Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge

Eine institutionenökonomische Analyse

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Justus Reinke
geb. in Bremen

von der Fakultät VII – Wirtschaft und Management
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Wirtschaftswissenschaften
- Dr. rer. oec. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:
Vorsitzender: Prof. Dr. Knut Blind
Gutachter: Prof. Dr. Thorsten Beckers
Gutachter: Prof. Dr. Christian von Hirschhausen
Gutachter: Prof. Dr. Dietmar Göhlich

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 16. Mai 2014

Berlin 2014

Inhaltsübersicht

1 Einleitung 1

***Teil A – Grundlagen*..... 4**

2 Grundlagen zur Elektromobilität..... 4

3 Untersuchungsgegenstand öffentliche Ladeinfrastruktur 37

***Teil B – Untersuchungsansatz und Vorgehen bei der Analyse* 101**

4 Untersuchungsansatz und relevante theoretische Erkenntnisse für die Analyse von Systemgütern 101

5 Anwendung des Untersuchungsansatzes und Vorgehensweise bei der Analyse 130

***Teil C – Zentrale Analysethemen* 140**

6 Abstimmung von Entscheidungen in horizontalen Beziehungen und Frage der Förderung eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks.....140

7 Frage der Bündelung von Stromlieferant und Ladeinfrastrukturbetreiber 171

8 Abstimmung von Entscheidungen in komplementären Beziehungen 176

***Teil D – Erweiterung der Analysen und Fazit* 193**

9 Weitere Fragestellungen und Ausblick 193

10 Fazit und Handlungsempfehlungen.....209

Literaturverzeichnis 213

***Anhang* 229**

Anhang A) Status und Prognosen des Markthochlaufs in Deutschland 229

Anhang B) Bestehende technische Standards im Bereich Ladeinfrastruktur .241

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

Teil A – Grundlagen **... 4**

2 Grundlagen zur Elektromobilität ... 4

2.1 Subsysteme und Güter als Grundlage für die Elektromobilität ... 4

2.1.1 Batterie und Fahrzeug ... 5

2.1.1.1 Elektrochemische Speicher (Batterien) als Antriebsenergiequelle ... 5

2.1.1.2 Elektrofahrzeuge ... 7

2.1.2 Straßen- und Parkraum sowie weitere Güter im Verkehrssystem ... 11

2.1.3 Bestehendes energiewirtschaftliches System im Kontext des EnWG ... 13

2.1.3.1 Erzeugung, Handel und Vertrieb ... 13

2.1.3.2 Elektrizitätsnetze ... 16

2.1.3.3 Querschnittsaufgaben Messung sowie bilanzielle Abwicklung ... 18

2.1.4 Ladeinfrastruktur an der Schnittstelle zwischen verschiedenen Subsystemen und Frage der Anpassung energiewirtschaftlicher Regelungen ... 21

2.1.4.1 Grundlegende Einordnung von Ladeinfrastruktur ... 21

2.1.4.2 Mögliche Änderungen bestehender energiewirtschaftlicher Regelungen im Kontext wechselnder Letztverbraucher der Elektromobilität ... 22

2.2 Historische Entwicklung elektrisch angetriebener Straßenfahrzeuge ... 24

2.3 Elektromobilität im Kontext übergeordneter Ziele ... 28

2.3.1 Potenzielle gesamtwirtschaftliche Effekte ... 29

2.3.1.1 Reduzierung globaler Treibhausgasemissionen ... 29

2.3.1.2 Nutzung von Fahrzeugbatterien im energiewirtschaftlichen System durch Beeinflussung oder Steuerung von Ladevorgängen ... 31

2.3.1.3 Reduzierung lokaler Umweltwirkungen des Straßenverkehrs ... 33

2.3.1.4 Verringerung des Erdölverbrauchs und Erhöhung der Energiesicherheit ... 33

2.3.1.5 Weitere ... 34

2.3.2 Ziele der Bundesregierung im Kontext der Elektromobilität ... 35

3 Untersuchungsgegenstand öffentliche Ladeinfrastruktur ... 37

3.1 Abgrenzung öffentlicher von halböffentlicher und privater Ladeinfrastruktur ... 37

3.2 Anwendungsfälle von Ladeinfrastruktur unter Berücksichtigung von Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems und Informationsverfügbarkeit ... 40

3.2.1 Nebenbedingungen in Bezug auf die Herleitung und Umsetzung von Anwendungsfällen ... 41

3.2.1.1 Potenzielle Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems ... 41

3.2.1.2 Informationen als Voraussetzung für verschiedene Anwendungsfälle ... 43

3.2.2 Mögliche Anwendungsfälle unter Berücksichtigung von Steuerungsoptionen ... 45

3.2.2.1 Ausgestaltungsdimensionen verschiedener Anwendungsfälle ... 46

3.2.2.2 In dieser Arbeit unterschiedene Anwendungsfälle ... 47

3.2.2.2.1 Ungesteuertes Laden ... 47

3.2.2.2.2 Beeinflusstes Laden ... 48

3.2.2.2.3 Gesteuertes Laden ... 49

3.2.3 Fazit ... 49

3.3 Nutzung und Nutzer öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur 50
3.3.1 Auswahlentscheidungen potenzieller Nutzer in Bezug auf das Elektromobilitätssystem 50
3.3.1.1 Entscheidungskriterien potenzieller Nutzer 51
3.3.1.1.1 Nutzerpräferenzen in Bezug auf das Mobilitätssystem 51
3.3.1.1.2 Kosten der Nutzung des Mobilitätssystems 54
3.3.1.1.3 Zeitlicher Anfall von Kosten und Nutzen eines Mobilitätssystems 55
3.3.1.2 Eigenschaften des Elektromobilitätssystems 56
3.3.1.2.1 Fahrzeugeigenschaften 57
3.3.1.2.2 Eigenschaften des Ladeinfrastruktur-Subsystems 60
3.3.1.2.3 Weitere Eigenschaften und Einflussnahme der öffentlichen Hand 62
3.3.2 Bedeutung öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur 63
3.3.2.1 Einfluss auf die Modalwahl 64
3.3.2.1.1 Einfluss von Anzahl und räumlicher Verteilung der Ladepunkte (Ladeinfrastrukturdichte) 64
3.3.2.1.2 Einfluss der Ladegeschwindigkeit 65
3.3.2.1.3 Empirische Erkenntnisse 66
3.3.2.1.4 Fazit 69
3.3.2.2 Weitere Nutzenpotenziale öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur 69
3.3.2.2.1 Bedeutung für die Erschließung von Nutzergruppen ohne eigenen Stellplatz 69
3.3.2.2.2 Entkoppelung von antriebsunabhängigem Energiebedarf 70
3.3.2.2.3 Sonstige Nutzenpotenziale 70
3.3.3 Potenzielle Erstnutzer der Elektromobilität 71
3.3.3.1 Eigenschaften potenzieller Erstnutzer 71
3.3.3.2 Potenzielle Nutzergruppen 72
3.4 Technische Ausgestaltungsoptionen für das Angebot öffentlicher Ladeinfrastruktur 74
3.4.1 Darstellung 74
3.4.1.1 Komponenten an der Ladeschnittstelle 75
3.4.1.2 Ausgestaltung der Energieübertragung 77
3.4.1.2.1 Grundlegende Prinzipien der Energieübertragung zwischen Stromnetz und Batterie 77
3.4.1.2.1.1 Konduktive Energieübertragung 78
3.4.1.2.1.2 Induktive Energieübertragung 78
3.4.1.2.1.3 Sonstige Möglichkeiten der Energieübertragung 79
3.4.1.2.1.4 Kompatibilität unterschiedlicher Prinzipien 80
3.4.1.2.2 Varianten konduktiver Ladeverfahren 81
3.4.1.2.2.1 Wechselstromladen mit dediziertem fahrzeugseitigem Stromrichter („AC 1“, „AC 3“) 81
3.4.1.2.2.2 Wechselstromladen mit Nutzung fahrzeugseitiger Leistungselektronik (Inverterladen, „AC i“) 83
3.4.1.2.2.3 Gleichstromladen mit stellplatzseitigem Stromrichter („DC“). 84
3.4.1.2.2.4 Kompatibilität konduktiver Ladeverfahren 85
3.4.1.3 Ausgestaltung der Kommunikation 87
3.4.1.3.1 Potenzielle Kommunikationserfordernisse 87
3.4.1.3.2 Kommunikation zwischen Fahrzeug, Ladeeinheit sowie Abrechnungs- und Steuerungsbackend 89
3.4.1.3.2.1 Mögliche Kommunikationswege 89
3.4.1.3.2.2 Verortung von Messeinrichtungen und Nutzerschnittstellen 90

3.4.1.4 Zusammenfassende Darstellung ... 92
3.4.2 Kriterienbasierte Diskussion ... 93
3.4.2.1 Qualität ... 94
3.4.2.2 Höhe von Investitions- und Betriebskosten sowie Aufteilung auf zentrale Güter ... 96
3.4.2.3 Berücksichtigung weiterer Aspekte ... 98
3.4.2.3.1 Einfluss der Verortung von Messeinrichtungen und Nutzerschnittstellen ... 98
3.4.2.3.2 Potenzieller Einfluss der Möglichkeit einer Direktbezahlung ... 99
3.4.3 Schlussfolgerungen und Annahmen beim weiteren Vorgehen ... 99

Teil B – Untersuchungsansatz und Vorgehen bei der Analyse ... 101

4 Untersuchungsansatz und relevante theoretische Erkenntnisse für die Analyse von Systemgütern ... 101

4.1 Überblick über den Untersuchungsansatz ... 101

4.2 Untersuchungsrahmen ... 103

4.2.1 Rollen als Aufgabenbündel, Beziehungen sowie Entscheidungen und Koordinationsbereiche ... 104
4.2.2 Aufgaben wahrnehmende Akteure sowie Institutionen, die Handlungsspielräume vorgeben ... 105
4.2.2.1 Akteure ... 105
4.2.2.2 Institutionen ... 106
4.2.3 Phasen und Koordinationsbereiche bei der Bereitstellung von Systemgütern ... 107
4.2.3.1 Forschungs- und Entwicklungsphase ... 107
4.2.3.2 Angebotsvorbereitungsphase ... 109
4.2.3.2.1 Grundlegendes technisches Systemdesign und Kompatibilitätsentscheidungen ... 109
4.2.3.2.2 Räumliche Verteilung und Kapazität ... 110
4.2.3.2.3 Investitionszeitpunkte ... 111
4.2.3.2.4 Bepreisung ... 112
4.2.3.2.5 Ausgestaltung von Beziehungen zum Nutzer ... 112
4.2.3.3 Erstangebots- und Folgephase ... 112

4.3 Theoretische Erkenntnisse als Basis für Analysen im Kontext von Systemgütern ... 113

4.3.1 Erkenntnisse der Industrie- und Netzwerkökonomik mit Bezug zu Systemgütern ... 113
4.3.1.1 Auswirkungen von Netzwerkeffekten ... 114
4.3.1.2 Zeitliche Abstimmungsprobleme im Zusammenhang mit Netzwerkeffekten ... 117
4.3.1.3 Abstimmung der Standardisierung und Kompatibilitätsentscheidung ... 117
4.3.1.4 Standortwahl von Unternehmen im Wettbewerb ... 121
4.3.2 Transaktionskostentheorie als Teilgebiet der Neuen Institutionenökonomik ... 122
4.3.3 Erkenntnisse zur Kompetenzzuordnung und Koordination im föderalen System ... 128

5 Anwendung des Untersuchungsansatzes und Vorgehensweise bei der Analyse ... 130

5.1 Zielsystem ... 130

5.2 Rollenmodell und Beziehungen zu Nutzern 132
5.2.1 Etablierte Rollen 132
5.2.1.1 Fahrzeughersteller 132
5.2.1.2 Kommune (Parkraum und Verkehrssystem) 133
5.2.1.3 Netzbetreiber 133
5.2.1.4 Stromlieferanten 134
5.2.2 Aufgaben an der Ladeschnittstelle und Umfang der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers 134
5.2.2.1 Aufgaben des Ladeinfrastrukturbetreibers 135
5.2.2.2 Frage der Bündelung mit der Rolle des Stromlieferanten 136
5.2.3 Beziehungen zu potenziellen Nutzern 136
5.3 Vorgehensweise bei der weiteren Analyse 137

Teil C – Zentrale Analysethemen 140

6 Abstimmung von Entscheidungen in horizontalen Beziehungen und Frage der Förderung eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks 140

6.1 Bewertungskriterien 141
6.1.1 Kapazitätsziel und Kosten 141
6.1.2 Effiziente Bepreisung 144
6.1.2.1 Berücksichtigung verschiedener Kostenarten 144
6.1.2.2 Ausgestaltung von Tarifen 145
6.2 Bereitstellung bei hoher Zahlungsbereitschaft für die Elektromobilität 146
6.2.1 Planung durch die öffentliche Hand 147
6.2.1.1 Zentrale Planung im einstufigen Verwaltungssystem 147
6.2.1.2 Zweistufiges Verwaltungssystem mit zentraler Kompetenzzuordnung im Ausgangszustand 150
6.2.1.3 Zweistufiges Verwaltungssystem mit dezentraler Kompetenzzuordnung im Ausgangszustand 153
6.2.1.4 Fazit 154
6.2.2 Abstimmung von Entscheidungen durch Unternehmen im Wettbewerb 155
6.2.2.1 Annahme von Inkompatibilität 156
6.2.2.1.1 Betrachtung eines räumlich begrenzten Gebietes 156
6.2.2.1.2 Betrachtung eines ausgedehnten Gebietes 159
6.2.2.2 Annahme (vollständiger) Kompatibilität 162
6.2.2.3 Anreize bei der Kompatibilitätsentscheidung und eingeschränkte Kompatibilität 165
6.2.2.3.1 Anreize bei der Kompatibilitätsentscheidung 165
6.2.2.3.2 Wettbewerb bei eingeschränkter Kompatibilität 167
6.2.3 Vergleich und Schlussfolgerungen 167
6.3 Bereitstellung bei niedriger Zahlungsbereitschaft und damit einhergehendem Förderbedarf für die Elektromobilität 168
6.4 Fazit 170

7 Frage der Bündelung von Stromlieferant und Ladeinfrastrukturbetreiber 171

7.1 Diskussion der bestehenden „Zwangsbündelung“ 171
7.2 Diskussion von Modellen zur Aufhebung der „Zwangsbündelung“ und Schaffung eines (diskriminierungsfreien) Durchleitungsmodells 173
7.3 Fazit 175

8 Abstimmung von Entscheidungen in komplementären Beziehungen 176

8.1 Kompatibilitätsentscheidungen 176

8.1.1 Kommunikation..... 176

8.1.1.1 Kommunikation zwischen Ladeeinheiten und Backend sowie energiewirtschaftlichen Rollen 177

8.1.1.2 Kommunikation zwischen Stromlieferant und Fahrzeug (über das Ladeinfrastruktursystem) 178

8.1.1.3 Exkurs: Berücksichtigung von Netzengpässen 181

8.1.1.4 Fazit 181

8.1.2 Energieübertragung..... 182

8.1.2.1 Schnittstelle zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeug 182

8.1.2.2 Anschluss an das Verteilnetz..... 183

8.2 Räumliche Verteilung, Kapazität und Investitionszeitpunkte 183

8.2.1 Investitionszeitpunkte und überregionale räumliche Abdeckung..... 183

8.2.1.1 Abstimmung mit dem Fahrzeughersteller..... 183

8.2.1.2 Abstimmung mit Rollen des energiewirtschaftlichen Systems 184

8.2.2 Lokale Verortung..... 185

8.2.2.1 Abstimmung mit der Kommune 185

8.2.2.2 Abstimmung mit dem Netzbetreiber 186

8.3 Bepreisung 186

8.3.1 Bepreisung des Ladeinfrastrukturnetzwerks..... 186

8.3.2 Bepreisung komplementärer Güter 187

8.3.3 Fazit..... 189

8.4 Beziehungen zum Nutzer 190

8.5 Fazit 191

***Teil D – Erweiterung der Analysen und Fazit*.....193**

9 Weitere Fragestellungen und Ausblick 193

9.1 Berücksichtigung weiterer konduktiver Ladeverfahren.....193

9.1.1 Gleichstromladen (DC)..... 193

9.1.2 Inverterladen (AC i) 196

9.2 Halböffentliche Ladeinfrastruktur 197

9.2.1 Zugangsmodelle..... 197

9.2.2 Ladeverfahren 198

9.2.3 Bepreisung und Sicherstellung des Aufbaus 199

9.3 Mobile Messtechnik.....202

9.3.1 Rationalität für mobile Messtechnik als Alternative zu stationärer Messtechnik 203

9.3.2 Rationalität für den Aufbau paralleler Systeme..... 206

9.4 Sonstige Fragestellungen.....207

10 Fazit und Handlungsempfehlungen.....209

Literaturverzeichnis 213

Anhang **.....229**

Anhang A) Status und Prognosen des Markthochlaufs in Deutschland 229

A 1) Elektrofahrzeuge 229

A 1.1) Modellüberblick 229

A 1.2) Fahrzeugzahlen – Status quo 232

A 1.3) Fahrzeugzahlen – Prognosen 233

A 2) Ladeinfrastruktur 237

A 2.1) Ladeinfrastruktur – Status quo 237

A 2.2) Ladeinfrastruktur – Prognosen 239

Anhang B) Bestehende technische Standards im Bereich Ladeinfrastruktur .241

B 1) Bereich Energieübertragung 241

B 1.1) Konduktiv 241

B 1.1.1) Definition verschiedener Ladeverfahren bzw. Lademodi 241

B 1.1.2) Normierung von Steckverbindungen 242

B 1.2) Induktiv 243

B 2) Bereich Kommunikation 244

B 2.1) Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit 244

B 2.2) Kommunikation zwischen Ladeeinheit und Backend 244

B 2.3) Kommunikation zwischen Fahrzeug und Backend 245

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Fahrzeugklassen 11

Tabelle 2: Ladedauern bei unterschiedlichen Ladeverfahren und elektrischen Verbräuchen 95

Tabelle 3: Investitionskosten unterschiedlicher Ladeverfahren 97

Tabelle 4: Aktuelle und geplante Elektro-Pkw in Großserienproduktion 231

Tabelle 5: In den Modellregionen aufgebaute Ladestationen nach Ladeverfahren und Standorten .. 239

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung von elektrischen Antriebskonzepten 8

Abbildung 2: Abgrenzung öffentlicher von halböffentlicher und privater Ladeinfrastruktur..... 39

Abbildung 3: Wechselstromladen mit dediziertem fahrzeugseitigem Stromrichter (AC 1, AC 3) 82

Abbildung 4: Inverterladen (AC i) 83

Abbildung 5: Gleichstromladen (DC)..... 84

Abbildung 6: Zusammenfassende Darstellung von Energieübertragung und Kommunikation am Beispiel eines AC-Ladeverfahrens mit stationärem Meter 93

Abbildung 7: Überblick über den Untersuchungsansatz 102

Abbildung 8: Bestand von Elektro- und Hybrid-Pkws in Deutschland..... 233

Abbildung 9: Prognosen der Elektrofahrzeuganzahl in Deutschland..... 236

Abbildung 10: Abschätzung öffentlich zugänglicher (genehmigter) Ladepunkte in verschiedenen europäischen Ländern in 2012 238

Abbildung 11: Von der NPE prognostizierter Bedarf an AC-Ladepunkten in Deutschland..... 240

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
A	Ampere
Abs.	Absatz
AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AC i	Wechselstrom-Inverterladen
AC 1	einphasiges Wechselstromladen
AC 3	dreiphasiges Wechselstromladen
bbl	Barrel
BEV	Battery Electric Vehicle
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
C	Celsius
ca.	circa
CCS	Combined Charging System
CEE	Commission on the Rules for the Approval of the Electrical Equipment
CH_4	Methan
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO_2	Kohlenstoffdioxid
ct	Cent
DC	Direct Current (Gleichstrom)
DCM	Discrete Choice Modelle
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DK	Durchschnittskosten
DVD	Digital Versatile Disc
EC	Electronic Cash
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEX	European Energy Exchange
EG	Europäische Gemeinschaft
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPEX	European Power Exchange
et al.	et alii
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
evtl.	eventuell

f.	folgende
ff.	fortfolgende
F & E	Forschung und Entwicklung
Fzg.	Fahrzeug
ggf.	gegebenfalls
ggü.	gegenüber
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
h	Stunde
HEV	Hybrid Electric Vehicle
Hrsg.	Herausgeber
HT	Hochtarif
Hz	Hertz
ICE	Internal Combustion Engine
ID	Identifikationsnummer
i. d. R.	in der Regel
IEC	International Electronical Commission
i. H. v.	in Höhe von
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IKZ	Interkommunale Zusammenarbeit
inkl.	inklusive
ISO	International Organization for Standardization
Jg.	Jahrgang
Kfz	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
Li-Ion	Lithium-Ionen
Lkw	Lastkraftwagen
lt.	laut
max.	maximal
MDL	Messdienstleister
MessZV	Messzugangsverordnung
min.	minimal
Mio.	Million
MIV	motorisierter Individualverkehr
MSB	Messstellenbetreiber
MW	Megawatt
N_2O	Distickstoffmonoxid (Lachgas)

NAV	Niederspannungsanschlussverordnung
n. b.	nicht bekannt
NEFZ	Neuer europäischer Fahrzyklus
NIÖ	Neue Institutionenökonomik
NO_x	Stickstoffoxide
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
Nr.	Nummer
NT	Niedertarif
ÖLI	öffentliche Ladeinfrastruktur
OEM	Original Equipment Manufacturer
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
OCPP	Open Charge Point Protocol
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
OTC	Over the Counter
P	Preis
PBefG	Personenbeförderungsgesetzt
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
Pkw	Personenkraftwagen
PLC	Power Line Communication
PV	Photovoltaik
REEV	Range Extended Electric Vehicle
RFID	Radio-Frequency Identification
RLM	registrierende Lastgangmessung
S.	Seite
SchuKo	Schutzkontakt
SLP	Standardlastprofil
SMS	Short Message Service
s. o.	siehe oben
SoC	State of Charge
sog.	sogenannt
StromNZV	Stromnetzzugangsverordnung
TCO	Total Cost of Ownership
u. a.	unter anderem
UD	Urban Dynamometer
US$	US-Dollar
USA	United States of America
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
UN	United Nations
u. U.	unter Umständen
V	Volt

V2G	Vehicle to Grid
vgl.	vergleiche
VHS	Video Home System
VkVO	Verkaufsstättenverordnung
VNB	Verteilnetzbetreiber
W	Watt
Wh	Wattstunde
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
zzgl.	zuzüglich

1 Einleitung

Seit Mitte der 2000er Jahre sind batteriebetriebene Elektrofahrzeuge als Alternative zu konventionellen Verbrennungsantrieben verstärkt in den Fokus von Politik, Industrie und Wissenschaft gerückt.[1] Das zunehmende Interesse begründet sich durch die wachsende internationale Bedeutung übergeordneter (und teilweise interdependenter) Treiber, wie globalen Dekarbonisierungsbestrebungen, einer aufwendiger werdenden Erdölförderung, und steigenden lokalen Emissionsbelastungen. In der Bundesrepublik Deutschland beeinflussen diese Treiber auch die politischen Aktivitäten hinsichtlich der sog. „Energiewende", die u. a. für den Ausbau erneuerbarer Energien und eine Steigerung der Energieeffizienz steht. Die Diskussion der Substitution von fossilen Kraftstoffen durch elektrische Energie im Mobilitätssektor (allgemein als „Elektromobilität" bezeichnet)[2] gliedert sich in diesen (größeren) Zusammenhang ein.

In 2009 wurden durch die Bundesregierung Ziele für den sog. „Markthochlauf" der Elektromobilität formuliert. So sollen bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge, bis 2030 fünf Millionen Elektrofahrzeuge und bis 2050 eine weitgehende Substitution fossiler Kraftstoffe im städtischen Verkehr erreicht sein.[3] In diesem Kontext wurde in den letzten Jahren auch die Bereitstellungsproblematik von Lademöglichkeiten im öffentlich zugänglichen Bereich,[4] wie insbesondere deren Finanzierung, technische Ausgestaltung sowie mögliche Regulierungsoptionen, zunehmend kontrovers diskutiert.

ZIEL UND THEMA DER ARBEIT SOWIE ZENTRALE FRAGESTELLUNGEN

Die vorliegende Arbeit untersucht Fragen, die sich in Bezug auf die Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur stellen und soll so einen Beitrag zur effizienten Erreichung der von der Bundesregierung formulierten langfristigen Ziele im Bereich der Elektromobilität leisten.[5] Insbesondere werden diesbezügliche Handlungsoptionen systematisch dargestellt und diskutiert sowie, wenn möglich, Handlungsempfehlungen abgeleitet.

---

[1] Diese Arbeit greift Forschungsergebnisse auf, die im Rahmen der Bearbeitung der Förderprojekte „EM-Infra" (Mittelgeber: BMVBS; Projektlaufzeit: 01.01.2011 – 31.01.2011) und „metropol-E" (Mittelgeber BMVBS, geplante Projektlaufzeit 01.01.2012 – 30.06.2014) durch die Arbeitsgruppe Infrastrukturökonomie und Management am Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP) der TU Berlin erzielt worden sind. Außerdem sind erste Analyseergebnisse aus den Forschungsprojekten „E3-VN", „eMERGE" und „CCS" in diese Arbeit eingeflossen. Nähere Angaben zu den Projekten befinden sich auf der Internetseite des Fachgebietes (www.wip.tu-berlin.de).

[2] Der Begriff „Elektromobilität" steht im Rahmen dieser Arbeit, wie aktuell üblich, für ein Mobilitätssystem auf Basis vollständig oder teilweise batterieelektrisch betriebener Straßenfahrzeuge mit Anschlussmöglichkeit an das Elektrizitätsnetz; vgl. auch NPE (2012a, S. 7). Diese Festlegung basiert auf der von der Bundesregierung vorgenommenen Eingrenzung bzw. Fokussierung der laufenden Förderprogramme; vgl. BUNDESREGIERUNG (2009, S. 6).

[3] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2009, S. 18).

[4] Im Rahmen dieser Arbeit werden die sog. öffentliche und halböffentliche Ladeinfrastruktur unter dem Begriff öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur zusammengefasst. Für eine Einordnung der Begrifflichkeiten siehe Abschnitt 3.1.

[5] Siehe Abschnitt 2.3.2 für eine detailliertere Darstellung der Ziele der Bundesregierung. Nicht betrachtet wird in dieser Arbeit die Frage der Vorteilhaftigkeit einer (u. U. geförderten) Einführung der Elektromobilität in Deutschland.

Mit dieser Zielsetzung werden verschiedene Themengebiete vertieft betrachtet. So wird zunächst hinterfragt, inwiefern für die Erreichung der von der Bundesregierung formulierten Ziele eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur notwendig erscheint.[6] Des Weiteren werden technische Ausgestaltungsoptionen dargestellt und entlang von Kosten- und Qualitätsparametern eingeordnet. Außerdem werden Möglichkeiten der Einbindung von Antriebsbatterien in das Elektrizitätssystem systematisiert. Auf diesen Grundlagen aufbauend werden Fragen der Etablierung von Regeln und der Aufgabenübernahme durch die öffentliche Hand sowie der finanziellen Förderung eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks diskutiert. In diesem Zusammenhang werden auch Fragen der Organisation von Entscheidungskompetenzen und der Aufgabenwahrnehmung durch die öffentliche Hand im föderalen System analysiert.

Im Übrigen werden einige weitergehende Fragestellungen, wie der Aufbau von Ladeinfrastruktur im sog. „halböffentlichen" Bereich sowie die Vorteilhaftigkeit verschiedener technischer Ausgestaltungsoptionen (z. B. die sog. „Schnellladung" oder die Möglichkeit der „mobilen Messtechnik"), am Rande betrachtet.

Weitestgehend ausgeklammert werden die Betrachtung weiterer Antriebstechnologien bzw. Kraftstoffe (wie z. B. der Wasserstoffmobilität) sowie die Betrachtung des Einsatzes von Elektrofahrzeugen außerhalb des motorisierten Individualverkehrs (MIV). Außerdem erfolgt keine Diskussion der Vorteilhaftigkeit einer Einbindung von Fahrzeugbatterien in das System der elektrischen Energieversorgung, da hierfür insbesondere mögliche Netz- und Erzeugungsengpässe zu berücksichtigen wären und das Themengebiet um „intelligente" Netz- und Regelungstechnik (die auch unter den Schlagworten „Smart Grid" bzw. „Smart Market" diskutiert wird) zu erweitern wäre.

METHODIK UND VORGEHEN

Für die Untersuchung der Fragestellungen wird zunächst ein Untersuchungsrahmen aufgestellt, der Ladeinfrastruktur als (notwendige) Teilleistung in den Kontext des komplexen Gesamtsystems der Elektromobilität einordnet.[7] Auf dieser Basis lassen sich Bereiche identifizieren, in denen Entscheidungen hinsichtlich der Bereitstellung verschiedener Teilleistungen zwischen verschiedenen Akteuren, die in horizontalen oder komplementären Beziehungen zueinander stehen, abgestimmt werden. Darauf aufbauend werden verschiedene institutionelle Lösungen mit Einfluss auf die Abstimmung entsprechender (Bereitstellungs-)Entscheidungen systematisch dargestellt, unter zielgerichteter Anwendung ökonomischer Theorie aus den Bereichen der Neuen Institutionenökonomik sowie der Netzwerkökonomik qualitativ analysiert und schließlich auf Basis eines Zielsystems bewertet. Dabei werden grundlegende institutionelle Rahmenbedingungen (wie z. B. das föderale System oder geltende energiewirtschaftliche Regelungen) berücksichtigt. Eine Analyse rechtlicher Aspekte (insbesondere im Hinblick auf die Umsetzung möglicher

[6] Dabei erfolgt lediglich eine qualitative Abwägung von Argumenten, jedoch keine quantitative Simulation, die für die Generierung „sicherer" Aussagen von Bedeutung wäre.

[7] Siehe Abschnitt 4.1 für einen ausführlicheren Überblick über den Untersuchungsansatz.

Handlungsoptionen) erfolgt jedoch nicht. Von daher sind die Analysen dieser Arbeit als Ausgangspunkt für detailliertere interdisziplinäre Untersuchungen mit dem Ziel der Umsetzung von Handlungsempfehlungen zu sehen.

Die Arbeit ist in vier übergeordnete Teile gegliedert.

- In Teil A umfasst Kapitel 2 eine Darstellung wesentlicher allgemeiner Grundlagen der Elektromobilität. Kapitel 3 beinhaltet spezielle Grundlagen des Bereiches der öffentlichen Ladeinfrastruktur.

- In Teil B wird in Kapitel 4 zunächst der Untersuchungsansatz inkl. der verwendeten ökonomischen Theorie allgemein beschrieben. Darauf aufbauend werden in Kapitel 5 Elemente des Untersuchungsansatzes mit Bezug zum Gesamtsystem der Elektromobilität angewendet sowie die Vorgehensweise bei der weiteren Analyse dargestellt.

- Teil C umfasst die zentralen Analysen hinsichtlich der Bereitstellung von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum. Dabei erfolgt in Kapitel 6 zunächst ein Vergleich der Abstimmung oder Planung von Bereitstellungsentscheidungen im föderalen System der öffentlichen Hand mit einer Abstimmung durch Unternehmen im Wettbewerb. Außerdem wird die Frage der Förderung durch Zuschüsse aus dem öffentlichen Haushaltssystem diskutiert. Kapitel 7 fokussiert anschließend auf die Frage der Bündelung von Aufgaben der (neuen) Rolle[8] des Ladeinfrastrukturbetreibers und der im energiewirtschaftlichen System bestehenden Rolle des Stromlieferanten. In Kapitel 8 wird die Abstimmung in (weiteren) komplementären Beziehungen betrachtet.

