werden.

Das EV kommuniziert „Kontroll- und Nutzungsdaten mit dem CP“ (Bending et al. 2010, 52). Das EVU könnte potentiell DSM und V2G an- und abschalten, muss hier jedoch, wie bereits oben genannt, mit dem DSO in Kontakt stehen, um Störungen und Ausfälle im Netz zu vermeiden. Auch der DSO kann mit dem CP kommunizieren und ihn ab- bzw. anschalten um beispielsweise Probleme im Netz zu beheben (vgl. Bending et al. 2010, 52-53).

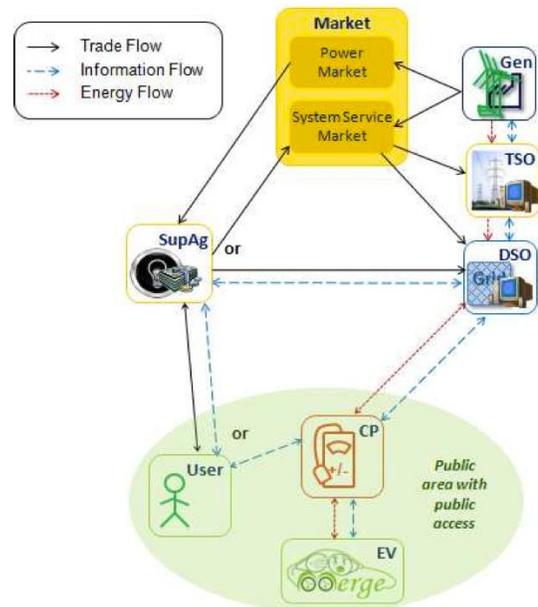


Abbildung 33 : Ladeprozess in einem öffentlichen Bereich mit öffentlichem Zugang
(Quelle: Bending et al. 2010, 53)

6.5.3 Bewertung zukünftiger Abrechnungsmodelle

Die Autoren Bending et al. (2010, 71) sortieren die von ihnen identifizierten Abrechnungsmodelle nach den zwei Dimension Bequemlichkeit für den Nutzer und Bequemlichkeit für das EVU und unterscheiden dabei zwischen der heimischen und der nicht-heimischen Anwendung. Zunächst werden die Ergebnisse des MERGE-Projektes zusammengefasst. Im Anschluss werden die Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit getätigten Umfrage vorgestellt und bewertet.

6.5.3.1 Die Ergebnisse des MERGE-Projekts

Für die heimische Anwendung halten Bending et al. (2010, 71) die Methoden „Stromrechnung“ und PAYG sowohl für EVU als auch Nutzer am einfachsten. Aber auch ein Abonnement, vertraglicher Energieverbrauch und eine separate Stromrechnung halten sie für durchaus geeignet. Für vollkommen überflüssig in diesem Bereich halten sie dagegen die Zahlung mit Bargeld (s. Abbildung 34). Für die nicht-heimische Anwendungen identifizieren Bending et al. (2010, 72) die PAYG-Lösung und – sofern umsetzbar – das Modell „Stromrechnung“ als bequeme und relativ einfach zu implementierende Lösungen.

Überlegenswert sind nach den Autoren die Abonnementlösung, sowie eine separate Stromrechnung oder ein vertraglicher Energieverbrauch. Für dieses Anwendungsszenario wird eine Zahlung mit Bargeld oder EC-/Kreditkarte sowohl für den EVSE Operator als auch für den Kunden umständlich (s. Abbildung 35) (vgl. Bending et al. 2010, 70-71).

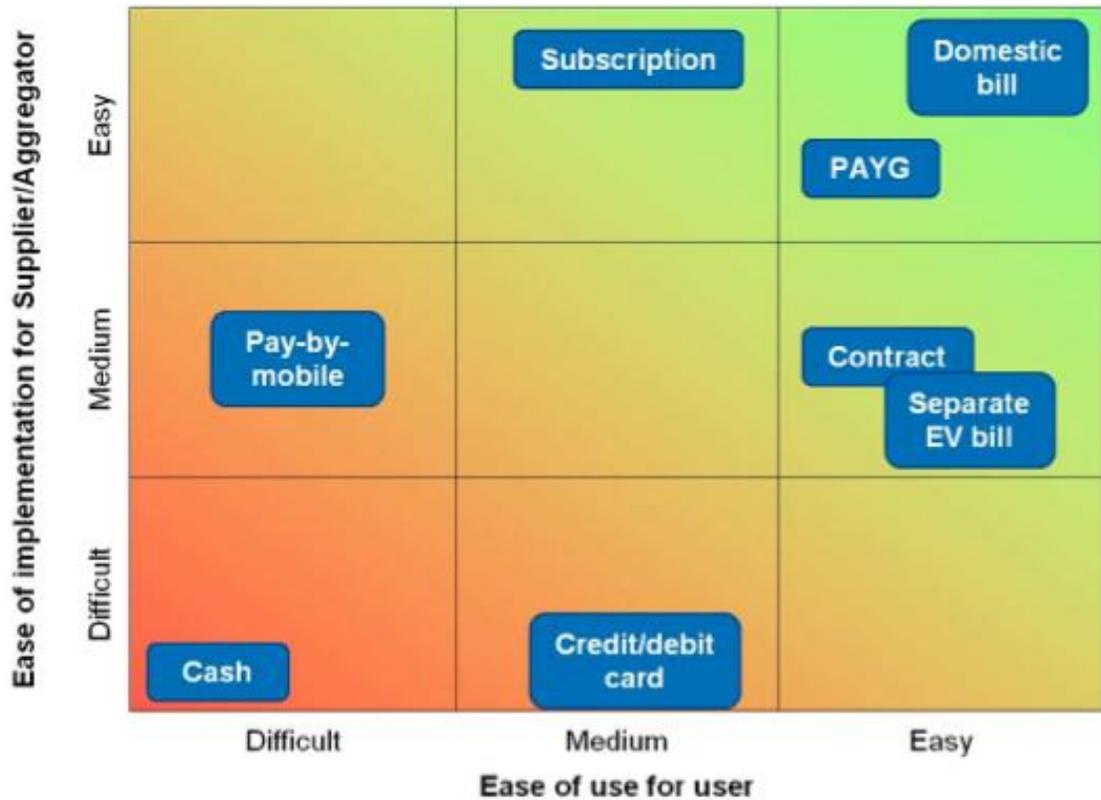


Abbildung 34 : Bewertungsmatrix für Abrechnungsmodelle im heimischen Bereich
(Quelle: Bending et al. 2010, 71)

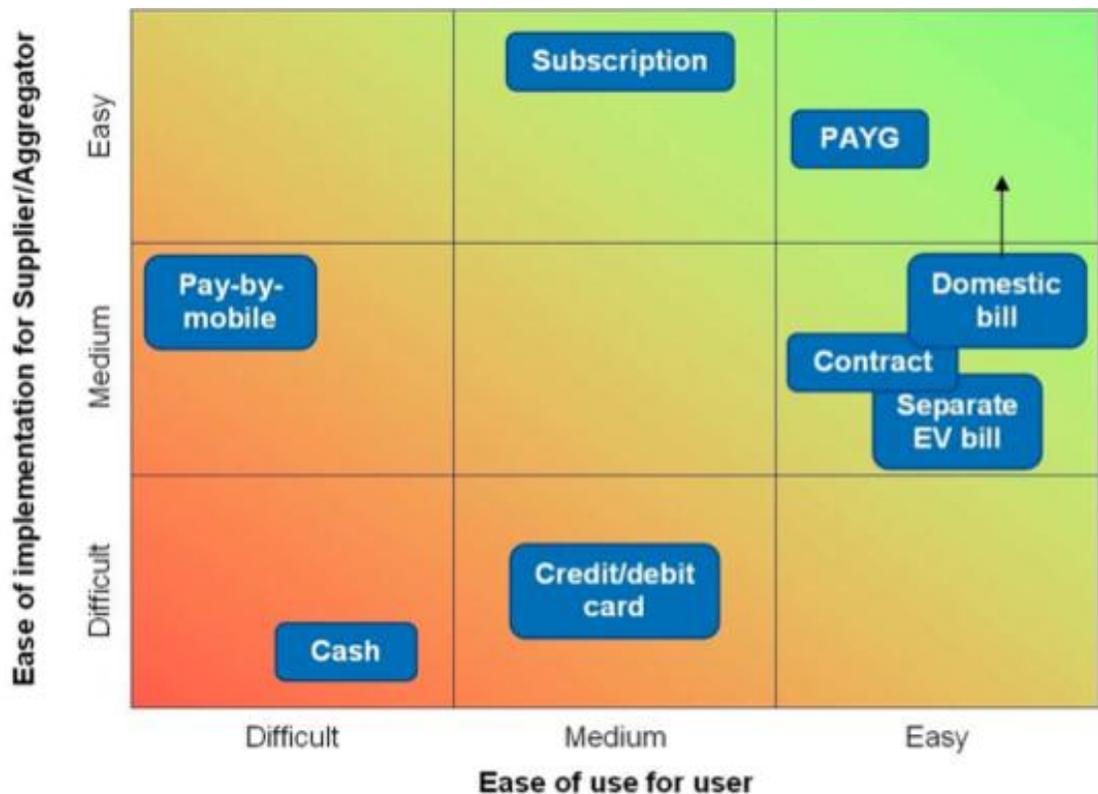


Abbildung 35 : Bewertungsmatrix für Abrechnungsmodelle im nicht-heimischen Bereich

(Quelle: Bending et al. 2010, 72)

6.5.3.2 Expertenbefragung

Auf die Email-Anfragen reagierten insgesamt 13 Experten aus den unterschiedlichsten Bereichen der Branche und gaben nicht nur ihre quantitativen Einschätzungen, sondern häufig auch schriftliche Begründungen ihrer Bewertung (s. Anhang 2). Die detaillierte Tabelle mit allen Namen und Bewertungen sind im Anhang 3 zu finden. Werte größer als „2“ wurden in Abbildung 36 rot markiert und stellen die von den Experten als wahrscheinlich eingestuften Abrechnungsmodelle in einem Szenario dar. Der höchste Wert pro Szenario wurde jeweils hervorgehoben. Im privaten Bereich wird davon ausgegangen, dass eine Abrechnung über die häusliche Stromrechnung erfolgt. Dabei kann es auch sein, dass der Strom für das EV separat über einen zusätzlichen Stromzähler, vielleicht sogar ein Smart Meter, abgerechnet wird. Diese Methode kann nach Expertenmeinungen zwar „nervig“ sein, bietet jedoch auch mögliche Vorteile in steuerlicher, bzw. tariflicher Hinsicht. Zudem kann so der Stromversorger für das EV unabhängig vom häuslichen

Stromlieferanten gewählt werden. Im halb-öffentlichen Bereich wird die Möglichkeit einer separaten Stromrechnung sogar als am wahrscheinlichsten eingestuft. Auch die Möglichkeit einer Zahlung mit einer Prepaid-Kundenkarte (PAYG), sowie die Möglichkeit über die Telefonrechnung zu bezahlen (Pay-per-Mobile) wird als überdurchschnittlich wahrscheinlich erachtet. Im öffentlichen Bereich wird PAYG sogar als die erfolgversprechendste Methode bewertet. Die Zahlung mit der Telefonrechnung und Bargeld, bzw. EC-/Kreditkarte werden nach Expertenmeinungen ebenfalls eine Rolle spielen. Die Abrechnung über eine separate Stromrechnung wird allerdings nicht vollständig ausgeschlossen.

	Privat	Halb-Öffentlich	Öffentlich
Abonnement	1,46	1,81	1,58
Pay-as-you.go	1,15	2,19	2,35
Cash & Card	1,15	1,92	2,19
Pay-per-Mobile	1,15	2,08	2,15
Stromrechnung	2,77	1,73	1,92
Separate Stromrechnung	2,08	2,31	2,08
Vertragl. Energieverbrauch	1,77	1,69	1,85

Abbildung 36 : Geschätzte Wahrscheinlichkeiten, dass sich Abrechnungsmodelle in den jeweiligen Anwendungsszenarien durchsetzen

Auffällig ist, dass das Abrechnungsmodell „Separate Stromrechnung“ in allen drei Anwendungsszenarien zu den wahrscheinlicheren Abrechnungsmethoden gezählt wird. Dies liegt wohl daran, dass sowohl die Kunden als auch die EVSA von der enormen Bequemlichkeit profitieren. Diese Methode ist deshalb so bequem, da die Abrechnung vollautomatisch via Lastschriftverfahren in periodischen Abständen vorgenommen werden kann. Weitere Vorteile sind insbesondere die Unabhängigkeit vom bisherigen heimischen

Stromversorger und dessen Tarifen, sowie die zusätzliche Übersichtlichkeit und Transparenz. Die größte Schwierigkeit ist der Aufbau einer stabilen Datenflussinfrastruktur, die es auch dem Kunden erlaubt CPs eines anderen Anbieters zu nutzen. Auch der Datenschutz muss auf höchstem Niveau gewährleistet sein. Neben diesen technischen Hürden muss sichergestellt sein, dass auch ein ausreichender rechtlicher Rahmen vorhanden ist.

Im halb-öffentlichen Bereich erlaubt PAYG einen einfachen Identifikationsprozess und eine Offline-Abrechnung. Außerdem lassen sich problemlos kleine Beträge abrechnen. Die Möglichkeiten in der konkreten Umsetzung sind vielfältig: Das EVU kann eigene Smartcards an seine Kunden ausgeben, wobei diese in der Lage sein sollten mit CPs anderer EVUs zu kommunizieren um dem Kunden Roaming zu ermöglichen. Noch kundenfreundlicher wäre eine gemeinsame von den EVUs entwickelte „Standardsmartcard“. Wenn die Karten auf einem Prepaidsystem basieren könnten die Karten über ein Onlinekonto mit Hilfe von Banküberweisungen oder Internetzahlungsdiensten aufgeladen werden. Automaten im öffentlichen Bereich könnten dazu auch die Aufladung via Bar- bzw. Kreditkartenzahlung ermöglichen. Unter anderem wegen dieser Vorteile und den vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten erhielt diese Methode im öffentlichen Bereich die beste Bewertung. Die Abrechnungsmodelle „Cash & Card“ und „Pay-per-Mobile“ werden im öffentlichen Bereich ebenfalls gute Erfolgsaussichten eingeräumt. Der einzige große Vorteil von „Cash & Card“ ist die Möglichkeit das Auto anonym und diskriminierungsfrei aufzuladen. Negativ sind diesem Abrechnungsmodell der hohe technische Aufwand, die Gefahr von Vandalismus, sowie die hohen Wartungskosten eines Bargeldautomaten bei zu geringen Umsätzen pro Transaktion. Pay-per-Mobile ist zwar für den Kunden ähnlich komfortabel wie eine Zahlung via PAYG, jedoch ist die Einrichtung wesentlich aufwändiger und der laufende Betrieb dadurch teurer. Die Tatsache, dass mit den Telekommunikationsunternehmen eine weitere Partei in den Datenfluss integriert wird ist auch aus datenschutzrechtlicher Sicht kritisch zu beurteilen.

6 Schlussbetrachtung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass neue Geschäftsmodelle nötig sind, um im Bereich Elektromobilität erfolgreich zu wirtschaften. Automobilhersteller, Stromanbieter und diverse weitere Marktteilnehmer entwickeln und testen daher innovative Geschäftsmodelle,

um eine gute Ausgangsposition für den prognostizierten EV-Massenmarkt im Jahr 2020 zu erlangen. Großes Potential bieten dabei neuartige Mobilitätskonzepte wie dynamisiertes Carsharing, Park & Charge und das Batteriewechselkonzept. Probleme treten allerdings häufig bei der Kosten- und Finanzierungsstruktur auf, da die Investitionen in Ladeinfrastruktur, die Einnahmen aus verkauften Dienstleistungen und Strom größtenteils überwiegen. Somit bleibt der Erfolg der jeweiligen Geschäftsmodelle abzuwarten. Die Voraussetzungen für die erfolgreiche Einführung dieser Geschäftsmodelle werden hingegen deutlich. Kooperationen zwischen den verschiedenen Marktakteuren, Erweiterung der politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen, Standards und Normen, sowie Datensicherheit sind dafür unabdinglich. Bedingt durch den ständigen Wandel und technische Innovationen im Bereich Elektromobilität besteht dennoch weiterer Forschungsbedarf speziell für Standards, Normen, ebenso wie regulatorische Maßnahmen. Aufgrund der geringen Stichprobengröße bei der Expertenbefragung kann bei den Ergebnissen lediglich von einer Tendenz ausgegangen werden. Im heimischen Bereich wird folglich mit großer Wahrscheinlichkeit über die Stromrechnung abgerechnet. Gegebenenfalls geschieht dies mit einem separaten Stromzähler. Im halb-öffentlichen und öffentlichen Raum ist eine Zahlung mit einer (Prepaid-)Kundenkarte wahrscheinlich. Dabei ist es langfristig denkbar, dass durch eine umfassende Datenintegration die Rechnung über nicht-privaten Ladevorgänge als separate Stromrechnung dem Kunden zugeschickt wird. Weiteren Forschungsbedarf gibt es im Bereich der Zahlungssysteme und der Standardisierung. Genaue Kosten- und Leistungsrechnungen an konkreten Modellen, sowie die weitere Erforschung von Standards und Normen in technischer, wirtschaftlicher und juristischer Hinsicht können der Entwicklung der Elektromobilität wichtige und wegweisende Impulse geben. Es ist besonders wichtig, möglichst schnell langfristig tragfähige Konzepte zu entwickeln um den Fortschritt zu beschleunigen und Fehlinvestitionen zu vermeiden.

**7 Vehicle-2-Grid (V2G) – An Overview of the Current
Technical, Economical and Political Discussion**

(Tino Ewler, Hewad Osmani)

7.1 Einleitung

Die Abhängigkeit von limitierten fossilen Rohstoffen (z. B. Erdöl), die durch Verknappungen kontinuierlich im Preis steigen (vgl. Hackbarth et al. 2009, 1) und Bemühungen zum Klimaschutz (z. B. Reduzierung von Fahrzeug- und CO₂-Emissionen) (vgl. Yiyun et al. 2011, 1), erfordern eine Veränderung oder sogar Neustrukturierung des Status quo in Bezug auf die Energiegewinnung für den “motorisierten Individualverkehr” (Schill 2010a, 140). Der Bedarf nach effizienten und umweltfreundlichen Strukturen ist vor diesem Hintergrund gegeben und kann durch Elektromobilität und den damit einhergehenden Konzepten gedeckt werden.

Regenerative Energien, u. a. Solar- und Windenergie, sollen in Zukunft Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen gewährleisten und den Klimaschutz unterstützen. Jedoch unterliegen regenerative Energien Schwankungen, weshalb diese zeitweise Überschüsse oder keine Energie produzieren. Mit Hilfe des Vehicle-to-Grid-Konzepts (V2G) können Besitzer von Elektrofahrzeugen (EV) bei einem Stromüberangebot aus regenerativen Energien ihre Fahrzeuge aufladen, wodurch diese als dezentrale Speicher fungieren würden (vgl. Kempton/Tomic 2005a, 269). Die Notwendigkeit einer Speichermöglichkeit besteht, weil das elektrische Stromnetz über keine Speicher für regenerative Energien verfügt (vgl. Hackbarth et al. 2009, 3). Andererseits könnten Besitzer von EV auch Strom an das Netz abgeben, wenn ein hoher Bedarf vorliegt und somit Profit erzielen (vgl. Abbildung 49 im Anhang). Als V2G kann daher der “Anschluss von EV an das Stromnetz” (Hackbarth et al. 2009, 2) verstanden werden.

Zu beachten ist, dass das V2G-Konzept mit Elektromobilität korreliert und deswegen auch durch dessen Barrieren gehemmt wird. Der Aufbau einer weitgehend flächendeckenden Ladeinfrastruktur gehört zu den grundlegenden Aspekten für die Akzeptanz von EV. Daneben sind hohe Anschaffungskosten, Maßnahmen seitens der Politik (z. B. Subventionen) und die technologische Entwicklung (z. B. Batterietechnik) zu beachten (vgl. Schill 2010b, 4).

Im Rahmen dieser Seminararbeit soll das V2G-Konzept aus der technischen, ökonomischen und politischen Perspektive betrachtet und diskutiert werden. Zunächst wird ein Überblick

über den aktuellen Forschungsstand im Bereich Elektromobilität im Allgemeinen und im Bereich V2G im Speziellen gegeben. Einführend werden zentrale Begriffe definiert und ausgehend davon Kernkonzepte des V2G untersucht. Im nachfolgenden Abschnitt wird zunächst das methodische Vorgehen beschrieben, bevor im Anschluss eine Literaturanalyse erfolgt. Darauf folgend wird eine Forschungsübersicht auf Basis der Literaturanalyse erstellt, die die Bereiche des V2G aufzeigen soll in denen besonders intensiv geforscht wird und somit der Fokus liegt sowie in welchen Bereichen ein Forschungsbedarf herrscht. Anschließend werden die Ergebnisse der Forschungsübersicht aus verschiedenen Perspektiven diskutiert. Abschließend wird in einem Ausblick das Potenzial des V2G evaluiert und in einem Fazit die V2G-Konzeption resümiert.

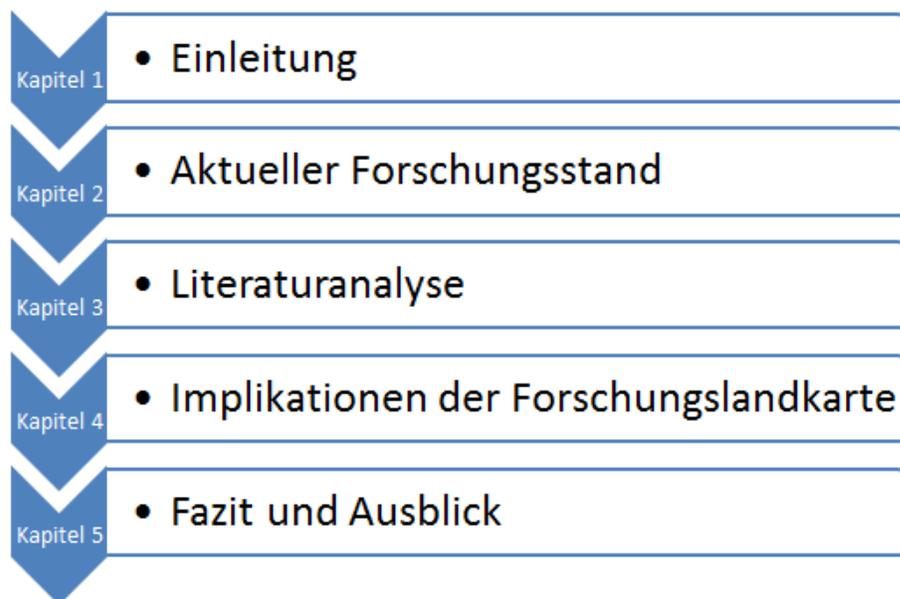


Abbildung 37 : Überblick der Kapitel

(Quelle: eigene Darstellung)

Die Seminararbeit beschränkt sich auf die Konzeption des V2G und deren Geschäftsmodelle sowie Infrastrukturen. Der Begriff Elektromobilität wird im weiteren Verlauf dieser Seminararbeit in den Bereich des “motorisierten Individualverkehrs“ (Schill 2010a, 140) begrenzt.

7.2 Konzeptionelle Grundlagen und Definitionen

Das folgende Kapitel dient der Definition und Verknüpfung zentraler Begriffe der Elektromobilität und des V2G, die im weiteren Verlauf der Arbeit Verwendung finden. Zudem werden grundlegende Elektromobilitätskonzepte hinsichtlich einer V2G-Umsetzung geprüft. Es werden Grundannahmen zum Verständnis der Thematik erläutert sowie Geschäftsmodelle zur möglichen Umsetzung genannt.

7.2.1 Definitionen

Es erfolgt eine Definition und Abgrenzung ausgewählter Begriffe, die als Hauptbestandteil dieser Seminararbeit identifiziert wurden. Zum Verständnis der Auswahl der Definitionen in diesem Kapitel, wird in der Abbildung 38 die Abhängigkeit des V2G-Konzepts von den Bereichen Elektromobilität und Smart Grid verdeutlicht. Wie in diesem Kapitel und im weiteren Verlauf der Arbeit festgestellt wird, wird ohne den nötigen Ausbau und die Implementierung dieser beiden Bereiche das V2G-Konzept nicht umzusetzen sein.

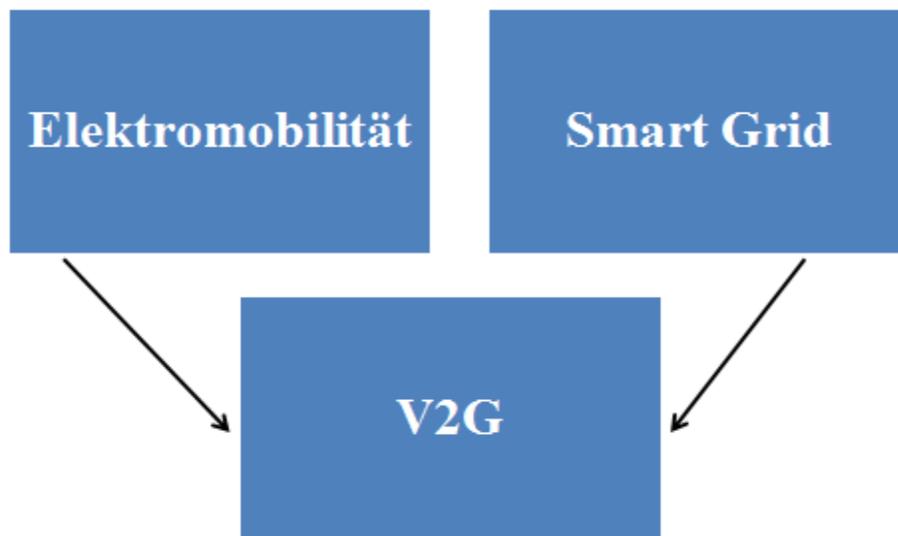


Abbildung 38 : Abhängigkeit des V2G-Konzepts von Elektromobilität und Smart Grid

(Quelle: eigene Darstellung)

7.2.1.1 Elektromobilität

Es ist keine allgemeingültige Definition von Elektromobilität vorhanden. Der Begriff umschließt grundsätzlich alle Arten des öffentlichen und elektrischen Personenverkehrs

(vgl. Schill 2010a, 141). In dieser Arbeit sowie in den aktuellen Diskussionen und Debatten, wird Elektromobilität auf den motorisierten Individualverkehr begrenzt und somit im Allgemeinen auf Elektroautos. Darunter zu verstehen ist das Ersetzen oder Ergänzen des aktuellen Verbrennungsmotors durch einen elektrischen Antriebsstrang (vgl. Schill 2010b, 2-3). Hierbei werden Unterscheidungen in hybridisierter Motorenform und komplettem Elektroauto gemacht. Aufgrund dieser Einschränkung des Begriffes gibt es eine Vielzahl an Definitionen. Zum Zwecke dieser Seminararbeit geeignet sich die Definition von Wietschel et al., da diese eine Begrenzung auf Elektroautos zulässt:

“Der Begriff der Elektromobilität bezieht sich i.d.R. auf den motorisierten Individualverkehr, wobei die Fahrzeuge einen Elektromotor als Antrieb verwenden und eine relevante Energiemenge entweder direkt als Strom in Batterien bzw. chemisch gebunden als Wasserstoff mit Umsetzung in Brennstoffzellen gespeichert haben” (Wietschel et al. 2010, 14)

In dieser Arbeit wird sich der Begriff Elektromobilität auf den motorisierten Individualverkehr beschränken. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf der Arbeit bei dem Begriff Elektromobilität auf die Definition von Wietschel et al. (2010, 14) verwiesen.

7.2.1.2 Vehicle-to-Grid

Die V2G-Konzeption geht auf den Artikel “ELECTRIC VEHICLES AS A NEW POWER SOURCE FOR ELECTRIC UTILITIES” von Kempton/Letendre (1997, 157-175) zurück. In diesem Artikel wird die Grundidee des V2G - EV als dezentralen Speicher für Strom aus erneuerbaren Energien zu nutzen - erstmals beschrieben (vgl. Kempton/Letendre 1997, 172).

Eine weitere Untersuchung von Kempton/Tomic (2005a, 270) ergab, dass die Bereitstellung von elektrischem Strom für das Stromnetz durch geparkte EV ermöglicht werden kann, da Fahrzeuge 96% der Zeit nicht genutzt werden. Jedes EV benötigt dazu folgende Komponenten: (1) eine Verbindung vom EV zum Stromnetz zur Energieübertragung, (2) ein Steuerungssystem für den Stromanbieter zum Ermitteln von Energiekapazitäten bei EV, (3) ein präzises Messsystem - zur Ermittlung von verfügbarer

und abgegebener Energie - im Fahrzeug (vgl. Abbildung 50 im Anhang). Alle diese Komponenten sind schon bereits entwickelt worden und daher einsatzfähig. Dabei kann ein unabhängiger Netzbetreiber (ISO⁶) über ein Medium zum Informationsaustausch wie z. B. Funksignal, Mobilfunknetz oder Internetverbindung, nach Strom bei EV anfragen (vgl. Abbildung 39).

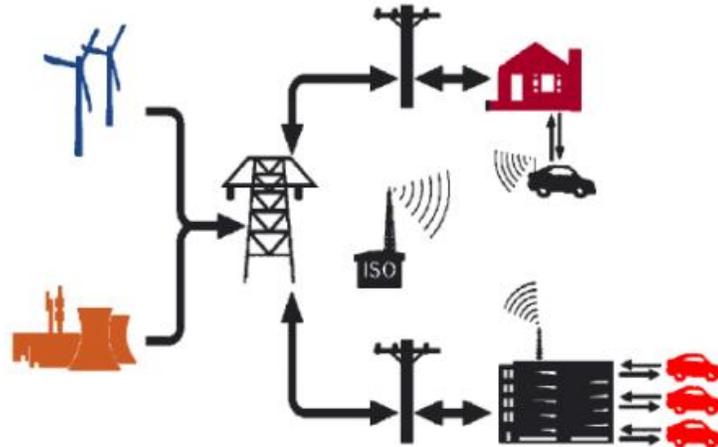


Abbildung 39 : Konzept des V2G
(Quelle: Kempton/Tomic 2005a, 270)

Heider et al. (2009, 2) beschreiben V2G als einen Ansatz, welcher Speicherkapazität für Strom bereitstellt und eine flexible Nachfrage zulässt, um Schwankungen von regenerativen Energien entgegenzuwirken. Batterien von EV können zu Energieüberschusszeiten aufgeladen werden und Strom zu Engpasszeiten abgeben. Somit können Batterien von EV genutzt werden, um Nachfrage und Angebot von elektrischem Strom auszugleichen.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird unter V2G Folgendes verstanden: Eine bidirektionale Verbindung geparkter EV an das Stromnetz, welche ein intelligentes Aufladen der Fahrzeugbatterie und eine Rückspeisung - von aus erneuerbaren Energien gewonnenen Stroms - an das Stromnetz ermöglichen (vgl. Kempton/Tomic 2005a, 269; vgl. Schill 2010b, 7). Dabei wird intelligentes Laden als das Aufladen der Batterie zu günstigen und die Entladung der Batterie zu hohen Stromkonditionen verstanden (vgl. Abschnitt 7.2.1.3). EV können also als dezentrale Speicher für Strom aus erneuerbaren Energien fungieren

⁶ Independent System Operator.

(vgl. Kempton/Tomic 2005b, 286). Zusätzlich können beim V2G durch die Abgabe von Strom “handfeste finanzielle Vorteile” (Heuer 2004, 104) auf Seiten des Fahrzeugbesitzer generiert werden (vgl. Abbildung 49 im Anhang). Laut Jon Wellinghoff⁷ können Gewinne in Höhe von bis zu ca. 3.000 Dollar jährlich mit dem V2G-Ansatz generiert werden (vgl. Lamonica 2011, 2).

7.2.1.3 Smart Grid

Als eine Voraussetzung zur erfolgreichen Implementierung von EV und deren Nutzen für Wirtschaft und Umwelt ist ein sogenanntes “intelligentes Stromnetz” (“Smart Grid”) nötig (vgl. Mittelbach 2011, 20). Eine einheitliche Definition von “Smart Grid” ist in der Literatur nicht zu finden. Ein Ansatz ist es diesen Begriff auf eine zweiseitige Kommunikation zwischen dem Energienutzer und dem Energieproduzenten auszulegen, wobei eine sekundengenaue Überwachung über Energieladungen und zweiseitige Energieflüsse, d. h. einerseits vom Energielieferanten zum Kunden, andererseits vom Kunden zum Energielieferanten, geregelt werden müssen (vgl. Graham et al. 2011, 20).

Die Hintergründe zur Entstehung des Smart Grid, sowie deren abgeleiteten Anforderungen sind u. a. folgende (vgl. DKE 2010, 13-17):

Integration volatiler und dezentraler Stromerzeugungen

Flexibilisierung, sowie mehr Information und Einsicht über den Stromverbrauch

Betrieb von aktiven Energieverteilungs- sowie Energieübertragungsnetzen zur
Netzautomatisierung

Zukünftig nachhaltigen, wirtschaftlichen und sicheren Strom zu liefern

Einbindung des Kunden als Verbraucher aber auch ggf. als Erzeuger

Bidirektionale Kommunikation sowie Energieflüsse zwischen Erzeugern und
Verbrauchern

Der Zusammenhang zwischen Smart Grid und dem V2G-Konzept wird begründet durch die zunehmende dezentrale Erzeugung erneuerbarer Energien, der Frage der Steuerung von Einspeisung und Abnahme der erzeugten Energie sowie der Frage der Speicherung (vgl.

⁷ Jon Wellinghoff ist Präsident der Federal Energy Regulatory Commission.

Schuller 2010, 1). Aufgrund dieser engen Verbindung hinsichtlich der Thematik dieser Arbeit wird im weiteren Verlauf unter Smart Grid folgendes verstanden:

“Der Begriff ‘Smart Grid’ (Intelligentes Energieversorgungssystem) umfasst die Vernetzung und Steuerung von intelligenten Erzeugern, Speichern, Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und -verteilungsnetzen mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Ziel ist es auf Basis eines transparenten energie- und kosteneffizienten sowie sicheren und zuverlässigen Systembetriebs die nachhaltige und umweltverträgliche Sicherstellung der Energieversorgung.” (DKE 2010, 13)

Eine wichtige Verknüpfung zum V2G ist u. a., dass wenn eine intelligente Steuerung möglich ist, Elektromobile mit Strom aus erneuerbaren Quellen geladen werden und sich somit der Anteil von regenerativen Energien am Energiemix des jeweiligen Landes erhöht. Außerdem bietet sich die Möglichkeit, das Fahrzeug unter dieser Definition von “Smart Grid” als Energiemassenspeicher zu nutzen und somit Lastspitzen im Netz zu vermeiden. Des Weiteren wäre es möglich durch Abgleichen vom Energiebedarf mit -verfügbarkeit für den Fahrzeugbesitzer lohnenswert nachts günstigen Strom zu kaufen und zu speichern und diesen tagsüber zu Spitzenpreisen zu verkaufen (vgl. Siemens AG 2011, Seite 3).

7.2.2 Bereiche des Vehicle-to-Grid

Im folgenden Abschnitt erfolgt eine Übersicht grundlegender Bereiche der V2G-Konzeption.

7.2.2.1 Infrastruktur

Die Infrastruktur für Automobile im Allgemeinen ist nicht nur auf Straßen begrenzt, sondern auch auf die Energieinfrastruktur, die bisher größtenteils aus einem Tankstellennetz mit Mineralölprodukten bestand. Jede Änderung von einem dieser beiden Bereiche zieht auch eine notwendige Änderung des anderen Bereiches mit sich. Somit ist mit der Einführung der Elektromobile, auf die sich das ganze Konzept des V2G stützt, auch eine Anpassung der Energieinfrastruktur impliziert (vgl. Göllinger 2007, 18). Hinsichtlich der Lade- und Betankungsstruktur für Elektromobile kann hier auf bereits vorhandene

Strukturen wie dem Haushaltsanschluss oder Verteilnetze zurückgegriffen werden, die nur um eine Tankmöglichkeit ergänzt werden müssen. Strukturen für öffentliche Tankstellen bzw. Ladeplätze sind dadurch weniger problematisch umzusetzen. Zu Bedenken ist hierbei, dass alle Einheiten in "Smart Grids" eingebettet sind bzw. daraus hervorgehen, was eine Herausforderung darstellt, da es noch am Ausbau der Netze und an einer nationalen und internationalen Standardisierung fehlt (vgl. Schill 2010a, 153).

Generell sind hier zwei Infrastrukturkonzepte bzgl. des Ladens der Batterie anzuführen. Als Erstes wird das Ladekonzept aufgezeigt. Dieses beinhaltet, wie bereits zuvor angesprochen, das Laden der Fahrzeugbatterie über öffentliche Stationen oder über einen Haushaltsanschluss (vgl. Wagner vom Berg 2010, 977). Da aber 40% der deutschen Fahrzeughalter keinen Haushaltsanschluss besitzen, sind Investitionen in öffentliche Ladestationen unverzichtbar (vgl. Zetsche 2009, 6). Hinsichtlich V2G wird hier eine intelligente Ladestrategie angestrebt, die im Sinne des Smart Grid das Elektromobil zum Speicher umfunktionieren kann (vgl. Wagner vom Berg, 977-978).

Als zweites Konzept ist das Austauschsystem anzubringen. Hierbei werden die Batterien der Fahrzeuge nach einem Entladezyklus an dafür vorgesehenen Servicestationen ausgetauscht (vgl. Göllinger 2007, 20). Zudem würden lange Ladezeiten entfallen und das Problem der Langstreckentauglichkeit der Elektromobile wäre mit entsprechendem flächendeckenden Ausbau der Servicestationen auch gelöst (vgl. Wagner vom Berg 2010, 978).

7.2.2.2 Geschäftsmodelle

Beide vorgestellten Konzepte, Austausch- und Ladekonzept, gehen direkt mit dem V2G-Ansatz einher. Dabei wird die Batterie entweder in Servicestationen (Better Place⁸) oder an öffentlichen Tankstellen bzw. am Haushaltsanschluss am Netz be- oder entladen und kann als Speicher im Smart Grid genutzt werden. Als ein Beispiel für ein Geschäftsmodell wird hier die Analogie zu den Mobilfunkbetreibern zu genannt. Zum

⁸ Better Place ist ein Start-Up-Unternehmen, das sich auf den Austausch der Batterien in Elektroautos spezialisiert hat. Entwickelt ist bereits ein vollautomatisches Austauschsystem, dass innerhalb von zwei Minuten eine Batterie wechseln kann.

einen schlägt Willett Kempton⁹ selber vor, dass diese als Schnittstelle für V2G-Transaktionen dienen sollten, da sie die Erfahrung mit unzähligen kleinen Transaktionen bereits haben (vgl. Heuer 2010, 105). Zum anderen sollten diese als Vorbild dienen hinsichtlich des Modells ihrer Verträge mit Anbindung eines teuren Mobilgerätes, welches über eine Vertragslaufzeit abbezahlt bzw. mitbezahlt wird. Hierbei liegt die Analogie auf dem Automobil und dessen teurer Batterie, welche in Absprache mit den Stromversorgern und den Automobilherstellern in Verträgen angeboten werden könnte. Vorteile dieses Geschäftsmodells sind hier für alle Beteiligten ersichtlich, jedoch würde gerade hinsichtlich des V2G-Konzepts eine schnelle Durchsetzung des Elektromobils gefördert (vgl. Wagner vom Berg 2010, 982-983).

Aus der ökonomischen Sichtweise betrachtet birgt das Thema Elektromobilität und damit verbunden V2G, Gefahren und Chancen zugleich. Mehrere Akteure auf dem Markt, u. a. auch die, die zuvor noch keine Berührungspunkte mit Elektromobilität hatten, wie z. B. Stromversorger und Automobilhersteller, sehen einer noch ungewissen Zukunft entgegen. Auf der einen Seite wird das Thema politisch forciert und unterstützt durch Auflagen wie z. B. CO₂-Grenzwerte oder Subventionen. Auf der anderen Seite sind immer noch keine Normen und Standards hinsichtlich der Fahrzeugbatterien oder der Ladeinfrastrukturkonzepte festgelegt worden. Somit können die unterschiedlichen Ziele der Marktakteure, sowie die einzelnen Technologien bzw. Strategien störend und hindernd wirken. Es ist deshalb notwendig ein strategisch abgestimmtes Vorgehen zwischen allen Beteiligten zu fördern und zu fordern. Aufgrund der wirtschaftlichen Interessen der einzelnen Akteure, sowie deren Strategien, gibt es mehrere Geschäftsmodelle in den einzelnen Bereichen der Stromversorger, Automobilhersteller und der Infrastruktur (vgl. Götze 2011, 36-37). Das V2G-Konzept dient in diesem Fall als ein Beschleunigungsfaktor zur Einführung der EV und der Integration von erneuerbaren Energien (vgl. Göllinger 2007, 26). Es bestehen bereits Modelle, die sich mit Batterien der EV und deren ökonomischen Vorteilen beschäftigen sowie Modelle zur Infrastruktur der Ladekonzepte. Jedoch sind direkte Modelle noch nicht konkret zu erfassen, da die vorgelagerten Konzepte/Modelle der Batterie, der Infrastruktur oder des Smart Grids noch nicht genormt sind.

⁹ Willett Kempton ist der Begründer des V2G-Ansatzes.

7.2.2.3 Beschleunigungsfaktoren

Beschleunigungsfaktoren, die auf unterschiedliche Art und Weise die Entwicklung von V2G beeinflussen bzw. verstärken können, sind in verschiedenster Form in der deutschen Wirtschaft gegeben. Zum einen regt die allgemein fortschreitende Verknappung der fossilen Treibstoffreserven international sowie auch in Deutschland zum Umdenken an und zu einer höheren Nachfrage nach Elektroautos. Impliziert darin ist auch das Bestreben nach abnehmender Abhängigkeit vom Öl (vgl. Dreier 2010, 4). Zum anderen sind es auch Faktoren wie CO₂-Grenzwerte bzw. Zielwerte, die 2015 im Flottendurchschnitt auf 130 g CO₂/km gesenkt werden sollen (2009 lag der Durchschnitt in Deutschland bei Neuwagen bei 158 g CO₂/km) (vgl. Hackbarth et al. 2009, 2). Des Weiteren ist gerade seit der Energiewende in Deutschland, also der Atomstromausstieg, der Fokus auf erneuerbare Energien und deren Speicherung erhöht worden und eines der denkbaren Modelle zur Lastensteuerung dieser Energie ist V2G (vgl. Wagner et al. 2009, 25-27). Ein weiterer Faktor der beschleunigend wirken könnte, ist die bisher unerreichte Effizienz der EV gegenüber Fahrzeugen die mit Verbrennungsmotor ausgestattet sind (vgl. Engel 2005, 1). Speziell in Deutschland wirkt das Ziel der Bundesregierung, Deutschland zum "Leitmarkt Elektromobilität" zu entwickeln an sich schon als Beschleuniger der V2G-Entwicklung sowie der Elektromobilität (vgl. Schill 2010a, 145).

Die Bundesregierung hat im August 2009 den "Nationalen Entwicklungsplan: Elektromobilität für Deutschland" veröffentlicht. Ziel dieses Entwicklungsplans ist es die Forschung und Entwicklung (F&E), Marktvorbereitung und Markteinführung der batteriebetriebenen Automobile zu unterstützen. Dabei liegt der Fokus darauf Deutschland zum "Leitmarkt Elektromobilität" zu entwickeln und einen Vorsprung durch Verknüpfung von Regierung, Industrie und Wissenschaft zu erreichen (vgl. Bundesregierung 2009, 2). Dieses Ziel soll durch drei Phasen erreicht werden. Zuerst lief eine Marktvorbereitungsphase an, die sich bis 2014 vorrangig auf F&E und Schaufensterprojekte bezieht. Danach soll bis 2017 die Markthochlaufphase den Fokus auf den Marktaufbau bei Fahrzeugen und Infrastruktur legen. Diese leitet ab 2017 die Massenmarktphase bis 2020 ein mit tragfähigen Geschäftsmodellen sowie dem Ziel von einer Millionen EV auf deutschen Straßen (vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2011, 5). Um bereits laufende und zukünftige Förderungsprogramme der F&E im Bereich Elektromobilität synergetisch zu nutzen, wurden von der Nationalen Plattform

Elektromobilität (NPE) *Leuchttürme* und *Themenclustern* definiert, die die sechs Schwerpunktthemen zum Ausbau “Leitanbieter und Leitmarkt Elektromobilität” zusammenfassen (vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2011, 16-19). Die Verteilung der prognostizierten Kosten für den Ausbau dieser Schwerpunkte belaufen sich für Regierung, Industrie und Wissenschaft insgesamt auf fast vier Mrd. Euro und sind der angefügten Abbildung 40 zu entnehmen. Anhand der Einteilung der Gelder aus der Abbildung 40 kann man erkennen, worin die Schwerpunkte des Ausbaus und der Entwicklung in den nächsten Jahren liegen werden. Hierbei sind vor allem Batterie, Antriebstechnologie sowie IKT, Infrastruktur und die Fahrzeugintegration hervorzuheben.

Batterie 986 Mio. €	Antriebstechnologie 982 Mio. €	Leichtbau 328 Mio. €	IKT & Infrastruktur 753 Mio. €	Recycling 90 Mio. €
↓	↓	↓	↓	↓
Materialentwicklung & Zelltechnologie (Gen 2 & 3)	E-Maschine	Entwicklung von Leichtbauwerkstoffen	Off-Board-Ladetechnologie	Recycling von Antriebsstrangmaterialien
Neuartige Batteriekonzepte (Gen 4)	Hochintegriertes Antriebssystem	Optimierung und Entwicklung von Komponenten	Netzintegration	Recycling strategischer Batteriewerkstoffe
Sicherheitskonzepte & Testmethodik	On-Board-Ladetechnologie	Entwicklung von EV-Leichtbaustrukturen	IKT-Schnittstelle Energiesystem	
Lebensdauer – Modellierung & Analytik	Leistungselektronik/ Inverter	Großserienfähige ressourceneffiziente Herstellungsprozesse	IKT-Schnittstelle Verkehrssystem	
Prozesstechnologie für Massenfertigung	Produktionstechnologie			
Fahrzeugintegration 828 Mio. €				
BEV ²		REEV ³ /PHEV ⁴ Family		PHEV-Nutzfahrzeug
Ganzheitliches Energiemanagement				
Gesamtprojektvolumen 3,967 Mrd. €				

Abbildung 40 : Übersicht F&E-Leuchttürme, Themencluster und vorgeschlagene Budgets

(Quelle: NPE 2011, 1)

Mit dem Fokus auf V2G ist hier der Ausbau der Infrastruktur der schwerwiegendste Punkt. Denn als langfristiges Ziel dahinter steht die erweiterte Integration von erneuerbaren Energiequellen durch die fortschreitende Entwicklung und Einbindung von EV. Erstens sollen diese mit Energie aus erneuerbaren Quellen gespeist werden, zweitens ermöglichen EV es erst, dass volatile Energiequellen zwischengespeichert werden können (vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2011, 34). Mit nur einer halben Millionen EV in

Deutschland bis 2020 (Ziel ist eine Millionen Fahrzeuge), die am Netz angeschlossen sind und 30% ihrer Batteriespeicherkapazität zum Zwischenspeichern freigeben würden, könnte ein potientiellles Speichervolumen von 2,5 GWh an erneuerbarer Energie entstehen. Als weiterer Punkt wird hierbei der private Nutzen dieser Speicherkapazität genannt, denn der Fahrzeugbesitzer könnte sich das Einspeisen gespeicherter Energie monetär Vergüten lassen. Voraussetzung ist hier natürlich ein intelligentes Netz (vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2011, 34-35).

Des Weiteren ist hierbei die Batterie als Entwicklungs- und Forschungsprojekt anzuführen. Einen der wichtigsten Punkte in der Wertschöpfungskette wird die Batterie einnehmen, was auch durch den größten Anteil an Investitionen aus der Abbildung 40 zu entnehmen ist. Diese bildet die Grundlage für Elektromobilität und damit auch für V2G. Neue Konzepte/Entwicklungen sowie Technologien sollen den Standort Deutschland wettbewerbsfähiger machen und mögliche Standards in der Elektromobilität definieren (vgl. Bundesregierung 2011, 20-21).

7.2.3 Elektrofahrzeugtypen

In diesem Abschnitt werden die Arten von Elektrofahrzeugtypen dargestellt, welche nach Kempton et al. (2001, 1-2) auch tatsächlich für das V2G-Konzept in Frage kommen: Batterie EDV, Brennstoffzellen EDV und Hybrid EDV. Diese drei EV werden als "Electric Drive Vehicle" (EDV) bezeichnet, da diese einen elektrischen Motor nutzen, welcher die benötigte Energie aus Batterien, Benzin, Gas oder sonstigen Treibstoffen beziehen kann. Dahingegen beziehen EV ihre Energie ausschließlich aus Batterien.

7.2.3.1 Batterie EDV

Bei den Batterie EDV wird Energie elektrochemisch in einer Batterie gespeichert. Es bieten sich Lithium-Ionen-Batterien oder Lithium-Polymer-Batterien zur Verwendung an, da diese sich durch eine geringere Größe und geringeres Gewicht sowie längere Lebenszeit gegenüber anderen Batterietypen auszeichnen (vgl. Kempton/Tomic 2005a, 269). Um die V2G-Technologie nutzen zu können, brauchen Batterie EDV lediglich eine Anbindungsmöglichkeit an das Stromnetz, welche ohnehin schon zum be- und entladen der Batterie vorhanden ist, somit entstehen nur geringe zusätzliche Modifizierungskosten für

die V2G-Nutzung (vgl. Kempton/Tomic 2005a, 269-270).



Abbildung 41 : Batterie EDV
(Quelle: EDTA 2012, 1)

Hacker et al. (2009, 34-36) zufolge beziehen Batterie EDV Energie entweder über das Stromnetz oder durch Rekuperation¹⁰ (z. B. bei Bremsvorgängen). Batterie EDV verfügen über einen elektrischen Motor und nur einen elektrischen Antriebsstrang. Zusätzlich können Batterie EDV mit ca. 65%, pessimistisch betrachtet, einen relativ hohen Wirkungsgrad aufweisen, wohingegen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren lediglich einen Wirkungsgrad von ca. 18% - 23% erreichen (vgl. Kendall 2008, 83). Allerdings ist die Batterie aktuell eines der größten Barrieren der Batterie EDV, da diese noch sehr kostenintensiv sind, lange Ladezeiten in Anspruch nehmen und nur über geringe Reichweiten verfügen.

7.2.3.2 Brennstoffzellen EDV

Kempton/Tomic (2005a, 270) zufolge werden bei Brennstoffzellen EDV Energie in Form von molekularem Wasserstoff gespeichert, welcher mit Sauerstoff aus der Atmosphäre elektrischen Strom als Hauptprodukt erzeugt. Die dabei generierten Nebenprodukte sind Wasser und Wärme. Brennstoffzellen EDV besitzen ebenfalls, wie Batterie EDV, einen elektrischen Motor. Um die V2G-Technologie nutzen zu können, brauchen Brennstoffzellen EDV allerdings eine Anbindungsmöglichkeit an das Stromnetz. Eine

¹⁰ Unter Rekuperation wird Wiedergewinnung von Energie verstanden.

Anbindungsmöglichkeit bei Brennstoffzellen EDV ist nicht obligatorisch und würde zusätzliche Mehrkosten für Brennstoffzellen EDV-Besitzer bedeuten.



Abbildung 42 : Brennstoffzellen EDV

(Quelle: EDTA 2012, 1)

Derzeit finden noch umfassende Forschungen statt, welche die on-board Herstellung von Wasserstoff anhand von Benzin, Gas, Methanol oder anderen Treibstoffen beabsichtigen. Inwiefern Brennstoffzellen EDV für die V2G-Technologie in Frage kommen, hängt von den Forschungsergebnissen ab, z. B. wie effektiv und günstig Methoden zur Speicherung von Sauerstoff sind oder wie Umwandlungsverluste reduziert werden können (vgl. Kempton/Tomic 2005a, 270)

7.2.3.3 Hybrid EDV

Kempton/Tomic (2005a, 270) zufolge besitzen Hybrid EDV im Gegensatz zu Batterie und Brennstoffzellen EDV, zusätzlich zum Elektro- noch einen Verbrennungsmotor, dessen Antriebswelle einen Generator antreibt. Zudem besitzen Hybrid EDV Batterien, die die vom Generator erzeugte Energie speichern und Rekuperation zulassen. Rein elektrisches Fahren ist bei den aktuellen Hybrid EDV nicht vorgesehen, sondern nur eine elektrische Unterstützungen (bspw. beim Anfahren). Für eine V2G-Nutzung fehlt dem derzeitigen Hybrid EDV eine Anbindungsmöglichkeit an das Stromnetz und eine ausreichend große Batterie zur Energiespeicherung. Dieser Umstand bedeutet zusätzliche Mehrkosten für Hybrid EDV-Besitzer. Es ist aber davon auszugehen, dass sog. *plug-in Hybrid EDV* mit

einer bereits vorhandenen Verbindung zum Stromnetz und größeren Batteriekapazitäten sich zukünftig gegenüber Hybrid EDV etablieren werden.



Abbildung 43 : Hybrid EDV

(Quelle: EDTA 2012, 1)

Hybrid EDV lassen sich in Mikro-, Mild- und Voll-Hybrid unterscheiden. Mikro- und Mild-Hybrid EDV besitzen nur einen elektrischen Antriebsstrang und elektrische Motoren zu unterstützenden Zwecken¹¹ (vgl. Schill 2010b, 2). Voll-Hybrid EDV dagegen besitzen einen Antriebsstrang für den Verbrennungsmotor und einen elektrischen Antriebsstrang für den elektrischen Motor, wodurch auch kurze Strecken voll elektrisch zurückgelegt werden können (vgl. Schill 2010b, 2).

7.2.4 Stromnetze

Im folgenden Abschnitt wird zuerst ein kurzer Überblick über die Stromerzeugung in Deutschland gewährt und danach überprüft, inwiefern die V2G-Konzeption für die Bereitstellung von Strom in das deutsche Stromnetz geeignet ist.

7.2.4.1 Grundlast und Mittellast

Das Umweltbundesamt (vgl. 2012, 2-3) definiert Grundlast als die permanent benötigte elektrische Energie innerhalb eines Versorgungsbereichs. Mittellast kann als der Energieanteil, welcher die Grundlast übersteigt, verstanden werden. Aufgrund ihres

¹¹ Bspw. beim Anfahren.

permanenten Betriebs sollten Grundlastkraftwerke Energie zu geringstmöglichen Kosten bereitstellen und Umweltbelastungen weitestgehend gering halten. I. d. R. stellen Kern-, Kohle- und Laufwasserkraftwerke die benötigte Energie bereit um die Grundlast zu decken. Elektrischer Strom von Mittellastkraftwerken soll schneller regulierbar sein und nicht wesentlich mehr kosten als bei Grundlastkraftwerken. Zur Produktion von Strom für die Mittellast werden oft Steinkohle, Gas- und Dampfturbinenkraftwerke eingesetzt.

Einer Untersuchung von Kempton/Tomic (2005a, 270) zufolge, eignet sich der V2G-Ansatz nicht für die Bereitstellung von Strom für Grund- und Mittellastenergie. Gründe hierfür sind zu geringe Energiespeicherkapazitäten von EDV, geringere Lebenszyklen der EDV gegenüber Grund- und Mittellastkraftwerken sowie höhere Energiekosten.

7.2.4.2 Spitzenlast

Dem Umweltbundesamt (vgl. 2012, 2-3) zufolge bezieht sich die Spitzenlast auf einen kurzen Zeitabschnitt, in welchem der Strombedarf sehr hoch ist, also Grund- und Mittellast übersteigt. Die Energie für Spitzenlastkraftwerke wird häufig durch Heizöl-, Gas- und Dampfturbinenkraftwerke bereitgestellt. Bei der Spitzenlast sind Kosten wegen der kurzen Zeit zweitrangig, aber dafür muss das schnelle An- und Abschalten und somit Bereitstellen von elektrischem Strom möglich sein.

Kempton/Tomic (2005a, 270-271) stellten fest, dass sich der V2G-Ansatz prinzipiell für die Bereitstellung von Strom für die Spitzenlast eignet, da die Spitzenlastzeiten sehr kurz sind. Zwar sind die Kosten pro kWh bei dem durch Spitzenlastkraftwerke erzeugten Strom geringer als jene beim V2G-Ansatz, aber durch das kostenintensive Hoch- und Runterfahren der Spitzenlastkraftwerke sind die Gesamtkosten bei der Spitzenlast höher als beim V2G-Ansatz. Die V2G-Konzeption kommt für die Bereitstellung von Spitzenlastenergie aber nur in Frage, wenn der elektrische Strom von einer Vielzahl an Fahrzeugen bezogen wird. Dies setzt eine Verbreitung von EDV in ausreichender Stückzahl voraus.