- Im die Arbeit abschließenden Teil D erfolgt in Kapitel 9 zunächst eine Diskussion von Fragestellungen, die nicht im Fokus der vorherigen Analysen standen. In Kapitel 10 werden anschließend zentrale Ergebnisse zusammengefasst und Handlungsempfehlungen dargestellt.

Über die vier Teile hinaus enthält die Arbeit einen Anhang, der detailliertere Hintergründe zu einzelnen Themenstellungen darstellt. Anhang A stellt quantitative Informationen bzgl. des Status quo sowie verfügbare Prognosen des Markthochlaufes der Elektromobilität dar. In Anhang B werden kurz einige relevante Standards im Bereich der Ladeinfrastruktur benannt.

[8] Der Begriff „Rolle“ wird im Rahmen dieser Arbeit als Bündel von Aufgaben verstanden, die für die Erbringung einer (Teil-)Leistung im Kontext der Bereitstellung des Gesamtsystems zu erfüllen sind; siehe Abschnitt 4.2.1.

Teil A – Grundlagen

Im folgenden Kapitel 2 wird zunächst auf allgemeine Grundlagen zur Elektromobilität eingegangen. Das anschließende Kapitel 3 fokussiert dann auf öffentliche Ladeinfrastruktur, dem zentralen Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit.

2 Grundlagen zur Elektromobilität

Im folgenden Abschnitt 2.1 werden die verschiedenen Teilleistungen, aus denen das Gesamtsystem der Elektromobilität besteht, systematisiert und beschrieben. Daraufhin erfolgt in Abschnitt 2.2 eine kurze Darstellung der historischen Entwicklung von Elektrofahrzeugen. Der das Kapitel abschließende Abschnitt 2.3 stellt Elektromobilität in den Kontext übergeordneter Ziele, die mit einer Förderung des Systems i. d. R. verbunden sind. Außerdem wird auf die Ziele der Bundesregierung in Bezug auf die Elektromobilität eingegangen.

2.1 Subsysteme und Güter als Grundlage für die Elektromobilität

Die für das Gesamtsystem (bzw. Systemgut) Elektromobilität zu erbringenden Teilleistungen (in dieser Arbeit auch zentrale Güter genannt) lassen sich in verschiedene Subsysteme unterteilen.[9] So können zentrale Güter dem System „Batterie und Fahrzeug“,[10] dem Verkehrssystem sowie dem System der elektrischen Energieversorgung (hier vereinfachend als energiewirtschaftliches System bezeichnet) zugeordnet werden. In diesen Subsystemen kommt es jeweils bereits zum Angebot einzelner zentraler Güter, welche jedoch häufig hinsichtlich der Bereitstellung des Gesamtsystems der Elektromobilität noch nicht abgestimmt sind, sodass Anpassungen notwendig sein können. Ladeinfrastruktur lässt sich als Schnittstelle zwischen den Subsystemen einordnen und stellt ein zumindest im öffentlichen Bereich noch nicht etabliertes zentrales Gut dar.[11]

Im Folgenden wird in Abschnitt 2.1.1 zunächst das System „Batterie und Fahrzeug“ thematisiert. In Abschnitt 2.1.2 wird daraufhin auf das bestehende Verkehrssystem und in Abschnitt 2.1.3 auf das bestehende energiewirtschaftliche System im Kontext des EnWG eingegangen. In Abschnitt 2.1.4 wird zum einen die Ladeinfrastruktur an der Schnittstelle zwischen diesen drei Systemen kurz eingeführt.[12] Zum anderen wird auf möglicherweise vorteilhafte Änderungen energiewirtschaftlicher

[9] Vgl. für ähnliche Einordnungen z. B. BECKERS ET AL. (2011, S. 8) oder NPE (2012a, S. 10).

[10] Im Rahmen dieser Arbeit wird die Antriebsbatterie i. d. R. als integrierter Teil des Fahrzeugs betrachtet. Eine separate Einordnung wäre ebenfalls möglich.

[11] Es kann hinterfragt werden, ob nur bestimmte Formen von Ladeinfrastruktur bereits etabliert sind, da zum Laden von Elektrofahrzeugen im privaten Bereich unter Umständen auch normale Haushalts-Steckdosen ausreichen; siehe Abschnitt 2.1.4.

[12] Im Rahmen von Kapitel 3 erfolgt dann eine ausführliche Betrachtung und Einordnung von Ladeinfrastruktur als zentralem Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit.

Rahmenbedingungen, die sich aus der mobilen Eigenschaft der Letztverbraucher ergeben, eingegangen.

2.1.1 Batterie und Fahrzeug

Im Folgenden werden in Abschnitt 2.1.1.1 zunächst Antriebsbatterien betrachtet. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 2.1.1.2 Elektrofahrzeuge mit teil- oder vollelektrischem Antrieb thematisiert.

2.1.1.1 Elektrochemische Speicher (Batterien) als Antriebsenergiequelle

Elektrisch angetriebene Straßenfahrzeuge können aus verschiedenen Quellen ihre Energie für den Antrieb erhalten.[13] So kann zunächst zwischen Fahrzeugen unterschieden werden, die elektrochemische Speicher als Antriebsenergiequelle mitführen und solchen, die andere Energieformen innerhalb des Fahrzeugs in Elektrizität umwandeln.[14] Letztere führen beispielsweise Wasserstoff oder Mineralöltreibstoffe in Tanks mit und wandeln diese über eine Brennstoffzelle oder einen Verbrennungsmotor mit Generator in elektrischen Strom um. Eine andere Möglichkeit der Energiespeicherung stellen Redox-Flow-Batterien dar, die durch einen Austausch von Elektrolyt-Flüssigkeiten geladen werden können.[15] Die eigentliche Energiespeicherung findet hier ähnlich zu Wasserstofffahrzeugen extern statt. Darüber hinaus existieren weitere Speichermöglichkeiten, wie beispielsweise Kondensatoren oder Schwungräder. Beide Technologien dürften aufgrund der eher geringen Energiekapazitäten wenn überhaupt ergänzend zu anderen Energiequellen zum Einsatz kommen. Auch Druckspeicher werden aufgrund der geringen Energiedichte in Verbindung mit hohen Wirkungsgradverlusten kaum für Fahrzeuge von Bedeutung sein.

Als Speicher für elektrische Energie in Fahrzeugen kommen bisher vorrangig wiederaufladbare elektrochemische Speicherzellen (auch Sekundärbatterie genannt), die zu einem Batteriesystem zusammengeschaltet werden (im Folgenden auch vereinfachend Batterie genannt), zur Anwendung.[16] Das Batteriesystem umfasst neben den Zellen eine Thermomanagementeinheit sowie eine Einheit zur Abschaltung der Batterie im Fall einer Fehlfunktion. Die Steuerung der Ladung und Entladung sowie die Überwachung der Batterie erfolgt i. d. R. durch ein sog. Batteriemanagementsystem.[17]

Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Materialkombinationen zur Verwendung als Elektrolyt oder Elektrode in Batterien, die zu unterschiedlichen Batterieeigenschaften führen.[18] Für

[13] Vgl. WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 71).

[14] Außerdem besteht die Möglichkeit, dass Fahrzeuge keinen oder nur einen sehr kleinen Speicher mitführen und im Betrieb mit Antriebsenergie versorgt werden, wie zum Beispiel häufig bei elektrisch angetriebenen Schienenfahrzeugen oder auch Oberleitungsbussen.

[15] Vgl. SAUER (2006, S. 20).

[16] Vgl. WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 104) sowie für eine Klassifizierung verschiedener elektrochemischer Speichersysteme SAUER (2006, S. 14 ff.).

[17] Vgl. WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 176).

[18] Vgl. für eine Gegenüberstellung der Eigenschaften verschiedener Batteriematerialien BCG (2010, S. 3).

Serienanwendungen in der Automobilindustrie werden der Gruppe der Lithium-Ionen (Li-Ion)-Batterien aufgrund der vergleichsweise hohen Energie- und Leistungsdichte die besten Eigenschaften zugesprochen.[19] In aktuell angebotenen Elektrofahrzeug-Modellen sind i. d. R. bereits Li-Ion-Batterien verbaut.[20] Bei wenigen Modellen, insbesondere in Kleinserien, kommen aber auch andere Batterietypen, wie insbesondere Natrium-Nickelchlorid-Batterien (auch Zebra-Batterie genannt), zum Einsatz.

Aufgrund der geringen Energiedichte von Batteriespeichern ist die Reichweite von batterieelektrisch angetriebenen Fahrzeugen eher gering.[21] Dieses kann durch einen Vergleich mit Mineralöltreibstoffen verdeutlicht werden. Heutige Antriebsbatterien weisen typischerweise Energiedichten von ca. 140-170 Wh/kg und somit ca. 1 % der Energiedichte von Benzin (ca. 13.000 Wh/Kg) auf.[22] Dabei ist allerdings zu beachten, dass der Wirkungsgrad des elektrischen Antriebes über dem des Verbrennungskraftantriebs liegt.[23]

Die Kosten für eine Li-Ion-Antriebsbatterie im Jahr 2010 werden von BCG (2010) und MC KINSEY ET AL. (2010) mit ca. 700 – 1.000 €/kWh angegeben.[24] Beide Quellen erwarten bis in das Jahr 2020 aufgrund von Skaleneffekten deutliche Kostensenkungen von über 60 %. Somit würden die Batteriekosten auf ca. 250 – 400 €/kWh fallen. Dabei ist zu beachten, dass die tatsächlichen Kostensenkungen aufgrund der Skaleneffekte in hohem Maße von der zukünftigen Marktentwicklung abhängen werden.[25]

Die Alterung bzw. der zeitliche Verschleiß der Batterien hängt von mehreren Faktoren ab.[26] Zunächst weisen verschiedene Materialkombinationen unterschiedliche Verschleißverhalten auf. So werden beispielsweise innerhalb der Gruppe der Li-Ion-Batterien den Lithium-Eisenphosphat-Batterien vergleichsweise gute bzw. robuste Verschleißeigenschaften zugesprochen.[27] Weiterhin haben

---

[19] Vgl. WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 113 f.) sowie für eine frühere Einschätzung KALHAMMER ET AL. (2007, S. 3 f.). Auch das von der Bundesregierung geförderte Forschungsfeld „Leuchtturm Batterie“ legt einen Schwerpunkt auf die Gruppe der Lithium-Ionen Batterien; vgl. NPE (2012a, S. 17). In dieser Arbeit werden vereinfachend alle Batterien, die Lithium als Material verwenden der Gruppe der Li-Ion-Batterien zugeordnet, also auch zukünftige Generationen wie Lithium-Schwefel oder Lithium-Luft-Batterien.

[20] Beispielsweise sind in den weitestgehend baugleichen Serienfahrzeugen Opel Ampera und Chevrolet Volt Li-Ion-Batterien verbaut. Auch der Toyota Prius Plug-In Hybrid wird mit Li-Ion-Batterien ausgestattet. Vgl. auch GERSSEN-GONDELACH / FAAJI (2012, S. 13).

[21] Heutige rein elektrisch angetriebene Modelle erreichen nach Herstellerangaben Distanzen von ca. 150 km; siehe für einen Modellüberblick Anhang A 1.1.

[22] Vgl. BCG (2010, S. 4), sowie WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 74).

[23] Vgl. SPICHER (2012, S. 103) und siehe auch Abschnitt 2.3.1.1.

[24] BCG (2010, S. 5) geben Kosten von 1.000 bis 1.200 US$/kWh an. MCKINSEY ET AL. (2010, S. 35) geben durchschnittliche Kosten von 871 €/kWh bei einer Bandbreite von 350 bis 1.500 €/kWh an.

[25] KALHAMMER ET AL. (2007, S. 47) geben Kostenprognosen in Abhängigkeit der jährlich produzierten Batterien an und kommen für Produktionsraten i. H. v. 2.500 MW/a auf ähnliche Größenordnungen. Auch GERSSEN-GONDELACH / FAAJI (2012, S. 19) geben mit 350-500 US$/kWh in 2020 ähnliche Größenordnungen an.

[26] Vgl. z. B. DEARBORN (2005, S. 40 f.) oder PETERSON / APT / WHITACRE (2010, S. 2385).

[27] Vgl. PETERSON / APT / WHITACRE (2010). Diese gehen jedoch u. U. mit geringeren Energiedichten einher.

insbesondere die Anzahl der Lade- und Entladezyklen sowie das Lade- und Entladeprofil Einfluss auf die Alterung der jeweiligen Batterie.[28] Die Temperatur der Batteriezellen sowie der maximale bzw. minimale Ladezustand (auch „SoC“ für State of Charge) sind ebenfalls von Bedeutung. Um übermäßigen Verschleiß zu verhindern, lässt das Batteriemanagementsystem häufig ein nahezu vollständiges Entladen der Batterie (sog. Tiefentladen) nicht zu. Bei einigen Materialkombinationen kann auch ein Laden der Batterie mit hohen Strömen bzw. Leistungen (Schnellladung) zu höherem Verschleiß (insbesondere bei hohem SoC) führen.

Die Entladung der Batterie ist vor allem abhängig vom jeweiligen Fahrmodus in Verbindung mit den durch die Fahrzeugelektronik und dem Fahrzeugantrieb vorgegebenen Leistungswerten. Durch Nutzung der Bremsenergie (Rekuperation) kann die Entladung der Batterie im Fahrbetrieb verlangsamt oder Energie in die Batterie zurückgeführt werden. Bei bestehender Verbindung mit dem Stromnetz werden Batterien entlang des vom Batteriemanagementsystem vorgegebenen Ladeprofils, in Abhängigkeit des Netzanschlusses bzw. der Ladeinfrastruktur, geladen.

Batterien, insbesondere im Bereich der Elektromobilität, werden Schätzungen zufolge noch in dieser Dekade zum Hauptverbraucher von Lithium aufsteigen.[29] Zwar ist nach aktuellen Prognosen innerhalb der nächsten 40 Jahre nicht mit Lithium-Engpässen zu rechnen, allerdings ist zu beachten, dass sich die Reserven auf nur wenige, teils politisch instabile Länder verteilen und in einigen Fällen nur mit massiven Eingriffen in das lokale Ökosystem abbaufähig sind. Es stellt sich auch in Bezug auf andere für die Elektromobilität wichtige Rohstoffe die Frage, inwieweit ein geeignetes Recyclingsystem etabliert werden sollte bzw. bestehende Systeme anzupassen sind.

2.1.1.2 Elektrofahrzeuge

Im Folgenden werden zunächst Antriebskonzepte batterieelektrisch angetriebener Fahrzeuge thematisiert. Daraufhin erfolgt eine Diskussion der erzielbaren Reichweiten sowie damit verbundener Kosten mit einem Fokus auf Personenkraftwagen (Pkw).[30]

ANTRIEBSKONZEPTE BATTERIEELEKTRISCH ANGETRIEBENER FAHRZEUGE

Aufgrund der geringen Energiedichte von Batteriespeichern werden elektrische Antriebssysteme häufig mit Verbrennungsantriebssystemen (auch ICE für „Internal Combustion Engine“) kombiniert.

[28] Das Ladeprofil beschreibt die beim Laden und Entladen anliegenden Spannungen und Ströme sowie deren Veränderung in Abhängigkeit des Ladezustandes.

[29] Vgl. ANGERER ET AL. (2009).

[30] Pkw sind in § 4 Abs. I Nr. 1 PBefG definiert als Kraftfahrzeuge, die nicht mehr als 9 Personen transportieren können. Spätere Analysen sind zumeist auch für Krafträder sowie für leichte Lastkraftwagen (Lkw) gültig, wenngleich sich insbesondere in Bezug auf die Nutzung von ÖLI sowie in Bezug zum Parkraum andere Implikationen ergeben können. Spurgebundene Fahrzeuge sowie weitere elektrisch angetriebene Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Dabei werden üblicherweise die in Abbildung 1 schematisch dargestellten und im Folgenden beschriebenen Fahrzeugkonzepte unterschieden.[31]

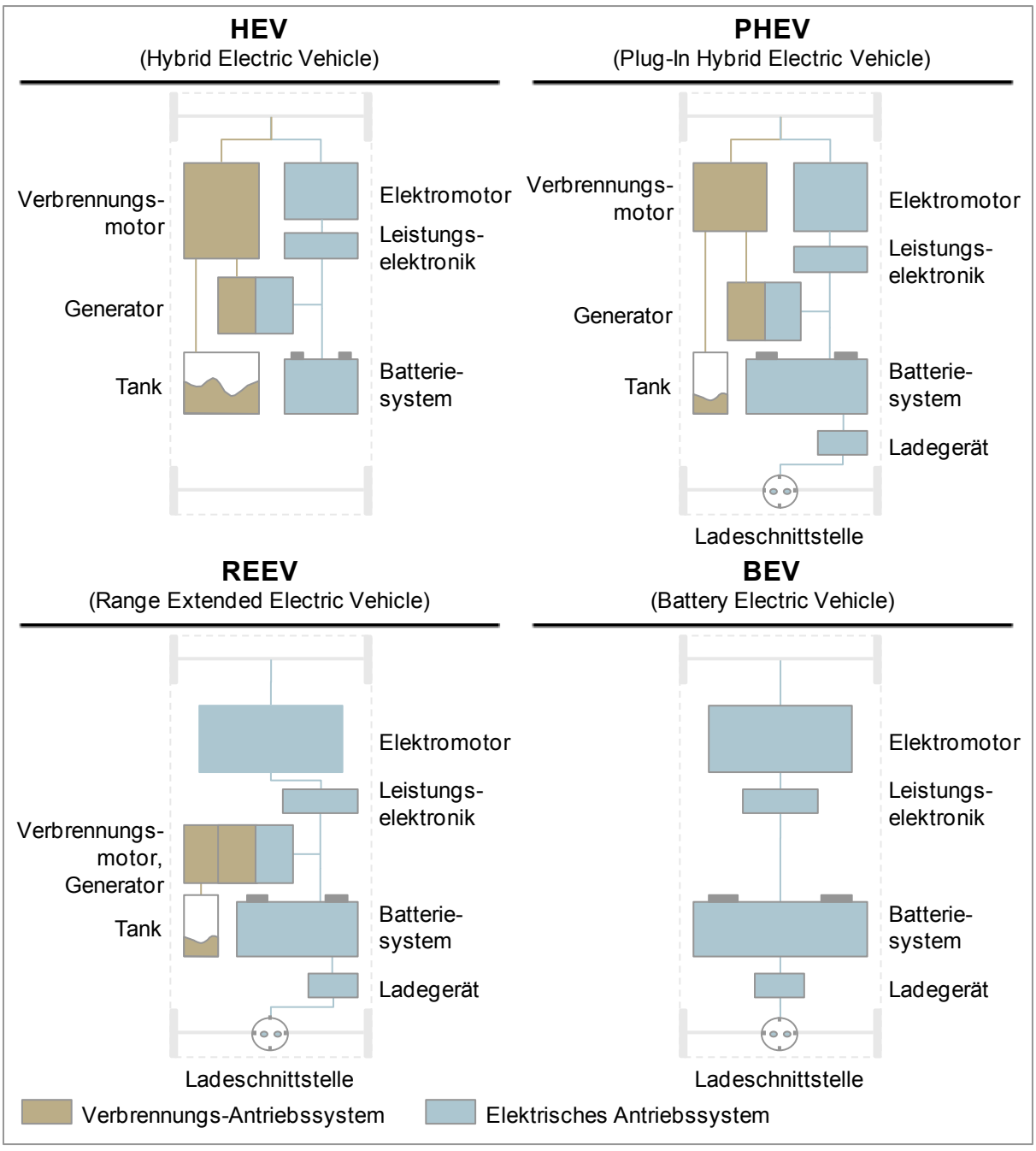


Abbildung 1: Schematische Darstellung von elektrischen Antriebskonzepten[32]

[31] Vgl. für eine ausführliche Darstellung verschiedener Antriebskonzepte z. B. BCG (2009, S. 2 ff.), BIERE / DALLINGER / WIETSCHEL (2009, S. 174), KALHAMMER ET AL. (2007, S. 20) MCKINSEY ET AL. (2010, S. 15) oder WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 58 ff.).

[32] Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an MCKINSEY ET AL. (2010, S. 15) sowie WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 58 ff.); Anmerkungen: HEV in Anlehnung an einen leistungsverzweigten Hybrid dargestellt; Einige Komponenten (z.B. Getriebe, Kupplung, Differential) aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellt; Fahrzeugseitiges Ladegerät nur bei Wechselstrom- (AC) Laden notwendig (vgl. Abschnitt 3.4.1.2.2).

- **Hybridfahrzeuge ohne Anschlussmöglichkeit an das Stromnetz (HEV)**:[33] Hybridfahrzeuge sind generell durch die Kombination zweier Energiespeichersysteme gekennzeichnet.[34] Als Energiespeicher in aktuellen Hybridmodellen werden ein Treibstofftank sowie eine Batterie eingesetzt, wobei die Batterie im Fall des HEV ausschließlich über den Verbrennungsmotor und durch Rekuperation geladen wird. Üblicherweise sind HEV als parallele oder leistungsverzweigte Hybridantriebe ausgeführt, bei denen beide Motoren eine mechanische Verbindung zur angetriebenen Achse haben.[35] Somit ist ein Antrieb durch jeweils einen Motor alleine und auch durch beide Motoren gemeinsam möglich, wobei typischerweise ein rein elektrischer Betrieb aufgrund der bei HEV eher geringen Leistung des Elektromotors nur bei niedrigeren Geschwindigkeiten und geringen Beschleunigungswerten vorgesehen ist. Bei größeren Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen kann der Elektromotor unterstützend eingesetzt werden. Ein rein elektrischer Betrieb ist beim HEV somit eher seltener als bei den folgend dargestellten Antriebskonzepten. Auch die Energiekapazität der Batterie ist eher geringer.[36]

- **Hybridfahrzeuge mit Anschlussmöglichkeit an das Stromnetz (PHEV)**:[37] PHEV unterscheiden sich von HEV zunächst durch die zusätzliche Möglichkeit, die Batterie durch Anschluss des Fahrzeugs an das Stromnetz zu laden. Somit ist grundsätzlich ein Betrieb des Fahrzeugs ohne die Verbrennung von Mineralöltreibstoffen möglich. Außerdem wird die elektrische Antriebsleistung von PHEV i. d. R. größer als beim HEV ausgelegt,[38] sodass höhere Beschleunigungen und Geschwindigkeiten im rein elektrischen Betrieb erzielbar sind. Auch die Batteriekapazität wird i. d. R. größer ausgelegt, sodass Kurz- bis Mittelstrecken auch rein elektrisch zurückgelegt werden können.

- **Batteriebetriebene Fahrzeuge mit „Range Extender" (REEV)**:[39] Im Gegensatz zum HEV und PHEV erfolgt beim REEV der Antrieb ausschließlich über den Elektromotor. Der Verbrennungsmotor hat keine mechanische Verbindung mit dem Antriebsstrang, sondern dient vorrangig der Stromerzeugung.[40] Damit fallen REEV unter die Definition eines seriellen

[33] HEV für „Hybrid Electric Vehicle";Häufig wird dieses Antriebskonzept noch in die Kategorien „Mikro-Hybrid", „Mild-Hybrid" und „Vollhybrid" unterteilt. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit ist diese Differenzierung jedoch nicht notwendig.

[34] Gemäß der Richtlinie 2007/46/EG des europäischen Parlaments und des Rates ist ein „Hybridkraftfahrzeug ein Fahrzeug mit mindestens zwei verschiedenen Energiewandlern und zwei verschiedenen Energiespeichersystemen (im Fahrzeug) zum Zwecke des Fahrzeugantriebs".

[35] Vgl. WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 65 f.).

[36] Vgl. WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 88).

[37] PHEV für „Plug in Hybrid Electric Vehicle".

[38] Vgl. WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 88).

[39] REEV für „Range Extended Electric Vehicle".

[40] Neben dem Generatorantrieb kann der Verbrennungsmotor in Abhängigkeit der Eigenschaften anderer Fahrzeugmodule auch für weitere Anwendungen genutzt werden (z. B. die Abwärme als Heizungsluft).

Hybridantriebes.[41] Der Verbrennungsmotor erfüllt dabei die Funktion eines „Reichweitenverlängerers“ für den Fall, dass die in der Batterie gespeicherte Energie nicht ausreicht.

- **Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge (BEV)**:[42] BEV führen als Energiespeicher ausschließlich eine Batterie mit. Die Reichweite des Fahrzeugs ist demnach von der Batteriegröße sowie vom elektrischen Verbrauch abhängig, wobei auch der Verbrauch aller weiteren Geräte (z. B. Klimaanlage, Heizung, Radio) zu berücksichtigen ist.

Im Rahmen dieser Arbeit werden aufgrund ihrer Bedeutung hinsichtlich der Ladeinfrastruktur und entsprechend der gebräuchlichen Verwendung des Begriffes Elektromobilität nur batteriebetriebene Elektrofahrzeuge mit Anschlussmöglichkeit an das Stromnetz (also PHEV, REEV und BEV) betrachtet.

REICHWEITE UND BATTERIEKOSTEN

WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011) bestimmen für verschiedene Elektro-Pkw-Klassen den Verbrauch elektrischer Energie in unterschiedlichen Fahrzyklen.[43] Die Differenzierung der Pkw erfolgt u. a. nach Gewicht und Leistung der Nebenaggregate. Unterschieden werden Klasse A (z. B. VW Fox bzw. VW up!, Ford Ka; Gewicht ca. 1.200 kg), Klasse B (z. B. VW Golf, Ford Focus; Gewicht ca. 1.350 kg) sowie Klasse C (z. B. VW Passat, Ford Mondeo; Gewicht ca. 1.550 kg). Als Fahrzyklen werden zwei Abbildungen realer Fahrten, die Stadtfahrt „UD“ (Urban Dynamometer) sowie eine Fahrt bei höheren Geschwindigkeiten („US 06“), und das synthetische Fahrprofil „NEFZ“ (Neuer europäischer Fahrzyklus), bestehend vorrangig aus Stadtzyklen mit eher geringeren Beschleunigungswerten und einem Anteil höherer Geschwindigkeit, verwendet. Unter Berücksichtigung der Fahrwiderstände und des Verbrauchs der Nebenaggregate bestimmen die Autoren Verbräuche sowie die Reichweite unter der Annahme einer 200 kg schweren Traktionsbatterie mit einer Speicherkapazität von 15 kWh.[44]

In untenstehender Tabelle 1 werden die sich ergebenden Verbräuche und Reichweiten als Mittelwert der verschiedenen Fahrzyklen dargestellt. Die Größenordnung entspricht in etwa der in anderen Quellen angegeben Werte, wobei für den realen Praxisbetrieb auch häufig etwas höhere Verbrauchswerte bzw. etwas geringere Reichweiten angegeben werden.[45] Auf Basis des für die

---

[41] Vgl. für eine Erläuterung des seriellen Hybridantriebes WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S.67 f.).

[42] BEV für „Battery Electric Vehicle“.

[43] Vgl. WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 128 ff.).

[44] In den genannten Fahrzeuggewichten ist das Gewicht der Batterie und des Fahrers lt. Autoren bereits enthalten. Die angenommene Energiedichte liegt mit 75 Wh/kg um ca. 50 % unter den üblichen Werten von Lithium-Ionen-Batterien; vgl. Abschnitt 2.1.1.1. Damit wäre bei gleichem Gewicht auch eine größere Speicherkapazität möglich.

[45] Vgl. z. B. ERNST ET AL. (2011, S. 5874 f.), die einen etwas höheren Verbrauch von 16 bis 22 kWh pro 100 km angeben. Auch der Verbrauch der Nebenaggregate, wie insbesondere von Heizung und Klimaanlage, wird in Abhängigkeit von der Außentemperatur zum Teil höher eingeschätzt; vgl. hierzu SPICHER (2012, S. 101 f.).

Fahrzyklen ermittelten Verbrauches werden in der Tabelle die theoretischen Batteriekosten für eine Reichweite von 100 km dargestellt.[46] Es wird deutlich, dass die Kosten für die Antriebsbatterie im Vergleich zu den Verkaufspreisen von konventionell angetriebenen Neuwagen der entsprechenden Kategorie einen wesentlichen Betrag darstellen.

Vergleichsgröße	Fahrzeugklasse		
	← *Klasse A* →	← *Klasse B* →	← *Klasse C* →
Fahrzeugmasse	1.200 kg	1.350 kg	1.550 kg
Verbrauch *pro 100 km*	14,5 kWh	16,5 kWh	18,5 kWh
Reichweite mit 15 kWh Batteriestrom	105 km	90 km	80 km
Batteriekosten 2010 pro 100 km Reichweite	13.000 €	14.700 €	16.500 €
Batteriekosten 2020 pro 100 km Reichweite	5.000 €	5.600 €	6.300 €
Nettopreis für konventionelles Vergleichsmodell	8.300 €	14.300 €	20.800 €

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Fahrzeugklassen[47]

2.1.2 Straßen- und Parkraum sowie weitere Güter im Verkehrssystem

Im Folgenden wird zunächst auf den Bereich des Straßen- und Parkraumes eingegangen. Daran anschließend werden kurz weitere Güter im Verkehrssystem thematisiert.

[46] Vgl. für detailliertere Angaben zu den Batteriekosten Abschnitt 2.1.1.1.

[47] Eigene Darstellung und eigene Berechnungen auf Basis von WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 128 ff.), BCG (2010, S. 4 f.) und MCKINSEY ET AL. (2010, S. 35); Anmerkungen: Verbrauch und Reichweite als Mittelwert aus drei Fahrzyklen (NEFZ, UD, US06) berechnet; Bei der Berechnung der Batteriekapazität für die reichweitenbezogenen Batteriekosten wurde ein Zuschlag von 5 % der benötigten Energiemenge angenommen, da ein Tiefentladen durch das Batteriemanagementsystem i. d. R. vermieden wird; Batteriekosten auf Basis des Mittelwertes der Informationen für 2010 (850 €/kWh) sowie des Mittelwertes der Prognose für 2020 (325 €/kWh) berechnet; Die Nettopreise der konventionellen Vergleichsfahrzeuge entsprechen den Preisen für die Basisversion der Modelle VW Up (Klasse A,) VW Golf (Klasse B) und VW Passat (Klasse C) vom 10.10.2012 (lt. Internetinformationen der Volkswagen AG); Werte gerundet.

STRAßEN- UND PARKRAUM

Mit der Einführung von Elektrofahrzeugen sind verschiedene Anforderungen sowie mögliche Veränderungen im Bereich des Straßen- und Parkraumes verbunden. Hinsichtlich des Aufbaus öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur ist insbesondere der Bereich Parkraum von Bedeutung. So ist für die (stationäre) Ladung einer Fahrzeugbatterie neben der Lademöglichkeit zumindest für die Ladedauer auch ein Stellplatz erforderlich.[48] In diesem Zusammenhang sind die Nutzungsregeln für die verschiedenen Stellplätze von Relevanz, da Regelungen bzgl. der Belegung entsprechender Stellplätze (mit Lademöglichkeit) durch konventionelle oder nicht ladende Elektrofahrzeuge Einfluss auf die Auslastung der Ladeinfrastruktur haben. Im Übrigen ist in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen, dass insbesondere in urbanen Gebieten Stellplätze häufig sehr knapp und der Parkdruck entsprechend hoch ist. Eine Aufteilung des Parkraumes für die verschiedenen Fahrzeugkonzepte könnte diese Problematik noch verstärken, sodass hier gewisse Zielkonflikte vorliegen. Im Straßenraum ist aufgrund der Eigenschaften von Elektrofahrzeugen vor allem hinsichtlich der Verringerung lokaler Emissionen (wie insbesondere Lärm) eine Veränderung der bestehenden (lokalen) Verkehrskonzepte in der Diskussion.[49]

Die Diskussion der Anpassung von Regeln im Straßen- und Parkraum steht nicht im Fokus dieser Arbeit. Die Ausgestaltung von Parkraumregeln hat jedoch aufgrund der dargestellten Nutzungsrivalität Einfluss auf die Nutzung von Ladeinfrastruktur und wird daher am Rande diskutiert. Außerdem können durch eine entsprechende Ausgestaltung von Regeln signifikante Anreize für den Kauf von Elektrofahrzeugen etabliert werden, was sich wiederum auf die Nutzung von Ladeinfrastruktur auswirken kann.[50]

WEITERE

Für das Gesamtsystem der Elektromobilität können weitere, dem Verkehrssystem zuordenbare Güter und Subsysteme von Bedeutung sein (wie z. B. Verkehrsträger des öffentlichen Verkehrs), die in dieser Arbeit jedoch nicht näher betrachtet werden. Die Fokussierung des Themengebietes auf Personenkraftwagen geht einher mit einer Fokussierung auf den motorisierten Individualverkehr (MIV).[51]

---

[48] Dabei ergeben sich ggf. unterschiedliche Anforderungen bei unterschiedlichen Ladegeschwindigkeiten (bzw. Ladeverfahren). Siehe für eine Darstellung unterschiedlicher Ladeverfahren Abschnitt 3.4.1.2.

[49] Siehe Abschnitt 2.3.1.3 für eine kurze Diskussion der Verringerung lokaler Emissionen durch Elektrofahrzeuge. Veränderungen der Verkehrskonzepte könnten beispielsweise eine Aufhebung bestehender Beschränkungen für Elektrofahrzeuge in bestimmten Gebieten umfassen. Diese Diskussion wird häufig vor dem Hintergrund der eventuellen Etablierung nicht monetärer Kaufanreize geführt.

[50] Vgl. ESMT (2011, S. 49 f.) sowie NPE (2011, S. 44).

[51] Inkl. der überlappenden Bereiche des Wirtschaftsverkehrs.

2.1.3 Bestehendes energiewirtschaftliches System im Kontext des EnWG

Innerhalb dieses Abschnitts werden für die Elektromobilität relevante Grundlagen bzgl. des bestehenden energiewirtschaftlichen Systems dargestellt. Dabei wird auf das Elektrizitätssystem der Bundesrepublik Deutschland fokussiert. Andere Bereiche der Energiewirtschaft, wie beispielsweise die Gas- oder Mineralölversorgung, werden ausgeklammert.[52]

Die Regelungen des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) sowie nachgelagerter Verordnungen beeinflussen die Bereitstellung elektrischen Stroms maßgeblich und stellen somit eine wesentliche Grundlage für diesen Abschnitt dar. Ein bedeutendes Element dieser Regulierung ist die Entflechtung des Netzbetriebes von den vor- und nachgelagerten Bereichen der Energieversorgung.[53] Das (desintegrierte) System der elektrischen Energieversorgung lässt sich daher vereinfachend in einen vergleichsweise wettbewerblich organisierten Bereich, der die Erzeugung, den Handel und den Vertrieb umfasst, sowie in einen regulierten Bereich, der die Transport- und Verteilnetze umfasst, unterteilen. Außerdem existieren (Querschnitts-)Aufgaben, die beide Bereiche bzw. die Schnittstellen zwischen den Bereichen betreffen, wie insbesondere die Messung und die bilanzielle Abwicklung.

Im Folgenden wird in Abschnitt 2.1.3.1 zunächst auf den wettbewerblichen Bereich und in Abschnitt 2.1.3.2 auf den regulierten Bereich eingegangen. Daran anschließend erfolgt in Abschnitt 2.1.3.3 eine kurze Darstellung der relevanten Querschnittsaufgaben.[54]

2.1.3.1 Erzeugung, Handel und Vertrieb

Innerhalb dieses Abschnitts wird kurz auf die Bereiche Erzeugung, Handel und Vertrieb eingegangen.

ERZEUGUNG

Elektrischer Strom wird durch Erzeuger in verschiedenen Anlagen produziert. Diese Anlagen lassen sich zunächst nach Art der Primärenergie unterscheiden.[55] Grob können Kraftwerke, die mit fossilen Energieträgern befeuert werden (insbesondere Kohle, Gas, Öl), Kernkraftwerke, Wasserkraftwerke sowie weitere Erzeugungsanlagen, die erneuerbare Energien nutzen (z. B. Wind- und Sonnenenergie) unterschieden werden.[56]

---

[52] Eine umfangreiche Einführung von Elektrofahrzeugen als Substitut für konventionell angetriebene Fahrzeuge hätte aufgrund der Substitution von Mineralöltreibstoffen sowie evtl. nutzbarer Batteriespeicherkapazitäten Auswirkungen auf andere Bereiche der Energiewirtschaft. Diese Fragestellungen sind jedoch von geringer Bedeutung für die Ziele dieser Arbeit.

[53] Vgl. § 6 ff. EnWG sowie KONSTANTIN (2009, S. 86). Für eine ausführlichere Beschreibung der verschiedenen Bereiche vgl. z. B. WAWER (2007, S. 7) oder HEUCK / DETTMANN / SCHULZ (2010, S. 494 ff).

[54] Im Rahmen des nachfolgenden Abschnitts 2.1.4 wird im Kontext des Ladeinfrastruktursystems kurz auf mögliche Änderungen bestehender Regelungen des energiewirtschaftlichen Systems eingegangen, die vor allem den Bereich der Querschnittsaufgaben betreffen; siehe hierzu Abschnitt 2.1.4.2.

[55] Vgl. z. B. HEUCK / DETTMANN / SCHULZ (2010, S. 6 ff.).

[56] Erneuerbare Energien sind nach § 3 Nr. 3 EEG Windenergie, Solarenergie, Geothermie sowie Energie aus Biomasse. Erschöpfbare Energien sind fossile Energieträger und Kernkraft.

Außerdem weisen die Kraftwerke verschiedene Kostenfunktionen auf, die sich nach der Höhe der Fixkosten, die insbesondere Investitionskosten umfassen, sowie der Höhe der variablen Kosten, die bei fossilen Kraftwerken insbesondere die Kosten für die Primärenergie umfassen, unterscheiden.

Des Weiteren gibt es Unterschiede hinsichtlich der Regelbarkeit (bzw. des sog. Laständerungsgradienten) der Anlagen. Die Regelbarkeit ist von Bedeutung, da Energie in Stromnetzen nicht gespeichert werden kann und sich die Stromentnahmen (bzw. die Last)[57] und die Einspeisungen der Erzeugungsanlagen jederzeit decken müssen, um eine (nahezu) konstante Netzfrequenz (50 Hz) zu gewährleisten.[58] Daher ist eine Reservekapazität notwendig, die bei Bedarf kurzfristig zur sog. Frequenzregelung (die durch die Übertragungsnetzbetreiber verantwortet wird) eingesetzt werden kann.[59] Regelbare Kapazitäten können von Erzeugern daher neben der Stromproduktion auch für die Bereitstellung von Regelleistung (als Reservekapazität) verwendet bzw. vermarktet werden.

Hinsichtlich der Stromproduktion kann die Kapazität der verschiedenen Erzeugungsanlagen je nach Kostenfunktion und Regelbarkeit dem Bereich der Grundlast, die dauerhaft bereitgestellt werden muss bzw. nachgefragt wird, dem Bereich der Mittellast, die täglich mehrere Stunden bereitgestellt werden muss, sowie dem Bereich der Spitzenlast, die selten bereitgestellt werden muss, zugeordnet werden.[60] Dabei sind Erzeugungsanlagen mit einer hohen technischen Flexibilität häufig von größeren variablen Kosten gekennzeichnet (wie z. B. Gaskraftwerke), sodass sie eher als Mittel- bzw. Spitzenlastkraftwerke (oder als Kapazitätsreserve) eingesetzt werden. Demgegenüber bedienen Erzeugungsanlagen mit geringen variablen Kosten insbesondere die Grundlast.

Der produzierte Strom wird i. d. R. individuell durch Handels- bzw. Vertriebsorganisationen der Erzeuger vermarktet. Eine Ausnahme stellt die Vermarktung erneuerbarer Energien nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) dar, die in einem System fixer Einspeisevergütungen durch Netzbetreiber erfolgt.[61]

HANDEL

Der (Groß-)Handel von elektrischem Strom (durch Stromhändler) kann bilateral (auch „OTC“ für „Over the Counter“ genannt) oder über die Börse erfolgen.[62] Dabei werden verschiedene Märkte entlang einer Zeitschiene bis zum Zeitpunkt der Lieferung unterschieden. Typischerweise wird zwischen Spot- und Terminmärkten differenziert, wobei über Spotmärkte kurzfristig (i. d. R. mindestens innerhalb einer

[57] Die zu einem bestimmten Zeitpunkt nachgefragte Leistung wird als Last bezeichnet.

[58] Vgl. KONSTANTIN (2009, S. 402, 409 ff.). Für den Fall, dass die die Stromentnahmen die Einspeisungen übersteigen, kommt es zu einem Abfall der Netzfrequenz, im umgekehrten Fall zu einem Anstieg, wobei zu hohe Abweichungen zu einem Systemzusammenbruch führen können.

[59] Siehe für eine kurze Beschreibung der Frequenzregelung den folgenden Abschnitt 2.1.3.2.

[60] Vgl. WAWER (2007, S. 8 f.).

[61] Vgl. WAWER (2007, S. 8 f.).

[62] Vgl. HEUCK / DETTMANN / SCHULZ (2010, S. 497) sowie KONSTANTIN (2009, S. 43).

Woche) zu erfüllende Vereinbarungen getroffen werden, während über Terminmärkte der Handel längerfristig zu erfüllender Leistungen erfolgt. Der Handel über Spotmärkte ist in Deutschland bis zu 45 Minuten vor dem Zeitpunkt der Lieferung (sog. „gate closure“) möglich, wobei der sehr kurzfristige Innertageshandel nur OTC erfolgt.[63]

Die Strompreise schwanken in Abhängigkeit verschiedener Faktoren, wie insbesondere der Last, der Verfügbarkeit von Erzeugungskapazitäten (inkl. der Einspeisesituation erneuerbarer Energien) sowie der Kosten für die Primärenergie.[64] Diese Faktoren unterliegen kurz- sowie langfristigen Änderungen, die zu im Tagesverlauf (entsprechend der Last) sowie längerfristig veränderlichen Strompreisen führen.

VERTRIEB

Der Vertrieb von elektrischem Strom an Endkunden (auch Letztverbraucher genannt),[65] die ihren Strom nicht direkt im Großhandel beschaffen, sowie deren Belieferung erfolgt durch Stromlieferanten.[66] Diese können Strom entweder über direkt mit der eigenen Organisation verbundene Erzeugungseinheiten beschaffen bzw. produzieren oder über den Großhandel einkaufen.[67] In Deutschland haben Endkunden bzw. Letztverbraucher (aufgrund einer entsprechenden Regulierung des Netzbereichs)[68] die Möglichkeit, ihren Stromlieferanten frei zu wählen, wodurch diese grundsätzlich im Wettbewerb zueinander stehen. Dabei haben Lieferanten die Möglichkeit ihr Angebot nach Art der Stromerzeugung (insbesondere nach eingesetzter Primärenergie) sowie über verschiedene Tarife zu differenzieren.

Es lassen sich zwei grundlegende Tarifarten, die von Stromlieferanten angeboten werden (bzw. zwischen Stromlieferant und Kunde vereinbart werden), unterscheiden:

- **Konventionelle (lineare und zweistufige) Tarife**:[69] Bei linearen Tarifen zahlt der Kunde einen arbeitsbezogenen Tarif (€/kWh), dessen Höhe häufig in Verbindung mit einer Grundgebühr (die die sog. Zweistufigkeit kennzeichnet) festgelegt wird. Sogenannte „Flatrate-Tarife“, bei denen der arbeitsbezogene Tarif entfällt oder auch „Pakettarife“, bei denen die Grundgebühr ein bestimmtes kWh-Kontingent umfasst, lassen sich als Sonderformen dieser Tarife einordnen.

[63] Vgl. WAWER (2007, S. 30).

[64] Vgl. WAWER (2007, S. 31 f.).

[65] Nach § 3 Nr. 25 EnWG sind Letztverbraucher „natürliche oder juristische Personen, die Energie für den eigenen Verbrauch kaufen“.

[66] Vgl. GERKE / HENNIES / SCHÄFFNER (2000, S. 23).

[67] Vgl. HEUCK / DETTMANN / SCHULZ (2010, S. 497) sowie KONSTANTIN (2009, S. 43).

[68] Siehe dazu den folgenden Abschnitt 2.1.3.2.

[69] Vgl. ECOFYS / ENCT / BBH (2009, S. 18).

- **Variable Tarife**: Variable Tarife enthalten (häufig neben einer Grundgebühr) einen Tarifbestandteil, der in Abhängigkeit einer (unabhängigen) variablen Größe bestimmt wird.[70] Dabei werden entsprechend der Ausgestaltung der unabhängigen Variablen insbesondere zeit- und lastvariable Tarife unterschieden, bei denen sich der (Arbeits-)Preis als Funktion der Zeit oder der Last ergibt.[71] Ein weiteres wesentliches Ausgestaltungsmerkmal ist die Variabilität des Tarifs. Es lassen sich statische Tarife, bei denen der Tarif über eine längere Laufzeit nicht verändert wird (wie z. B. bei einfachen Tag-/Nachtzeit (HT/NT)-Tarifen der Fall), und dynamische Tarife, bei denen der Tarif regelmäßig (z. B. täglich) angepasst wird, unterscheiden.[72]

  Mit variablen Tarifen können grundsätzlich schwankende Großhandelspreise an die Kunden weitergegeben werden, was mit gewissen Anreizen zu einer Verbrauchssteuerung einhergehen kann.[73] Dabei ist es denkbar, dass die Aufgabe der Verbrauchssteuerung, die ohne weitere Mechanismen von Kunden selbst (dezentral) durchgeführt wird, auch von Kunden an Stromlieferanten abgetreten werden kann. Für eine derartige zentrale Steuerung wären entsprechende Kommunikations- und Steuerungsmechanismen notwendig.

Die Etablierung von variablen Tarifen sowie Steuerungsmechanismen ist auch in Bezug auf die Elektromobilität von Bedeutung und wird im weiteren Verlauf der Arbeit an verschiedenen Stellen thematisiert.[74]

2.1.3.2 Elektrizitätsnetze

Transport und Verteilung von elektrischem Strom erfolgen durch Übertragungs- und Verteilnetze. Diese werden anhand ihrer Spannungsebenen unterschieden.[75] So werden Übertragungsnetze i. d. R. auf Spannungsebenen von 220 kV und 380 kV (Höchstspannung) betrieben und dienen dem Transport von Elektrizität über längere Distanzen. Der Transport über kürzere Distanzen sowie die Versorgung von Verbrauchern erfolgt über die Spannungsebenen von Verteilnetzen, die von Hochspannung (110 kV) über die Mittelspannung (10–20 kV) bis zur Niederspannung (230 V einphasig bzw. 400 V dreiphasig) reichen. Dabei werden Verbraucher entsprechend ihres

[70] Nach § 40 Abs. 5 EnWG sind Lieferanten zum Angebot eines solchen Tarifs verpflichtet, soweit dieses „technisch machbar und wirtschaftlich zumutbar“ ist.

[71] In § 40 Abs. 5 EnWG werden diese Tarife ohne nähere Beschreibung genannt.

[72] Vgl. für eine Auflistung verschiedener Merkmale von Tarifen ECOFYS / ENCT / BBH (2009, S. 43 ff.). Neben den genannten Merkmalen existieren zahlreiche weitere Möglichkeiten der Ausgestaltung von Tarifen, die an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden können.

[73] Dabei sind unterschiedliche Anforderungen an die Messtechnik bzw. die Messverfahren zu berücksichtigen, die im folgenden Abschnitt 2.1.3.3 vertieft betrachtet werden. Inwiefern Kunden im Rahmen der im Folgenden kurz erläuterten Ausgestaltungsoptionen variabler Tarife tatsächlich ihren Verbrauch anpassen ist fraglich und wird im Rahmen dieser Arbeit nicht näher vertieft.

[74] Siehe für eine Darstellung in Bezug auf potenzielle gesamtwirtschaftliche Effekte Abschnitt 2.3.1.2 sowie für eine Darstellung konkreter Anwendungsfälle Abschnitt 3.2.

[75] Vgl. WAWER (2007, S. 17).

Leistungsbedarfes an die verschiedenen Spannungsebenen angeschlossen, wobei für private Haushalte oder kleinere Gewerbebetriebe die Niederspannung ausreicht. Die Transformation von elektrischem Strom auf unterschiedliche Spannungsebenen erfolgt mittels Umspannanlagen.[76]

Die Betreiber von Übertragungsnetzen (ÜNB) und Verteilnetzen (VNB) stehen in keinem direkten Wettbewerb zueinander. Vielmehr decken ihre Netze bestimmte Gebiete ab, die sich komplementär ergänzen und in denen die Betreiber jeweils Monopolisten sind.[77] Daher werden Netzbetreiber häufig auch als Gebietskomplementäre bezeichnet. Aufgrund der damit einhergehenden Marktmacht unterliegen die Netzbetreiber einer Regulierung, die insbesondere eine (bereits in Abschnitt 2.1.3 einleitend erwähnte) Trennung des Netzbereiches von vor- und nachgelagerten Bereichen der Energieversorgung vorsieht. Vor diesem Hintergrund sind Netzbetreiber u. a. verpflichtet, (potenziellen) Netznutzern zu diskriminierungsfreien Bedingungen Zugang zu den Netzen zu gewähren.[78] „Diskriminierungsfrei“ steht in diesem Zusammenhang für Bedingungen, die „wirtschaftlich“, „angemessen“, „transparent“ und „nicht ungünstiger als bei vergleichbaren Fällen“ für Leistungen innerhalb des eigenen Unternehmens sein dürfen.[79] Zudem sind mit der Regulierung Bestrebungen verbunden, den Monopolisten zum einen Anreize für ein aus Sicht des Gesamtsystems effizientes Verhalten zu setzen sowie zum anderen die Preise (bzw. Netzentgelte) und Gewinne auf ein angemessenes Niveau zu begrenzen.[80]

Des Weiteren sind Netzbetreiber verpflichtet, eine gewisse Qualität zu gewährleisten. So sind Energieversorgungsnetze „sicher“, „zuverlässig“ und „leistungsfähig“ zu betreiben.[81] In diesem Zusammenhang tragen Übertragungsnetzbetreiber die „Systemverantwortung“ innerhalb ihres Netzgebietes (ihrer Regelzone), im Rahmen derer sie (wie in Abschnitt 2.1.3.1 erwähnt) insbesondere für die Frequenzhaltung zuständig sind.[82] Um zu große Abweichungen von der Sollfrequenz, die zu einem Zusammenbruch des Systems führen können, zu vermeiden, beschaffen Übertragungsnetzbetreiber positive und negative Regelleistungskapazitäten, die bei Frequenzabweichungen eingesetzt werden.[83] Neben der Frequenzhaltung, die alleinige Aufgabe der

[76] Vgl. KONSTANTIN (2009, S. 395).

[77] Die Eigenschaft des sog. natürlichen Monopols lässt sich auch durch die Subadditivität der Kostenfunktion begründen; vgl. z. B. HEUCK / DETTMANN / SCHULZ (2010, S. 494) sowie für eine Erläuterung von subadditiven Kostenfunktionen z. B. FRITSCH / WEIN / EWERS (2007, S. 187 ff.).

[78] Vgl. § 20 Abs. 1 EnWG.

[79] Vgl. §§ 11 Abs. 1, 17 Abs. 1, 21 Abs. 1 EnWG.

[80] Inwieweit dieses durch die Regulierung erreicht wird, wird hier nicht hinterfragt.

[81] Vgl. § 11 Abs. 1 EnWG. Neben dem Betrieb gehören auch die Wartung sowie der bedarfsgerechte Ausbau der Netze zu den Aufgaben der Netzbetreiber.

[82] Vgl. §§ 12, 13 EnWG sowie WAWER (2007, S. 18).

[83] Vgl. KONSTANTIN (2009, S. 402, 409 ff.). Positive Regelleistung wird im Fall einer zu niedrigen Frequenz benötigt, negative Regelleistung für den Fall einer zu hohen Frequenz.

Übertragungsnetzbetreiber ist, sind die Netzbetreiber (ÜNB und VNB) zu weiteren Systemdienstleistungen verpflichtet, die die Qualität der Versorgung sicherstellen sollen.[84]

Im Rahmen dieser Arbeit sind Systemdienstleistungen am Rande von Bedeutung, da diese z. T. durch eine intelligente Bündelung von Fahrzeugbatterien unter bestimmten Voraussetzungen erbracht werden könnten.[85]

2.1.3.3 Querschnittsaufgaben Messung sowie bilanzielle Abwicklung

Innerhalb dieses Abschnitts wird zunächst auf die Bilanzierungslogik sowie die Zuordnung von Messdaten und anschließend auf verschiedene Mess- und Bilanzierungsverfahren eingegangen. Daraufhin wird kurz die Durchführung der Messaufgaben thematisiert.

BILANZIERUNGSLOGIK UND ZUORDNUNG VON MESSDATEN

Die energiewirtschaftliche Verrechnung von Strommengen, die zwischen den verschiedenen Händlern und Lieferanten sowie Letztverbrauchern ausgetauscht werden, erfolgt über sog. Bilanzkreise. Bilanzkreise sind Konten, denen sämtliche Einspeise- und Entnahmestellen eines Akteurs innerhalb einer Regelzone zugeordnet werden.[86] Sie haben den Zweck, die Netznutzung bzgl. Einspeisungen und Entnahmen zu dokumentieren und eine Abrechnung von Bilanzkreisungleichgewichten zu ermöglichen.[87] Bilanzkreise werden i. d. R. durch einen Händler oder einen Lieferanten verantwortet.[88] Diese Bilanzkreisverantwortlichen haben die geplanten Einspeisungen und Entnahmen beim jeweiligen Übertragungsnetzbetreiber anzumelden. Außerdem haftet der Bilanzkreisverantwortliche für Kosten, die dem Netzbetreiber durch Abweichungen von Stromentnahmen und Einspeisungen (durch den Einsatz von Regelenergie) entstehen.[89]

Um die Einspeisungen und Entnahmen zu dokumentieren und verrechnen zu können, ist an den jeweiligen Stellen eine Messung durch eine Messeinrichtung (auch „Meter“ genannt) erforderlich. Im Folgenden wird auf die Messung an der Entnahmestelle (dem Netzanschluss) eines Letztverbrauchers (im Verteilnetz) fokussiert, der in diesem Kontext auch als Anschlussnutzer bezeichnet wird.

---

[84] Diese umfassen u. a. die Spannungshaltung sowie den Versorgungsaufbau nach Störungen; vgl. KONSTANTIN (2009, S. 405 f.). Außerdem haben Verteilnetzbetreiber zum Zweck der Netzentlastung im Rahmen des bei der Energierechtsnovelle in 2011 neu geschaffenen § 14a EnWG die Möglichkeit, sog. „unterbrechbare Verbrauchseinrichtungen“ zu steuern. Dabei kann die Steuerung entweder direkt durch den VNB oder durch einen Dritten auf Geheiß des VNB erfolgen. Zu den unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen gehören dabei explizit auch Elektrofahrzeuge.

[85] Siehe Abschnitt 2.3.1.2 sowie Abschnitt 3.2.

[86] Vgl. BUNDESNETZAGENTUR (2010, S. 60).

[87] Vgl. HEUCK / DETTMANN / SCHULZ (2010, S. 496).

[88] Außerdem können auch Industriebtriebe als Bilanzkreisverantwortliche agieren.

[89] Kosten, die durch die Vorhaltung von Regelleistung entstehen, sind Bestandteil der Netzentgelte. Kosten für die Regelleistung, die zum Ausgleich von Abweichungen zwischen Einspeisungen und Entnahmen tatsächlich eingesetzt wird, werden den Verursachern (über die Zuordnung zu Bilanzkreisen) in Rechnung gestellt; vgl. HEUCK / DETTMANN / SCHULZ (2010, S. 495 f.).

Die Messdaten der sich am Netzanschluss befindlichen Messeinrichtung eines Anschlussnutzers werden durch den VNB dem Bilanzkreis des jeweiligen Stromlieferanten zugeordnet.[90] Aufgrund der eindeutigen Zuordnung einer Messstelle zu einem Bilanzkreis besteht eine eins-zu-eins-Beziehung zwischen einer Messstelle am Netzanschluss und einem Stromlieferanten. Bei einem Wechsel des Stromlieferanten erfolgt eine Neuzuordnung der Messstelle (durch den VNB), wobei die zeitliche Dauer dieses Prozesses aktuell mehrere Tage umfasst.[91]

MESS- UND BILANZIERUNGSVERFAHREN

Für die Messung von Letztverbrauchern existieren verschiedene Verfahren, die Auswirkungen auf die Bilanzierung und damit Auswirkungen auf die Etablierung variabler Tarife haben. Im Allgemeinen werden zwei Verfahren unterschieden:

- **Einfache Erfassung der elektrischen Arbeit (SLP-Verfahren)**: Für Kunden mit einem jährlichen Stromverbrauch von unter 100.000 kWh erfolgt i. d. R. eine einfache Erfassung der elektrischen Arbeit im Rahmen längerer Zeitintervalle (typischerweise ein Jahr).[92] Als Messeinrichtung werden dabei häufig einfache Zähler (z. B. sog. Ferraris-Zähler) eingesetzt, bei denen eine Auslesung des visuell angezeigten Zählerstandes erforderlich ist. Es können jedoch auch fernauslesefähige Zähler verwendet werden.

  Da bei diesem Messverfahren die im Tagesverlauf schwankende Last nicht erfasst wird, erfolgt die Bilanzierung des elektrischen Stroms nach dem sog. Standardlastprofil (SLP)-Verfahren. Dieses unterstellt für jeden Endkunden, unabhängig vom tatsächlichen Verbrauchsverhalten, ein (standardisiertes) Lastprofil. Die von den Lieferanten für diese SLP-Kunden bereitzustellende Energie bestimmt sich aus den über alle Kunden aggregierten Standardlastprofilen innerhalb eines Bilanzkreises.

- **Registrierende Lastgangmessung (RLM)**: Für Kunden mit einem Stromverbrauch der 100.000 kWh pro Jahr übersteigt, ist eine registrierende Lastgangmessung vorgeschrieben, im Rahmen derer eine viertelstündige Messung von Leistung und Arbeit durch eine geeignete Messeinrichtung erfolgt.[93] Die Übermittlung der Daten an den VNB erfolgt dabei zumindest täglich und daher in aller Regel per Fernauslesung.

  Die Bilanzierung der Entnahmen erfolgt bei RLM-Kunden gemäß dem Lastgangzählverfahren, welches den tatsächlichen Lastgang zugrunde legt. Eine registrierende Lastgangmessung

[90] Vgl. BUNDESNETZAGENTUR (2010, S. 60 f.).

[91] Gemäß § 20a Abs. 2 EnWG darf die Dauer drei Wochen nicht überschreiten.

[92] Vgl. § 10 MessZV, § 12 StromNZV sowie ECOFYS / ENCT / BBH (2009, S. 16 f.).

[93] Vgl. § 10 MessZV, § 18 StromNZV sowie ECOFYS / ENCT / BBH (2009, S. 25).

kann grundsätzlich auch für Kunden mit geringeren Verbräuchen zur Anwendung kommen, ist allerdings mit hohen Kosten verbunden.[94]

Hinsichtlich einer Etablierung bzw. Anwendung der verschiedenen in Abschnitt 2.1.3.1 beschriebenen Tarife, die durch Stromlieferanten angeboten werden können, kann davon ausgegangen werden, dass bei Stromlieferanten keine oder nur sehr geringe Anreize bestehen, variable Tarife für SLP-Kunden anzubieten, da sie unabhängig vom tatsächlichen Verbrauchsverhalten der Nutzer entsprechend des Standardlastprofils beliefern müssen.[95] Das RLM-Verfahren ist hingegen technisch geeignet, die verschiedenen variablen Tarife abzubilden, da es die tatsächlichen Stromentnahmen im Zeitverlauf dokumentiert, kommt jedoch aufgrund der hohen Kosten i. d. R. bei der Vielzahl kleinerer Letztverbraucher nicht zur Anwendung.

Eine kostengünstigere Alternative könnte in der sog. Zählerstandsgangmessung liegen, bei der die elektrische Arbeit mit einer geeigneten Messeinrichtung (i. d. R. ein sog. „Smart Meter“) viertelstündlich erfasst wird.[96] Durch Bildung der Differenzen der verschiedenen Zählerstände kann ein Lastgang berechnet werden, auf dessen Basis grundsätzlich eine Bilanzierung nach dem Lastgangzählverfahren möglich erscheint. Allerdings bestehen ggf. rechtliche Umsetzungsprobleme.

Innerhalb dieser Arbeit wird im Folgenden vereinfachend unterstellt, dass bei Stromlieferungen unabhängig von der Verbrauchsmenge das Lastgangzählverfahren angewendet wird und dass die Messung und Auslesung bzw. Kommunikation der Daten kostengünstig durch ein Smart Meter erfolgen kann.

DURCHFÜHRUNG DER MESSAUFGABEN

Die Messaufgaben umfassen den Messstellenbetrieb[97] (Einbau und Wartung der Messeinrichtung) sowie die Messdienstleistung[98] (Auslesung und Datenweitergabe). Bei Anwendung eines kommunikationsfähigen Messsystems[99] (z. B. eines Smart Meters) fallen die Aufgaben zusammen.

---

[94] Vgl. ECOFYS / ENCT / BBH (2009, S. 31).

[95] Vgl. ECOFYS / ENCT / BBH (2009, S. 37 f.); Lediglich über eine evtl. erzielbare Einsparung im Bereich der Konzessionsabgaben kann ein Anreiz bestehen, variable Tarife anzubieten.

[96] Vgl. ECOFYS / ENCT / BBH (2009, S. 25 f.).

[97] Die Aufgaben des Messstellenbetreibers umfassen den Einbau, den Betrieb und die Wartung von Messeinrichtungen; vgl. § 3 Nr. 26a, b EnWG.

[98] Vgl. § 9 Abs. 2 MessZV.

[99] Nach § 21d EnWG ist ein Messsystem „eine in ein Kommunikationsnetz eingebundene Messeinrichtung, […]“ welche „den tatsächlichen Energieverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit wiederspiegelt.“ Umgangssprachlich wird in diesem Zusammenhang auch von intelligenten Zählern oder Smart Metern gesprochen. Gemäß § 21c Abs. 1 EnWG sind z. B. in Neubauten Messsysteme vorgeschrieben.