7.2.4.3 Reserveleistung

Kays et al. (2010, 268) beschreiben Reserveleistung als kostenintensive elektrische Energie, die benötigt wird, um Schwankungen zu begleichen und eine angemessene

Versorgungszuverlässigkeit zu gewährleisten. Zum Ausgleichen von Schwankungen wird die Reserveleistung in Primär-, Sekundär- und Minutenreserven gegliedert. Die Primärreserve stellt Energie über einen Zeitraum von 30 Sekunden bis höchstens fünf Minuten bei Störungsfällen bereit. Danach beginnt die Sekundärreserve. Bei Störungsfällen ab 15 Minuten beginnt die Minutenreserve.

Kempton/Tomic (2005a, 271) fanden heraus, dass der V2G-Ansatz konkurrenzfähig zur Reserveleistung sein kann. Bei der Reserveleistung erfolgt eine Zahlung zunächst für einen Zeitraum, innerhalb dessen Energie zur Abgabe verfügbar ist. Darüber hinaus erfolgt eine weitere Zahlung bei tatsächlicher Bereitstellung von elektrischer Energie. Es erfolgt hierbei also eine Zahlung, auch wenn kein Strom abgegeben wird, sondern nur bereitgestellt wird. Dieser Ansatz eignet sich gut für EDV da Profit nur durch das Bereitstellen von Strom erzielt werden kann. Bei der Reserveleistung beschränkt sich die Energieabgabe i. d. R. auf maximal eine Stunde, sodass die Batterie von EDV im Fall der Energieweitergabe nicht vollständig entleert wird.

7.3 Literaturanalyse und Methodik

Der Abschnitt 7.3.1 dient der Beschreibung der Vorgehensweise und Methodik der in diesem Kapitel durchgeführten Literaturanalyse. Im Anschluss werden in dem Abschnitt 3.2 die Auswahlkriterien der betrachteten Literatur beschrieben. Daraufhin wird in Abschnitt 3.3 die Quantität der Veröffentlichungen innerhalb des Zeitraums von 2005 bis 2012 dargestellt, bevor im Abschnitt 3.4 relevante Forschungsfelder des V2G identifiziert werden. Letztlich wird anhand einer Forschungslandkarte im Abschnitt 3.5 eine Übersicht, der Forschungsschwerpunkte des V2G ausgearbeitet.

7.3.1 Vorgehensweise und Analysemethodik

Für die in diesem Abschnitt durchgeführte Literaturanalyse wurde die betrachtete Literatur auf die in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlichten Artikel begrenzt. Zudem wurden Publikationen von wissenschaftlichen Institutionen (vgl. Abschnitt 7.3.2) in die Literaturanalyse miteinbezogen. Die hier aufgeführte Literaturanalyse beabsichtigt Forschungsschwerpunkte und -lücken innerhalb der V2G-Forschung darzustellen.

Die Schlüsselwörter, Titel und Zusammenfassungen zugrunde liegende Recherche wurde durch Miteinbeziehung der wissenschaftlichen Datenbanken IEEE¹² Xplore und ScienceDirect sowie den Fachportalen EconBiz und Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) durchgeführt. Zusätzlich wurden die akademischen Suchmaschinen Google Scholar und BASE verwendet. Auf diese Weise wurden 71 Artikel identifiziert, bei denen V2G als eines der zentralen Themen festgestellt werden konnte (vgl. Abbildung 44; vgl. Abbildung 45).

Durch die Bewertung der zuvor erwähnten Suchkriterien konnte die Anzahl der relevanten Artikel in Bezug auf V2G auf 26 gesenkt werden. Der Fokus der betrachteten Artikel sollte auf Nachhaltigkeit, technische, ökonomische oder politische Bereiche in Bezug auf V2G liegen. Bei den restlichen nicht miteinbezogenen Artikeln war der V2G-Ansatz entweder nicht wesentlicher Gegenstand der Artikel oder diese konnten nicht zu den vorher bestimmten Bereichen zugeordnet werden.

Das Ziel der Literaturanalyse ist es den aktuellen Stand des V2G aus den Bereichen Nachhaltigkeit, Technik, Ökonomik und Politik aufzuzeigen. Außerdem soll geklärt werden, an welchen Stellen Schwerpunkte und Lücken in der V2G-Forschung liegen.

7.3.2 Auswahl der Literaturquellen

Die Zeitspanne der Literaturanalyse sieht den Zeitraum von 2005 bis 2012 vor. Die Grundlage für die Ermittlung der erfassten Literatur geht auf Datenbank-, Fachportal- und Suchmaschinenabfragen zurück. Eine Literatursuche erfolgte in allen diesen Quellen. Bei jeder Datenbankabfrage wurden Überschriften, Schlüsselwörter und Zusammenfassungen nach folgenden Termini durchsucht: “Vehicle-to-Grid” und “V2G”. Bei jeder Fachportal- und Suchmaschinenrecherche wurden Überschriften nach denselben Termini durchsucht. Ermöglichten Fachportale und Suchmaschinen eine Schlüsselwörterrecherche, so wurde diese mit in die Suche einbezogen.

¹² Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE ist ein weltweiter Berufsverband für Ingenieure aus den Bereichen der Elektrotechnik und Informatik (vgl. IEEE 2011, 1).

Zeitschrift	Anzahl der Veröffentlichungen
Journal of Power Sources	12
Energy Policy	11
Electric Power Systems Research	3
Energy	3
Applied Energy	2
Renewable Energy	2
Applied Thermal Engineering	1
International Journal of Hydrogen Energy	1
Procedia Engineering	1
Pyhsics Procedia	1
Renewable and Sustainable Energy Reviews	1
Technological Forecasting and Social Change	1

**Abbildung 44 : Betrachtete Zeitschriften der Literaturanalyse
(Quelle: eigene Darstellung)**

Die in dieser Literaturanalyse betrachteten Zeitschriften lassen sich größtenteils in die Bereiche Elektrotechnik und erneuerbare Energien kategorisieren, wobei die Mehrzahl der Veröffentlichungen in einer kleinen Gruppe von Zeitschriften erschien (vgl. Tabelle 3-1). Da Kernbereiche der Elektromobilität und dementsprechend auch des V2G nicht in der Wirtschaftsinformatik (WI) liegen, konnte in Zeitschriften im Bereich der WI keine passende Literatur identifiziert werden. Außerdem handelt es sich beim V2G noch um ein relativ junges Forschungsgebiet¹³. Es kann daher von zukünftigen Veröffentlichungen zum Thema V2G im Bereich der WI ausgegangen werden.

¹³ 1997 wurde der V2G-Ansatz erstmals beschrieben (vgl. Abschnitt 2.1.2).

Institution	Veröffentlichungen
IEEE	28
DIW	4

Abbildung 45 : Betrachtete Institutionen der Literaturanalyse

(Quelle: eigene Darstellung)

Die bei dieser Literaturanalyse betrachteten Institutionen gehören zu den Bereichen Elektrotechnik/Informatik sowie Wirtschaft. Dabei sind IEEE-Publikationen in den Bereich der technischen Aspekte des V2G und DIW-Publikationen in den Bereich der wirtschaftlichen Aspekte des V2G zuzuordnen. Wobei die Anzahl der Veröffentlichungen im Bereich Wirtschaft deutlich geringer ausfallen als im Bereich Elektrotechnik/ Informatik (vgl. Tabelle 3-2). Dieser Umstand kann darauf zurückgeführt werden, dass bevor intensiver im ökonomischen Bereich geforscht wird, erst einmal die technische Umsetzbarkeit gewährleistet werden soll.

7.3.3 Übersicht der erfassten Quellen

In dieser Literaturanalyse wurden innerhalb des Zeitraums von 2005 bis 2012 zum Thema V2G 71 Artikel eruiert. Ein wachsendes Interesse im Forschungsbereich des V2G-Ansatzes ist durch eine zunehmende Anzahl an Veröffentlichungen im Laufe der Zeit zu verzeichnen (vgl. Abbildung 46).

Als Grundlage für die Mehrzahl der Publikation mit V2G-Bezug sind Untersuchungen vom Begründer des V2G Willett Kempton festzustellen. So wurde der Artikel "Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue" von Kempton/Tomic (2005a, 268-279) bei Google Scholar in Bezug auf V2G mit 395-mal am häufigsten zitiert. In den Veröffentlichungen von Kempton wurden grundsätzliche Definitionen und Forschungsergebnisse herausgearbeitet, die oftmals als Basis für weitergehende Untersuchungen verwendet wurden.

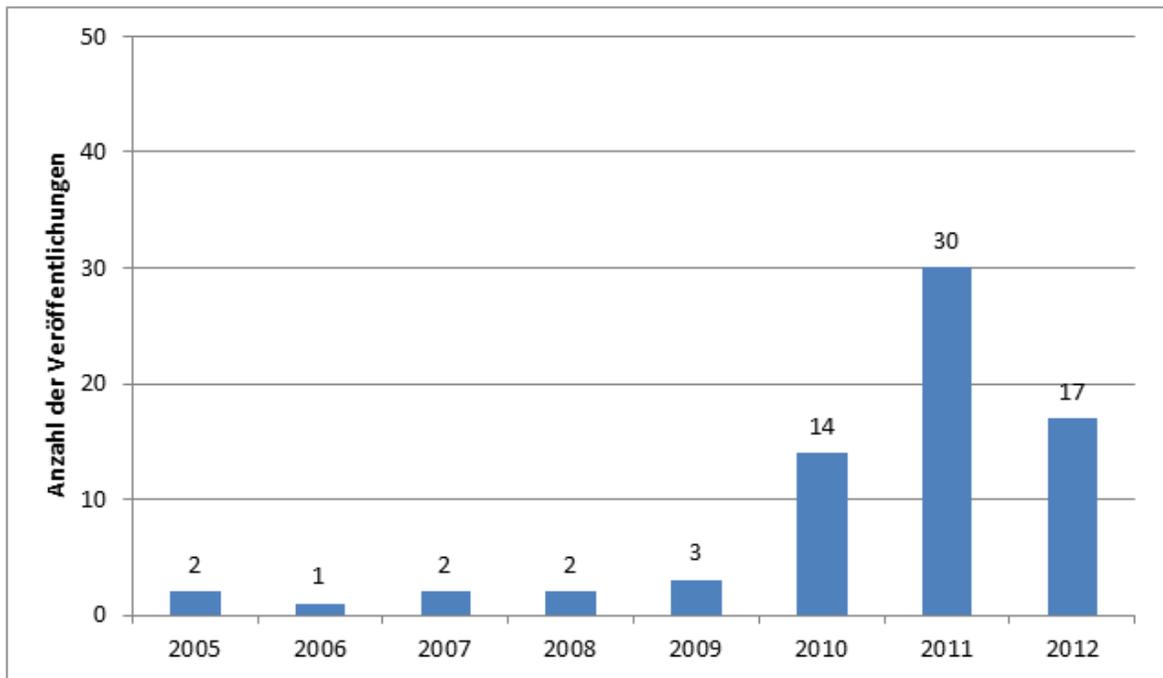


Abbildung 46 : Zeitlicher Verlauf der Veröffentlichungen
 (Quelle: eigene Darstellung)

Der Fokus der hierbei untersuchten Publikationen liegt auf der dezentralen Speicherung erneuerbarer Energien, Einsparung von Fahrzeugemissionen sowie der Integration von V2G an das Stromnetz. Dabei wird in der Mehrheit der Artikel V2G oder V2G-Teilbereiche erklärend beschrieben, ohne dass dabei neue Erkenntnisse nachgewiesen werden konnten.

7.3.4 Forschungsfelder

In diesem Abschnitt sollen in der Literatur häufig untersuchte Forschungsfelder identifiziert werden. Anhand der an dieser Stelle ermittelten Forschungsfelder wird im weiteren Verlauf dieser Seminararbeit eine "Forschungslandkarte" erstellt (vgl. Abschnitt 7.3.5).

7.3.4.1 Technik

Sowohl der Erfolg von EDV als auch die Realisierung des V2G-Ansatzes hängen maßgeblich von der Technik der EDV sowie der Technik des Stromnetzes ab. Es müssen dahingehend grundlegende Fragen geklärt werden, wie z. B.: Werden Batterien bei EDV über ausreichend Kapazität verfügen, um ein komplett durch elektrischen Strom ermöglichtes Fahren zu gewährleisten? Im Bereich der Technik wird aufgrund dieser

Anforderungen intensiv geforscht. Dabei kann der Großteil der Untersuchungen im technischen Bereich in der Weiterentwicklung der Batterie – zur Verbesserung der Reichweite und Entwicklung von kostengünstigeren Batterien - ausgemacht werden.

7.3.4.2 Ökonomik

Unter dem Punkt Ökonomik wird zum Thema V2G das Aufzeigen und die Entwicklung von möglichen Geschäftsmodellen untergliedert in einzelne Teilbereiche betrachtet. In der Literatur werden mehrere mögliche Marktakteure genannt und deren Geschäftsmodelle unterschieden. Die Identifizierung und Umsetzung von Geschäftsmodellen zum Thema V2G trägt maßgeblich zum Erfolg und Implementierung des Konzepts bei.

7.3.4.3 Politik

Der Bereich Politik begrenzt sich auf die Bundesregierung Deutschlands und deren geplante Unterstützung zur erfolgreichen Integration der Elektromobilität auf dem deutschen Markt. Hierbei stützt sich die Literatur größtenteils auf den übergeordneten Ausbau der Infrastruktur zur späteren Umsetzung des V2G-Konzepts.

7.3.4.4 Nachhaltigkeit

Der Bereich Nachhaltigkeit kann als ein wichtiger Forschungsbereich des V2G-Ansatzes ausgemacht werden. Die Verknappung fossiler Rohstoffe und damit verbundene Preissteigerungen sowie ein gesteigertes Umweltbewusstsein exponieren die Notwendigkeit alternativer Lösungen für die Energieversorgung. Im Zuge dieses gesteigerten Interesses an der Förderung einer alternativen Energieversorgung kann der V2G-Ansatz Anwendung finden. Mittels des V2G-Ansatzes kann Strom aus regenerativen Energien gespeichert und effizienter in das Stromnetz integriert werden. Wegen der besonders guten Eignung für Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien wird dem Gebiet der Nachhaltigkeit in der V2G-Forschung ein hoher Stellenwert zugesprochen.

7.3.4.5 Vehicle-to-Grid Netz

Unter Vehicle-to-Grid Netz sollen alle Bereiche des V2G erfasst werden, bei denen es um die Bereitstellung von elektrischem Strom durch das V2G-Konzept und die Realisierung des V2G-Ansatzes mithilfe von Smart Grids geht (vgl. Tabelle 3-3). Dieser Teilbereich

kann ebenfalls als eines der zentralen Forschungsgebiete des V2G konstatiert werden, weil dadurch die Unterstützung des Stromnetzes ermöglicht werden kann und der EDV-Besitzer durch Abgabe und Bereitstellung von Strom Gewinne erzielen kann.

7.3.4.6 Vehicle-to-Grid Fahrzeuge

Der Punkt Vehicle-to-Grid Fahrzeuge soll alle Aspekte umfassen, bei denen es sich um Komponenten von EDV handelt, die sich auf das V2G auswirken. In diesem Bereich wurden Batterie, Fahrzeugtypen und Ladekonzepte mit einbezogen (vgl. Tabelle 3-3). Die Forschung in diesem Bereich ist grundlegend für die Realisierung des V2G-Ansatzes. Zum einen, weil hierbei geprüft werden muss, welche EDV-Typen sich besonders gut für den V2G-Ansatz überhaupt eignen. Zum anderen, weil Anforderungen der verschiedenen EDV-Typen ermittelt werden müssen, welche für die V2G-Umsetzung benötigt werden.

7.3.5 Forschungslandkarte

Die in Abschnitt 7.3.4 erarbeiteten Forschungsfelder werden im Folgenden in einer *Forschungslandkarte* erfasst. Diese beabsichtigt Schwerpunkte und Lücken in der V2G-Forschung aufzuzeigen. Die Auswahl der genannten Forschungsfelder auf der horizontalen Achse wurde anhand der wichtigsten Verknüpfungspunkte zum V2G-Konzept getroffen. Die Aufteilung führt, von links nach rechts, vom Stromnetz als solches bis zum EDV. In der vertikalen Achse wurde *Nachhaltigkeit* zusätzlich zu den vorgegeben Begriffen (Technik, Ökonomik und Politik) wegen dessen Relevanz miteinbezogen.

Vehicle-to-Grid					
Vehicle-to-Grid Netz			Vehicle-to-Grid Fahrzeuge		
	Smart Grid	V2G-Strom	Ladekonzepte	Batterie	Fahrzeugtypen
Technik	(Ropp 2009)	(Kempton/Tomic 2005a)	(Heider et al. 2009)	(Brown et al. 2010)	(Kempton/Tomic 2005a)
		(Andersson et al. 2010)		(Ma et al. 2012)	
				(El Chehaly et al. 2009)	
Ökonomik	(DKE 2010)	(Heuer 2010)	(San Roman et al. 2011)	(Wagner vom Berg 2010)	(Mattes et al. 2011)
		(Schill 2010a)	(Göllinger 2011)	(Mattes et al. 2011)	
			(Götze 2011)		
			(Mattes et al. 2011)		
Politik	(Bundesregierung 2009, 2011)		(Bundesregierung 2009,2011)	(Bundesregierung 2009, 2011)	(Bundesregierung 2009,2011)
	(DKE 2010)				
Nachhaltigkeit		(Pillai et al. 2011)		(Andersen2009)	
		(Turton/Moura 2008)			

Abbildung 47 : Forschungslandkarte

(Quelle: eigene Darstellung)

7.4 Implikationen der Forschungslandkarte

In dem folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturanalyse diskutiert. Der Thematik dieser Seminararbeit zufolge wird eine Diskussion aus technischer, ökonomischer und politischer Perspektive geführt. Zudem wird eine SWOT-Analyse zu den zentralen Begriffen der Seminararbeit, Elektromobilität, V2G und Smart Grid durchgeführt.

7.4.1 Technische Implikationen

Die Forschung im technischen Bereich der V2G-Konzeption besitzt ein breites Themenspektrum (vgl. Tabelle 3-3). Es konnten im Feld Technik zu jedem Teilbereich der Forschungslandkarte Artikel identifiziert werden, die sich mit technischen Aspekten des V2G-Ansatzes befassen. Dabei werden grundlegende Technologien des V2G - Smart Grid, V2G-Strom, Ladekonzepte, Batterie und Fahrzeugtypen - untersucht, welche maßgeblich über die Durchführbarkeit und Umsetzung der V2G-Konzeption mitbestimmen.

Aus den Artikeln der Forschungslandkarte geht hervor, dass die Batterie von EDV eine der bedeutendsten Komponente für den Erfolg von EDV und damit auch des V2G ist. Die geringe Reichweite und hohe Kosten der bisherigen Batterien gelten als Schwachstelle von EDV. Werden diese behoben, somit also eine ausreichende Reichweite und eine günstige Herstellung sichergestellt, wird die Konkurrenzfähigkeit von EDV gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren deutlich zunehmen.

7.4.2 Ökonomische Implikationen

Der ökonomische Teil des V2G-Konzeptes sollte für jeden Akteur auf dem Markt im Vordergrund stehen. Die Wirtschaftlichkeit des V2G-Konzeptes letztendlich ist entscheidend über den Erfolg der Umsetzung und der Integration. Was nach eingehender Literaturrecherche und aus der Forschungslandkarte ersichtlich wird, ist das sich ökonomische Vorteile in erster Linie nur für den Endverbraucher bzw. den Fahrzeugnutzer herausstellen. Dieser hat die Möglichkeit zur Rückspeisung des gespeicherten Stroms zu einem höheren Preis in das Stromnetz. Als zweite Option ermöglicht es den Stromerzeugern auch die Fahrzeugflotte als Speicher für Strom aus erneuerbaren, volatilen Stromquellen zu nutzen, wodurch diese eine volle Kapazitätsauslastung der Stromquellen ausnutzen könnten.

Der Zusammenhang, der anhand der Forschungslandkarte ersichtlich wurde, ist das in der ökonomischen Betrachtung der Elektromobilität im Allgemeinen andere Geschäftsmodelle den Vorrang haben. Hier wurden und werden vor allem schon konkret Rechnungen über Infrastruktur, Ladekonzepte, Fahrzeugtypen und das intelligente Stromnetz angefertigt. Weitere Überlegungen, z. B. über Modelle zur Übertragung der Batterie (Verkauf, Leasing und allgemeine Überlegungen zum Besitz), sind in vielen Quellen wiederzufinden.

7.4.3 Politische Implikationen

Quellen, die dem Bereich der Politik zuzuordnen sind, behandeln allgemein zuerst einmal die nötige Infrastruktur zur Umsetzung der Elektromobilität in Deutschland. Diese geben grundlegende Richtlinien sowie eine "Roadmap" zum Aufbau der System- und Netzintegration, der Energiespeicher und der Fahrzeugtechnik wieder. Das *drei Phasen* Modell zum Leitmarkt Elektromobilität in Deutschland soll hierbei auch den nötigen Zeitplan abdecken zum Erreichen von einer Millionen EDV in Deutschland 2020. Das Interesse der deutschen Regierung an dem Thema V2G ist vorhanden. Gründe dafür sind mehrere politische Schwerpunkte, die in die gleiche Richtung arbeiten bzw. damit vereinbar sind (wie z. B. CO₂- Grenzwerte und Energiestrukturen, vor allem der Ausbau erneuerbarer Energien). Jedoch ist auch ersichtlich, dass die größeren Investitionen in die Infrastruktur und deren Umsetzung im Fokus stehen und somit das V2G-Konzept und mögliche Geschäftsmodelle hierfür erst mal im Hintergrund stehen.

7.4.4 SWOT-Analyse zum V2G-Konzept, Elektromobilität und Smart Grid

Es wurde eine SWOT-Analyse aus den Ergebnissen der Seminararbeit zu zentralen Begriffen durchgeführt. In dieser SWOT-Analyse sollen die sich bietenden Möglichkeiten und Gefahren dieser zentralen Begriffe identifiziert werden.

	V2G	Elektromobilität	Smart Grid
Stärken			
	Speicherung von regenerativen Energien möglich	Möglichkeit des CO ₂ -freien Fahrens	Intelligente Nachfragesteuerung
	Geringere Transformationsverluste durch dezentrale Strombereitstellung	Kaum Lärmemissionen	Ermöglicht Speicherung regenerativer Energien
	Geringere Umweltbelastung	Geringere Betriebs- und Unterhaltskosten	Verbesserte Integration erneuerbarer Energien
Schwächen			
	Umsetzung erst ab einer bestimmten Anzahl an EDV rentabel	Geringe Reichweite	Entstehung zusätzlicher Kosten
	Reichweite von EDV durch Stromabgabe weiter verkürzt	Lange Ladedauer	Benötigt einheitliche Standards
	Geringe Praxiserprobung	Hoher Anschaffungspreis (vor allem die Batterie)	Hoher Komplexitätsgrad
Chancen			
	Finanzielle Vorteile für EDV-Besitzer generierbar	Geringere Emissionen (z. B. Abgase und Lärm)	Ermöglicht EDV als Massenspeicher zu nutzen
	Entstehung neuer Geschäftsfelder (z. B. Ladekonzepte)	Unabhängigkeit von nicht erneuerbaren Rohstoffen	Vermeidung von Lastspitzen
	Nutzung von bereits vorhandenem Know-how möglich	Benzinpreise höher als Strompreise	Echtzeitbetrieb ermöglicht verbesserte Energieregulation
Risiken			
	Ungenügende Energiegewinnung aus regenerativen Energien	Batteriepreise können nicht gesenkt werden	Datenschutz
	Entstehung höherer Anschaffungskosten (z. B. Messsystem)	Strompreise übertreffen Benzinpreise	Sicherheit
	Voraussetzung sind hohe Investitionen in die Infrastruktur	Entdeckung einer besseren Technologie	Anschaffungskosten höher als Einsparungen

Abbildung 48 : SWOT-Analyse: V2G, Elektromobilität und Smart Grid

(Quelle: Darstellung in Anlehnung an pwc (2012, 3))

Die V2G-Konzeption bietet eine Vielzahl von Vorzügen. Die Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien in geparkten EDV wird ermöglicht (vgl. Kempton/Tomic 2005a,

270). Die Entstehung neuer Geschäftsfelder und Geschäftsmodelle für schon vorhandene Marktakteure (Stromanbieter) oder neue Marktakteure (Better Place) (vgl. Abschnitt 7.2.2.2). Bereits vorhandenes Know-how kann genutzt werden, bspw. die Finanzierung der teuren Batterie nach dem Vorbild von Mobilfunkverträgen (vgl. Abschnitt 7.2.2.2). Besitzer von EDV können finanzielle Vorteile durch zusätzliche Dienstleistungen (z. B. Bereitstellung von Strom für Reserveleistung) generieren (vgl. Abschnitt 7.2.4.3). Zu beachten ist allerdings, dass für das V2G-Konzept eine gewisse Anzahl an EDV und Investitionen in die Infrastruktur vorausgesetzt werden (vgl. Abschnitt 7.2.4.3). Zudem wird die Reichweite von EDV beim V2G-Konzept durch zusätzliche Abgabe von Strom verkürzt (vgl. Abschnitt 7.2.1.2). Außerdem erhöhen sich die Anschaffungskosten für EDV durch das V2G-Konzept, weil zumindest ein System zur Kommunikation mit den Stromanbietern im EDV vorhanden sein muss (vgl. Abschnitt 7.2.1.2).

Mit Hilfe von Elektromobilitätskonzepten kann bei EDV das weitestgehende Fahren ohne CO₂-Ausstoß und Lärmemissionen realisiert werden (vgl. pwc 2012, 3). Da EDV mit Strom anstatt mit teurem Benzin betrieben werden, sind deshalb auch die Kosten für Betrieb und Unterhalt niedriger. Die Unabhängigkeit von nicht erneuerbaren Rohstoffen (z. B. Öl) kann durch EDV ebenfalls realisiert werden. Bei den Elektromobilitätskonzepten muss jedoch beachtet werden, dass technologische Verbesserungen notwendig sind, vor allem leistungsfähigere und günstigere Batterien, damit diese sich gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren durchsetzen (vgl. Krüger 2002).

Smart Grid ermöglicht es durch intelligente Nachfragesteuerung Strom zu günstigen Konditionen zu beziehen und zu hohen Preisen zu verkaufen (vgl. Abschnitt 7.2.1.3). Zudem können durch Smart Grid in Spitzenlastzeiten das Stromnetz entlastet werden, durch die Nutzung von EDV als Massenspeicher (vgl. Abschnitt 7.2.1.3). Bisher verwendeten Stromanbieter je Haushalt eine Messzahl pro Jahr, bei dem Smart Grid dagegen, ist es möglich Daten sekundlich zu erfassen, daher bleibt es zu klären wie rechtlich mit diesen Daten umgegangen werden darf (vgl. Heise 2009, 1). Im Bereich der Sicherheit von Smart Grids müssen Konzepte entwickelt werden, die vor Angriffen (z. B. Mitlesen oder Manipulation von Daten) schützen sollen (vgl. Heise 2012, 1).

7.5 Ausblick und Fazit

Abschließend wird ein Fazit erstellt, in dem Ergebnisse und zentrale Aussagen der Seminararbeit dargestellt werden. Danach werden in einem Ausblick vorausschauend die möglichen Einsatzgebiete und Verwendungszwecke der V2G-Konzeption betrachtet.

7.5.1 Fazit

Die Thematik dieser Seminararbeit ist es einen Überblick über das V2G-Konzept aus technischer, ökonomischer und politischer Perspektive zu geben. Dabei stellte sich heraus, dass der V2G-Ansatz eine wichtige Komponente sein kann, um Elektromobilität als zukünftige Kerntechnologie im Bereich des motorisierten Individualverkehrs gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zu etablieren. Es wurde festgestellt, dass es noch wesentliche Schritte einzuleiten gilt, um das V2G-Konzept interessanter für Unternehmen, den Staat und private Verbraucher zu machen.

Das Thema V2G kommt in den Planungen und Diskussionen zu Elektromobilität und Smart Grid vor, jedoch ist der Stellenwert noch relativ gering. Im wissenschaftlichen Bereich ist das V2G-Konzept bereits weit verbreitet und wird ausgiebig diskutiert, welches an der steigenden Anzahl der veröffentlichten Artikel im zeitlichen Verlauf zu erkennen ist (vgl. Abbildung 46). Dagegen sind aus technischer, ökonomischer und politischer Sichtweise noch mehr Überlegungen anzustellen, um das V2G-Konzept bereits jetzt schon mehr zu fokussieren, um eine mögliche Umsetzung des V2G nahtlos sicherzustellen. Unserer Meinung nach sollte der V2G-Konzeption auch außerhalb der Wissenschaft wesentlich mehr Aufmerksamkeit zukommen, da sich das V2G-Konzept als eine wichtige Komponente für die grundlegende Umstellung auf Elektromobilität herausstellen kann. Anreize die Entwicklung des V2G-Ansatzes vorantreiben sind sowohl auf privater Seite, als auch auf staatlicher Seite identifizierbar. Im privaten Bereich bietet V2G die Möglichkeit für Unternehmen neue Geschäftsfelder zu erschließen, z. B. im Bereich der Infrastruktur oder Ladekonzepte (vgl. Abschnitt 7.2.2.1; vgl. Abschnitt 7.2.2.2). Aus staatlicher Perspektive kann die V2G-Konzeption das Bestreben vermehrt Strom aus regenerativen Energien zu gewinnen durch deren Speicherung unterstützen.

Aus technischer Perspektive stellt der V2G-Ansatz alleine betrachtet keine große Hürde dar. Die zur Umsetzung benötigten Komponenten sind zum größten Teil bereits vorhanden (vgl. Abschnitt 7.2.1.2). Lediglich die derzeit noch schwache Batterie der EDV stellt sowohl für Elektromobilität als auch für die V2G-Konzeption ein großes Hindernis dar. Die Realisierung des V2G-Ansatzes ist in den unterschiedlichen EDV-Typen ohne größere Probleme umsetzbar. Die anfallenden Mehrkosten (z. B. für das Messsystem) können durch zusätzliche Dienstleistungen (Strombereitstellung) finanziert werden (vgl. Abschnitt 7.2.3; vgl. Abschnitt 7.2.4.3). Zudem kann durch das V2G-Konzept elektrischer Strom für Stromnetze bereitgestellt werden und damit Profit erzielt werden (vgl. Abschnitt 7.2.4).

Aus der ökonomischen und politischen Sichtweise betrachtet sollte dem Thema V2G wesentlich mehr Aufmerksamkeit zukommen. Unternehmen sowie auch der deutsche Staat sollten die Chancen, die diese Konzeption mit sich bringt, wahrnehmen (vgl. Abschnitt 7.4.4). Es besteht die Möglichkeit einer Umsatz- bzw. Gewinnsteigerung mit möglichen Geschäftsmodellen (vgl. Abschnitt 7.2.2.2.). Der V2G-Ansatz kann als Beschleunigungsfaktor zur Implementierung von Elektromobilität sowie für den Umbruch von dem standardisierten Verbrennungsmotor zum Elektromotor genutzt werden (vgl. Abschnitt 7.2.2.3). Die gefundene Literatur zeigte auf, dass das Thema V2G ökonomisch sowie auch politisch nur sehr beschränkt durchdacht und angenommen wurde (vgl. Abschnitt 7.3.5). Das Potential des V2G-Konzeptes ist vor allem ökonomisch noch nicht ausgereizt worden, da es zurzeit noch wenige Unternehmen gibt, die sich mit der Thematik V2G beschäftigen.

7.5.2 Ausblick

Im Verlauf dieser Seminararbeit konnte festgestellt werden, dass die V2G Konzeption technisch, ökonomisch sowie politisch als relevant eingestuft werden kann. Aktuelle Ereignisse sowie der geforderte Ausstieg aus der Atomkraft, die zunehmende Abhängigkeit vom Öl sowie der geplante Ausbau der erneuerbaren Energien spiegeln den Wert des Umstiegs auf die Elektromobilität wider und beschleunigen deren Entwicklung. Die V2G-Konzeption ist nur ein Teil dieser Entwicklung und abhängig von bereits genannten Infrastrukturen, wie dem Smart Grid und möglichen Ladestrukturen. Da sich die Umsetzung der Elektromobilität noch in der Anfangsphase befindet, ist diesem Teil der

Elektromobilität noch nicht allzu viel Aufmerksamkeit gewidmet worden. Nach den drei Phasen der Umsetzung der Elektromobilität in Deutschland zu urteilen, wird V2G aber spätestens ab 2014 in der Markthochlaufphase größeres Interesse und Aufmerksamkeit zukommen, da ab diesem Zeitpunkt verstärkt der Absatz von EDV in den Vordergrund rückt. Hierbei könnte sich die V2G-Konzeption auch als Katalysator herausstellen, da dieser die Möglichkeiten bietet, Strom aus regenerativen Energien zu speichern und durch Abgabe von Strom aus den EDV, die als Speichermedium dienen, sich finanzielle Vorteile für die Fahrzeugbesitzer generieren lassen. Dadurch sollten sich für mögliche Fahrzeugbesitzer Anreize für die Anschaffung der EDV schaffen lassen, gerade weil die Kosten der Batterie immer noch sehr hoch ausfallen. Zudem vereint die Konzeption auch das politische Ziel des Ausbaus der erneuerbaren Energien und deren Nutzung durch Speicherung, wenn diese zeitlich nicht beanspruchbar sind.

Allerdings hängt der Erfolg der Elektromobilität und damit auch des V2G-Ansatzes stark von der technischen Entwicklung ab. Als größte Barriere von EDV gilt derzeit die Batterie, welche nur geringe Reichweiten zulässt und kostenintensiv in der Herstellung ist. Um die Zeit bis leistungsfähigere und preiswertere Batterien erhältlich sind zu überbrücken, bieten Hybrid EDV eine Alternative zu rein batteriebetriebenen EDV.

Der praktische und wissenschaftliche Stellenwert des V2G-Ansatzes kann als bedeutend klassifiziert werden, da die V2G-Konzeption sowohl staatliche Interessen (z. B. Unterstützung von erneuerbaren Energien und Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen) als auch unternehmerische Interessen (z. B. neue Geschäftsfelder für Stromanbieter) unterstützt.

Anhang

	Peak power	Spinning reserves	Regulation services
Battery, full function	\$267 (510 – 243)	\$720 (775 – 55)	\$3,162 (4479 – 1317)
Battery, city car	\$75 (230 – 155)	\$311 (349 – 38)	\$2,573 (4479 – 1906)
Fuel cell, on-board H ₂	\$-50 (loss) to \$1,226 (2200 – 974 to 2250)	\$2,430 to \$2,685 (3342 – 657 to 912)	\$-2,984 (loss) to \$811 (2567 – 1756 to 5551)
Hybrid, gasoline	\$322 (1500 – 1178)	\$1,581 (2279 – 698)	\$-759 (loss) (2567 – 3326)

Abbildung 49 : Durch die 2G-Konzeption ermöglichter Profit für EV-Besitzer

(Quelle: Kempton et al. 2001, iii)

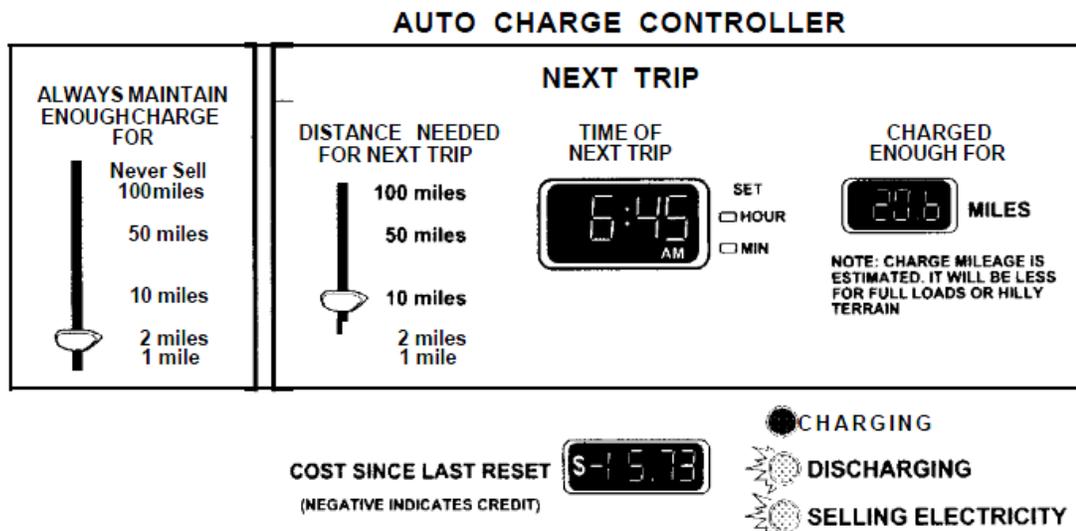


Abbildung 50 : Messsystementwurf

(Quelle: Kempton/Letendre 2002, 18)

8 E-Mobility for Use in the Health Care Sector – Is that Feasible?

(Jan Toenjes, Sebastian Schygulla)

8.1 Warum Elektrofahrzeuge

In den letzten Jahren sind die Energiepreise gestiegen, vor allem für Benzin und Diesel. Ein Großteil dieser Preissteigerung hängt mit den Steuersätzen zusammen, welche angehoben wurden um den Schadstoffausstoß zu verringern. Die Steigerungen der Energiepreise durch den Staat hängen unter anderem mit den Bestrebungen der Europäischen Gemeinschaft zusammen, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 30% gegenüber dem Stand von 1990 zu reduzieren (vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaft 2007, 5). Im Jahr 1999 wurden 23% der CO₂-Emissionen vom Transportwesen verursacht (vgl. Grobecker 2003, 13) somit erscheint es sinnvoll die Senkung des Schadstoffausstoßes durch eine Verringerung der Kraftstoffnutzung zu erreichen. Eine Verringerung der Kraftstoffnutzung in diesem Sektor, könnte durch die Elektromobilität erreicht werden. Zusätzlich wurde im Jahr 2009 ein Emissionslimit für den CO₂-Ausstoß von Neuwagen erlassen, welches schrittweise auf 130g/km bis zum Jahr 2012 gesenkt werden sollte (vgl. Schulze et. al. 2009, 45-46).

Da sowohl der Konsument als auch der Staat ein gestärktes Umweltbewusstsein haben, ist die Industrie in Zugzwang geraten und muss für effizientere Antriebssysteme sorgen. Hierbei bieten die herkömmlichen Diesel- und Ottomotoren wenig Spielraum für Innovationen. Als Brückentechnologie kann man Hybridmotoren bezeichnen, sie „stellen eine Kombination von thermischen und elektrischen Antrieben dar.“ (Aigle/Marz 2007, 34). Bei kurzen Strecken wird dabei der Elektromotor genutzt, während für längere Fahrten ein Verbrennungsmotor zum Einsatz kommt. Jedoch ist das Gewicht der Hybridlösung aufgrund der Autobatterie höher als bei einem herkömmlichen Fahrzeug, so dass der Verbrauch im Vergleich steigt und unter Umständen die Einsparungen des Elektromotors mindert. Daher werden reine Elektromotoren immer interessanter, wodurch komplett auf Verbrennungsmotoren verzichtet werden könnte. Als weitere Alternativen zum Verbrennungsmotor könnten Brennstoffzellen dienen, die Wasserstoff benötigen. (vgl. Schulze et. al. 2009, 50-57).

8.1.1 Motivation

Durch die These „Elektromobilität ist kein Zukunftsthema, sondern in der Gegenwart angekommen“ (Wagner vom Berg et al. 2009, 973) wird die Wissenschaft in verschiedenen Kerndisziplinen vor neuen Herausforderungen gestellt. Unter anderem leistet die

Wirtschaftsinformatik ihren Beitrag zur Forschung, indem Methoden aus dem Spektrum der Wirtschaftsinformatik (vgl. Wilde/Hess 2007, 282) verwendet werden. In den USA wurde durch eine Szenariotechnik das Einsparungspotenzial im Gesundheitswesen auf 105 bis zu 210 Milliarden Dollar geschätzt, welches durch eine Minderbelastung durch Luftverschmutzung, Schwermetalle, Öle und Schmierstoffe begründet worden ist (vgl. Becker et al. 2009, 22-23). Herauszufinden, ob Elektromobilitätslösungen in Bereichen des Gesundheitswesens bereits angestrebt werden und die Technologie das Potenzial zum Ersatz des Verbrennungsmotors besitzt, dienen als Motivation dieser Arbeit.

8.1.2 Vorgehen

Im Rahmen dieser Seminararbeit beschäftigen wir uns mit der Thematik „erstrebenswerte Elektromobilität im Gesundheitswesen“. Es werden zunächst relevante Begriffe definiert. Anschließend wird mit Hilfe von semi-strukturierten Experteninterviews nach Denscombe (2003, 166f.) versucht, die These von Wagner vom Berg et al. (2009, 973) objektiv zu evaluieren und die Realisierbarkeit von Elektromobilitätslösungen zu überprüfen, indem Kriterien unterschiedlicher Fahrzeugtypen des Gesundheitswesens differenziert erarbeitet und bewertet werden. Das primäre Ziel der Interviews ist die Informationsgewinnung bezüglich der Elektromobilität im Gesundheitswesen, welches mit dem Informationsmangel in der Fachliteratur zu begründen ist. Anschließend wird die Rolle der IKT und dem Informationsmanagement identifiziert. In unserer Arbeit werden IKT, die unabhängig von der Elektromobilität implementiert werden könnten (z.B. GPS-Tracking oder Fahrzeugsicherheitssysteme), nicht näher betrachtet. Die alleinige und vollständige Literaturanalyse wäre bezüglich unserer Zielsetzung nicht ausreichend, dennoch wurde sie ergänzend durchgeführt. Wir bedienen uns einer Vorgehensmethodik basierend auf der argumentativ-deduktiven Analyse definiert durch Wilde und Hess (2007, 282).

8.1.3 Risiken und Chancen des Elektromotors

Laut einer Studie des Unternehmens Oliver Wyman ist das Elektroauto keine Zukunftstechnologie. Die Studie geht davon aus, dass aufgrund der zu tätigen Investitionen für Elektrofahrzeuge eine Profitabilität fragwürdig ist. (Oliver Wyman 2009, 3). So werden die Herstellungskosten für ein Elektroauto auch in zehn Jahren deutlich höher sein als die der Fahrzeuge mit eingebautem Verbrennungsmotor (vgl. Abbildung 51). Die Studie stellt fest,

dass bis zum Jahr 2025 gerade einmal 16% der Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotor auskommen werden. Ein großes Problem stellen die Kundenerwartungen dar. Nur wenige Konsumenten sind aufgrund der geringen Reichweite bereit mehr für ein Elektroauto zu zahlen als für herkömmliche Fahrzeuge. Die geringeren Betriebskosten eines Elektroautos führen eher zur Wahrnehmung als Nischenprodukt und nicht als echte Alternative. Jedoch geht die Studie von aktuellen Verhältnissen aus und fordert unter anderem ein Eingreifen des Staates, um die neue Technologie rentabel zu machen (Oliver Wyman 2009, 1-4).

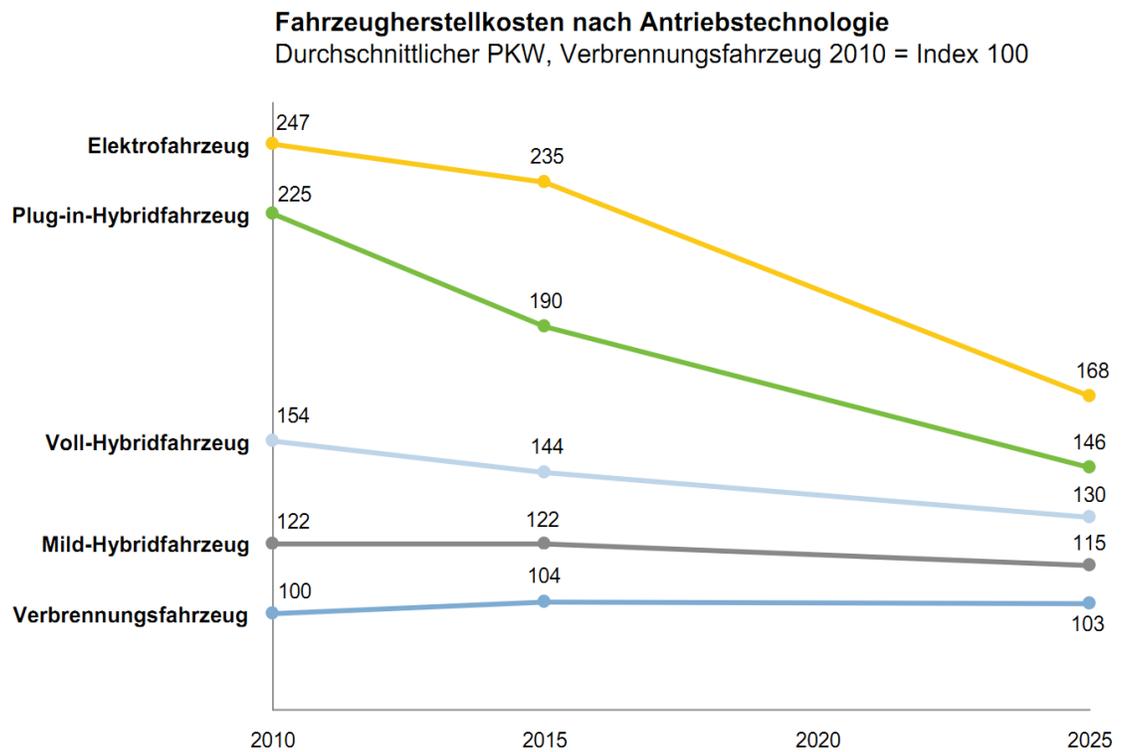


Abbildung 51 : Fahrzeugherstellkosten nach Antriebstechnologie

(Quelle: Oliver Wyman 2009, 7)

Die Bundesregierung ist sich ihrer Verantwortung bewusst die Elektromobilität zu fördern. So stellt das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung insgesamt 154 Mio. Euro für die Förderung von E-Mobility Projekten zur Verfügung. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie hat 243,4 Mio. Euro zu vergeben, wobei diese Fördermittel auf die nächsten drei Jahre verteilt werden. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit stellt 118 Mio. Euro zur Verfügung und das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat Mittel in Höhe von 265,08 Mio. Euro veranschlagt (vgl. Deutscher Bundestag 2012, 1-2). Besonders das

Projekt „Schaufenster Elektromobilität“ steht dabei im Mittelpunkt, welches dazu dient den Technologiestandort Deutschland als Aushängeschild für E-Mobility zu fördern. Hierfür werden drei bis fünf Projekte gesucht, welche mit insgesamt 180 Mio. Euro gefördert werden sollen (vgl. BMVBS 2012, 1).

Neben der staatlichen Förderung ist auch die voranschreitende Urbanisierung vor allem in den asiatischen Ländern interessant. „Die Metropolen Asiens werden sich [...] zu Keimzellen der Elektromobilität entwickeln. Dieser Trend ist bereits jetzt deutlich sichtbar“ (Rammler 2011, 17). Auch die Vereinten Nationen gehen davon aus, dass ab dem Jahr 2050 ein Großteil der Bevölkerung in Städten wohnen wird (vgl. Abbildung 52)



Abbildung 52 : Der überwiegende Teil der Weltbevölkerung wird 2050 in Städten wohnen

(Quelle: VDA 2011, 1)

Hier eröffnet sich ein großer Wachstumsmarkt, welcher in den folgenden Jahren zu einem großen Absatz führen kann. Bereits jetzt nehmen die Smogwerte in Großstädten wie Peking teilweise dramatische Größen an (vgl. Häring 2007, 17). Diese Situation wird in Zukunft durch die voraussichtliche Bevölkerungszunahme, und den damit einhergehenden zunehmenden Verkehrsaufkommen, weiter verstärkt. Besonders Elektroautos können hier den Schadstoffausstoß verringern und zusätzlich sind Nachteile wie die kurzen Reichweiten bei einer „Tankfüllung“ nebensächlich, da in Ballungsräumen die Wege kürzer sind und sich leichter eine funktionierende Infrastruktur zum Laden der Batterien aufbauen lässt.

8.2 Begriffsdefinition

In diesem Kapitel werden Begriffe anhand der verwendeten Informationsquellen definiert, welche für die weiterführende Bearbeitung notwendig sind. Zunächst werden die vorhandenen und geplanten Stromnetzstrukturen vorgestellt. Anschließend wird der digitale Stromzähler erläutert und ein Überblick der diskutierten Motorentechnologien vermittelt. Die Begriffe wurden in verschiedenen Sprachen und Wortkombinationen in die Suchmaschinen von der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Springerlink und Google eingegeben. Aktuelle Publikationen in Fachzeitschriften wurden bevorzugt ausgewertet. Die Primärquellen dieser Veröffentlichungen wurden nachrecherchiert und zur Ausarbeitung verwendet.

8.2.1 Netzstrukturen im Überblick

Das **konventionelle Netz** (auch genannt „Grid“) umfasst alle elektrotechnischen Komponenten, die für eine elektrische Verbindung zwischen Verbraucher und Produzenten erforderlich sind (vgl. Bundesnetzagentur 2011a, 11). Im derzeit vorhandenen „liberalisierten Strommarkt“ (Schwab 2012, 12) tragen sog. Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) die alleinige Systemverantwortung über die gesamte Wertschöpfungskette, ausgehend von der Stromerzeugung bis hin zum Stromvertrieb. Es ist hervorzuheben, dass die Stromerzeugung, -übertragung und -verteilung als wirtschaftlich getrennte Einheiten wahrgenommen werden. Die aktuellen ÜNB in Deutschland sind die 50Hertz Transmission AG, TenneT TSO GmbH, EnBW Transportnetze AG und die Ampirion GmbH (vgl. Schwab 2012, 15-19; vgl. Bundesnetzagentur 2011b, 1). Die ÜNB distribuiert den Strom ausgehend von Höchstspannungsnetzen¹⁴, in die die großen Kraftwerke eingespeist werden, über nachgelagerte Netze mit niedrigerer Spannung zu den Endverbrauchern (vgl. Schwab 2012, 21-22). Charakteristisch ist die monodirektionale Fließrichtung der Energie ausgehend vom Kraftwerk bis zu dem Konsumenten (vgl. Schwab 2012, 23; vgl. European Commission 2006, 15). Mit dem massiven Zubau von Kraftwerken, die dezentral Energie aus regenerativen Quellen erzeugen, werden auch bidirektionale Stromflüsse erzeugt. Durch diese bidirektionale Stromflüsse stößt das Grid an technologische Grenzen (vgl. Schwab 2012, 23).

¹⁴ Transportnetze mit 380kV und 220kV Spannung

Dem gegenüber steht das **intelligente Netz** (auch genannt „Smart Grid“), welches eine Aufrüstung des Grid durch Kommunikations-, Mess-, Steuer-, Regel- und Automatisierungstechnik sowie IT-Komponenten darstellt. Netzzustände können dadurch erfasst werden und es ermöglicht eine Steuerung und Regelung der Stromnetze, welches zu einer effizienteren Nutzung der Energieinfrastruktur führt (vgl. Bundesnetzagentur 2011a, 11). Benze et al. (2011, 11) definieren das intelligente Netz mit der Vernetzung der Akteure innerhalb eines Energieversorgungssystems, demnach umfasst das Smart Grid die Vernetzung und Steuerung von intelligenten Erzeugern, Speichern, Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und Verteilnetzen mit Hilfe von IKT. Diese beiden Betrachtungsweisen der Vision eines intelligenten Netzes ergänzen sich gegenseitig und vermitteln eine geeignete Vorstellung für ein notwendiges Energienetz, welches für die Elektromobilitätslösungen im Gesundheitswesen entscheidende Vorteile hervorbringen könnte. Im Gegensatz zum konventionellen Netz sollen intelligente Netze bidirektionale Stromflüsse ermöglichen (vgl. European Commission 2006, 19). Voraussetzung für das Smart Grid ist der digitale Stromzähler (vgl. Jagstaidt et al. 2011, 314).

8.2.2 Digitale Stromzähler

Der digitale Stromzähler (auch genannt „Smart Meter“) ist sowohl ein Instrument für ein intelligentes Netz als auch ein Informationsinstrument für den Verbraucher. Er bietet dem Endabnehmer zusätzlich zum Stromverbrauch Informationen über die Kosten und Emissionswerte (vgl. ESMA 2010, 1). Smart Metering kann als erweiterte Strommessung verstanden werden mit der Möglichkeit Datenströme über Netzwerksysteme bidirektional zu senden, damit Stromanbieter Unterstützung bei Monitoring- und Abrechnungsaufgaben erhalten. Der Smart Meter eröffnet den Distributoren Steuerungsfunktionalitäten¹⁵ direkt durch das Messgerät (vgl. Sarguan 2009, 3), dadurch ist der Smart Meter ein passives Messinstrument und aktives Steuerelement zugleich. Zusammenfassend umfasst das Smart Metering den Informationsverarbeitungsprozess, in dem Verbrauchs- und Nutzungsdaten gesammelt und aufbereitet werden. Des Weiteren ermöglicht es Prüfungen und Diagnosen von Stromspannung, Lastabnahme und Betriebszustand in Echtzeit, sowie die Weiterleitung von Steuerungssignalen. Die Daten können hierbei in unterschiedlicher

¹⁵ Funktionalitäten wie z.B. Verbinden und Trennen

Granularität und in verschiedenen zeitlichen Intervallen gemessen und verarbeitet werden (vgl. Jagstaidt et al. 2011, 314).

8.2.3 Motorentechnologie

Bei einem Verbrennungsmotor handelt es sich um eine Kraftmaschine, welche durch Verbrennung von Treibstoff mechanische Arbeit verrichtet. Dabei werden Verbrennungsmotoren einmal in den Ottomotor, welcher Benzin zur Verbrennung benötigt und dem Dieselmotor, welcher Diesel verwendet, unterschieden (vgl. Weber 2006, 11). Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Motoren liegt in der Art der Zündung: Während der Ottomotor Zündkerzen zum entzünden des Kraftstoffes benötigt, wird der Dieselmotor durch hohen Druck zur Selbstzündung gebracht. Bei dem entzünden des Kraftstoffes kommt es in beiden Motortypen zu einem hohen Druckerhöhung, diese treten beim Ottomotor häufiger und schneller auf als bei dem Dieselmotor, dafür ist die Abwärtsbewegung beim Dieselmotor langsamer (vgl. aral.de 2012, 1-2). Im Laufe dieser Arbeit sollen die Unterschiede zwischen Otto- und Dieselmotoren nicht weiter betrachtet werden. Stattdessen wird einheitlich vom Verbrennungsmotor gesprochen, wenn es sich um Kraftstofffahrzeuge handelt.

Der Antrieb eines batteriebetriebenen Elektrofahrzeuges besteht im Allgemeinen aus einem Elektromotor, einer Batterie und einem Ladegerät. Der Gleichstrom aus dem Akku wird mithilfe eines Umrichters in Wechselstrom umgewandelt, welcher den Elektromotor antreibt. Im Laufe dieser Arbeit ist dieser Motor gemeint, wenn von Elektromotoren und –antrieb die Rede ist. Ein Vorteil des Elektromotors gegenüber dem Verbrennungsmotor ist, dass bereits bei geringer Drehzahl ein volles Drehmoment erreicht wird, so dass ein schnelles Anfahren ermöglicht wird (vgl. siemens.de 2012, 3). Von Nachteil jedoch ist, dass Elektromotoren keine eigene Abwärme erzeugen, welche z.B. zum Heizen des Fahrzeuges genutzt werden kann. Somit muss zusätzliche Energie für das Beheizen von Fahrzeugen im Winter genutzt werden. Als Akkus werden oftmals Lithium-Ionen (Li-Ion) Akkus verwendet. Sie gelten als zukunftssicher und werden auch als Speicher in Laptops, Handys und anderen elektrischen Geräten verwendet. Aufgrund der sehr aufwändigen Herstellungsverfahren sind diese Akkus sehr hochpreisig (vgl. Hasselmann 2011, 160).