Die Messaufgaben werden i. d. R. vom Verteilnetzbetreiber durchgeführt, können jedoch auf Verlangen des Anschlussnutzers an einen Dritten (Messstellenbetreiber (MSB) bzw. Messdienstleister (MDL)) übertragen werden.[100]

2.1.4 Ladeinfrastruktur an der Schnittstelle zwischen verschiedenen Subsystemen und Frage der Anpassung energiewirtschaftlicher Regelungen

Im Folgenden wird zunächst in Abschnitt 2.1.4.1 kurz auf die Ladeinfrastruktur als Bestandteil des Gesamtsystems der Elektromobilität eingegangen. Daran anschließend erfolgt in Abschnitt 2.1.4.2 eine Einordnung und kurze Diskussion möglicher Änderungen von (im vorhergehenden Abschnitt dargestellten) bestehenden energiewirtschaftlichen Regelungen, die sich durch die mobile Eigenschaft der Endkunden ergeben.

2.1.4.1 Grundlegende Einordnung von Ladeinfrastruktur

Für eine grundlegende Einordnung von Ladeinfrastruktur werden an dieser Stelle zunächst verschiedene Begrifflichkeiten eingeführt. Zunächst ist von Bedeutung, dass einige technische Module, die an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Verteilnetz erforderlich sind, sowohl „stellplatzseitig“ als auch im Fahrzeug verbaut werden können, sodass häufig einfach der Begriff „Ladeschnittstelle“ verwendet wird. Des Weiteren beschreibt der Begriff „Ladepunkt“ allgemein eine einzelne Lademöglichkeit für ein Fahrzeug an einem (Lade-)Standort, also z. B. eine Steckdose in einer privaten Garage. Der Begriff „Ladeeinheit“ steht im Rahmen dieser Arbeit für ein einzelnes technisches System, das stellplatzseitig aufgebaut wird und einen oder mehrere Ladepunkte sowie weitere (je nach Funktionalität der Ladeeinheit notwendige) technische Module (z. B. zur Messung und Kommunikation) umfasst. Analog zu dem Begriff Ladeeinheit wird auch der Begriff Ladestation verwendet.

Ladeinfrastruktur lässt sich grundsätzlich nach dem Standort der Ladeeinheiten sowie nach der technischen Ausgestaltung unterscheiden:

- **Standort**: Im Allgemeinen werden öffentliche, halböffentliche und private Standorte unterschieden.[101] Dabei ist von Bedeutung, dass Ladeinfrastruktur im öffentlichen sowie im halböffentlichen Bereich kaum bzw. nur ansatzweise vorhanden ist.[102]

[100] Vgl. § 21b Abs. 1, 2 EnWG.

[101] Vgl. z. B. NPE (2011, S. 36) und NPE (2012a, S. 48). Eine ausführliche Beschreibung der Differenzierungskriterien der verschiedenen Standorte erfolgt in Abschnitt 3.1.

[102] Ein Großteil der vorhandenen Ladeinfrastruktur in öffentlich zugänglichen Bereichen wurde im Rahmen von Förderprogrammen aufgebaut, die häufig einen stark experimentellen Fokus hatten; siehe Anhang A 2.1 für eine kurze Darstellung des Status quo bzgl. bereits aufgebauter Ladepunkte.

- **Technische Ausgestaltung**: Ladeeinheiten können mit verschiedenen Möglichkeiten des Energieflusses (in dieser Arbeit auch als „Ladeverfahren“ bezeichnet) sowie mit unterschiedlichen Mess- und Kommunikationsmöglichkeiten ausgestattet werden.[103] Die technische Ausgestaltung hat Einfluss auf die Qualität sowie die Kosten des Systems, da insbesondere die Ladeverfahren mit unterschiedlichen Kosten und unterschiedlichen Geschwindigkeiten einhergehen. Außerdem sind die sich aus einer (eventuellen) Etablierung von variablen Tarifen sowie Steuerungsmechanismen (in dieser Arbeit auch als „Anwendungsfälle“ bezeichnet)[104] ergebenden Anforderungen durch die technische Ausgestaltung umzusetzen.

Vor dem Hintergrund der nur ansatzweise etablierten Ladeinfrastruktur im öffentlich zugänglichen Bereich sowie den verschiedenen Anforderungen an diese Infrastruktur (z. B. hinsichtlich der Beeinflussung von Ladevorgängen über variable Tarife) befinden sich unterschiedliche Modelle für die Ausgestaltung und Bereitstellung von öffentlicher Ladeinfrastruktur in der Diskussion. Diese Diskussion betrifft den Kern dieser Arbeit. Daher erfolgt eine umfassendere Darstellung des Untersuchungsgegenstandes „öffentliche Ladeinfrastruktur“ separat in Kapitel 3.

2.1.4.2 Mögliche Änderungen bestehender energiewirtschaftlicher Regelungen im Kontext wechselnder Letztverbraucher der Elektromobilität

Davon ausgehend, dass über Ladeeinheiten im öffentlichen Bereich verschiedene Letztverbraucher (bzw. die Fahrzeuge von Letztverbrauchern, die im Folgenden auch Elektromobilitätskunden genannt werden) mit elektrischem Strom versorgt werden, stellen sich die Fragen, in welcher Form bestehende energiewirtschaftliche Regelungen für diesen Bereich angewendet werden können und inwiefern ggf. ein Änderungsbedarf dieser Regelungen besteht. Im Folgenden wird zunächst auf die Bedeutung des Status quo für die Elektromobilität eingegangen. Daran anschließend wird kurz die Frage der Vorteilhaftigkeit möglicher Regeländerungen thematisiert.

BEDEUTUNG GELTENDER ENWG REGELUNGEN FÜR DIE ELEKTROMOBILITÄT

Vor dem Hintergrund der in Abschnitt 2.1.3.3 für „nicht mobile“ Letztverbraucher beschriebenen eins-zu-eins-Beziehung zwischen dem Lieferanten und der Messeinrichtung des Letztverbrauchers stellt sich die Frage, inwieweit auch Elektromobilitätskunden als Letztverbraucher an öffentlicher Ladeinfrastruktur ihren Stromlieferanten frei wählen können. Dieses wäre insbesondere dann der Fall, wenn die für den Netzbereich geltende Vorschrift der Gewährleistung eines diskriminierungsfreien Zugangs auch für öffentliche Ladeinfrastruktur gelten würde.[105] Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass

[103] Eine ausführliche Darstellung der technischen Ausgestaltungsoptionen erfolgt in Abschnitt 3.4. Siehe insbesondere Abschnitt 3.4.1.2.2 für verschiedene konduktive (Wechselstrom- und Gleichstrom-) Ladeverfahren sowie Abschnitt 3.4.1.3 für die Ausgestaltung der Kommunikation.

[104] Ein Anwendungsfall dient dabei der Beschreibung der grundlegenden Funktionalität der Ladeschnittstelle; siehe Abschnitt 3.2.

[105] Vgl. hierzu Abschnitt 2.1.3.2.

im Rahmen der bestehenden energiewirtschaftlichen Regelungen lediglich der Betreiber der Ladeeinheit als Anschlussnutzer eingeordnet wird und in diesem Zusammenhang auch den Stromlieferanten wählen kann.[106] Hiervon wird innerhalb dieser Arbeit ausgegangen.

Hinsichtlich der etablierten Querschnittsaufgaben der Messung und Bilanzierung ergibt sich unter diesen Voraussetzungen kein Änderungsbedarf, da insbesondere die bestehende eins-zu-eins-Beziehung zwischen Netzanschluss und Stromlieferant beibehalten wird.[107] Jedoch sind Elektromobilitätskunden an öffentlicher Ladeinfrastruktur unter den bestehenden energiewirtschaftlichen Regelungen nicht frei in ihrer Wahl des Stromlieferanten. Vielmehr wählt der Betreiber der jeweiligen Ladeeinheit den Stromlieferanten aus und reicht den Strom (ggf. zu eigenen Konditionen) an den Elektromobilitätskunden weiter. Aus ökonomischer Sicht besteht hier eine Art „Zwangsbündelung“ zwischen dem Betreiber der öffentlichen Ladeeinheit und dem Lieferanten, der den Elektromobilitätskunden beliefert.

FRAGE DER VORTEILHAFTIGKEIT VON ÄNDERUNGEN

Die beschriebene Form der „Zwangsbündelung“ kann mit Nachteilen einhergehen, wie z. B. in Form von Transaktionskosten, die sich daraus ergeben, dass mobile Kunden an Ladeeinheiten verschiedener Betreiber (und somit vermutlich verschiedener Stromlieferanten) Strom beziehen.[108] Dabei ist insbesondere in Verbindung mit der Etablierung variabler Tarife oder einer Steuerung von Ladevorgängen fraglich, welche Konditionen an den Ladeeinheiten verschiedener Betreiber gelten bzw. inwieweit diese einheitliche Konditionen im Rahmen von Kooperationen festlegen.

Somit ist aus ökonomischer Sicht die Frage zu stellen, ob eine Abkehr von der Bündelung zwischen Betreibern der Ladeeinheiten und Stromlieferanten nicht sinnvoll wäre, sodass Elektromobilitätskunden in der Lage sind, ihren Stromlieferanten unabhängig von der Ladeeinheit bzw. dem Betreiber der Ladeeinheit zu wählen. Damit wäre insbesondere eine Aufhebung der eins-zu-eins-Zuordnung zwischen einem Netzanschluss und einem Stromlieferanten verbunden, die z. B. möglich erscheint, wenn verschiedene Messdaten einer Messeinrichtung verschiedenen Lieferanten zugeordnet werden können.[109]

Sinnvoll wären entsprechende Änderungen, wenn die Vorteile einer Aufhebung der Bündelung die Nachteile (die z. B. in den Kosten der Änderung des Regelrahmens bestehen) überwiegen. Die

---

[106] Die Frage steht in Zusammenhang damit, inwiefern die Ladeinfrastruktur als Verteilnetz oder Kundenanlage eingeordnet wird; vgl. HELMES (2013, S. 22 f.). Beides dürfte nicht der Fall sein; vgl. GAUGGEL (2011, S. 253) sowie FELLER / DE WYL / MISSLING (2010, S. 244). Eine eindeutige Rechtsprechung oder richterliche Entscheidung scheint hierzu jedoch nicht vorzuliegen.

[107] Vgl. dazu auch FEST / FRANZ / GAUL (2011, S. 91 ff.). Dabei wird hier davon ausgegangen, dass am Netzanschluss (in der Ladeeinheit) eine Messung erfolgt. Einen Sonderfall stellt mobile Messtechnik dar, die an dieser Stelle ausgeklammert wird; siehe für eine Diskussion mobiler Messtechnik Abschnitt 9.3.

[108] Siehe Abschnitt 7.1 für eine ausführliche Diskussion.

[109] Dabei ist nicht notwendigerweise eine Beschleunigung der in Abschnitt 2.1.3.3 genannten Lieferantenprozesse erforderlich; siehe hierzu Abschnitt 7.2.

ökonomische Analyse von Fragen der Integration bzw. Desintegration wird in den folgenden Kapiteln zunächst ausgeklammert, in Abschnitt 5.2 wieder aufgegriffen und in Kapitel 7 vertieft behandelt.

2.2 Historische Entwicklung elektrisch angetriebener Straßenfahrzeuge

Auch wenn Elektrofahrzeuge[110] als Alternative zu verbrennungsangetriebenen Fahrzeugen zumindest in Deutschland erst seit wenigen Jahren zunehmend an Aufmerksamkeit gewinnen, geht das grundlegende Konzept der Verwendung einer Batterie als Speicher für Antriebsenergie in Kombination mit einem Elektromotor auf Erfindungen des 19. Jahrhunderts zurück. Auch öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur war bereits vor über einhundert Jahren in der Diskussion und wurde vereinzelt sogar aufgebaut. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die wesentlichen historischen Meilensteine der Elektromobilität bis hin zu aktuellen Entwicklungen gegeben.

1800 – 1879: TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Mit der Erfindung der Primärbatterie durch Allessandro Volta im Jahr 1800 und der Grundlagen des Elektromotors durch Michael Faraday im Jahr 1821 stand ein anfängliches Wissen über die technischen Komponenten von Elektrofahrzeugen bereit.[111] In den 1830er Jahren wurden, auf dieses Wissen aufbauend, die ersten Versuche mit Elektrofahrzeugen durchgeführt, wobei in der Literatur Uneinigkeit darüber besteht, mit welcher Person diese Erfindung in Verbindung zu bringen ist.[112] So haben wahrscheinlich u. a. Thomas Davenport, Robert Anderson und Robert Davidson in den 1830er Jahren Elektrofahrzeuge entwickelt, wobei es sich bei Davenport um ein mit einer Primärbatterie angetriebenes, spurgebundenes Fahrzeug handelte.[113] Da die (wiederaufladbare) Sekundärbatterie (eine Blei-Säure Batterie) erst 1859 durch Gaston Planté erfunden wurde,[114] dürften sich diese Fahrzeuge noch nicht für praktische Anwendungen im Straßenverkehr geeignet haben. Bis zum Ende der 1880er Jahre kamen die Entwicklungen vor allem im Bereich Batterie und Elektromotor weiter voran. So wurden insbesondere leistungsstärkere Gleichstrom-Motoren entwickelt und der erste Wechselstrommotor durch Nikola Tesla erfunden.[115]

---

[110] Innerhalb dieses Abschnitts wird entsprechend der in dieser Arbeit vorgenommenen Einschränkung auf elektrisch angetriebene Pkw fokussiert. Grundsätzlich könnten jedoch alle durch ein elektrisches Antriebssystem betriebenen Fortbewegungsmittel (etwa auch spurgebundene Fahrzeuge) unter den Begriff Elektrofahrzeug fallen.

[111] Vgl. HØYER (2008, S. 63) oder WESTBROOK (2001, S. 27).

[112] Vgl. ABT (1998, S. 53f.).

[113] Vgl. DCTI (2010, S. 16).

[114] Vgl. HØYER (2008, S. 63) oder WESTBROOK (2001, S. 27); Blei-Säure-Batterien finden noch heute z. B als Starterbatterien Verwendung.

[115] Vgl. DCTI (2010, S. 16 f.), HØYER (2008, S. 63) oder WESTBROOK (2001, S. 27).

1880 – 1899: ERFOLGREICHE MARKTEINFÜHRUNG VON ELEKTROFAHRZEUGEN

Zu Beginn der 1880er Jahre wurden die ersten mit einer Sekundärbatterie ausgestatten Fahrzeuge präsentiert. Auch hier kommen verschiedene Personen als Erfinder in Betracht.[116] Beispielsweise hat Gustave Trouvé 1881 ein entsprechendes Fahrzeug auf einer Elektrizitätsmesse in Paris vorgestellt.[117] Im weiteren Verlauf der 1880er und 1890er Jahre wurden verschiedene Elektrofahrzeug-Modelle und Entwicklungen in den USA und Europa vorgestellt, wie z. B. das Prinzip der rekuperativen Bremse 1887 in Paris. Auch Ferdinand Porsche entwickelte ein mit Radnabenmotoren ausgestattetes Elektrofahrzeug, welches später mit einem Verbrennungsmotor kombiniert wurde und somit einen frühen Hybridantrieb darstellt.[118] Außerdem führte Carl Friedrich Benz im Jahr 1885 den berühmten Patent-Motorwagen erstmals vor, welcher als eines der ersten mit Benzin angetriebenen Automobile gilt. Zum Ende des 19. Jahrhunderts konkurrierten neben Elektro- und Benzinfahrzeugen auch dampfbetriebene Fahrzeuge um Marktanteile, wobei 1899 mehr Elektro- als Benzinfahrzeuge verkauft wurden.

Im Übrigen kam es um die Jahrhundertwende bereits zum Aufbau von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur.[119] So wurde in London ein Netz aus „Ladehydranten“ errichtet, die mit einem Münz-Bezahlsystem ausgestattet waren. Außerdem wurde, wohl um dem Problem der begrenzten Reichweite von Elektrofahrzeugen zu begegnen, ein Batteriewechselsystem entwickelt.

1900 – 1959: VERBRENNUNGSKRAFTANGETRIEBENE STRAßENFAHRZEUGE SETZEN SICH DURCH

Der Beginn des 20. Jahrhunderts gilt als die erste Hochphase der Elektrofahrzeuge.[120] So wurden beispielsweise ganze Taxiflotten elektrisch betrieben. Auch bei der Batterieentwicklung wurden z. B. durch Thomas Edison Fortschritte erzielt. Allerdings stiegen bereits vor dem ersten Weltkrieg zunehmend die Marktanteile von benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeugen wie dem Ford T-Modell. Während des ersten Weltkrieges, wie auch während des zweiten Weltkrieges, gewannen dann zwischenzeitlich Elektrofahrzeuge vor allen Dingen aufgrund der knappen Mineralöltreibstoffe kurzzeitig an Bedeutung. Ansonsten sank die Produktion von Elektrofahrzeugen aber kontinuierlich, bis zum fast vollständigen Erliegen zum Ende der 1950er Jahre.

Ausschlaggebend für den Verlust von Marktanteilen in den USA und Europa war wohl u. a. die vergleichsweise geringe Reichweite, die in Verbindung mit einem immer besser ausgebauten Straßennetz dazu führte, dass insbesondere längere Strecken nur mit Verbrennungskraftfahrzeugen zurückgelegt werden konnten.[121] Außerdem erlangten ICE-Fahrzeuge Kostenvorteile durch die

---

[116] Vgl. ABT (1998, S.53 f.).

[117] Vgl. HØYER (2008, S. 63) oder WESTBROOK (2001, S. 27).

[118] Vgl. VCÖ (2009, S. 13) und DCTI (2010, S.17).

[119] Vgl. HØYER (2008, S. 64) sowie WESTBROOK (2001, S. 27).

[120] Vgl. HØYER (2008, S. 64 f.) sowie WESTBROOK (2001, S. 27).

[121] Vgl. VCÖ (2009, S. 13).

beginnende Fließbandproduktion sowie geringe Treibstoffpreise.[122] Auch Imagefaktoren dürften den Erfolg von Verbrennungskraftantrieben unterstützt haben. So erwähnt z. B. HØYER (2008), dass das Design von Elektrofahrzeugen zu Beginn des 19. Jahrhunderts als relativ konservativ empfunden wurde.[123] Im Übrigen könnten auch Erfolge von Verbrennungsfahrzeugen im Rennsport zu einem steigenden Bewusstsein für das größere Leistungspotenzial von ICE-Fahrzeugen hinsichtlich Geschwindigkeit und Reichweite im Vergleich zu Elektrofahrzeugen (oder auch Pferdekutschen) geführt haben.[124]

1960 – 2005 Elektrofahrzeuge als Nischenanwendung, zunehmendes Interesse und Versuch einer breiteren Markteinführung

In den 1960er und 1970er Jahren wurden Elektrofahrzeuge in kleineren Stückzahlen und vor allem für Nischenanwendungen, in denen geringe lokale Emissionen (Lärm, Abgase) von Bedeutung waren, verkauft.[125] Beispielsweise wurden Elektrofahrzeuge in Großbritannien und den USA für die leise Lieferung von Milch oder in Berlin zur Briefkastenleerung eingesetzt.[126] Auf Golfplätzen oder auf „autofreien" Inseln kommen bis heute häufig Elektrofahrzeuge zum Einsatz.[127]

Einige größere Unternehmen zeigten bereits in den 1960er Jahren wieder vermehrt Interesse an Elektrofahrzeugen.[128] So entwickelte z. B. Ford in Großbritannien den „Comuta", einen Kleinwagen mit ca. 60 km Reichweite und einer Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h.[129] Auch General Motors („Electrovair" und „Electrovan") und der Elektronikkonzern General Electric („GE Delta") entwickelten Elektro-Modelle, die allerdings, wie auch der Ford Comuta, nie in größeren Stückzahlen produziert wurden. In den 1970er Jahren wuchs das Interesse an Elektrofahrzeugen weiter, getrieben insbesondere durch die gestiegene Aufmerksamkeit für energiepolitische Themen wie der Endlichkeit fossiler Energieträger oder der Nutzung von Kernenergie, die auch in Verbindung mit der Öl-Krise im Jahr 1973 an Bedeutung gewannen.[130] So wurden in vielen Ländern Energie-Entwicklungspläne entwickelt, die auch erneuerbare Energien berücksichtigten. In Frankreich, Großbritannien und den USA kam es zur Gründung von Unternehmen, die ICE-Fahrzeuge auf Elektroantriebe umrüsteten oder eigene Modelle entwickelten.[131] Auch in Deutschland (durch Daimler-Benz und Volkswagen), Japan sowie Italien wurden Versuchsfahrzeuge oder Prototypen entwickelt.

---

[122] Vgl. auch DCTI (2010, S.189).

[123] Vgl. HØYER (2008, S. 65).

[124] Vgl. ABT (1998, S. 131).

[125] Vgl. ABT (1998, S. 210 f.), WESTBROOK (2001, S. 20 ff.).

[126] Vgl. DCTI (2010, S.18) sowie HØYER (2008, S. 65).

[127] Beispielsweise sind auf einigen ostfriesische Inseln vor allem Elektrofahrzeuge (mit Ausnahme von Spezialfahrzeugen von Feuerwehr, Rettungsdienst o.ä.) im Einsatz.

[128] Vgl. HØYER (2008, S. 66).

[129] Vgl. WESTBROOK (2001, S. 22 f.).

[130] Vgl. HØYER (2008, S. 66).

[131] Vgl. WESTBROOK (2001, S. 24 f.).

In den 1980er und 1990er Jahren stieg das Interesse an Elektrofahrzeugen weiter an – zunehmend getrieben durch eine stärkere Fokussierung auf „nachhaltige Energiesysteme“ bzw. eine „nachhaltige Mobilität“.[132] Insbesondere stieg das Bewusstsein für die Problematik der Emission von Treibhausgasen sowie für die damit verbundene Notwendigkeit, erneuerbare Energien stärker zu nutzen und Energie sparsamer einzusetzen.[133]

In verschiedenen Ländern wurden z. T. mit staatlichen Fördermaßnahmen neue Elektrofahrzeug-Modelle entwickelt, wie beispielsweise der „ETX-1“ in den USA (Ford / GE), ein elektrisch angetriebener VW „Golf 1“ in Deutschland, der Fiat „Panda Elettra“ in Italien oder das dreirädrige, offene Fahrzeug „C 5“ in Großbritannien.[134] Bis auf letztgenanntes erreichten die Fahrzeuge keine nennenswerten Stückzahlen oder schafften es nicht über den Prototypen-Status hinaus.

Diese noch eher vereinzelten Forschungs- und Entwicklungsinitiativen intensivierten sich in den 1990er Jahren, u. a. getrieben durch sich ändernde politische Rahmenbedingungen in Bezug auf Fahrzeugemissionen, wie die in Kalifornien eingeführten „Zero Emissions Regulations“.[135] Zahlreiche große Fahrzeughersteller setzten Forschungsprogramme mit Bezug zu elektrischen Antrieben und Batterien auf, die zum Angebot von Serienfahrzeugen und steigenden Elektrofahrzeugzahlen führten. So wurden von General Motors zwischen 1996 und 1999 ca. 1.100 „EV1“ hergestellt, die vornehmlich in Kalifornien Abnehmer fanden.[136] Von PSA Peugeot-Citroën wurden zwischen 1995 und 2005 ca. 10.000 elektrisch angetriebene Fahrzeuge produziert und Volkswagen bot großen Energieversorgern von 1992 bis 1996 den „Golf CitySTROMer“ an. Außerdem fand auf Rügen Anfang der 1990er Jahre ein durch die Bundesregierung geförderter Elektrofahrzeug-Großversuch statt.[137]

Im gleichen Zeitraum nahm das Bewusstsein für die Notwendigkeit von Klimaschutzmaßnahmen international weiter zu. Das 1997 beschlossene Kyoto-Protokoll legte zum ersten Mal Obergrenzen für den Ausstoß klimaschädlicher Gase fest, welche jedoch von vielen Beteiligten hinsichtlich einer

---

[132] Vgl. HØYER (2008, S. 67).

[133] Als wesentliche Meilensteine der Bestrebungen zur Reduktion von Treibhausgasen können der UN Report „Our Common Future“ (1987) sowie die Weltklimakonferenz in Rio de Janeiro (1992) genannt werden. Es ist anzumerken, dass Elektrofahrzeuge zunächst lokal wirksame Emissionen, wie beispielsweise Stickstoffoxide (NO_x) oder Kohlenstoffmonoxid (CO), verringern und für die Entstehung des global wirksamen Klimagases Kohlenstoffdioxid (CO_2) der Stromerzeugungsprozess maßgeblich ist. So können die CO_2-Emissionen von Elektrofahrzeugen bei Strom aus fossilen Energieträgern in ähnlichen Bereichen liegen, wie die von konventionellen Fahrzeugen. In Verbindung mit erneuerbaren Energien haben Elektrofahrzeuge jedoch das Potenzial, CO_2-Emissionen zu verhindern; vgl. z. B. BLÜMEL / WEIN (1996, S. 168) und siehe auch Abschnitt 2.3.1.1.

[134] Vgl. WESTBROOK (2001, S. 25 f.).

[135] Vgl. HØYER (2008, S. 67 f.), WESTBROOK (2001, S. 27.) oder BLÜMEL (1992, S. 79).

[136] Vgl. VCÖ (2009, S. 13).

[137] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2009, S. 20).

wirksamen Bekämpfung des Klimawandels als zu weit gefasst beurteilt wurden.[138] Auch auf nationaler Ebene wurden in Deutschland Klimaschutzziele und Maßnahmen definiert. So verabschiedete die Bundesregierung in 2002 eine „nationale Nachhaltigkeitsstrategie“, auf deren Basis dann eine nationale Kraftstoffstrategie entwickelt wurde.

Trotz der steigenden politischen Aufmerksamkeit und der sich wandelnden Rahmenbedingungen war die (Wieder-)Einführung von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen bis Mitte der 2000er Jahre nicht erfolgreich, was sich u. a. auf die im Vergleich zu ICE-Fahrzeugen geringeren Leistungseigenschaften von Elektrofahrzeugen in Verbindung mit fehlenden Fortschritten im Bereich der Batterietechnologie zurückführen lässt.[139] Im Übrigen dürfte vor allem in Deutschland auch Wasserstoff als Alternative zu Mineralöltreibstoffen als potenziell überlegene Technologie eingeschätzt worden sein.

2005 – HEUTE: WIEDER WACHSENDES INTERESSE UND ERNEUTER VERSUCH DER MARKTEINFÜHRUNG

Das politische Interesse an der Elektromobilität ist mit Anbruch des 21. Jahrhunderts weiter gestiegen, was sich insbesondere in einer z. T. sehr umfassenden finanziellen Förderung vieler Staaten äußert.[140] Neben klima- und umweltpolitischen Zielen scheinen dabei zunehmend auch industriepolitische Ziele die Förderung von Elektromobilität zu motivieren.[141] In Deutschland erklärte die Bundesregierung in 2007 die Einführung von Elektromobilität zu einem Eckpunkt im Rahmen des „integrierten Energie- und Klimaprogramms“.[142] Darauf aufbauend wurde in 2009 der „Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität“ verabschiedet, welcher den Grundstein für umfassende Fördermaßnahmen legt. Eine Darstellung der mit der Förderung der Elektromobilität durch die Bundesregierung verbundenen Ziele erfolgt in Abschnitt 2.3.2.

2.3 Elektromobilität im Kontext übergeordneter Ziele

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt 2.1.3 angedeutet, wird die Einführung der Elektromobilität (bzw. elektrisch angetriebener Straßenfahrzeuge) international teilweise umfassend gefördert. Dabei sind die mit der Einführung verbundenen Ziele vielfältig, wie die im folgenden Abschnitt 2.3.1 dargestellte Auflistung aufzeigt. Abschnitt 2.3.2 geht daran anschließend auf mit der Förderung der Elektromobilität verbundene Ziele der Bundesregierung ein.

---

[138] Vgl. OTT (2007, S. 21 f.). Das Kyoto-Protokoll trat im Februar 2005 nach der Ratifizierung durch Russland in Kraft. Der Beitritt Russlands war vor allen Dingen nötig geworden, da die USA unter der Bush-Administration das Protokoll ablehnten und für das Inkrafttreten des Protokolls Schwellenwerte (55 Industriestaaten, die 55 % der Treibhausgase aller Industriestaaten emittieren) erreicht werden mussten.

[139] Vgl. HØYER (2008, S. 70).

[140] Vgl. SCHILL (2011, S. 3) sowie SCHRÖDER (2011, S. 92).

[141] Siehe auch Abschnitt 2.3.1.5.

[142] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2007).

2.3.1 Potenzielle gesamtwirtschaftliche Effekte

Die Elektromobilität geht aus einer gesamtwirtschaftlichen Sicht mit einer Reihe potenziell positiver (Nutzen-)Effekte einher, die in den folgenden Abschnitten 2.3.1.1 bis 2.3.1.4 kurz dargestellt und erläutert bzw. diskutiert werden. In Abschnitt 2.3.1.5 wird kurz auf weitere mögliche Effekte eingegangen, die im Zusammenhang mit der Elektromobilität diskutiert werden.

2.3.1.1 Reduzierung globaler Treibhausgasemissionen

Eines der häufig in Verbindung mit Elektromobilität genannten übergeordneten Ziele ist die Reduzierung von Treibhausgasemissionen (wie insbesondere CO_2).[143] Der Verkehrssektor als Ganzes steht für knapp ein Viertel der globalen energiebezogenen CO_2-Emissionen und ist somit einer der größten Emittenten.[144] Innerhalb des Verkehrssektors entfällt auf den Straßenverkehr mit ca. drei Vierteln der CO_2-Emissionen der größte Anteil. Dabei sind die verkehrsbedingten Emissionen in den vergangenen Jahren stärker angestiegen als die anderer Sektoren, begründet vor allem durch ein wachsendes Außenhandelsvolumen sowie durch ein steigendes Verkehrsaufkommen im motorisierten Individualverkehr (insbesondere in Ländern mit hohen Wachstumsraten wie China).[145] Auch in Deutschland stellt der Straßenverkehr mit 18 % der CO_2-Emissionen einen wesentlichen Bereich dar, wobei 13 % auf den Personenverkehr entfallen.[146] Vor dem Hintergrund des im Rahmen der UN-Klimakonferenz 2010 von 190 Ländern akzeptierten sog. „2°C-Zieles“ erscheinen Emissionsreduzierungen in allen Sektoren notwendig.[147] In diesem Zusammenhang ist auch die Einführung von Elektrofahrzeugen von Bedeutung.

Eine Verringerung der CO_2-Emissionen des Straßenverkehrs ließe sich durch eine Verringerung der Verkehrsleistung, eine Erhöhung der Energieeffizienz oder durch den Einsatz CO_2-armer Antriebsenergien erreichen. Elektromobilität kann dabei auf die beiden letztgenannten Hebel Einfluss nehmen, die im Folgenden kurz näher thematisiert werden. Dabei werden regulatorische Rahmenbedingungen, wie insbesondere der EU-Emissionshandel und die EU-Verordnung zur Verminderung der CO_2-Emissionen von Pkw, ausgeklammert.

Um die Energieeffizienz sowie den CO_2-Ausstoß verschiedener Antriebssysteme vergleichen zu können, ist eine Gesamtbetrachtung von der Primärenergie bis zum drehenden Rad erforderlich (sog.

[143] Neben CO_2 zählen Methan (CH_4) und Lachgas (N_20) sowie weitere Gase zu den Treibhausgasen, deren Wirkung i. d. R. in CO_2-Äquivalenten angegeben wird; vgl. WIETSCHEL / BÜNGER / WEINDORF (2010, S.18).

[144] Vgl. KAHN RIBEIRO ET AL. (2007, S. 325). Die in diesem Report genannten Zahlen beziehen sich auf das Jahr 2004.

[145] Vgl. CREUTZIG / EDENHOFER (2010, S. 1).

[146] Vgl. WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BEIM BMVBS (2012, S. 15).

[147] Vgl. PROGNOS AG / ÖKO INSTITUT / ZIESING (2009, S. 439 f.).

„Well-to-Wheel“ Betrachtung).[148] Die Well-to-Wheel-Effizienz heutiger ICE-Fahrzeuge wird von verschiedenen Quellen in einem Bereich von 18–29 % angegeben.[149] Bei Betrachtung der einzelnen Energieumwandlungsschritte dieser Fahrzeuge wird deutlich, dass der größte Teil der Energie im Fahrzeug (insbesondere im Motor, aber auch im Getriebe) verloren geht. Gleichzeitig dürfte in diesem Bereich auch noch hohes Einsparungspotenzial liegen.[150]

Im Vergleich dazu ist die Energieumwandlung innerhalb von BEV mit ca. 68 % recht effizient.[151] Die Well-to-Wheel Effizienz wird hier jedoch durch den Elektrizitätstransport über die verschiedenen Spannungsebenen und die Ladeinfrastruktur (Effizienz zusammen ca. 86–90 %) sowie insbesondere durch die Elektrizitätserzeugung beeinflusst.[152] In diesem Zusammenhang sind insbesondere die für die Erzeugung eingesetzten Primärenergieträger von Bedeutung.[153] Aufgrund der regional und nach jeweiliger Lastsituation stark variierenden Erzeugungskapazitäten ist eine rein physikalische Betrachtung der Energieeffizienz nicht praktikabel. Vor diesem Hintergrund existieren unterschiedliche Zuordnungsansätze, die beispielsweise Annahmen zu bestimmten Tageszeiten für die Batterieladung treffen und so zu verschiedenen Erzeugungskapazitäten führen.[154] Ein häufig verwendeter Ansatz, der von unterschiedlichen Regionen oder Tageszeiten abstrahiert, legt für die Ermittlung der Energieeffizienz den deutschen Stromerzeugungsmix zugrunde. Nach Informationen des Umweltbundesamtes ist der Brutto-Brennstoffnutzungsgrad des deutschen Kraftwerksparks im Zeitraum von 1990 bis 2010 von 36 % auf 43 % gestiegen.[155] Auf dieser Basis ergibt sich für BEV eine Primärenergieeffizienz von ca. 26 % und damit ein Wert am oberen Ende der Bandbreite von ICE-Fahrzeugen. Aufgrund des zunehmenden Ausbaus erneuerbarer Energien in Verbindung mit einer Modernisierung des Kraftwerksparks kann im Übrigen davon ausgegangen werden, dass der Brutto-Brennstoffnutzungsgrad weiter steigt und damit auch die Energieeffizienz von Elektrofahrzeugen.

Für einen Vergleich des CO_2-Ausstoßes von ICE-Fahrzeugen ist (analog zu den Überlegungen zur Energieeffizienz) die bei der Stromerzeugung eingesetzte Primärenergie zu berücksichtigen. Unter der Annahme, dass Elektrofahrzeuge ausschließlich mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben

[148] Darüber hinaus müssten Unterschiede bei der Fahrzeugherstellung in die Betrachtung einbezogen werden, die jedoch aufgrund des im Vergleich zur Nutzungsphase eher geringen Energiebedarfes nur wenig Einfluss haben; vgl. WIETSCHEL / BÜNGER / WEINDORF (2010, S. 11).

[149] Vgl. z. B. WIETSCHEL / DALLINGER (2008, S. 9) (18 – 23 %), WILLIAMSON / EMADI (2005, S.856) (20 %) und MCKINSEY ET AL. (2010, S. 54) (25 – 29 %).

[150] Vgl. SPICHER (2012, S. 102).

[151] Vgl. THOMAS (2009, S. 6014), MCKINSEY ET AL. (2010, S. 54). Die Effizienz wird beeinflusst durch den E-Motor, das Getriebe sowie die Batterie.

[152] Vgl. für die Effizienz der Elektrizitätsnetze und Ladeinfrastruktur CAMPANARI / MANZOLINI / GARCIA DE LA IGLESIA (2009, S. 466) sowie THOMAS (2009, S. 6009) und MCKINSEY ET AL. (2010, S. 54).

[153] Vgl. Abschnitt 2.1.3.1 für eine kurze Darstellung der verschiedenen Erzeugungsarten.

[154] Vgl. BLÜMEL / WEIN (1996, S. 165) sowie SCHALLABÖCK ET AL. (2012, S. 17).

[155] Internetinformationen des Umweltbundesamtes abgerufen am 18.09.2012 unter http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de. Der Brutto Brennstoffnutzungsgrad gibt das Verhältnis von Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung und der Bruttostromerzeugung an.

werden, ist der CO_2-Ausstoß (unabhängig von der Netzeffizienz) Null.[156] Unter Berücksichtigung eines für 2015 prognostizierten Strommixes geben WIETSCHEL / BÜNGER / WEINDORF (2010) für BEV im Vergleich zu ICE-Fahrzeugen ca. 40 % geringere CO_2-Emissionen an.[157]

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Elektrofahrzeuge das Potenzial haben, die Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs zu senken. Dabei ist das Potenzial abhängig von der eingesetzten Primärenergie. Es kann davon ausgegangen werden, dass im Zuge der Energiewende in Deutschland der laufende Ausbau erneuerbarer Energien weiter voranschreitet und sich somit grundsätzlich die Energieeffizienz weiter verbessern sowie der CO_2-Ausstoß der Stromerzeugung verringern werden. Dabei kann durch eine Nutzung der Fahrzeugbatterien im System der elektrischen Energieversorgung potenziell ein Beitrag zur Integration der erneuerbaren Energien geleistet werden, wie im folgenden Abschnitt diskutiert wird.

Es ist anzumerken, dass im Rahmen dieser Arbeit kein Vergleich der CO_2-Vermeidungskosten von Elektromobilität mit anderen Maßnahmen erfolgt, diese Kosten jedoch von verschiedenen Quellen teilweise als vergleichsweise hoch eingeschätzt werden.[158]

2.3.1.2 Nutzung von Fahrzeugbatterien im energiewirtschaftlichen System durch Beeinflussung oder Steuerung von Ladevorgängen

Aufgrund der in Abhängigkeit der Wettersituation fluktuierenden Einspeisung von Wind- und Solarstrom steigen (in Verbindung mit deren Ausbau) der Bedarf an flexibel einsetzbaren (bzw. regelbaren) Erzeugungs- und Nachfragekapazitäten sowie der Bedarf an Energiespeichern zur Aufnahme überschüssiger Erzeugung und späterer Abgabe.[159] Während in der Vergangenheit derartige Funktionen vor allem durch größere, zentrale Einheiten, wie z. B. Pumpspeicherkraftwerke, erfüllt wurden, gibt es seit einigen Jahren zunehmende Bestrebungen, das Potenzial kleinerer, dezentraler Einheiten für verschiedene Anwendungen zu nutzen.

Mit dem Ausbau erneuerbarer Energien sowie einer potenziell zunehmenden Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen steigen außerdem die Anforderungen an die Übertragungs- und Verteilnetze. So sind bei einer zunehmenden Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen zukünftig (bei ungesteuerten bzw. unbeeinflussten Ladevorgängen)[160] zunehmende Kapazitätsengpässe im Verteilnetz sehr

[156] Vgl. SCHALLABÖCK ET AL. (2012, S. 17).

[157] Vgl. WIETSCHEL / BÜNGER / WEINDORF (2010, S. 25).

[158] Beispielsweise weisen PRUD'HOMME / KONING (2012, S. 68 f.) sowie HEDEGAARD ET AL. (2012, S. 366 f.) darauf hin, dass die durch Elektrofahrzeuge erzielbaren CO_2-Einsparungen im Vergleich zu anderen Maßnahmen mit hohen Kosten einhergehen.

[159] Vgl. VASCONCELOS ET AL. (2012, S. 6 ff.).

[160] Siehe Abschnitt 3.2 für eine Darstellung verschiedener möglicher Ladevorgänge, die in dieser Arbeit auch als Anwendungsfälle der Ladeinfrastruktur bezeichnet werden.

wahrscheinlich.[161] Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass die Spitzenlast bei ungesteuerten bzw. unbeeinflussten Ladevorgängen steigt.[162]

Vor diesem Hintergrund sind die Möglichkeiten der Beeinflussung (durch variable Tarife) oder der (direkten) Steuerung von Ladevorgängen, ggf. in Verbindung mit der Möglichkeit der Rückspeisung von Energie aus der Batterie in das Stromnetz, von Bedeutung. Die potenziell möglichen Funktionen (die häufig auch als „Vehicle-to-Grid“ (V2G) Dienstleistungen bezeichnet werden)[163] umfassen das Angebot von Speicherkapazität zur Komplementierung volatiler Residuallast, die Bereitstellung von (positiver sowie negativer) Regelleistung oder auch die Steuerung der Ladevorgänge zur Vermeidung von Engpässen im Verteilnetz.[164] Dabei ist zu beachten, dass je nach Dienstleistung unterschiedliche Voraussetzungen hinsichtlich der technischen Ausgestaltung der Ladeschnittstelle bestehen. Außerdem dürfte sich, je nach genauer Ausgestaltung des Konzeptes, ein u. U. umfangreicher Anpassungsbedarf energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen ergeben.

Von diesen Barrieren abstrahierend kommt der Einbindung von Elektrofahrzeugen in das System der elektrischen Energieversorgung bei großen Fahrzeugzahlen ein gewisses Nutzenpotenzial zu.[165] Da Fahrzeuge, je nach Einsatzzweck und Nutzereigenschaften, häufig nicht genutzt werden bzw. „geparkt“ sind, würde sich unter der Annahme einer bestehenden Verbindung von geparkten Elektrofahrzeugen mit dem Verteilnetz eine gewisse (gebündelte) Speicherkapazität ergeben. Dabei besteht grundsätzlich ein Zielkonflikt zwischen der Nutzung von Fahrzeugbatterien für das Elektrizitätssystem und für die Bereitstellung von Antriebsenergie, wobei anzumerken ist, dass die primären Nutzerpräferenzen im Bereich der Befriedigung von Mobilitätsbedürfnissen liegen und bei der Ausgestaltung entsprechender Konzepte berücksichtigt werden müssen.

Die Thematik der Erbringung von Dienstleistungen für das energiewirtschaftliche System durch gesteuertes oder beeinflusstes Laden wird in dieser Arbeit im Rahmen Abschnitt 3.2 betrachtet. Dabei werden die verschiedenen Ladevorgänge (ungesteuert, beeinflusst, gesteuert) als sog. Anwendungsfälle der Ladeinfrastruktur systematisiert. Es ist anzumerken, dass diese Thematik grundsätzlich in einer übergeordneten Diskussion der Weiterentwicklung des Elektrizitätssektors in Deutschland einzuordnen ist, die im Kontext der Schlagworte „Smart Grid" bzw. „Smart Market"

[161] Vgl. FRAUNHOFER IWES / OFFIS (2010, S. 27 f.).

[162] Vgl. BIERE / DALLINGER / WIETSCHEL (2009, S. 179) sowie ZIMMER ET AL. (2009, S. 80 f.).

[163] Vgl. KEMPTON / TOMIC (2005, S. 269) für eine Darstellung des V2G-Konzeptes. Die Autoren fokussieren dabei auf die Möglichkeit einer Rückspeisung. Grundsätzlich sind jedoch auch Dienstleistungen ohne Rückspeisungsmöglichkeit denkbar, wobei diese ggf. nicht mehr unter dem Schlagwort V2G einzuordnen sind.

[164] Vgl. SCHILL (2010, S. 150) sowie ROLINK / HORENKAMP / REHTANZ (2012, S. 87). Auch die Vorhaltung von Schwarzstartkapazität erscheint prinzipiell möglich.

[165] Vgl. z. B. KEMPTON / TOMIC (2005, S. 281), WHITE / ZHANG (2011, S. 3979) oder DLR / FRAUNHOFER ISE / RWTH AACHEN (2012, S. 146).

geführt wird.[166] Von daher wird die Vorteilhaftigkeit der Etablierung von Anwendungsfällen im Rahmen dieser Arbeit auch nicht tiefer diskutiert.

2.3.1.3 Reduzierung lokaler Umweltwirkungen des Straßenverkehrs

Neben dem Ausstoß global wirkender Treibhausgase verursacht der Straßenverkehr auch eine Reihe lokal wirkender Emissionen.[167] Dazu gehören insbesondere Feinstaub, Kohlenstoffmonoxid und Stickstoffoxide, die sich negativ auf den menschlichen Organismus auswirken können. Durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen kann der abgasbedingte Schadstoffausstoß vermieden werden. Auch Lärmbelastungen können, insbesondere innerorts, durch Elektrofahrzeuge verringert werden, da bei niedrigen Geschwindigkeiten vor allem Verbrennungsmotoren Ursache für die Geräuschentwicklung sind.[168] Die Reduzierung dieser Emissionen dürfte vor allem für Ballungsgebiete von großer Bedeutung sein, da die durch den Straßenverkehr verursachten Belastungen der Bevölkerung dort besonders hoch sind.[169] Im Übrigen dürften die Belastungen ohne diesbezügliche Maßnahmen vor dem Hintergrund der zunehmenden Urbanisierung noch zunehmen.

Es ist anzumerken, dass im MIV eingesetzte Elektrofahrzeuge zwar zu den genannten Reduzierungen lokaler Emissionen führen, einige negative Folgen des MIV aber bestehen bleiben. So werden Unfälle, Staus, Parkplatzsuchverkehre sowie die mit dem Straßenverkehr einhergehenden städtebaulichen Wirkungen bei einem bloßen Austausch des Antriebskonzeptes weitgehend unverändert fortbestehen.

2.3.1.4 Verringerung des Erdölverbrauchs und Erhöhung der Energiesicherheit

In engem Zusammenhang mit dem Ziel der CO_2-Reduzierung sowie dem Ausbau erneuerbarer Energien steht das Ziel, den Erdölverbrauch zu senken. Über 50 % des globalen Ölverbrauchs gehen auf den Transportsektor zurück, der 95 % seines Primärenergiebedarfes aus dieser Ressource zieht.[170] Wie bereits in Abschnitt 2.3.1.1 mit Bezug zu CO_2-Emissionen erwähnt, steht der Straßenverkehr dabei für ca. drei Viertel des Energieverbrauchs. Die Einführung von Elektromobilität ist gleichbedeutend mit einer Substitution des Primärenergieträgers Erdöl durch die verschiedenen bei der Elektrizitätserzeugung verwendeten Energieträger und stellt somit eine Verbreiterung der Ressourcenbasis dar.[171]

---

[166] Vgl. z. B. BUNDESNETZAGENTUR (2011, S. 46).

[167] Vgl. WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BEIM BMVBS (2012, S. 15).

[168] Bei höheren Geschwindigkeiten dominieren dann eher Abroll- und Windgeräusche.

[169] Vgl. ACATECH (2010, S. 21 f.).

[170] Vgl. IEA (2009, S. 72) und REECE (2012, S. 8).

[171] Elektrischer Strom stellt demnach eine alternative Treibstoffform dar, vergleichbar mit Wasserstoff oder Biotreibstoffen. Eine Diskussion der Vor- und Nachteile verschiedener alternativer Treibstoffe geht über das Themengebiet dieser Arbeit hinaus.

Während die globale Erdölnachfrage in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich gewachsen ist, sind die verbleibenden Erdölreserven zunehmend schwieriger zu erschließen.[172] Damit ist, unabhängig von der Frage, ob bei der Erdölförderung bereits ein Maximum erreicht ist (sog. „Peak Oil"), aufgrund der langfristig wahrscheinlich steigenden Kosten der Erdölförderung, tendenziell mit weiter steigenden Preisen zu rechnen.[173] Für viele Staaten dürfte eine Reduzierung des Erdölverbrauchs daher – auch unabhängig von klimapolitischen Zielen – von großer Bedeutung sein.

2.3.1.5 Weitere

Im Folgenden wird kurz auf mögliche industriepolitische Effekte sowie auf eine Einbindung von Elektrofahrzeugen in alternative Mobilitätskonzepte eingegangen.

INDUSTRIEPOLITISCHE EFFEKTE

In verschiedenen Industriestaaten, wie insbesondere den USA, Japan sowie Deutschland, steht die Wertschöpfung im Automobilsektor für einen signifikanten Anteil an der jeweiligen gesamtwirtschaftlichen Leistung.[174] Innerhalb des Sektors liegen dabei wesentliche Teile der Wertschöpfung im Bereich des Motors und des Antriebsstranges. Diesbezüglich bei Herstellern bzw. in Industriestaaten bestehende Wettbewerbsvorteile werden bei einer zunehmenden Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen von abnehmender Bedeutung sein. Somit besteht die Gefahr, dass einzelne Hersteller Marktanteile verlieren und Arbeitsplätze in den jeweiligen Ländern verloren gehen. Gleichzeitig ergeben sich jedoch auch Chancen in neuen (Wertschöpfungs-)Bereichen.

Die zum Ende der 2000er Jahre z. T. sehr umfassende Förderung der Elektromobilität in verschiedenen Industrieländern, wie insbesondere den USA sowie Frankreich oder auch China, dürfte neben den in den vorhergehenden Abschnitten genannten Effekten auch eine Beibehaltung einer starken Wettbewerbsposition sowie ggf. den Ausbau von Wettbewerbsvorteilen für die jeweiligen Akteure zum Ziel haben.[175]

EINBINDUNG VON ELEKTROFAHRZEUGEN IN ALTERNATIVEN ZUM MIV

Die Einführung von Elektrofahrzeugen wird häufig in Verbindung mit einem Ausbau des Angebots alternativer Mobilitätskonzepte (wie z. B. Carsharing) gebracht.[176] Die Verbindung von Veränderungen

---

[172] Vgl. KENDALL (2008, S. 19 ff.).

[173] In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass es in der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg in Zusammenhang mit einzelnen OPEC-Staaten immer wieder Ereignisse gab, die steigende Ölpreise zur Folge hatten, wie beispielsweise das Öl-Embargo infolge des Jom-Kippur-Krieges (1973) oder der Ausbruch des ersten Golf-Krieges zwischen dem Iran und dem Irak (1980).

[174] Vgl. LEGLER ET AL. (2009, S. 10).

[175] Vgl. für eine Darstellung der Förderung von Elektromobilität im internationalen Vergleich SCHRÖDER (2011, S. 92).

[176] Vgl. WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BEIM BMVBS (2012, S. 16) oder FRAUNHOFER ISI (2011, S. 27).

im Mobilitätsverhalten und einem Wechsel des Antriebskonzeptes ist jedoch nicht ohne weitere Annahmen ersichtlich. Bei einer Vernachlässigung potenzieller Kostennachteile lässt sich zwar davon ausgehen, dass die Restriktionen von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu ICE-Fahrzeugen in Carsharing-Angeboten oder Angeboten des öffentlichen Verkehrs von geringerer Bedeutung sein können. Es ist jedoch umstritten, ob durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen entsprechende Angebote von Nutzern (nachhaltig) als attraktiver bewertet werden.

2.3.2 Ziele der Bundesregierung im Kontext der Elektromobilität

Mit dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ hat die Bundesregierung im Jahr 2009 erstmals eine auf die Elektromobilität fokussierte Analyse des Status quo in Verbindung mit der Nennung übergeordneter Effekte („Potenziale“) sowie konkreter Zielsetzungen verabschiedet.[177] Damit wird einer der Eckpunkte des integrierten Klima- und Energieprogrammes aus 2007 konkretisiert.[178] In den vorhergehenden Jahren blieben Batterien als Speicher für Antriebsenergie noch weitestgehend unberücksichtigt (so in der Kraftstoffstrategie 2004).[179] Im Folgenden wird kurz auf die von der Bundesregierung verfolgten übergeordneten Effekte sowie die konkreten Zielsetzungen eingegangen.

ÜBERGEORDNETE EFFEKTE

Aus dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ wird deutlich, dass die Bundesregierung eine Einführung von Elektromobilität als Maßnahme zur Verfolgung der im vorhergehenden Abschnitt genannten übergeordneten Effekte versteht.[180] Insbesondere wird mit dem „Ausbau des Technologie- und Industriestandortes“ auch eine industriepolitische Motivation für die Fördermaßnahmen benannt. Vor dem Hintergrund der umfassenden Förderung der Elektromobilität in anderen Industrieländern sowie dem traditionell großen Anteil der deutschen Automobilindustrie an der inländischen Wertschöpfung ist davon auszugehen, dass eine stärkere Förderung der Elektromobilität in Deutschland insbesondere auch durch die Sorge eines Verlustes der starken Wettbewerbsposition motiviert ist.

KONKRETE ZIELSETZUNGEN

Als konkrete Zielsetzungen eines Markthochlaufes benennt die Bundesregierung im Rahmen des Entwicklungsplans, unter der Maßgabe der Entwicklung zum „Leitmarkt“, bis zum Jahr 2020 eine Million und bis 2030 über fünf Millionen Elektrofahrzeuge „auf Deutschlands Straßen“.[181] In diesem

[177] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2009).

[178] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2009, S. 42 f.).

[179] Wasserstoff stand als Energiespeicher zunächst im Fokus und wurde im Rahmen des 2006 verabschiedeten „Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ bereits früher umfassend gefördert; vgl. BMVBS / BMBF / BMWI (2006).

[180] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2009, S. 8 f.).

[181] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2009, S. 18). Das Ziel des Leitmarktes wurde 2011 im Regierungsprogramm Elektromobilität um das Ziel „Leitanbieter“ ergänzt; vgl. BUNDESREGIERUNG (2011, S. 2).

Zusammenhang wird auch der Aufbau einer „bedarfsgerechten“ Ladeinfrastruktur genannt.[182] Langfristig (bis 2050) sollen für den städtischen Verkehr keine fossilen Energieträger mehr benötigt werden. Die Bundesregierung begrenzt dabei den Begriff „Elektromobilität“ auf den Straßenverkehr, und fokussiert insbesondere auf Pkw und leichte Nutzfahrzeuge.[183]

Auf Basis des Entwicklungsplans wurden aus den Mitteln des damaligen Konjunkturpaketes II umfassende Förderprojekte angestoßen.[184] Außerdem wurde die Gründung einer „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE) empfohlen, die 2010 als Beratungsgremium vornehmlich bestehend aus Vertretern verschiedener Industrieunternehmen sowie weiteren Vertretern, u. a. aus Wissenschaft, Verwaltung und Politik, gegründet wurde.[185] In engem Zusammenhang mit dem zweiten Bericht der NPE wurde in 2011 von der Bundesregierung das Regierungsprogramm Elektromobilität vorgelegt, welches die Ziele des Entwicklungsplans aus 2009 unterstreicht.[186]

[182] An anderer Stelle wird eine „flächendeckende“ Ladeinfrastruktur bis 2020 als Ziel angegeben; vgl. BUNDESREGIERUNG (2009, S. 42 f.).

[183] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2009, S. 6). Es finden am Rande auch Zweiräder und Leichtfahrzeuge Berücksichtigung.

[184] Siehe Anhang B 2 für eine Darstellung der Fördermaßnahmen.

[185] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2009, S. 42 f.).

[186] Vgl. BUNDESREGIERUNG (2011, S. 4) sowie NPE (2011).

3 Untersuchungsgegenstand öffentliche Ladeinfrastruktur

Innerhalb dieses Kapitels werden verschiedene Ausgestaltungsoptionen und Merkmale öffentlicher Ladeinfrastruktur, die im Zentrum der Analysen dieser Arbeit steht, dargestellt. Wie bereits in Abschnitt 2.1.4.1 kurz erläutert, kann Ladeinfrastruktur im Allgemeinen entlang verschiedener Standorte sowie entlang verschiedener technischer Ausgestaltungsoptionen differenziert werden.

Im folgenden Abschnitt 3.1 erfolgt zunächst eine Abgrenzung von öffentlicher Ladeinfrastruktur entlang des Standortkriteriums, wobei auf verschiedene Differenzierungsmöglichkeiten eingegangen wird. In Abschnitt 3.2 werden dann Anwendungsfälle von Ladeinfrastruktur systematisiert, die sich insbesondere hinsichtlich der Beeinflussung oder Steuerung der Ladevorgänge unterscheiden und Anforderungen an die technische Ausgestaltung der Ladeschnittstelle stellen. Anschließend fokussiert Abschnitt 3.3 auf die Nutzer und die Nutzung von Ladeinfrastruktur im öffentlich zugänglichen Bereich. Dabei werden wesentliche, für die technische Ausgestaltung z. T. relevante Qualitätsparameter dargestellt und es wird die Bedeutung von öffentlicher Ladeinfrastruktur diskutiert. Eine ausführliche Beschreibung technischer Ausgestaltungsoptionen erfolgt in Abschnitt 3.4, wobei verschiedene Varianten auch hinsichtlich ihres Einflusses auf die Qualität und die Kosten eingeordnet und diskutiert werden.

3.1 Abgrenzung öffentlicher von halböffentlicher und privater Ladeinfrastruktur

Für die Unterscheidung zwischen öffentlicher, halböffentlicher und privater Ladeinfrastruktur wird zumeist auf die Standortkriterien „Eigentum an der Fläche“ sowie „Zugang zum Stellplatz“ zurückgegriffen. Außerdem kann nach einer ggf. vorhandenen Entgelterhebung differenziert werden. Im Folgenden wird kurz auf diese Kriterien eingegangen:[187]

- **Eigentum an der Fläche**: Zunächst lassen sich die öffentliche Hand und private (ggf. juristische) Personen als Eigentümer differenzieren. Auf Seiten der öffentlichen Hand kann dabei entsprechend der verschiedenen Träger der Straßenbaulast zwischen Bund, Ländern, Kreisen und Gemeinden unterschieden werden.[188] Aufgrund der vergleichsweise großen Bedeutung des Parkraumes innerhalb von Städten und Gemeinden steht im Rahmen dieser Arbeit die unterste Verwaltungsebene (im Folgenden Kommune), also Gemeinden sowie kreisfreie und kreisangehörige Städte, im Vordergrund.

- **Zugang zum Stellplatz**: Der Zugang für Nutzer zum Stellplatz kann grundsätzlich (unabhängig vom Eigentum) für jedermann oder nur für bestimme Personengruppen bzw.

[187] Vgl. BECKERS ET AL. (2011, S. 14).

[188] Vgl. SAUTHOFF (2010, S. 371 ff.).

einzelne Personen offen gestaltet werden.[189] Für letztere, eingeschränkt zugängliche Stellplätze, existieren vielfältige Möglichkeiten der Nutzerdifferenzierung. Beispielsweise können als Zugangskriterien eine bestimmte Beziehung zwischen Eigentümer und Nutzer (wie z. B. bei Firmenparkplätzen) oder eine bestimmte in der Person des Nutzers liegende Eigenschaft (wie z. B. bei Anwohnerparkplätzen oder Frauenparkplätzen) festgelegt werden. Weiterhin können Zugangskriterien nur für bestimmte Zeiträume Gültigkeit haben, sodass Stellplätze zeitweise offen und zeitweise eingeschränkt zugänglich sein können.

- **Erhebung von Entgelten (Bewirtschaftung)**: Als weiteres Differenzierungsmerkmal können Entgelte für die Nutzung des Stellplatzes herangezogen werden. Für das Parken auf öffentlichen sowie privaten Flächen werden in bestimmten Bereichen (z. B. in der Innenstadt oder in Parkhäusern) Parkentgelte erhoben.[190] Dabei bestehen gewisse Zusammenhänge zwischen den oben genannten Zugangskriterien und dem Differenzierungsmerkmal der Entgelterhebung. So könnte die Entrichtung eines Entgeltes auch als Zugangsvoraussetzung eingeordnet werden und eine Befreiung von Entgelten kann an bestimmte Nutzermerkmale geknüpft sein. Da eine Entgelterhebung jedoch häufig auch ohne weitere Nutzerdifferenzierung oder unabhängig davon erfolgt, wird dieses Merkmal hier separat aufgeführt.

Für die Einordnung von Ladeinfrastruktur in die Kategorien „öffentlich“, „halböffentlich“ und „privat“ wird in dieser Arbeit, wie allgemein üblich, die Frage der Entgelterhebung ausgeklammert. Somit bleiben die Kriterien „Eigentum an der Fläche“ und „Zugang zur Fläche“ als Differenzierungsmerkmale bestehen. Im Folgenden wird die Einordnung von Stellplätzen in die genannten Kategorien entlang dieser Differenzierungsmerkmale kurz zusammengefasst:

- **Private Ladeinfrastruktur** befindet sich auf einer Fläche, die sich im privaten Eigentum befindet und zu der nur ein eingeschränkter Nutzerkreis Zugang hat. Demnach sind Standorte für private Ladeinfrastruktur zunächst Garagen und Stellplätze von Privatpersonen. Firmenparkplätze können ebenfalls dieser Kategorie zugeordnet werden, wenn deren Zugang grundsätzlich auf Fahrzeuge von Mitarbeitern bzw. der eigenen Flotte beschränkt ist.

- Als **öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur** wird in dieser Arbeit Ladeinfrastruktur bezeichnet, die sich unabhängig von der jeweiligen Fläche in einem offen zugänglichen Bereich befindet. Dabei werden u. a. bauliche Zugangsbeschränkungen sowie die Frage der Entgelterhebung ausgeklammert. Im Übrigen existieren zahlreiche Fälle (insbesondere bei privaten Eigentümern), bei denen der Zugang an Voraussetzungen geknüpft ist, die mit dem Wegezweck des Nutzers verbunden sind (z. B. Einkauf bei Supermarktparkplätzen). Diese Stellplätze sind damit zwar nicht (bedingungslos) offen zugänglich, aus Sicht des Nutzers

[189] Von baulichen Restriktionen für Fahrzeuge wird an dieser Stelle abstrahiert.

[190] Vgl. SAUTHOFF (2010, S.139 f.).

stellt die Bedingung aber bei entsprechendem Wegezweck keinen Nachteil dar. Daher werden diese Stellplätze hier ebenfalls, wie allgemein üblich, als offen zugänglich eingeordnet. Öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur lässt sich weiter nach halböffentlicher und öffentlicher Ladeinfrastruktur unterscheiden:

- **Halböffentliche Ladeinfrastruktur** befindet sich auf offen zugänglichen Stellplätzen privater Eigentümer.[191] Halböffentliche Standorte umfassen somit beispielsweise Stellplätze in Parkhäusern privater Betreiber, in Einkaufszentren oder Freizeiteinrichtungen.

- **Öffentliche Ladeinfrastruktur (ÖLI)** befindet sich ebenfalls auf öffentlich zugänglichen Flächen, welche sich jedoch im Gegensatz zum halböffentlichen Bereich im Eigentum der öffentlichen Hand befinden.

Untenstehende Abbildung 2 verdeutlicht die hier vorgenommene Einordnung.