8.3 Auswertung der Experteninterviews

Das primäre Ziel der Experteninterviews war die Informationsgewinnung bezüglich der Elektromobilität im Gesundheitswesen. Zusätzlich sollte die eingangs erwähnte These von Wagner vom Berg et al. (2009) spezifisch für das Gesundheitswesen geprüft werden. Es wurden praktizierende Experten vom Gesundheitswesen und ein Projektmanager der Intelligent Transport System (ITS) Niedersachsen befragt. Zu den Experten im Gesundheitssektor gehören die Unternehmensführer zweier Pflegedienstleister und ein Betriebsleiter einer karitativen Organisation. Weitere Informationen sind aus der Abbildung 53 zu entnehmen. Allen Gesprächspartnern wurde Anonymität gewährleistet, um eine angenehme Interviewatmosphäre zu erschaffen. In unserer Ausarbeitung wird die Position des Experten als Pseudonym verwendet. Im Folgenden werden die Interviewergebnisse, gegliedert nach abgrenzbarem Informationsgehalt, vorgestellt.

	Pseudonym/Position	Beschreibung der Organisation	Organisationsform	Anzahl der Beschäftigten
Gesundheitswesen	Unternehmensführer	Privater regionaler Pflegedienstleister mit Kassenzulassung	GbR	Ca. 110 Mitarbeiter
	Unternehmensführerin	Eingetragener Verein als Pflegedienstleister	e.V.	Ca. 30 Mitarbeiter
	Betriebsleiter	Karitative Organisation für soziale Zwecke	e.V.	Ca. 13.000 hauptamtliche Mitarbeiter
Technologie	Projektmanager	Die ITS Niedersachsen	e.V.	Ca. 122 Mitgliedsorganisationen

Abbildung 53 : Überblick der ausgewählten Experten hinsichtlich ihres Fachbereichs (Quelle: eigene Darstellung)

8.3.1 Die Einstellung zu der Elektromobilität

Sowohl der Betriebsleiter, als auch der Unternehmensführer haben sich bereits intensiv mit der Thematik auseinandergesetzt. Beide Experten besitzen eine unterschiedliche Auffassung und Einstellung zur Elektromobilität. Der Betriebsleiter besitzt aufgrund eines misslungenen Pilotprojektes, welches bereits mehrere Jahre zurückliegt, eine negative Einstellung zu Elektrofahrzeugen. Er kann sich auch in Zukunft keine Einführung von

Dienstfahrzeuge mit einem reinen Elektroantrieb vorstellen. Begründet wurde diese Einstellung mit der niedrigen Reichweite und den langen Ladezeiten eines Electric Vehicle (EV), das die Anforderungen der Organisationen nicht erfüllt. Diese angeführten Kriterien waren der Grund für das Scheitern des Projektes.

Eine deutlich positivere Einstellung zu dieser Thematik besitzt der Unternehmensführer des regionalen Pflegedienstleistungsunternehmens. In seiner Organisation ist Elektromobilität bereits ein Diskussionsthema aufgrund der Umweltschonung, der erwarteten geringen Reparaturanfälligkeit und der Einschätzung als zukunftsweisende Technologie. Diese Informationen erfolgten ohne spezifischere Nachfrage, welches auf eine intensive Befassung mit Elektromobilitätslösungen hindeutet. Es wurde bereits ein Kostenvoranschlag für ein Elektroauto für Modelle der Marken Renault und Fiat beantragt. Der Experte kann es sich vorstellen in naher Zukunft EV als Dienstfahrzeuge zu verwenden und benennt eine Investitionsbereitschaft von 110% der Gesamtkosten¹⁶ für aktuelle Dienstfahrzeuge, wenn die entsprechende Ladeinfrastruktur vorhanden sei. Das bedeutet, wenn die Gesamtkosten über einen definierten Zeitraum die Kosten eines bisherigen Dienstwagens um 10% übersteigen, so wäre es ein enormer Investitionsanreiz für den Unternehmer. Als Risiko wurde von ihm eine unverhältnismäßige Kosten-Nutzen-Relation identifiziert, welches zu einer vorsichtigen Investitionsbereitschaft führt. Sämtliche Finanzierungsformen sind seinerseits erdenklich, wenn kein Fremdkapital aufgenommen werden muss.

Die Unternehmensführerin hingegen hat sich noch nicht mit Elektromobilität beschäftigt, weder in Bezug auf Ihr Unternehmen noch im privaten Bereich. Sie kann sich aber generell vorstellen Elektrofahrzeuge zu benutzen, wenn diese nicht zu teuer sind und sich gegenüber einem herkömmlichen Fahrzeug rentieren. Auch hier war man von der geringen Umweltbelastung und der geringeren Lärmbelästigung der Elektrofahrzeuge überzeugt, wobei als Problem die Ladeproblematik benannt wurde. Gegenüber Pilotprojekten ist man generell aufgeschlossen: „Wenn das gesponsert wird, ist das kein Thema“.

8.3.2 Bewertung von Elektroautos gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor

Die ausgewählten Experten aus dem Gesundheitswesen konnten die Umweltschonung, die geringe Reparaturanfälligkeit, die Unabhängigkeit von Kraftstoffen und die ruhige

¹⁶ In diesen Gesamtkosten sind sowohl sämtliche Fixkosten, als auch die laufenden Kosten vorhanden

Geräuschkulisse als Vorteile des EV hervorheben. Ergänzend fügte der Projektmanager die Bremskraftnutzung zur Akkuaufladung hinzu, welches beim Stadtverkehr mit kurzen Strecken zur Geltung kommt. Die gegenüberstehenden Nachteile sind die geringer Reichweite ohne zwischenzeitliche Akkuaufladung, hohe Anschaffungskosten, lange Aufladezeiten, unzureichende Ladeinfrastruktur und eine offenstehende Verlässlichkeit angesichts der neuen Technologie.

Der Betriebsleiter der karitativen Organisation benötigt bezüglich seiner Tätigkeit innerhalb der karitativen Einrichtung kompakte und preiswerte Fahrzeuge. Mobilitätslösungen mit elektronischen Antrieb können das Kompaktheitskriterium bereits erfüllen wie z.B. der Mitsubishi i-MiEV (vgl. o.V. 2012, 6-7). Dennoch ist die Meinung des Experten eindeutig: „Elektroautos können nicht mit Fahrzeugen mit eingebauten Verbrennungsmotor mithalten“. Er benennt unterschiedliche VW-Modelle und den Ford Fiesta als Einsatzfahrzeuge im Heilfürsorgesektor. Die Fahrzeuge müssen u.U. Strecken von bis zu 300 km täglich zurücklegen. „Für diese Reichweite sind Elektroautos untauglich“, betonte der Experte. Eine Wechselbereitschaft zu Elektroautos ist nicht vorhanden. Hybrid-Lösungen wurden von ihm bisher nicht näher betrachtet und weitere Pilotprojekte für ein EV sind in seiner Organisation nicht vorstellbar.

Auch der Unternehmensführer benötigt kompakte Fahrzeuge für die Pflegedienstleistungen seiner Organisation. Im Gegensatz zu dem Betriebsleiter besitzt er eine höhere Investitionsbereitschaft für eine entsprechende Qualität. Den Wartungsaufwand und weitere laufenden Kosten zu verringern ist für den Unternehmensführer von größerer Bedeutung als die Anschaffungskosten. „Abgesehen von den Kinderschuhproblemen übertreffen Elektroautos qualitativ Fahrzeuge mit eingebautem Verbrennungsmotor“, erwähnte der Experte. Diese Aussage deutet auf eine Wechselbereitschaft auf Elektroautos bei ausgereiften Strukturen hin, welches er durch seine Bereitschaft für Pilotprojekte bekräftigte. Fahrzeuge mit Hybridantrieb sind trotz vorhandener Affinität zur Elektromobilität keine Alternative. Der Fuhrpark des Unternehmens beinhaltet acht verschiedene Fahrzeuge der Klasse Kleinwagen. „Wenn wir keine Viersitzer benötigen würden, hätte man ausschließlich den Smart fortwo coupé angeschafft“, fügte der Unternehmensführer während seiner Fuhrparkaufzählung hinzu. Diese Favorisierung ist ein nennenswerter Indikator für die Anwendung von Elektromobilitätslösungen im

Gesundheitswesen, weil dieses Modell voraussichtlich ab dem zweiten Halbjahr 2012 (vgl. o.V. o.J.c, 10) als Variante mit elektronischem Antrieb erhältlich ist und versucht den Leistungskern der Ottomotorvariante zu imitieren.

Der Projektmanager vertritt die Meinung, dass der Verbrennungsmotor für einen Rettungswagen auch in ferner Zukunft unverzichtbar wäre. Er begründete dieses mit dem hohen Stromverbrauch der Gerätschaften innerhalb eines Rettungswagens und dem kritischen Aufgabenbereich dieses Fahrzeugtyps, das nicht mit langen Standzeiten in Einklang zu bringen sei. Realistische Chancen für Elektromobilität sieht er für Pflegedienstleistungen im urbanen Sektor aufgrund der Bremskraftnutzung, der kurzen Strecken und der längeren Standzeiten.

8.3.3 Einbindung von IKS der Elektromobilität im Gesundheitswesen

Die Experten des Gesundheitswesens konnten keine Informations- und Kommunikationssysteme (IKS) benennen, die ihrer Meinung nach Elektromobilität im Gesundheitswesen unterstützen würden. Selbst bei der Erwähnung von Smart Grid und Smart Metering Konzepten zur Unterstützung von Elektromobilität konnten keine weiteren Angaben gemacht werden. Dennoch hat jeder Experte im Gesundheitswesen computergestützte Flottenmanagementsysteme, mit deren Hilfe zukünftige Ladestrategien entwickelt werden könnten. Demgegenüber identifizierte der Projektmanager IKT und IKS als die entscheidende Technologie zum Erfolg der Elektromobilität. Er ist der Meinung, dass sie ein intelligentes und dadurch effizienteres Stromnetz ermöglichen und somit der Umweltschonung beitragen. Er bestätigte zudem die Schlüsselrolle des Smart Meters zur Netzintegration, welches im Kapitel 5.2 näher erläutert wird.

8.3.4 Schlussbetrachtung und Zusammenführung richtungsweisender Ergebnisse

Zwei der befragten Experten im Gesundheitswesen haben sich intensiv mit Elektromobilitätslösungen beschäftigt. Nach Aussage des Betriebsleiters ist die Elektromobilität keine Option für Dienstwagen. Im Pflegedienst hingegen besteht die Bereitschaft Elektrofahrzeuge in Zukunft zu verwenden. Hierzu hat sich einer der beiden Pflegedienstleister bereits intensiver mit der Thematik auseinandergesetzt. Der andere Pflegedienstleister hingegen hat sich kaum mit der Elektromobilität auseinandergesetzt, ist sich aber über die Vor- und Nachteile der Technologie bewusst und den Fahrzeugen gegenüber nicht abgeneigt.

Zusammengefasst ist eine weitere Betrachtung für Elektromobilitätslösungen im Pflegedienst angemessen, während die Technologie für den Rettungsdienst unzureichend ist. Die Auswertung hat ergeben, dass bereits eine Investitionsbereitschaft für Elektroautos in der Pflegedienstleistungsbranche vorhanden ist und für Rettungswagen mit reinem Elektroantrieb noch intensiver Forschungsbedarf existiert. Es wird nun der priorisierte Smart fortwo Coupé mit dem Smart fortwo Electric Drive, ergänzt mit den ausgewerteten Merkmalen und technischen Daten, gegenübergestellt. Die Abbildung 54 vermittelt einen Überblick der erarbeiteten Ergebnisse, anhand ausgewählter Beispiele. Die technischen Daten wurden mit Hilfe der Herstellerwebseite (vgl. Smart 2012a, 1; Smart 2012b, 1) ermittelt.

Fahrzeug		
Kriterien	Electric Drive	Coupé
Anschaffungskosten	19.000 €* Miete für Batterie 70 €/Monat	12.095 €
Weitere relevante Kosten		
Leistung	48 PS / 35 kW	54 PS / 40kW
Reichweite pro Batterieladung bzw. Tankfüllung	Ca. 140 km	Ca. 971 km***
Emissionsklasse	A+	B
Höchstgeschwindigkeit	120 km/h	135 km/h
Beschleunigung 0-100 km/h	19 Sekunden	16,8 Sekunden
Nutzungsvorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Emissionen • Geringere Reparaturanfälligkeit • Benzinunabhängig • Lautlos • Bremskraftnutzung • Energieeffizienz 	<ul style="list-style-type: none"> • Größere Reichweite • Größere Flexibilität • Motor erzeugt Energie • Stärkere Leistung
Nutzungsnachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Lange Aufladezeiten • Geringe Reichweite • Mangelhafte Ladeinfrastruktur • Motor verbraucht elektrische Energie • Unflexibel 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht Emissionsfrei • Benzinabhängig • Höhere laufende Kosten

Abbildung 54 : Gegenüberstellung des Smart fortwo electric drive und des Smart fortwo coupé

(Quelle: eigene Darstellung)

- * unverbindliche Preisempfehlungen inkl. 19% Mehrwertsteuer
- ** Ermittelt durch den innerörtlicher Durchschnittsverbrauch von 3,4l/100km gemessen nach der Richtlinie 80/1268/EWG und dem Tankvolumen inkl. Reservetank von 33l

8.4 Elektroautos im Health Care Bereich

Die Elektromobilität hat die Möglichkeit die Art und Weise des urbanen Lebens nachhaltig zu verändern. Vor allem auf kurzen Strecken kann das Elektroauto eine alternative zum Verbrennungsmotor darstellen. Im Folgenden sollen diese Möglichkeiten weiter betrachtet werden. Gerade in der häuslichen Pflege könnten Elektrofahrzeuge eine Zukunft haben. Dabei soll untersucht werden, ob sich die Mehrkosten für die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges gegenüber einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor aus derselben Fahrzeugklasse lohnen und ob diese Kosten innerhalb des Lebenszyklus der Fahrzeuge durch Einsparungen bei den Spritkosten amortisiert werden können. In der Modellbetrachtung werden hierbei vereinfachte Annahmen getroffen. Bereits durch die Experteninterviews wurde ersichtlich, dass Rettungswagen sich nicht für die Elektromobilität eignen. Diese Annahme soll durch objektive, theoretische Überlegungen untersucht werden.

8.4.1 Anforderungen an Elektroautos bei Pflegedienstleistern

Zu den Aufgaben eines Pflegedienstleiters gehört neben der stationären Pflege insbesondere die häusliche Pflege. Oftmals wohnen die Patienten zu Hause und benötigen Hilfestellung bei tagtäglichen Aufgaben wie dem Waschen und Anziehen. Zusätzlich gibt es das Konzept von „Essen auf Rädern“, hierbei wird den Klienten zur Mittagszeit eine warme Mahlzeit geliefert. Auch Aufgaben im Haushalt werden vom Pflegepersonal teilweise mit übernommen, wie z.B. das Wäschewaschen, reinigen der Wohnung oder das erledigen von Einkäufen. Im tagtäglichen Dienst werden hierbei meist kurze Strecken zwischen den einzelnen Patienten zurückgelegt. Daher spielt die geringe Reichweite von Elektrofahrzeugen, welche oftmals als wesentlicher Kritikpunkt aufgeführt wird, eine untergeordnete Rolle, sofern die Möglichkeit besteht die Fahrzeuge unterwegs aufzuladen. In der folgenden Betrachtung gehen wir davon aus, dass ein Mitarbeiter 100 km an einem Arbeitstag zurücklegt, um seine Patienten zu versorgen. Da sich die Pflegedienstmitarbeiter vor allem im urbanen Raum bewegen werden meist Automobile der Fahrzeugklasse

„Kleinwagen“ genutzt. Zu dieser Klasse gehören unter anderem Fahrzeuge wie der Renault Clio, Fiat Panda oder VW Polo. Diese Fahrzeuge haben meist einen geringen Treibstoffverbrauch und aufgrund ihrer geringen Größe ist es leicht einen Parkplatz zu finden.

8.4.2 Elektrisch angetriebene Rettungswagen

Bei Rettungsdiensten sind die Anforderungen sehr viel größer als bei Pflegedienstleistern. Die Firma System - Strobel GmbH & Co. KG baut beispielsweise Mercedes-Benz Sprinter und Volkswagen Crafter in Rettungswagen um. Vor allem der Größenunterschied zu Kleinwagen fällt hier auf (vgl. System Strobel 2012, 1). Wichtig ist bei den Rettungsdiensten, dass die Fahrzeuge jederzeit bereit sein müssen auszurücken. Es ist nicht absehbar, wie viele Einsätze täglich gefahren werden und welche Anzahl an Streckenkilometern zurückgelegt werden muss. Auch kann man annehmen, dass Rettungsfahrzeuge mit Elektromotoren beim derzeitigen Stand der Technik nicht über die ausreichende Reichweite verfügen und nur selten eingesetzt werden könnten. Im vorangegangenen Interview wurde diese Annahme von einer karitativen Organisation bestätigt, welches an einem Pilotprojekt teilgenommen hatte. Hierbei wurde vor allem die geringe Reichweite der Fahrzeuge bemängelt und die Organisation möchte in Zukunft an keinem weiteren Feldversuch teilnehmen. Sie gedenkt nicht in Zukunft auf Elektrofahrzeuge umzusteigen. Ein weiterer Nachteil der benannt wurde ist, dass die Rettungswagen bereits jetzt sehr viel Strom für medizinische Geräte im Fahrzeug und dem Folgetonhorn oder Rundumkennleuchte benötigen, welche die Energienutzung noch ineffizienter macht. Hinzu kommt, dass bei den meisten Automobilherstellern moderne Elektroautos bisher nicht über den Stand des Prototypens heraus gekommen sind. Meistens handelt es sich bei diesen Fahrzeugen um Klein- oder Sportwagen. Kleintransporter, welche in der Regel für Rettungswagen genutzt werden, werden bisher von den Herstellern wenig beachtet.

8.4.3 Kosten von herkömmlichen Fahrzeugen im Vergleich zu Elektroautos

Im folgenden Abschnitt werden die Kosten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor mit denen von Elektrofahrzeugen gegenüber gestellt. Dabei sind vor allem die Kosten für das Betreiben der Motoren, also Benzin und Stromkosten, sowie der durchschnittliche

Verbrauch interessant. Wir gehen davon aus, dass eine Pflegekraft an einem Arbeitstag im Schnitt 100 km zurück legt und 230 Tage im Jahr arbeitet. Die jährlichen Arbeitstage ergeben sich aus einer 5-Tage Woche bei 52 Kalenderwochen und 30 Urlaubstage. Anhand dieser Zahlen werden die jährlichen Ausgaben ermittelt. Bei dieser Gegenüberstellung wird von konstanten Energiepreisen über die kommenden Jahre hinweg ausgegangen.

Der Volkswagen Polo 1.2 kommt bei einer vollen Tankfüllung von 45l Super und einem durchschnittlichen Verbrauch von 7,3l in der Stadt auf 100km auf eine Reichweite von ca. 616,43km (vgl. autoklicker.de 2012, 1-2). Der Automobilclub von Deutschland hat ermittelt, dass der durchschnittliche Preis für einen Liter Super-Kraftstoff in Deutschland in der 11. Kalenderwoche 2012 bei 1,68 € lag (vgl. AvD 2012, 1). Von diesem Preis ausgehen würde eine Tankfüllung 73,35 € kosten, somit kostet jeder Kilometer ca. 0,12 €. Bei täglich 100 km macht dies bei 230 Arbeitstagen 2.760 €.

Als Alternative aus dem E-Mobility wir der Think City betrachtet. Die Reichweite beträgt laut Herstellerangaben 160km. Das Fahrzeug wird mit zwei verschiedenen Batterietypen ausgeliefert: Einem Lithium Ionen Akku, welcher ca. 8 Stunden zum vollen Laden benötigt und einen ZEBRA-Sodium-Akku, welcher ca. 10 Stunden zum Laden benötigt. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird nur die Lithium Ionen Version betrachtet. Der Energiegehalt des Akkus liegt bei 21,5 kWh (vgl. emissionslos.com 2011a, 3). Eine Kilowattstunde Strom kostet ungefähr 0,23 € (vgl. Energieprognose 2009, K13), somit kostet eine volle Akkuladung bei der Lithium Ionen-Version 4,95 €. Fährt man mit diesem Akku 160 km zahlt der Verbraucher pro gefahren Kilometer 0,03 €. Bei den angenommen 230 Arbeitstagen ergeben sich ca. 690 € an Energiekosten für jeden Mitarbeiter im Jahr, somit lassen sich die Kosten um ungefähr 75 % senken.

Beschreibung	Rechnung
Reichweite eines VW Polos	$\frac{45l}{7,3l} * 100km = 616,43km$
Kilometerkosten	$\frac{73,35 \text{ €}}{616,43km} = 0,12 \frac{\text{€}}{km}$
Senkung der Energiekosten in Prozent	$100\% - \frac{690\text{€} * 100}{2760 \text{ €}} = 75\%$

Abbildung 55 : Rechnungsweg zum Einsparpotential

(Quelle: eigene Darstellung)

Ein weiterer wichtiger Punkt im Vergleich zwischen herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und Elektroauto sind die Akkumulatoren. Während die klassischen Motoren, bei entsprechender Behandlung, über viele Jahre hinweg ohne nennenswerte Wartungskosten voll funktionsfähig sind, haben die Batterien in Elektrofahrzeugen eine sehr begrenzte Lebensdauer. Das Unternehmen SB LiMotive versucht Batterien für Elektrofahrzeuge zu bauen, welche eine Lebensdauer von maximal 12 Jahren besitzen (vgl. Vezzini 2009, 39). Jedoch gilt dieser Wert nur bei perfekten Voraussetzungen. So hängt der Wirkungsgrad von Lithium-Ionen Akkus mit der Umgebungstemperatur zusammen und nimmt bei niedrigen Temperaturen ab. Auch kann nicht ausgeschlossen werden, dass es bei einem längeren Stillstand zu Energieverlusten kommt (vgl. Ladewig 2010, 4-5). Der größte Faktor zur Berechnung der Haltbarkeit sind die Anzahl der möglichen Ladezyklen. So ist bei Lithium-Ionen Akkus von 2.000 bis 3.000 Ladezyklen auszugehen (vgl. Kiermasch 2011, 8). Bei 230 Ladungen im Jahr und 2.500 Ladezyklen bis zur Entsorgung würde eine Batterie 10,86 Jahre halten. Im Laufe dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass eine Batterie elf Jahre übersteht. Der Preis für Lithium-Ionen Akkus liegt bei 700 €/kWh (vgl. Kloess 2009, 9). Ein neuer Akku für die Lithium-Ionen Variante des Think City würde somit ca. 15.050 € kosten.

Die untenstehenden Tabellen zeigen die Preise für einen VW Polo 1.2 und einen Think City. Hierfür wurden die Preise von verschiedenen Internetseiten verwendet und miteinander verglichen. Der jeweilige Durchschnittswert soll in den folgenden Berechnungen als Richtwert gelten.

Quelle	Preis
www.alle-autos-in.de	11.800 €
www.buddeautomobile.de	13.510 €
www.auto.de	11.898 €
www.emissionslos.com (b)	15.050 €
Durchschnittswert	13.064,50 €

Abbildung 56 : Preise für einen VW Polo 1.2 im Vergleich

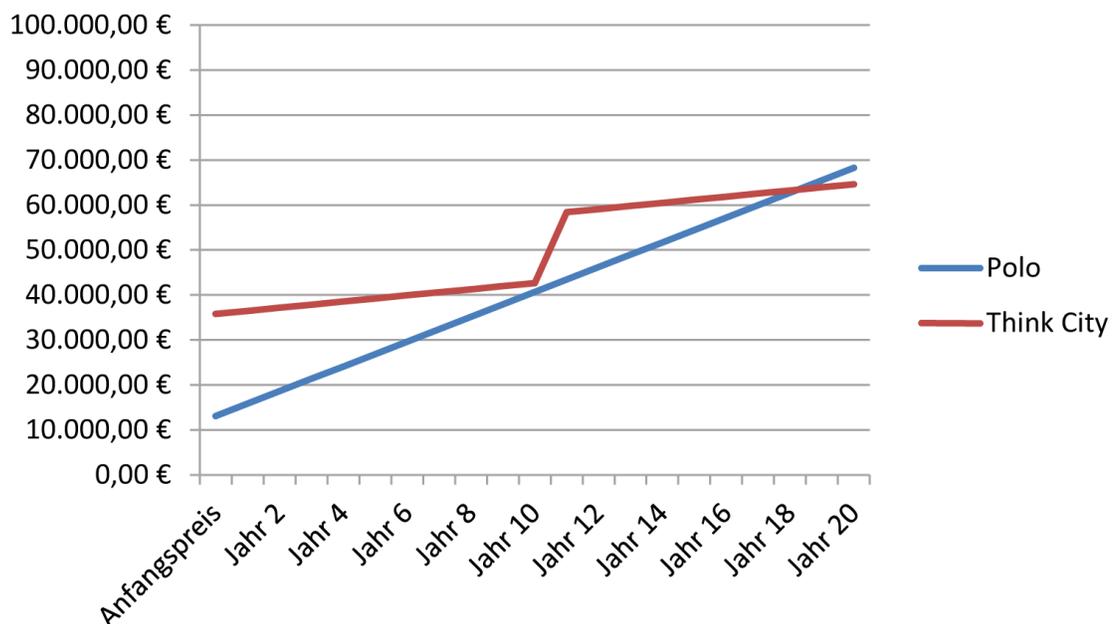
Stand: 20.03.2012 (Quelle: eigene Darstellung)

Quelle	Preis
www.emissionslos.com (a)	35.760 €
www.automobile.at	35.760 €
www.elektroauto-news.net	35.760 €
Durchschnittswert	35.760 €

**Abbildung 57 : Preise für einen Think City (mit Li-Ionen Akku) im Vergleich
Stand: 20.03.2012 (Quelle: eigene Darstellung)**

Als Neupreis für den VW Polo werden 13.064,50 € angenommen. Dem gegenüber steht der Think City in der Lithium Ionen Variante, welcher 35.760 € kostet. Das bedeutet, dass die Eingangsinvestition 22.695,50 € höher ist, wobei jährlich aufgrund der geringeren Strompreise und besseren Energienutzung 2070 € eingespart werden könnte.

Die folgende Grafik vergleicht die Kosten eines VW Polos mit denen eines Think Citys über 19 Jahre hinweg. Es werden die angenommenen Kosten für Kraftstoff bzw. Strom auf die Kaufpreise der Fahrzeuge addiert. Bei dem Think City kommen außerdem nach 10 Jahren 15.050 € für eine neue Batterie hinzu.



**Abbildung 58 : Kosten vom VW Polo und Think City im Vergleich
(Quelle: eigene Darstellung)**

Der Graph des VW Polos startet bei 13.064,50 € steigt jährlich um 2.760 €, die geschätzten jährlichen Ausgaben für den Kraftstoff. Dem gegenüber steht der Think City welcher zunächst 35.760 € kostet. Im Jahr 11 kommen außerdem 15.050 € für eine neue Batterie hinzu. Anhand der Grafik lässt sich sehr schnell feststellen, dass Elektrofahrzeuge sich nach dem derzeitigen Stand der Technik aufgrund der ineffizienten und teuren Akkus, welche die Gesamtkosten über die Jahre zu stark ansteigen lassen, kaum für die Pflegedienstleister rechnen.

8.4.4 Zukünftige Entwicklungen

Bisher wurde bei der Betrachtung der Kosten von konstanten Preisen über die Jahre ausgegangen. Im Folgenden wird versucht einen Ausblick auf die zukünftige Entwicklung zu geben. Der Chemiekonzern BASF versucht beispielsweise die Reichweitenproblematik mit der Optimierung der Lithium-Ion Batterie zu lösen. Dies wird durch die Gewichtsreduzierung, höhere Energiedichte, Sicherheitsverbesserungen und Effizienzsteigerung durch mehrere Auflade Zyklen versucht (vgl. BASF 2011, 1).

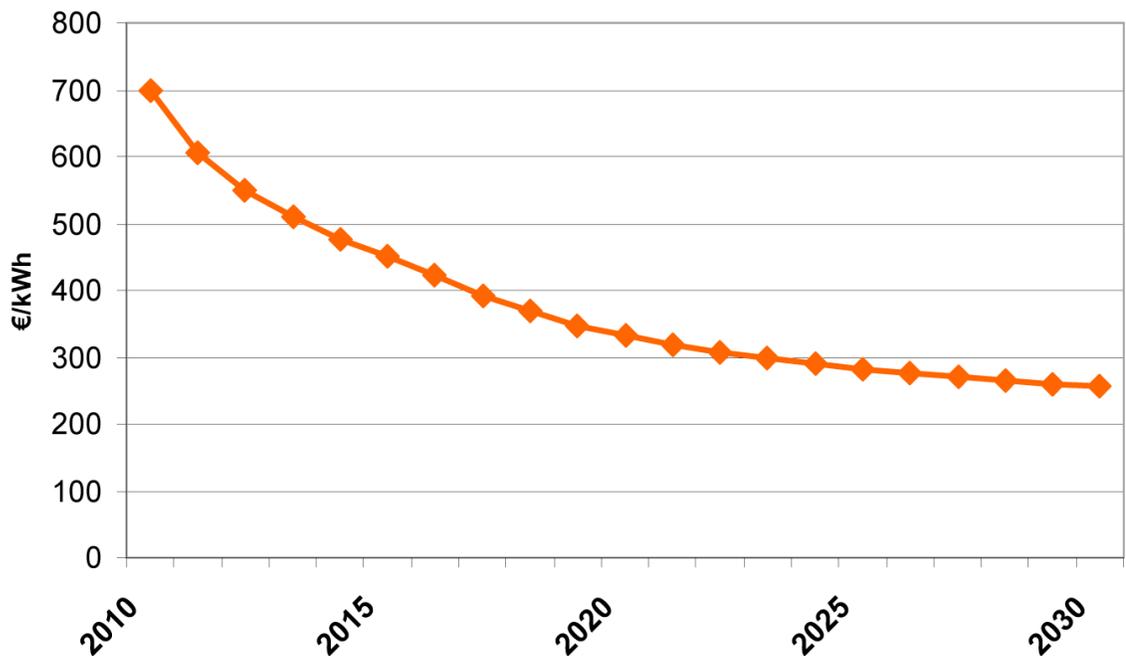


Abbildung 59 : Lernkurve bei Lithium-Ionen Akkus

(Quelle: Kloess 2009, 10)

Die Abbildung 59 zeigt die prognostizierte Lernkurve bei Lithium-Ionen Akkus. So könnte eine Batterie für den Think City ab 2022 ungefähr 6.880 € kosten. Hinzu kommen die Veränderungen auf dem Energiemarkt. Seit 2002 sind die Preise für Superkraftstoff von 1,04 € auf 1,57 € gestiegen, was eine Steigerung von 51% ausmacht. Sollte sich dieser Trend in Zukunft fortsetzen, so ist mit Spritpreisen von 2,37 € im Jahr 2022 zu rechnen (vgl. statista.com 2012, 1). Der Strompreis hat sich in den Jahren von 2001 bis 2011 um 74,23% erhöht (vgl. kloubi.de 2012, 1). Ausgehend von diesem Wert ist ein Preis von 0,40 € pro Kilowattstunde realistisch. Dies würde bedeuten, dass Jährlich 1.150 € für das Laden der Elektrobatterie zahlen würde. Wird die oben angesetzte Rechnung für diese neuen Werte für das Jahr 2022 genutzt, ergibt sich daraus der folgende Verlauf für die Grafiken:

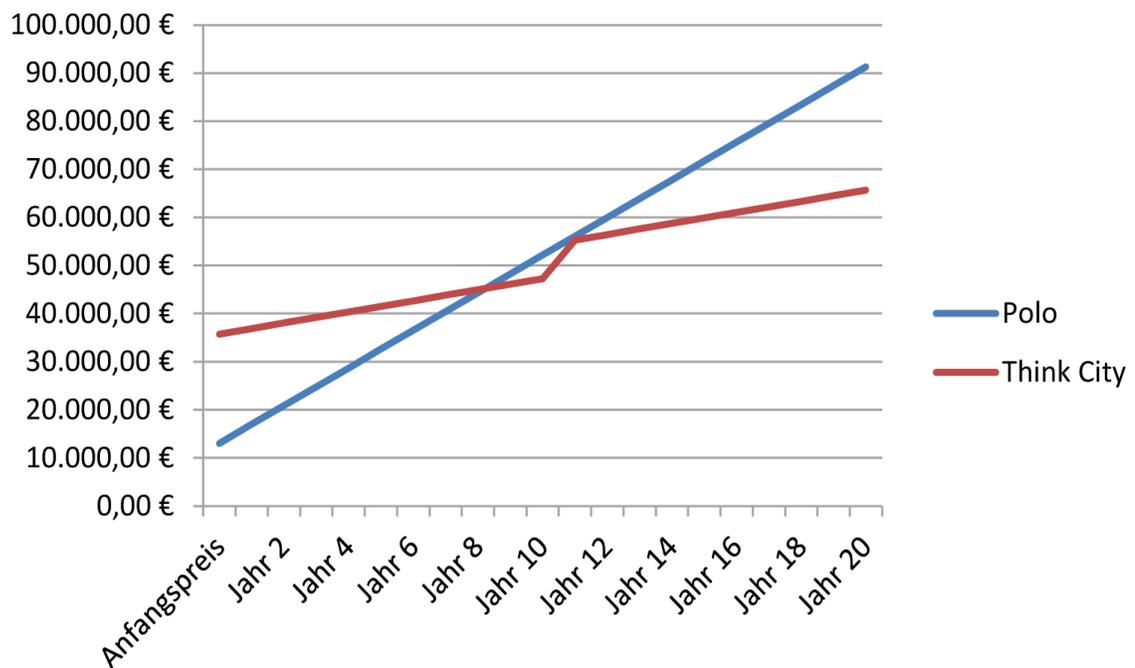


Abbildung 60 : Kosten von VW Polo und Think City im Vergleich (Zukunftsaussicht)
(Quelle: eigene Darstellung)

Auffällig ist nicht nur der sehr viel steilere Verlauf des Polo-Graphen sondern auch, dass sich bereits ab den Jahr 9 die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges rechnet hat. Hieran ändert der Kauf eines neuen Akkus nichts.

8.4.5 Abschließende Betrachtung

Wie bereits in Abschnitt 8.4.3 geschildert, lohnt sich beim heutigen Stand der Elektrofahrzeuge die Anschaffung eines solchen Fahrzeuges wirtschaftlich nicht. Schuld hieran sind vor allem die teuren Batterien, deren Lebenszeit sehr begrenzt ist. Abhilfe würden staatliche Subventionen bringen um z.B. Lithium-Ionen Akkus für Elektrofahrzeuge günstiger erwerben zu können oder die Kaufpreise für Elektrofahrzeuge zu senken. Aufgrund der sinkenden Kosten für Lithium-Ionen Akkus und der stark steigenden Spritpreise, handelt es sich bei den Elektroautos um eine Zukunftstechnologie, welche auch im Pflegedienst eingesetzt werden könnte. Wie bereits eingangs beschrieben sind Rettungswagen mit Elektromotoren dahingegen wenig interessant. Hierfür ist die Technologie noch nicht ausgereift genug. Um den benötigten Anforderungen gerecht zu werden müssen vor allem die Batterien verbessert werden. Bis dahin werden aber noch Jahre vergehen.

8.5 Bedeutung der IKT für das Gesundheitswesen

Elektrofahrzeuge im Gesundheitswesen werden aufgrund ihrer geringen Reichweite und langen Ladezeiten der Akkumulatoren kritisch betrachtet, diese beiden Kriterien wurden von allen Befragten als entscheidende Kritikpunkte des Elektroautos bestätigt. Ein Ansatz um diese Problematik entgegenzutreten wäre das konventionelle Energienetz durch IKT in ein intelligentes Netz aufzurüsten. Im Folgenden werden die Rolle der IKT und des Informationsmanagements diskutiert und deren Beitrag zur Elektromobilität im Gesundheitswesen aufgezeigt.

8.5.1 Rolle der IKT

Die IKT nimmt die entscheidende Rolle bei der Aufrüstung des konventionellen Netzes zu einem intelligenten Netz ein, welches Einfluss auf die Wertschöpfung der Elektromobilität hat. Das Ziel dieser Aufrüstung ist ein optimaler Lösungsweg für die konkurrierenden Größen Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit im Rahmen des skizzierten energiepolitischen Dreiecks (vgl. Abbildung 61). Klassischerweise kann einer der dargestellten Zielgrößen im Energiemanagement einer Organisation nur auf Kosten einer anderen Größe realisiert werden, wie z.B. der Umstieg auf den teureren Strom aus regenerativen Energien zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit auf Kosten der

Wirtschaftlichkeit. In einem Smart Grid könnten diese Ziele durch intelligente Lösungen und IKT Integration unabhängig voneinander optimiert werden.

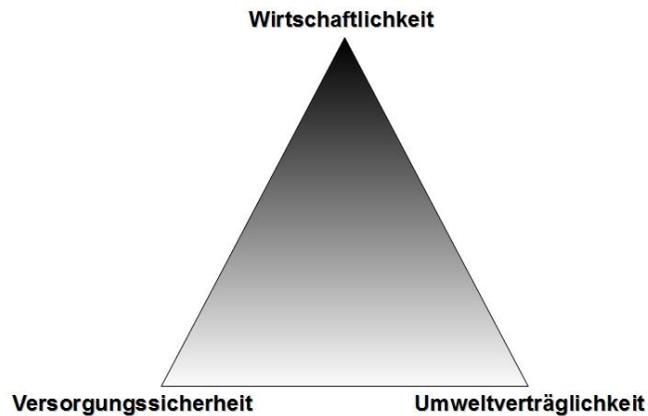


Abbildung 61 : Energiepolitisches Dreieck

(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Benze et al. 2010,33)

Die alleinige Integration von IKT stellt keine Verbesserung der o.a. Ziele dar, vielmehr führt die Anpassung der IKT an den Informationsbedarf zu einer optimalen Lösung (vgl. Benze et al. 2010, 33). Um dieses zu verdeutlichen führen wir eine hypothetische Unterscheidung der Informationsbedürfnisse bezüglich einer Ladesteuerungsstrategie (vgl. Leitinger/Litzlbauer 2011, 12-13) für einen klinischen Rettungsdienst und einen Pflegedienstleister ein. Dabei gehen wir von einer Laststeuerung durch Preisanreize¹⁷ (vgl. Nischler et al. 2011, 56) aus.

Im klinischen Rettungsdienst müssen Fahrzeuge für das Notdienstpersonal permanent funktionsfähig sein. Es ist zwar vorstellbar die Anzahl und die Zeitpunkte der Notrufe stochastisch zu ermitteln und darauf aufbauend eine Ladestrategie zu entwickeln, jedoch ist dieses Vorgehen risikobehaftet. Die Integration von Mess- und Steuerungsinstrumente sollten nur der Umweltverträglichkeit dienen, indem sie regenerativen Strom priorisiert. Dafür sind keine IKT-Einrichtungen notwendig, die individuelle Verbrauchsdaten sammelt und evaluiert. Eine „erzeugungsorientierte Ladestrategie“ (Leitinger/Litzlbauer 2011, 13) erscheint als geeignete Lösung, dabei wird die Größe „Wirtschaftlichkeit“ eindeutig

¹⁷ Preise werden ökonomisch durch das Verhältnis von Stromangebot und Stromnachfrage gebildet

weniger präferiert als die Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit. Preisstrategien durch Laststeuerung dürfen aufgrund dieses kritischen Sektors nicht berücksichtigt werden.

Der private Pflegedienstleister könnte die Zielgröße Versorgungssicherheit etwas mehr vernachlässigen bzw. hat er aufgrund der Planbarkeit seiner Dienstleistung mehr Möglichkeiten die Wirtschaftlichkeit mittels einer geeigneten Ladestrategie zu optimieren. Es ist denkbar, dass über Nacht weniger Aufträge als am Tag auszuführen sind. Genauso vorstellbar ist ein niedriger Strompreis über Nacht, somit kann die Aufladung der Akkumulatoren hauptsächlich nachts mit geringer Stromleistung stattfinden. Durch diese Strategie können nach Nischler et al. (2011, 56) folgende Vorteile realisiert werden:

- Akkuschonung durch Aufladung mit geringer Stromleistung
- Erhöhung des Grundlastanteils im Netz
- Gleichmäßige Ausnutzung des Kraftwerkparks
- Investitionserfordernisse in die Netzinfrastruktur werden durch intelligente Maßnahmen minimiert

Aus diesem Beispiel wird deutlich, dass durch die „verbrauchsorientierte Ladestrategie“ (Leitlinger/Litzlbauer 2011, 12) die Zielgrößen Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit nicht konkurrierend sondern komplementär sind. Durch sinnvolle Integration geeigneter IKT können bidirektionale Informationsflüsse generiert werden um eine optimale Verbrauchsstrategie gefunden zu finden, die sowohl wirtschaftlich als auch umweltverträglich ist. Im Vergleich zum klinischen Rettungsdienst ist der Mehraufwand für IKT zur Realisierung bidirektionaler Informationsflüsse berechtigt, weil die generierten Daten der Fahrzeuge individuell ausgewertet werden können um eine optimale Ladestrategie zu entwickeln.

Um ein signifikanten Grad an Zuverlässigkeit und Sicherheit zu erreichen, müssen Energieversorgungs- und Informationssysteme zu einer Einheit werden (vgl. Benze et al. 2010, 103). Das wichtigste Instrument der IKT für diese Zielsetzung ist der im Kapitel 3.3 erläuterte Smart Meter, welches eine „bridge“ (Sarguan 2009, 3) zwischen dem Endverbraucher und dem Smart Grid darstellt (vgl. Abbildung 62). Im nächsten Kapitel werden Strategien bezüglich der Anbindung des Smart Meters und das Smart Grid erläutert.

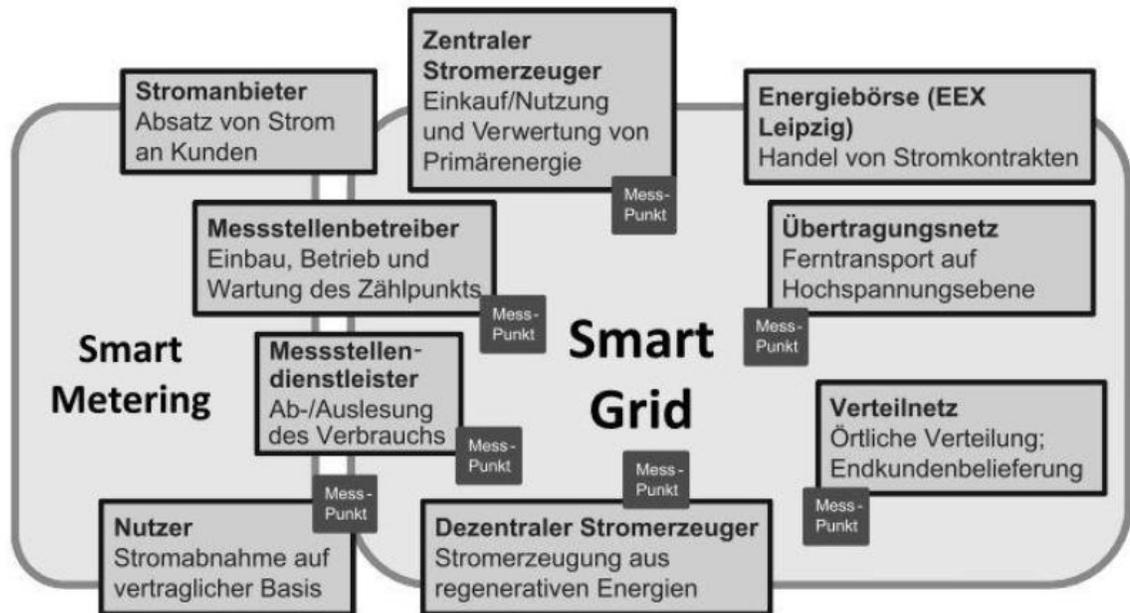


Abbildung 62 : Die Verbindung von Smart Metering und Smart Grid

(Quelle: Jagstaidt et al. 2011, 314)

8.5.2 Netzintegrationskonzepte mit dem digitalen Stromzähler

Für die Einführungsphase der Elektromobilität sind sichere Abrechnungsmodelle beim Laden des EV notwendig, insbesondere für die Elektromobilität im Gesundheitswesen sollte der Akt des Aufladens einfach und ohne Komplikationen erfolgen. Im Wesentlichen unterscheidet man zwei Anbindungsvarianten des EV an das intelligente Netz (vgl. Abbildung 63). Zum einen gibt es die Möglichkeit Ladestationen mit einem Smart Meter auszustatten, der die entnommene Energiemenge misst und die ermittelten Daten mittels IKT an ein Abrechnungssystem sendet, diese Variante bezeichnen wir als indirekte Anbindungsvariante. Bei der direkten Anbindungsvariante ist der Smart Meter in das EV eingebaut und sendet direkt Informationen an das Abrechnungssystem (vgl. Link 2011, 36). In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise beider Netzintegrationskonzepte aufgezeigt.

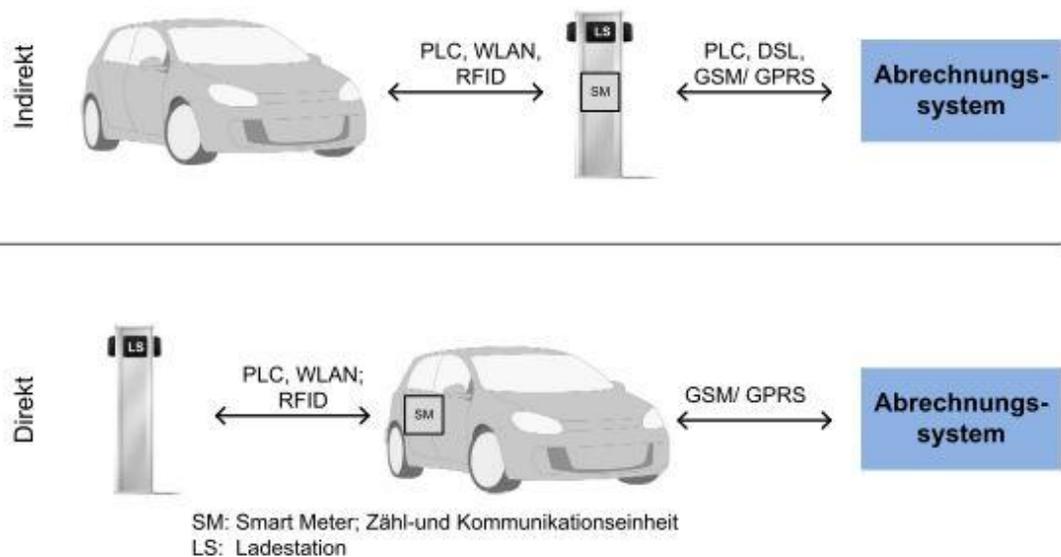


Abbildung 63 : Indirekt und direkte Netzanbindung

(Quelle: Link 2011, 36)

Bei der Nutzung indirekten Anbindungsvariante muss sich der Besitzer des EV zunächst identifizieren und eine Autorisierung zur Nutzung der Ladestation erhalten. Sind die Kundendaten abgeglichen und der Nutzer erhält die Bewilligung des Ladestationsbetreibers, wird die Ladestation freigeschaltet. Bei dem Ladevorgang misst der Smart Meter den übermittelten Strom. Am Ende des Ladevorgangs wird der gemessene Wert mit der dazugehörigen Kundenkennung an den Ladestationsbetreiber gesendet. Hierbei werden registrierte Nutzer von nicht registrierten Nutzern unterschieden. Registrierte Verbraucher dürfen über unterschiedliche Vertragsmodelle die Infrastrukturkosten begleichen, während der nicht registrierte Nutzer für diese Kosten direkt mit der Nutzung der Ladestation aufkommen muss. Die endgültige Abrechnung der Ladestation findet zwischen den Ladestationsbetreiber und dem Stromlieferanten, wie z.B. ein ÜNB statt (vgl. Link 2011, 38).

Die direkte Anbindungsvariante wird durch die Implementierung des digitalen Stromzählers in das EV realisiert. Die notwendigen Informationen müssten über den Smart Meter im Fahrzeug erfasst und kommuniziert werden. Die direkte Anbindungsvariante ermöglicht wechselnden Anschlussnutzern den direkten Zugang zum Stromnetz. Sämtliche Ladevorgänge werden fahrzeugintern erfasst und die dabei erhobenen Daten werden für Abrechnungszwecke an den Stromlieferanten gesendet. Im Gegensatz zur indirekten

Anbindung muss der Ladestellenbetreiber keinen Energieversorger beauftragen (vgl. Link 2011, 41-43).

8.5.3 Informationsmanagement im Pflegedienstbereich

Kann man die Vision des intelligenten Stromnetzes und die Anbindung von Elektroautos an dieses Netz mit dem Smart Meter realisieren, entstehen intensive Informationsflüsse, die mit einem geeigneten Informationsmanagement verwendet werden können. In Organisationen des Gesundheitswesens sind die Ziele und Aufgaben des Informationsmanagements in Abhängigkeit vom Leistungspotenzial der Informationsfunktion, dem zu seiner Umsetzung in Erfolg erforderlichen Erfolgspotenzial der Informationsinfrastruktur¹⁸ und dem daraus resultierenden Stellenwert des Informationsmanagement abzuleiten. Die Informationsfunktion umfasst die Aufgaben eines Unternehmens, die sich mit Information und Kommunikation befassen. Das Leistungspotenzial ist der mögliche Beitrag der Informationsfunktion zum Unternehmenserfolg, geschätzt durch die mögliche Realisierung von strategischen Unternehmenszielen. Dagegen definiert sich das Erfolgspotenzial mit der Fähigkeit der Informationsinfrastruktur das Leistungspotenzial der Informationsfunktion in Unternehmenserfolg umzusetzen (vgl. Heinrich/Lehner 2005,19-21). Es ist davon auszugehen, dass die Vision des Intelligenten Stromnetzes und die Einführung des Smart Meters das Leistungspotenzial der Informationsfunktion sowie das Erfolgspotenzial der Informationsinfrastruktur steigern. Dadurch ist eine Steigerung des Stellenwertes des Informationsmanagements im Pflegedienstbereich zu erwarten, da eine größere Menge an wichtigen Informationen verarbeitet wird.

Bei Pflegedienstleistungsunternehmen wären Informationen zur Ableitung einer optimalen Ladestrategie relevant. Um diese zu erhalten ist ein bidirektionaler Informationsaustausch nötig, welcher Herausforderungen an das Informationsmanagement impliziert. Es ist ein Ausgleich zwischen dem Interesse an personenbezogenen Daten der ÜNB und dem Datenschutzinteresse des Verbrauchers zu erschaffen. Hierbei ist die Granularität der zu übertragenden Daten zum Stromverbrauch, Netzauslastung, Frequenzerhaltung möglichst klein zu halten (vgl. Jagstaidt et al. 2011, 316). Im ambulanten Pflegebereich kann das Flottenmanagement einen entscheidenden Beitrag zu den drei Zielen des energiepolitischen

¹⁸ Einrichtungen, Mittel und Maßnahmen zur Produktion, Verbreitung und Nutzung von Information

Dreiecks leisten (vgl. Abbildung 61), wenn das Informationsmanagement sowohl Impulse aus der geschäftlichen Sphäre empfängt, als auch sendet (vgl. Krcmar 2010, 34). Es folgt eine grafische Darstellung und eine Erläuterung eines angewendeten EWIM-Ansatzes definiert durch Krcmar (2010, 32-34).

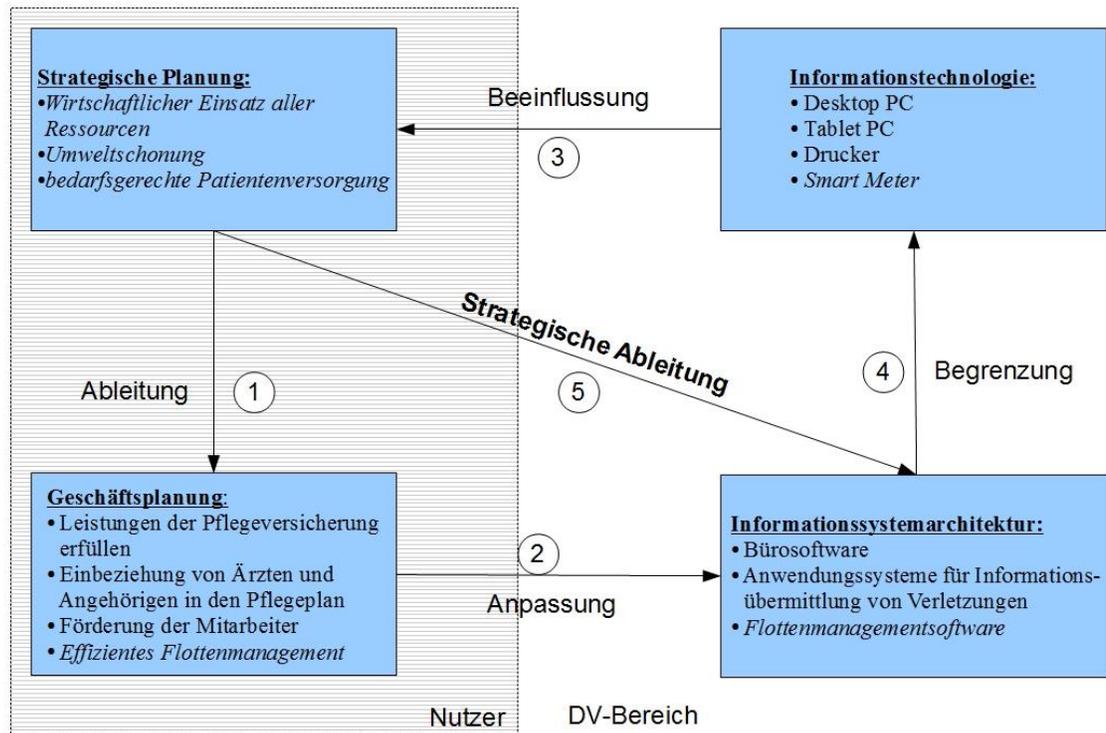


Abbildung 64 : Angewendeter EWIM Ansatz in einem Pflegedienstleistungsunternehmen in Anlehnung an Kremer (2010, 32) Quelle: (eigene Darstellung)

Die dargestellten Zahlen repräsentieren fünf unterschiedliche Prozesse, die nun numerisch gegliedert erläutert werden. Der Prozess 1 bezeichnet die Ableitung der Geschäftsplanung aus der strategischen Planung. Das Rechteck „Strategische Planung“ beinhaltet langfristige Ziele, die durch strategische Pläne erreicht werden sollen. Aus diesen Plänen werden Geschäftsprozesse entwickelt, ohne direkten Einfluss durch oder von dem Informationsmanagement. Im Rechteck „Geschäftsplanung“ repräsentieren die Stichpunkte Ziele, an dem sich die Geschäftsprozesse orientieren. Der Prozess 2 bezieht das Informationsmanagement ein, indem die Informationssystemarchitektur an die Ziele der Geschäftsprozesse angepasst wird. Der Kasten „Informationssystemarchitektur“ stellt

Informationssysteme dar, die an die Unternehmensorganisation und die Bereichsziele angepasst werden sollten. Prozess 3 zeigt die Beeinflussung der Informationstechnik auf die Strategische Planung. Diese entsteht durch die Veränderung der Unternehmensumwelt, die von der Informationstechnik entscheidend geprägt wird. Im Prozess 4 wird die Begrenzung der Informationstechnik durch die Informationssystemarchitektur aufgezeigt. Sie entsteht durch die unvollständige Ausnutzung des theoretisch vorhandenen Nutzungspotenzials der Informationstechnik. Ist die Rolle der existierenden Informationssystemarchitektur als Begrenzung erkannt, kann deren Entwicklung im Prozess 5 auf direktem Wege mit der Strategischen Geschäftsplanung in Einklang gebracht werden (vgl. Krcmar 2010, 33-34).

Bei Einführung des Smart Meters in indirekter oder direkter Anbindungsvariante wird die Unternehmensumwelt beeinflusst, welches eine Veränderung der strategischen Planung verursacht. Die kursiv gedruckten Stichpunkte in der Abbildung 64 deuten auf Elemente hin, die durch diese Veränderung besonders beeinflusst werden. Aus neuen strategischen Planungen entstehen modifizierte Geschäftsprozesse aufgrund neuer Einsatzmöglichkeiten der Informationstechnologie, welche insbesondere das Flottenmanagement beeinflussen. Pflegedienstleistungen werden in einem städtischen Umfeld benötigt und lassen sich mit langen Standzeiten kombinieren. Je nach Dichte der geschaffenen Ladeinfrastruktur im urbanen Umfeld lässt sich eine Ladestrategie in Abhängigkeit der durchzuführenden Aufträge entwickeln, was den Prozess 2 oder den Prozess 5 erfordert. Die Flottenmanagementsoftware sollte nun Funktionen zur Lokalisierung von Ladestationen enthalten. Diese Software sollte Informationen mit dem Pfleger im Elektroauto austauschen können, dieses wäre über ein Tablet-PC oder integrierte IKT im Fahrzeug zu realisieren. Außerplanmäßige Leerzeiten, wie z.B. ein kurzfristig abgesagter Termin, können zur Akkuaufladung genutzt werden um der Reichweitenproblematik des Elektrofahrzeuges wirkungsvoll entgegenzutreten. Es ist hervorzuheben, dass der Geschäftsprozess mit dem verbundenen Zielen und dem Mitarbeiterkomfort im Vordergrund steht. Der Einsatz von IKT darf die Pfleger in ihrem Tätigkeitsbereich nicht einschränken und Ladestrategien sollten nicht die Qualität der Pflegedienstleistung negativ beeinflussen. Der DV-Bereich und der Geschäftsbereich sind durch ein geeignetes Informationsmanagement aufeinander abzustimmen.