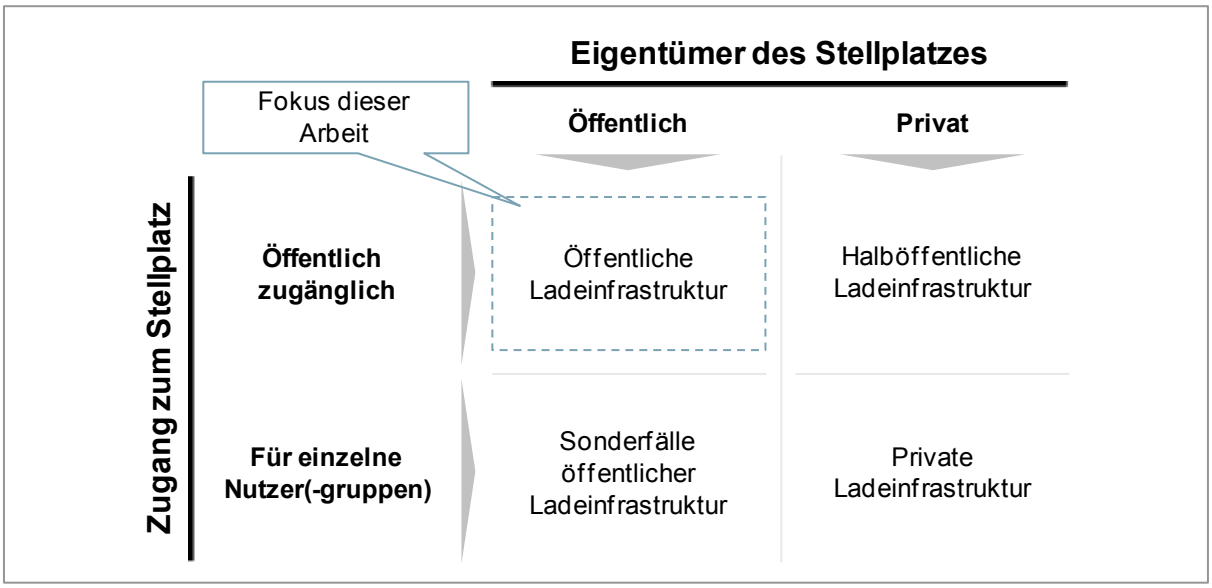


Abbildung 2: Abgrenzung öffentlicher von halböffentlicher und privater Ladeinfrastruktur[192]

Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, fokussiert die vorliegende Arbeit auf öffentliche Ladeinfrastruktur. Da halböffentliche Ladeinfrastruktur im ökonomischen Sinne ein partielles Substitut darstellt, wird in

[191] Im Rahmen der gemeinsamen Arbeitsgruppe "Diskriminierungsfreier Zugang" der BMVBS- und BMWi-Förderprogrogramme „Modellregionen Elektromobilität“ und „IKT für Elektromobilität“ wurde eine mögliche Definition für den Begriff „halböffentlich“ erarbeitet: „Halböffentliche Flächen sind (beschränkt oder unbeschränkt öffentlich zugängliche) Areale, die weder eine straßenrechtliche Widmung als öffentliche Verkehrsflächen aufweisen noch – ohne gewidmet zu sein – Teil einer Anlage zu Zwecken des öffentlichen Personenverkehrs oder einer Anlage der öffentlichen Daseinsvorsorge sind.“

[192] Quelle: Eigene Darstellung.

Kapitel 9 kurz auf Fragestellungen hinsichtlich halböffentlicher Ladeinfrastruktur sowie auf Interdependenzen zum öffentlichen Bereich eingegangen.[193]

3.2 Anwendungsfälle von Ladeinfrastruktur unter Berücksichtigung von Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems und Informationsverfügbarkeit

Anwendungsfälle dienen im Rahmen dieser Arbeit der Beschreibung grundlegender Funktionalitäten der Ladeschnittstelle, wie insbesondere der Möglichkeit einer Beeinflussung oder Steuerung des Ladevorgangs.[194] Die Beeinflussung oder Steuerung von Ladevorgängen und die damit verbundene Nutzung der Fahrzeugbatterien zur Erbringung von Leistungen für das energiewirtschaftliche System adressieren einen wesentlichen potenziellen gesamtwirtschaftlichen Effekt der Elektromobilität, wobei anzumerken ist, dass der eigentliche Primärzweck der Fahrzeugbatterien die Bereitstellung von Antriebsenergie für den Nutzer darstellt.

Im weiteren Verlauf der Arbeit sind Anwendungsfälle zunächst hinsichtlich der technischen Ausgestaltung der Ladeschnittstelle zu berücksichtigen.[195] Außerdem hat die Etablierung verschiedener Anwendungsfälle Einfluss auf die ökonomische Analyse potenziell vorteilhafter Änderungen energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen.[196]

Im folgenden Abschnitt 3.2.1 wird auf Nebenbedingungen in Bezug auf die Herleitung sowie die Umsetzung von Anwendungsfällen eingegangen. Diese ergeben sich zum einen aus potenziellen Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems. Zum anderen sind Informationen notwendig, um diesen Anforderungen zu begegnen. In Abschnitt 3.2.2 werden daran anschließend die verschiedenen Anwendungsfälle systematisiert. Dabei werden zunächst die unterschiedlichen Ausgestaltungsdimensionen aufgezeigt und darauf aufbauend konkrete Anwendungsfälle skizziert. Im abschließenden Abschnitt 3.2.3 wird ein kurzes Fazit gezogen.

[193] Siehe Abschnitt 9.2.

[194] Das Konzept der Anwendungsfälle oder „use cases“ stammt aus dem Bereich der Softwareentwicklung und dient der Beschreibung grundlegender Systemfunktionalitäten als Folge von Interaktionen zwischen Akteur(en) und dem System; vgl. JACOBSON ET AL. (1992, S. 154). Eine vollständige Beschreibung der verschiedenen Anwendungsfälle würde daher insbesondere auch die einzelnen Akteure beinhalten. An dieser Stelle der Arbeit werden grundlegend mögliche Funktionalitäten des Systems herausgearbeitet, ohne dabei die damit verbundenen Aufgaben einzelnen Akteuren zuzuordnen. Letzteres erfolgt dann im Rahmen von Abschnitt 5.2.

[195] Vgl. Abschnitt 2.3.1.2 für eine Erläuterung des möglichen gesamtwirtschaftlichen Effektes einer Nutzung von Fahrzeugbatterien im energiewirtschaftlichen System. Es ist anzumerken, dass keine weitere Diskussion der Vorteilhaftigkeit der damit verbundenen Konzepte erfolgt.

[196] Diese werden in Bezug auf die „Zwangsbündelung“ von Stromlieferanten zur Ladeinfrastruktur in Abschnitt 5.2.2 wieder aufgegriffen und im Rahmen von Kapitel 7 vertieft behandelt.

3.2.1 Nebenbedingungen in Bezug auf die Herleitung und Umsetzung von Anwendungsfällen

Als Nebenbedingungen in Bezug auf die Herleitung von Anwendungsfällen werden im folgenden Abschnitt 3.2.1.1 die potenziellen Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems dargestellt. Daran anschließend wird in Abschnitt 3.2.1.2 auf Informationen, die für die Umsetzung von Anwendungsfällen (und damit in Bezug auf die Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems) erforderlich sind, eingegangen.

3.2.1.1 Potenzielle Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems

In diesem Abschnitt werden potenzielle Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems hinsichtlich einer Beeinflussung oder Steuerung von Ladevorgängen dargestellt. Dabei wird im Folgenden auf die in Abschnitt 2.3.1.2 bereits kurz genannten Leistungen (zeitliche Verschiebung der Last, Bereitstellung von Regelleistung, Vermeidung von Engpässen im Verteilnetz) eingegangen. Weitere Systemdienstleistungen, wie z. B. die Bereitstellung von Schwarzstartkapazität, werden nicht näher thematisiert. Auch regulatorische Voraussetzungen, wie evtl. notwendige Anpassungen des energiewirtschaftlichen Rechtsrahmens, werden an dieser Stelle ausgeklammert.

- **Bereitstellung flexibler Energiespeicherung zur Komplementierung der volatilen Residuallast**: Die Batteriekapazität von Elektrofahrzeugen könnte potenziell genutzt werden, um Schwankungen von Stromangebot und -nachfrage auszugleichen. Während die Stromnachfrage im Wesentlichen vom Wochentag und der Jahreszeit abhängt und mit der Tageszeit variiert, steigt angebotsseitig der Anteil wetter- und jahreszeitabhängiger Einspeisung durch den Ausbau erneuerbarer Energien (Wind, PV). In Verbindung mit den (Grenz-)Kosten der sonstigen (konventionellen) Erzeugungskapazitäten sind Stromangebot und -nachfrage die wesentlichen Determinanten für die Bildung von Stromgroßhandelspreisen.[197] Durch eine Steuerung der Ladezeiten und (bei einem bidirektionalen[198] Energiefluss) ggf. der Entladezeiten von Fahrzeugbatterien könnte die Stromnachfrage dem Angebot angepasst und (bei einem bidirektionalem Anschluss) eine Rückspeisung von Energie erfolgen.[199] Somit könnten auch intertemporale Arbitragegeschäfte realisiert werden, durch die sich die Kosten-Nutzen-Betrachtung des Gesamtsystems verbessert.

- **Bereitstellung von Regelleistung**: Des Weiteren besteht die technische Möglichkeit, durch die Bündelung von Fahrzeugbatterien einen Beitrag zur Frequenzregelung zu leisten. Dabei ist zu beachten, dass für die Erbringung dieser Dienstleistung entsprechend der (aktuellen)

[197] Vgl. Abschnitt 2.1.3.1 sowie INFRACOMP (2009, S. 8 f.).

[198] Ein bidirektionaler Anschluss ermöglicht neben der Ladung der Fahrzeugbatterie auch die Möglichkeit der Rückspeisung elektrischer Energie in das Stromnetz.

[199] Vgl. SCHILL (2010, S. 149).

energiewirtschaftlichen Regelungen unterschiedliche Kriterien (sog. Präqualifikationskriterien) erfüllt sein müssen, die insbesondere technische Anforderungen (z. B. hinsichtlich der Reaktionszeit) sowie auch organisatorische Anforderungen stellen. Für die Bereitstellung von Regelleistung in Deutschland müssen außerdem Mindestangebotsgrößen berücksichtigt werden, wobei z. T. auch ein Pooling möglich ist.[200] Außerdem werden weitere Anforderungen, z. B. an die zeitliche Dauer der Leistungsbereitstellung, gestellt.

- **Beeinflussung oder Steuerung der Last zur Vermeidung von Engpässen im Verteilnetz**: Die Kapazitätssituation in Verteilnetzen ist aufgrund des Ausbaus erneuerbarer Energien bereits zunehmend angespannt. Ohne eine Steuerung (oder ggf. Beeinflussung)[201] von Ladevorgängen wird eine zunehmende Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen diese Belastung steigern.[202] Demenentsprechend könnte durch eine Steuerung sowie evtl. durch eine Beeinflussung der Ladevorgänge potenziellen Netzengpässen entgegengewirkt und der Umfang des erforderlichen Netzausbaus im Verteilnetz verringert werden.[203]

Grundsätzlich besteht durch eine Beeinflussung oder Steuerung der Ladung (sowie ggf. durch eine Rückspeisung) die Möglichkeit, den dargestellten Anforderungen zumindest teilweise zu begegnen. Dabei steigt das Potenzial mit der Anzahl der Elektrofahrzeuge, die mit dem Netz verbunden sind. Auf der anderen Seite steigen mit der Anzahl der Elektrofahrzeuge bei ungesteuerten Ladevorgängen die Wahrscheinlichkeit von Netzengpässen im Verteilnetz sowie die Höhe der Spitzenlast. Außerdem sind die oben dargestellten Anforderungen mit dem Ausbau erneuerbarer Energien von zunehmender Bedeutung.[204]

Zwischen den einzelnen dargestellten Anforderungen bestehen Interdependenzen. Beispielsweise könnten flexibel einsetzbare Batteriekapazitäten durch Akteure des unregulierten Bereichs vermarktet oder im Netzbereich zur Vermeidung potenzieller Engpässe eingesetzt werden, wobei potenziell gegenläufige Interessen vorliegen können.[205] So ist davon auszugehen, dass eine Steuerung des Ladevorgangs zur Realisierung zeitlicher Arbitrage oder der Bereitstellung von Regelleistung nicht immer mit einer Steuerung zur Vermeidung von Netzengpässen vereinbar ist.[206]

---

[200] Diese betragen aktuell +/- 1 MW für Primärregelleistung sowie 5 MW für Sekundär- und Minutenregelleistung; vgl. FREUND / LÜTZENBERGER / ALBAYRAK (2012, S. 847 f.) sowie für weitere Informationen zur Beschaffung von Regelleistung die Internetplattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber zur Ausschreibung von Regelleistung, www.regelleistung.net; hier verwendete Informationen wurden abgerufen am 17. August 2012.

[201] Es ist fraglich, inwieweit variable Tarife geeignet sind, potenzielle Engpässe im Verteilnetz zu reduzieren; siehe dazu Abschnitt 3.2.2.2.2.

[202] Vgl. WARWEG / NICOLAI / BRETSCHNEIDER (2010, S. 18) sowie Abschnitt 2.3.1.2.

[203] Auch das EnWG sieht seit 2011 eine Steuerung von Elektrofahrzeugen als „unterbrechbare Verbrauchseinrichtungen“ zum Zweck der Netzentlastung vor; vgl. § 14a EnWG sowie Abschnitt 2.1.3.2.

[204] Vgl. für eine ähnliche Einordnung ECOFYS / ENCT / BBH (2009, S. 168 f.).

[205] Vgl. FRAUNHOFER IWES / OFFIS (2010, S. 23).

[206] Vgl. WARWEG / NICOLAI / BRETSCHNEIDER (2010, S. 18).

Die technische Eignung von Fahrzeugbatterien, die dargestellten Anforderungen zu erfüllen, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht ausführlich diskutiert werden. Es gibt Hinweise darauf, dass für Anforderungen, bei denen die Speicherkapazität bzw. die Energiemenge von Bedeutung ist, Fahrzeugbatterien eher ungeeignet sind, während bei Anforderungen an die Leistungsbereitstellung Fahrzeugbatterien eher geeignet erscheinen.[207] Auch der Batterieverschleiß stellt eine wichtige Größenordnung dar.[208] Hier ist davon auszugehen, dass Anforderungen, für die eine monodirektionale Verbindung ausreicht, eher unproblematisch sind, während eine Rückspeisung von Energie Einfluss auf die Lebensdauer der Batterien hat und daher mit potenziell (ggf. prohibitiv) hohen Kosten einhergeht.[209]

3.2.1.2 Informationen als Voraussetzung für verschiedene Anwendungsfälle

In diesem Abschnitt erfolgt eine Auflistung der für die verschiedenen Anwendungsfälle potenziell erforderlichen Informationen. Dabei werden zunächst Informationen, die die mögliche Energie- und Leistungskapazität determinieren, dargestellt. Des Weiteren werden Informationen aus dem energiewirtschaftlichen System aufgelistet, die für die Verwendung der Kapazität von Bedeutung sind. Daran anschließend wird auf abrechnungsrelevante Informationen eingegangen. Abschließend wird ein kurzes Fazit gezogen.

INFORMATIONEN HINSICHTLICH VERFÜGBARER ENERGIE- UND LEISTUNGSKAPAZITÄT

Zunächst ist davon auszugehen, dass Informationen hinsichtlich der verfügbaren Energie- und Leistungskapazität des „Batterieschwarmes“ von Bedeutung sind. Dabei sind zahlreiche Parameter zu berücksichtigen:

- Der **Batterieladezustand / „State of Charge“ (SoC)** determiniert, wie viel Energie eine einzelne Batterie noch aufnehmen bzw. abgeben kann.

- Die **Art der Netzverbindung** (mono- / bidirektional) determiniert, ob Energie nur aufgenommen oder auch zurückgespeist werde kann.

- Das **Lade- bzw. Entladeprofil** zeigt auf, wie viel Leistung die Batterie in Abhängigkeit des SoC aufnehmen bzw. abgeben kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Netzanschluss bzw. die Ladeinfrastruktur und das Ladegerät Engpässe darstellen können, die die Leistung reduzieren.

- Aus **Zeitpunkt und Wegstrecke der nächsten Fahrt(en)** kann bestimmt werden, zu welchem Zeitpunkt die Batterie welchen minimalen Ladezustand erreicht haben muss. Dabei kann

[207] Vgl. hierzu SCHILL (2010, S. 148).

[208] Vgl. für grundlegende Determinanten des Verschleißes Abschnitt 2.1.1.1.

[209] Vgl. FRAUNHOFER IWES / OFFIS (2010, S. 35) sowie ZIMMER ET AL. (2011, S. 28).

davon ausgegangen werden, dass Nutzer in der Lage sind, ihre Mobilitätsprofile relativ genau vorherzusagen.[210]

- Informationen über die **Gleichzeitigkeit** der Verbindung von Elektrofahrzeugen mit dem Elektrizitätsnetz sind für Prognosen der gesamthaften Energie- und Leistungskapazität von Bedeutung. Es kann angenommen werden, dass die Gleichzeitigkeit auf Basis historischer Informationen für größere Flotten stochastisch ausreichend genau bestimmt werden kann.[211]

- Ggf. kann der **Ort der Netzverbindung** für bestimmte Nutzungsszenarien, wie insbesondere für die Vermeidung von Verteilnetzengpässen, von Bedeutung sein.

Während sich die ersten drei Punkte aus den technischen Systemen Batterie bzw. Batteriemanagementsystem sowie der Ladeschnittstelle ermitteln lassen, ist für Informationen hinsichtlich Zeitpunkt und Wegstrecke eine Nutzereingabe unumgänglich. Für die Ermittlung der Gleichzeitigkeit könnten ggf. die weiter unten dargestellten abrechnungsrelevanten Informationen herangezogen werden.

INFORMATIONEN HINSICHTLICH DER VERWENDUNGSMÖGLICHKEITEN IM ELEKTRIZITÄTSSYSTEM

Vor dem Hintergrund der im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Anforderungen sind für eine entsprechende Verwendung der Fahrzeugbatterien Informationen aus dem energiewirtschaftlichen System von Bedeutung.

- **Vermarktung über den Strom-Großhandel**: Eine Vermarktung gebündelter Speicherkapazität zur Komplementierung der volatilen Residuallast dürfte regelmäßig über den Strom-Großhandel, wie z. B. über den Börsenhandel an der EEX und der EPEX SPOT, erfolgen.[212]

- **Vermarktung von Regelleistung**: Die Vermarktung von Regelenergie erfolgt in Deutschland über eine Online-Ausschreibung, also einem separaten (Markt-)Mechanismus, über den Transaktionen zwischen dem Netzbereich und dem wettbewerblichen Bereich der Energiewirtschaft abgewickelt werden.[213]

- **Vermeidung von Netzengpässen**: Für eine Beeinflussung oder Steuerung von Netzengpässen sind entsprechende Informationen notwendig, die im Verteilnetz bei den jeweiligen Netzbetreibern vorliegen.

---

[210] Vgl. HAHNEL / GÖLZ / SPADA (2013, S. 130).

[211] Vgl. für eine Methode zur Ermittlung der Gleichzeitigkeit ROLINK / REHTANZ (2011, S. 3 f.).

[212] Es kann davon ausgegangen werden, dass die Preise des OTC-Handels nicht wesentlich abweichen; vgl. INFRACOMP (2009, S. 9).

[213] Vgl. WAWER (2007, S. 23 f.).

Es wird deutlich, dass Informationen für die Vermarktung der Kapazitäten über den Strom-Großhandel oder als Regelleistung im wettbewerblichen Bereich der Energiewirtschaft standardisiert vorliegen, während für eine Berücksichtigung von Netzengpässen entsprechende Informationen des Verteilnetzbetreibers notwendig sind.

ABRECHNUNGSRELEVANTE INFORMATIONEN

Für eine Abrechnung von Leistungen können Messdaten sowie Nutzer- bzw. vertragsbezogene Informationen notwendig sein:

- **Energiemengen- und Leistungsinformationen**: Je nach Tarifmodell können Informationen über die aufgenommenen und abgegebenen Energiemengen sowie die aufgenommenen bzw. abgegebenen Leistungen innerhalb verschiedener Zeitintervalle benötigt werden. Diese Informationen können grundsätzlich durch ein Smart Meter (in verschiedenen Ausgestaltungsversionen) bereitgestellt werden.[214]

- **Nutzungs- bzw. Standzeit**: Tarifmodelle könnten, unabhängig von Energiemenge und Leistung, auch nach verschiedenen zeitbezogenen Kriterien differenzieren. Diese Informationen könnten ggf. auch durch ein Smart Meter (wenn z. B. die Dauer der Verbindung mit dem Netz relevant ist) oder durch ein separates Gerät erfasst werden.

- **Nutzer- oder vertragsbezogene Abrechnungsinformation**: Die Abrechnungsinformationen dürften i. d. R. mit einer Nutzer- oder Vertrags-Identifikationsnummer (ID) in Verbindung gebracht werden. Diese Information kann vom Nutzer über eine Schnittstelle eingegeben werden oder auf einem dem Nutzer zuordenbaren Gerät hinterlegt sein.

FAZIT

Es kann festgehalten werden, dass Informationen aus verschiedenen Subsystemen von Bedeutung für potenzielle Anwendungsfälle sind, wobei nicht alle hier dargestellten Informationen für alle Anwendungsfälle gleichermaßen benötigt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einige Informationen nur über entsprechende Messtechnik oder durch die Eingabe von Nutzern verfügbar gemacht werden können. Dieses wird im Rahmen der Diskussion technischer Ausgestaltungsoptionen in Abschnitt 3.4.1.3 wieder aufgegriffen.

3.2.2 Mögliche Anwendungsfälle unter Berücksichtigung von Steuerungsoptionen

Zur Systematisierung der verschiedenen Anwendungsfälle werden im folgenden Abschnitt 3.2.2.1 zunächst die möglichen verschiedenen Ausgestaltungsdimensionen aufgezeigt. Im Anschluss erfolgt in Abschnitt 3.2.2.2 eine Darstellung der in dieser Arbeit unterschiedenen Anwendungsfälle.

[214] Vgl. auch Abschnitt 2.1.3.3.

3.2.2.1 Ausgestaltungsdimensionen verschiedener Anwendungsfälle

Die im Rahmen dieses Abschnitts dargestellten Ausgestaltungsdimensionen können jeweils verschiedene Ausprägungen aufweisen und in unterschiedlicher Form zu Anwendungsfällen kombiniert werden.

BEPREISUNG, ABRECHNUNG UND BEZAHLUNG

Die verschiedenen Anwendungsfälle können zunächst entlang der Dimension Bepreisung (bzw. Entgelterhebung) in Fälle mit oder ohne Bepreisung unterschieden werden. Erfolgt eine Bepreisung, kann weiterhin nach Fällen mit einer Bepreisung des elektrischen Stroms und Fällen, bei denen Preise (ausschließlich) an andere Güter geknüpft sind, unterschieden werden.

In Fällen, in denen Preise erhoben werden, lassen sich zwei grundlegende Varianten der Bezahlung und Abrechnung unterscheiden. Zum einen besteht die Möglichkeit der Direktbezahlung, wie z. B. an Tankstellen üblich. Hierfür müssten Nutzer die Möglichkeit haben, in Verbindung mit dem Ladevorgang die Bezahlung über ein entsprechendes Verfahren zu autorisieren. Zum anderen könnte ein auf einer gesonderten Abrechnung basierendes Bezahlverfahren, wie beispielsweise im Mobilfunk üblich, eingerichtet werden. In diesem Fall müssten im Voraus entsprechende Vereinbarungen getroffen werden. Außerdem ist eine Authentifizierung des Nutzers erforderlich.

BEEINFLUSSUNG ODER STEUERUNG DES LADEVORGANGS

Um den in Abschnitt 3.2.1.1 dargestellten potenziellen Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems zu begegnen, ist eine Beeinflussung oder Steuerung des Ladevorgangs erforderlich. Die hier dargestellten Möglichkeiten der Steuerung werden in der Energiewirtschaft auch unter den Begriffen „Demand Response“ oder „Demand Side Management“ diskutiert. Dabei werden anreizbasierte und direkte Steuerungsmechanismen unterschieden, was den folgenden Darstellungen entspricht.[215]

- Als **Beeinflussung** des Ladevorgangs wird innerhalb dieser Arbeit die Einflussnahme auf den vom Nutzer kontrollierten Ladevorgang durch variable Tarife bezeichnet. Dabei ist die Wirkung abhängig von der Ausgestaltung des Tarifs sowie den jeweiligen Nutzerpräferenzen (bzw. der Preiselastizität).

- Als **Steuerung** wird im Folgenden die direkte Kontrolle des Ladevorgangs durch einen „Optimierungsagenten“ bezeichnet. Grundsätzlich kann die Steuerung in eine zentrale und eine dezentrale Steuerung unterschieden werden. Bei einer zentralen Steuerung würde ein zentraler Optimierungsagent auf Basis ihm vorliegender Informationen Steuerungssignale an die Ladeschnittstelle senden, auf die der Ladevorgang reagiert. Bei einer dezentralen Steuerung würde die Steuerung durch dezentrale Optimierungsagenten erfolgen, die ebenfalls auf Basis von Informationen den Ladevorgang steuern. Es wird im Folgenden davon

[215] Vgl. FRAUNHOFER IWES / OFFIS (2010, S. 23).

ausgegangen, dass diese beiden Varianten grundsätzlich sehr ähnlich sind, da auch die Informationen, die ein dezentraler Optimierungsagent für die Steuerung benötigt, prinzipiell durch eine Zentrale gesendet werden dürften. Somit hätten die Informationen selbst den Charakter eines Steuerungssignals.[216] Insofern findet im Folgenden keine weitere Unterscheidung dieser Fälle statt.

RÜCKSPEISUNG

Die verschiedenen Anwendungsfälle können grundsätzlich mit oder ohne die Möglichkeit der Rückspeisung ausgestaltet werden. Dabei wären die oben geschilderten Beeinflussungs- oder Steuerungsmechanismen so auszugestalten, dass auch die Rückspeisung von Energie ausgelöst werden kann. Grundsätzlich ist zu beachten, dass der Batterieverschleiß i. d. R. mit der Anzahl der Lade- und Entladezyklen zunimmt,[217] sodass die Möglichkeit der Rückspeisung ggf. mit (prohibitiv) hohen Kosten verbunden ist.

3.2.2.2 In dieser Arbeit unterschiedene Anwendungsfälle

Auf Basis der im vorherigen Abschnitt dargestellten Ausgestaltungsdimensionen und der jeweiligen Ausprägungen, ließe sich grundsätzlich eine Vielzahl verschiedener Anwendungsfälle unterscheiden. Da eine derart hohe Anzahl verschiedener Anwendungsfälle für die Analysen im weiteren Verlauf der Arbeit weder notwendig noch praktikabel ist, werden im Folgenden verschiedene Ausgestaltungsmöglichkeiten zu einzelnen Anwendungsfällen zusammengefasst. Dabei stellen die Ausgestaltungsmöglichkeiten der Dimension „Beeinflussung oder Steuerung des Ladevorgangs“ das primäre Unterscheidungsmerkmal der Anwendungsfälle dar.

3.2.2.2.1 Ungesteuertes Laden

Unter dem Begriff „ungesteuertes Laden“ werden in dieser Arbeit alle Anwendungsfälle zusammengefasst, bei denen keine Beeinflussung oder Steuerung des Ladevorgangs erfolgt. Somit entfällt auch die Möglichkeit der Rückspeisung, da diese nur in Zusammenhang mit einem Steuerungsmechanismus Nutzen stiften dürfte.

Grundsätzlich ist ein ungesteuerter Ladevorgang auch ohne eine Bepreisung von elektrischem Strom möglich.[218] Im weiteren Verlauf der Arbeit wird jedoch (wie in der aktuellen Diskussion zumeist

[216] Es kann jedoch Fälle geben, in denen eine dezentrale Steuerung Vorteile aufgrund einer schnelleren Reaktionszeit hat. So wäre es beispielsweise denkbar, dass Informationen, die die Netzstabilität beschreiben, durch ein dezentrales Gerät gemessen und direkt in Steuerungssignale umgewandelt werden. So könnte beispielsweise ein Beitrag zur Frequenzregelung geleistet werden, dessen zeitliche Verfügbarkeit den Bereich der Primärregelung erreicht; vgl. ANDERSSON ET AL. (2010, S. 2753).

[217] Vgl. Abschnitt 2.1.1.1.

[218] So könnte beispielsweise auch eine rein zeitbezogene Bepreisung erfolgen.

unterstellt) davon ausgegangen, dass eine (zumindest lineare) Bepreisung des Stroms erfolgt.[219] Somit ist auch ein entsprechendes Bezahl- und Abrechnungssystem zu etablieren, wobei die Möglichkeit der Direktbezahlung zum einen aufgrund der möglicherweise entstehenden Mehrkosten für eine Bezahlvorrichtung und zum anderen aufgrund hoher (Transaktions-)Kosten der Nutzung, insbesondere bei regelmäßiger Anwendung, nur am Rande betrachtet wird.[220]

Als Anwendungsfall ungesteuertes Laden wird demnach im Rahmen dieser Arbeit ein monodirektionaler Ladevorgang mit einer Bepreisung des elektrischen Stroms und einem auf einer gesonderten Abrechnung basierenden Bezahlverfahren bezeichnet. Die in Abschnitt 3.2.1.1 dargestellten Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems können durch ungesteuertes Laden nicht erfüllt werden.

3.2.2.2.2 Beeinflusstes Laden

Als „beeinflusstes Laden“ werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit Anwendungsfälle bezeichnet, die eine variable Bepreisung des elektrischen Stroms vorsehen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Bezahlung mittels eines automatisierten Abrechnungssystems erfolgt.

Fraglich ist, inwieweit durch beeinflusstes Laden den Anforderungen der Energiewirtschaft begegnet werden kann. Diesbezüglich ist die (aggregierte) Reaktion der Nutzer auf die verschiedenen Tarifmodelle von Bedeutung, die von verschiedenen Parametern abhängig sein dürfte. Neben den individuellen Nutzerpräferenzen ist zu hinterfragen, ob der Nutzer selbst regelmäßig Einfluss auf den Ladevorgang nimmt oder ob ein vom Nutzer programmierter Optimierungsagent (wie beispielsweise eine Zeitschaltuhr) diese Aufgabe für den Nutzer übernimmt. Letzterer Fall dürfte bei statischen Tarifen unproblematisch darstellbar sein, da die Geräteprogrammierung durch den Nutzer so auf einen langfristig gleichbleibenden Tarif abgestimmt werden kann. Im Fall dynamischer Tarife wäre die Programmierung entweder häufiger zu verändern oder das Gerät selbst müsste auf die Preisinformationen reagieren, was einer direkten Steuerung entsprechen würde. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass aufgrund der Einflussvariable „Nutzerpräferenzen“ immer eine Unsicherheit hinsichtlich der tatsächlichen Nutzerreaktion besteht.

Da für die Bereitstellung von Regelleistung verschiedene Anforderungen gestellt werden, wie z. B. an die Reaktionszeit oder die Dauer der Bereitstellung, dürften diese Anforderungen durch eine Beeinflussung eher nicht erfüllt werden können. Auch eine Vermeidung potenzieller Netzengpässe durch die Etablierung variabler Tarife erscheint zumindest fraglich. So müssten die Engpässe (auch bei dynamischen Tarifen) aufgrund der Reaktionszeit der Nutzer auf Tarifänderungen eine gewisse Zeit im Voraus prognostizierbar sein. Außerdem wären die Tarife regional differenziert auszugestalten,

[219] Im Übrigen ist anzumerken, dass mit einer Bepreisung elektrischen Stroms auch gewisse Anreize für einen effizienten Verbrauch des Stroms einhergehen.

[220] Siehe Abschnitt 3.4.2.3.2 für eine kurze Diskussion dieser Thematik.

da Netzengpässe in verschiedenen (Verteilnetz-)Gebieten auftreten können, was insgesamt mit einer hohen Komplexität einhergeht.

Es ist allerdings davon auszugehen, dass durch variable Tarife ein Beitrag zur Verlagerung der Last geleistet werden kann. In diesem Zusammenhang ist weiterhin zu hinterfragen, inwiefern auch Anforderungen erfüllt werden können, für die die Möglichkeit der Rückspeisung von Bedeutung ist. Zunächst ist anzunehmen, dass bei entsprechender Preisdifferenzierung Nutzer auch Anreize zu einer Rückspeisung von Strom erhalten können. Jedoch ist zweifelhaft, ob, ohne eine direkte Steuerung des Ladevorgangs, der Nutzen dieser Funktion die insbesondere infolge des Batterieverschleißes entstehenden Kosten übersteigt.

3.2.2.2.3 Gesteuertes Laden

Der Begriff „gesteuertes Laden“ steht im Rahmen dieser Arbeit für Anwendungsfälle, bei denen eine direkte Steuerung des Ladevorgangs durch einen zentralen Optimierungsagenten erfolgt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Nutzer die grundsätzlich bei ihnen liegende Kompetenz der Steuerung im Rahmen von Vereinbarungen mit dem Stromlieferanten an diesen abgeben, welcher somit die Funktion des Optimierungsagenten erfüllt. Dieser etabliert über einen geeigneten Tarif Anreize bei den Nutzern, Steuerungskapazitäten freizugeben. In diesem Zusammenhang wird auch hier davon ausgegangen, dass eine automatisierte Abrechnung erfolgt.

Hinsichtlich der Erfüllung potenzieller Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems bietet eine direkte Steuerung des Ladevorgangs die weitestgehenden Möglichkeiten. So bestehen insbesondere geringere Unsicherheiten hinsichtlich der Reaktion der Ladevorgänge auf Steuerungssignale. Allerdings sind auch hier Nutzerpräferenzen von Bedeutung, da insbesondere individuelle Mobilitätsbedürfnisse einen Einfluss auf die für energiewirtschaftliche Anwendungen verfügbare Batteriekapazität haben. Außerdem müssen auch hier Anreize etabliert werden, sodass Nutzer freie Batteriekapazitäten auch zur Verfügung stellen.

Derartige Anreize vorausgesetzt, kann bei entsprechend großen Nutzerzahlen jedoch davon ausgegangen werden, dass die verfügbare Batteriekapazität recht genau prognostiziert werden kann, sodass unter Berücksichtigung von Sicherheitsabschlägen gewisse Energiemengen und Leistungsbänder auch für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen genutzt werden können. Vor diesem Hintergrund steigt auch die Rationalität für einen bidirektionalen Anschluss.

Als Anwendungsfall gesteuertes Laden werden demnach im Folgenden Ladevorgänge mit direkter Steuerung sowie einem automatisierten Abrechnungssystem bezeichnet. Die Möglichkeit der Rückspeisung wird ebenfalls in Verbindung mit diesem Anwendungsfall betrachtet, steht jedoch aufgrund der hohen Kosten nicht im Fokus der weiteren Untersuchungen in dieser Arbeit.

3.2.3 Fazit

Innerhalb dieses Abschnitts ist deutlich geworden, dass die potenziellen Anforderungen des energiewirtschaftlichen Systems durch eine Etablierung des Anwendungsfalles gesteuertes Laden

vermutlich weitestgehend erfüllt werden können, während durch beeinflusstes Laden zumindest eine Verlagerung der Last möglich erscheint. Diese beiden Anwendungsfälle werden im weiteren Verlauf der Arbeit auch als „erweiterte Anwendungsfälle“ bezeichnet.

Für eine Umsetzung der verschiedenen Anwendungsfälle ist zunächst eine geeignete technische Ausgestaltung der Ladeschnittstelle erforderlich, auf die in Abschnitt 3.4 vertieft eingegangen wird. Dabei ist von Bedeutung, dass der Anwendungsfall gesteuertes Laden umfassende Informationen aus verschiedenen Subsystemen erfordert (wie insbesondere hinsichtlich der verfügbaren Energie- und Leistungskapazität), während für den Anwendungsfall beeinflusstes Laden eine Information des Nutzers hinsichtlich des variablen Tarifs ausreichend ist. Des Weiteren erfordern alle dargestellten Anwendungsfälle (annahmegemäß) eine Messung und Abrechnung elektrischen Stroms. Die Notwendigkeit verschiedener Informationen wird im Zusammenhang mit der Darstellung von Kommunikationserfordernissen in Abschnitt 3.4.1.3.1 wieder aufgegriffen.

Über die technischen Ausgestaltungsoptionen hinaus sind für die Umsetzung der Anwendungsfälle Abstimmungen bzw. Standards für die Kommunikation zwischen den verschiedenen beteiligten Akteuren erforderlich. Diese werden im Rahmen der Analyse komplementärer Beziehungen in Kapitel 8 vertieft betrachtet.[221]

3.3 Nutzung und Nutzer öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur

Im Folgenden werden Grundlagen bzgl. der Nutzung sowie der Nutzer von Ladeinfrastruktur dargestellt. Dabei wird Ladeinfrastruktur als Teil eines Mobilitätssystems eingeordnet und es wird auf die für die Mobilität relevanten Systemeigenschaften fokussiert. Die im vorhergehenden Abschnitt vertieften Anforderungen aus dem energiewirtschaftlichen System und sich ergebende Anwendungsfälle werden ausgeklammert.

Im weiteren Verlauf dieses Abschnitts wird davon ausgegangen, dass Nutzer eine Entscheidung bzgl. der Wahl eines Mobilitätssystems (bzw. eines Verkehrsmittels) treffen und das Elektromobilitätssystem eine Auswahloption darstellt. Vor diesem Hintergrund werden in Abschnitt 3.3.1 zunächst die Entscheidungskriterien potenzieller Nutzer den (potenziellen) Eigenschaften eines Elektromobilitätssystems gegenübergestellt. Auf dieser Basis kann in Abschnitt 3.3.2 dann die Bedeutung von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur diskutiert werden. Abschließend wird in Abschnitt 3.3.3 auf potenzielle Erstnutzer des Elektromobilitätssystems eingegangen.

3.3.1 Auswahlentscheidungen potenzieller Nutzer in Bezug auf das Elektromobilitätssystem

Die Wahl eines Mobilitätssystems (auch Modalwahl genannt) stellt ein Entscheidungsproblem dar, bei dem Nutzer danach streben, ihren individuellen Nutzen aus der Verkehrsmittelwahl zu maximieren.

[221] Siehe dazu insbesondere Abschnitt 8.1.1.

Die Auswahlentscheidungen sind von den verschiedenen individuellen Präferenzen sowie den Kosten in Bezug auf die Auswahloptionen abhängig. Im Folgenden werden in Abschnitt 3.3.1.1 zunächst wesentliche, die Entscheidung von Nutzern beeinflussende Kriterien dargestellt. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 3.3.1.2 die Eigenschaften des Elektromobilitätssystems als Auswahlalternative (insbesondere gegenüber Verbrennungskraftantrieben) diskutiert.

3.3.1.1 Entscheidungskriterien potenzieller Nutzer

Die Entscheidungskriterien potenzieller Nutzer werden an dieser Stelle nach Nutzen- und Kostenkomponenten gegliedert. Im folgenden Abschnitt 3.3.1.1.1 werden für die Modalwahl zentrale Nutzerpräferenzen dargestellt, die im Zusammenhang mit den Eigenschaften eines Mobilitätssystems eine Nutzenkomponente ergeben. Der sich daran anschließende Abschnitt 3.3.1.1.2 geht auf die Systematisierung von Kostenkomponenten ein. Im abschließenden Abschnitt 3.3.1.2.3 wird der zeitliche Anfall von Nutzen- und Kostenkomponenten thematisiert.

3.3.1.1.1 Nutzerpräferenzen in Bezug auf das Mobilitätssystem

Von hoher Bedeutung für die Modalwahl ist die Qualität des jeweiligen Mobilitätssystems. Darüber hinaus existiert eine Reihe weiterer Präferenzen, die eine Rolle bei Auswahlentscheidungen spielen können. Die folgenden Aussagen basieren in Teilen auf den Ergebnissen verschiedener Autoren, die dieses Wahlverhalten im Rahmen sog. Discrete Choice Modelle (DCM) analysiert haben.[222]

PRÄFERENZEN HINSICHTLICH DER QUALITÄT DES ANGEBOTS

Die im Folgenden dargestellten Qualitätsmerkmale beziehen sich auf die Eignung eines Mobilitätssystems, seinen Primärzweck, die Bewältigung von (individuell sehr unterschiedlichen) Wegen, zu gewährleisten.

- **Wegezeiten (Warte- und Fahrzeiten)**: Die Zeit, die für die Bewältigung eines Weges benötigt wird, stellt ein wesentliches Entscheidungskriterium dar.[223] Dabei kann neben der Gesamtzeit vom Start- zum Zielort auch die Zusammensetzung aus Fahrt- und Wartezeiten von Bedeutung für die Modalwahl sein. So gehen z. B. BHAT (1995) sowie HABIB / DAY / MILLER (2009) davon aus, dass Wartezeiten im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) als unangenehmer empfunden werden, als Fahrtzeiten.[224]

[222] Vgl. für derartige DCM z. B. MCFADDEN (1974) und BHAT (1995). DCM gehen von einer (auf Basis beobachtbarer Verhaltensweisen beschreibbaren) deterministischen Komponente und einer Zufallsvariable aus; vgl. BHAT (1995, S. 472). Für diesen Abschnitt werden an einigen Stellen die Ergebnisse dieser Modelle herangezogen. Außerdem werden auch Hinweise aus den formulierten deterministischen Komponenten mit einbezogen.

[223] Vgl. BHAT (1995, S. 480).

[224] Vgl. BHAT (1995, S. 478) sowie HABIB / DAY / MILLER (2009, S. 648).

Somit sind vordergründig die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und die Reichweite der Fahrzeuge verschiedener Systeme sowie die Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel von hoher Bedeutung für die Modalwahl. Dabei ist zu beachten, dass diese Kriterien in Abhängigkeit des jeweiligen Weges an Bedeutung gewinnen oder verlieren. So ist eine hohe Maximalgeschwindigkeit im innerörtlichen Straßenverkehr zu vernachlässigen und die Reichweite wird nur dann relevant, wenn dem Nutzer aufgrund eines Tank- oder Ladevorgangs Wartezeiten entstehen.

- **Verfügbarkeit und Verlässlichkeit**: Die Verfügbarkeit bezeichnet die (räumliche und zeitliche) Möglichkeit der Nutzung. Bezüglich dieses Auswahlkriteriums bestehen Interdependenzen mit den Wegezeiten. So kann beispielsweise eine eingeschränkte Verfügbarkeit zu erhöhten Warte- oder Fahrzeiten führen. Außerdem kann eine eingeschränkte Verfügbarkeit mit der Notwendigkeit einer Vorausplanung von Wegen einhergehen.[225]

  Außerdem ist die Verlässlichkeit des Mobilitätssystems von Bedeutung für die Qualität. Diese kann gewissermaßen auch als Varianz der erwarteten Wegezeit bzw. Ankunftszeit angesehen werden. Im öffentlichen Verkehr ist eine wesentliche Kenngröße der Verlässlichkeit die Pünktlichkeit. Bezeichnet man die Pünktlichkeit als Abweichung von der erwarteten Ankunftszeit, lässt sich dieses Konzept auch auf den Individualverkehr übertragen. Im Pkw-Verkehr haben neben den Fahrzeugeigenschaften (wie z. B. der Pannenanfälligkeit) insbesondere die Eigenschaften bzw. Kapazitäten des Straßen- und Parkraumes (in Verbindung mit dem Verkehrsaufkommen) Einfluss auf die Pünktlichkeit. So kommen beispielsweise HABIB / DAY / MILLER (2009) zu dem Ergebnis, dass Personen mit garantierter Parkmöglichkeit später losfahren, da sie keine Unsicherheit bzgl. der Parkplatzsuche berücksichtigen müssen.[226]

- **Komfort**: Ein weiteres Kriterium bei der Modalwahl ist das Komfortbedürfnis der jeweiligen Nutzer. Hier sind Aspekte wie eine bequeme Sitzposition, Bewegungsfreiheit oder Lärm von Bedeutung. Diesbezüglich ist z. B. die Ausstattung der Fahrzeuge (Klimaanlage, Sitzkomfort etc.) von Relevanz. Weiterhin existiert eine Interdependenz mit dem oben beschriebenem Zeitkriterium, da bei Umsteigeverbindungen die Wartezeit als unangenehmer Empfunden wird als die Fahrzeit (s. o.). Es ist davon auszugehen, dass wesentliche Vorteile des Individualverkehrs in diesem Bereich liegen. Beispielsweise empfinden Nutzer häufig Fahrten im eigenen Pkw angenehmer als Fahrten im ÖPNV.[227]

---

[225] Im Übrigen gibt es gewisse Interdependenzen mit den im untenstehenden Abschnitt 3.3.1.1.2 dargestellten (von Nutzern individuell zu tragenden) Kostenkomponenten. So kann insbesondere im öffentlichen Verkehr ein kurzfristiger bzw. spontaner Weg mit höheren Entgelten bzw. Preisen einhergehen.

[226] Vgl. HABIB / DAY / MILLER (2009, S. 648 f.).

[227] Vgl. HABIB / DAY / MILLER (2009, S. 648 f.).

- **Sicherheit**: Von Bedeutung bei der Auswahl des Mobilitätssystems sind auch Sicherheitsaspekte. Dabei kann die individuell empfundene Sicherheit von objektiv messbaren Kriterien abweichen.[228] Bei der Betrachtung sicherheitsrelevanter Aspekte ist davon auszugehen, dass potenzielle Nutzer nicht nur die Sicherheit des jeweiligen Fahrzeugs (aktive sowie passive Sicherheit), sondern die Sicherheit des Gesamtsystems betrachten, also beispielsweise auch Lade- oder Tankvorgänge oder den Weg zu einer Haltestelle des ÖPNV.

WEITERE PRÄFERENZEN

Über die oben genannten Qualitätsmerkmale hinaus existiert eine Reihe weiterer Kriterien, die von verschiedenen Nutzern bzw. Nutzergruppen u. U. bei der Modalwahl berücksichtigt werden.[229]

- **Umweltfreundlichkeit**: Die Auswirkungen eines Verkehrssystems hinsichtlich globaler Klimaaspekte und lokaler Umweltwirkungen (wie z. B. Lärm), werden von bestimmten Nutzergruppen vermutlich als Entscheidungskriterien berücksichtigt. So sind z. B. lt. JAY (1990) manche Nutzer bereit, für umweltfreundliche Produkte einen höheren Preis zu zahlen.[230] Da umweltfreundlichere Fahrzeuge zumeist mit einer geringeren (individuellen) Kostenbelastung im Betrieb einhergehen (niedrigere Steuern, Treibstoffkosten), dürfte es in der Praxis schwer sein, zwischen der Zahlungsbereitschaft für spätere Kosteneinsparungen und der Zahlungsbereitschaft für die umweltfreundlichen Eigenschaften zu differenzieren.[231]

- **Innovationsgrad**: Einzelne Nutzergruppen haben u. U. eine Affinität für Produkte, die erstmalig angeboten werden bzw. als innovativ wahrgenommen werden, was somit eine Kaufentscheidung positiv beeinflussen kann. Fraglich ist jedoch, ob diese Gruppen aufgrund der innovativen Eigenschaft des Produktes oder aufgrund anderer Faktoren eine positive Kaufentscheidung treffen. So können insbesondere auch die von den Nutzern erwarteten Verkaufszahlen von Bedeutung sein.[232]

- **Außenwirkung / Image**: Ein weiteres Kriterium, das die Entscheidung von Nutzern bei der Modalwahl beeinflussen kann, ist das Image bzw. die Außenwirkung des jeweiligen Mobilitätssystems. So dient beispielsweise laut HILGERS (1994) „der private Pkw häufig weniger der reinen Beförderung.“[233] Vielmehr sei die „psychologische Symbolfunktion des eigenen Fahrzeugs“ von Bedeutung bei der Modalwahl. Es ist wahrscheinlich, dass sich

[228] Vgl. HEMPEL / VEDDER (2011, S. 76 f.).

[229] Es ist anzumerken, dass sich die hier dargestellten Kriterien z. T. überschneiden können.

[230] Vgl. JAY (1990, S. 25).

[231] Vgl. SIERZCHULA ET AL. (2012, S. 50).

[232] Siehe für eine ausführliche Darstellung der Relevanz erwarteter Nutzerzahlen in Verbindung mit Netzwerkeffekten Abschnitt 4.3.1.

[233] HILGERS (1994, S. 1).

dieser Aspekt mit anderen Kriterien, wie beispielsweise dem Innovationsgrad oder der Umweltfreundlichkeit, teilweise überschneidet, jedoch nicht deckungsgleich ist.

Neben den hier dargestellten Kriterien existieren vielfältige weitere Aspekte, die sich z. T. mit den dargestellten Kriterien überlappen und hier nicht näher beschrieben werden. Für den weiteren Verlauf der Arbeit sind vor allem die oben dargestellten Qualitätsmerkmale von Relevanz.

3.3.1.1.2 Kosten der Nutzung des Mobilitätssystems

Dem potenziellen Nutzen, der sich aus der Nutzung eines Mobilitätssystems in Abhängigkeit der oben dargestellten Präferenzen ergibt, stehen aus einer individuellen Perspektive die Kosten der Nutzung gegenüber.[234] Dabei sind die Kosten der Nutzung aller Systemkomponenten über einen gewissen Zeitraum mit einzubeziehen. In diesem Zusammenhang werden häufig auch sog. „Total Cost of Ownership“ (TCO)-Analysen durchgeführt, welche die innerhalb eines Lebenszyklus entstehenden Gesamtkosten berechnen.[235] Grundsätzlich lassen sich einmalige Anfangsinvestitionen von laufenden Kosten unterscheiden:

- **Einmalige Anfangsinvestitionen**: Die Nutzung eines Mobilitätssystems kann mit Anfangsinvestitionen einhergehen. So stellt beispielsweise der Kauf eines Pkw eine Investition dar, die Optionen auf die Nutzung des Mobilitätssystems „MIV“ für einen gewissen Zeitraum schafft. Der für die Berechnung der Lebenszykluskosten verwendete Zeitraum kann sich nach der Lebensdauer des jeweiligen Gutes bzw. der Abschreibungsdauer richten. Dabei ist von Bedeutung, dass sich, z. B. durch unterschiedliche Finanzierungsinstrumente, Anfangsinvestitionen über einen längeren Zeitraum verteilen lassen und aus einer Nutzerperspektive somit auch als Fixkosten (über den jeweiligen Zeitraum) angesehen werden können, was jedoch keinen (oder aufgrund evtl. anfallender Finanzierungskosten nur geringen) Einfluss auf die TCO-Betrachtung hat.[236]

  Häufig hat der Umfang der Anfangsinvestitionen Einfluss auf die (individuelle) Qualität der Systemnutzung sowie auf die Höhe der laufenden Kosten. Um das Mobilitätssystem „MIV“ zu nutzen, können Nutzer beispielsweise ein eigenes Fahrzeug kaufen oder bei Bedarf auf Mietwagen zurückgreifen. Letztere sind jedoch kurzfristig nicht immer verfügbar.[237]

---

[234] In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass in diesem Abschnitt keine Kosten im gesamtwirtschaftlichen Sinne diskutiert werden, sondern im Wesentlichen Entgelte oder Preise, die für die Nutzung eines Mobilitätssystems anfallen können.

[235] Vgl. für diesen Ansatz z. B. WIETSCHEL ET AL. (2012, S. 11) oder BICKERT ET AL. (2011, S. 5 ff.).

[236] Im öffentlichen Verkehr stellen Fixkosten z. B. für den Kauf einer Jahres- oder Monatskarte die Regel dar, wobei diese in Abhängigkeit des Betrachtungszeitraumes auch als Anfangsinvestition eingeordnet werden könnten.

[237] Auch hier kann ein analoges Beispiel aus dem Bereich des öffentlichen Verkehrs genannt werden: Inhaber einer BahnCard 100 können das Angebot des Fernverkehrs zeitpunktunabhängig ohne zusätzliche Entgelte nutzen und genießen Privilegien bei der Sitzplatzwahl.

Auch für weitere Systemkomponenten können u. U. Anfangsinvestitionen anfallen. Beispielsweise könnte die Schaffung eines Pkw-Stellplatzes erforderlich sein. Auch die Einrichtung einer privaten Lademöglichkeit für ein Elektrofahrzeug würde eine solche Investition darstellen.

- **Laufende Kosten**: Zu den laufenden Kosten der Nutzung eines Mobilitätssystems zählen im motorisierten Individualverkehr insbesondere die Kosten für Antriebsenergie (z. B. Mineralöl oder elektrischer Strom). Weitere laufende Kosten im Bereich des Fahrzeugs fallen für sonstige Betriebsstoffe, die Wartung und Reparatur von Fahrzeugen sowie für die Nutzung von Verkehrsinfrastruktur (z. B. Mautgebühren) an. Auch die Nutzung der weiteren Systemkomponenten kann mit laufenden Kosten einhergehen. So können insbesondere Entgelte für die Nutzung des Straßen- oder Parkraumes durch den Nutzer zu entrichten sein. Im öffentlichen Verkehr können den Nutzern laufende Kosten durch Entgelte für Einzelfahrkarten entstehen.

Wie oben beschrieben, bestehen Interdependenzen zwischen Anfangsinvestitionen und laufenden Kosten, die sich insbesondere auch aus dem jeweiligen institutionellen Arrangement (z. B. Fahrzeugkauf oder Fahrzeugmiete) ergeben. Dabei haben die Kosten, die den Nutzern entstehen, nicht immer einen direkten Zusammenhang mit den im Gesamtsystem anfallenden Kosten, sondern werden durch die Entgelt- bzw. Bepreisungssysteme vorgegeben. So werden häufig keine direkten Entgelte bzw. Preise für die Nutzung von Teilleistungen erhoben. Vielmehr werden die Kosten bei der Bepreisung anderer Leistungen berücksichtigt. Im Verkehrssystem werden die Kosten häufig durch Sozialisierungssysteme (wie insbesondere das Steuersystem) der öffentlichen Hand getragen. So ist die Nutzung öffentlicher Straßen oder öffentlichen Parkraumes in vielen Gebieten ohne die Entrichtung von an der Nutzung orientierten Entgelten möglich.

3.3.1.1.3 Zeitlicher Anfall von Kosten und Nutzen eines Mobilitätssystems

Neben den dargestellten Kosten- und Nutzenkomponenten hat vor allem deren (erwarteter) zeitlicher Anfall Einfluss auf die Entscheidungen potenzieller Nutzer.

Kostenseitig können entsprechend der im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Systematisierung aus einer Nutzerperspektive einmalige Anfangsinvestitionen und laufende Kosten unterschieden werden. Dabei ist fraglich, in welcher Form Nutzer zukünftig anfallende Kosten bewerten bzw. diskontieren. In der Literatur existiert mit Bezug zur Implementierung energieeffizienterer Technologien ein weitgehender Konsens, dass für viele Nutzergruppen geringere Anfangsinvestitionen von größerer Bedeutung sind als spätere (entsprechend abdiskontierte) Einsparungen im Bereich der laufenden Kosten. So verweist beispielsweise BROWN (2001) auf eine Vielzahl von Studien, die zu dem Ergebnis kommen, dass sich Nutzer aufgrund hoher Anfangsinvestitionen häufig gegen Technologien entscheiden, die bei einer TCO-Betrachtung bereits

bei kurzen Betrachtungszeiträumen vorteilhaft gegenüber Technologien mit höheren Anfangsinvestitionen wären.[238] Im Themengebiet alternativer Antriebstechnologien kann man auf Basis einer von KUBIK (2006) im US-amerikanischen Markt durchgeführten Konsumentenbefragung schließen, dass sich eine Investition in ein Fahrzeug mit geringeren Treibstoffkosten innerhalb von ca. zwei Jahren für den Nutzer rechnen muss, um durchgeführt zu werden.[239]

Auch nutzenseitig können im Zeitverlauf Veränderungen eintreten. So ist insbesondere bei der Einführung neuer Mobilitätssysteme oder auch neuer Systemkomponenten fraglich, wie sich komplementäre Güter oder Teilleistungen im Zeitverlauf entwickeln. Beispielsweise ist die Qualität des Servicenetzwerks (für Wartungs- oder Reparaturarbeiten) u. U. von der Verbreitung des eigenen Fahrzeugs oder der Fahrzeugmarke abhängig. Im Bereich alternativer Antriebstechnologien ist der mit einer Kaufentscheidung verbundene erwartete Nutzen in hohem Maße abhängig von den individuellen Erwartungen an den Ausbau von Infrastruktur (z. B. Lade- oder Wasserstoffinfrastruktur). Diesbezüglich ist von Bedeutung, dass Entwicklungen im Bereich komplementärer Güter von der Gesamtanzahl der Nutzer abhängen können. Solche Effekte werden auch als Netzwerkeffekte bezeichnet und in Abschnitt 4.3.1 ausführlich behandelt.

Insbesondere in Bezug auf den zeitlichen Kostenanfall, aber auch vor dem Hintergrund der möglichen zeitlichen Veränderungen hinsichtlich der Nutzenkomponenten ist fraglich, welche Parameter zu Nutzerentscheidungen führen, die bei einer (ausschließlichen) Betrachtung der in den vorhergehenden Abschnitten erläuterten Entscheidungskriterien u. U. nicht zu erwarten sind. Einzelne Autoren hinterfragen in diesem Zusammenhang die Rationalität der Nutzerentscheidungen, während andere vor allem unvollständige Informationen oder fehlende methodische Kenntnisse als Ursachen für objektiv nicht-rationale Entscheidungen anführen.[240] In diesem Zusammenhang sollte berücksichtigt werden, dass Nutzern auch (Transaktions-)Kosten für die Informationsbeschaffung oder den Aufbau von methodischem Wissen entstehen. Ein weiterer Erklärungsansatz kann eine individuell unterschiedliche Risikoaversion in Bezug auf zukünftige Kosten und Nutzen sein, die zu verschiedenen nutzerindividuellen Diskontraten führt. Dabei ist außerdem zu berücksichtigen, dass insbesondere beim Vorliegen von Netzwerkeffekten Unsicherheiten bzgl. der zukünftigen Entwicklung von Bedeutung sind.[241]

3.3.1.2 Eigenschaften des Elektromobilitätssystems

Hinsichtlich der Eigenschaften des Elektromobilitätssystems lassen sich grundsätzlich technische Eigenschaften sowie Eigenschaften, die durch Entscheidungen von Akteuren beeinflusst werden, differenzieren. Bei Letzteren ist der Einfluss der öffentlichen Hand von Bedeutung, die entweder

[238] Vgl. BROWN (2001, S. 1198 f.).

[239] Vgl. KUBIK (2006, S. 18) sowie auch SIERZCHULA ET AL. (2012, S. 50).

[240] Vgl. TURRENTINE / KURANI (2007, S. 1216) sowie SIERZCHULA ET AL. (2012, S. 50).

[241] Siehe Abschnitt 4.3.1.

Entscheidungen selbst treffen kann oder auf die Entscheidungen anderer Akteure durch die Etablierung von Rahmenbedingungen Einfluss nimmt.

Innerhalb dieses Abschnitts wird auf die technischen Eigenschaften des Elektromobilitätssystems vor dem Hintergrund der vorhergehend dargestellten Auswahlkriterien von Nutzern bei der Modalwahl fokussiert. Dabei wird im Wesentlichen auf Unterschiede zum bestehenden Verbrennungskraftsystem eingegangen, da beide Systeme häufig im MIV eingesetzt werden und dort weitgehende Substitute darstellen. Zu diesem Zweck geht der folgende Abschnitt 3.3.1.2.1 zunächst auf Elektrofahrzeuge ein. Daran anschließend werden in Abschnitt 3.3.1.2.2 relevante Ausgestaltungsparameter im Hinblick auf die Eigenschaften des Ladeinfrastruktursystems dargestellt, bevor in Abschnitt 3.3.1.2.3 kurz weitere Eigenschaften des Elektromobilitätssystems thematisiert werden.

3.3.1.2.1 Fahrzeugeigenschaften

Die Eigenschaften elektrisch angetriebener Fahrzeuge sind im Wesentlichen abhängig vom gewählten Antriebskonzept.[242] Dabei hat insbesondere die im Fahrzeug mitgeführte Energiemenge Einfluss auf die im Folgenden dargestellten Qualitätsmerkmale. Auch die anschließend dargestellten Kostenunterschiede sind im Wesentlichen abhängig vom Antriebskonzept.[243]

QUALITÄTSMERKMALE

Im Folgenden werden die Eigenschaften von Elektrofahrzeugen vor dem Hintergrund der in Abschnitt 3.3.1.1.1 dargestellten Nutzerpräferenzen thematisiert.

- **Reichweite**: Im Hinblick auf die Wegezeit als ein entscheidendes Qualitätsmerkmal von Mobilitätssystemen ist die Reichweite der Fahrzeuge von wesentlicher Bedeutung, da bei längeren Fahrten und geringer Reichweite u. U. Fahrtunterbrechungen zur Wiederaufladung der Batterien nötig sind. Die mit einer Batterieladung erzielbare Reichweite von reinen BEV liegt heute typischerweise zwischen 100 km und 200 km und damit deutlich unter der mit einer Tankfüllung erzielbaren Reichweite von ICE-Fahrzeugen.[244] Hybridfahrzeuge (PHEV und REEV) haben typischerweise geringere elektrische Reichweiten, können aber bei Nutzung des mitgeführten Verbrennungsmotors ähnliche Reichweiten erzielen wie ICE-Fahrzeuge.

  Von hoher Bedeutung bei der Diskussion von Reichweitenunterschieden sind Interdependenzen mit der jeweiligen Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur sowie den jeweiligen Nutzungsregeln. So ist die geringere Reichweite von Elektrofahrzeugen für Nutzer hinsichtlich des Kriteriums der Wege- bzw. Wartezeit nicht nachteilig, wenn während der Parkzeiten auch geladen werden kann und wenn die Distanz der Strecken die Fahrzeugreichweite nicht

[242] Vgl. für eine Darstellung der unterschiedlichen Konzepte Abschnitt 2.1.1.2.

[243] Vgl. für eine ausführliche Darstellung von Fahrzeugeigenschaften mit Einfluss auf Nutzerentscheidungen auch SHEPHERD / BONSALL / HARRISON (2012).

[244] Siehe Anhang A 1.1 für eine Darstellung der Reichweiten aktueller Elektrofahrzeug-Modelle.