8.5.4 Maximale Wertschöpfung durch direkter Netzanbindung und erfolgsversprechender Ladestrategie

In der bisherigen Ausarbeitung konnten wir aufzeigen, dass die Nutzung der Elektrizitäts-
transmission durch Laststeuerung mit Hilfe von IKT und Ladestrategien im intelligenten
Netz optimiert werden kann. Die langen Aufladezeiten der Akkumulatoren und die geringe
Reichweite des Elektroautos wurden als Hindernisse für die Elektromobilität erkannt. Des
Weiteren identifizierten wir Unterstützungsmöglichkeiten durch IKT und
Informationsmanagement um entscheidende Schwachpunkte des Elektroautos mittels einer
erfolgsversprechenden Ladestrategie effektiv entgegenzutreten.

Ladestrategien profitieren von einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur, die durch eine di-
rekte Netzanbindung besser zu implementieren ist. Die direkte Anbindungsvariante ermög-
licht im Gegensatz zu klassischen Ladesäulen eine Infrastruktur, indem der Stromzähler
nicht mehr an der Ladestation installiert ist, sondern im EV. In einem solchen System sind
die Installations- und Betriebskosten zusätzlicher Lademöglichkeiten geringer als mit
klassischen Ladesäulen und damit auch die Kosten korrespondierender
Infrastrukturleistungen. Somit kann im Vergleich zur indirekten Anbindungsvariante
Anschaffungs- und Betriebskosten der Ladeinfrastruktur erheblich gesenkt werden. Durch
diese Kostensenkung muss der Endverbraucher nicht für die in dem Maße für die
Infrastrukturkosten aufkommen, wie bei der indirekten Anbindungsvariante (vgl.
Hechtfischer/Pawlitschek 2011, 60). Der Fahrzeuginhaber müsste mit einem höheren
Anschaffungspreis für das Fahrzeug mit integriertem Smart Meter rechnen. Daraus
resultiert ebenfalls ein Interessenskonflikt zwischen ÜNB und Automobilhersteller, da die
Produktionskosten steigen und die Technologien aufeinander abgestimmt oder seitens der
Hersteller erworben werden müssen. Dennoch ist diese Variante bezüglich des
Durchsetzungsvermögens der Elektromobilität im Gesundheitswesen höchst erstrebenswert
und zu bevorzugen.

8.6 Schlussbetrachtung

Es sollte die These „Das Thema Elektromobilität ist kein Zukunftsthema, sondern in der
Gegenwart angekommen“ (Wagner vom Berg et al. 2010, 973) für das Gesundheitswesen
untersucht werden. Wir wollten feststellen, ob diese These sich auf diesen Bereich
anwenden lässt. Die ergänzende Literaturrecherche zu unserer Thematik hat sich aufgrund

des Mangels an wissenschaftlich relevanten Quellen als schwierig erwiesen. Dieser Umstand hat uns zum Gebrauch von nicht wissenschaftlichen Quellen bewogen und die Experteninterviews hervorgehoben.

Anhand der Interviewbefragung konnte festgestellt werden, dass das Thema Elektromobilität im Health Care Bereich mäßig angenommen wird. Zwei der drei befragten Experten hatten sich bereits mit der Thematik intensiv beschäftigt, jedoch völlig unterschiedliche Einstellungen zu der Technologie. Für Rettungswagen sei Elektromobilität ungeeignet, meint der Betriebsleiter einer karitativen Einrichtung. Auch eine sachliche Betrachtung der Situation kommt zu demselben Ergebnis. Die Technologie, insbesondere die Akkus, sind nicht ausgereift genug um die nötige Leistung zu erbringen, die an Rettungsdienstwagen gestellt wird.

Anders sieht es im Pflegedienst aus. Hier können es sich die befragten Experten gut vorstellen Elektromobilität zu nutzen. Außerdem ist die Technologie heute bereits im Stande die Bedürfnisse der Pflegedienstleister zu erfüllen. Jedoch ist die Nutzung von Elektrofahrzeugen heute auch bei hohen Mehrausgaben für Verbrennungsmotorfahrzeugen aufgrund des Kraftstoffes nicht wirtschaftlich aufgrund der geringen Lebensdauer der Akkus und deren hohen Preise. Jedoch ist damit zu rechnen, dass die Preise in den nächsten Jahren stark sinken. Zusätzlich steigen die Kraftstoffausgaben weiterhin stark an, so dass es sich in wenigen Jahren wirtschaftlich sein wird, ein Elektrofahrzeug zu nutzen.

Wir haben aufgezeigt, dass die Integration von IKT zur Aufrüstung des konventionellen Netzes verwendet wird. Des Weiteren hat sie das Potenzial strategische Unternehmensziele, die im konventionellen Stromnetz konkurrierend sind, in einem intelligenten Netz komplementär werden zu lassen. Außerdem kann innovative IKT vorhandene Geschäftsstrukturen entscheidend verändern, welches ein geeignetes Informationsmanagement erfordert. Dieses gilt nicht ausschließlich für Großunternehmen, sondern auch für Organisationen im Gesundheitswesen, wie wir es anhand des EWIM-Ansatzes dargestellt haben. Im Rahmen unserer Recherchen konnten wir feststellen, dass die direkte Anbindungsvariante des Smart Meters an das Elektroauto für den Aufbau der Ladeinfrastruktur zu bevorzugen ist, um der Reichweitenproblematik entgegenzutreten.

Zumindest für den Health Care Bereich kann davon ausgegangen werden, dass Elektromobilität noch nicht Gegenwart geworden ist und im Falle von Rettungswagen es vielleicht nie sein wird. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass die bisherigen Leistungen für den Pflegedienst ausreichend sind. In der Kostengegenüberstellung in Kapitel 4 haben wir aufgezeigt, dass die Elektrofahrzeuge nach dem heutigen Stand der Technik nicht wirtschaftlich sind. Insbesondere die Fixkosten, welche durch die Anschaffung neuer Autobatterien entstehen, verhindern die Rentabilität. Daher wird das Thema Elektromobilität im Health Care Sektor ein Zukunftsthema bleiben.

9 E-Mobility Applications in the Agriculture Domain
– A Scenario Analysis
(Tobias Witt, Leonard Raddatz)

9.1 Einleitung

Die Einführung von Elektromobilität in verschiedenen Bereichen des alltäglichen Lebens ist in der heutigen Zeit sowie in den nächsten Dekaden ein entscheidendes Thema bei Umweltschutz, Nachhaltigkeit und Unabhängigkeit von erdölproduzierenden Staaten (vgl. BMU 2009a, 2). Laut Schätzungen des Bundesministeriums für Umwelt wird sich die Anzahl der Pkw bis 2030 verdoppeln, wodurch bei gleichbleibender Antriebsart natürlich auch die CO₂-Emissionen in gleicher Weise wachsen würden (vgl. BMU 2009b, 1). Das UPI prognostiziert sogar bis 2030 weltweit einen Anstieg der Pkw um 450% (vgl. UPI 2009, 1). Außerdem würde dadurch auch der Transportaufwand für die fossilen Kraftstoffe steigen, sodass nicht nur die Pkw die Emissionen beeinflussen, sondern auch die Bereitstellung der Tankinfrastruktur und die damit zusammenhängende Logistik. Bislang benötigt der Verkehrssektor in der EU ca. 70% des gesamten Ölverbrauchs in der EU, wobei fast ausschließlich Erdölvarianten als Kraftstoff genutzt werden (vgl. BMU 2009b, 1). Unsicher ist auch, in wie weit die Nachfrage nach fossilen Kraftstoffen überhaupt in naher Zukunft (bis 2050) noch befriedigt werden kann.

Um die CO₂-Emissionen und die Abhängigkeit von den Ölquellen zu reduzieren, wird die Entwicklung von Elektrofahrzeugen vorangetrieben, die idealerweise mit Strom aus regenerativen Energiequellen fahren sollen (vgl. Wagner vom Berg et al. 2010, 973). Die entscheidenden Verbesserungspotenziale sind hierbei der verringerte CO₂-Ausstoß über den gesamten Lebenszyklus hinweg, sowie der Wirkungsgrad der Antriebe. Laut BMU zum Stand 2007 würden Elektrofahrzeuge, die aus regenerativen Energien betrieben werden, nur rund 2% der CO₂-Emissionen eines Benzin- oder Dieselfahrzeugs pro gefahrenem Kilometer ausstoßen (vgl. BMU 2009b, 1).

Ein weiterer Vorteil, der sich durch die Einführung von Elektrofahrzeugen ergibt, ist die Möglichkeit der Einbindung der Fahrzeugbatterien in so genannte Smart Grids (vgl. Galus et al. 2010, 6736). Dadurch lässt sich die Energie bei Überschussproduktion speichern und bei Überschussnachfrage könnten die Batterien als Energielieferant dienen (Andersson et al. 2010, 2751).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einem speziellen Bereich der Elektromobilität, und zwar der Anwendung von Elektromobilität in der Landwirtschaft. Vor dem Hintergrund der abweichenden Gegebenheiten im Agrarbereich gegenüber dem privaten Bereich sind für die Einführung der Elektromobilität in diesem Bereich dessen besondere Anforderungen

zu beachten. Weiterhin gilt es, die Übertragbarkeit von Elektromobilitätskonzepten, die ursprünglich für den privaten Konsum entwickelt wurden, auf den landwirtschaftlichen Bereich zu überprüfen. Wir untersuchen das Thema auf die folgenden zwei Forschungsfragen hin:

1. Welche Anwendungsszenarios für Elektromobilität existieren im landwirtschaftlichen Bereich?
2. Wie ist das Potenzial der Elektromobilität im landwirtschaftlichen Bereich zu bewerten?

Hierbei legen wir weniger Fokus auf konkrete technische Ausführungen z.B. bei der Gestaltung der Smart Grids, sondern sehen die Arbeit als Zusammentragung generischer Konzepte von Geschäftsmodellen zur Elektromobilität in der Landwirtschaft an.

Zunächst beschreiben wir in unserer Arbeit verschiedene Grundlagen der Elektromobilität und Agrarmobilität sowie Möglichkeiten der Gewinnung regenerativer Energie auf dem Hof. Daraufhin untersuchen wir die Übertragbarkeit der Elektromobilität auf den landwirtschaftlichen Bereich im Hinblick auf die speziellen Anforderungen. Es folgt ein Kapitel zu Geschäftsmodellen, die Stromversorgung betreffend. Zuletzt gibt es den Versuch, eine Nutzenbetrachtung zu machen.

9.2 Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Charakteristika von Elektromobilität im Hinblick auf Antriebe und Stromversorgung bzw. der Stand der Technik auf diesem Gebiet beschrieben. Danach beschreiben wir unterschiedliche landwirtschaftliche Fahrzeuge und die unterschiedlichen technischen und einsatzbedingten Anforderungen an diese. Zuletzt stellen wir einen Überblick über die Möglichkeiten der Nutzbarmachung regenerativer Energien speziell im Agrarbereich auf.

9.2.1 Elektromobilität / Charakteristika von Elektrofahrzeugen

Unter dem Begriff Elektrofahrzeuge wird eine Vielzahl verschiedener Fahrzeuge verstanden. Im Gegensatz zum Fahrzeug mit Otto- oder Dieselmotor gibt es im Bereich der Elektromobilität keins, welches sich gegenüber allen anderen Versionen soweit behaupten kann, dass es als „das Elektrofahrzeug“ bezeichnet werden könnte. Zunächst stellen wir als Unterscheidungsmerkmal die Art des Motors bzw. der Motoren oder die Art ihrer

Wiederaufladung vor. Hierbei gibt es grundsätzlich die Unterscheidung zwischen rein batteriebetriebenen Fahrzeugen und Hybridmodellen. Anschließend werden einige der derzeit möglichen Batterietechniken sowie die Gewinnung von Wasserstoff mittels Elektrolyse erklärt.

9.2.1.1 Rein batteriebetriebene Elektrofahrzeuge

Reine Elektrofahrzeuge haben anstatt des Verbrennungsmotors einen Elektromotor, der die Bewegungsenergie erzeugt. Auch kleinere, auf die Räder verteilte Motoren sind möglich. An Stelle des Kraftstofftanks steht hier eine Batterie, die entweder aus dem Netz aufgeladen oder durch eine volle getauscht wird, um das Fahrzeug aufzutanken (vgl. Brown et al. 2010, 3802). Der Wirkungsgrad ist weitaus höher als bei Verbrennungsmotoren, bei denen ein großer Teil der Energie als Abwärme verloren geht (vgl. Forschungszentrum Jülich GmbH 2003, 1).

Ihnen ähnlich sind Brennstoffzellenfahrzeuge, da sie ebenfalls elektrische Antriebe haben. Versorgt wird die Brennstoffzelle jedoch durch Wasserstoff bzw. Methanol, welches in einem Drucktank mitgeführt wird. Beim Betrieb reagiert es mit Sauerstoff, wobei elektrische Energie, Wärme und Wasser entstehen. Diese Abwärme führt, zusammen mit der vorangegangenen Erzeugung des Wasserstoffs, zu einem geringeren Wirkungsgrad als bei batteriegetriebenen Elektrofahrzeugen (vgl. Forschungszentrum Jülich GmbH 2003, 1).

9.2.1.2 Hybridfahrzeuge

Allen Hybridfahrzeugen ist gemein, dass noch keine Aussage über die Art der Batterie und deren Ladevorgang gemacht wird. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihres Antriebs:

REEV (range extended electric vehicle, Reichweitenverlängerte elektrische Fahrzeuge) Bei diesen Fahrzeugen wird die Bewegungsenergie nur durch einen Elektromotor erzeugt. Dieser bezieht die Energie aus einer Batterie, die während des Stillstands des Fahrzeugs geladen werden kann. Fährt das Fahrzeug längere Strecken am Stück, springt ein Gerät an, welches neue elektrische Energie erzeugt, um die Batterie aufzuladen. Dies kann durch herkömmliche Kraftstoffe betrieben werden oder auch eine Brennstoffzelle sein.

PHEV (plug-in hybrid electric vehicle, Aufladbares Hybridfahrzeug)

Bei dieser Art von Fahrzeug sind zwei Motoren eingebaut, ein Elektromotor und üblicherweise ein Verbrennungsmotor. Die Batterie für den Elektromotor kann zudem am Stromnetz aufgeladen werden (vgl. Graham et al. 2011, 4).

HEV (hybrid electric vehicle, Hybridfahrzeug)

Hier sind ebenfalls zwei Motoren in Gebrauch. Die Batterie wird jedoch nur durch die während des Gebrauchs überschüssige Energie geladen (vgl. Graham et al. 2011, 4). Dadurch wird der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors zwar erhöht, andere Vorteile der Elektromobilität können jedoch nicht genutzt werden.

FCHEV (fusion cell hybrid electric vehicle, Brennstoffzellenfahrzeuge)

Diese Fahrzeuge kombinieren die Brennstoffzelle mit einer Batterie, um überschüssige Energie zwischenspeichern und eine bessere Auslastung zu erreichen.

9.2.1.3 Batterie- und Ladetechnik

Es existieren verschiedene Batterietypen. Allen ist aber bislang gemein, dass sie relativ hohes Gewicht (vgl. Brown et al. 2010, 3803) und Herstellkosten haben, lange Ladezeiten und geringe Kapazität (vgl. Graham et al. 2011, 6). Daher liegt ein Forschungsschwerpunkt bei der Verbesserung von Elektrofahrzeugen momentan auf der Suche nach einer geeigneten Batterie. Folgende sind momentan in Betracht zu ziehen (vgl. Graham et al. 2011, 19-20):

Lithium-Ionen-Batterien sind die gegenwärtig üblichen Batterien. Es wird erwartet, dass sich Kapazität, Gewicht und Kosten dieser Batterien bald soweit verbessern, dass sie für Pkw alltagstauglich werden (vgl. Brown et al. 2010, 3801). Alternative Materialien werden jedoch auch herangezogen. Nickel/Metallhydrid und Natrium/ Nickelchlorid sind bereits bei Elektrofahrzeugen in Gebrauch. Mit einer Vielzahl anderer Batterietypen wird experimentiert (vgl. Brown et al. 2010, 3803).

Superkondensatoren sind ein anderer Ansatz. Sie unterscheiden sich gegenüber Batterien hinsichtlich ihrer geringen Kapazität, bieten jedoch Vorteile wie schnellere Ladefähigkeit, mehr Leistung oder hohen Wirkungsgrad (vgl. Brown et al. 2010, 3801).

Bei der Aufladung der Batterie für Elektromotoren gibt es unterschiedliche Ansätze, deren Ziel es ist, die vorhandene Elektrizität bestmöglich zu nutzen. Zum einen kann die Batterie

eines Fahrzeugs, wenn sie leer wird, an einer entsprechenden Station gegen eine volle ausgetauscht werden. Die in den Stationen vorhandenen Batterien werden dort neu aufgeladen und können zusammen auch als Energiespeicher eingesetzt werden, indem sie Energie abgeben, wenn sie benötigt wird (vgl. Brown et al. 2010, 3802).

Eine andere Möglichkeit ist, das Fahrzeug über einen Stecker mit dem Stromnetz zu verbinden, um das Fahrzeug zu laden. Da Pkw den größten Teil des Tages nicht bewegt werden, bietet sich die Möglichkeit, den Strom dann zu beziehen, wenn er möglichst effizient erzeugt werden kann (vgl. Seligman 2011, 575). Darüber hinaus kann die Vielzahl der Batterien in mehreren Fahrzeugen dazu genutzt werden, Zeiten hohen Energiebedarfs auszugleichen, indem enthaltene Ladung zurückgegeben wird (vgl. Andersen et al. 2009, 2484).

Damit dies möglich wird und die lange Ladezeit kein zu großer Nachteil wird, sollte das Fahrzeug im Ruhezustand möglichst überall angeschlossen werden können. Dies macht eine breite Infrastruktur in den Garagen, öffentlichen sowie Firmenparkplätzen oder Parkhäusern notwendig. Ebenfalls denkbar sind Ladestationen, die den jetzigen Tankstellen ähneln. In ihnen sollen die Fahrzeuge zügig geladen werden können, wenn sie für weitere Fahrten benötigt werden (vgl. Better Place o.J.a, 1).

Derzeitig steht ein höherer Energiebedarf tagsüber einem geringen Bedarf nachts gegenüber (vgl. Seligman 2011, 573). Der vermehrte Ausbau erneuerbarer Energien verschärft diesen Unterschied noch weiter. Daher ist es sinnvoll, die Elektromobilität hier für einen Ausgleich sorgen zu lassen. Die Umweltfreundlichkeit dieser Antriebe steigt noch weiter, wenn die benötigte Elektrizität nicht durch fossile Brennstoffe oder Nuklearkraftwerke, sondern Nutzung erneuerbarer Energiequellen erzeugt wurde (vgl. Seligman 2011, 572).

9.2.1.4 Gewinnung von Wasserstoff durch Elektrolyse

Eine Möglichkeit, um Wasserstoff für Antriebszwecke zu erzeugen, besteht in der Elektrolyse. Bei diesem Verfahren werden zwei elektrische Leiter in ein Behältnis mit Wasser getaucht. Fließt zwischen ihnen elektrischer Strom, wird das Wasser ($2 \text{ H}_2\text{O}$) in seine Bestandteile Wasserstoff (2 H_2) und Sauerstoff (O_2) aufgespalten. Neben Wasserstoff wird also Sauerstoff erzeugt, der an die Umgebungsluft abgegeben oder ebenfalls genutzt werden kann.

Unter Hitzeeinwirkung reagieren diese beiden Gase, setzen Energie frei und werden wieder

zu Wasser. In der Brennstoffzelle wird dieser Vorgang allerdings nicht durch Hitze, sondern durch einen Katalysator kontrolliert (vgl. Costamagna/Srinivasan 2001, 253-254). Der benötigte Sauerstoff wird dazu der Umgebungsluft entzogen und muss nicht extra am Fahrzeug mitgeführt werden.

9.2.2 Charakteristika der Agrarmobilität

Es gibt wesentliche Charakteristika, in denen sich die Mobilität im Agrarbereich von der Mobilität z.B. des privaten Bereichs unterscheidet. Insbesondere gibt es Unterschiede bei den Fahrzeugtypen, deren Einsatzziele und -zeiten sowie bei der Betankung der Fahrzeuge. Im folgenden Kapitel soll daher zunächst auf die einzelnen Fahrzeugtypen eingegangen werden. Daraufhin gehen wir auf die Betankung und zeitliche Besonderheiten des Einsatzes der Fahrzeuge ein.

9.2.2.1 Fahrzeugtypen und technische Aspekte

Im Bereich der Agrarmobilität gibt es unterschiedliche Fahrzeuge. Es gibt Zugmaschinen, selbstfahrende Erntemaschinen und kleinere Fahrzeuge, die z.B. auf enger bewachsenen Plantagen zum Einsatz kommen. Bei der Funktion des Fahrantriebes kann zwischen „Zug-/Schubkräfte erzeugen“ und „Fahrzeug bewegen“ unterschieden werden (vgl. Renius 2003, 65-78). Diese Einteilung erweitert Hahn auf elektrische Varianten (vgl. Hahn 2011, 18-19). Im Vordergrund dieser Arbeit stehen landwirtschaftliche Anwendungen von Elektromobilität, daher beschränken wir uns auf Standardtraktoren, Erntemaschinen und Kleintraktoren.

Hauptfunktionen	
Zug-/Schubkräfte erzeugen	Fahrzeug bewegen
Standardtraktoren Erdbewegungsmaschinen Pistenraupen Flugzeugschlepper	Erntemaschinen Kleintraktoren Maschinenträger Kommunalfahrzeuge Stapler Straßenwalzen

Abbildung 65 : Einteilung von Nutzfahrzeugen nach der Fahrzeugfunktion

(Quelle: Hahn 2010, 19)

Zugmaschinen (auch: Traktoren) müssen eher schwere Lasten befördern. Die Fahrten über das Feld erfordern zwar nur eine langsame Geschwindigkeit. Je nach Anbaukultur und der damit verbundenen Aufgabe für den Traktor benötigt dieser jedoch sehr viel Energie. Dafür ist unter anderem eine rotierende Zapfwelle, über die mechanische Antriebsleistung an die dahinter befindlichen Anhäng- und Anbaumaschinen, bspw. Kartoffellegemaschine oder Düngestreuer, bereitgestellt wird, verantwortlich. Die Energieübertragung geschieht vom Motor oder vom Getriebe aus und bringt dadurch Konstruktionszwänge (z.B. eine Teleskopgelenkwelle) mit sich (vgl. Hahn 2010, 8). Ein wesentlicher Nachteil der Motorzapfwelle oder Getriebezapfwelle ist die starre Koppelung an die Drehzahl des Verbrennungsmotors. Eine stufenlose Einstellung des Antriebs oder die Entkopplung von Drehzahl und Geräteantrieb würde den Kraftstoffverbrauch senken (vgl. Schreiber 2006, 148-149). Durch die Zapfwelle gibt es einen hohen Energiebedarf, der bislang durch einen Verbrennungsmotor abgedeckt wird. Dieser hat je nach Größe der Zugmaschine bei Kleintraktoren bis zu 50 PS und bei Standardtraktoren ca. 50 – 400 PS (vgl. John Deere Vertrieb 2012a, 1). Der Übergang von Kleintraktoren zu Standardtraktoren ist fließend und nicht eindeutig definiert. Die folgende Abbildung stellt beispielhaft den Kraftstoffverbrauch für herkömmliche Dieseltraktoren für den Zeitraum eines Jahres in der schweizerischen Landwirtschaft, differenziert zwischen der zu erfüllenden Aufgabe, dar. Hier sieht man, dass die meisten Arbeiten nicht so viel Treibstoffverbrauch hervorrufen, es allerdings sehr hohe Spitzenanforderungen gibt. Diesen hohen Anforderungen müssen die Fahrzeuge gerecht werden.

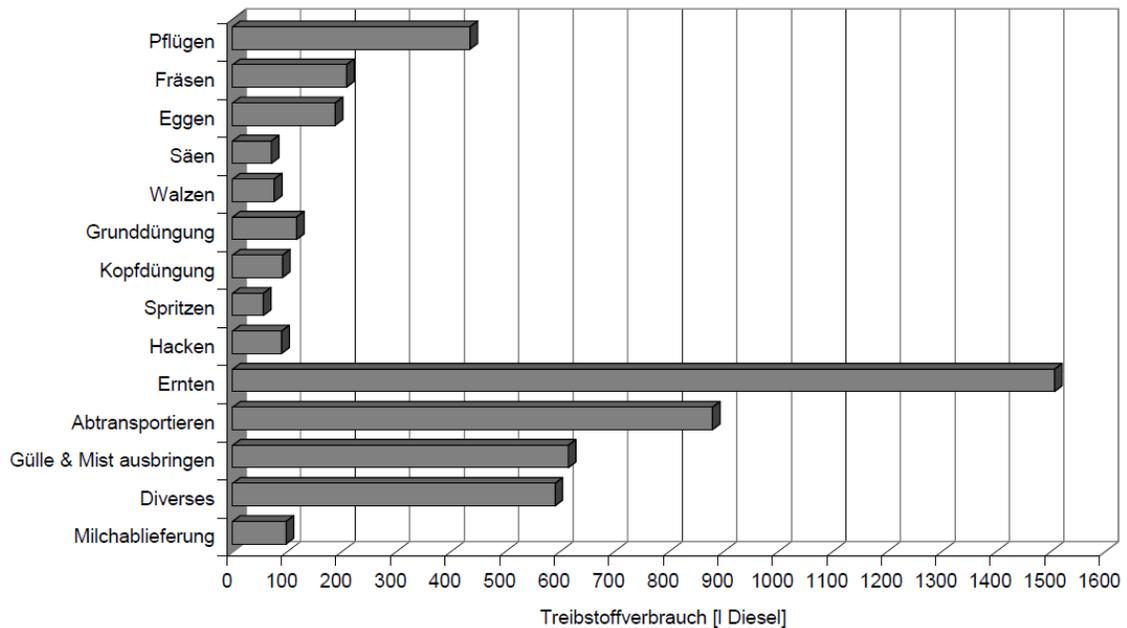


Abbildung 66 : Treibstoffverbrauch pro Arbeitsschritt und Jahr auf dem Landwirtschaftsbetrieb

(Quelle: Hersener/Meier 2001, 25)

Bei den Selbstfahrern der Erntemaschinen, also Fahrzeugen ohne Zugmaschine (z.B. Mähdrescher), ist es ähnlich. Sie müssen neben der Aufgabe, das Fahrzeug zu bewegen, auch noch die zusätzlichen Ernteaufgaben übernehmen, z.B. mithilfe von Strohhäcksler oder Dreschaggregat. Dadurch kommt es hier ebenfalls zu einem sehr hohen Energiebedarf, der durch Motoren mit bis zu 625 PS (vgl. John Deere Vertrieb 2012b, 1) gedeckt wird.

9.2.2.2 Betankung

Betankt werden Traktoren in der Regel mit Diesel oder Biodiesel aus einer Eigenverbrauchstankstelle auf dem eigenen Hof (vgl. LBG Mittel- und Ostdeutschland 2007, 2). Den Kraftstoff dafür bekommen die Landwirte geliefert oder an der Tankstelle. Im Durchschnitt verbraucht ein landwirtschaftlicher Betrieb pro Jahr ca. 5000l Treibstoff (vgl. Hersener/Meier 2001, 35). Normaler Diesel unterliegt in Deutschland der Mineralölsteuer. Landwirten werden jedoch Steuerentlastungen für den Verbrauch von Diesel und Biodiesel gewährt (vgl. BMJ 2006, 34).

Es gibt jedoch auch Entwicklungen anderer Antriebe für Traktoren. Als wichtigste sind dort Antriebssysteme mit Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzellen und Hybridantriebe zu

nennen. Hybridantrieb wird hier im Sinne eines parallelen Hybridantriebs verstanden, also der Möglichkeit, zwischen Antrieb durch Verbrennungsmotor und Elektromotor umzuschalten. Erste Prototypen mit Hybridantrieb wurden bereits auf Agrartechnikmessen vorgestellt, so z.B. der Belarus-3023 mit dieselektrischem Antrieb, wodurch laut Hersteller eine Kraftstoffersparnis von bis zu 30% erreicht werden kann (vgl. Belarus 2012, 1).

9.2.2.3 Einsatzbedingte Besonderheiten

Nicht nur die technischen Aspekte der Mobilität im Agrarbereich sind von denen im privaten Bereich verschieden, auch die Art und Frequenz der Fahrten ist unterschiedlich. Insbesondere saisonal bedingte Peaks, beispielsweise bei der Ernte, erfordern einen verstärkten Einsatz des Fahrzeugs. Wird bei Fahrzeugen des privaten Gebrauchs davon ausgegangen, dass es im Durchschnitt nur 4 Stunden pro Tag benutzt wird (vgl. Crabtree et al. 2009, 10), so ist im Agrarbereich von einer weitaus längeren Nutzung am Tag auszugehen, insbesondere zur Erntezeit.

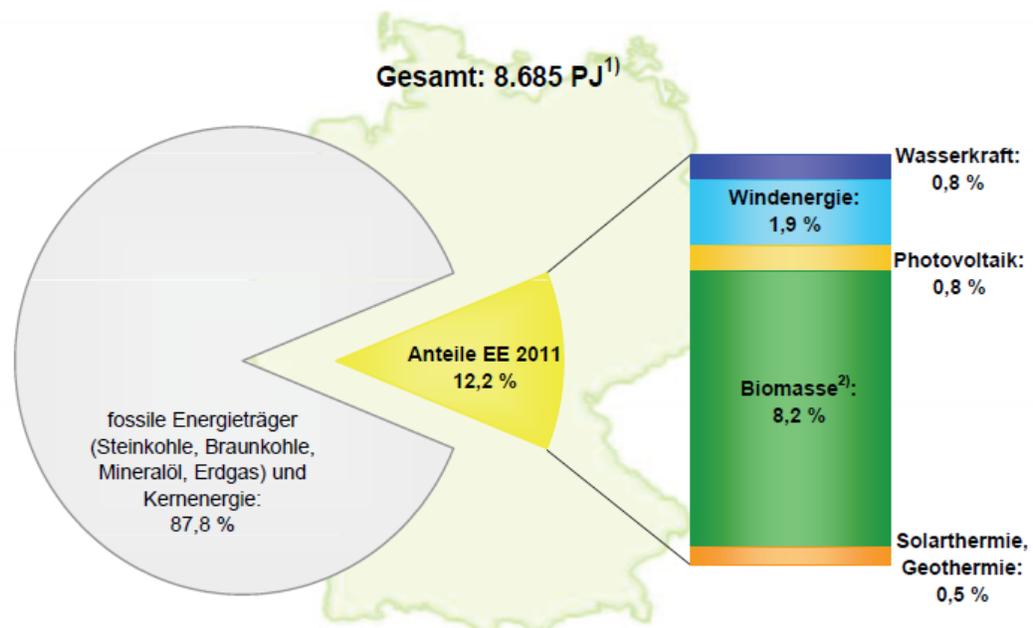
Die Fahrten beschränken sich auf die Transport- bzw. Leerfahrten zum Einsatzort und zurück zum Hof auf der einen Seite und die Fahrten auf dem Feld auf der anderen Seite. Im Straßenverkehr liegt die Fahrtgeschwindigkeit meistens unter 80 km/h, auf dem Feld liegt sie unter 20 km/h.

9.2.3 Möglichkeiten der Stromerzeugung im Agrarbereich

Landwirtschaftliche Betriebe können neben ihrem betrieblichen Kerngeschäft der Produktion von Nahrungsmitteln auch regenerative Energien nutzen. Da bei Elektromobilität oftmals von einem nachhaltigen, zukunftsorientierten Konzept ausgegangen wird, ist es unabdingbar, dass die Energie, mit der die Fahrzeuge angetrieben werden, aus regenerativen Energiequellen bezogen wird (vgl. Wagner vom Berg et al. 2010, 973). Nur so kann letztendlich der mobilitätsbedingte CO₂-Ausstoß verringert werden. Das bedeutet nicht, dass jeder einzelne Landwirt seine eigene Energie erzeugen muss. Einzelne Betriebe können große Überschüsse erzielen, während andere nur den eigenen Bedarf decken oder den Strom komplett fremd einkaufen. Energiebedarf haben die Betriebe einerseits als Haushalt, für das Kerngeschäft¹⁹ oder zur Betankung der Fahrzeuge. Die

¹⁹ Es wird Energie z.B. für die Heutrocknung, Milchkühlung, Heißwasserbereitung, Gebäudeklimatisierung

Unterschiede würden sich regional ausgleichen, verlangen aber auch gleichzeitig den Gebrauch von Smart Grids, damit korrekt abgerechnet werden kann und alle Verbraucher den Anreiz haben, ihren Energieverbrauch der gleichzeitigen Herstellung zeitlich anzupassen (Galus et al. 2010, 6740). Eine autarke, im Sinne von vom allgemeinen Stromnetz getrennte Versorgung, soll dadurch nicht erreicht werden. Der Verbrauch und die Erzeugung vor Ort sind außerdem dazu geeignet, die Stromnetze gleichmäßig zu belasten und vermindern die Notwendigkeit weiterer Ausbauten (vgl. Galus et al. 2010, 6736). In Deutschland betrug der Anteil regenerativer Energien an der Stromerzeugung 2011 ca. 20% (vgl. BMU 2012c, 2). Beim Stromverbrauch ist der Anteil regenerativer Energien mit 12,2% deutlich geringer, wie man an folgender Abbildung sieht.



1) Quelle: Energy Environment Forecast Analysis (EEFA) GmbH & Co KG; 2) Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Deponie- und Klärgas, biogener Anteil des Abfalls, Biokraftstoffe; Quelle: BMU-KI III 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) und ZSW, unter Verwendung von Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB); EE: Erneuerbare Energien; 1 PJ = 10¹⁵ Joule; Abweichungen in den Summen durch Rundungen; Stand: März 2012; Angaben vorläufig

Abbildung 67 : Anteil erneuerbarer Energien am Energieendverbrauch in Deutschland im Jahr 2011

(Quelle: Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik 2012, 2)

Im folgenden Kapitel soll daher auf die Besonderheiten der Bereitstellung von regenerativer Energie im Zusammenhang mit landwirtschaftlichen Betrieben eingegangen werden, insbesondere Solarenergie, Biogasanlagen, Blockheizkraftwerke und Windenergie.

und -beleuchtung, oder zum Betrieb der Melkanlage benötigt.

9.2.3.1 Solarenergie

Charakteristisch für die Landwirtschaft ist, dass es sich hier oftmals um Betriebe handelt, die über ein ausgedehntes Gebiet und/oder Gebäude mit großen Dachflächen, beispielsweise Scheunen, Stallungen oder Lagerhallen verfügen. Dadurch bietet es sich an, in einem Teil dieser Fläche oder auf dem Dach Photovoltaikanlagen zu installieren, um Solarenergie als potenzielle Quelle für Energie zu nutzen. Dies würde sich bei unfruchtbaren oder schwer passierbaren Böden anbieten, da ansonsten Nutzfläche verloren ginge. Gerade im Zusammenhang der Ankündigung der „Energiewende“ in der deutschen Politik sind die Preise für Solarmodule in 2011 um bis zu 45% gesunken (vgl. O'Sullivan et. al. 2012, 13). Hieraus könnte sich in Zukunft ein Nachfragezuwachs entwickeln, der auch auf landwirtschaftlichen Betrieben erkennbar sein sollte. 2010 kamen über 51% der Investitionen in Photovoltaikanlagen von Privatpersonen (vgl. o.V. 2011e, 1). Ein Kernproblem der Nutzung von Solarenergie ist die Abhängigkeit von Witterung und Jahreszeit und damit verbundene Schwankungen bei der Stromerzeugung. Die Nutzung in Zusammenhang mit Elektromobilität bietet hier die Möglichkeit, überschüssige Energie in den Batterien zu speichern. Es wird erwartet, dass sich bis 2020 der Anteil von Strom aus Photovoltaikanlagen verdoppelt (vgl. Roland Berger Strategy Consultants 2010, 2). Obwohl die Sonne die primäre Quelle für erneuerbare Energie ist, kann die direkte Nutzung ihrer Kraft die Energieprobleme nicht lösen. Sie kann dem Landwirt jedoch helfen, sich selbständig mit Energie zu versorgen bzw. einen Überschuss zu erzeugen.

9.2.3.2 Biogasanlagen und Blockheizkraftwerke

Eine weitere Möglichkeit, im Agrarbereich Energie zu gewinnen, sind Biogasanlagen in Verbindung mit Blockheizkraftwerken (vgl. Brüggemann o.J., 1). Die in Lebewesen enthaltene Energie kann sowohl zum Heizen als auch zur Erzeugung von elektrischer Energie genutzt werden. Einige Landwirte betreiben bereits Anlagen, die Gülle und andere Abfälle, für diesen Zweck angebaute Feldpflanzen oder Holz in Biogas umwandeln. Dieses kann dann auf verschiedene Art genutzt werden. Entweder wird es in einem Blockheizkraftwerk genutzt, wobei Strom und Abwärme entsteht, oder es kann veredelt und z.B. in das Erdgasnetz eingespeist werden (vgl. Sterner 2010, 1), oder es kann auch direkt als Kraftstoff für Fahrzeuge genutzt werden. Im Zusammenhang mit Elektromobilität sind besonders die Nutzung als Treibstoff und die Stromgewinnung interessant. Hier könnte bei

den Fahrzeugen ein Hybridansatz gewählt werden, sodass die Biogasanlage beide Antriebsarten bedienen kann. Außerdem zählt die Biogasanlage im Gegensatz zu anderen regenerativen Energiequellen als grundlastfähig. Damit ist gemeint, dass hier keine witterungsabhängigen Schwankungen bei der Produktion entstehen. Dadurch bietet sich gegenüber der Solarenergie der Vorteil, dass man die Batterien auch nachts mit Strom aus dem Blockheizkraftwerk laden könnte. Die Größe der Anlagen variiert, es können große Anlagen errichtet werden, die einem ganzen Dorf Energie und Abwärme liefern, oder kleinere, die ein Landwirt ausschließlich für sich selbst betreibt.

9.2.3.3 Windkraftanlagen

Die dritte Möglichkeit, auf landwirtschaftlichen Betrieben regenerative Energie nutzbar zu machen, besteht in der Nutzung der Windenergie durch Windkraftanlagen. Hierbei ist generell zwischen Anlagen mit und ohne Netzanschluss zu unterscheiden. Typischerweise besitzen große Anlagen einen Netzanschluss, kleinere dagegen sind für den Inselbetrieb (ohne Netzanschluss) geeignet. Diese Art der Energie ist wie die Solarenergie standortabhängig, sodass man keine allgemeine Empfehlung geben kann, welche Energieart zu nutzen ist.

Schon jetzt existieren in Deutschland viele Windkraftanlagen, die sich zu 50% im Besitz von Privatleuten und Landwirten befinden (vgl. o.V. 2011, 1). 36,2% des Zubaus an Windenergie wurde 2010 von Privatleuten investiert (vgl. o.V. 2011, 1). Da sie auf dem Land stehen, und ein Landwirt naturgemäß viel davon besitzt, hat er die Möglichkeit, seinen Bedarf an Energie hierdurch zu decken. Bislang wird diese Energie direkt ins Stromnetz eingespeist. Das bedeutet, dass er den Strom, den er ins Netz einspeist, bei Bedarf am Hof wieder vom Netzbetreiber zurückkauft.

Sollte der Bedarf steigen, weil der Landwirt Elektromobilität nutzt, müssten die erzeugten und verbrauchten Energiemengen gegeneinander aufgerechnet werden können, sonst würde er oder der Netzbetreiber von einer Preisdifferenz profitieren. Die Effektivität dieser Anlagen wird auch in Zukunft steigen. Theoretisch ist es möglich, den gesamten Bedarf weltweit nur durch Windenergie zu decken (vgl. Molly 2009, 2).

9.3 Elektromobilität in der Landwirtschaft – Abgleich der Anforderungen und Möglichkeiten

Bei der Einführung von Elektromobilität in der Landwirtschaft gilt es, die spezifischen Anforderungen bei den Agrarfahrzeugen im Hinblick auf technische und sonstige Aspekte zu berücksichtigen. Das folgende Kapitel stellt den Versuch dar, eine Abgleichung zwischen den Anforderungen und Möglichkeiten herzustellen. Dazu ist das Kapitel aufgeteilt in fahrzeugtechnische Aspekte und zeitliche Anforderungen. Auf die Möglichkeiten der Stromversorgung und damit verbundene Geschäftsmodelle wird in Kapitel 4 eingegangen.

9.3.1 Fahrzeugtechnische Aspekte

Das größte Problem im Bereich der fahrzeugtechnischen Aspekte bei der Umsetzung von Elektromobilität in der Landwirtschaft stellt die Batterie, bzw. deren Leistung und Laufzeit, dar. Im Pkw Bereich gibt es bei den meisten Fahrzeugherstellern schon Modelle, die entweder mit einem Hybridantrieb oder einem rein elektrischen Antrieb fahren (vgl. Wagner vom Berg et al. 2010, 974). Dagegen gibt es im Bereich der Nutzfahrzeuge der Landwirtschaft bislang nur einige wenige Modelle, die eher als Prototypen anzusehen sind. Dementsprechend ist hier der Forschungs- und Entwicklungsbedarf hoch. Landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge haben gegenüber Pkw einen erhöhten Energiebedarf. Dieser ist zum einen durch das größere Gewicht, zum anderen durch die verschiedenen Zusatzaufgaben bedingt. Diesen Energiebedarf über die Dauer eines ganzen Tages über eine einzelne Batterie zu decken, ist bei derzeitigem Stand der Batterietechnik noch utopisch (vgl. New Holland o.J., 16). Allerdings gibt es hier sinnvolle Konzepte, wie Elektromobilität trotzdem genutzt werden kann.

Bei rein elektrisch betriebenen Motoren gibt es die Möglichkeit, mehrere Batterien mitzuführen. Das zusätzliche Gewicht könnte für die Traktion genutzt werden, d.h. Gewichte, die bisher am Traktor angebracht sind, könnten entfallen. Eine Alternative dazu ist die Nutzung eines Hybridantriebs. Hier sind alle Varianten denkbar.

Zum einen kann ein REEV genutzt werden. Während normaler Betriebszeiten, d.h. wenn das Fahrzeug nicht den ganzen Tag über unterwegs ist, könnte der reguläre Batteriebetrieb schon ausreichen. Für saisonale Peaks wie die Erntezeit kann zusätzlich elektrische Energie aus einem Generator bezogen werden. Dieser könnte auf Dieselkraftstoff oder Wasserstoff

basieren, der Generator könnte mithilfe der Dreipunkthydraulik an der Front oder Rückseite des Traktors oder als Anhänger mitgeführt werden.

Ebenso denkbar ist eine PHEV-Lösung. Hier könnte der alternative Motor beispielsweise ein Verbrennungsmotor sein, der mit herkömmlichem Diesel, Biogas oder Biodiesel betrieben werden kann. Alternativ dazu könnte eine Brennstoffzelle genutzt werden. Eine Herausforderung bei dieser Lösung ist die Bauweise, da die beiden Motoren und der zusätzliche Tank viel Platz beanspruchen. Eine FCHEV-Lösung würde ähnlich funktionieren, wobei hier die Batterie nur als Speicher für überschüssige Energie genutzt wird.

An einem Prototypen für die PHEV-Lösung arbeitet derzeit John Deere im Projekt „e-Tour Allgäu“ (vgl. Pickel 2011, 6-13). Hier wurde ein Modell der „E Premium“-Reihe zu einem Hybridtraktor mit Diesel- und Elektromotor modifiziert.

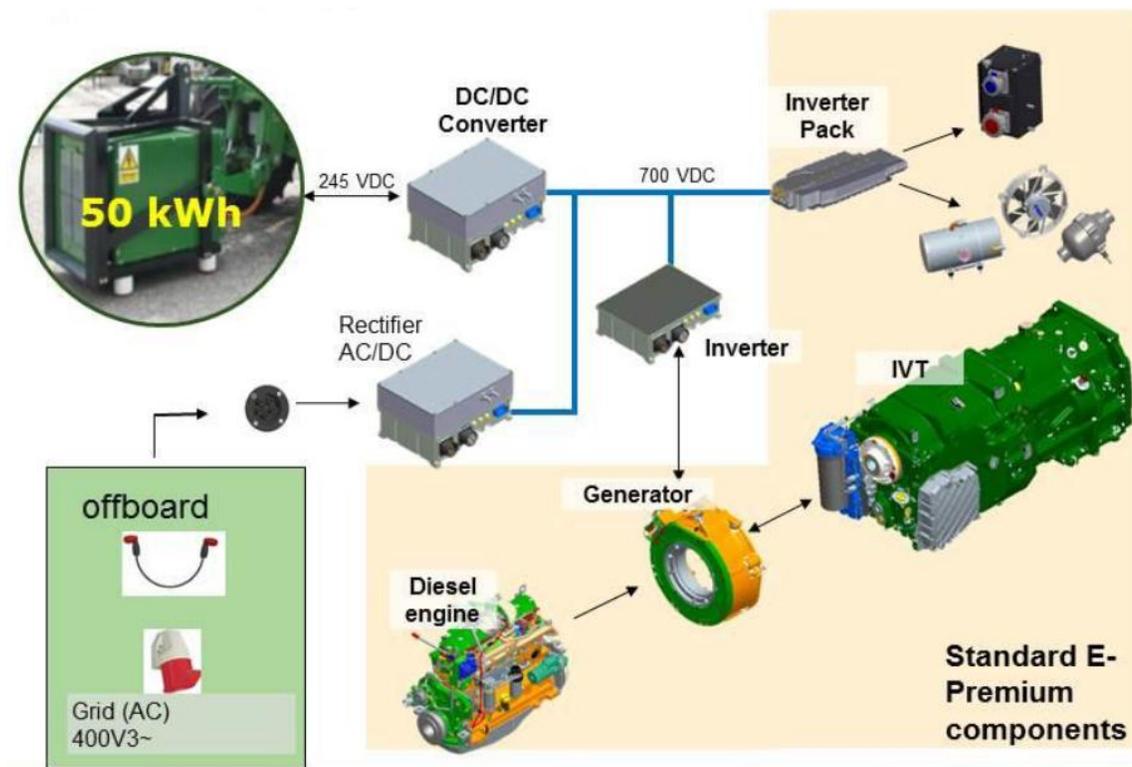


Abbildung 68 : E-Premium modifiziert als Hybrid-Traktor

(Quelle: Pickel 2011, 9)

Das Konzept beruht auf Batteriewechsel, d.h. es werden mehrere Batterien auf dem Hof vorrätig gehalten oder am Traktor mitgeführt. Diese können auch in verschiedenen

Fahrzeugen zum Einsatz kommen. Das Projekt legt weiterhin einen Schwerpunkt auf die Integration des Fahrzeugs, bzw. genauer, der Batterie, in das (intelligente) Energiemanagement des Hofes (Smart Grid).

Neben den Einsatzmöglichkeiten eines Elektromotors ist auch der reine Betrieb einer Brennstoffzelle als Antrieb denkbar. Die Tanks für den Wasserstoff könnten auf dem Hof platziert werden, und beim Traktorkauf ergibt sich eine bessere Preisrelation von Brennstoffzellenpreis zu Fahrzeugpreis als z.B. beim Pkw. Einen Prototyp namens „NH₂TM-Traktor“ dazu hat New Holland 2009 vorgestellt (vgl. New Holland 2009, 2-4). Dieses Konzept sieht die Nutzung regenerativer Energien zur Herstellung von Wasserstoff mittels Elektrolyse vor, somit ist es auch nachhaltig. Einen Vorteil gegenüber den batteriebetriebenen Motoren könnte hier die Entsorgung bieten. Diese sei bei den Wasserstofftanks nicht so aufwändig, da diese nicht die Schadstoffe von Batterien enthielten. Ebenfalls der Batterietechnik überlegen sei die Brennstoffzelle bei der Dauer des Tankvorgangs. Hier gibt New Holland eine Tankzeit von 5 Minuten an, was den reibungslosen Betrieb während der Erntezeit ermöglichen würde (vgl. New Holland 2009, 2-4).

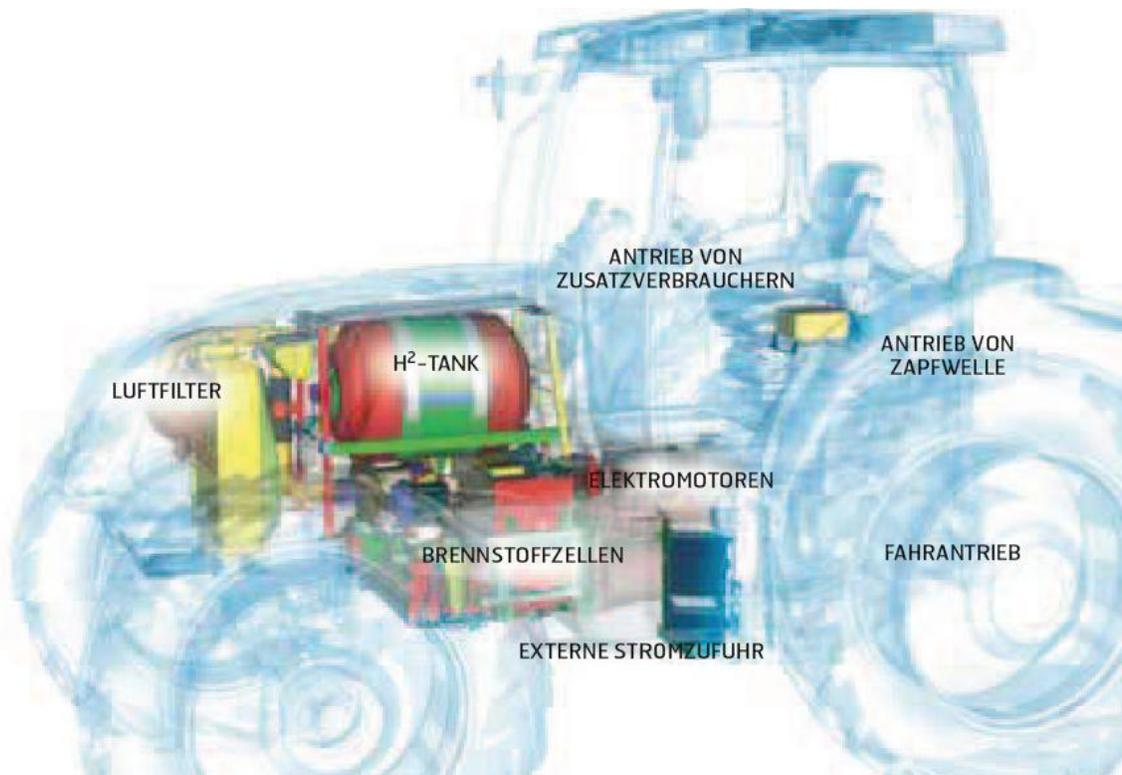


Abbildung 69 : Besondere Bestandteile eines wasserstoffbetriebenen Traktors

Quelle: New Holland 2009, 3

Ein grundsätzlicher, potenzieller Verbesserungspunkt bei der Einführung elektrischer Antriebe in Landmaschinen ist der bisherige Übertragungsweg von Energie an die angeschlossenen Geräte (vgl. Hahn 2011, 142). Bisher gab es eine Koppelung der Drehzapfwelle an die Drehzahl des Motors. Nutzt man stattdessen einen elektrischen Antrieb, kann man das komplizierte Getriebe vereinfachen, da die Drehzapfwelle durch eine standardisierte Schnittstelle zur Abnahme elektrischer Energie ersetzt werden könnte. Als Vorbild für die Standardisierung kann hierbei die Steckdose des normalen Stromnetzes gesehen werden. Der „E-Premium“-Traktor von John Deere ist bereits mit einer 400 und einer 230 Volt Steckdose ausgestattet (vgl. Hörmansdorfer 2012, 3), wobei dieser eher als Ausnahme zu sehen ist. Durch die Einführung der Steckdose gäbe es nicht nur an der Zugmaschine selbst erhebliche Veränderungen, sondern auch an den angeschlossenen Geräten, deren Schnittstellen sich an die Standardisierung anpassen müssten. Der Vorteil einer direkten elektrischen Energieübertragung ist der bessere Wirkungsgrad, da bislang bei der mechanischen Energieübertragung ein Teil der Energie verloren geht.

Einen weiteren Vorteil bietet die aufgelöste Bauweise. Konstruktionszwänge, die bisher mit der Drehzapfwelle einhergingen, würden entfallen. Dadurch könnte man auf die Gelenkwelle, die den Traktor mit dem angeschlossenen Gerät verbindet, verzichten. Durch den Verzicht auf diese Welle könnte auch die Sicherheit erhöht werden, bzw. schwere Unfälle könnten vermieden werden (vgl. Thomas/Buckmaster 2003, 244). In diese standardisierte Schnittstelle zur Energieübertragung könnte man auch gleichzeitig eine Kommunikationsschnittstelle zur Übertragung von Daten zwischen dem Traktor und dem angeschlossenen Gerät integrieren. Durch die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologie könnte eine noch bessere (Echtzeit-) Überwachung der Vorgänge realisiert werden, um die Erträge beim Einsatz des Fahrzeuges noch zu steigern und die Fahrsicherheit zu verbessern. Eine bestehende Kommunikationsschnittstelle, die in dieses Konzept übernommen werden kann, stellt die ISO 11783-1 dar (vgl. ISO 2007, 1-18).

Selbst wenn man bei der rotierenden Zapfwelle als mechanische Energieübertragung zwischen Zugmaschine und Anbaugerät bleibt, bietet der elektrische Antrieb einen Vorteil im Wirkungsgrad, da ein Elektromotor die stufenlose Einstellung der Drehzahl (Regelbarkeit), unabhängig von der Zapfwelle ermöglicht. Hierdurch wird der Wirkungsgrad der Übertragung verbessert (vgl. Schreiber 2006, 148-149). Die

Drehzahlregulierung kann durch einen elektrischen Umrichter realisiert werden (vgl. Hahn 2010, 13). Ein Prototyp namens „Eltrac“ wurde hierzu bereits 1998 von Schmetz und Kett entwickelt (vgl. Schmetz/Kett 1998, 1-6). Dieser setzt auf ein elektromechanisches Getriebe, wodurch zwar keine Elektromobilitätsvorteile im Sinne von Nachhaltigkeit durch Nutzung regenerativer Energie erzielt werden. Allerdings wird beim Eltrac der Fokus auf die verbesserte Übertragung von Energie an angeschlossene Geräte durch stufenlose Regelbarkeit der Drehzahl gelegt.

Ein weiterer Vorteil bietet sich in der Fahrweise auf dem Feld. Zugmaschinen sind in der Regel mit vielen Gängen ausgestattet, um dem stop-and-go Betrieb auf dem Feld gerecht zu werden. Der Nutzen, den elektrische Antriebe aus dieser Betriebsart ziehen, ist die Rückgewinnung der Energie, die sonst beim Bremsen ungenutzt als Wärme entweicht. Diese Energie kann beim elektrischen Antrieb wieder zum Laden der Batterie genutzt werden (vgl. Akademie Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe 2010, 2). Dadurch erhöht sich die Reichweite der Fahrzeuge. Zusätzlich dazu bietet der elektrische Antrieb durch permanenten Allradantrieb Vorteile im Fahrwerkwirkungsgrad (vgl. Hahn 2011, 18-19).

9.3.2 Einsatzbedingte Aspekte

Prinzipiell ist die heutige Batterietechnik ausreichend, um den vollelektrischen Betrieb von Zugmaschinen zu ermöglichen. Das große Manko besteht hier allerdings in der Dauer des Einsatzes. Will der Landwirt beispielsweise morgens mit dem Traktor arbeiten und dann nachmittags die Arbeit fortsetzen, wird die Ladezeit in der Mittagspause u.U. dazu nicht ausreichen. Es bietet sich also beim vollelektrischen Betrieb das Batterietauschkonzept an. Dadurch, dass mehrere Batterien vorrätig gehalten werden, können beispielsweise zwei am Traktor mitgeführt werden (eine zum Betrieb, einer zur Reserve). Weitere könnten am Hof aufgeladen werden, während der Traktor im Einsatz ist. Der große Nachteil dieses Konzeptes liegt bei den Investitionskosten für die Batterien. Diese machen bei Pkw momentan noch ca. 50% der Gesamtkosten des Fahrzeugs aus (vgl. Beermann et al. 2010, 62). Bei einem Traktor würde die Preisrelation von Batterien und Fahrzeug zwar besser sein, dennoch wird man gerade bei der Anschaffung mehrerer Batterien mit deutlich erhöhten Kosten rechnen müssen. Will man mehrere Geräte über Batterien betreiben, beispielsweise noch eine selbstfahrende Erntemaschine, und die beiden Fahrzeuge würden parallel betrieben werden, also der Traktor durch den Landwirt selbst und die

Erntemaschine durch einen Hilfsarbeiter, müssten auch mehr Batterien bereit gestellt werden. Hier können sich die Kosten vervielfachen. Daher ist eine Bedingung für das Ausführen dieses Konzeptes, dass möglichst wenig Batterien vorrätig gehalten werden müssen. Alternativ dazu müsste der Batteriepreis sinken, bzw. das Batterieangebot steigen. Dadurch würde die Bereitstellung der Batterien leichter sein, und auch die Wiederbeschaffung wäre günstiger. Auch an diese muss man im Zusammenhang mit Elektromobilität denken, da die Batterien sich schneller abnutzen als bisher der Verbrennungsmotor. Der Vorteil des Batterietauschkonzeptes wäre, wenn die Fahrzeuge nicht im Parallelbetrieb genutzt werden, dass man mit einem ausreichend großen Satz Batterien beliebig viele Fahrzeuge betreiben könnte.

Ein PHEV wäre eine Alternative, um den zeitlichen Anforderungen des Einsatzes gerecht zu werden. Dazu könnte man vormittags so lange mit Batteriebetrieb fahren wie möglich. Nach dem Laden am Hof kann man dann wieder auf Elektrobetrieb umschalten, bis die Batterie leer ist. Die restliche Zeit des Einsatzes kann man mit dem alternativen Antrieb überbrücken, sei es ein Verbrennungsmotor mit Diesel, Biogas, Biodiesel oder Brennstoffzelle. Für die Erntezeit müsste man dann mit einem erhöhten Kraftstoffverbrauch im Verbrennungsmotor rechnen. Analog dazu würde auch ein REEV den einsatzbedingten Anforderungen gerecht werden. Der Landwirt kann vor seinem Einsatz prognostizieren, wie lange er den Traktor am Tag einsetzen möchte. Je nach Ergebnis und Erfahrungswert nimmt er den Reichweitenverlängerer mit oder auch nicht.

Besser als die elektrischen Modelle schneidet bei den einsatzbedingten Anforderungen aber der rein durch eine Brennstoffzelle betriebene Traktor ab. Hier ist schon auf heutigem Stand der Technik eine Anwendung möglich, die dem herkömmlichen Verbrennungsmotor in nichts nachsteht (vgl. New Holland 2009, 2-4). Insbesondere die geringe Tankzeit ermöglicht den gewohnten Betrieb mit kurzen Wartezeiten, entgegen dem zeitaufwändigen Aufladen einer Batterie.

9.4 Möglichkeiten der Stromversorgung und daraus resultierende Geschäftsmodelle

Die bestehenden Anforderungen der Landwirtschaft können wegen der Batterietechnik heute noch nicht mit einem rein batteriebetriebenen Ansatz gelöst werden. Für Traktoren und große Arbeitsmaschinen wird eine höhere Energiedichte als die der jetzigen Batterien benötigt. Laut BMWi werden sich auch bis 2020 die Speicherkapazitäten nicht stark

erhöhen (vgl. Arbeitsgruppe 2 „Batterietechnologie“ der Nationalen Plattform Elektromobilität 2010, 8). Der Landwirt steht hier vor der Wahl, ob er ein hybrides Modell wählt, den Wechsel der Batterie vorsieht, oder seinen Traktor mit einer Brennstoffzelle antreibt.

In diesem Kapitel werden die Möglichkeiten, Elektrofahrzeuge in der Landwirtschaft einzusetzen, durch ihre Art der Auftankung unterschieden. Sowohl bei dem Einsatz der Brennstoffzelle als auch dem Konzept austauschbarer Batterien gibt es verschiedene Arten, die Energie in ihren verschiedenen Formen effizient zu nutzen, mit ihr zu handeln und die Schwankung der Bereitstellung durch erneuerbare Energiegewinnung auszugleichen.

9.4.1 Geschäftsmodell für batteriebetriebene Fahrzeuge

Wie die vorigen Kapitel gezeigt haben, gibt es verschiedene Energiequellen und Orte des Verbrauchs. Auch bei den Zeiten der Stromnachfrage bestehen Schwankungen (vgl. Seligman 2011, 573). Da der Landwirt in Kontakt mit dem allgemeinen Stromnetz steht, ist es notwendig, die eingespeisten und entnommenen Mengen protokollieren zu können, um dem Netzbetreiber eine Abrechnung und Vergütung gewährleisten zu können. Damit der Landwirt seinen Verbrauch und die Erzeugung bestmöglich planen kann, muss er die Möglichkeit haben, den aktuellen Preis für Strom zu sehen. Prognosen für den zukünftigen Preis wären ihm auch hilfreich.

Gegenwärtig zahlt er als Stromabnehmer einen stetigen Preis für Elektrizität. Um erneuerbare Energien zu fördern und den Verbrauch zu regulieren, sollten ihm finanzielle Anreize gegeben werden. Der Strompreis sollte also zu den Tageszeiten mehr kosten, an dem normalerweise die Nachfrage hoch ist, und niedrig, wenn mehr Elektrizität im Netz bereitgestellt wird als üblicherweise entnommen werden soll (vgl. Seligman 2011, 575).

Alle diese Bedürfnisse sollen durch die Funktionen des Smart Grids erfüllt werden können. Hierzu werden statt der bislang üblichen Strommessgeräte elektronische Zähler, so genannte Smart Meter, installiert. Diese messen sowohl den Leistungsaustausch, die empfangene Leistung des Landwirts, als auch die von seinem Hof bzw. den Anlagen eingespeiste Energie und erlauben eine genauere zeitliche Aufteilung als die jährliche Ablesung mechanischer Strommessgeräte. Die Messgeräte sind in der Lage, ihre Werte dem Netzbetreiber und dem Abnehmer, hier also dem Landwirt, zu melden. Simultan können dann auch die entsprechenden Preise für die Elektrizität ermittelt werden (vgl. Graham et

al. 2011, 20).

Entweder durch Erfahrungswerte oder durch Schätzungen könnten dann auch die zukünftigen Stromkurse prognostiziert werden, sodass der Landwirt die Möglichkeit hat, für seine Fahrzeuge die Elektrizität dann zu kaufen, wenn der Preis niedrig ist. Wird hingegen ein hoher Preis und Bedarf erwartet, können im Voraus die Speicher gefüllt werden, um Leistung dann abzugeben, wenn die Nachfrage hoch ist. So kann der Landwirt helfen, eine passende Auslastung des Stromnetzes zu erreichen und gleichzeitig seine Kosten mindern bzw. Erträge generieren. In Verbindung mit entsprechenden Geräten ist es auch denkbar, die Erzeugung, Einspeisung oder Abnahmemenge automatisch zu regulieren (vgl. Andersson et al. 2010, 2751)

Gegenwärtig wird durch das Erneuerbare Energien Gesetz ein Bonus für umweltfreundlich erzeugten Strom gezahlt. Dieser Bonus ist jedoch zeitlich begrenzt und sinkt jährlich. Daher hat der Landwirt in Zukunft auch das Interesse, die Elektrizität, welche er herstellt, selbst nutzen zu können. Die am Hof entnommene Menge und die an anderen Orten gleichzeitig erzeugte könnte im Smart Grid gegeneinander aufgerechnet werden, damit bei Preisdifferenzen zwischen eingespeistem und abgenommenem Strom weder Netzbetreiber noch Landwirt ein ungerechter Nachteil entsteht.

Die bislang erprobten Möglichkeiten, Batterien zu nutzen, beschränken sich noch auf Hybridmotoren mit Aufladung der Batterie am Hof. Da der Traktor hohen Energieverbrauch hat, kann er nicht allein aus einer Batterie gespeist werden. John Deere hat ein Modell erprobt, in dem eine 50 kWh Batterie in einem Traktor mit Hybridantrieb genutzt wird. Eine weitere Batterie trägt der Traktor bei der Fahrt mit sich, sodass bei Bedarf gewechselt werden kann (vgl. Pickel 2011, 6-13). Zu Zeiten hoher Beanspruchung bedeutet dieses Konzept, dass weitere Batterien am Hof vorgehalten werden müssen, um einen durchgängigen Betrieb zu ermöglichen. Dadurch stünden aber in Zeiten geringeren Bedarfs gleich mehrere Batterien zur Verfügung, die helfen können, den Bedarf an Elektrizität der Nachfrage anzupassen. Diese Lösung wäre vergleichbar mit dem Konzept von Batterieaustauschstationen, jedoch mit dem Unterschied, dass die Batterien hier dem Fahrzeugeigentümer gehören.

Die autarke Versorgung für PHEVs mit dem für den Hybridmotor benötigten Kraftstoff kann über Nutzung von selbst erzeugtem Biodiesel erfolgen. So würde auch dieser Teil CO₂-neutral und unabhängig gewährleistet werden.

Für den Pkw Toyota Prius (PHEV) wurde die Möglichkeit des Inselbetriebs aus Windenergie von Patten et al. getestet (vgl. Patten et al. 2011, 2-5). Dabei kam heraus, dass der Betrieb eines solchen Fahrzeuges mithilfe einer Windturbine prinzipiell möglich ist, d.h. die Turbine liefert, im Zeitraum eines Jahres betrachtet, genügend Strom, um den Stromverbrauch des Fahrzeugs zu decken. Schwierigkeiten bestehen hier allerdings darin, auch auf täglicher oder monatlicher Basis ausreichend Strom zur Verfügung zu stellen, da das Windaufkommen vom Wetter, der Region, dem konkreten Standort und der Jahreszeit abhängt. Dieses Modell kann ebenso auf die Landwirtschaft übertragen werden. Hier muss analog zum Pkw gewährleistet werden, dass das Stromangebot aus einer geeigneten Mischung regenerativer Energien besteht, sodass es grundlastfähig ist.

9.4.2 Geschäftsmodell für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge

Es existieren jetzt schon mit Wasserstoff betriebene Traktoren, da hier die Energiedichte weitaus höher ist (vgl. Thomas 2009, 3). Aufgrund der verschiedenen Möglichkeiten des Landwirts, erneuerbare Energie selbst umzuwandeln, hat er auch die Möglichkeit, den eigenen Bedarf daran selbst zu decken. Sollte es im Bereich der individuellen Beförderung zur Nutzung der Brennstoffzelle kommen anstatt des batteriegetriebenen Elektromotors, würde darüber hinaus die Möglichkeit bestehen, Tankstellen mit dem erzeugten Wasserstoff zu beliefern.

Da er zumeist selbst Erzeuger ist, hat der Landwirt einen Vorteil, die Erzeugung von Wasserstoff in die Zeiten mit einem Überschuss an Produktion elektrischer Energie zu legen. So würde er ähnlich den batteriegetriebenen Fahrzeugen helfen, eine gute zeitliche Verteilung bei der Nutzung der erzeugten Energie zu erreichen, oder den Strom dann selbst nutzen, wenn der Preis dafür am geringsten ist, da es keine Rolle spielt, wann der Wasserstoff erzeugt wird. Bereits jetzt gibt es Windparks, die zeitweise abgeschaltet werden müssen, da sie das Netz aufgrund mangelnder Abnahme sonst überladen würden (vgl. Sterner et al. 2011, 8).

Neben der Nutzung für die eigenen Maschinen oder den Verkauf an Tankstellen bietet sich dazu noch die Möglichkeit, bei vorhandenem Anschluss an das Gasnetz den erzeugten Wasserstoff in dieses einzuspeisen (vgl. Sterner 2010, 1). Ähnlich wie bei den Vehicle-to-Grid Konzepten muss dann die Menge eingespeister Energie vor Ort gemessen werden, um eine angemessene Vergütung erzielen zu können. Technik wie beim Smart Grid müsste für

diese Anwendung dann auf das Gasnetz übertragen werden. Dieses Konzept wird Windgas genannt, da besonders bei der Windenergie Erzeugung und Verbrauch der Elektrizität zeitlich schlecht zusammenpassen (vgl. Andersen et al. 2009, 2484). Eine Anpassung der Erdgasnetze ist nicht notwendig, sodass hier ein großes Potenzial zur Speicherung von Energie bereits jetzt besteht (vgl. Sterner et al. 2011, 16).

Ein Nachteil der Nutzung von Wasserstoff ist bislang das Problem der Lagerung. Durch Kühlung verflüssigter Wasserstoff entweicht bei Stillstand langsam aus dem Tank. Außerdem muss für die Kühlung Energie aufgewendet werden, was den Wirkungsgrad reduziert. Die andere Möglichkeit ist, den Wasserstoff unter hohem Druck zu lagern. Dies erfordert große und schwere Drucktanks, verglichen mit Benzintanks. Gegenüber Batterien ist das Gewicht jedoch um ein mehrfaches geringer bei gleicher gespeicherter Energiemenge (vgl. Thomas 2009, 4). Es empfiehlt sich daher, die Mengen Wasserstoff selbst vorzuhalten, die vor Ort benutzt werden sollen, und den Überschuss in das Gasnetz zu leiten. Während Drucktanks also sowohl als Vorratstank auf dem Hof, als auch im Fahrzeug zum Einsatz kommen können, ist die Aufbewahrung in Kühltanks nicht für Fahrzeuge geeignet und nur bedingt als großer Tank auf dem Hof wirtschaftlich.

Um die Produktion von Wasserstoff wirtschaftlicher zu machen, wäre auch eine Zusammenarbeit mehrerer Landwirte denkbar. Zusammen mit einem Blockheizkraftwerk kann die von einem Dorf oder einer Gemeinde erzeugte Energie effizient genutzt werden (vgl. Sterner et al. 2011, 34). Auch eine Wasserstofftankstelle hätte diese Möglichkeit, wenn sie die lokal erzeugte Elektrizität einkauft, als Wasserstoff speichert, und diesen an die Landwirte verkauft sowie Stromlasten ausgleicht. Diese Kopplung von Tankstelle und Blockheizkraftwerk ergäbe eine neue Art von Unternehmen.

Wird der Wasserstoff nur zurück zu Strom gewandelt, ohne die Wärme des Prozesses zu nutzen, ginge Energie verloren. In dieser Hinsicht ist die Nutzung also vergleichbar mit der von Biogas.

Die bislang geringen Reichweiten von Elektrofahrzeugen stellen Pkw-Fahrer vor ein Problem, die in ländlichen Gegenden wohnen und weite Strecken zurücklegen müssen. Auch für sie wären Brennstoffzellenfahrzeuge eine gute Alternative. Da sie aber eher nicht die Möglichkeit der eigenen Speicherung und Erzeugung von Wasserstoff haben, müssen für sie in diesem Fall Tankstellen geschaffen werden.

In beiden Fällen, also dem Batterieaustausch und dem Wasserstoffbetrieb, hat der Landwirt hier den Vorteil, dass er die benötigte Infrastruktur für sich selbst bereitstellen kann. Anders als beim Individualverkehr oder Warentransport kehrt der Traktor stets zu seinem Hof zurück. Es entsteht also nicht das Problem, dass Routen nicht gewählt werden können, weil am Ziel oder dazwischen kein Auftanken möglich ist. Bei Erntemaschinen, die sich von mehreren Betrieben geteilt werden, ist jedoch eine Abgleichung notwendig.

9.5 Nutzenbetrachtung für Elektromobilität in der Landwirtschaft

Insgesamt ist bei der Einführung der Elektromobilität in der Landwirtschaft von einem hohen Nutzen für verschiedenste Stakeholder auszugehen. Im nachfolgenden Kapitel geben wir eine zunächst eine Übersicht über Nachteile der Anwendung, danach eine Übersicht über die Vorteile.

9.5.1 Nachteile

Ein wesentlicher Nachteil, der sich bei der Einführung von Elektromobilität in den landwirtschaftlichen Sektor ergibt, ist, dass für dieses spezielle Gebiet bislang relativ wenig Forschungsergebnisse vorliegen. Dementsprechend hoch ist der Bedarf an weiterer Forschung und Entwicklung, insbesondere zur Verbesserung der Batterietechnik. Durch diesen Mangel an Erfahrung wird es für Landwirte auch schwierig sein, Finanzierungshilfen für die Umstellung auf Elektromobilität zu gewinnen, da die Rentabilität der Investition nur sehr unsicher abgeschätzt werden kann. Diesem Argument ähnlich ist, dass die Investitionskosten für die Fahrzeuge zum aktuellen, unausgereiften Stand gegenüber einer Serienproduktion sehr hoch sind. Das wird die Einführung der Elektromobilität in der Landwirtschaft zusätzlich erschweren bzw. verzögern. Ein Problem hinsichtlich der bei der Nutzung von batteriebetriebenen Modellen ist die Herstellung und Entsorgung der Batterie. Hierbei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass für die Herstellung der benötigten Batterien für eine Masseneinführung der Elektromobilität eine erhebliche Menge wertvoller Materialien benötigt werden (vgl. Wagner vom Berg et al. 2010, 973). Hier besteht die Gefahr, dass durch die Einführung der Elektromobilität zwar CO₂-Emissionen verringert werden, dafür aber andere Schadstoffe freigesetzt werden. Es sollte also darauf geachtet werden, dass die Batterien so gut wie möglich recycelt und auf eine umweltfreundliche Art und Weise entsorgt werden (vgl. Brown et al. 2010, 3801).

Fahrzeugtechnisch kann man festhalten, dass nicht alle Fahrzeugtypen wegen der Batterietechnik gleichermaßen geeignet für den Betrieb sind, insbesondere in den Peak-Zeiten.

Ein weniger offensichtlicher Nachteil der Einführung von Elektromobilität ist das Gewicht der Fahrzeuge. Die landwirtschaftlichen Nutzflächen sind von der Bewirtschaftung durch herkömmliche Traktoren schon belastet. Die Nutzung von Elektromobilität bzw. das Mitführen einer oder mehrerer Batterien wird das Gewicht des Traktors möglicherweise erhöhen. Dies hat negative Auswirkungen auf den Boden, da dieser vom Gewicht zusammengepresst wird und dadurch schlechtere Erträge liefert (vgl. Brandhuber et al. 2008, 3).

9.5.2 Vorteile

Die Einführung von Elektromobilität bietet jedoch auch viele Chancen. So ist sie in Verbindung mit der Nutzung von eigens gewonnenen regenerativen Energien ein Schritt in Richtung Unabhängigkeit des Betriebes von der externen Strom- und Ölversorgung. Dadurch könnte man langfristig viel beim Ölimport sparen, da die Preise dort wegen der Knappheit der Ressource in Zukunft noch weiter ansteigen werden. Bei der Lösung eines unabhängigen Betriebes im Sinne der Unabhängigkeit vom Stromanbieter kann auch beim Stromeinkauf gespart werden. Hier lohnt es sich, in regenerative Energien zu investieren, da sie langfristig den Anstieg der Strompreise verringern werden (vgl. Traber et al. 2011, 5). Im Hinblick auf Nachhaltigkeit würde bei Nutzung von regenerativen Energien eine Emissionsverringerung erreicht werden, dadurch eine Verbesserung der Luftqualität und Feinstaubreduktion. Ebenso würden die Dieseltransporte zum Hof entfallen, wodurch auch die Dieseltanks auf dem Hof überflüssig werden. Durch den Wegfall der Transporte und Tanks auf dem Hof verringert sich die Gefahr von Tankleckagen, die sich z.B. negativ auf die Grundwasserqualität auswirken können, ebenso am Fahrzeug selbst. Langfristig trägt das insgesamt zum Umweltschutz bei.

Fahrzeugtechnische Vorteile wären die aufgelöste Bauweise, weil durch den Wegfall der Drehzapfwellen ebenso Konstruktionszwänge (Getriebe, Zapfwelle, Dreipunkthydraulik) entfallen. Hierdurch kann eine erhöhte Fahrzeugsicherheit bzw. Unfallprävention erreicht werden. Ebenfalls in diesen Bereich fällt die Möglichkeit der Standardisierung der Schnittstelle zur elektrischen Energieübertragung an Anbaugeräte.

Zuletzt gibt es noch das Stromnetz betreffende Vorteile. Die Batterien können bei Netzanschluss ins Smart Grid des Hofes und der Region integriert werden. Die Batterie wird also zur Speicherung überschüssigen Stroms genutzt. Dabei müssen tages- und jahreszeitabhängige Schwankungen im Stromangebot durch regenerative Energien berücksichtigt werden. Solarenergie ist naturgemäß nachts und im Winter weniger vorhanden, bei Wind ist es tendenziell umgekehrt (vgl. Patten et al. 2011, 3). Die Batterie kann also auch auf dem Hof bei einem Stromausfall als Ersatz oder Ergänzung für das Notstromaggregat genutzt werden. Je nach Strommix kann die Batterie sinnvoll über Nutzungsverträge ins Smart Grid eingebunden werden. Hierbei spielen auch time-of-use rates eine wichtige Rolle (vgl. Seligman 2011, 575). So bietet es sich für den Landwirt an, nachts Strom zu beziehen und in der Batterie zu speichern (Off-Peak Ladevorgang), während tagsüber der Strom besser verkauft werden könnte.

9.6 Zusammenfassung und Ausblick

Elektromobilität eignet sich grundsätzlich zur Anwendung in der Landwirtschaft. Je nach Ansatz in der Antriebsart besteht hier jedoch noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Zur eingangs aufgeworfenen Frage, welche Anwendungsszenarios in der Landwirtschaft bestehen, kann man sagen, dass alle Konzepte der Elektromobilität auch auf den landwirtschaftlichen Bereich übertragen werden können. Insbesondere die „Selbstversorgung“ mittels regenerativer Energien, die direkt auf dem Hof nutzbar gemacht werden, prädestiniert den Agrarbereich für die Einführung von Elektromobilität.

Ein Punkt, der Antrieben mit Brennstoffzellen in Zukunft einen entscheidenden Marktvorteil verschaffen könnte, ist die Entsorgung, bzw. die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs. Die Entsorgung der Wasserstofftanks ist einfacher, da diese im Gegensatz zu Batterien keine aufwendig zu entsorgenden Materialien enthalten. Auch ist die Beschaffung dieser Materialien in für eine Masseneinführung relevanten Mengen schwerer.

Es besteht somit ein hohes Potenzial der Anwendung von Elektromobilität im landwirtschaftlichen Bereich. Während klar wird, dass Erdöl als Energieträger nicht mehr für unbegrenzte Dauer zur Verfügung stehen kann, bietet die Bereitstellung erneuerbarer Energie sogar die Möglichkeit zusätzlicher Einkünfte für den landwirtschaftlichen Sektor.

Dadurch können die anfänglich hohen Investitionskosten zur Nutzung der neuen Technologie ausgeglichen werden.

Es muss jedoch auch beachtet werden, dass sowohl die Batterietechnik als auch die Brennstoffzelle noch im Entwicklungsstadium sind und ihre Preise bzw. Leistung sie im Vergleich mit dem Verbrennungsmotor auf dem aktuellen Stand unwirtschaftlich machen. Obwohl Verbesserungen in beiden Feldern erwartet werden, kann nicht gesagt werden, wann und ob diese marktreif werden. Sollten sich Biokraftstoffe oder ähnliches durchsetzen, würde zwar trotzdem die Nutzung erneuerbarer Energien steigen, aber losgelöst vom Thema des Antriebs von Fahrzeugen. Verstärkter Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie im Smart Grid wird hingegen auf jeden Fall notwendig, da sie die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien ermöglicht, die in jedem Fall in Zukunft mehr zum Einsatz kommen werden.

10 E-Mobility – Green Utopia or Automobile Evolution

(Sebastian Praël, Tim Wollert)

10.1 Einleitung

Der Begriff der Nachhaltigkeit beschäftigt seit einigen Jahren Politik, Gesellschaft und Wirtschaft in hohem Maße. Hat man sich in den sechziger und siebziger Jahren allein von wirtschaftlichem Wachstum leiten lassen, wurde dem Umweltschutz durch das Zuneigen gehen fossiler Brennstoffe und den Klimawandel bald neue Bedeutung zuteil.

Durch das 1997 beschlossene Kyoto-Protokoll, bei dem sich die partizipierenden Staaten zur Regulierung ihrer Emissionen von Treibhausgasen verpflichteten, rückte das Thema in die politische und gesellschaftliche Mitte (vgl. o.V. 1997, 3).

Durch die Aufmerksamkeit der breiten Öffentlichkeit war die Wirtschaft angehalten dem neuen Trend nachzugehen und ihren Beitrag zum Erreichen dieses Ziels zu leisten. Der Schutz der Umwelt war insofern von großer Bedeutung, als dass das Image ganzer Unternehmen durch umweltbewusstes Handeln geprägt wurde.

Die Wissenschaft spricht hier vom Drei-Säulen-Modell, in dem nachhaltige Entwicklung, als Konsens zwischen ökologischer Verträglichkeit, sozialer Gerechtigkeit und wirtschaftlicher Effizienz definiert ist (vgl. Weinreich 2003, 21).

Besondere Auswirkungen hatte das neu geprägte Weltbild auf die Automobilindustrie, die die Ziele ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit durch den Aufschwung der Elektromobilität neu definierten. Schließlich betrug der Anteil der CO₂-Emissionen in Deutschland, die durch den Straßenverkehr verursacht werden, im Jahre 2010 19% (vgl. o.V. 2011c, 1).

Steigende Rohölpreise und ein allgemeines Umweltbewusstsein beim Käufer beeinflussten die Entwicklung konventioneller und progressiver Antriebstechniken nachweislich. Zu diesen gehört auch die Elektromobilität, deren Ausbau im „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung“ im August 2009 formuliert wurde und von vielen Automobilherstellern als Nachweis eines nachhaltigen Weltbildes stark gefördert wird. Parallel wurde der Ausbau nachhaltiger Energieerzeugung, wie Wind-, Solar-, Wasser-, und Bioenergie, mit immer größerem Eifer vorangetrieben. Man versucht hierdurch, sich von der starken Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu lösen und die Wirkungen des Klimawandels zu mindern. Nach näherer Analyse der Thematik fällt jedoch auf, dass die Elektromobilität, soviel Potenzial sie auch haben mag, nicht so grün ist, wie dies von Industrie und Politik zu vermitteln versucht wird. Strombetriebene Fahrzeuge werden dort

oftmals als emissionsfrei angepriesen und sollen so direkt zur Minderung der Effekte des Klimawandels beitragen.

Hierbei wird jedoch oft vergessen, dass die Indikatoren des Emissionsausstoßes elektrobetriebener Fahrzeuge nicht bei den Fahrzeugen selbst, sondern dem genutzten Strommix, aus dem der Strom bezogen wird, zu finden sind.

Diese Einschränkung stellt große Anforderungen an Politik und Forschung, die es in der Zukunft zu bewältigen gilt. Des Weiteren müssen Probleme der Verfügbarkeit von Rohstoffen, die zur Produktion bestimmter Technikkomponenten benötigt werden, gelöst werden. Zuletzt ist daran zu denken, dass Generationen von Elektrofahrzeugen einem Recyclingkreislauf zugeführt werden, zu dem etwaige Strategien verfügbar sein müssen.

10.1.1 Zentrale Fragestellungen

Im Rahmen dieser Arbeit soll erörtert werden, inwiefern einige kritische Prozesse, wie der Recyclingprozess der Fahrzeuge, im Hinblick auf ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit zu bewerten sind. Weiterhin soll der Strommix der Bundesrepublik Deutschland dargestellt und hinsichtlich der Nachhaltigkeit betrachtet werden. Es sollen Aussichten zukünftiger Energieinfrastrukturen geliefert werden und deren nachhaltiger Nutzen in Bezug auf Elektromobilität geprüft werden.

Die daraus resultierenden Forschungsfragen sind folgende:

- Welcher Strommix wird in Deutschland heute und in Zukunft genutzt? Ist damit ein nachhaltiger Erfolg der Elektromobilität möglich?
- Wird es durch die Elektromobilität zu einem Mehrbedarf an Metallen und seltenen Erden kommen? Wenn ja, wie kritisch ist dieser zu bewerten?
- Neue Bauteile, wie die zum Antrieb benötigten Batterien, verändern das Automobil von Morgen. Gibt es Recyclingstrategien, die die Ressourcen der Elektromobilität nachhaltig sichern.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine qualitative Aussage über die Umweltfreundlichkeit von stromgetriebenen Fahrzeugen zu geben, sowie einen Vergleich zu konventionellen Verbrennungstechniken zu liefern. Die in den Forschungsfragen formulierten Gesichtspunkte stellen dabei einen wesentlichen Faktor dar, der über den letztendlichen Nutzen für die Umwelt Aufschluss gibt.

10.1.2 Abgrenzungskriterien

Aufgrund der Komplexität des Themas und der gegebenen Rahmenrichtlinien, die auch den Umfang dieser Arbeit betreffen, konnten nicht alle Aspekte behandelt werden. Im Bereich der Nachhaltigkeit wurde das Ein-Säulen-Modell nicht betrachtet. Dies begründet sich damit, dass das Hauptaugenmerk hier auf der Umwelt liegt und soziale sowie ökonomische Aspekte kaum bewertbar sind. Weiterhin ist das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit in der internationalen Wissenschaft am verbreitetsten. Im Kapitel der technischen Grundlagen beschränkte man sich auf die verschiedenen Antriebstypen und Stakeholderinteressen. Weitere technische Ausführungen wären dem Thema und Umfang dieser Arbeit nicht angemessen gewesen. Es wird ausschließlich Wert darauf gelegt, dem Leser die verschiedenen Typen von Elektrofahrzeugen vorzustellen.

Bei der Betrachtung hinsichtlich der CO₂-Emissionen in Kapitel 4.2.2 wurden lediglich Fahrzeuge, die ausschließlich elektrisch angetrieben werden, betrachtet. Dies begründet sich damit, dass der direkte Vergleich mit reinen Verbrennungsmotoren bei Hybridautomobilen nicht exakt den elektrischen Energiebedarf des PKW wiedergeben würde. Weiterhin wurde bei dem Vergleich ausschließlich der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid betrachtet. Bei der Erzeugung von Energie treten weitere Treibhausgase auf. Eine Betrachtung dieser ist für den Vergleich mit PKW mit Verbrennungsmotoren allerdings nicht relevant, da diese während der Treibstoffverbrennung größtenteils CO₂ emittieren.

In Kapitel 4.3, welches das Recycling von Elektrofahrzeugen behandelt, beschränkte man sich auf den kritischen Recyclingprozess von Elektrofahrzeugen, sowie Forschungsausblicke. Materialien, die durch bereits bekannte Recyclingverfahren behandelt werden können, stehen nicht im Mittelpunkt dieses Kapitels. Zum Thema der Ressourcenverfügbarkeit beschränkte man sich auf Metalle, deren gesicherte Verfügbarkeit kritisch zu betrachten ist. Daher werden jene Metalle vernachlässigt, die heute bereits in hohem Maße in der Automobilindustrie zum Einsatz kommen.

10.1.3 Aufbau der Arbeit

Bevor mit der Beantwortung der in Kapitel 1.1 formulierten Forschungsfragen begonnen wird, werden im zweiten Kapitel zuerst für das Gesamtverständnis notwendige Grundlagen definiert. Dazu gehört die Elektromobilität in Kapitel 2.1 und die Definition der

Nachhaltigkeit in Kapitel 2.2. Im dritten Kapitel wird das Vorgehen in dieser Arbeit geschildert, bevor in Kapitel 4 mit der Auswertung der gesammelten Informationen begonnen wird. Zuerst werden die in einem ca. 15-minütigen Telefoninterview mit Herrn Dr. Thomas Schwarz vom VDA erworbenen Informationen mit den von Greenpeace erhaltenen Informationen verglichen und gegenübergestellt. Kapitel 4.2 beschäftigt sich mit der Darstellung des deutschen Strommixes und geht auf die CO₂-Bilanz aktueller Elektroautomobile im Vergleich mit Verbrennungsmotoren ein. Des Weiteren wird ein Ausblick auf die weitere Zukunft der Energieversorgung in Deutschland gegeben, bevor in Kapitel 4.3 das Recycling der Batterien im Fokus steht. Ferner werden die neuen Karosserien der Elektroautos gemäß ihrer Recyclingfähigkeit betrachtet. Zum Abschluss der Auswertung wird der vermehrte Bedarf an seltenen Erden und Metallen hinsichtlich der Ressourcenverfügbarkeit für die Automobilindustrie untersucht. In Kapitel 5 werden schlussendlich die in Kapitel 1.1 gestellten Forschungsfragen beantwortet und ein kurzes Fazit der Arbeit gezogen.

10.2 Grundlagen

Für die folgenden Ausführungen ist es notwendig, die Hauptthemen der Elektromobilität und der Nachhaltigkeit zu definieren. Damit soll einerseits ein Grundverständnis dieser Bereiche geschaffen und zudem die Basis definiert werden, aufgrund welcher die Ausführungen dieser Arbeit entstanden sind.

10.2.1 E-Mobility

In den folgenden Abschnitten werden die Interessen der Stakeholder am Ausbau der Elektromobilität erläutert. Nachfolgend wird eine Übersicht der technologischen Grundlagen und Antriebskonzepte der Elektromobilität geliefert.

10.2.1.1 Elektromobilität aus Sicht der Stakeholder

Mit dem im August 2007 in Meseberg beschlossenen Energie- und Klimaprogramm sowie der 2010 erschienenen High-Tech Strategie 2020, verpflichtete sich die Bundesrepublik Deutschland zum Ausbau der Elektromobilität. Ziel soll es sein, die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen zu mindern und eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes herbeizuführen (vgl. Schuler 2011, 13-14).

Eine ganzheitliche Strategie zur Einführung der Elektromobilität wurde im August 2009 durch den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung vorgelegt. Dieser rechnet der Elektromobilität eine hohe strategische Bedeutung zu und charakterisiert unter anderem deren Stärken und Schwächen (vgl. Bundesregierung 2009, 3-16).

Das Thema Elektromobilität beherrscht die Automobilindustrie, da langfristig batteriegetriebene Fahrzeuge den Großteil der Produktion ausmachen werden. Man spricht von weltweit 15 Millionen Elektrofahrzeugen im Jahre 2025, was ca. 1,5% des zukünftigen Fahrzeugbestandes entspricht (vgl. Becker 2010, 143).

Mit der stärker werdenden Verbreitung von Elektrofahrzeugen wird die Automobilindustrie mehr und mehr vor Herausforderungen und Schwierigkeiten gestellt.

Durch die Elektrifizierung der Antriebstechnik würde sich ein großer Teil der internen Wertschöpfung von Automobilherstellern an Dritte verlagern, da man gezwungen ist, durch Kooperationen und Outsourcing fremdes Know-how nutzbar zu machen. Dieses Phänomen lässt sich bereits am heutigen Markt beobachten. Des Weiteren besteht eine finanzielle Doppelbelastung, da neben dem Forschungsaufwand für Elektromobilität auch konventionelle Antriebe, bedingt durch die strengen Umweltauflagen, weiterentwickelt werden müssen. Eine Studie von McKinsey kommt zu dem Schluss, dass bis 2020 114 Mrd. Euro investiert werden müssen, um Fahrzeuge an geltende Emissionsstandards anzupassen (vgl. Schuler, 17-18).

Die Energiewirtschaft sieht sich durch die Etablierung einer Ladeinfrastruktur in den nächsten Jahren mit hohen Investitionen konfrontiert, die nur sehr langfristig amortisiert werden können. Im Gegenzug eröffnen sich aber dadurch neue Umsatzmöglichkeiten.

Eine weitere Schwierigkeit entsteht durch das individuelle Ladeverhalten der Benutzer, das unter Umständen eine Überlastung des Versorgungsnetzes herbeiführen kann. Um die Netzstabilität zu gewähren und einem Netzausbau entgegenzuwirken, muss daher langfristig die Ladung gesteuert werden. Ansätze hierzu bietet das „Vehicle-to-Grid“-Konzept. Hierbei liefern die Elektrofahrzeuge selbst einen Beitrag zur Netzstabilität, indem ihre Energie ins Versorgungsnetz gespeist wird, während sie nicht benutzt werden (vgl. Schuler 2011, 19-21).

Die Fahrzeugnutzer stehen der Einführung der Elektromobilität sehr positiv gegenüber, was vor allem an der Emissionsfreiheit des Antriebs liegt. So können sich 74% der Befragten einer ADAC-Studie vorstellen, sich ein Elektrofahrzeug zu kaufen. Nichtsdestotrotz stehen

die Nutzer den finanziellen Mehrkosten der Anschaffung sowie der maximalen Reichweite von Elektrofahrzeugen kritisch gegenüber, obwohl 73% der analysierten täglich gefahrenen Strecken von Verbrauchern nach einer Studie des BMU unter 50 Kilometern liegen, was theoretisch mit elektrogetriebenen Fahrzeugen zu bewältigen ist (vgl. Schuler 2011, 22-23).

10.2.1.2 Technische Grundlagen

Unter dem Begriff Elektromobilität werden alle Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb zusammengefasst. Man unterscheidet hierbei zwischen reinen Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Hybridantrieb. Unter reinen Elektrofahrzeugen versteht man Autos, die ausschließlich durch einen Elektromotor angetrieben werden, unabhängig von der Art des eingesetzten Energiespeichers. Hybridfahrzeuge sind jene Fahrzeuge, die neben einem Elektromotor einen konventionellen Verbrennungsmotor besitzen. Je nach Grad der Hybridisierung hat der Elektromotor unterschiedliche Funktionen, da er beispielsweise der Energierückgewinnung beim Bremsen dienen kann oder auch dem reinen Antrieb des Kraftfahrzeuges (vgl. Buchert et al. 2011c, 9-10).

Mild-Hybrid Electric Vehicle und Full-Hybrid Electric Vehicle

Als Mild-Hybrid bezeichnet man Fahrzeuge, die mit einem Verbrennungsmotor und einem zusätzlichem Elektromotor ausgestattet sind. Der Verbrennungsmotor dient der Fortbewegung und der Elektromotor der Energierückgewinnung beim Bremsen. Die so genutzte Energie wird verwendet, um den Verbrennungsmotor beim Beschleunigen zu unterstützen.

Full-Hybrid Fahrzeuge sind der Funktion der Mild-Hybrid Fahrzeuge ähnlich. Es werden jedoch leistungsfähigere Komponenten verbaut, sodass auch Strecken ohne Einsatz des Verbrennungsmotors zurückgelegt werden können.

Fahrzeuge dieser Klasse besitzen üblicherweise eine Motorleistung von 15 kW bei Mild-Hybrid Fahrzeugen und zwischen 60 kW und 70 kW bei Full-Hybrid Fahrzeugen. Die Akkumulatoren besitzen eine Kapazität von ca. 1 kWh (vgl. Buchert et al. 2011c, 10).

Plug-In-Hybrid Electric Vehicle

Plug-In-Hybrid Fahrzeuge entsprechen einem noch höheren Grad der Elektrifizierung. Sie besitzen höhere Akkukapazitäten und einen leistungsstarken Elektromotor mit meist über 50 kW elektrischer Leistung. Des Weiteren bieten sie die Möglichkeit unterschiedlicher

Antriebskonzepte, wie dem reinen Einsatz des Elektromotors oder Verbrennungsmotors, sowie einer Kombination aus beidem. Durch die höhere Akkukapazitäten von 5 kWh bis 10 kWh sind zwischen 20 und 30 km emissionsfreien Fahrens, allein durch den Elektromotor angetrieben, möglich (vgl. Buchert et al. 2011c, 11).

Range-Extender Electric Vehicle

Range-Extender Fahrzeuge besitzen einen Verbrennungsmotor, sowie einen bzw. zwei Elektromotoren. Der erste Elektromotor dient hier dem Antrieb und der zweite der Energierückgewinnung.

Im Gegensatz zu Hybrid-Fahrzeugen stellt nicht der Verbrennungsmotor, sondern der Elektromotor hier den primären Antrieb. Die Leistung der Elektromotoren entspricht in der Regel 50 kW und mehr, bei einer Akkukapazität von 16 kWh bei einem Model von Opel.

Der Verbrennungsmotor hat die Funktion, den Ladezustand der Batterie zu stabilisieren, falls dieser unter eine kritische Grenze fällt. Dies geschieht, indem der Verbrennungsmotor einen Generator antreibt, der die benötigte Energie produziert.

Ein Konzeptfahrzeug von Mercedes-Benz kann rein elektrisch bis zu 100 Kilometer zurücklegen (vgl. Buchert et al. 2011c, 11).

Battery-Electric Vehicle

Das Antriebskonzept der batterieelektrischen Fahrzeuge berücksichtigt lediglich einen Elektromotor. Als Energiespeicher dient ein leistungsfähiger Akkumulator, vorzugsweise auf Lithiumbasis. Durch die eingesetzte Art des Antriebs entsprechen die Motoren Leistungen von 50 kW und mehr, um entsprechende Beschleunigungen und Geschwindigkeiten zu erreichen (vgl. Buchert et al. 2011c, 12).

Fuel Cell Electric Vehicle

Brennstoffzellenfahrzeuge besitzen wie Hybridfahrzeuge keinen Verbrennungsmotor. Die Leistung wird bei aktuellen Modellen durch einen ca. 100 kW starken Elektromotor erzeugt. Als Energiespeicher dient hierzu Wasserstoff, der durch eine Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt wird und den Motor antreibt. Je nach Größe der Fahrzeuge und des Tanks sind Reichweiten von bis zu 400 km mit einer Tankfüllung möglich. Dieses Fahrzeugkonzept umfasst weiterhin eine zusätzliche Batterie, die ähnliche Funktionen und Kapazitäten wie bei Mild-Hybrid Fahrzeugen besitzt. Neben Energierückgewinnung wird die ca. zwischen 1 kWh und 2 kWh starke Batterie zur

Abdeckung von Leistungsspitzenanforderung des Antriebs genutzt (vgl. Buchert et al. 2011c, 12).

10.2.1.3 Komponenten der Elektromobilität

Je nach Antriebskonzept dient der Elektromotor der alleinigen Antriebsfunktion oder der Unterstützung eines zweiten Antriebs. Außerdem fungiert er als Generator, indem er kinetische Energie in elektrische Energie umwandelt. Die Speicherung der elektrischen Energie erfolgt in einer Batterie, die bei manchen Antriebskonzepten über eine Ladestation oder Steckdose geladen werden kann. Eine weitere Komponente der Elektromobilität ist die Leistungselektronik (vgl. Buchert et al. 2011c, 13). Sie beeinflusst durch elektrische Bauteile den Fluss elektrischer Energien. Realisiert wird dies durch elektrische Schaltungen (vgl. Felderhoff/Busch 2006, 17).

Die Hauptaufgabe der Leistungselektronik in der Elektromobilität ist es, dem Elektromotor Energie aus dem Akkumulator in entsprechender Spannung und Frequenz bereitzustellen (vgl. Buchert et al. 2011c, 13). Der Aufbau der Fahrzeuge unterscheidet sich je nach Fahrzeugkonzept. Fahrzeuge mit konventionellem Verbrennungsmotor benötigen, im Gegensatz zu denen mit reinem Elektroantrieb, eine entsprechende Abgasanlage mit Katalysator sowie einen Kraftstofftank. Je nach Stärke des Antriebs und Akkukapazität muss zudem eine entsprechend starke Leistungselektronik verbaut werden.

Brennstoffzellenfahrzeuge benötigen zudem noch Komponenten, die die Reaktion des Luft-Wasserstoffs unterstützt und einen Wasserstofftank, der das Gas unter hohem Druck speichert (vgl. Buchert et al. 2011c, 16). Die beschriebenen Komponenten arbeiten äußerst effizient. Erreicht man bei einem Verbrennungsmotor einen maximalen Wirkungsgrad von 40%, liegt dieser bei Elektrofahrzeugen bei rund 90% (vgl. Friedl 2011, 9).

10.2.2 Nachhaltigkeit

Bei dem Begriff der Nachhaltigkeit gilt es, im Voraus zwischen der nachhaltigen Entwicklung als Prozess und der Nachhaltigkeit als Zustand, also dem Ende dieses Prozesses, zu unterscheiden. Das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung beachtet sowohl die heutige als auch die zukünftige Lebenssituation. Dabei hat sie zum Ziel, den heutigen Standard zu verbessern, ohne dabei die Lebensgrundlage für die Zukunft zu verschlechtern (vgl. Grunwald/Kopfmüller 2006, 7). Weiterhin wird es als nachhaltig angesehen, wenn das

Kapital einer Gesellschaft für die nachfolgenden Generationen in derselben Quantität und Qualität vorhanden ist (vgl. Michaelis 2012, 17). Durch die Globalisierung steigen die Herausforderungen an die Nachhaltigkeit, da durch die immer stärker werdende Vernetzung der Wirtschaftspartner Strukturveränderungen überall auf der Welt auftreten. Zudem begünstigt das Internet diese Vernetzung und beschleunigt die Informationsweitergabe enorm (vgl. Engelhardt 1998, 7).

Der Begriff der Nachhaltigkeit kommt ursprünglich aus der Forstwirtschaft. Zu Beginn des 18. Jahrhunderts war die Knappheit an Holzbeständen eine Folge des steigenden Bedarfes. Um weiterer Übernutzung vorzubeugen, wurde ein System entwickelt, das einen maximalen Ertrag bei gleichzeitig gewährleistetem Vorrat ermöglichen sollte (vgl. Ponath 2010, 13).

Vertieft wurde dieser Terminus durch den Bericht der Brundtland-Kommission von 1987, die von den Vereinten Nationen beauftragt wurde. Ziel der Kommission war es, Empfehlungen zu erarbeiten, die eine nachhaltige Entwicklung mit sich bringen sollten. Zudem wurde durch diesen Bericht die Nachhaltigkeit zum ersten Mal über die Grenzen der Wissenschaft kommuniziert und so die Basis für das heutige Verständnis gelegt (vgl. Grundwald/Kopfmüller 2006, 20). Während der United Nations Conference on Environment and Development 1992 in Rio de Janeiro wurde das Thema der nachhaltigen Entwicklung weiter vertieft und mit 178 partizipierenden Nationen auch politisch langfristig thematisiert (vgl. Hauff/Kleine 2009, 8).

10.2.2.1 Drei-Säulen-Modell

Da die nachhaltige Entwicklung mehrere Komponenten umfasst, wird häufig der Begriff Drei-Säulen-Modell verwendet. Dieses unterteilt die Nachhaltigkeit in die drei Bereiche der Ökonomie, der Ökologie und des Sozialen, wobei alle drei Bereiche gleichberechtigt betrachtet werden (vgl. Hauff/Kleine 2009, 9).

Ökonomische Nachhaltigkeit

Die ökonomische Nachhaltigkeit fokussiert sich auf das Bewahren einer gewissen Lebensqualität über eine bestimmte Zeitspanne. Dafür ist es erforderlich, nicht als nachhaltig zu erachtende Produktionsarten umzugestalten (vgl. Hauff/Kleine 2009, 18).

Weiterhin kann sie durch die Einkommenskonzeption nach Hicks oder der traditionellen Wachstumstheorie beschrieben werden. Hicks beschreibt das Einkommen einer

Gesellschaft als die Menge an Kapital, die innerhalb eines Zeitraums konsumiert werden kann, ohne dass der Konsum in einem zukünftigen Zeitraum davon beeinträchtigt wird (vgl. Hauff 2008, 26). Für die traditionelle Wachstumstheorie ist eine Steigerung des Wirtschaftswachstums nur durch technische Innovationen möglich. Dabei muss allerdings auf die Umwelt vermehrt Rücksicht genommen werden. Das kann dazu führen, dass die enge, unökologische Verzahnung von wirtschaftlichem Wachstum und der Nutzung natürlicher Ressourcen entkoppelt wird (vgl. Hauff 2008, 26).

Ökologische Nachhaltigkeit

Das Hauptaugenmerk der ökologischen Nachhaltigkeit liegt auf der Erhaltung der Lebensgrundlage, des ökologischen Systems. Dabei ist es jedoch unter anderem von der Wirtschaft abhängig. Sollte diese nicht nachhaltig handeln, kann die Nachhaltigkeit der Ökologie nicht gewährleistet werden, da die Natur als solche keinen Einfluss auf den Umgang mit sich selbst nehmen kann (vgl. Majer 2003, 937). Durch die menschliche Nutzung der Natur ist das Ökosystem belastet, sodass teilweise von einer Übernutzung gesprochen werden kann. Um die Nachhaltigkeit weiter gewährleisten zu können, muss das Verhältnis des Menschen zur Natur verändert werden. Die Natur hat für den Menschen einen direkten oder indirekten Nutzen, der sich einerseits über die Natur als Lebensraum definiert, andererseits durch die von ihr zur Verfügung gestellten verwendbaren Ressourcen. Ein wichtiges Ziel der ökologischen Nachhaltigkeit ist es, die Belastung des Ökosystems sowohl kurz- als auch langfristig zu vermindern (vgl. Hauff 2008, 24-25).

Soziale Nachhaltigkeit

Nach Woolcock besteht die soziale Nachhaltigkeit aus der sozialen Integration, der horizontalen sozialen Verbindungen innerhalb von Gemeinschaften, der Beziehung zwischen der Gesellschaft und dem Staat, sowie der Qualität der staatlichen Institutionen (vgl. Woolcock 1998, 151-208). Im Gegensatz zu den anderen beiden Kapitalarten ist Sozialkapital zwischen den Generationen nur geringfügig übertragbar. Somit ist jede Generation für den Aufbau dieses Sozialkapitals selbst verantwortlich (vgl. Hauff 2008, 28).

Durch gesellschaftliche Normen kann das Sozialkapital entscheidend dazu beitragen, dass die ökologische Nachhaltigkeit verbessert wird, indem das Bewusstsein für die Relevanz des Umweltschutzes gestärkt wird (vgl. Hauff 2008, 29). Ein Teil des Sozialkapitals ist die

Sozialverträglichkeit. Diese beschreibt das menschliche Miteinander und beinhaltet sowohl Gebrauchsobjekte, Werthaltungen, die politische Situation und die Arbeitswelt. Zur Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit muss allerdings beachtet werden, dass sich die Werte der Sozialverträglichkeit ständig verändern können (vgl. Corsten 2008, 218).

10.2.2.2 Schwache und starke Nachhaltigkeit

Trotz der Abgrenzung dieser drei Kapitalarten kommt es teilweise zu Überschneidungen der Bereiche. Eine Weiterverarbeitung von Holz in der Industrie führt beispielsweise dazu, dass aus ökologischem ökonomisches Kapital wird (vgl. Hauff/Kleine 2009, 17). Dies wird auch als schwache Nachhaltigkeit bezeichnet. Eine schwache Nachhaltigkeit liegt vor, wenn die Entwicklung der Nachhaltigkeit von einer Generation zur anderen nicht abnimmt (vgl. Brekke 1997, 91). Dazu muss gewährleistet sein, dass kein Wohlfahrtsverlust vorliegt, was ansonsten als Abnahme der Nachhaltigkeit angesehen wird (vgl. Pezzey 1989, 14). Dabei ist es möglich, dass die Umwandlung von ökologischem Kapital in ökonomisches Kapital die Nachhaltigkeit nicht beeinflusst. Die schwache Nachhaltigkeit besagt nur, dass die Gesamtmenge aller Kapitale aufrechterhalten werden muss (vgl. Hauff 2008, 25).

Dem gegenüber steht die starke Nachhaltigkeit. Sie besagt, dass die drei Kapitalarten untereinander nicht substituierbar sind. Somit muss im Sinne der Nachhaltigkeit die Aufrechterhaltung dieser Kapitalarten garantiert werden (vgl. Wendt 2008, 106). Hierbei kommt es dazu, dass die durch den Ver- oder Gebrauch entstehenden Ungleichgewichte innerhalb der Kapitalmengen selber kompensiert werden. Ein Beispiel hierfür ist die Wiederaufforstung (vgl. Grunwald/Kopfmüller 2006, 38). Dennoch stellen beide Ansichten der Nachhaltigkeit besondere Extreme dar, die so nicht realisierbar sind. Grunwald und Kopfmüller sagen aus, „dass jede wirtschaftliche Tätigkeit auf Vor- und Nachleistungen der Natur angewiesen“ bleiben (Grunwald/Kopfmüller 2006, 38). Zudem kommt es aufgrund von Limitierungen seitens der Technik dazu, dass eine wirtschaftliche Produktion komplett ohne den Bedarf an natürlichen Ressourcen nicht möglich ist. Weiterhin können bestimmte Vorgänge wie die Photosynthese nicht von Technologie übernommen werden, sodass der Nutzen von ökologischem Kapital hier unverzichtbar bleiben wird.

10.2.2.3 Strategien

Zur Unterstützung der nachhaltigen Entwicklung existieren drei Leitstrategien. Dabei handelt es sich um die Effizienz-, die Konsistenz- und die Suffizienz-Strategie. Die Strategie mit dem höchsten Operationalisierungsgrad ist die Effizienz-Strategie. Gemessen an dem Nutzen im ökologischen und ökonomischen Sinne hat diese Strategie die größte Bedeutung für die nachhaltige Entwicklung. Sie wird genutzt, um die Produktivität der Güter zu steigern. Allerdings wird kritisiert, dass der Fokus eindeutig auf der Technik liegt und das Zusammenspiel mit der Natur vernachlässigt wird. Im Gegensatz dazu konzentriert sich die Suffizienz-Strategie auf den ökologischen Teil. Um die nachhaltige Entwicklung voranzutreiben, gilt es hier, ökologische Höchstgrenzen einzuhalten. Ziel dieser Grenzen ist es, den Verbrauch der Ressourcen der Umwelt als solche minimal zu halten, sodass dennoch ein suffizienter, also ausreichender, Lebensstandard gewährleistet ist. Bei dem Bilden der ökologischen Grenzen spielen auch soziale Komponenten eine Rolle, da diese Grenzen nur eingehalten werden, wenn sie von der Gesellschaft akzeptiert werden (vgl. Hauff/Kleine 2009, 38).

Dafür ist es notwendig, dass jeder Konsument seinen individuellen Verbrauch soweit anpasst, bis er gering genug ist, um die Nachhaltigkeit der Umwelt zu verbessern (vgl. Herrmann 2010, 50). Die Konsistenz-Strategie ist besonders auf Innovationen hinsichtlich der Produktionsgestaltung angewiesen. Dabei muss die Politik notwendige Impulse geben, die nicht nur Technologieförderungen beinhalten, sondern auch auf den sozialen Bereich, beispielsweise Abfalltrennung im eigenen Haushalt, einwirken. Ein wichtiger Fokus liegt hier bei der Verträglichkeit von menschlichem und natürlichem Kapital (vgl. Hauff/Kleine 2009, 38).

10.2.2.4 Kennzahlen zur Messung der Nachhaltigkeit

Um die Effizienz der Nachhaltigkeit überprüfen zu können, werden im Voraus Ziele gesetzt, die anhand von Kennzahlen bewertet werden. Weiterhin können diese Kennzahlen dazu genutzt werden, um ähnliche Einheiten, beispielsweise Produkte, Technologien oder Firmen, hinsichtlich ihrer Leistung zum Erreichen ihrer Ziele zu bewerten und so die Ursachen von möglichen Verzögerungen herauszufinden. Des Weiteren ermöglichen es Kennzahlen, unter mehreren Alternativen die beste Lösung herauszufinden (vgl. Callens/Tyteca 1999, 42). Dabei wird für den rein ökonomischen Teil das BIP

herangezogen. Darin enthalten sind die Werte der Dienstleistungen und Produkte, die innerhalb eines Zeitraumes im Inland hergestellt wurden. Hinsichtlich der ökologischen Betrachtung reicht das BIP allerdings nicht aus, weswegen das Öko-Sozialprodukt entwickelt wurde. Dieses enthält dieselben Werte wie das BIP, allerdings werden hier alle Kosten abgezogen, die aufgewendet werden müssen, um eine Zerstörung des ökologischen Kapitals zu vermeiden oder rückgängig zu machen (vgl. Mathieu 2001, 230).

Die UGR bedient sich zur Bewertung einer anderen Systematik und fokussiert sich hauptsächlich auf den ökologischen und nur leicht auf den ökonomischen Teil. Das Ziel der UGR ist eine statistische Erfassung und Interpretation der unterschiedlichen natürlichen Zustände und der durch die Einflussnahme durch die Wirtschaft entstehenden Wechselwirkungen (vgl. Kleine 2009, 98-100).

10.3 Methodik

Dieses Kapitel beschreibt die quantitativen und qualitativen Methoden, die im Laufe dieser Arbeit angewendet wurden.

10.3.1 Quantitative Methoden

Zunächst beschränkte sich das methodische Vorgehen auf Online- und Literaturrecherche. Es wurde versucht, sich mittels Schlagwortsuche ein Überblick über die Thematik zu verschaffen. Dies geschah mit der Online-Suchmaschine google.de. Schlagwörter, die zum Finden einiger der verwendeten Quellen verholfen haben, sind „Elektromobilität Ressourcen“, „Elektromobilität Recycling“ und „Elektromobilität Energiemix“. Im Zuge dieser Recherche wurde die Arbeit des Öko-Institut e.V. mit dem Titel „Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität“ entdeckt, die sich im Verlauf der Seminararbeit als sehr hilfreich erwiesen hat. Des Weiteren stieß man hierbei auch auf den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, der die an die Elektromobilität gesetzten Ziele aus politischer Sicht zeigt. Im Grundlagenteil „Elektromobilität Grundlagen“ erweiterte sich das methodische Vorgehen auf die Literaturrecherche. Es wurde mit Hilfe von Google Books Literatur recherchiert. Schlagbegriffe waren hier „Elektromobilität“, „Elektromobilität Grundlagen“. Man versuchte neben technischen Grundlagen auch Stakeholder Ansätze von in der Wirtschaft auftretenden Akteuren zu erläutern.

Im Bereich der Nachhaltigkeit erwies sich besonders das Schlagwort der „Triple Bottom Line“, des Drei-Säulen-Modells, als sehr hilfreich. Da der Begriff der Nachhaltigkeit bereits Ende der 1980er Jahre für die heutige Zeit maßgeblich durch die Brundtland-Kommission definiert wurde, gab es zu diesem Thema in der Universitätsbibliothek eine große Menge an verwendbarer Literatur. Ein Teil der Literatur wurde via Google Books recherchiert, da nicht alle Bücher lokal vorhanden waren. Zudem wurden einige der verwendeten Quellen in Sammelbänden und Journals publiziert.

Im Gegensatz zur Nachhaltigkeit wurde der Großteil der für den Strommix relevanten Literatur online gefunden. Dies ist der erforderlichen Aktualität geschuldet, lediglich für die eingehend notwendigen Definitionen konnte Literatur in Form von Büchern verwendet werden.

Zur Thematik des Recyclings erwiesen sich sowohl die schon vorhandene Arbeit des Öko-Instituts als auch die daraus hervorgehenden Arbeiten mit den Titeln „LiBRi“ und „LithoRec“ als hilfreich. Weiterhin wurde eine Broschüre von Umicore von deren Unternehmenswebsite benutzt. Umicore als Marktführer im Recycling wurde ebenfalls in der Arbeit des Öko-Institut e.V. genannt und rückte hierdurch in das allgemeine Interesse. Man versuchte neben der grundlegenden Problematik des Recyclings von Batterien auch auf aktuelle Forschungsbemühungen einzugehen. Hierbei wurde das Wirken der Firma Umicore, sowie die Projekte LithoRec und LiBRi näher beleuchtet.

Bezüglich des Ressourcenbedarfs wurden bereits vorhandene, aber auch auf der Website des Öko-Instituts gefundene Quellen benutzt. Des Weiteren versuchte man sich durch Recherche auf Websites deutscher Tages- und Wochenzeitungen ein Bild über den aktuellen Stand der Rohstoffproblematik zu verschaffen. Neben allgemeinen Fakten zum Einsatz von Metallen und seltenen Erden, die im Fokus der Elektromobilität stehen, wurde auch die Verfügbarkeitsproblematik auf dem internationalen Markt beleuchtet. Im Fokus stand hier die Frage, bei welchen Metallen es aus welchen Gründen in naher Zukunft Probleme bei der Verfügbarkeit geben kann.

Für die Kalkulation der CO₂-Bilanz und wurden hingegen formal-deduktive Methoden benutzt. Es wurden die aktuellsten Zahlen verwendet, die entweder aus Studien stammten oder direkt von den Stromerzeugern veröffentlicht wurden. Um den durchgeführten Vergleich zwischen Elektrofahrzeugen und Verbrennungsmotoren durchführen zu können, war das Internet als Informationsquelle sehr hilfreich, da so alle benötigten Informationen,

wie beispielsweise. der Energieverbrauch eines PKW, schnell und eindeutig auffindbar waren. Weiterhin wurde eine Prognose des Erfolges der Elektromobilität durch die veröffentlichten Arbeiten der Bundesregierung erleichtert, die einen Ausblick in die Zukunft der Energieerzeugung und der daraus resultierenden CO₂-Belastung möglich machen.

10.3.2 Qualitative Methoden

Im Rahmen der qualitativen Methodik dieser Arbeit ist ein Mitte Februar 2012 durchgeführtes Experteninterview mit Herrn Dr.-Ing. Thomas Schwarz zu nennen. Herr Schwarz ist Zuständiger der Koordinierungsstelle der Industrie für Elektromobilität beim VDA in Berlin. Das Interview wurde per Telefon durchgeführt. Die Aussagen von Herrn Schwarz wurden stichpunktartig protokolliert und sind in Kapitel 4.1 zu finden.

Herr Schwarz nahm Stellung zu den in Kapitel 1.1 erläuterten Forschungsfragen und hat den Standpunkt seiner Institution erläutern können.

10.4 Auswertung

Um die in Kapitel 1.1 formulierten Forschungsfragen begründet beantworten zu können, musste die beschaffte Literatur gründlich sondiert werden. Daraus ergeben sich die in den folgenden Teilabschnitten dargelegten Ausführungen.

10.4.1 Fachgespräche

Um die Meinungen von Industrie und Umweltaktivisten zum Thema Elektromobilität einzuholen, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein ca. 15-minütiges Telefoninterview mit Dr. Thomas Schwarz vom VDA durchgeführt, der zu den erläuterten Forschungsfragen den Standpunkt seiner Organisation wiedergeben konnte. Ein Interview mit der Umweltschutzorganisation Greenpeace Deutschland wurde ihrerseits abgelehnt, jedoch wurde Informationsmaterial übermittelt, welches den Standpunkt von Greenpeace hinreichend darstellt. Im Nachfolgenden werden die teils unterschiedlichen Aussagen gegenübergestellt.

Zur zukünftigen Entwicklung der Elektromobilität verwies Herr Dr. Schwarz auf den von der Bundesregierung verabschiedeten Entwicklungsplan, der im Jahre 2030 das Ziel von sechs Millionen elektrobetriebenen Fahrzeugen im deutschen Straßenverkehr setzt. Herr

Dr. Schwarz sieht eine solche Realisierung jedoch als kritisch an. Er erwähnte dabei, dass dieser Menge neben reinen batterieelektrischen Fahrzeugen, auch Plug-In-Hybride, sowie Range-Extender-Fahrzeuge, zuzurechnen sind. Es wird sich laut VDA also eine Vielfalt von Mobilitätsangeboten durchsetzen, bei denen die reine Elektrifizierung eher auf Kurzstrecken dominant ist und der Verbrennungsmotor unter Optimierungsansätzen weiterhin relevant sei.

Greenpeace sieht diese Entwicklung ähnlich, beziffert die Verbreitung im Jahre 2030 aber auf nur 5 Millionen und erläutert weiterhin, dass dies, da es nur ca. 12% am gesamten Verkehr ausmache, unzureichend sei.

Auf die Frage, wie umweltfreundlich heutige Elektromobile hinter dem Kontext des genutzten Strommixes seien, erläuterte Schwarz, dass heutige Elektrofahrzeuge etwas besser als konventionelle Verbrenner seien. Er verweist aber gleichzeitig darauf, dass eine besonders niedrige CO₂-Bilanz nur mit regenerativen Energien erreicht werden könne.

Des Weiteren führt er an, dass durch zusätzliche Energiespeicher ein Beitrag zum Energienetz der Zukunft geleistet werden kann, da mehr Speichermöglichkeit durch Volatilität gegeben sei. Die Automobilindustrie bekenne sich dazu, Voraussetzungen für gesteuertes Laden zu schaffen, die nach dem Prinzip des Vehicle-to-Grid funktionieren.

Greenpeace sieht diesen Sachverhalt deutlich kritischer. Sie vertreten den Standpunkt, dass Elektroautos bis 2020 für den Klimaschutz nahezu irrelevant und damit als kurzfristige Klimaschutzstrategie ungeeignet seien, da ihre CO₂-Emissionen bei gleichwertigen Modellen genauso hoch oder gar höher seien, als dies bei konventionellen Verbrennungsmotoren der Fall sei. Greenpeace lehnt, außer für Forschungs- und Entwicklungszwecke, die Verwendung von konventionellem Strom für Elektromobilität ab und verweist auf Strom aus regenerativen Quellen. Das Prinzip des Vehicle-to-Grid wird aber auch von Greenpeace gutgeheißen.

Zum Mehrbedarf an seltenen Erden, der zur Produktion von Bauteilen der Elektromobilität benötigt wird, gab Schwarz an, dass kein Mangel an Vorkommen seltener Erden bestehe, sondern dass lediglich deren Verfügbarkeit problematisch sei. Der Abbau dieser Rohstoffe werde nur in wenigen Ländern, darunter oft politisch instabilen Regionen, vorangetrieben. Zudem besitze China ein Handelsmonopol, was in Zukunft zu Wettbewerbsverzerrungen führen könne. Er betont daher die Wichtigkeit eines freien Wettbewerbs, der die Versorgung des deutschen Markts garantiere. Der zukünftige Bedarf kritischer Metalle

hänge zudem von den Technologien ab, die sich durchsetzen werden. Dies sei momentan aber noch nicht vorhersehbar.

Greenpeace fordert zum Thema seltener Erden eine Minimierung des Rohstoffeinsatzes, nimmt zur Problematik der Verfügbarkeit jedoch keine Stellung.

Was das Recycling der Bauteile von Elektrofahrzeugen betrifft sieht Schwarz keine Probleme, da Recycling selbst ein Thema sei, das in der Automobilindustrie hinlänglich erforscht ist und im Falle konventioneller Techniken angewendet werde. Man werde demnach versuchen, die angewandten Techniken auf die neuen Herausforderungen zu übertragen, um so wertvolle Elemente wiederverwenden zu können. Nichtsdestotrotz müssen, so Schwarz, neue Verfahren und Recyclingstrategien entwickelt werden, die jetzt schon in Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu berücksichtigen sind. Er führt weiterhin an, dass in den nächsten Jahren noch nicht sehr viele Elektroautos recycelt werden müssen und nennt Zahlen von einer Millionen Fahrzeugen bis 2020 und sechs Millionen bis 2030. Greenpeace sieht die bis dato noch nicht entwickelten Recyclingstrategien kritischer und fordert die Etablierung von Recyclingstrategien, die das vollständige Recycling der verwendeten Bauteile realisieren.

10.4.2 Strommix

Ein wichtiger Faktor für den Erfolg der Elektromobilität ist der Energieverbrauch der Elektrofahrzeuge. Der Elektroantrieb wird von den jeweiligen Herstellern als emissionsfrei propagiert, was allerdings nur auf das Fahren an sich betrachtet korrekt ist. Denn durch die neue Technologie wird der Schadstoffausstoß lediglich vom Auto hin zur Produktion der benötigten Elektrizität verschoben. Für eine sauberere Umwelt ist es daher erforderlich, bei der Bruttostromerzeugung, die auch als Strommix bezeichnet wird, vermehrt Energie aus regenerativen Quellen zu verwenden (vgl. Arnold et al. 2010, 45). Als Strommix wird die Zusammensetzung der Energieversorgung aus den verschiedenen Formen der Primärenergie, den Energieträgern, bezeichnet. Dabei wird auch der Eigenbedarf der Kraftwerke betrachtet (vgl. o.V. 2009b, 53). Derzeit setzt sich der Strommix im Jahr 2011 in Deutschland, wie in Abbildung 70 gezeigt, zusammen. Der Definition nach kann Energie nicht verbraucht werden, es findet nur der Übergang von einer Energieform in eine andere statt. Diese Formen heißen Primärenergie, Sekundärenergie und Nutzenergie. Als Primärenergie werden Rohstoffe bezeichnet, die in der Grundform in der Natur

vorkommen, wie beispielsweise Wasser, Wind und Braunkohle. Als Sekundärenergie wird die veredelte Primärenergie bezeichnet, die so zum Endverbraucher transportiert wird. Dazu gehört unter anderem Benzin oder Heizöl. Diese Sekundärenergie wird dann mit einem Energiewandler, z.B. Heizung, in Nutzenergie umgewandelt. Dazu gehören Wärme, Licht und Kraft (vgl. Ullmann 2009, 62).

In Deutschland wurden 2011 insgesamt über 614 TWh an elektrischer Energie produziert. Dabei entfielen 153 TWh auf Braun- und 114,5 TWh auf Steinkohle. 108 TWh wurden von Kernkraftwerken produziert, gefolgt von aus Erdgas gewonnener Elektrizität mit 84 TWh. Mineralölprodukte hatten mit 7 TWh nur einen sehr geringen Anteil an der Bruttostromerzeugung. Zu den sonstigen Energieträgern zählen unter anderem Heizöl und Pumpspeicher, mit denen 26 TWh Energie erzeugt wurden. Mit erzeugten 122 TWh stellten die erneuerbaren Energien den drittgrößten Anteil am gesamtdeutschen Strommix (vgl. o.V. 2012b, 1).

Bruttostromerzeugung 2011

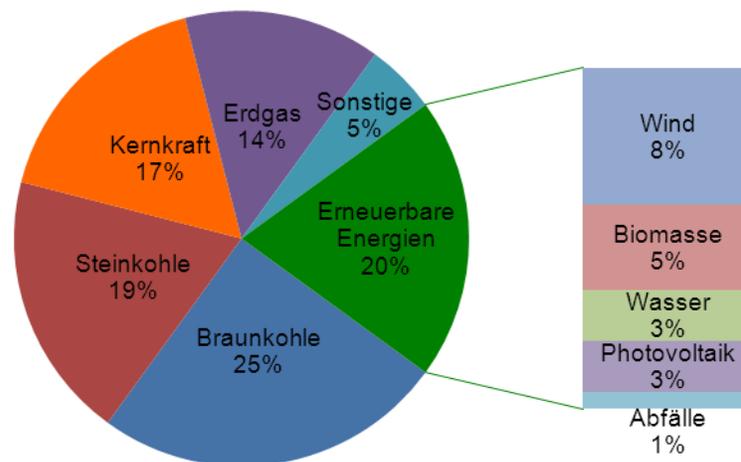


Abbildung 70 : Strommix Deutschland 2011

(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an o.V. 2011d, 1)

Wie in Abbildung 70 zu sehen ist, haben die erneuerbaren Energien mit 19,9% bereits einen gewissen Anteil an der Energieversorgung in Deutschland, was positiv für die CO₂-Bilanz ist. Bezüglich der Elektromobilität ist dies ein wichtiges Kriterium, da, wie in Kapitel 1 bereits erwähnt, die Umweltfreundlichkeit der Elektroautos nur bei umweltfreundlichem

Strom gegeben ist. Allerdings haben besonders Stein- und Braunkohle, die Haupterzeuger von CO₂ bei der Energieproduktion (vgl. Fritsche 2007, 7), mit knapp 44% immer noch den größten Anteil an der Stromerzeugung.

10.4.2.1 CO₂-Bilanz

Bei der CO₂-Bilanz ist die CO₂-Intensität eine wichtige Kennzahl, um die Umweltfreundlichkeit des jeweiligen Energieträgers zu bestimmen. Diese Kennzahl führt an, wie viel Kohlendioxid bei der Erzeugung des Stroms anfällt. Bei der Stromerzeugung wird die Einheit „Gramm CO₂ pro Kilowattstunde“ (g CO₂ / kWh) verwendet. Allerdings bezieht sie sich lediglich auf die bei der Verbrennung des Energieträgers anfallende Belastung, ohne auf das bei der Rohstoffgewinnung, dem Transport und der Aufbereitung freigesetzten CO₂ einzugehen. Da bei der Stromerzeugung per Kernkraft oder Nutzung der erneuerbaren Energien kein CO₂ freigesetzt wird, muss diese andere Art der CO₂-Freisetzung ebenfalls berücksichtigt werden, da ansonsten ein falsches Bild der Umweltfreundlichkeit der jeweiligen Energieträger entstehen könnte (vgl. Lübbert 2005, 5).

CO₂ in 2011

Bei dem 2011 in Deutschland aufgetretenen Strommix entstanden nach der in Abbildung dargestellten Kalkulation ca. 308,6 Megatonnen, also über 308 Millionen Tonnen CO₂. Bei insgesamt erzeugten 614,5 TWh elektrischer Energie wurden ca. 502 g / kWh CO₂ emittiert. Den größten Anteil an der Kohlenstoffdioxidbelastung haben hierbei erwartungsgemäß die fossilen Energieträger. Ca. 90% der CO₂-Emissionen resultieren aus der Verbrennung von Stein- und Braunkohle, obwohl diese nur für 44% der in Deutschland erzeugten Energie verantwortlich waren.²⁰

CO₂ bis 2050

Nicht nur die limitierte Verfügbarkeit von Energieträgern wie Kohle hat zu einem Umdenken in der Politik und der Energieproduktion geführt. Auch der seit langem vorherrschende Treibhauseffekt und der daraus resultierenden globalen Erwärmung haben dazu beigetragen. Daher haben es sich die UN-Mitgliedsstaaten im Rahmen der UN-Klimarahmenkonvention zur Aufgabe gemacht, unter anderem den CO₂-Ausstoß soweit zu mindern, dass eine globale Erwärmung von mehr als 2° Celsius ausgeschlossen werden

²⁰ Dieser Kalkulation liegen die in Abbildung 70 verwendeten Daten zugrunde.

kann (vgl. Klaus et al. 2010, 10). Dazu sollen die Treibhausemissionen bis 2020 um 40% im Vergleich zu 1990 gesenkt werden (vgl. Friedl 2011, 8). Das in Deutschland emittierte CO₂ stammt zu mehr als zwei Dritteln aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern. Den größten Anteil daran haben sowohl der Straßenverkehr als auch die Energieerzeugung (vgl. Bode et al. 2007, 11). Daher ist es in beiden Bereichen notwendig, langfristig möglichst CO₂-neutrale Methoden zu verwenden, um den CO₂-Ausstoß weiterhin zu senken. Bis 2020 sollen in Deutschland daher erneuerbare Energien 35% der Stromerzeugung ausmachen. Bereits 2030 soll die Hälfte der in Deutschland produzierten Energie erneuerbarer Herkunft sein. Deren Anteil soll bis spätestens Ende des Jahres 2050 auf 80% gestiegen sein (vgl. Klaus et al. 2010, 4). Ein weiterer Schritt, dieses Ziel zu erreichen, ist der für 2022 festgelegte Ausstieg aus der Atomenergie.

10.4.2.2 Emissionen im Vergleich

Zur Überprüfung der CO₂ Emissionen hinsichtlich der Nachhaltigkeit der Elektromobilität, wurden Modelle des BMW Mini und des „smart fortwo“ verglichen. Für eine bessere Vergleichsmöglichkeit wurden nur PKW ausgewählt, die sowohl mit Elektromotoren als auch mit Verbrennungsmotoren erhältlich sind. Alle Modelle mit Verbrennungsmotoren können entweder mit Diesel oder Superbenzin betrieben werden. Allen Elektromodellen ist gemeinsam, dass sie ausschließlich mit einem Elektroantrieb ausgerüstet sind und nicht der Klasse der Hybridfahrzeuge zugeordnet werden.

Für die zur Kalkulation verwendeten Verbrauchsdaten wurden die Werksangaben der jeweiligen Hersteller übernommen. Diese entsprechen nicht dem realen Verbrauch der einzelnen Fahrzeuge, jedoch ist so dennoch eine faire Beurteilung des CO₂-Ausstoßes der jeweiligen Modelle gegeben, da nur offizielle Daten verwendet wurden.

Bundesweiter Strommix

Der in Deutschland verwendete Strommix wurde in Kapitel 4.2 dargelegt. Anhand der in Abbildung 78 (Anhang) durchgeführten Kalkulation entstanden dabei ca. 503 g CO₂ / kWh. Mit diesem Wert wurden die CO₂-Emissionen der einzelnen Elektrofahrzeuge pro km kalkuliert und in Relation zu den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren gesetzt. Der kombinierte Verbrauch bezieht sich dabei auf eine zurückgelegte Strecke von 100 km.

Daten	eMini	Mini One	Mini One D
Leistung	150 kW	72 kW	66 kW
Kombinierter Verbrauch	15 kWh	5,4 l	3,8 l
CO ₂ Emissionen	75,4 g CO ₂ / km	127 g CO ₂ / km	99 g CO ₂ / km

Abbildung 71 : Vergleich der CO₂-Emissionen Mini

(Quelle: eigene Darstellung)

Daten	fortwo e	fortwo	fortwo cdi
Leistung	20 kW	45 kW	40 kW
Kombinierter Verbrauch	12 kWh	4,2 l	3,3 l
CO ₂ Emissionen	60,4 g CO ₂ / km	98 g CO ₂ / km	87 g CO ₂ / km

Abbildung 72 : Vergleich der CO₂-Emissionen smart fortwo

(Quelle: eigene Darstellung)

Die zur Berechnung verwendeten Werte beziehen sich auf den bundesdeutschen Durchschnitt. Da jedoch ein Großteil des angebotenen Stroms in Deutschland von E.ON, RWE, Vattenfall und EnBW produziert wird (vgl. o.V. o.J.b, 1), ist es unwahrscheinlich, dass die einzelnen PKW mit Strom betrieben werden, dessen CO₂-Bilanz der des durchschnittlichen Strommixes entspricht. Aufgrund der unterschiedlichen Anteile der Energieträger bei der Stromerzeugung der einzelnen Produzenten, kommt es bei dem CO₂-Ausstoß zu erheblichen Unterschieden.

Daten	RWE	EnBW	Vattenfall
g CO ₂ / kWh	736	327	644,2

Abbildung 73 : CO₂-Emissionen herkömmlicher Stromproduzenten

(Quelle: eigene Darstellung)

Da E.ON keine verlässlichen Informationen zu der Stromkennzeichnung des Gesamtkonzernes in Deutschland zur Verfügung stellt, wird E.ON bei der folgenden Fallunterscheidung nicht betrachtet.

Neben den konventionellen Stromerzeugern existieren in Deutschland einige Produzenten, die sich auf erneuerbare Energien spezialisiert haben.

Daten	LichtBlick	Greenpeace Energy	Naturstrom
g CO ₂ / kWh	39	37,35	31,9

Abbildung 74 : CO₂-Emissionen ökologischer Stromproduzenten

(Quelle: eigene Darstellung)

Fallunterscheidung

Zur Kalkulation des CO₂-Ausstoßes wurden die in Abbildung 79 dargestellten Daten verwendet.

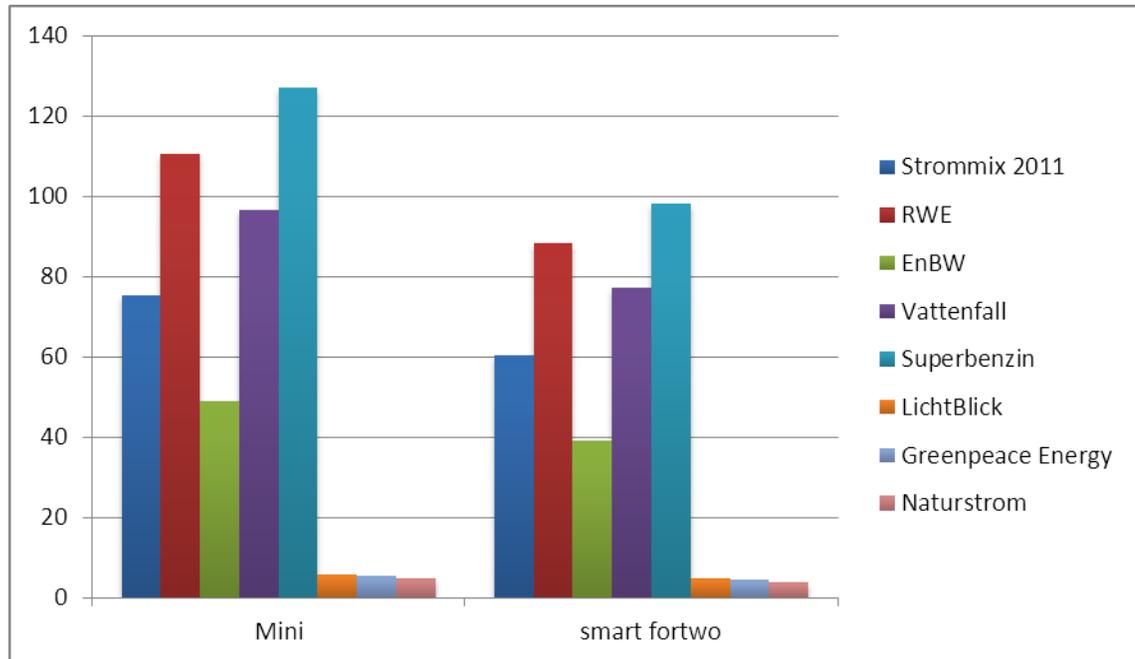


Abbildung 75 : CO₂-Emissionen nach Anbietern

(Quelle: eigene Darstellung)

10.4.2.3 Nachhaltigkeit

Hinsichtlich der Nachhaltigkeit ist ein Erfolg der Elektromobilität stark von der Energieerzeugung abhängig. Zwar ist bereits heute die CO₂-Emission auch bei der Verwendung von nicht ökologischem Strom, wie beispielsweise von RWE, geringer als bei Verbrennungsmotoren, allerdings sind die Automobilhersteller dazu verpflichtet, bis 2020 den CO₂-Ausstoß ihrer Fahrzeuge auf 95 g / km zu reduzieren (vgl. Friedl 2011, 9). Mit dem von RWE verwendeten Strommix können nicht einmal die derzeitigen Elektroautos diesen Wert erreichen. Daher ist es für die Zukunft unabdinglich, den Ausbau der erneuerbaren Energien weiter zu forcieren, um die ökologische Nachhaltigkeit der

Elektromobilität zu gewährleisten. Das EEG ist hierfür ein wichtiger Schritt, da es, wie in Kapitel 4.2.1 dargelegt, die langfristige Umstellung der Energieerzeugung auf erneuerbare Energien erfordert. Um den CO₂-Ausstoß jedoch langfristig zu verringern, sind die von der Bundesregierung angestrebten sechs Millionen Elektrofahrzeuge im Jahr 2030 (vgl. o.V. 2009b, 18), nur auf den verkehrsbedingten Ausstoß betrachtet, wahrscheinlich nicht ausreichend.

Alles in allem besitzt die Elektromobilität ein sehr großes Potential, die Automobilwelt und auch die Welt als Ökosystem positiv zu beeinflussen. Bereits heute kann bei der Verwendung von rein ökologisch erzeugtem Strom der CO₂-Ausstoß um ein vielfaches gesenkt werden. Mit dem ambitionierten Ziel, bis 2050 mehr als 80% der Energie aus erneuerbaren Quellen zu beziehen, ist die Zukunft der Elektromobilität sehr gut. Bereits heute werden Elektroautos von dem Großteil der Gesellschaft als ökologisch wertvoll betrachtet (vgl. Arnold et al. 2010, 11). Mit einem steigenden Anteil an regenerativer Energie am Strommix ist davon auszugehen, dass der Anteil der Befürworter der Elektromobilität weiter steigt.

10.4.3 Recycling

Die Etablierung von umweltschonenden und kostengünstigen Recyclingstrategien zur Wiedergewinnung von Rohstoffen, die die mittel- und langfristige Versorgung der Komponenten der Batterietechnik von Elektrofahrzeugen sicherstellen, sind ein wichtiger Schritt zur Realisierung dieses Mobilitätskonzeptes. Weiterhin offenbart sich auf diesem Gebiet ein großer Bedarf in den kommenden Jahrzehnten, da durch die flächendeckende Benutzung der Elektromobilität in Europa mit einer Kapazität von mehreren tausend Tonnen Batteriematerial zu rechnen ist (vgl. Treffer 2011, 9-10).

Das Recycling wiederaufladbarer Batterien ist eine Primärquelle wichtiger Metalle. Es vermeidet den Abbau von Naturressourcen und ist die größte Quelle von Kobalt und Nickel in Europa (vgl. o.V. 2010c, 3). Des Weiteren setzt die EU-Direktive 2006/66/EC, die auch als Batterie-Direktive bekannt ist, klare Richtlinien in Bezug auf den Wiedergewinnungsfaktor beim Recyclingprozess. Länder wie die USA und Kanada nehmen sich diese Direktive als Vorbild für ihre Recyclingbemühungen (vgl. o.V. 2010c, 3). Aufgrund der erst bevorstehenden Markteinführung der Elektromobilität existieren bislang keine Sammel- und Rückführkonzepte, sowie passende Recyclingstrategien für

Lithium-Ionen Batterien. Bisherige Verfahren richten sich auf den Wiedergewinnungsprozess der in der Elektronikindustrie genutzten Lithium-Ionen Batterien, arbeiten jedoch mit zu geringen Rückgewinnungsquoten der Metalle und liefern ein nur unzureichendes Ergebnis bezüglich der Lithiumwiedergewinnung (vgl. Buchert et al. 2011a, 5). Das Ziel der EU ist es, eine Recyclingeffizienz von 50% zu erreichen (o.V. 2010c, 4).

Es existiert bereits eine Reihe von vielversprechenden Recyclingpraktiken für wertvolle Metalle, die heute schon Anwendung finden. Ein Beispiel ist die Wiedergewinnung von Edelmetallen aus Abgaskatalysatoren. Trotz der betriebenen Forschung und praktischen Erfahrung ist jedoch keine Lösung zum Recycling von Elektrotraktionsbatterien für die kommenden Generationen von Elektrofahrzeugen entwickelt worden. Gängige Vorgehen können nicht einfach übernommen werden, da aufgrund des hohen Gewichts und der Menge an gespeicherter Energie spezielle Vorbehandlungen nötig sind, die es erst erlauben, die Batterie sicher zu entladen und effiziente Prozesse des Recyclings möglich machen (vgl. Treffer 2011, 9).

Akkumulatoren für Elektro- und Hybridfahrzeuge, die Bestandteil der momentanen Forschung und Entwicklung sind, stellen einen Verbund vieler Bauteile, wie Elektronik, Hülle und Kühlung, dar. Aufgrund dieser heterogenen Zusammensetzung sind Prozessstabilität, Kosteneffizienz und ein hoher Faktor wiedergewonnener Stoffe derzeit nicht realisierbar.

Vorrangig sind die Metalle Kobalt, Nickel und Lithium Bestandteil einer Batterie. Die Gewinnung erfolgt vorwiegend aus Primärrohstoffen. Die Sekundärgewinnung ist bisher auf Batterien aus portablen Anwendungen beschränkt und ist für den Masseneinsatz als Energiespeicher für leistungsfähige Akkumulatoren nicht ausreichend. Diese Tatsache macht eine Rückgewinnung dieser Metalle im großindustriellen Stil nötig, um deren langfristige Versorgung zu sichern (vgl. Treffer 2011, 10).

10.4.3.1 LithoRec

LithoRec ist ein vom BMU gefördertes Projekt, dessen Leitung ein Konsortium mit Partnern aus Wirtschaft und Forschung übernommen hat. Dabei zielt das Projekt auf einen besonderen Grad der Nachhaltigkeit ab. Zum einen hat das Recycling der Bestandteile des Akkumulators einen großen Stellenwert, zum anderen soll der Lebenszyklus

recyclingfreundlicher gestaltet werden (vgl. o.V. o.J.a, 1). Dabei wurde darauf geachtet, die Recyclingverfahren möglichst für alle existierenden Varianten der Elektroautomobile zu gestalten. Das Projekt wurde vom 1. September 2009 bis zum 30. September 2011 durchgeführt und danach vom Öko-Institut e.V. hinsichtlich der Ökobilanz überprüft.

Für die Lithium-Ionen-Traktionsbatterien wurden mit Nickel-Mangan-Kobalt und Lithium-Eisen-Phosphat die beiden am häufigsten verwendeten Kathodentypen betrachtet. Bei dem Recycling beider Typen konnten gute Rückgewinnungsraten der jeweiligen Materialien erreicht werden. Durch den unterschiedlichen Aufbau der Batterietypen kommt es zu verschiedenen Rückgewinnungsraten beim Recycling. Beide Bauformen haben gemeinsam, dass die Materialien, die nicht zur Batteriezelle selbst gehören, mithilfe bereits existierender Vorgehensweisen sehr effizient recycelt werden können (vgl. Buchert et al 2011a, 97). Bei diesen Materialien wird eine Recyclingeffizienz von mindestens 90% erreicht (vgl. Buchert et al 2011a, 31). Während bei Batterien des Typs Lithium-Eisen-Phosphat baubedingt nur Lithiumhydroxid aus den Batteriezellen zurückgewonnen werden kann, werden bei Nickel-Mangan-Kobalt-Batterien zusätzlich hohe Rückgewinnungsraten bei Kobalt, Nickel und Mangan erzielt (vgl. Buchert et al. 2011a, 97).

10.4.3.2 LiBRi

Auch die Lithium-Ionen Batterierecycling Initiative ist ein vom BMU gefördertes Projekt. Im Gegensatz zu LithoRec, das ein hydrometallurgisches Verfahren, also der Zuhilfenahme von Wasser für die Trennung der Metalle, verwendet, wird bei LiBRi das pyrometallurgische Verfahren angewendet (vgl. Buchert et al. 2011a, 5). Hierbei werden die Materialien durch Erhitzung voneinander getrennt. Zusätzlich zu LithoRec wird als dritter Typ Nickel-Kobalt-Aluminium der Analyse hinzugefügt. Im Gegensatz zu LithoRec werden die Typen nicht einzeln betrachtet, sondern im Verhältnis von 35% NMC, 35% NCA und 30% LFP (vgl. Buchert et al. 2011b, 31). Hinsichtlich der nicht zu den Batteriezellen gehörigen Bauteile wird auch hier eine Effizienz über 90% erreicht. Bei dem Recycling der Zellen hingegen ist die Erfolgsquote der Metalle nur als gemäßigt zu bezeichnen (vgl. Buchert et al. 2011b, 81).

10.4.3.3 Umicore

Umicore hat das erste umweltfreundliche Recyclingverfahren entwickelt, das die Wiedergewinnung der in Lithium-Ion-, Lithium-Polymer- und Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren enthaltenen Bestandteile unterstützt. Bisherige Verfahren waren nicht in der Lage wichtige Metalle wiederzugewinnen, sondern minimierten nur die auftretenden Umweltbelastungen beim Recycling. Umicore betreibt eine neu eingerichtete Recyclingfabrik in Hoboken in Belgien, um dem zukünftigen Bedarf an End-of-Life-Batterien gerecht zu werden.

Die hier angewendeten CO₂-freundlichen und energiesparenden Verfahren zeichnen sich durch hohe Effizienz und eine hohe Qualität des Recyclingprodukts aus. Außerdem werden eine logistische Unterstützung und ein Komplettrecycling gewährleistet, das beispielsweise auch Plastikkomponenten beinhaltet.

Die Primärquellen für Metalle in Europa sind selten. Durch Recycling werden die Abhängigkeiten durch exportierende Länder gemindert. Außerdem ist hervorzuheben, dass der ökologische Fußabdruck durch Recyclingverfahren geringer ist, als er beim Abbau von Primärquellen ist. Beispielsweise entstehen beim Recycling von Nickel und Kobalt nur ein Drittel der CO₂-Emissionen, wie sie beim Abbauprozess entstünden (vgl. o.V. 2010c, 4).

10.4.3.4 Karosserierecycling

Aufgrund des hohen Gewichts der neuartigen Batterien müssen sich auch die Karosserien der neuen Elektromobile ändern, um durch ein niedriges Gesamtgewicht eine akzeptable Reichweite des Autos zu erreichen. Daher werden die Hersteller in Zukunft auf Leichtbau setzen und Materialien wie Karbon oder Basalt verwenden (vgl. Arnold et al. 2010, 38). Durch die vermehrte Verwendung von Kunststoffen zur Gewichtsreduktion wird das Recycling der Karosserie erschwert, da die einzelnen Werkstoffe noch nicht komplett wiederverwertbar gemacht werden können. Verfahren, die dieses ermöglichen sollen, sind allerdings bereits in der Entwicklung (vgl. Linder 2010, 57).

Bei den verwendeten Reifen hingegen können die bereits bewährten Recyclingmethoden verwendet werden. So kann das Know-how weiter verwendet werden und kosten- und zeitintensive Neuentwicklungen müssen nicht durchgeführt werden.

10.4.4 Seltene Erden

Fahrzeuge, die unter dem Konzept der Elektromobilität zusammengefasst werden, bestehen aus speziellen Komponenten und Bauteilen, die bisher nicht in der Automobilindustrie verbaut wurden. Zur Herstellung dieser Bauteile ist eine Vielzahl von Rohstoffen nötig (vgl. Friedl 2011, 38).

In einer Untersuchung des Öko-Institut e.V. wurden 56 Metalle in Zusammenhang mit der Herstellung von Elektrofahrzeugen gebracht. Hierbei wurden Massenmetalle, sowie Stoffe, denen keine hohe Verfügbarkeitsrelevanz- oder Problematik zugerechnet wird, nicht betrachtet (vgl. Buchert et al. 2011c, 22).

Abbildung 76 gibt anhand des Periodensystems der Elemente eine Übersicht über diese Metalle.

I	II	Hauptgruppen des Periodensystems										III	IV	V	VI	VII	VIII	Schale							
1,0079 H 1 Wasserstoff																		4,00260 He 2 Helium	K						
6,941 Li 3 Lithium	9,01218 Be 4 Beryllium																	10,81 B 5 Bor	12,011 C 6 Kohlenstoff	14,0067 N 7 Stickstoff	15,9994 O 8 Sauerstoff	18,9984 F 9 Fluor	20,179 Ne 10 Neon	L	
22,9898 Na 11 Natrium	24,304 Mg 12 Magnesium	Nebengruppen										26,9815 Al 13 Aluminium	28,0855 Si 14 Silizium	30,9738 P 15 Phosphor	32,06 S 16 Schwefel	35,453 Cl 17 Chlor	39,948 Ar 18 Argon	M							
		IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa		VIIIa		Ia	IIa														
39,098 K 19 Kalium	40,08 Ca 20 Calcium	44,956 Sc 21 Scandium	47,88 Ti 22 Titan	50,94 V 23 Vanadium	51,996 Cr 24 Chrom	54,938 Mn 25 Mangan	55,847 Fe 26 Eisen	58,933 Co 27 Kobalt	58,69 Ni 28 Nickel	63,546 Cu 29 Kupfer	65,39 Zn 30 Zink	69,72 Ga 31 Gallium	72,64 Ge 32 Germanium	74,922 As 33 Arsen	78,96 Se 34 Selen	79,904 Br 35 Brom	83,80 Kr 36 Krypton	N							
85,468 Rb 37 Rubidium	87,62 Sr 38 Strontium	88,906 Y 39 Yttrium	91,224 Zr 40 Zirkon	92,906 Nb 41 Niob	95,94 Mo 42 Molybdän	⁽⁹⁹⁾ 101,07 Tc 43 Technetium	101,07 Ru 44 Ruthenium	102,906 Rh 45 Rhodium	106,42 Pd 46 Palladium	107,868 Ag 47 Silber	112,41 Cd 48 Cadmium	114,82 In 49 Indium	118,710 Sn 50 Zinn	121,75 Sb 51 Antimon	127,60 Te 52 Tellur	126,905 I 53 Jod	131,29 Xe 54 Xenon	O							
132,905 Cs 55 Cäsium	137,33 Ba 56 Barium	57 bis 71 Lanthaniden	178,49 Hf 72 Hafnium	180,948 Ta 73 Tantal	183,85 W 74 Wolfram	186,207 Re 75 Rhenium	190,2 Os 76 Osmium	192,22 Ir 77 Iridium	195,08 Pt 78 Platin	196,967 Au 79 Gold	200,59 Hg 80 Quecksilber	204,383 Tl 81 Thallium	207,2 Pb 82 Blei	208,980 Bi 83 Bismut	⁽²⁰⁹⁾ 209 Po 84 Polonium	⁽²¹⁰⁾ 210 At 85 Astatin	⁽²²²⁾ 222 Rn 86 Radon	P							
⁽²²³⁾ 87 *Fr Francium	⁽²²⁶⁾ 88 *Ra Radium	89 bis 103 Actiniden	⁽²⁶¹⁾ 104 *Ku Kurchatowium	⁽²⁶²⁾ 105 *Ha Hahnium	⁽²⁶³⁾ 106 *Unh Unbihennium	⁽²⁶²⁾ 107 *Uns Unseptium												Q							

Lanthaniden	138,906 57 Lanthan	140,12 58 Cer	140,908 59 Praseodym	144,24 60 Neodym	⁽¹⁴⁵⁾ 61 Promethium	150,36 62 Samarium	151,96 63 Europium	157,25 64 Gadolinium	158,925 65 Terbium	162,50 66 Dysprosium	164,930 67 Holmium	167,26 68 Erbium	168,934 69 Thulium	173,04 70 Ytterbium	174,967 71 Lutetium
Actiniden	227,028 89 Actinium	232,038 90 Thorium	231,036 91 Protactinium	238,029 92 Uran	237,048 93 Neptunium	⁽²⁴⁴⁾ 94 Plutonium	⁽²⁴³⁾ 95 Americium	⁽²⁴⁷⁾ 96 Curium	⁽²⁴⁷⁾ 97 Berkelium	⁽²⁵¹⁾ 98 Californium	⁽²⁵²⁾ 99 Einsteinium	⁽²⁵⁷⁾ 100 Fermium	⁽²⁵⁸⁾ 101 Mendelevium	⁽²⁵⁹⁾ 102 Nobelium	⁽²⁶⁰⁾ 103 Lawrencium

Abbildung 76 : Übersicht der für die Elektromobilität relevanten Metalle

(Quelle: Buchert 2011c, 22)

Ein besonders hoher Bedarf der Produktion besteht bei den seltenen Erden Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium, sowie bei Gallium, Lithium und Kobalt.

Diese vier seltenen Erden werden vor allem zur Herstellung von Permanentmagneten benötigt, die ein Bauteil des Motors von Elektrofahrzeugen sind, was zu einer hohen Priorisierung dieser Metalle führt. Ausschlaggebend für den Grad der Priorisierung sind vor allem der steigende Materialbedarf, aber auch konkurrierende Anwendungen. Die seltenen Erden entsprechen beiden Kriterien in hohem Maße, da sie in Elektrofahrzeugen zum Einsatz kommen, aber auch für beispielweise Windkraftanlagen unerlässlich sind. Das Problem des gesamtwirtschaftlichen Bedarfs führt ebenfalls zu einer hohen Priorisierung von Indium, Germanium, Gold, Silber, Platin, Palladium, Ruthenium und Kupfer, deren Materialbedarf zwar verhältnismäßig gering ist, jedoch in anderen aufsteigenden Technologien zum Einsatz kommt. Beispielsweise wird Indium zur Herstellung von Photovoltaik-Anlagen verwendet und besitzt zudem ein geringes Potential als Minor-Metall (vgl. Buchert 2011c, 22-23).

Der Abbauprozess von seltenen Erden gestaltet sich schwierig, da sie aufgrund ihrer geochemischen Eigenschaften nur weit verstreut und in geringen Mengen als Beimischung anderer Mineralien vorliegen. Ihre industrielle Gewinnung geschieht so vermehrt als Nebenprodukt anderer Stoffe und die Trennung ist mit hohem Aufwand und Kosten verbunden (vgl. Flinn et al. o.J., 1).

Hinzu kommt, dass seltene Erden momentan nur in wenigen Ländern der Welt verfügbar sind und in noch weniger Ländern gefördert werden. China hält derzeit 97% des Marktanteils, dahinter weit abgeschlagen Indien mit zwei Prozent. Abbildung 77 zeigt die Werte der Primärproduktion in Tonnen für wichtige Metalle der Elektromobilität.

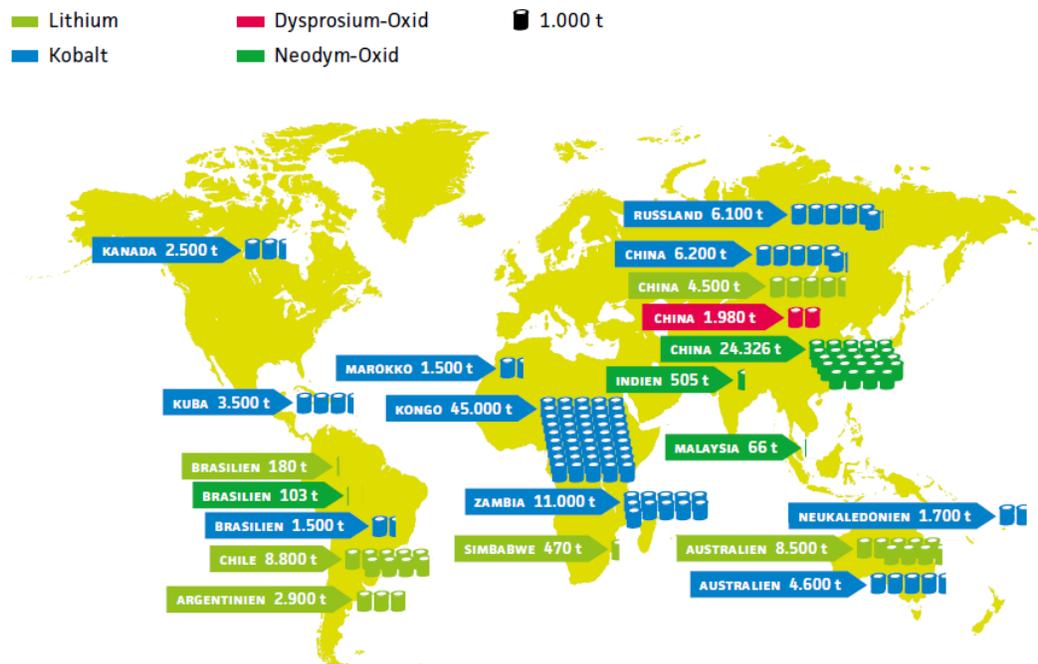


Abbildung 77 : Übersicht der Abbauggebiete kritischer Metalle
 (Quelle: Friedl 2011, 39)

Unter dem knappen Angebot, verbunden mit der jedoch stetig wachsenden Nachfrage, steigen damit die Preise für seltene Erden drastisch an. Vervielfachten sich die Preise seit Sommer 2010 um das zehnfache bis fünfzehnfache, geht man bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover davon aus, dass sich diese Entwicklung fortsetzen wird und die Nachfrage das Angebot im Jahre 2015 übersteigen könnte (vgl. Friedl 2011, 38).

Hinzu kommt, dass China sein Angebot an seltenen Erden mindert, um den Preis hierdurch künstlich in die Höhe zu treiben. Chinesische Unternehmen, die seltene Erden fördern, sollen verstaatlicht werden, womit China sein Monopol noch stärker kontrollieren will (vgl. Lee 2011, 2).

Der japanische Automobilhersteller Toyota befürchtet durch die Drosselung der Exporte seltener Erden und den damit verbundenen Preisanstieg eine Beeinträchtigung der Expansionsvorhaben von Hybridfahrzeugen (vgl. Flinn et al. o.J., 2).

Dieser Herausforderung ebenfalls gegenüberstehend sah sich die EU veranlasst, 14 Metalle und Mineralien zu definieren, deren Relevanz für die Elektromobilität hoch ist, der Grad der Verfügbarkeit hingegen entsprechend gering.

Auch im Förderprogramm OPTUM des BMU nahm man sich dieser Problematik an, indem man 13 kritische Metalle auf ihre Verwendung und Ressourcenverfügbarkeit hin untersucht hat (vgl. Friedl 2011, 38).

Im hier veröffentlichten Abschlussbericht spricht man von einer hohen Relevanz der bereits erwähnten seltenen Erden. Ein besonders hoher Bedarfsanstieg wird bei Dysprosium entdeckt. Unter Berücksichtigung der globalen Marktszenarien von McKinsey (2009) spricht man hier von einem Mehrbedarf an Dysprosium von 482% der heutigen Gesamtproduktion im Basisszenario. In Bezug auf andere Szenarien liegt dieser bei 287% (Innovationsszenario), 191% (Recyclingszenario) sowie 71% (Substitutionsszenario), was immer noch durchaus kritisch zu betrachten ist.

Die Primärproduktion von Dysprosium geht mit einer hohen Umweltbelastung einher, da eine Vielzahl der Erzvorkommen mit radioaktiven Nukliden belastet ist. Einen Ansatz zur Umweltentlastung bietet hier Recycling (vgl. Zimmer 2011, 32).

Die deutsche Industrie begegnet den Rohstoffengpässen mit einer „Allianz zur Rohstoffsicherung“. Namhafte Unternehmen wie ThyssenKrupp, Evonik und BASF wollen unter hohen Investitionen von insgesamt einer Milliarde Euro die Entdeckung von Rohstoffvorkommen und Abbauprojekte vorantreiben. Die Allianz ist weiterhin offen für Zutritte (vgl. El-Sharif 2012, 1).

10.5 Fazit

Das Fazit zielt darauf ab, unter den in der Auswertung gewonnenen Erkenntnissen eine Antwort auf die Forschungsfragen zu geben. Besondere Wichtigkeit haben hier eine möglichst objektive und rationale Sicht- und Denkweise.

Die Untersuchungen dieser Arbeit zeigen vor allem zwei Dinge: Zum einen bietet das Konzept Elektromobilität schon heute gute Ansätze zur umweltfreundlichen Fortbewegung. Zum anderen besteht noch viel Potential in dieser Technologie, das vor allem durch zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeit ausgeschöpft werden muss.

Die Elektromobilität an sich kann bezüglich der Nachhaltigkeit gut anhand der in Kapitel 2.2.1 dargelegten Säulen betrachtet werden. Besonders bei der ökonomischen Nachhaltigkeit sind vermehrt Parallelen zu erkennen. Die benötigten technischen Innovationen und die vermehrte Rücksichtnahme auf die Umwelt sind wesentlicher Bestandteil der Elektromobilität. Dies zeigt sich einerseits durch die Technologien, die in

dieser Art der Fortbewegung verwendet werden, andererseits auch an dem CO₂-Ausstoß, der bei besonders ökologisch produzierten Strom um ein vielfaches niedriger als bei Verbrennungsmotoren ist. Dies führt direkt zu der ökologischen Nachhaltigkeit, da die Verringerung von CO₂ in der Atmosphäre nachweislich zu einem Abnehmen des Treibhauseffektes führt.. Somit wird die Umwelt deutlich weniger belastet. Auch die soziale Nachhaltigkeit wird durch die weitere Verbreitung der Elektromobilität gefördert. Hierzu kommt es besonders durch das derzeit stattfindende Umdenken hinsichtlich der globalen Erwärmung in der Bevölkerung. Dies führt dazu, dass eine ökologischere Lebensweise als notwendig angesehen wird. Eine von PricewaterhouseCoopers durchgeführte Studie gibt an, dass 73% der Befragten aufgrund dieser erwarteten Umweltfreundlichkeit in der Elektromobilität eine große Möglichkeit sehen, eine ökologisch nachhaltige Zukunft vor sich zu haben (vgl. Arnold et al. 2010, 11). Wie im Kapitel 4.2 behandelt, ist dafür allerdings ein vermehrter Nutzen von Strom aus erneuerbaren Energien erforderlich (vgl. Arnold et al. 2010, 11). Ohne die Verwendung des CO₂-armen Strommixes ist die propagierte Umweltfreundlichkeit der Elektromobile in keinem Fall gegeben. Dies zeigt sich besonders anhand der durchgeführten Auswertungen, die bei dem heutzutage auftretenden Strommix deutliche Unterschiede zwischen den Anbietern darlegen. Bei Strom von Versorgern wie beispielsweise RWE ist nur eine geringe Verbesserung der CO₂-Emissionen im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren zu erkennen, bei rein ökologischen Stromproduzenten ist jedoch sehr gut zu erkennen, welchen Erfolg die Elektromobilität in Zukunft haben kann.

Bei den zum Erreichen der Nachhaltigkeit vorhandenen Strategien ist bei der Elektromobilität am ehesten von einer Konsistenz-Strategie zu sprechen. Dies wird besonders dadurch deutlich, dass nicht nur durch den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ politische Impulse gegeben wurden, sondern auch damit einhergehend Recyclingprojekte subventioniert wurden und zudem der Nutzen regenerativer Energien auch politisch forciert wird. Hinsichtlich der in Kapitel 2.2.3 formulierten Unterschiede zwischen starker und schwacher Nachhaltigkeit, kann bei der Elektromobilität eher von einer starken Nachhaltigkeit gesprochen werden. Eine Substituierbarkeit der Effekte der Nachhaltigkeit innerhalb der drei Säulen ist nicht gegeben.

Wie in Kapitel 4.3 beschrieben ist bezüglich des Recyclings der Komponenten der Elektromobilität noch keine Strategie entwickelt, die die nachhaltige Ressourcenversorgung

in Zukunft sichert. Eine solche Recyclingstrategie ist jedoch eminent wichtig, um die Ressourcenverfügbarkeit von seltenen Erden und kritischen Metallen zu sichern, die auf dem heutigen Stand der Technik als essentiell zum Erfolg der Elektromobilität betrachtet werden müssen. Allerdings ist das Engagement, mit dem sich Wirtschaft und Staat zur Lösung dieses Problems einsetzen, als durchaus hoch zu bewerten, sodass eine optimistische Sichtweise auf dieses Thema legitim scheint. Dies spiegelt sich auch in der Betrachtung hinsichtlich der Nachhaltigkeit des Recyclings wider. Mithilfe politischer Vorschriften ist auf langer Sicht von einer hohen Wiedergewinnungsquote bei wichtigen Metallen und seltenen Erden auszugehen. Zwar sind derzeit nur wenige Verfahren erprobt, die außerdem noch nicht die erwünschte Wiedergewinnungsquote erreicht haben. Dennoch ist davon auszugehen, dass mit der weiteren Verbreitung der Elektromobilität auch in diesem Bereich größere Fortschritte erreicht werden. Die größte Bedeutung hat im Bereich des Recyclings die ökonomische Nachhaltigkeit, da eine Wiederverwendung der in den Batterien und Karosserien verwendeten Metalle einen geringeren finanziellen Aufwand nach sich zieht, als der Neuerwerb dieser. Neben dem wirtschaftlichen Vorteil ist auch die ökologische Nachhaltigkeit durch das Recyceln gegeben. Herkömmliche Materialien können zurzeit schon nachhaltig recycelt werden, bei speziellen Substanzen wie Lithium ist die gewünschte Nachhaltigkeit noch nicht erreicht.

Vor Allem zur Herstellung der Akkumulatoren und Bauteilen des Motors ist ein eklatanter Mehrbedarf von Metallen nötig. Dieser Mehrbedarf übersteigt die heutigen Fördermengen zum Teil bei weitem. Hinzu kommt die Problematik der Verfügbarkeit, da sich ein Großteil der heute bekannten Vorkommen seltener Erden und kritischer Metalle im Ausland und zudem oft in politisch instabilen Regionen befinden. Ebenso beeinträchtigt das Marktmonopol Chinas zurzeit den offenen Markt seltener Erden. Abhilfe hierbei kann ein funktionierender Recyclingkreislauf schaffen, da hierdurch die Abhängigkeiten durch die Primärproduktion dieser Metalle gemindert werden. Weiterhin ist vor der Masseneinführung der Elektromobilität eine gesicherte Versorgung aus Primärquellen herzustellen, um den zur Produktion nötigen Ressourceneinsatz decken zu können.

Anhang

RWE	g / 100 km	kg / 100km	g / km	smart	g / 100 km	kg / 100km	g / km
Mini E	11040	11,04	110,4	fortwo e	8832	8,832	88,32
Mini One	12700	12,7	127	fortwo	9800	9,8	98
Mini One D	9900	9,9	99	diesel	8700	8,7	87
EnBW	g / 100 km	kg / 100km	g / km	smart	g / 100 km	kg / 100km	g / km
Mini E	4905	4,905	49,05	fortwo e	3924	3,924	39,24
Mini One	12700	12,7	127	fortwo	9800	9,8	98
Mini One D	9900	9,9	99	diesel	8700	8,7	87
Vattenfall	g / 100 km	kg / 100km	g / km	smart	g / 100 km	kg / 100km	g / km
Mini E	9663	9,663	96,63	fortwo e	7730,4	7,7304	77,304
Mini One	12700	12,7	127	fortwo	9800	9,8	98
Mini One D	9900	9,9	99	diesel	8700	8,7	87
Lichtblick	g / 100 km	kg / 100km	g / km	smart	g / 100 km	kg / 100km	g / km
Mini E	585	0,585	5,85	fortwo e	468	0,468	4,68
Mini One	12700	12,7	127	fortwo	9800	9,8	98
Mini One D	9900	9,9	99	diesel	8700	8,7	87
Greenpeace	g / 100 km	kg / 100km	g / km	smart	g / 100 km	kg / 100km	g / km
Mini E	560,25	0,56025	5,6025	fortwo e	448,2	0,4482	4,482
Mini One	12700	12,7	127	fortwo	9800	9,8	98
Mini One D	9900	9,9	99	diesel	8700	8,7	87
Naturstrom	g / 100 km	kg / 100km	g / km	smart	g / 100 km	kg / 100km	g / km
Mini E	478,5	0,4785	4,785	fortwo e	382,8	0,3828	3,828
Mini One	12700	12,7	127	fortwo	9800	9,8	98
Mini One D	9900	9,9	99	diesel	8700	8,7	87

Quellen: RWE o.J., EnBW o.J., Vattenfall 2012, LichtBlick o.J., Greenpeace Energy o.J., Naturstrom o.J., BMW AG 2012, BMW AG o.J., Daimler AG 2010, o.V. 2010a.

Abbildung 78 : Vergleich des CO₂-Ausstoßes nach Modell und Stromanbieter

	g CO ₂ / kWh	TWh	kWh	g CO ₂ ges.
Braunkohle	1142	153	1,53E+11	1,74726E+14
Steinkohle	897	114,5	1,145E+11	1,02707E+14
Erdgas	398	84	84000000000	3,3432E+13
Photovoltaik	89	19,5	19500000000	1,7355E+12
Kernkraft	31	108	1,08E+11	3,348E+12
Laufwasser	39	19,5	19500000000	7,605E+11
Windenergie	22,5	46,5	46500000000	1,04625E+12
Biomasse	-414	36,6	36600000000	-1,51524E+13
Sonstige	200	33	33000000000	6,6E+12
Summe		614,6	6,146E+11	3,09202E+14

vgl. Fritsche 2007, 7

Durchschnittswert:
g CO₂ ges. / kWh

503,0952652

Abbildung 79 : Kalkulation CO₂-Ausstoß Deutschland 2011

Lichtblick	g CO ₂ / kWh	Anteil in %	g CO ₂ / kWh Strommix
Photovoltaik	89	0	0
Laufwasser	39	100%	39
Windenergie	22,5	0	0
Biomasse	-414	0	0
Summe		100%	39
Greenpeace Energy	g CO ₂ / kWh	Anteil in %	g CO ₂ / kWh Strommix
Photovoltaik	89	0	0
Laufwasser	39	90%	35,1
Windenergie	22,5	10%	2,25
Biomasse	-414	0	0
Summe		100%	37,35
Naturstrom	g CO ₂ / kWh	Anteil in %	g CO ₂ / kWh Strommix
Photovoltaik	89	0	0
Laufwasser	39	57%	22,23
Windenergie	22,5	43%	9,675
Biomasse	-414	0	0
Summe		100%	31,905
Quellen: Fritsche 2007, 7, LichtBlick o.J., Greenpeace Energy o.J., Naturstrom o.J.			

Abbildung 80 : Kalkulation CO₂-Ausstoß ökologischer Anbieter

Glossar

IEC steht für Internationale Elektrotechnische Kommission. Es handelt sich um eine internationale Normungsorganisation, welche Normen in den Bereichen Elektrotechnik und Elektronik entwickelt.

ISO steht für internationale Organisation für Normung. Es handelt sich um eine internationale Vereinigung von Normungsorganisationen welche internationale Normen in allen Bereichen mit Ausnahme der Elektrik und der Elektronik erarbeitet.

NPE steht für Nationale Plattform Elektromobilität. Hierbei handelt es sich um ein Beratungsgremium der deutschen Bundesregierung zur Elektromobilität. Diese setzt sich aus Spitzenvertretern aus Industrie (10 Mitglieder), Politik (6), Wissenschaft (3), Verbänden (3) und Gewerkschaften (1) zusammen.

PLC steht für Powerline Communication. Dies beschreibt Systeme zur Sprach- oder Datenübertragung über Vorhandene Stromnetze. Das Verfahren gilt aufgrund der Mehrfachnutzung von vorhandenen Leitungen aus sehr schnell und kostengünstig.

RFID bedeutet radio-frequency identification, was die Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen beschreibt.

SIP steht für Session Initiation Protocol. Es handelt sich um ein Netzprotokoll zum Aufbau, zur Steuerung und zum Abbau einer Kommunikationssitzung zwischen zwei und mehr Teilnehmern.

SOAP bedeutet Simple Object Access Protocol. Es ist ein Netzwerkprotokoll, mit dessen Hilfe Daten zwischen Systemen ausgetauscht und Remote Procedure Calls durchgeführt werden können.

Literaturverzeichnis

50Hertz Transmission GmbH, 50Hertz Transmission GmbH, Unser Video zu RegModHarz, 2012a, <http://www.regmodharz.de/>, 3, 11.03.2012, 1

50Hertz Transmission GmbH, 50Hertz Transmission GmbH, Die Partner, 2012b, <http://www.regmodharz.de/die-partner/>, 5, 15.03.2012, 1-5

AER, Ein eindeutiges JA zu Elektroautos: Die VRE analysiert Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für ihre Verbreitung, 2009, <http://www.aer.eu/de/presse/2011/ein-eindeutiges-ja-zu-elektroautos-die-vre-analysiert-rahmenbedingungen-und-voraussetzungen-fuer-ihre-verbreitung.html>, 1, 12.03.2012, 1

Agrawal, D., Candan, K., Li, W.-S., New Frontiers in Information and Software as Services – Service and Application Design Challenges in the Cloud, Springer Verlag, Berlin 2011

Aigle, T., Marz, L., Automobilität und Innovation, in: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH, SP III (2007) 102, 34

Akademie Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe, HV-Fahrzeuge: Elektromobilität, 2010, <http://www.hv-fahrzeuge.de/elektromobilitaet/#c279>, 6, 24.04.2012, 2

alle-autos-in.de, Volkswagen Polo 1.2 | Autokatalog Datenblatt | alle-autos-in.de, o.J., www.alle-autos-in.de/volkswagen/volkswagen_polo_12_ktb1552.shtml#.T2DKZPXGF15, 4, 20.03.2012, 1

Allgäuer Überland GmbH, Für das Stromnetz der Zukunft: IRENE, 2012, <http://www.projekt-irene.de/>, 1, 11.03.2012, 1

Andersen, P. H., Mathews, J. A., Rask, M., Integrating private transport into renewable energy policy: The strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles, in: Energy Policy, 37 (2009) 7, 2481-2486

Andersson, S.-L., Elofsson, A. K., Galus, M. D., Göransson, L., Karlsson, S., Johnsson, F., Andersson, G., Plug-in hybrid electric vehicles as regulating power providers: Case studies of Sweden and Germany, in: Energy Policy, 38 (2010) 6, 2751-2762

Appelrath, H.-J., Kagerman, H., Mayer, C., Future Energy Grid, acatech STUDIE, 2.02.2012,
http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acatech_STUDIE_Future-Energy-Grid_120131_WEB_final.pdf, 324, 18.03.2012, 30

aral.de, Aral Forschung - Der Dieselmotor, o.J.,
www.aral.de/aral/sectiongenericarticle.do?categoryId=4000027&contentId=56312, 2,
17.03.2012, 1-2

Arbeitsgruppe 2 „Batterietechnologie“ der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE), Bericht der AG-2 Batterietechnologie für den Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, 30.11.2010, <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/zwischenbericht-ag2.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>, 13, 29.03.2012, 8

Arbeitsgruppe 4 „Normung, Standardisierung und Zertifizierung“, der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE), Die deutsche Normungs-Roadmap – Elektromobilität – Version 2, Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung, Berlin 2012

Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik, Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011, März 2012, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab.pdf, 44,
24.04.2012, 2

Arndt, U., von Roon, S., Wagner, U., Virtuelle Kraftwerke – Theorie oder Realität?, 2006, http://www.nun-dekade.de/fileadmin/nun-dekade/dokumente/dokumente/Theorie_oder_Realit%E4t.pdf, 6, 12.03.2012, 1-2

Arnold, H.; Kurtz, R.; Kuhnert, F.; Bauer, W., Elektromobilität – Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand, PriceWaterHouseCoopers, Fraunhofer IAO, Frankfurt am Main, 2010

Aston, A., GM Upgrades OnStar to Power First Real-World, Smart Grid EV Pilot, 20.07.2011, <http://www.greenbiz.com/news/2011/07/20/general-motors-upgrades-onstar-power-first-real-world-smart-grid-ev-pilot>, 2, 13.03.2012, 1

ATKerney, Energiewirtschaft macht mobil, 2009, http://www.atkearney.de/content/misc/wrapper.php/id/50848/name/pdf_atkearney_elektromobilitaet_12538041203505.pdf, 4, 20.03.2012, 1

auto.de, NEU +++ VW Neuwagen: VW Polo 1.2 51KW TRENDLINE PREMIUM 5.tür.KLIMA für 11898 € +++ TOP-ANGEBOT | Limousine, 0 km, 0000, Benzin, 69 PS, andere | 109870988 | auto.de, o.J., www.auto.de/markt/angebot/id/1073/offerid/109870988/VW-Polo-1-2-51KW-TRENDLINE-PREMIUM-5-tuer-KLIMA, 5, 20.03.2012, 1

autoklicker.de, Technische Daten Volkswagen Polo 1.2 3-Türer (44 kW / 60 PS), 5-Gang Handschaltung (seit September 2009) – AutoKlicker, o.J., www.autoklicker.de/autokatalog/volkswagen-polo-12-technische-daten6250.html, 2, 13.03.2012, 1-2

automobile.at, automobile.at: Think City neu 2012 – Preise, technische Daten etc. - alle Infos, o.J., www.automobile.at/neuwagen/think/city/index.html, 1, 20.03.2012, 1

AvD, Preise für Superkraftstoff, 2012, www.avd.de/startseite/service-news/rund-um-den-kraftstoff/benzinpreise-in-europa/preise-fuer-superkraftstoff/, 1, 13.03.2012, 1

BASF, Lithium-Ion Battery Materials Automotive Applications, 29.08.2011,
http://www.battery-solutions.basf.com/p02/USWeb-Internet/battery_solutions/en_GB/function/conversions:/publish/content/microsites/battery_solutions/BF-9460_US_BatteryStorylineFlyer_Datasheet-082911.pdf, 2, 20.04.2012, 1

Bauer, W., Arnold, H., Kuhnert, F., Kurtz, R., Elektromobilität – Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand, Juni 2010,
<http://www.iao.fraunhofer.de/images/downloads/elektromobilitaet.pdf>, 90, 09.04.2012, 25

B.A.U.M. GmbH, Smart Energy made in Germany, Zwischenergebnisse der E-Engery-Modellprojekte auf dem Weg zum Internet der Energie, 2012,
http://www.e-energy.de/documents/E-Energy_Erkenntnisse_2012_6_2b_web.pdf, 44, 08.03.1012, 12-14, 30, 34-36

Bayer, W., Erneuerbare Energieträger, 2008,
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/STATmagazin/Energie/2008_2/PDF2008_2.pdf?__blob=publicationFile, 3, 08.04.2012, 1-2

Becker, T., Sidhu, I., Tenderich, B., Electric Vehicles in the United States A New Model with Forecasts to 2030, in: CET University of California Berkeley, 2009, 2009.1.v.2.0, 32

Beermann, M., Jungmeier, G., Wenzel, A., Spitzer, J., Canella, L., Engel, A., Schmuck, M., Koller, S., Quo vadis Elektroauto?, Grundlagen einer Road Map für die Einführung von Elektro-Fahrzeugen in Österreich, Institut für Energieforschung, Graz, 2010, 62

Beise, M., Die Lead-Markt-Strategie – Das Geheimnis weltweit erfolgreicher Innovationen, Springer, Berlin – Heidelberg, 2006, 24

Belarus, Minsker Traktorenwerk – Neuentwicklungen, 2009, <http://belarus-tractor.com/de-de/main.aspx?guid=45893&mode=fullinfo>, 3, 13.3.2012, 1

Bending, S., Ferdowsi, M., Channon, S., Strunz, K., Mobile Energy Resources in Grids of Electricity (MERGE), WP1, Task 1.1, 1.2, 1.5, Deliverable D1.1, Specifications for ev-grid interfacing, communication and smart metering technologies, including traffic patterns and human behavior descriptions, Project MERGE, 2010

Benze, J., Diedrich, C., Honecker, H., Hübner, C., Jagstaidt, U., Khattabi, M., Kießling, A., Kopp, D., Krings, H., Lehnhoff, S., Speh, R., Stein, E., Uslar, M., Wittpahl, V., Energieinformationsnetze und –systeme Bestandsaufnahme und Entwicklungstendenzen Ein Positionspapier der Informationstechnischen Gesellschaft im VDE (ITG), 12.2010, http://www.vde.com/de/fg/ITG/Documents/ITG%20Positionspapier%20Energieinformationsnetze_Webversion.pdf, 128, 01.03.2012, 11-103

Better Place, battery switch station, o.J.a
<http://www.betterplace.com/the-solution-switchstations>,
2, 21.03.2012, 1

Better Place, global progress overview, o.J.b
<http://www.betterplace.com/global-progress>,
2, 21.03.2012, 1

Better Place, Renault-Nissan and Project Better Place Prepare for First Mass Produced Electric Vehicles, 21.01.2008,
<http://www.betterplace.com/the-company-pressroompressreleases-detail/index/id/renault-nissan-and-project-better-place-prepare-for-firstmass-produced-ele>, 3, 21.03.2012, 2

Beuth Verlag GmbH, DIN EN 61850-3:2002-12, Norm, Dezember 2002,
<http://www.beuth.de/de/norm/din-en-61850-3/58880493?SearchID=399056050>, 1,
23.04.2012, 1

Beuth Verlag GmbH, DIN EN 61851-21; VDE 0122-2-1:2011-05:2011-05, Norm-Entwurf, 23.05.2011, <http://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-en-61851-21-vde-0122-2-1-2011-05/141903494>, 1, 29.03.2012, 1

Beyers, B., Führt das Auto der Zukunft elektrisch, 2009,
<http://www.faktor-x.info/ressourcen/elektromobilitaetbraugust-2009/>, zitiert nach: vom

Binding, C., Gantenbein, D., Jansen, B., Sundström, O., Bach Andersen, P., Marra, F., Poulsen, B., Træholt, C., Electric Vehicle Fleet Integration in the Danish EDISON Project - A Virtual Power Plant on the Island of Bornholm, IEEE, New York, New York, 2010

Bloch, Alexander, Elektroauto-Reichweite im Winter – Bis zu 47 Prozent geringere Reichweite, 30.01.2011,
<http://www.auto-motor-und-sport.de/eco/elektroauto-reichweite-bis-zu-47-prozent-geringere-reichweite-im-winter-3295701.html>, 2, 12.03.2012, 1-2

BMJ, Energiesteuergesetz (EnergieStG), 15.07.2006,
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/energiestg/gesamt.pdf>, 44, 24.04.2012, 34

BMW AG, Mini E Specifications, o.J., <http://www.miniusa.com/minie-usa/pdf/MINI-E-spec-sheet.pdf>, 3, 25.03.2012, 3

BMW AG, Mini – Preisliste: März 2012, März 2012,
http://www.mini.de/_downloads/pdf/MINI_Preisliste.pdf, 43, 25.03.2012

Bode, S., Stiller, S., Wedemeier, J., Klimawandel und Wirtschaft, September 2007,
http://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/Publikationen/Partnerpublikationen/Berenberg/Strategie_2030_Klimawandel.pdf, 107

Böhling, A., renewables 24/7 – infrastructure needed to save the climate, 11/2009,
http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/Renewables_24-07_deutsche_Zusammenfassung_final.pdf, 13, 12.03.2012, 2-3

Böhmer, R., Wie Evi die Bedeutung der Elektromobilität misst, 21.04.2010,
<http://www.wiwo.de/unternehmen/auto/index-wie-evi-die-bedeutung-der-elektromobilitaet-misst/5214646.html>, 2, 26.03.2012, 1

Bosch, Bosch Software Innovations – Geschichte, 2012, <http://www.bosch-si.de/unternehmen-geschichte.html>, 1, 29.03.2012, 1

Bosch Presse, Bosch Software Innovations, E-Mobility Plattform erfolgreich in den Praxisbetrieb gestartet, 13.09.2011, <http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=5298>, 2, 12.03.2012, 2

Bosch SI, Bosch Software Innovations, Successful bid for pioneering eMobility pilot project in Singapore, 2010, <http://www.bosch-si.com/press-releases-2010-10-successful-bid-emobility-pilot-project-singapore.html>, 2, 13.03.2012, 1

Brandhuber, R., Demmel, M., Koch, H.-J., Brunotte, J., DLG-Merkblatt 344, Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen, DLG, Frankfurt am Main, 2008, 3

Brekke, K. A., Economic Growth and the Environment: On the Measurement of Income and Welfare, Edgar Wallace, Cheltenham 1997

Brown, S., Pyke, D., Steenhof, P., Electric vehicles - The role and importance of standards in an emerging market, in: Energy Policy 38 (2010), 3797–3806

Brüggemann, D., Abwärmenutzung von Biogas-BHKW, Zusätzliche Stromerzeugung mittels Organic Rankine Cycle, o.J., <http://www.lttt.uni-bayreuth.de/de/download/Infoblaetter/ORCBHKW-1.pdf>, 2, 24.04.2012, 1

Buchert, M., Jenseit, W., Merz, C., Schüler, D., Ökobilanz zum „Recycling von Lithium-Ionen-Batterien“ (LithoRec), Öko-Institut e.V., Darmstadt 2011a

Buchert, M., Jenseit, W., Merz, C., Schüler, D., Verbundprojekt - Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge – LiBRi - Teilprojekt: LCA der Recyclingverfahren, Öko-Institut e.V., Hanau 2011b

Buchert, M., Jenseit, W., Dittrich, S., Hacker, F., Schüler-Hainsch, E., Ruhland, K., Knöfel, S., Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität - Arbeitspaket 7 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen - Anhang zum Schlussbericht im Rahmen der Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Öko-Institut e.V., Freiburg 2011c

buddeautomobile.de, VW Polo EU-Neuwagen ab 13.510 Euro!, o.J
<http://www.buddeautomobile.de/neuwagen/vw/polo.php>, 15, 20.03.2012, 2

BUND, Mit dem Elektromobil durch Potemkinsche Dörfer: Umweltschutzverbände fordern Realitätscheck für Elektromobilität, 2010,
<http://www.bund.net/nc/presse/pressemitteilungen/detail/artikel/mit-dem-elektromobil-durch-potemkinsche-doefer-umweltschutzverbaende-fordern-realitaetscheck-fuer/>, 2, 18.04.2012, 1

Bundesministerium des Innern , Die Technik des neuen Personalausweises,
http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Themen/Sicherheit/PaesseAusweise/technik_npa.pdf;jsessionid=AE096485025CE8E80D464260C63EB82D.2_cid239?__blob=publicationFile, 2, 23.03.2012, 1

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Klimaagenda 2020: Der Umbau der Industriegesellschaft, April 2007,
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_klimaagenda.pdf, 8, 28.03.2012, 2

Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU – Verkehr – Elektromobilität – Vorteile elektrischer Antriebe, September 2009a,
<http://www.bmu.de/verkehr/elektromobilitaet/doc/45037.php>, 4, 24.04.2012, 2

Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU – Verkehr – Elektromobilität – Erkenntnisse auf einen Blick, September 2009b, http://www.bmu.de/verkehr/elektromobilitaet/allgemeine_informationen/doc/45040.php, 2, 29.03.2012, 1

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Beitrag der Elektromobilität zu langfristigen Klimaschutzziele und Implikationen für die Automobilindustrie, McKinsey&Company, Berlin, 2010

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Kurzinfo Verkehr, 2010, <http://www.bmu.de/verkehr/kurzinfo/doc/print/3995.php>, 04.10.2010, 20.04.2012, 2-3

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Röttgen: Elektroautos müssen mit zusätzlich erzeugtem Strom aus erneuerbaren Energien geladen werden, 30.01.2012a, <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/48302/4590/>, 2, 18.03.2012, 2

Bundeministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011, März 2012b, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab.pdf, 44, 02.04.2012, 3

Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Pressemitteilungen – Aktuelle Pressemitteilungen – Pressemitteilung Nr. 039/21 vom 28.03.2012: Bundesregierung legt Bericht zur Umsetzung des 10-Punkte-Sofortprogramms zum Energiekonzept vor, 28.03.2012c, http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen/pm/48545.php, 3, 24.04.2012, 2

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Modellregionen Elektromobilität, o. J.a, <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/modellregionen-elektromobilitaet.html>, 4, 13.03.2012, 1-4

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Förderbekanntmachung „Schaufenster Elektromobilität“, o. J.b, <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/foerderbekanntmachung-schaufenster-elektromobilitaet.html>, 1, 13.03.2012, 1

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Mobilität in Deutschland 2008, infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Abschlussbericht_I.pdf, 214, 15.03.2012, 29

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Elektromobilität – Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter, Juni 2011, <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/69228/publicationFile/47373/elektromobilitaet-deutschland-als-leitmarkt-und-leitanbieter.pdf>, 40, 15.03.2012, 12

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Intelligente Energiesysteme der Zukunft, 2010, http://www.energiesderzukunft.at/edz_pdf/broschuere_smart_grids_pioniere.pdf, 44, 20.03.2012, 6

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Energiedienstleistungsrichtlinie, 2006, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nationaler_aktionsplan_ee.pdf, 186, 28.03.2012, 133f

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Automobilindustrie, 2010, <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/branchenfokus,did=195924.html?view=renderPrint>, 4, 13.03.2012, 1

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Schlaglichter der Wirtschaftspolitik, Monatsbericht August, Berlin, 2011

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Elektromobilität – Umweltfreundlich zukunftsfähig!, 2012a,
<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/Industrie/elektromobilitaet,did=329150.html>, 5, 08.03.2012, 1-3

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, IKT für Elektromobilität, 2012b,
<http://www.ikt-em.de/de/index.php>, 6, 10.03.2012, 1

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Future Fleet – Einsatz von Elektrofahrzeugen in betriebliche Fahrzeugflotten, 2012c, <http://www.ikt-em.de/de/futurefleet.php>, 1, 10.03.2012, 1

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, MeRegioMobil – Minimum Emission Region Mobil, 2012d, <http://www.ikt-em.de/de/MeRegioMobil.php>, 1, 10.03.2012, 1

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, e-mobility- IKT-basierte Integration der Elektromobilität in die Netzsysteme der Zukunft, 2012e, <http://www.ikt-em.de/de/e-mobility.php>, 1, 11.03.2012, 1

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Harz.EE-Mobility- Einsatz der Elektromobilität vernetzt mit dem RegModHarz- Projekt, 2012f, <http://www.ikt-em.de/de/HarzEE-mobility.php>, 2, 11.03.2012, 1

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, MEMO- Mediengestützte Lern- und Kollaborationsdienste für Elektromobilität, 2012g, <http://www.ikt-em.de/de/1308.php>, 1, 11.03.2012, 1

Bundesnetzagentur, „Smart Grid“ und „Smart Market“ Eckpunktpapier der Bundesnetzagentur zu den Aspekten des sich verändernden Energieversorgungssystems, 12.2011a,

http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Energie/Sonderthemen/SmartGridEckpunktepapier/SmartGridPapierpdf.pdf?__blob=publicationFile, 50, 29.02.2012, 11

Bundesnetzagentur, Szenariorahmen für den Netzentwicklungsplan 2012 – Eingangsdaten der Konsultation –, 18.07.2011b,

http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Energie/Energienetzausbau/SzenariorahmenNEP_2012pdf.pdf;jsessionid=46AF33BA49B253C1CD639EBD8F35647C?__blob=publicationFile, 8, 07.03.2012, 1

Bundesregierung, Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, August 2009,

http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf, 53, 03.03.2012, 2, 6-53

Bundesregierung, Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität, in: Die Bundesregierung, Nationale Strategiekonferenz Elektromobilität, Berlin, Deutschland, Die Bundesregierung, 2008, 3

Bundesregierung, Regierungsprogramm Elektromobilität, Mai 2011, www.bmbf.de/pubRD/programm_elektromobilitaet.pdf, 18.03.2012, 20-21

Bundestag, Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG), Ausfertigungsdatum: 07.07.2005

Bundesverband CarSharing e.V., Über CarSharing,

http://www.carsharing.de/index.php?option=com_content&task=view&id=202&Itemid=208#ueber1, 2, 26.03.2012, 1

Bundesverband WindEnergie, Das Erneuerbaren-Energien-Gesetz, o.J.,
<http://www.eeg-aktuell.de/das-eeg/>, 1, 05.03.2012, 1

Burkhard, R., Ladekonzepte für die Elektromobilität, 2011,
<http://www.energy20.net/pi/index.php?StoryID=317&articleID=179356>, 2, 22.04.2012, 2

car2go Nederland B.V., The Mobility Concept 2.0,
<http://www.car2go.com/amsterdam/en/the-mobility-concept>, 1, 26.03.2012, 1

Callens, I., Tyteca, D., Towards indicators of sustainable development for firms – A productive efficiency perspective, in: Ecological Economics 28 (1999) 1, 41-53

Carcelle, X., Power Line – Communications in Practice, Groupe Eyrolles, Paris 2006

carcharging, Car Charging, The EV Charging Network, 2012a,
<http://carcharging.com/cp-network.html>, 1, 24.03.2012, 1

carcharging, Partners, 2012b,
<http://www.carcharging.com/partners/>, 1, 13.03.2012, 1

Castaldo, J., Standards key to electric vehicle adoption, canadian business, 17.06.2009
<http://www.canadianbusiness.com/blog/performance/17900--standards-key-to-electricvehicle-adoption>, 3, 25.03.2012, 1

chargepoint, ChargePoint Network, 2012, <http://www.chargepoint.net/>, 1, 13.03.2012, 1

Cheng, K.W.E., Business opportunities of charging system and electric vehicle, in: 4th International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA), The Hong Kong Polytechnic University, China, 2011

Christensen, L., Report WP 1.3 Electric Vehicles And The Customers, 21.11.2011,
http://www.edison-net.dk/~media/EDISON/Reports/Edison_report_1-3_approvedx.ashx,
49, 24.04.2012, 8

chosun, Toyota Develops New Electric Car Battery, 18.10.2011,
http://english.chosun.com/site/data/html_dir/2011/10/18/2011101800617.html, 1,
18.4.2012, 1

CleanTech News, Elektroauto als Zwischenspeicher: Energieautarkes Wohnen wird in
Norderstedt Realität, 25.08.2011, [http://www.cleantalking.de/elektroauto-als-
zwischenspeicher-energieautarkes-wohnen-wird-in-norderstedt-realitaet/18021/](http://www.cleantalking.de/elektroauto-als-zwischenspeicher-energieautarkes-wohnen-wird-in-norderstedt-realitaet/18021/), 3,
13.03.2012, 1

Commission of the European Communities (COM), Modernising IKT Standardisation in
the EU – The Way Forward, 03.07.2009,
[http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-
standards/files/ict/policy/standards/whitepaper_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/files/ict/policy/standards/whitepaper_en.pdf), 13, 20.03.2012,

Corsten, H., Nachhaltige Produktgestaltung, in: Hauff, M. von, Lingnau, V., Zink, K
(Hrsg.): Nachhaltiges Wirtschaften – Integrierte Konzepte, Nomos, Baden-Baden 2008,
215-250

Costamagna, P., Srinivasan, S., Quantum jumps in the PEMFC science and technology
from the 1960s to the year 2000, Part II. Engineering, technology development and
application aspects, in: Journal of Power Sources, 102 (2001), 253-254

coulomb, ChargePoint Network - Open Standards, 2012a,
<http://www.coulombtech.com/chargepoint-open-standards.php>, 1, 13.03.2012, 1

coulomb, ChargePoint Network – Station Services, 2012b,
<http://www.coulombtech.com/chargepoint-station-services.php>, 1, 13.03.2012, 1

coulomb, Customers – Customers Overview, 2012c,
<http://www.coulombtech.com/customers.php>, 1, 13.03.2012, 1

Crabtree, D., Faney, T., Koudigkelis, K., Papavasiliou, A., Sidhu, I., Kaminsky, P.,
Tenderich, B., Optimal Charging of Electric Vehicles (Evs), 11.09.2009,
<http://cet.berkeley.edu/dl/EV%20Optimal%20Charging%20Brief.pdf>, 37, 13.3.2012, 10
Crastan, V., Weltweite Energiewirtschaft und Klimaschutz 2009, Springer, Heidelberg-
Dordrecht-London-New York 2010

Cupal, J., E-Mobilität in Österreich, 3.Kongress Elektromobilität, Verbund AG, Luzern,
2012

Daimler AG, Daimler startet zusammen mit Enel „E-Mobility Italien“, 2008,
<http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-656186-49-1155645-1-0-0-0-0-11701-614316-0-1-0-0-0-0-0.html>, 3, 12.03.2012, 1

Daimler AG, Handbuch Urbane Mobilität, 16.08.2010, http://www.smart.de/is-bin/intershop.static/WFS/mpc-de-Site/-/Editions/Root%20Edition/units/mpc-de/de_DE/ng/core/2007/media/smart_fortwo_catalogue.pdf, 112, 25.03.2012, 108-109

DB Rent GmbH, BeMobility Umsetzung, 24.01.2012a,
http://www.bemobility.de/site/bemobility/de/bemobility_2009-11/umsetzung/umsetzung.html, 2, 26.03.2012, 1

DB Rent GmbH, BeMobility Standorte & Fahrzeuge, 2012b,
http://bemobility.de/site/bemobility/de/bemobility/umsetzung/standorte__fahrzeuge.htm
1, 2, 26.03.2012, 1

DB Rent GmbH, Flinkster Preise, 2012c,
<http://www.flinkster.de/index.php?id=416&f=3>, 3, 26.03.2012, 2

DB Rent GmbH, Flinkster Service, 2012d,
<http://www.flinkster.de/index.php?id=321&f=3>, 1, 26.03.2012, 1

DB Rent GmbH, BeMobility Suite, 2012e,
http://bemobility.de/site/bemobility/de/bemobility/umsetzung/bemobility__suite.html,
3, 26.03.2012, 1

Dehmer, D., Deutschland soll Emissionen wie geplant senken, ZEIT ONLINE, 24.12.2009,
<http://www.zeit.de/politik/2009-12/emissionen-senken-trotz-klimagipfel>, 12, 18.03.2012, 2

Dena, Strommix, 2012,
<http://www.thema-energie.de/strom/stromkauf/strommix.html>, 2, 20.04.2012, 1

Denscombe, M., The good research guide for small-scale research projects, 2. Auflage,
Open University Press, Maidenhead, 2003, 166-167

Dethloff, C., Akzeptanz und Nicht-Akzeptanz von technischen Produktinnovationen.
Beiträge zur Wirtschaftspsychologie, Bd. 6, Pabst Science Publishers, Lengerich, 2004, 18

Deutsche Kommission Elektrotechnik (DKE), Strategiekreis Normungsroadmap, Die
Deutsche Normungsroadmap E-Energy/ Smart Grid, 2010,
http://www.e-energy.de/documents/DKE_Roadmap_Smart_Grid_230410_Deutsch.pdf, 72,
28.03.2010, 5,13

Deutsche Kommission Elektrotechnik (DKE), Laufende Normvorhaben und Norm-
Entwürfe, 29.03.2012, [http://www.dke.de/de/Wirueberuns/DieDKE-
Struktur/Organisationsstruktur/Seiten/LaufendeNormvorhabenundNorm-
Entw%C3%BCrfe.aspx?GremiumID=2000411](http://www.dke.de/de/Wirueberuns/DieDKE-Struktur/Organisationsstruktur/Seiten/LaufendeNormvorhabenundNorm-Entw%C3%BCrfe.aspx?GremiumID=2000411), 1, 29.03.2012, 1

Deutscher Bundestag, Antwort der Bundesregierung 17/8696, Berlin 2012

Deutsches Dialog Institut, Konsensbildung bei disruptiven Innovationsprozessen unter Einbezug von IKT, 2012,
<http://www.dialoginstitut.de/referenzen/referenzprojekte/konsensbildung-bei-disruptiven-innovationsprozessen-unter-einbezug-von-ikt/>, 2, 11.03.2012, 1-2

Dudenhöffer, F., Bei Elektromobilität verliert Deutschland wegen falscher Förderung den Anschluß, Juli 2010, <http://www.oekoenergie-blog.at/wp-content/uploads/2010/07/artikel-07-10-e-mobily-arbeitsplatze.pdf>, 12, 10.02.2012, 6-7

Eckl-Dorna, W., Deutschlands dorniger Weg aus der Akku-Misere, 18.08.2011,
<http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/0,2828,780812,00.html>, 3,
02.04.2012, 1

Eco-System-Haus, Eine umweltfreundliche Verbindung, 14.02.2012,
<http://www.eco-haus.de/presse-details/items/eine-umweltfreundliche-verbinding.html>, 2,
12.03.2012, 2

EDISON, Subtask 5: Communication & Control within Central Stations and towards the Vehicle and the Grid, 2012a, http://www.edison-net.dk/WorkPackages/WorkPackage_4/Subtask%205.aspx, 1, 15.03.2012, 1

EDISON, SmartGrid Charging of Electric Vehicles, 2012b, <http://www.edison-net.dk/Videos/VideoPage002.aspx>, 1, 12.03.2012, 1

EDISON, WorkPackage 4, 2012c, http://www.edison-net.dk/WorkPackages/WorkPackage_4.aspx, 1, 15.03.2012, 1

EDISON, Subtask 2: Technical Concept of Central Fast-Charging Stations, 2012d,
http://www.edison-net.dk/WorkPackages/WorkPackage_4/Subtask%202.aspx, 1,
15.03.2012, 1

Electric Drive Transportation Association (EDTA),

http://www.electricdrive.org/index.php?ht=a/GetImageAction/i/18323&w=706&h=600&ei=i750T9__BIrSsgbz4b2CDg&zoom=1&iact=hc&vpx=328&vpy=109&dur=1307&hovh=207&hovw=244&tx=149&ty=156&sig=116970057433822109707&page=14&tbnh=155&tbnw=182&ndsp=24&ved=1t:429,r:1,s:310, 1, 25.02.2012, 1

Electric Power Research Institute (EPRI), Report to the National Institute of Standards and Technology (NIST) on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap, Gaithersburg, 2009

Elektroauto-News, THINK City: Urbaner E-Kleinwagen aus Norwegen, 27.05.2011, www.elektroauto-news.net/elektroautos/think-city-urbaner-e-kleinwagen-aus-norwegen, 4, 20.03.2012, 2

Elektroauto-News, Elektroauto Index: Japan spitze! Deutschland zieht nach, 13.02.2012, <http://www.elektroauto-news.net/2012/elektroauto-index-japan-spitze-deutschland-zieht-nach>, 3, 23.03.2012, 2-3

El-Sharif, Yasmin, Furcht vor Engpässen: Industrie startet „Allianz zur Rohstoffsicherung“, 30.01.2012, www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/0,1518,812133,00.html, 3, 26.03.2012, 1

Elxnat, J., Opel Ampera – Sportliche Öko-Limousine mit Range Extender, 03.07.2011a, <http://www.elektroauto-news.net/elektroautos/opel-ampera-sportliche-oeko-limousine-mit-range-extender>, 4, 20.03.2012, 2

Elxnat, J., BMW stellt Konzepte zu BMW i-Modellen vor, 05.08.2011b, <http://www.elektroauto-news.net/2011/bmw-stellt-konzepte-zu-bmw-i-modellen-vor>, 4, 20.03.2012, 2

Elxnat, J., Smart fortwo electric drive: Elektro-Smart für jeden ab 2012, 29.08.2011c, <http://www.elektroauto-news.net/elektroautos/smart-fortwo-electric-drive-elektro-smart-fur-jeden-ab-2012>, 4, 20.03.2012, 1-2

Elxnat, J., Elektroauto-Index: Status Quo der Elektromobilität weltweit, 17.11.2011d, <http://www.elektroauto-news.net/2011/elektroauto-index-status-quo-elektromobilitaet-weltweit>, 3, 20.03.2012, 2

emissionslos.com, Think City: Norwegisches Elektroauto für den Stadtverkehr - emissionslos.com, 25.05.2011a, <http://www.emissionslos.com/auto/3448-think-city-norwegisches-elektroauto-fur-den-stadtverkehr.html>, 4, 13.03.2012, 3

emissionslos.com, VW Polo 1.2 TDI: Sparsamer Golf-Bruder ab einem Preis von 15.050 Euro - emissionslos.com, 03.05.2011b, www.emissionslos.com/auto/3249-vw-polo-1-2-tdi-sparsamer-golf-bruder-ab-einem-preis-von-15-050-euro.html, 3, 20.03.2012, 2

EnBW, Stromkennzeichnung und Transparenz der Stromrechnung, o.J., http://www.enbw.com/content/de/der_konzern/enbw/neue_gesetzgebung/stromkennzeichnung/index.jsp, 1, 25.03.2012, 1

EnBW, Sechs Partner ein Ziel: MeRegio (Minimum Emission Region), 2012a, http://www.enbw.com/content/de/privatkunden/innovative_tech/meregio/partner/index.jsp, 1, 11.03.2012, 1

EnBW, Impressum und Anbieterkennzeichnung, 2012b, <http://www.meregio.de/index.php?page=impressum>, 1, 15.03.2012, 1

Enel, E-Mobility Italy, o. J., http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/electric_vehicles/emobility_italy/, 1, 12.03.2012, 1

Enel, E-Mobility Italy keeps ist promises: first deliveries due at the bologna motor show, 02.12.2010, http://www.enel.com/en-GB/media/press_releases/release.aspx?iddoc=1638765, 1, 12.03.2012, 1

Enel, E-Mobility Italy: electric Smart cars increasing to one hundred and forty,
05.11.2011, http://www.enel.com/en-GB/media/press_releases/release.aspx?iddoc=1643264, 1, 12.03.2012, 1

Energieblock24, Studie: Elektrofahrzeuge zunehmend alltagstauglich, 30.08.2011,
<http://www.energieblog24.de/studie-elektrofahrzeuge/>, 5, 20.04.2012, 1

Energiepartner, Netznutzungsrechnungsprüfung - Energiedatenmanagement für
Stromlieferanten, 2012,
[http://www.energiepartner.de/index.php/Dienstleistungen/
Energiedatenmanagement/Stromlieferanten/Netznutzungsrechnungsprüfung?
MttgSession=689baa775aa22f2720bc1303191c71db](http://www.energiepartner.de/index.php/Dienstleistungen/Energiedatenmanagement/Stromlieferanten/Netznutzungsrechnungsprüfung?MttgSession=689baa775aa22f2720bc1303191c71db), 2, 28.03.2012, 1f

Energieprognose 2009, Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030, Bundesministerium
für Wirtschaft und Technologie, Berlin 2010

Engel, T., Das Elektrofahrzeug als Regelenergiekraftwerk des Solarzeitalters, 01.11.2005,
[http://www.objectfarm.org/Solarkonzepte/Mobilitaet/V2G/V2G_Regelenergiekraftwerk_So
larzeitalter_112005.pdf](http://www.objectfarm.org/Solarkonzepte/Mobilitaet/V2G/V2G_Regelenergiekraftwerk_Solarzeitalter_112005.pdf), 6, 01.03.2012, 1

Engelhard, K. Nachhaltige Entwicklung – Lernfeld der Lehrerbildung, in: Engelhard, K
(Hrsg.): Umwelt und nachhaltige Entwicklung – Ein Beitrag zur Lokalen Agenda 21,
Waxmann Verlag GmbH, Münster 1998, 7-19

environmentalleader, 3M Installs Electric Car Charging Point, 11.02.2011,
<http://www.environmentalleader.com/2011/02/11/3m-installs-electric-car-charging-point/>,
1, 13.03.2012, 1

E.ON, Elektromobilität - mit Strom unterwegs, Düsseldorf, 2011

E.ON, Energien der Zukunft, eon.de, 2012a,
<https://www.eon.de/de/eonde/pk/energieUndZukunft/energiezukunft/index.htm>, 3,
20.03.2012, 1f

E.ON, Elektroautos als Zwischenspeicher, 2012b

http://www.e-onenergie.com/pages/eea_de/Innovation/Innovation/E-Mobilitaet/Elektroautos_als_Energiespeicher/index.htm, 1,12.03.2012, 1

ESMA, What is Smart Metering?, 2010, <http://www.esma-home.eu/smartMetering/default.asp>, 1, 11.03.2012, 1

Euronews, Electric Cars that buy and sell their own power, 05.10.2010, <http://www.euronews.com/2010/10/05/electric-cars-that-buy-and-sell-their-own-power/>, 2, 05.10.2010, 1

Europäische Union, Richtlinie 2009/72/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt und zur Aufhebung der Richtlinie 2003/54/EG, Amtsblatt L 211/55, 2009

Europäische Union, Entschließung des Europäischen Parlaments vom 6. Mai 2010 zu Elektrofahrzeugen, Amtsblatt C 81 E/84, 2011

European Commision, European SmartGrids Technology Platform Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future, 2006, http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf, 44, 07.03.2012, 1-44

eVgo, Electric car homecharging docks & charging stations network, 2011a, <https://www.evgonetwork.com/>, 1, 13.03.2012, 1

eVgo, The Network, 2011b, https://www.evgonetwork.com/The_Network/, 1,13.03.2012, 1

eVgo, Suggest A Location, 2011c, https://www.evgonetwork.com/The_Network/Suggest_a_Location/, 1, 13.03.2012, 1

eVgo, Charging Plans, 2011d,

https://www.evgonetwork.com/Charging_Plans/, 1, 13.03.2012, 1

eVgo, Partners, 2011e,

https://www.evgonetwork.com/About_Us/Partners/, 2, 13.03.2012, 1

EV Network UK, Home, 2011a, <http://www.ev-network.org.uk/>, 1, 13.03.2012, 1

EV Network UK, Register or Apply for Membership, 2011b, <http://www.ev-network.org.uk/register>, 1, 13.03.2012, 1

evworld, Japanes Firms Form Quick-Charge Network, 27.11.2011,

<http://evworld.com/news.cfm?newsid=26933>, 2, 13.03.2012, 1

EWE, Die Idee, 2012a, <http://www.etelligence.de/projekt.php>, 1, 11.03.2012, 1

EWE, Projekt unter Strom: "GRID-Surfer", 2012b, http://www.ewe.de/ewe-macht-zukunft/grid_surfer.php, 1, 11.03.2012, 1

EWE, Das Konsortium, 2012c, <http://www.etelligence.de/konsortium.php>, 1, 15.03.2012, 1

Facchi, C., Methodik zur formalen Spezifikation des ISO/OSI Schichtenmodells, Herbert Utz Verlag Wissenschaft, München 1995

Fasse, M., Handelsblatt, Industrie spielt das Elektroauto durch, 17.02.2009,

<http://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/herausforderung-elektroauto-industrie-spielt-das-elektroauto-durch-seite-2/3113290-2.html>, 3, 12.03.2012, 1

Felderhoff, R., Busch, U., Leistungselektronik, 4. Auflage, Carl Hanser Verlag, München-Wien 2006

Finkenzeller, K., RFID Handbuck – Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC, 5. Aufl., Carl Hanser Verlag, München 2008

Flinn, G., Windecker, N., Leiber, T., Seltene Erden in der Elektromobilität, o.J., <http://www.bem-ev.de/seltene-erden-in-der-elektromobilitat/>, 2, 29.03.2012, 1-2

Fluhr, J., Laing, P., Electric Mobility - Schemes of Identifiers for E-Roaming - Contract ID and Electric Vehicle Supply Equipment, o.O., 2011

Fluhr, J., Lutz, T., Use Case Types for Communication with and for Electric Vehicles (EV), in: Thoben, K.-D., Stich, V., Imtiaz, A. (Eds.), Proceedings of the 17th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE 2011), Aachen, Germany, 2011

Focus, Auto-Nation Deutschland – Drei Viertel der Haushalte besitzen Pkw, 26.03.2009, http://www.focus.de/auto/news/auto-nation-deutschland-drei-viertel-der-haushalte-besitzen-pkw_aid_384315.html, 8, 13.03.2012, 1

Foosnæs, A. H., About the EDISON project, 18.12.2009, http://www.edison-net.dk/About_Edison.aspx, 2, 22.04.2012, 1

Foosnæs, A. H., EDISON Projekt, Work Packages, 10.02.2010a <http://www.edison-net.dk/WorkPackages.aspx>, 1, 13.03.2012, 1

Foosnæs, A. H., EDISON Projekt, WP 1- EV Technology, 07.08.2010b, http://www.edison-net.dk/WorkPackages/WorkPackage_1.aspx, 1, 15.03.2012, 1

Foosnæs, A. H., Report: WP1.1 Electric Vehicle Technology, 02.11.2010c, http://www.edison-net.dk/~//media/EDISON/Reports/EDISON_WP1-1_Report_Interim_results.ashx, 44, 24.04.2012, 3-9

Foosnæs, A. H., Rasmussen, J., Andersen, C., Gehrke, O., Isbrandt, G., Report: WP2.7 Grid Codes and Regulation Related to EVS, 2011, http://www.edison-net.dk/~media/EDISON/Reports/EDISON_WP2_7_Grid_Codes_Approved.ashx, 37, 24.04.2012, 13-14

Foosnæs, A. H., Rasmussen, J., Report: WP1.1 Electric Vehicle Technology Part II, 14.11.2011, http://www.edison-net.dk/~media/EDISON/Reports/WP1_1-2nd_ReportEV_technologies_approved.ashx, 9, 24.04.2012, 8

Forschungszentrum Jülich GmbH, Anwendungen, 08.08.2003, <http://www2.fz-juelich.de/ief/ief-3/brennstoffzellen/allgemeines/anwendungen/>, 1, 25.04.2012, 1

ForTISS GmbH, Mehr Software (im) Wagen, 2011, <http://download.fortiss.org/public/ikt2030/ikt2030de-gesamt.pdf>, 106, 20.04.2012, 1-2, 20-57

Forum ElektroMobilität, Zusammenfassung – Bewerbungen zum Schaufenster Elektromobilität, o. J., <http://www.forum-elektromobilitaet.de/flycms/de/web/223/-/Schaufenster+Elektromobilitaet.html>, 7, 13.03.2012, 2

Fraunhofer IAO, Elektromobilität – Herausforderung für Industrie und öffentliche Hand, 2010, <http://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/elektromobilitaet-herausforderungen-fuer-industrie-und-oeffentliche-hand.pdf>, 90, 18.03.2012, 10f

Fraunhofer ISI/IZM, Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft, März 2009, <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/abschaetzung-des-energiebedarfs-der-weiteren-entwicklung-der-informationsgesellschaft.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>, 176, 18.03.2012, 2f

Friedl, C., Autos unter Strom, Öko-Institut e.V., Berlin 2011

Friedrich Ebert Stiftung (FES), Zukunft der deutschen Automobilindustrie, Dezember 2010,
<http://www.fastev-berlin.org/2010-12%20FES-Zukunft-Automobilindustrie.pdf>, 50,
20.04.2012, 24

Fritsche, U., Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und
erneuerbaren Strombereitstellung, Öko-Institut e.V., Darmstadt 2007

Fritzsche, E., Heusinger, S., Huhle, H., Innovation durch Normen und Standards, in:
IKT für Elektromobilität, Publikation des Bundesministeriums für Wirtschaft und
Technologie (BMWi) (2011), 16-17

Frost/Sullivan, European Electric Vehicles Charging Infrastructure Market Set to Boom,
10.05.2011, <http://www.frost.com/prod/servlet/press-release.pag?docid=232576455>, 2,
21.04.2012, 1

Früh, W., Inhaltsanalyse – Theorie und Praxis, 3. Aufl., Ölschläger Verlag, München 1991

FZA (Forschungszentrum Allgäu), Fahrzeuge, 2012a,
<http://www.ee-tour.de/flotte/fahrzeuge>, 4, 10.03.2012, 2-4

FZA (Forschungszentrum Allgäu), Zielsetzung, 2012b,
<http://www.ee-tour.de/projekt/zielsetzung>, 2, 09.03.2012, 1-2

FZA (Forschungszentrum Allgäu), Lade-Vorgang, 2012c,
<http://www.ee-tour.de/ladesaeulen/lade-vorgang>, 2, 10.03.2012, 1

FZA (Forschungszentrum Allgäu), Elektromobilität und Tourismus im Allgäu, 2012d,
<http://www.ee-tour.de/start>, 2, Abruf: 10.03.2012, 1 (Video)

FZA (Forschungszentrum Allgäu), Ladesäulen für E-Autos, 2012e,
http://www.ee-tour.de/ladesaeulen/ladesaeulen_fuer_e-autos, 1, 10.03.2012, 1

FZA (Forschungszentrum Allgäu), Batterietechnik, 2012f,
<http://www.ee-tour.de/flotte/batterietechnik>, 2, 10.03.2012, 1

FZA (Forschungszentrum Allgäu), Projektpartner, 2012g,
<http://www.ee-tour.de/projektpartner>, 3, 10.03.2012, 2-3

FZA (Forschungszentrum Allgäu), Ladesäulen-Liste, 2012h,
<http://www.ee-tour.de/ladesaeulen/ladesaeulen-liste>, 4, 20.03.2012, 2-3

Galus, M. D., Zima, M., Andersson, G., On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures, in: Energy Policy, 38 (2010) 11, 6736-6745

Gantenbein, D., Jansen, B., Dykeman, D., Andersen, P., Hauksson, E., Marra, F., Pederson, A., Andersen, C., Dall, J., WP3 - Distributed Integration Technology Development, 2011,
http://www.edison-net.dk/~media/EDISON/Reports/EDISON_WP3_-_Distributed_integration_technology_development.ashx, 59, 24.04.2012, 20-36

Gao, C., Redfern, M.A., A Review of Voltage Control in Smart Grid and Smart Metering Technologies on Distribution Networks, in: 46th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC 2011), Soest, Deutschland, South Westphalia University of Applied Sciences, 2011

Garche, J., Riegel, B., Sauer, D. U., Xiao, C., A Study on: Vehicle Batteries in China and Germany, 31.03.2009,
http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Verkehr/Dokumente/GCSFP-Study_-_Vehicle_Batteries_in_China_and_Germany.pdf, 104, 10.02.2012, 38-39, 40-41, 50

Gassmann, O., Bader, M.A., Patentmanagement: Innovationen Erfolgreich Nutzen Und Schützen, Springer Verlag, Berlin, 2006

Gast, M., 802.11 Wireless Networks – The Definitive Guide, 2. Aufl., O'Reilly, Sebastopol 2005

Geipel, M. Mayer, C.A., Ein Rechtsrahmen für das Laden von Elektromobilen, in: *Mobility 2.0*, (2012) 1, 22-24

General Motors, OnStar to Show Smart Energy Management Solutions, 01.02.2011, http://media.gm.com/product/public/us/en/FuelEfficiency/home/intro.detail.html/content/Pages/news/us/en/2011/Feb/0201_onstar, 2, 13.03.2012, 1

Globeone, Die Wahrnehmung deutscher Marken in den wichtigsten Wachstumsmärkten, September 2011, http://www.globe-one.com/wp-content/uploads/2011/09/BRIC-BRANDING-SURVEY_Top-12_deutsch.pdf, 34, 15.04.2012, 1-3

Göllinger, T., Das Innovationspotential der E-Mobility, in: Schriftenreihe: Arbeitspapiere des Instituts für ökologische Betriebswirtschaft, IöB-Arbeitspapier Nr. 45, 2007

Götze, U., Rehme, M., Elektromobilität – Herausforderungen und Lösungsansätze aus wirtschaftlicher Sicht, 2011, <http://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl3/Publikationen/Elektromobilitaet.pdf>, 45, 20.04.2012, 9;36-37

Gourley, D., Totty, B., HTTP – The Definitive Guide, O'Reilly, Sebastopol 2002

Gouvernement, Le Pacte automobile, 06.03.2009, <http://www.gouvernement.fr/gouvernement/le-pacte-automobile>, 3, 18.03.2012, 2

Graham, J., Messer, N., Hartmann, D., Bradley, L., Carley, S., Crookham, C., "Plug-in Electric Vehicles: A Practical Plan for Progress" School of Public and Environmental Affairs at Indiana University, 2011, <http://works.bepress.com/bradleywlane/10>, 05.03.2012, 4, 6, 9, 20

greencarcongress , GM and OnStar launching real-world smart grid pilot with ATOMS-based services, 22.07.2011, <http://www.greencarcongress.com/2011/07/atoms-20110722.html>, 2, 13.03.2012, 1-2

Green eMotion, Europaweite Initiative Green eMotion soll Elektromobilität den Weg ebnen, 01.04.2011, http://www.greenemotion-project.eu/upload/pdf/press/german_kickoff_Green_eMmotion_04-01-2011.pdf, 1, 21.03.2012, 1

Green eMotion, Our partners, 2012, <http://www.greenemotion-project.eu/partners/index.php>, 3, 23.03.2012, 1

Greenpeace Energy, DIE QUELLEN UNSERES STROMS, o.J., <http://www.greenpeace-energy.de/oekostrom/strommix.html>, 1, 25.03.2012, 1

Grobecker, C., Energy consumption and air emissions caused by transport activities, Statistisches Bundesamt Deutschland, Berlin, 2003, 13

Grunwald, A., Kopfmüller, J., Nachhaltigkeit, Campus Verlag GmbH, Frankfurt am Main 2006

Gudgin, M., Hadley, M., Mendelsohn, N., Moreau, J.-J., Nielsen, H.F., Karmarkar, A., Lafon, Y., SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition), 27.04.2007, <http://www.w3.org/TR/soap12-part1/>, 49, 29.03.2012, 4

Guevarra, L., Walgreens to install EV Charging Stations at 800 Stores, 21.07.2011, <http://www.greenbiz.com/news/2011/07/21/walgreens-install-ev-charging-stations-800-stores>, 3, 13.03.2012, 1

Hable, M., Schwaegerl, C.; Tao, L.; Ettinger, A.; Koberle, R., Meyer, E.-P., Requirements on electrical power infrastructure by electric vehicles, in: E-Mobility - Electrical Power Train, VDE Congress 2010, Leipzig, Germany, ETG Energietechnische Gesellschaft im VDE, IEEE Power Electronics Society (PELS), 2010

Hackbarth, A., Schürmann, G., Madlener, R., Plug-in Hybridfahrzeuge: Marktentwicklung, Marktchancen und ökonomisch interessante Fragestellungen, Proceedings of the 6th International Conference in Energy Economics "Energy, Economy and Technological Progress in Times of High Energy Prices" (IEWT), Wien, Austrian Association for Energy Economics, 2009, 1-7

Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F., Zimmer, W., Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe - Critical Review of Literature, in: ETC/ACC Technical Paper, 4 (2009), 1-166

Hahn, Klaus, Einsatzmöglichkeiten elektrischer Antriebe für landwirtschaftliche Maschinenkombinationen, Shaker Verlag, Aachen, 2011, 8, 13, 18-19, 142

Hardt, M., E-Mobility wird Standard, 20.10.2011,
http://www.zvei-elektromobilitaet.org/general/ecartec_2011/20-10-11_05_Hardt.pdf, 24,
29.03.2012, 19-20

Häring, V., Hauser, F., Peking und Shanghai: Unterwegs in Chinas Metropolen, 1. Auflage, Trescher Verlag, Berlin, 2007, 17

Hauff, M. von, Die Nachhaltigkeitsstrategie von Rheinland-Pfalz, in: Hauff, M. von, Lingnau, V., Zink, K (Hrsg.): Nachhaltiges Wirtschaften – Integrierte Konzepte, Nomos, Baden-Baden 2008, 23-48

Hauff, M. von, Kleine, A., Nachhaltige Entwicklung – Grundlagen und Umsetzung, Oldenbourg, München 2009

Hechtfisher, K., Pawlitschek, F., Das Auto lernt zählen: Mobile Metering Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge, in: Automobil Elektronik, (2011) 2, 60

Heider, F., Büttner, M., Link, J., Wittwer, C, Vehicle to Grid: Realization of power management for the optimal integration of plug-in electric vehicles into the grid, EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Stavanger, World Electric Vehicle Association (WEVA), 2009, 1-12

Heinrich, L.J., Lehner, F., Informationsmanagement, 8. Aufl., Oldenbourg, München-Wien, 2005, 21

Heinrich, L.,Heinzl, A.,Riedl, R., Wirtschaftsinformatik – Einführung und Grundlegung 4. Aufl., Springer Verlag, Berlin 2011

Heise, Konferenz diskutiert Datenschutz in Smart Grids, 10.12.2009,
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/Konferenz-diskutiert-Datenschutz-in-Smart-Grids-882184.html>, 2, 01.03.2012, 1

Heise, Studie: Gesamtkonzept zur IT-Sicherheit im Smart Grid fehlt, 09.03.2012,
<http://www.heise.de/ix/meldung/Studie-Gesamtkonzept-zur-IT-Sicherheit-im-Smart-Grid-fehlt-1466797.html>, 2, 25.03.2012, 1

Hering, L., Hering, H., Heyne, K.G., Technische Berichte: Verständlich gliedern, überzeugend vortragen, 6. Aufl., Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009

Herrmann, C., Ganzheitliches Life Cycle Management – Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen, Springer, Heidelberg-Dordrecht-London-New York 2010

Hersener, J.-L., Meier, U., Rationelle Energieanwendung in der Landwirtschaft (REAL), Unter Berücksichtigung vermehrten Einsatzes erneuerbarer Energieträger, Bundesamt für Energie, Ittingen, 2001, 25, 35

Heuer, S., Rollende Kraftwerke, in: Fokus - Automobiltechnik 2010, 10 (2004), 104-105

Hidrué, M.K., Parsons, G.R., Kempton, W., Gardner, M.P., Willingness to pay for electric vehicles and their attributes, in: Resource and Energy Economics, 33 (2011) 3, 3

HomePlug Powerline Alliance, HomePlug Green PHY Specification – HomePlug Powerline Alliance, 2012, https://www.homeplug.org/tech/homeplug_gp, 1, 29.03.2012, 1

Hörmansdorfer, R., Agritronica 2012: Von der Dieselpest bis zum Trend „Steckdose neben Zapfwelle“ | Landwirtschaftskammer – Technik, 31.01.2012, <http://www.agrarnet.info/?+Agritronica+2012++Von+der+Dieselpest+bis+zum+Trend+Steckdose+neben+Zapfwelle+&id=2500%2C1655975%2C%2C%2C>, 4, 24.04.2012, 3

Hürlimann, W., Methodenkatalog, 2. Aufl., Verlag Peter Lang AG, Bern 1981

IDC EMEA, ICT and e-Business Impact in the Energy Supply Industry, 4. Aufl., IDC EMEA, Framingham, Massachusetts, 2009

IEEE, A range extender hybrid electric vehicle dynamic model, Dezember 1994, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=411387>, 6, 20.04.2012, 1

IEEE, About Section, 2011, <http://www.ieee.de/index.php?id=43>, 1, 08.04.2012, 1

IHK Region Stuttgart, Otto-, Diesel-, Elektromotor – wer macht das Rennen?, Oktober 2010, http://www.stuttgart.ihk24.de/linkableblob/979512/data/Broschuere_Gruene_Mobilitaet-data.pdf, 48, 23-28

IKT, Das Förderprogramm E-Energy, 2012a <http://www.ikt-em.de/de/1256.php>, 2, 08.03.2012, 1

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE), Elektroauto als Firmenwagen - Feldversuch zeigt hohe Akzeptanz, 06.02.2012, <http://www.isoe.de/uploads/media/pm-isoe-futurefleet-2012.pdf>, 1, 23.04.2012, 1

International Electrotechnical Commission (IEC), EVs ready to charge ahead, 18.10.2011, <http://www.iec.ch/newslog/2011/nr1611.htm>, 2, 24.04.2012, 1

International Standardisation Organisation (ISO), Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network - Part 1: General standard for mobile data communication, ISO, Genf, 2007, 1-18

ITWissen, smart home, 2012,

<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/E-Home-eHome-electronic-home.html>, 1, 28.03.2012, 1

Jagstaidt, U., Kossahl, J., Kolbe, L., Smart Metering Information Management, in: Wirtschaftsinformatik, 53 (2011) 5, 313-317

John Deere Vertrieb, John Deere Traktoren, 2012a,

http://www.deere.de/wps/dcom/de_DE/products/equipment/tractors/tractors.page?, 2, 13.3.2012, 1

John Deere Vertrieb, John Deere S Serie Mähdrescher, 2012b,

http://www.deere.de/wps/dcom/de_DE/products/equipment/combines/s_series/s_series.page?, 2, 13.3.2012, 1

Kachouh, C., E-Fahrzeuge laden per SMS- BMWi- gefördertes Projekt sms&charge gestartet, 13.09.2011, <http://www.presseportal.de/pm/102615/2111474/e-fahrzeuge-laden-per-sms-bmwi-gefoerdertes-projekt-sms-charge-gestartet>, 2, 13.03.2012, 1.

Kaluza, S., eMobility – Sicheres Laden – Standardisierung der Lade-Protokolle,

31.05.2011, www.teletrust.de/uploads/media/9_TeleTrusT_SmartGrid_Kaluza.pdf, 19, 29.03.2012, 2-15

Kays, J., Schwippe, J., Waniek, D., Rehtanz, C., Multidimensionales Verfahren zur Bestimmung des Regelleistungsbedarfes unter Berücksichtigung von Unsicherheiten, in: ZEITSCHRIFT FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT, 34 (2010) 4, 267-278

Kempton, W., Letendre, S., ELECTRIC VEHICLES AS A NEW POWER SOURCE FOR ELECTRIC UTILITIES, in: Transportation Research, 2 (1997) 3, 157-175

Kempton, W., Letendre, S., The V2G Concept: A New Model For Power? in: Public Utilities Fortnightly, 140 (2002) 4, 16-26

Kempton, W., Tomic, J., Letendre, S., Brooks, A., Lipman, T., Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California, in: Institute of Transportation Studies, (2001), 1-95

Kempton, W., Tomic, J., Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue, in: Journal of Power Sources, 144 (2005a) 1, 268-279

Kempton, W., Tomic, J., Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy, in: Journal of Power Sources, 144 (2005b), 280-294

Kendall, G., Plugged In: The End of the Oil Age, Brussels: WWF European Policy Office. http://assets.panda.org/downloads/plugged_in_full_report___final.pdf, 202, 04.03.2012, 83

Kerschbaum, M., Myth buster: can our switch stations accommodate different battery types, 07.12.2010, <http://blog.betterplace.com/2010/12/myth-buster-can-our-switchstations-accommodate-different-battery-types/>, 16, 21.03.2012, 1

KIT (Karlsruher Institut für Technologie), Offizieller Abschlussfilm MeRegioMobil, 2010a, <http://meregionobil.forschung.kit.edu/93.php>, 11.03.2012, 1

KIT (Karlsruher Institut für Technologie), MeRegioMobil, 2010b,
http://meregionobil.forschung.kit.edu/downloads/MeRegioMobil_Broschuere_Deutsch.pdf
, 44, April 2010, 5-6, 13

KIT (Karlsruher Institut für Technologie), Projektstruktur von MeRegioMobil, 2012a,
<http://meregionobil.forschung.kit.edu/index.php>, 3, 09.03.2012, 1-2

KIT (Karlsruher Institut für Technologie), Projektkonsortium, 2012b,
<http://meregionobil.forschung.kit.edu/56.php>, 1, 10.03.2012, 1

KIT (Karlsruher Institut für Technologie), Projektstruktur von MeRegioMobil, 2012c,
<http://meregionobil.forschung.kit.edu/82.php>, 3, 20.03.2012, 2

Klaus, T., Vollmer, C., Werner, K., Lehmann, H., Müschen, K., 2050: 100% - Energieziel
2050: 100% Strom aus erneuerbaren Energien, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2010

Kleine, A., Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie – Ökologie, Ökonomie und
Soziales integrieren, Gabler, Wiesbaden 2009

Klink, G., Krubasik, S., Rings, T., Sparsam, sauber, elektrisch? Das Rennen um den Antrieb
der Zukunft, A.T. Kearney, März 2009,
[http://www.atkearney.de/content/misc/
wrapper.php/id/50551/name/pdf_eb_03_09_antriebdzukunft_net_12371967874e82.pdf](http://www.atkearney.de/content/misc/wrapper.php/id/50551/name/pdf_eb_03_09_antriebdzukunft_net_12371967874e82.pdf), 8,
18.03.2012, 3/6

Klodt, H., Zum Konzept der Leitmärkte – Eine Einführung aus industrieökonomischer
Sicht, März 2011,
[http://www.ifw-kiel.de/wirtschaftspolitik/politikberatung/politikwerkstatten/leitmarkte-
abstract](http://www.ifw-kiel.de/wirtschaftspolitik/politikberatung/politikwerkstatten/leitmarkte-abstract), 10, 15.02.2012, 1-2

Kloess, M., Die Wirtschaftlichkeit teil- und voll elektrifizierter Antriebe in Österreich bis
2030, in: 6. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien, Technische
Universität Wien, 2009, 20

Knechtel, H., Elektroautos nach ISO 15118 laden, in: Mobility 2.0, (2011) 3, 55-57

Koch, J., Meisinger, C., E-Mobility-Patentindex, 31.08.2011,
<http://www.grunecker.de/download/publications/E-Mobility.pdf>, 23, 24.03.2012

Kommission der Europäischen Gemeinschaft, Eine Energiepolitik für Europa, Brüssel 2007.

Koponen, P, Saco, L.D., Orchard N., Vorisek, T., Parsons, J., Rochas, C., Morch, A.Z., Lopes, V., Togeby, M., Definition von Smart Metering, Anwendungen und Identifikation der Vorteile, Zusammenfassung, 12.05.2008,
http://www.esma-home.eu/UserFiles/file/downloads/Final_reports/D3%20Summary_de.pdf, 5, 20.03.2012, 4f

Korthauer, R., Elektromobilität als branchenübergreifende Standortfrage?, in: Praxisforum „Verantwortung Zukunft“, Frankfurt, Deutschland, 15.12.2011

Kortlüke, N., Pieprzyk, B., Klimafreundliche Elektromobilität: Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020, in: Energie Impuls OWL e.V., Bielefeld, 2010, 15

KPMG, Elektromobilität – spannende Zeiten, Juli 2011,
<http://www.kpmg.de/media/elektromobilitaet-20110722.pdf>, 28, 20.04.2012, 10-21

Kraftfahrt Bundesamt, Herkömmliche Antriebe bestimmen die Neuzulassungen, 2012,
http://www.kba.de/nn_124384/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/EmissionenKraftstoffe/2011__n__herkoemmlische__antriebe__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/2011_n_herkoemmlische_antriebe_pdf.pdf, 2, 24.04.2012, 1

Krcmar, H., Informationsmanagement, 5. Aufl., Springer, Berlin-Heidelberg 2010, 32-34

Krogh, H., Bosch plant Pilotprojekt für E-Mobilität in Singapur, 2012,
<http://automobilwoche.de/article/20101008/REPOSITORY/101009940/1075/specials/bosch-plant-pilotprojekt-fur-e-mobilitat-in-singapur>, 2, 13.03.2012, 1

Krüger, R., Systemanalytischer Vergleich alternativer Kraftstoff- und Antriebskonzepte in der Bundesrepublik Deutschland, VDI Verlag, Düsseldorf, 2002

Lamonica, M., Vehicle-to-grid venture eV2g connects to utility NRG, 26.09.2011,
http://news.cnet.com/8301-11128_3-20111827-54/vehicle-to-grid-venture-ev2g-connects-to-utility-nrg/?tag=contentMain;contentBody;5n, 5, 18.04.2012, 2

Langer, J., Roland, M., Anwendungen und Technik von Near Field Communication (NFC), Springer Verlag, Berlin 2010

Lauer, M., Die Autobahn als Spektrum, in: Spektrum der Wissenschaft, 9 (2011) 9, 86-88

LBG Mittel- und Ostdeutschland, Eigenverbrauchstankstellen für Dieselkraftstoff, März 2007, http://www.lsv.de/mod/010_praevention/uv10_merkbl/95_eigenverbrauchstankst.pdf, 10, 24.04.2012, 2

Lee, F., Seltene Erden: Abhängigkeit von China, 11.02.2011,
<http://www.zeit.de/wirtschaft/2011-02/china-seltene-Erden>, 16, 26.03.2012, 2

Lee, J., Electric, 19.03.2009, <http://www.whitehouse.gov/blog/2009/03/19/electric>, 2, 25.03.2012, 1

Lehmann-Ortega, L., Schoettl, J.-M., From buzzword to managerial tool: the role of business models in strategic innovation, in: Consejo Latinoamericano de Escuelas de Administración (CLADEA), Santiago de Chile, 2005

Leipner, Ingo, cecu GmbH, Intelligentes Stromnetz – Bausteine für ein intelligentes Stromnetz, o.J., <http://www.cecuc.de/intelligentes-stromnetz.html>, 1, 12.03.2012, 1

Leitinger, C., Litzlbauer, M., Netzintegration und Ladestrategien der Elektromobilität, in: Elektrotechnik & Informationstechnik, (2011) 1, 12-13

Lerch, C., Kley, F., Dallinger, D., New business models for electric cars: A holistic approach. Working paper sustainability and innovation No. S5/2010, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, 2010

Leschus, L., Stiller, S., Vöpel, H., Mobilität – Strategie 2030, Berenberg Bank, Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut (HWWI), Hamburg, 2009

Leurent, F., Windisch, E., Triggering the development of electric mobility: a review of public policies, 22.10.2010,
<http://www.springerlink.com/content/ghq570268853q546/fulltext.pdf>, 15, 21.04.2012, 2-5

LichtBlick., Überzeugender Strommix, o.J., http://www.lichtblick.de/h/strommix_333.php, 2, 25.03.2012, 1

Linder, E., Wohin damit? Elektromobilität und Entsorgung, in: MobiliTec-Messeguide 2010, 2010, 54-57

Lingnau, V., Sustainability Accounting – Möglichkeiten und Grenzen der Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten im Rechnungswesen, in: Hauff, M. von, Lingnau, V., Zink, K (Hrsg.): Nachhaltiges Wirtschaften – Integrierte Konzepte, Nomos, Baden-Baden 2008, 77-104

Link, J., Elektromobilität und erneuerbare Energien: Lokal optimierter Einsatz von netzgekoppelten Fahrzeugen, Diss. Dortmund, 2011, 35-45

Lippautz, S., Winterhoff, M., Winning on the E-mobility Playing Field - How to avoid a "red" business case for "green" vehicles, Arthur D. Little, 05.2010,
http://www.adlittle.de/uploads/tx_extthoughtleadership/ADL_E-Mobility.pdf, 4, 20.03.2012, 3

Lübbert, D., CO₂-Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich, 24.05.2007, http://www.bundestag.de/dokumente/analysen/2007/CO2-Bilanzen_verschiedener_Energietraeger_im_Vergleich.pdf, 32, 20.03.2012, 5

Ma, Y., Houghton, T., Cruden, A., Infield, D., Modeling the Benefits of Vehicle-to-Grid Technology to a Power System, in: Power Systems, 99 (2012), 1- 9

Majer, H., Nachhaltige Entwicklung - Leitbild für Zukunftsfähigkeit; in: Wirtschaftsstudium 32 (2003). 7, 935-943

Marketwatch, Kohl's Department Stores Piloting Electric Vehicle Charging Stations at 33 Stores, 2011, <http://www.marketwatch.com/story/kohls-department-stores-piloting-electric-vehicle-charging-stations-at-33-stores-2011-12-15>, 4, 13.03.2012, 1-2

Mathieu, P., Ist Nachhaltigkeit messbar? – ausgewählte gesamtgesellschaftliche Indikatoren für Sustainable Development, in: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung 14 (2001) 1, 226-235

Mattes, K., Lerch, C., Schröter, M., Phan, K., Anwendungsfelder mobiler Energiespeicher – Eine Bestandsaufnahme und Perspektiven für die Konzeption aussichtsreicher Geschäftsmodelle für Elektrofahrzeuge, 2011, <http://hdl.handle.net/10419/44991>, 18.03.2012, 1-60

Mennekes, IEC hat weltweiten Ladestecker-Standard mit drei Systemen definiert, Januar 2011, [http://www.mennekes.de/aktuell_details.html?tx_ttnews\[tt_news\]=549&cHash=a1e58e0f4199cc11233cc55acac971cb](http://www.mennekes.de/aktuell_details.html?tx_ttnews[tt_news]=549&cHash=a1e58e0f4199cc11233cc55acac971cb), 3, 24.04.2012, 1

Michaelis, N. V., Reform der Wohlstandsmessung als Grundlage für eine Nachhaltige Ökonomie. Bewertung alternativer Ansätze und Umsetzung, in: Sauer, T (Hrsg.): Ökonomie der Nachhaltigkeit – Grundlagen, Indikatoren, Strategien, Metropolis-Verlag, Marburg 2012, 15-40

Misra, I.S., Wireless Communications and Networks: 3G and Beyond, Neu Delhi, Tata Mcgraw Hill Education Private Limited, 2009

Mittelbach, E-Mobilität braucht Forschungsförderung, in: E-Mobilität: Eine Sonderveröffentlichung des Reflex Verlages, (2011), S. 20

MOBI.E, Network Mobi.e, o.J.a,
<http://www.mobie.pt/en/a-rede-mobie>, 3, 12.03.2012, 2

MOBI.E, Partners, o.J.b,
<http://www.mobie.pt/en/parceiros>, 2, 12.03.2012, 1-2

MOBI.E, Card Mobi.E, o.J.c,
<http://www.mobie.pt/en/cartaomobie>, 3, 12.03.2012, 2

Molly, J. P., Zukunft der Windenergie weltweit, 29.04.2009,
http://www.energieundklimaschutzbw.de/content/public/de/_media/_pdf/Molly-Zukunft-Windenergie-1.pdf, 21, 24.04.2012, 2

Motavalli, J., Electric Vehicle Chargers Planned for Manhattan Parking Lots, 26.08.2010,
<http://wheels.blogs.nytimes.com/2010/08/26/e-v-chargers-planned-for-manhattan-parking-lots/>, 9, 13.03.2012, 2-3

Müller, V., Duell Volkswagen/Toyota - Inder entscheiden über Sieg und Niederlage, 18.10.2010, <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/0,2828,722947,00.html>, 3, 16.04.2012, 1

MVV Energie AG, moma- Das Energiesystem wird intelligent, 2012a,
<http://www.modellstadt-mannheim.de/moma/web/de/home/index.html>, 1, 11.03.2012, 1

MVV Energie AG, Partner, 2012b,

http://www.modellstadt-mannheim.de/moma/web/de/partner/partner_1.html, 2, 15.03.2012, 1-2

Nationale Plattform Elektromobilität, Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, 30.11.2010a,

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_emob_bf.pdf, 15

Nationale Plattform Elektromobilität, Die deutsche Normungs-Roadmap – Elektromobilität – Version 1, 30.11.2010b, http://www.dke.de/de/std/Documents/E-Mobility_Normungsroadmap%20V1.pdf, 62, 17.02.2012, 4

Nationale Plattform Elektromobilität, Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, 2011a,

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_emob_2.pdf, 64, 11.02.2012, 5-35, 43-49, 55

Nationale Plattform Elektromobilität, AG 6 Ausbildung und Qualifizierung, in: Kuratorium der Deutsche Wirtschaft für Berufsbildung, Tagung der gewerblich-technischen Ausbildungsleiter, München, Deutschland, 2011b, 3

Nationale Plattform Elektromobilität, Die deutsche Normungs-Roadmap – Elektromobilität – Version 2, Januar 2012, http://www.dke.de/de/std/Documents/E-Mobility_Normungsroadmap_V2.pdf, 82, 10.03.2012, 4

Naturstrom, Vorteile bei naturstrom, o.J., <https://www.naturstrom.de/unser-strom/privatkunden/die-vorteile>, 2, 25.03.2012, 1

New Holland, Clean Energy Leader, o.J.,

http://www.thecleanenergyleader.com/de/faq_de.html, 19, 24.04.2012, 16

New Holland, Wasserstoffbetriebener NH₂TM-Traktor und energieunabhängiger Betrieb, 2009,

http://agriculture.newholland.com/germany/de/WNH/hydrogen/Documents/NH_90014_DOO.pdf, 4, 27.3.2012, 2-4

Nischler, G., Gutschi, C., Beermann, M., Stigler H., Auswirkungen von Elektromobilität auf das Energiesystem, in: Elektrotechnik & Informationstechnik, (2011) 1, 56

NTTdocomo , Project to Test Home & Electric Vehicle Network Standards for CO2 Reduction, 2010a, <http://www.nttdocomo.com/pr/2010/001490.html>, 2, 13.03.2012, 1-2

NTTdocomo, Attachment, 2010b, http://www.nttdocomo.com/pr/files/20101020_attachment01.pdf, 1, 13.03.2012, 1

Oliver Wyman, Powerplay beim Elektrofahrzeug, Oliver Wyman, München, 09.2009

Openpr, Eco-Siedlung in Norderstedt, 21.02.2012, <http://www.openpr.de/news/609594/Eco-Siedlung-in-Norderstedt.html>, 2, 13.03.2012, 1

O'Sullivan, M., Edler, D., Nieder, T., Rüter, T., Lehr, U. Peter, F., Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2011, 14.3.2012, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_bruttobeschaeftigung_bf.pdf, 17, 26.3.2012, 13

o.V., LithoRec – Recycling von Lithium-Ionen-Batterien, o.J.a <http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/batteri recycling/lithorec>, 1, 29.03.2012, 1

o.V., Stromanbieter in Deutschland, o.J.b, <http://www.verivox.de/stromanbieter/>, 2, 20.03.2012, 1

o.V., Welche Elektroautos kann man schon kaufen?, o.J.c, <http://www.elektroauto-start.de/wissen/erster-welche-elektroautos-kann-man-schon-kaufen>, 15.04.2012, 13, 20.03.2012, 6-7

o.V., Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, 11.12.1997,

www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/protodt.pdf, 23, 12.04.2012, 3

o.V., Deutschland ist im internationalen Vergleich Photovoltaik-Rekordhalter, 14.04.2009a,

http://www.solarportal24.de/nachrichten_25804_deutschland_ist_im_internationalen_vergleich_photovoltaik-re.html, 1, 20.03.2012, 1

o.V., McDonald's Deploys Plug-In Car Charging Station, 05.07.2009b,

<http://www.hybridcars.com/news/mcdonalds-deploys-its-first-ev-charging-station-25902.html>, 7, 13.03.2012, 1

o.V., Der Kampf um mehr Elektroauto Reichweite, 2010a, <http://www.elektroautofahren.com/elektroauto-reichweite.html>, 2, 12.03.2012, 1-2

o.V., Smart Fortwo Electric Drive technische Daten, 19.01.2010b, <http://www.auto-freak.de/mercedes-benz/4155-smart-fortwo-electric-drive-technische-daten.php>, 4,

25.03.2012, 1

o.V. Umicore Technology, Mai 2010c,

<http://www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/media/UmicoreTechnology.pdf>, 8, 28.03.2012, 2-7

o.V., Bosch entdeckt Singapur als ideales Land der E-Mobilität, 2011a

<http://www.auto.de/magazin/showArticle/article/61501/Bosch-entdeckt-Singapur-als-ideales-Land-der-E-Mobilitaet>, 8, 13.03.2012, 1

o.V., Ladezeit und Ladestrom von Batterien, 2011b, <http://www.umweltbewusstheizen.de/verkehr/Elektrofahrzeuge/Batterie/Ladezeit/Ladezeit-Ladestrom-Akku.html>, 1,

13.03.2012, 1

o.V., Leitfaden über den Kraftstoffverbrauch, die CO₂-Emissionen und den Stromverbrauch aller neuen Personenkraftwagenmodelle, die in Deutschland zum Verkauf angeboten werden, 21.11.2011c, <http://dat.de/leitfaden/LeitfadenCO2.pdf>, 72, 26.03.2012, 1

o.V., Brutto-Stromerzeugung nach Energieträgern 2011, 14.12.2011d, [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/C125783000558C9FC125781C002F0D8D/\\$file/10%2012%2002%20Energie-Info_EE%20und%20EEG%20in%20Zahlen.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/C125783000558C9FC125781C002F0D8D/$file/10%2012%2002%20Energie-Info_EE%20und%20EEG%20in%20Zahlen.pdf), 1, 05.03.2012, 1

o.V., Privatleute treiben die Energiewende voran, 28.11.2011e, <http://www.energieportal.info/politik/politik/article/privatleute-treiben-die-energiewende-voran.html>, 2, 24.04.2012, 1

o.V., car charging group inc (CCGI:OTC BB), 2012a, <http://investing.businessweek.com/research/stocks/snapshot/snapshot.asp?ticker=CCGI:US>, 5, 13.03.2012, 3

o.V., Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2011 nach Energieträgern, 15.02.2012b, http://www.ag-energiebilanzen.de/componenten/download.php?filedata=1326461230.pdf&filename=BRD_Stromerzeugung1990_2011_20Dez2011.pdf&mimetype=application/pdf, 1, 05.03.2012, 1

Park & Charge, Anmeldeformular für Nutzer, o.J.a, http://www.parkcharge.de/fileadmin/bsm/data/Oeffentlicher_Bereich/Seiten_ohne_Navi/P_C/Anmeldeformular.pdf, 1, 21.03.2012, 1

Park & Charge, Einführung, o.J.b, <http://www.park-charge.de/index.php?id=einfuehrung>, 2, 21.03.2012, 1

Park & Charge, o.J.c, Startseite, <http://www.park-charge.de/index.php?id=start>, 1, 21.03.2012, 1

Patten, J., Christensen, N., Srivastava, S., Nola, G., Wind Charged Plug-In Hybrid Electric Vehicle, in: Green Manufacturing Journal, Paper 1 (2011), 2-5

- Pehnt, M., Helms, H., Lambrecht, U., Dallinger, D., Wietschel, M., Heinrichs, H., Kohrs, R., Link, J., Trommer, S., Pollok, T., Behrens, P., Elektroautos in einer von erneuerbaren Energien geprägten Energiewirtschaft, in: Z Energiewirtschaft, 07.05.2011, 2f
- Peters, A., Dütschke, E., Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität, 2010, http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/Images/FSEM_Ergebnisbericht_Experteninterviews_tcm243-66462.pdf, 34, 20.03.2012, 5
- Petry, R. Kainer, A., Elektromobilität - Wachstumsimpuls für Energieversorger, Roland Berger Strategy Consultants, Wien, 2009
- Pillai, J. R., Heussen, K., Østergaard, P. A., Comparative analysis of hourly and dynamic power balancing models for validating future energy scenarios, in: Energy, 36 (2011) 5, 3233-3243
- Pezzey, J., Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development, Environment Department Working Paper Nr. 15, Washington, DC: World Bank, veröffentlicht als: Sustainable Development Concepts: An Economic Analysis, World Bank Environment Paper Nr. 2, World Bank, Washington, DC 1989
- Pickel, P., Elektromobilität bei Landmaschinen - Ein Schritt in Richtung einer CO₂-freien Landwirtschaft, September 2011, http://www.ikt-em.de/documents/AG_SC5_Pickel_110910.pdf, 13, 27.3.2012, 6-13
- Pioneer, Navi und Entertainmentgerät speziell für Elektroautos, 08.07.2011, <http://www.mein-elektroauto.com/2011/07/navi-und-entertainmentgerat-speziesell-fur-elektroautos/3061/>, 13, 20.04.2012, 4f
- Ponath, S., Bildung für eine nachhaltige Entwicklung – Dargestellt am Beispiel des Haus am Strom, Diplomica Verlag, Hamburg 2010
- Porter, M.E., Strategy and the Internet, in: Harvard Business Review (2001), 63–78
- Przewloka, M., IKT als E-Mobility-Säule – Mobilitätsmanagement, SAP AG, o.O., 2011

pwc, Elektromobilität – Normen bringen die Zukunft in Fahrt, Januar 2012,
http://www.pwc.de/de_DE/de/offentliche-unternehmen/assets/studie_normung.pdf, 16,
15.02.2012, 3

Quaschnig, V., Erneuerbare Energien und Klimaschutz – Hintergründe Techniken
Anlagenplanung Wirtschaftlichkeit, Carl Hanser, München 2008

Quinn, C., Zimmerle, D., Bradley, T., The effect of communication architecture on the
availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary
services, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 2009

Rademacher, P., CarIT - Mobilität 3.0, AutomotiveIT, Pattensen, 2011

Rammler, S., Weider, M. (Hg.), Das Elektroauto – Bilder für eine zukünftige Mobilität, Lit.
Verlag Dr. W. Hopf, Berlin, 2011, 17

Randelhoff, M., SMART-WAY: Die Revolution im ÖPNV, 24.01.2012,
<http://www.zukunft-mobilitaet.net/8037/konzepte/smart-way-navigation-oepnv/>, 2,
20.04.2012, 1f

RECS International, Frequently asked questions, o.J.,
<http://www.recs.org/content.php?IDPAGE=14>, 3, 12.03.2012, 1

Reichel, R., Why Solar Powered Mobility?, in: 18th Electric Vehicle Symposium,
Berlin, Deutschland, 2001

Renius, K.Th., Hydrostatische Fahrtriebe für mobile Arbeitsmaschinen, in: VDI-Verlag
(Hrsg.), Antriebssysteme für Off-Road-Einsätze, Garching, Verein Deutscher Ingenieure
(VDI), 2003, 65-78

Rivier, M., Gómez, T., Cossent, R., Momber, I., Mobile Energy Resources in Grids of
Electricity (MERGE), WP5, Task 5.1, Deliverable 5.1, New actors and business models
for the integration of EV in power system, Project MERGE, 2011

Roland Berger Strategy Consultants, Wegweiser Solarwirtschaft: PV-Roadmap 2020, München, 2010, 2,

http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content_files/roadmap_kurz.pdf

Ropp, M. E., Similarities Between Vehicle-to-Grid Interfaces and Photovoltaic Systems, Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC'09), Dearborn, Michigan, Institut of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2009, 1221-1225

Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks, R., Handley, M., Schooler, E., SIP: Session Initiation Protocol, 01.06.2002,

<http://tools.ietf.org/html/rfc3261>, 270, 29.03.2012, 8-10

Rothfuss, F., 7 Thesen für einen Leitanbieter Elektromobilität Deutschland, 08.06.2010,

http://blog.iao.fraunhofer.de/index.php?option=com_wordpress&p=471, 2, 17.03.2012, 1

Rottwilm, C., Geht der Opec schon 2024 das Öl aus?, manager magazin online, 03.01.2008,

<http://www.manager-magazin.de/finanzen/artikel/0,2828,526384,00.html>, 2, 27.03.2011, 1

Rudshies, W., Batterien für das Elektroauto: Fünf große Hersteller beherrschen den Weltmarkt – Experten-Interview, 07.05.2011, 4, 22.04.2012, 1f

RWE, Stromkennzeichnung gemäß § 42 Energiewirtschaftsgesetz der RWE Supply & Trading GmbH, Essen, für das Lieferjahr 2010, o.J.,

<http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/1194610/data/285496/3/rwe-supply-trading/kunden/origination-industrialcustomers/stromkennzeichnung/Stromkennzeichnung-RWEST-Sales-2010-Internet.pdf?null>, 1, 25.03.2012, 1

RWE, Geschäftsbericht 2011, 2011a,

<http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/413496/data/10122/3/rwe/rwe-konzern/Geschaeftsbericht-2011-PDF-Download-.pdf>, 240, 15.3.2012

RWE, Neugierig auf die Zukunft?, rwe.com , 2011b,

<http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/413188/data/345768/5/rwe/innovationen/servi>

ces/infothek-forschung-entwicklung/infothek-downloadbereich/Innovationsbroschuere-Neugierig-auf-die-Zukunft.pdf, 28, 20.03.2012, 13/21

RWE, New applications, rwe.com, 20.03.2012a,
<http://www.rwe.com/web/cms/en/87154/rwe-innogy/technologies/new-applications/>, 1,
20.03.2012, 1

RWE, e-DeMa- Entwicklung und Demonstration dezentral vernetzter Energiesysteme hin zum E-Energy Marktplatz der Zukunft, 2012b, <http://www.e-dema.de/de/index.html>, 1,
11.03.2012, 1

RWE, Partner für den Energie-Marktplatz der Zukunft, 2012c,
<http://www.e-dema.de/de/partner.html>, 1, 15.03.2012, 1

RWE, Produkte & Services Übersicht, 2012d, <https://www.rwemobility.com/web/cms/de/1242562/produkte-services/uebersicht/>, 2, 19.03.2012, 1

RWE Mobility, Vehicle to Grid: Mobile Kraftwerke auf dem Weg, o.J.,
<http://www.rwe-mobility.com/web/cms/de/236864/rwemobility/der-markt/vehicle-to-grid/>,
1.12.03.2012, 1

Saabye, T., WP5 deliverable WP5 - Interoperability test report, 05.09.2011,
http://www.edison-net.dk/~media/EDISON/Reports/WP5-DOC-06_Interoperability_test_rev1-00.ashx, 17, 24.04.2012, 6

San Román, T.G., Momber, I., Abbad, M.R., Sánchez Miralles, Á., Regulatory framework and business models for charging plug-in electric vehicles: Infrastructure, agents, and commercial relationships, in: Energy Policy 39 (2011), 6360–6375

Santer, B., CO2-Grenzwert – Alle Autos unter 120 Gramm CO2, FOCUS Online,

20.12.2007,

http://www.focus.de/auto/ratgeber/unterwegs/co2-grenzwert_aid_230386.html, 2,
18.03.2012, 1

SAP AG, Software Prototyp, 2012a,

http://www.futurefleet.de/index.php?option=com_content&view=article&id=82:software-prototyp&catid=39:projektaufbau&Itemid=62, 3, 10.03.2012, 2

SAP AG, Fahrzeuge, 2012b,

http://www.futurefleet.de/index.php?option=com_content&view=article&id=98&Itemid=27, 3, 10.03.2012, 2

SAP AG, Infrastruktur, 2012c,

http://www.futurefleet.de/index.php?option=com_content&view=article&id=79:infrastruktur&catid=39:projektaufbau&Itemid=62, 3, 10.03.2012, 2

SAP AG, Schlussbericht zum Forschungsprojekt Future Fleet, 2012d,

<http://www.futurefleet.de/images/stories/ergebnisse/Schlussbericht.pdf>, 65, 10.03.2012, 23,
12, 14

SAP AG, Future Fleet: Dienstwagen mit grüner Energie, 2012e,

http://www.futurefleet.de/index.php?option=com_content&view=article&id=98&Itemid=27, 3, 10.03.2012, 2

SAP AG, Konsortium, 2012f,

http://www.futurefleet.de/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=1&Itemid=3,1, 10.03.2012, 1

SAP AG, SAP-ERP Anwendungen, 2012g,

<http://www.sap.com/germany/solutions/business-suite/erp/index.epx>, 1, 18.03.2012, 1

Sarguan, M., Summary and Conclusions, in: Florence School of Regulation (FSR), Smart Metering, Florenz, Italien , Council of European Energy Regulators (CEER), Robert Schuman Centre of Advanced Studies (RSC), 06.02.2009, 3

Schill, W.-P., Elektromobilität in Deutschland - Chancen, Barrieren und Auswirkungen auf das Elektrizitätssystem, in: Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung, 2 (2010a), 139-159

Schill, W.-P., Elektromobilität: Kurzfristigen Aktionismus vermeiden, langfristige Chancen nutzen, in: Wochenbericht des DIW Berlin, 27/28 (2010b), 2-9

Schluchter, C., Die Idee des Vehicle to grid (V2G), Juni 2007, www.eeh.ee.ethz.ch/uploads/tx_ethpublications/pps_07_schluchter.pdf, 19, 15.03.2012, 1/3-4/9-13

Schmetz, R., Kett, J., Neue Produkttechnologien im Traktorenbau, insbesondere elektromechanische Traktorgetriebe, in: VDI-Verlag (Hrsg.), Tagung Landtechnik, Garching, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 1998, 1-6

Schneider, M., Tcaciuc, S., Ruland, C., Secure metering for electrical vehicles, in: EMobility - Electrical Power Train, VDE Congress 2010, Leipzig, Germany, ETG Energietechnische Gesellschaft im VDE, IEEE Power Electronics Society (PELS), 2010

Schreiber, A., Planung eines Ladeinfrastrukturnetzes für Elektrofahrzeuge in Berlin, in: Jahrestagung des AK Verkehr der Deutschen Gesellschaft für Geographie, Tübingen, TU Berlin, 2011, 24

Schreiber, M., Kraftstoffverbrauch beim Einsatz von Ackerschleppern im besonderen Hinblick auf CO₂-Emissionen, Shaker Verlag, Aachen, 2006, 148-149

Schuler, B., Elektromobilität und Elektrofahrzeuge: Ökonomische Bewertung des Marktpotenzials im Jahr 2020, Diplomica Verlag, Hamburg 2011

Schuller, A., Marktintegration der Elektromobilität, Ein agentenbasierter Ansatz für das Smart Grid, in: Appelrath, H. J., Nieße, A., Sonnenschein, M., Troeschel, M., Energieinformatik 2010. Vol. 1, no. 1. Offis - Institut für Informatik, 2010, S. 39-50

Schulze, A., Schmitt, P., Becker, H., Straub, N., Automobilindustrie Europa, Osec, Zurich, 2009, 45-57

Schwab, A.J., Elektroenergiesysteme Erzeugung, Transport, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, 3. Aufl., Springer, Berlin-Heidelberg 2012, 15-23

Schwertle, T., Strukturelle Betrachtungen zukünftiger Energienutzung, 2009, www.schwertle.com/_media/pdf/meemo.pdf, 133, 15.03.2012, 38-41

Seddon, P.B., Lewis, G.P., Freeman, P., Shanks, G., The case for viewing business models as abstractions of strategy, in: Communications of the Association for Information Systems 13 (2004), 427–442

Seligman, J., Electric Vehicles and Time-of-Use Rates: The impending Role of the New York State Public Service Commission in Regulating Our Transportation Future, in: Pace Environmental Law Review, 28 (2011), 2, 572-575

Sick, Leitbild, 2012, http://www.sick.com/de1/DE/home/about_sick/mission_statement/Seiten/mission_statement.aspx, 3, 03.04.2012, 2

Siemens, Siemens-Aktivitäten zur Elektromobilität, 13.08.2010, http://www.siemens.com/press/pool/de/events/corporate/2010-09_emobility/factsheet-siemens-aktivitaeten-elektromobilitaet-d.pdf, 3, 23.04.2012, 2

Siemens, Intelligente Stromnetze, in: E-Mobilität: Eine Sonderveröffentlichung des Reflex Verlages, (2011), 3

Siemens, Das Unternehmen Siemens 2012, Februar 2012a,
http://www.siemens.com/press/pool/de/homepage/das_unternehmen_2012.pdf, 51,
23.04.2012, 7

Siemens, Elektromobilitaet – Siemens Deutschland, 2012b,
<https://www.siemens.de/elektromobilitaet/elektromobilitaet.html>, 7, 28.03.2012, 1-7

Siemens., Elektromobilitaet - Siemens Deutschland, 2012c,
www.siemens.de/elektromobilitaet/elektromobilitaet.html?stc=deccc020184, 9, 19.03.2012,
3

Siemens, Hybridantriebe – Large Drives – Siemens, 2012d,
[http://www.automation.siemens.com/mcms/large-
drives/de/hybridantriebe/Seiten/hybridantriebe.aspx](http://www.automation.siemens.com/mcms/large-drives/de/hybridantriebe/Seiten/hybridantriebe.aspx), 1, 27.03.2012, 1

Siemens, Mit vernetztem Verkehr Städte nachhaltiger machen, 06.11.2012e,
[http://www.siemens.com/press/pool/de/events/2011/corporate/2011-09-emobility/factsheet-
4s-d.pdf](http://www.siemens.com/press/pool/de/events/2011/corporate/2011-09-emobility/factsheet-4s-d.pdf), 2, 20.04.2012, 1

Siemens, Visions become reality: Electromobility in practice, 2012f,
[http://www.energy.siemens.com/hq/en/energy-
topics/electromobility/practice/#content=Project%20Green%20eMotion](http://www.energy.siemens.com/hq/en/energy-topics/electromobility/practice/#content=Project%20Green%20eMotion), 4, 23.03.2012, 1-3

Simon, H., Hidden Champions des 21. Jahrhunderts: Die Erfolgsstrategien unbekannter
Weltmarktführer, Campus Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 2007, 75-76

Sionshansi, F. P., „Smart Grid“: integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy, 1.
Aufl., Elsevier Inc., Waltham 2012

Smart, Stark, sauber, sparsam, 2012a,
[http://www.smart.de/produkte-fortwo-coup%C3%A9-technik-motoren/e0a1fb03-d93b-
5af7-80ab-7c81f0ff63f2](http://www.smart.de/produkte-fortwo-coup%C3%A9-technik-motoren/e0a1fb03-d93b-5af7-80ab-7c81f0ff63f2), 2, 29.03.2012, 1

Smart, smart fortwo electric Effizienzklasse A+, 2012b,

<http://www.smart.de/produkte-electric-drive-fahrzeug/46ae95fa-efa6-50aa-9b67-52e4aba5dec4>, 1 29.03.2012, 1

Smart Grids Austria, Smart Grids, o.J.,

<http://www.smartgrids.at/smart-grids/>, 5, 12.03.2012, 1-5

SMB Smart Grid Strategic Group (SG3), IEC Smart Grid Standardization Roadmap, International Electrotechnical Commission, Genf 2010

Sommer, K., Continental-Mobilitätsstudie 2011, 15.12.2011, http://www.conti-online.com/generator/www/com/de/continental/presseportal/allgemein/elektromobilitaet/workshop_2011_12_15/download/studie_de.pdf, 35, 10.04.2012, 24

http://www.conti-online.com/generator/www/com/de/continental/presseportal/allgemein/elektromobilitaet/workshop_2011_12_15/download/studie_de.pdf, 35, 10.04.2012, 24

Spath, D., Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann, in: acatech bezieht Position, Nr. 6, Hrsg.: Springer Verlag, Berlin – Heidelberg 2010, 21-22, 27-28

Spiegel, Regierung begrenzt Abwrackprämien-Summe auf fünf Milliarden Euro, 07.04.2009, <http://www.spiegel.de/politik/deutschland/0,1518,618023,00.html>, 4, 28.03.2012, 1

statista.com, Superbenzin - Durchschnittspreis 1972-2012 | Statistik, 2012,

de.statista.com/statistik/daten/studie/776/umfrage/durchschnittspreis-fuer-superbenzin-seit-dem-jahr-1972/, 2, 17.04.2012, 1

Statistisches Bundesamt, Wichtigste Exportgüter aus Deutschland 2010, 2011,

<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/151019/umfrage/exportgueter-aus-deutschland/>, 1, 10.03.2012, 1

Stegemann, C., Elektromobiles Wohnen: In Norderstedt wird die Zukunft modelliert,

07.02.2012, <http://www.motorkultur.com/de/home/visionen/13-artikel/38313-elektromobiles-wohnen-in-norderstedt-wird-die-zukunft-modelliert.html>, 2, 13.03.2012, 1

Steiler, G., Pkw-Bestand steigt auf 42,9 Millionen, 24.01.2012,
<http://www.automobil-industrie.vogel.de/index.cfm?pid=3245&pk=346126>, 2, 20.03.2012,
1

Sterner, M., Ökostrom als Erdgas speichern, 26.04.2010,
<http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2010/04/strom-erdgas-speicher.html>, 2, 29.03.2012, 1

Sterner, M., Jentsch, M., Holzhammer, U., Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes, , Februar 2011, http://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/sonstiges/Greenpeace_Energy_Gutachten_Windgas_Fraunhofer_Sterner.pdf, 46, 25.04.2012, 8, 16, 34

Stiftung Warentest, Was ist ein Smart Meter?, 2008,
<http://www.test.de/themen/haus-garten/meldung/Leserfrage-Was-ist-ein-Smart-Meter-1736070-2736070/>, 1, 12.03.2012, 1

Stiftung Warentest, Ökostrom - Klimaschutz oder Etikettenschwindel?, 10.2009,
<http://www.test.de/themen/umwelt-energie/test/Stromtarife-Oekostromanbieter-vorn-1807897-1807886>, 2, 25.03.2012, 1

System Strobel, SYSTEM STROBEL - Fahrzeugbau von Rettungswagen - Krankentransportwagen – Notarzteinsatzfahrzeuge, o.J., www.system-strobel.de/rtw_daimlerkasten.php, 2, 17.03.2012, 1

Tagesspiegel, Maue Bilanz bei E-Autos, 12.12.2011,
<http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/mobil/weniger-als-2000-neuzulassungen-maue-bilanz-bei-e-autos/5948072.html>, 4, 12.03.2012, 1

Tagscherer, U., Electric mobility in China – A policy review, in: Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30, Karlsruhe 2012, 1, 4-6

Teichman, G., Trützscher, J., Hahn, C., Schäfer, P., Hermann, A., Höhne, K.,
Elektromobilität – Normen bringen die Zukunft in Fahrt, Deutsches Institut für Normung
e.V, Berlin 2012

TEMA AG, Mobil im Internet der Energie, 2012a,
http://www.smartwheels.de/index.php?article_id=6&clang=0, 1, 10.03.2012, 1

TEMA AG, Integration der Elektromobilität in die Infrastruktur von Stadtwerken, 2012b,
http://www.smartwheels.de/index.php?article_id=7&clang=0, 1, 10.03.2012, 1

TEMA AG, Netzintegration der Elektromobilität in Verteilungsnetze, 2012c,
http://www.smartwheels.de/index.php?article_id=8&clang=0, 2, 10.03.2012, 1-2

TEMA AG, Entwicklung Ladestation, 2012d,
http://www.smartwheels.de/index.php?article_id=9&clang=0, 1, 11.03.2012, 1

TEMA AG, Abrechnungsservice Elektromobilität, 2012e,
http://www.smartwheels.de/index.php?article_id=10&clang=0, 1, 11.03.2012, 1

TEMA AG, IKT- adaptiertes Fahrzeug, 2012f,
http://www.smartwheels.de/index.php?article_id=11&clang=0, 1, 11.03.2012, 1

TEMA AG, Feldversuch, 2012g,
http://www.smartwheels.de/index.php?article_id=13&clang=0, 1, 11.03.2012, 1

TEMA AG, Das Konsortium, 2012h,
http://www.smartwheels.de/index.php?article_id=15&clang=0, 5, 11.03.2012, 3-4

Thomas, C.E., Fuel Cell and Battery Electric Vehicles Compared, 27.03.2009,
http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/education/pdfs/thomas_fcev_vs_battery_evs.pdf, 12, 25.04.2012, 3-4

Thomas, R., Buckmaster, D., Relative safety of traditional agricultural tractor power take-off (PTO) drivelines compared to fluid power – a review, in: Journal of Agricultural Safety and Health, 9 (2003), 3, 244

Timmers, P., Business Models for Electronic Markets, in: Electronic Markets, Vol. 8 (1998) 2, 3–8

TomTom, How does GPS work?, 2012,
<http://www.tomtom.com/howdoesitwork/page.php?ID=22&CID=6&Language=-1>, 4,
22.03.2012, 2

Traber, T., Kemfert, C., Diekmann, J., Strompreise: künftig nur noch geringe Erhöhung durch erneuerbare Energien, DIW, Berlin, 2011, 5

Treffer, F., Abschlussbericht zum Verbundvorhaben - Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzeptes für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge – Lithium-Ionen Batterierecycling Initiative – LiBRi – im Rahmen des FuE-Programms "Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität", Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Hanau 2011

Turton, H., Moura, F.: Vehicle-to-grid systems for sustainable development, An integrated energy analysis, in: Technological Forecasting & Social Change, 75 (2008) 8, 1091-1108

Ullmann, H., Reifeprüfung – Als der Mensch zur Naturkraft wurde, 2. Auflage, Books on Demand, Norderstedt 2009

Umweltbundesamt, Kraftwerke, 01.03.2012, <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=3438>, 7, 09.03.2012, 2-3

UmweltDialog, „Forschung für Nachhaltigkeit“ (Fona) des BMBF & Informationsdienst Wissenschaften e.V., 2009, http://www.umweltdialog.de/umweltdialog/mobilitaet/2009-03-30_Projekt_Edison.php, 1, 30.03.2009, 1

Umwelt- und Prognoseinstitut, UPI 35 – Folgen einer Massenglobalisierung, 2009,
<http://www.upi-institut.de/upi35.htm>, 4, 27.03.2012, 1

United Nations Population Fund (UNFPA), Weltbevölkerungsbericht 2011, Deutsche
Stiftung Weltbevölkerung (DSW), 31.10.2011,
<http://www.weltbevoelkerung.de/oberes-menue/publikationen-downloads/zu-unseren-themen/unfpa-weltbevoelkerungsbericht.html>, 132, 28.03.2012, 4

utilicount, Partner, 2012, http://www.modellstadt-mannheim.de/moma/web/de/partner/partner_1.html, 2, 15.03.2012, 1-2

US Department of Energy, President Obama announces \$2.4 Billion for Electric Vehicles,
19.03.2009, http://apps1.eere.energy.gov/news/daily.cfm/hp_news_id=159, 1, 13.03.2012,
1

Valid Research, Umfrage zur Bedeutung eines eigenen Autos 2012, März 2012,
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/220144/umfrage/umfrage-zur-bedeutung-eines-eigenen-autos/>, 2, 20.03.2012, 1

Verband der Automobilindustrie, Jahresbericht 2009, 2009,
<http://www.vda.de/de/downloads/636/>, 284, 15.03.2012, 12

Verband der Automobilindustrie, VDA-Grafik_Staedtewachstum_Kreise_2011,
16.05.2011, www.vda.de/de/downloads/966/, 1, 07.03.2012, 1

Verband der Automobilindustrie, Jährliche Produktion von PKW in
Deutschland 2011, 2012a,
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/75210/umfrage/produktion-von-pkw-in-deutschland-seit-1990/>, 1, 24.03.2012, 1

Verband der Automobilindustrie, Deutsche Automobilindustrie – Umsatz

2011, 2012b, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/160479/umfrage/umsatz-der-deutschen-automobilindustrie/>, 1, 10.03.2012, 1

Verband der Automobilindustrie, Beschäftigtenzahl in der Automobilindustrie
2011, 2012c, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/30703/umfrage/beschaefigtetenzahl-in-der-automobilindustrie/>, 1, 10.03.2012, 1

Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE), DIN EN 61851-1
VDE 0122-1:2012-01 – Normen – VDE Verlag, 01.01.2012, <http://www.vde-verlag.de/normen/0122014/din-en-61851-1-vde-0122-1-2012-01.html>, 1, 29.03.2012, 1

Verband der Elektrotechnik, Elektronik Informationstechnik (VDE), E-Mobility:
Abrechnungskonzepte, 2012,
<http://www.vde.com/de/E-Mobility/Ladeinfrastruktur/Abrechnungskonzepte/Seiten/default.aspx>, 1, 21.03.2012, 1

Vezzini, A., Mobilität und erneuerbare Energie – Elektrofahrzeuge, in: Physik in unserer
Zeit, 41 (2009) 1, 36-42

Vincken, D., Bosch: Singapur als ideales Land der E-Mobilität, 05.10.2011,
<http://www.motorvision.de/artikel/bosch-entdeckt-singapur-als-ideales-land-der-e-mobilitaet,11829.html>, 2, 13.03.2012, 2

Volkswagen, Forschungskonsortium startet innovatives Projekt „E-Komfort“ zu
thermischer Behaglichkeit in Elektrofahrzeugen, 01.09.2011,
http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/news/2011/09/e_komfort.html, 1, 13.03.2012, 1

Volkswagen, Auf in eine neue Epoche – Studie bescheinigt Volkswagen hohe
Elektromobilitätskompetenz, 2012,
http://www.volkswagen.de/de/Volkswagen/nachhaltigkeit/technologien/antriebe_

und_motoren/leise_und_sauberteil2.html, 1, 20.03.2012, 1

Von Roon, S., Gobmaier, T., Huck, M., Demand Side Management in Haushalten - Methoden zur Potenzialanalyse und Kostenabschätzung, Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München, 2010

Waffner, J., RWE Elektro-Mobilität - Wir bringen grünen Strom auf die Straße, RWE Effizienz GmbH, o.O., 2010

Wagner, U., Stromversorgung des 21. Jahrhunderts, in: FfE Schriftenreihe Band 29, Tagungsband zur Fachtagung “ Stromversorgung des 21. Jahrhunderts, 2009, 25-27

Wagner vom Berg, B., Köster, F., Gómez, J., Elektromobilität: Gegenwart oder Zukunft? Förderung der Elektromobilität durch innovative Infrastruktur- und Geschäftsmodelle, in: Schumann, M., Kolbe, L. M., Breitner, M. H., Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2010, Göttingen, 2010, 973-986

Wallentowitz, H., Freialdenhoven, A., Olschewski, I., Strategien zur Elektrifizierung des Antriebstranges: Technologien, Märkte und Implikationen, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009, 52

Walther, S., Markovic, I., Schuller, A., Weidlich, A., Classification of Business Models in the E-Mobility Domain, in: Proceedings of the 2nd European Conference Smart Grids and EMobility, Brüssel, Belgien, European Technology Platform on Smart Systems Integration (EPoSS)

Weber, H., 2006KU_2807WeberVerbrennungsmotor, 2006, http://www.hs-pforzheim.de/De-de/Hochschule/Rektorat/Oeffentlichkeitsarbeit/Documents/Kinderuni2006/2006KU_2807WeberVerbrennungsmotor.pdf, 29, 17.03.2011, 11

Wendt, O., Nachhaltigkeit und Individualverkehr: Kann Telematik den Widerspruch auflösen? in: Hauff, M. von, Lingnau, V., Zink, K (Hrsg.): Nachhaltiges Wirtschaften – Integrierte Konzepte, Nomos, Baden-Baden 2008, 105-122

Wilde, T., Hess, T., Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik Eine empirische Untersuchung, in: Wirtschaftsinformatik, 49 (2007) 4, 282

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Systemanalyse BWe mobil - IKT- und Energieinfrastruktur für innovative Mobilitätslösungen in Baden-Württemberg,

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart 2010

WirtschaftsWoche, McKinsey-Studie – USA und Frankreich sind Elektroauto-Vorreiter, 17.04.2010, <http://www.wiwo.de/unternehmen/mckinsey-studie-usa-und-frankreich-sind-elektroauto-vorreiter-seite-2/5637716-2.html>, 3, 15.03.2012, 2

Wittemann, N., Feldmann, S., Neue Wertschöpfungskette Elektromobilität, in: Consulting 2011 (2010), 188-195

Woolcock, M., Social capital and economic development: Toward a theoretical synthesis and policy framework, in: Theory and Society, 27 (1998) 2, 151-208

Yay, M., Elektromobilität, 1. Aufl., Internationaler Verlag der Wissenschaften, Frankfurt am Main 2009

Yiyun, T., Can, L., Lin, C., Lin, L., Research on Vehicle-to-Grid Technology, Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), Changsha, Hunan, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2011, 1013-1016

Zahnjel, M., eCar IT – Auswirkungen der Elektromobilität auf die IT, 26.05.2011,

http://www.it-brunch.net/fileadmin/assets/blickzurueck/events2011/05/S/eCar_IT.pdf, 7,
16.04.2012, 4

Zankl, P., Energieautarkes Wohnen dank E-Mobilität: Deutschlands erste Modellsiedlung,
08.02.2012, <http://www.wattgehtab.com/elektro-mobilitatsprojekte/energieautarkes-wohnen-dank-e-mobilitat-deutschlands-erste-modellsiedlung-3140>, 3, 13.03.2012, 1-2

Zetsche, D., Auf dem Weg zur emissionsfreien Mobilität – Möglichkeiten und Grenzen des elektrischen Fahrens: On the Way towards Zero-Emission Mobility – Opportunities and Limitations of Electric Driving, 18. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2009, Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik GbR, 2009

Zielke, Campbell, Sterley, Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität in den USA,
22.04.2010, http://www.ostwestfalen-meets.com/fileadmin/Redaktion/Dokumente/2010/Elektromobilitaet_USA.pdf, 5,
01.04.2012, 2-3

Zimmer, W., Buchert, M., Dittrich, S., Hacker, F., Harthan, R., Hermann, H., Jenseit, W., Kasten, P., Loreck, C., Götz, K., Sunderer, G., Birzle-Harder, B., Deffner, J., OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen - Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft - Schlussbericht im Rahmen der Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Öko-Institut e.V., Freiburg 2011

Zuber-Knost, E., Test für das Auto von morgen im Smart Home, 2010,
http://www.kit.edu/downloads/pi/PI_2010_112_Test_fuer_das_Auto_von_morgen_im_Smart_Home.pdf, 3, 29.09.2010, 1-2