überschreitet. Im Vergleich zur Nutzung von ICE-Fahrzeugen können dabei im Rahmen von Tankvorgängen entstehende Wartezeiten sogar vermieden werden. Für Wege, deren Distanz die Reichweite von Elektrofahrzeugen überschreitet, hängt die Wartezeit insbesondere von der verfügbaren Ladeinfrastrukturtechnik (bzw. der Ladegeschwindigkeit) ab.[245]

- **Fahreigenschaften, insbesondere Geschwindigkeit, Beschleunigung**: Das ebenfalls mit Blick auf das Kriterium Wegezeit bedeutende Geschwindigkeits- und Beschleunigungspotenzial von Elektrofahrzeugen ist, wie auch bei ICE-Fahrzeugen, abhängig von der Leistung bzw. Leistungsentfaltung des Motors (bzw. der Motoren). Da bei Elektromotoren das maximale Drehmoment bereits bei sehr niedrigen Drehzahlen abgerufen werden kann, ist grundsätzlich ein hohes Beschleunigungspotenzial vorhanden.[246] Auch können, bei Verwendung entsprechender Elektromotoren, mit ICE-Fahrzeugen vergleichbare Geschwindigkeiten erzielt werden. Problematisch ist wiederum die dafür notwendige Energiemenge. Höhere Geschwindigkeiten gehen (bei allen Antriebskonzepten) aufgrund der überproportional zunehmenden Fahrwiderstände mit einem deutlich höheren Energieverbrauch einher und reduzieren so die Reichweite des Fahrzeugs. Aufgrund der geringen Speicherkapazität von Batterien sind die Maximalgeschwindigkeiten reiner BEV daher selten größer als 150 km/h, während Hybridfahrzeuge auch höhere Geschwindigkeiten erlauben.[247]

- **Verlässlichkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit**: Es sind keine Berichte oder Studien bekannt, die über die Reichweitenproblematik hinaus Elektrofahrzeugen hinsichtlich der Verlässlichkeit, Verfügbarkeit oder Sicherheit grundlegend schlechtere oder bessere Eigenschaften zusprechen als ICE-Fahrzeugen. Dennoch ist anzunehmen, dass aufgrund der in Teilbereichen noch vergleichsweise wenig erprobten Technik gewisse Unsicherheiten bestehen, die insbesondere das Sicherheitsempfinden von Nutzern betreffen können. Eine solche Annahme lässt sich auf Beispiele aus verwandten Bereichen stützen und dürfte von bestimmten Nutzergruppen bei einer Auswahlentscheidung auch berücksichtigt werden.

- **Ausstattung, Komfort**: Grundsätzlich können Elektrofahrzeuge mit den gleichen Komforteigenschaften ausgestattet werden wie ICE-Fahrzeuge. Problematisch ist hier jedoch wiederum der Energieverbrauch. Da viele Module, die einen höheren Komfort gewährleisten, wie beispielsweise die Klimaanlage oder das Radio, elektrischen Strom verbrauchen, verringert ihr Betrieb (bei nicht bestehender Verbindung mit dem Stromnetz) die für den Antrieb zur Verfügung stehende Energie und damit die Reichweite des Fahrzeugs. Auch die

[245] Siehe hierzu auch den folgenden Abschnitt sowie für eine ausführliche Darstellung technischer Ausgestaltungsoptionen Abschnitt 3.3.

[246] Vgl. WALLENTOWITZ / FREIALDENHOVEN (2011, S. 59).

[247] Siehe Anhang A 1.1; Es ist anzumerken, dass auch weitere Komponenten, wie z. B. das Getriebe oder der Motor, bei höheren Geschwindigkeiten stärker belastet werden und entsprechend ausgelegt werden müssten (was i. d. R. mit Kosten einhergeht).

Heizung stellt in diesem Zusammenhang eine Herausforderung für reine BEV dar. Während beim Betrieb von Verbrennungskraftmaschinen die Abwärme für die Beheizung der Fahrgastkabine genutzt werden kann, müssen Elektrofahrzeuge zum Heizen bei nicht bestehender Verbindung mit dem Stromnetz Batteriestrom nutzen. Alternativ könnte auch ein zusätzliches Heizungsaggregat mitgeführt werden, das einen Brennstoff mit höherer Energiedichte (z. B. Gas oder Mineralöl) nutzt.

- **Weitere Qualitätsmerkmale**: Elektrofahrzeuge dürften aufgrund potenziell geringerer negativer Klima- und Umwelteinflüsse attraktiv für umweltbewusste Nutzer sein.[248] Ähnliches gilt für innovationsaffine Nutzergruppen oder Nutzergruppen, denen ein entsprechendes Image wichtig ist.

KOSTENMERKMALE

Entsprechend der in Abschnitt 3.3.1.1.2 dargestellten Differenzierung nach einmaligen Anfangsinvestitionen und laufenden Kosten, werden an dieser Stelle die mit der Nutzung von Elektrofahrzeugen verbundenen Kosten thematisiert. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Kosten für die Herstellung eines Fahrzeugs mit dem vom Nutzer zu zahlenden Preis eng korreliert sind und die laufenden Kosten sich im Wesentlichen aus dem jeweiligen Fahrzeugkonzept ergeben. Des Weiteren wird eine Nutzerperspektive unterstellt, die individuell zu zahlende Steuern berücksichtigt, gesamtwirtschaftliche Effekte der Besteuerung jedoch ausklammert.

- **Anfangsinvestitionen**: Preise von Elektrofahrzeugen liegen derzeit z. T. noch deutlich über den Preisen vergleichbarer ICE-Fahrzeug-Modelle.[249] Als Haupt-Kostentreiber gelten dabei die aktuell noch sehr hohen Batteriekosten, welche u. a. in Abhängigkeit zukünftiger Stückzahlen in den nächsten Jahren sinken dürften.[250] Innerhalb der Elektrofahrzeuge haben die verschiedenen Antriebskonzepte Einfluss auf die Herstellungskosten. So fallen bei Hybridantrieben (PHEV und REEV) zusätzliche Kosten für die teilweise doppelten oder zusätzlichen Komponenten an (z. B. Motoren, Getriebe, Generator). Demgegenüber stehen geringere Kosten für die Antriebsbatterie, da die rein elektrische Reichweite bei Hybridantrieben geringer ausgestaltet werden kann. Bei sinkenden Batteriepreisen werden die Kosten für die zusätzlichen Komponenten bei Hybridfahrzeugen einen höheren Kostenanteil ausmachen.

- **Laufende Kosten**: Wie oben dargestellt, sind energiebezogene Kosten der Hauptkostentreiber im Betrieb. Je nach unterstellten Preisen bzw. Preisentwicklungen sowie der Entwicklung entsprechender Steuern für Elektrizität und Mineralöltreibstoffe, ist der

[248] Vgl. für eine Diskussion möglicher Umwelt- und Klimawirkungen von Elektrofahrzeugen Abschnitt 2.3.1.

[249] Siehe Anhang A 1.1.

[250] Vgl. Abschnitt 2.1.1.

Betrieb eines Elektrofahrzeugs aus einer individuellen Perspektive gegenüber einem ICE-Fahrzeug deutlich günstiger.[251]

Des Weiteren können bei reinen Elektrofahrzeugen zukünftig geringere Kosten für Wartung und Instandhaltung angenommen werden. So verursachen bei ICE-Fahrzeugen mechanisch oder thermisch beanspruchte Teile häufig hohe Reparatur- oder Wartungskosten. Als Beispiele können Kupplungen, Motordichtungen oder auch die Abgasanlage genannt werden. Aufgrund deutlich weniger mechanisch oder thermisch beanspruchter Teile ist zu erwarten, dass diese Kosten bei reinen Elektrofahrzeugen geringer ausfallen.[252] Demgegenüber können bei Hybridfahrzeugen aufgrund der Mehrkomponenten sowie einer höheren Komplexität des Aufbaus sogar höhere Kosten anfallen. Im Übrigen könnte auch eine nach Antriebsart differenzierte Ausgestaltung der Entgelte für die Nutzung weiterer komplementärer Güter, wie insbesondere des Straßen- und Parkraumes, einen Einfluss auf die laufenden Kosten der Nutzung kann haben.

Abschließend ist anzumerken, dass die Kosten der Nutzung zu wesentlichen Teilen von Entscheidungen der öffentlichen Hand hinsichtlich der Ausgestaltung von Steuern und Entgelten abhängig sind. So wird insbesondere die Entwicklung der von Konsumenten zu entrichtenden Energiepreise in hohem Maße von Entscheidungen der öffentlichen Hand beeinflusst. Aber auch weitere Bereiche, wie die Kfz-Steuer, die Mauterhebung, Parkgebühren etc., haben potenziell signifikanten Einfluss auf die Nutzerentscheidungen. Diesbezüglich ist von Bedeutung, dass bei einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung, potenzielle monetäre (Kauf-)Anreize, die mit einer Reduzierung entsprechender Steuern oder Entgelte gesetzt werden, i. d. R. mit Nachteilen für andere Bereiche einhergehen.[253]

3.3.1.2.2 Eigenschaften des Ladeinfrastruktur-Subsystems

Im Rahmen dieses Abschnitts erfolgt eine allgemeine Darstellung von Eigenschaften des Ladeinfrastruktursystems, die Einfluss auf die Modalwahl von Nutzern haben können.[254] Wie auch im vorhergehenden Abschnitt erfolgt dabei eine Unterscheidung nach Qualitäts- und Kostenmerkmalen.

QUALITÄTSMERKMALE

Im Folgenden werden (potenzielle) Eigenschaften eines Ladeinfrastruktursystems vor dem Hintergrund der in Abschnitt 3.3.1.1.1 dargestellten Nutzerpräferenzen thematisiert.

---

[251] Bei unterstellten Verbräuchen von 6/100 l/km eines ICE-Fahrzeugs und 17/100 kWh/km eines BEV sowie angenommenen Energiepreisen von 1,50 € pro l Mineralöltreibstoff und 0,20 € pro kWh Strom ergibt sich ein Kostenvorteil des BEV von 5,60 € pro 100 km (bzw. eine Einsparung von 62 % pro km). Bei einer jährlichen Fahrleistung von 15.000 km ergäben sich für einen Nutzer Energiekosten-Einsparungen i. H. v. ca. 840,- €.

[252] Vgl. BACKHAUS / DÖTHER / HEUPEL (2011, S. 44).

[253] Siehe dazu auch Abschnitt 3.3.1.2.3.

[254] Eine ausführliche Darstellung technischer Ausgestaltungsoptionen erfolgt in Abschnitt 3.3.

- **Anzahl und räumliche Verteilung von Ladepunkten**: Die Anzahl sowie die räumliche Verteilung von Ladepunkten wirken im Wesentlichen auf die Verfügbarkeit sowie die Verlässlichkeit von Ladeinfrastruktur und damit auf die Verfügbarkeit und Verlässlichkeit des Elektromobilitätssystems für bestimmte Wege. Die Anzahl der Ladepunkte (innerhalb eines Gebietes) hat wesentlichen Einfluss auf die Kapazität des Ladeinfrastruktursystems und somit auf potenzielle Nutzungskonflikte. Um bei steigenden Nutzerzahlen ein Qualitätsniveau zu halten, ist eine höhere Kapazität erforderlich.

  Es ist somit anzunehmen, dass Nutzer ein dichtes bzw. engmaschiges Ladeinfrastrukturnetzwerk bevorzugen, da die Wahrscheinlichkeit einer Lademöglichkeit (in räumlicher Nähe) dann größer ist. Nicht vorhandene (oder durch andere Nutzer belegte) Ladeinfrastruktur (z. B. innerhalb eines bestimmten Gebietes) würde zu einer Nicht-Verfügbarkeit des Elektromobilitätssystems (in entsprechendem Gebiet) führen. Dabei bestehen wiederum Interdependenzen mit der Fahrzeugreichweite.

- **Ladegeschwindigkeit bzw. -leistung**: Die Relevanz der (von der Wahl der technischen Ausgestaltungsoption abhängigen) Ladegeschwindigkeit ist zunächst hinsichtlich des Kriteriums der Wegezeit bzw. Wartezeit einzuordnen. Dabei ist der bereits oben mit Bezug zur Fahrzeugreichweite beschriebene Zusammenhang zwischen der benötigten Wegezeit und der Zeit, die für die Beladung eines Elektrofahrzeugs aufgewendet werden muss, zu berücksichtigen.

  Darüber hinaus hat die Ladegeschwindigkeit Einfluss auf die Verlässlichkeit und Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur, da mit einer höheren Leistung grundsätzlich die Kapazität erhöht wird. Dieses setzt jedoch voraus, dass Nutzer nach Beendigung des Ladevorgangs den Ladepunkt auch wieder freigeben, was durch entsprechende Anreize oder Regeln unterstützt werden kann. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass ein potenzielles „Umparken“ des Fahrzeugs mit einem zusätzlichen Zeitaufwand für Nutzer einhergeht.[255]

- **Nutzungskomfort**: Ladeinfrastrukturkonzepte können sich vor allem aufgrund unterschiedlicher technischer Prinzipien hinsichtlich des Nutzungskomforts unterscheiden. So versprechen beispielsweise kabellose Ladeverfahren einen Komfortgewinn.[256] Darüber hinaus dürften aber auch gewisse Routineaspekte sowie die räumlichen Gegebenheiten von Bedeutung sein. Beispielsweise erscheint es möglich, dass einige Nutzer eine Beladung auf dem privaten Stellplatz einer Beladung im öffentlichen Bereich vorziehen. Für den Nutzungskomfort sind darüber hinaus auch die Nutzungsbedingungen, wie insbesondere die Ausgestaltung des Abrechnungs- und Bezahlsystems, von Bedeutung.

[255] Siehe für eine ausführlichere Diskussion des Qualitätseinflusses von Schnellladung Abschnitt 3.3.2.1.2. Eine Diskussion verschiedener Regeln für die Nutzung von Ladepunkten erfolgt in Abschnitt 8.3.2 in Zusammenhang mit der Bepreisung.

[256] Vgl. PAPENDICK ET AL. (2011, S. 5 ff.).

KOSTENMERKMALE

Die Kosten von Ladeinfrastruktur können ebenfalls konzeptionell in Anfangsinvestitionen und laufende Kosten unterschieden werden. Dabei beeinflussen die verschiedenen technischen Ausgestaltungsoptionen die Kostenhöhe eines Ladepunktes. Diese werden in Abschnitt 3.4.2.2 dargestellt. An dieser Stelle kann vorweggenommen werden, dass eine höhere Ladegeschwindigkeit i. d. R. mit höheren Anfangsinvestitionen einhergeht (bei unterstellter gleichbleibender Anzahl Ladepunkte) und der Einfluss der technischen Ausgestaltungsoptionen auf die laufenden Kosten gering ist.

3.3.1.2.3 Weitere Eigenschaften und Einflussnahme der öffentlichen Hand

Im Folgenden wird kurz auf weitere, für die Modalwahl von Nutzern potenziell relevante Eigenschaften des Elektromobilitätssystems eingegangen. Dabei werden zunächst kurz die Eigenschaften weiterer zentraler Güter thematisiert. Daran anschließend wird auf den möglichen Einfluss der öffentlichen Hand durch die Setzung entsprechender Anreize eingegangen.

EIGENSCHAFTEN WEITERER ZENTRALER GÜTER

Für die Qualität sowie für die Kosten der Nutzung des Elektromobilitätssystems sind neben den Eigenschaften des Ladeinfrastruktursystems und der Elektrofahrzeuge auch die Eigenschaften weiterer Güter von Relevanz, wie insbesondere die Eigenschaften des Straßen- und Parkraumes. So steigt die Attraktivität des Elektromobilitätssystems mit den Qualitätsmerkmalen dieser Güter. Gleiche Nutzungsregeln vorausgesetzt, gilt dieses jedoch auch für die Verbrennungskraft-Mobilität. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass Nutzer aller Antriebskonzepte von Kapazitätserweiterungen im Straßennetz profitieren. Für die Kosten der Nutzung des Straßen- und Parkraumes gelten ähnliche Überlegungen. Dabei sind insbesondere Interdependenzen zwischen Stellplätzen ohne Lademöglichkeit und solchen mit Lademöglichkeit zu berücksichtigen.[257] So ist es (in Abhängigkeit der Ausgestaltung von Regeln) denkbar, dass sich die Parkraumverfügbarkeit für konventionelle Pkw zu Gunsten von Elektrofahrzeugen verschlechtert.

Des Weiteren ist für das Elektromobilitätssystem auch die Ausgestaltung des Elektrizitätssystems von Relevanz. So geht z. B. der Ausbau erneuerbarer Energien mit geringeren CO_2-Emissionen beim Betrieb von Elektrofahrzeugen einher,[258] was wiederum Auswirkungen auf die Modalwahl haben kann.

EINFLUSS VON ENTSCHEIDUNGEN DER ÖFFENTLICHEN HAND

Wie bereits in den vorhergehenden Abschnitten an einzelnen Stellen kurz thematisiert, können Entscheidungen der öffentlichen Hand signifikanten Einfluss auf die Vorteilhaftigkeit verschiedener Mobilitätssysteme haben. Mit Bezug zur Elektromobilität werden insbesondere verschiedene monetäre

[257] Siehe dazu auch Abschnitt 8.3.2.

[258] Vgl. Abschnitt 2.3.1.1.

und nicht monetäre Fördermaßnahmen diskutiert. Im Folgenden werden kurz Beispiele für die beiden Bereiche genannt.

- **Monetäre Maßnahmen**: Im Bereich der monetären Maßnahmen werden häufig Veränderungen hinsichtlich der Besteuerung von Fahrzeugen und Energie sowie Anpassungen der Entgelterhebung für die Nutzung des Straßen- und Parkraumes diskutiert. Beispielsweise würde eine Erhöhung der Mineralölsteuer oder eine Befreiung elektrischer Antriebsenergie von der Mehrwertsteuer entsprechende Auswirkungen auf die individuell zu tragenden laufenden Kosten der jeweiligen Antriebskonzepte haben. Auch eine Reduzierung von Parkgebühren oder die Befreiung von der Kfz-Steuer für Elektrofahrzeuge hätte (bzw. hat) eine entsprechende Wirkung.[259] Eine sog. Kaufprämie für Elektrofahrzeuge würde hingegen die vom Nutzer zu tragenden Investitionskosten senken.

- **Nicht-monetäre Maßnahmen**: Diese Maßnahmen zielen vor allem auf die Privilegierung von Elektrofahrzeugen bei der Nutzung des Straßen- und Parkraumes ab. So hat beispielsweise die Stadt Amsterdam für Käufer von Elektrofahrzeugen ein beschleunigtes Verfahren zur Vergabe einer Parkgenehmigung etabliert, wodurch die Verfügbarkeit des Elektromobilitätssystems (über die Verfügbarkeit von Parkraum) gesteigert und damit signifikante Kaufanreize gesetzt wurden. Ein weiteres Beispiel für diesen Bereich ist die in Deutschland diskutierte Freigabe von Busspuren für Elektrofahrzeuge.

Es ist anzumerken, dass bei einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung angenommene positive Effekte von monetären und nicht-monetären Maßnahmen auf den Elektromobilitätsbereich i. d. R. mit Nachteilen für andere Bereiche einhergehen. Bei monetären Maßnahmen ist dieses bei einer unterstellten Restriktion des Gesamtbudgets der öffentlichen Hand ersichtlich. Nicht monetäre Maßnahmen würden Kosten vor allem bei anderen Verkehrsteilnehmern hervorrufen. So würde eine Freigabe von Busspuren für Elektrofahrzeuge potenziell negative Auswirkungen (in Form von Fahrzeitverlängerungen) auf Nutzer des ÖPNV haben.

3.3.2 Bedeutung öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur

Auf Basis der im vorhergehenden Abschnitt 3.3.1 thematisierten Entscheidungskriterien von Nutzern bei der Modalwahl sowie der potenziellen Eigenschaften des Elektromobilitätssystems wird innerhalb dieses Abschnitts die Bedeutung öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur als Teil eines Elektromobilitätssystems diskutiert.[260] Im folgenden Abschnitt 3.3.2.1 wird zunächst der Einfluss von öffentlicher Ladeinfrastruktur (ÖLI) auf die Modalwahl dargestellt. Im anschließenden Abschnitt 3.3.2.2

[259] Per Bundestagsbeschluss vom Oktober 2012 wurde das Kraftfahrzeugsteuergesetz so angepasst, dass reine Elektrofahrzeuge mit Erstzulassung vom 18. Mai 2011 bis 31. Dezember 2015 für 10 Jahre von der Kfz-Steuer befreit sind.

[260] Es ist anzumerken, dass im Folgenden auf öffentliche Ladeinfrastruktur fokussiert wird, die Betrachtungen grundsätzlich jedoch auch für halböffentliche Ladeinfrastruktur gültig sind; vgl. Abschnitt 3.1 für die verschiedenen Begrifflichkeiten.

wird kurz auf weitere Nutzenpotenziale von ÖLI, wie beispielsweise im Zusammenhang mit der Erschließung von Nutzergruppen ohne eigenen Stellplatz, eingegangen.

3.3.2.1 Einfluss auf die Modalwahl

Wie bereits im Rahmen von Abschnitt 3.3.1.2 in Bezug auf die Eigenschaften von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur dargestellt, existieren vielfältige Interdependenzen zwischen der Reichweite von Elektrofahrzeugen, der räumlichen Verteilung und Anzahl der Ladepunkte sowie den Wartezeiten von Nutzern für den Beladevorgang und der Ladegeschwindigkeit. In den beiden folgenden Abschnitten werden die verschiedenen Interdependenzen genauer analysiert, um später Aussagen hinsichtlich der Bedeutung von ÖLI bei der Modalwahl treffen zu können. Dabei wird zunächst in Abschnitt 3.3.2.1.1 auf den Zusammenhang zwischen Ladeinfrastrukturdichte und elektrischem Fahrmodus eingegangen. Daran anschließend wird in Abschnitt 3.3.2.1.2 die Bedeutung der Ladegeschwindigkeit thematisiert. Abschnitt 3.3.2.1.3 geht kurz auf empirische Erkenntnisse zur Bedeutung von ÖLI ein, bevor in Abschnitt 3.3.2.1.4 ein Fazit gezogen wird.

3.3.2.1.1 Einfluss von Anzahl und räumlicher Verteilung der Ladepunkte (Ladeinfrastrukturdichte)

Im Folgenden wird zunächst auf den grundlegenden Zusammenhang zwischen Ladeinfrastruktur und elektrischer Reichweite eingegangen, wobei die Frage der Ladegeschwindigkeit noch ausgeklammert wird. Auf Basis des vorhergehenden Abschnitts 3.3.1 kann zusammengefasst werden, dass ein dichtes Ladeinfrastrukturnetzwerk (hohe räumliche Abdeckung und Kapazität) die Attraktivität des Elektromobilitätssystems und somit auch die Bereitschaft von Nutzern für den Kauf eines Elektrofahrzeugs steigert.[261] Damit führt ein dichteres Ladeinfrastrukturnetzwerk dazu, dass in einer gesamthaften Betrachtung mehr Wege im elektrischen Modus gefahren werden.

Dieser Zusammenhang kann auch mit dem Wert von Mobilitätsoptionen für den Nutzer bzw. mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit erklärt werden.[262] So stellt der Kauf eines Fahrzeugs eine Anfangsinvestition dar, die in Abhängigkeit des jeweiligen Systems die Bewältigung verschiedener Wege ermöglicht, also Mobilitätsoptionen eröffnet. Es kann unterstellt werden, dass ein wesentlicher Wert von ICE-Fahrzeugen für Nutzer darin liegt, auch spontan eine Vielzahl von Zielen ohne aufwendige vorherige Planung erreichen zu können. Diese Optionsvielfalt (bzw. hohe zeitliche und räumliche Verfügbarkeit des Systems) wird durch die große Reichweite sowie durch ein gut ausgebautes Tankstellennetz ermöglicht. Betrachtet man Elektromobilität als Alternative bei der Modalwahl, erscheint es plausibel, dass mit dem System ein ähnliches Spektrum an Mobilitätsoptionen verbunden sein muss, um eine entsprechende Nutzerentscheidung zu

[261] Vgl. insbesondere Abschnitt 3.3.1.1.1 sowie Abschnitt 3.3.1.2.2.

[262] Vgl. für eine analoge Argumentation über den Wert von Mobilitätsoptionen BECKERS ET AL. (2011, S. 4 f.).

unterstützen, was die Bereitstellung einer gewissen räumlich verteilten Ladeinfrastrukturkapazität voraussetzt.

In Bezug auf die Wahl des Antriebskonzeptes von Elektrofahrzeugen kann außerdem unterstellt werden, dass der Ausbau von Ladeinfrastruktur die Notwendigkeit von Hybridfahrzeugen senkt, da reine Elektrofahrzeuge bei einer hohen Dichte des Ladeinfrastruktursystems ähnliche Mobilitätsoptionen eröffnen, wobei ggf. Wartezeiten zu berücksichtigen sind.

3.3.2.1.2 Einfluss der Ladegeschwindigkeit

Im Folgenden wird zunächst auf die Interdependenz von Reichweite und Ladegeschwindigkeit eingegangen. Darauf aufbauend wird eine mögliche Interdependenz zwischen Ladeinfrastrukturdichte und Ladegeschwindigkeit diskutiert.

Ein wesentliches Entscheidungskriterium der Nutzer stellt eine möglichst geringe Wegezeit dar.[263] Dabei sind auch Wartezeiten (insbesondere für den Ladevorgang) zu berücksichtigen, die die Wegezeit verlängern. Eine höhere Ladegeschwindigkeit kann die Wartezeiten von Nutzern in bestimmten, im Folgenden kurz beschrieben Situationen verringern:

- **Parkzeit reicht nicht aus**: Hier wird angenommen, dass der Beladevorgang während eines normalen Parkvorgangs stattfindet, der Nutzer also nicht an das Fahrzeug gebunden ist, sondern seine Zeit anderweitig verwenden kann. Je nach Länge der Parkdauer und anschließend (ohne weitere Ladung) zu absolvierender Distanz kann es dabei in Abhängigkeit der Ladegeschwindigkeit zu Fällen kommen, in denen die Parkzeit zu kurz ist, um die für die weiteren Wege benötigte Energiemenge aufzunehmen. Eine höhere Ladeleistung würde bei gleichbleibender Parkzeit die geladene Energiemenge erhöhen (entsprechende Batteriekapazitäten vorausgesetzt). Somit würde dem Nutzer keine oder eine geringere Wartezeit entstehen.

- **Reichweite reicht nicht aus**: Hier wird unterstellt, dass die Wegedistanz die Fahrzeugreichweite überschreitet, also ein Zwischenhalt zum Zweck der Beladung notwendig ist. In einem solchen Fall wird durch eine höhere Ladeleistung die für die Beladung notwendige Wartezeit reduziert.

Es wird zunächst deutlich, dass in Situationen, in denen die Parkzeit länger als die benötigte Ladezeit oder die Wegdistanz geringer als die Fahrzeugreichweite ist, höhere Ladegeschwindigkeiten nicht unbedingt mit einer höheren Qualität einhergehen. Auf dieser Basis kann hinterfragt werden, ob Schnellladem öglichkeiten (mit einer ausreichenden räumlichen Verteilung) ein Substitut für eine höhere Anzahl an Ladeeinheiten sein können. Mit einer höheren Ladegeschwindigkeit steigt

[263] Vgl. Abschnitt 3.3.1.1.1.

grundsätzlich die Kapazität eines einzelnen Ladepunktes, da Ladedauern kürzer werden.[264] Dementsprechend erscheint eine gleichbleibende Qualität mit weniger aber dafür schnelleren Ladepunkten grundsätzlich möglich. Dabei müssten jedoch die Nutzer nach Beendigung des Ladevorgangs den Ladepunkt wieder freigeben. Das kann dazu führen, dass die Zeit des Ladevorgangs nur in begrenztem Maße für weitere Aktivitäten genutzt werden kann, also analog zu einem konventionellen Tankvorgang Wartezeiten entstehen. Berücksichtigt man zusätzlich, dass die (elektrischen) Reichweiten von Elektrofahrzeugen deutlich geringer sind als die Reichweite konventionell angetriebener Fahrzeuge, würden diese Wartezeiten deutlich häufiger entstehen, wenn als Lademöglichkeit ausschließlich Schnellladesysteme zur Verfügung stehen, die unmittelbar nach Beendigung des Ladevorgangs wieder freizugeben sind.

Somit kann zusammengefasst werden, dass schnelle Lademöglichkeiten vor allem auf Wegen einen Nutzen stiften, deren Distanzen größer als die Fahrzeugreichweiten sind. Weiterhin erscheint es plausibel, dass dort, wo Parkzeiten vergleichsweise kurz sind, schnellere Lademöglichkeiten einen höheren Nutzen haben als dort, wo Parkzeiten sehr lang sind, da Fälle, in denen die Parkzeit für eine Aufnahme der benötigten Energiemenge nicht ausreicht, seltener wären.[265]

3.3.2.1.3 Empirische Erkenntnisse

In der Literatur wird die Bedeutung von Ladeinfrastruktur und insbesondere öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur z. T. kontrovers diskutiert. Im Folgenden werden kurz relevante Ergebnisse wiedergegeben und in den obigen Kontext gestellt.

SUBSTITUTIVER ODER KOMPLEMENTÄRER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ÖLI UND REICHWEITE

Grundsätzlich kann hinterfragt werden, inwiefern ein substitutiver oder komplementärer Zusammenhang zwischen der Dichte eines Ladeinfrastrukturnetzwerks und der elektrischen Reichweite von Elektrofahrzeugen (bzw. der Batteriegröße) besteht. Ein substitutiver Zusammenhang würde z. B. vorliegen, wenn ein dichtes Ladeinfrastrukturnetzwerk dazu führt, dass Nutzer weniger Zahlungsbereitschaft für elektrische Reichweite aufweisen, da sie die Möglichkeit der Zwischenladung in Erwägung ziehen. Demgegenüber würde ein komplementärer Zusammenhang bestehen, wenn ein dichtes Ladeinfrastrukturnetzwerk die Zahlungsbereitschaft für elektrische Reichweite steigert.

ITO /TAKEUCHI / MANAGI (2013) untersuchen auf Basis eines Stated Preference Surveys im japanischen Markt den Zusammenhang zwischen Attributen von Elektrofahrzeugen sowie dem Ladeinfrastrukturausbau.[266] Dabei verwenden die Autoren die Zahlungsbereitschaft der Nutzer für

[264] Siehe Abschnitt 3.4.2.1 für eine Darstellung der Ladedauern unterschiedlicher Ladeverfahren.

[265] Es ist anzumerken, dass innerhalb dieses Abschnitts keine Transaktionskosten, die im Rahmen des Aufbaus von öffentlicher Ladeinfrastruktur im föderalen System entstehen, berücksichtigt wurden. Es erscheint jedoch möglich, dass ein Aufbau von Schnellladeinfrastruktur (insbesondere im halböffentlichen Raum) mit geringeren Transaktionskosten einhergeht. Siehe zu dieser Thematik Abschnitt 9.1 sowie Abschnitt 9.2.

[266] Vgl. ITO / TAKEUCHI / MANAGI (2013).

Elektrofahrzeuge als wesentlichen Indikator und gehen implizit davon aus, dass die Zahlungsbereitschaft für das Elektromobilitätssystem der Zahlungsbereitschaft für Elektrofahrzeuge entspricht. Für die Nutzung von Ladeinfrastruktur werden keine Entgelte angenommen. Als Attribute des Systems werden u. a. unterschiedliche Fahrzeugreichweiten sowie unterschiedliche Ladeinfrastruktur-Ausbaulevel („Fuel Availability“) angenommen.[267] Außerdem werden drei Ladegeschwindigkeiten nach der Zeit, die für eine Batteriefüllung benötigt wird (8 Stunden, 30 Minuten und 5 Minuten), unterschieden.

Ein wesentliches Ergebnis der Untersuchung beschreibt den Einfluss von Investitionen in Ladeinfrastruktur auf die Zahlungsbereitschaft der Nutzer für elektrische Reichweite.[268] Demnach steigern Investitionen in den Ladeinfrastrukturausbau die Zahlungsbereitschaft für elektrische Reichweite. Es wird also ein komplementärer Zusammenhang festgestellt, der von den Autoren vor dem Hintergrund der (vorgelagerten) Modalwahl erklärt wird.[269] So dürften Nutzer (bzw. die Teilnehmer der Studie) bei einem unzureichenden Infrastrukturausbau zunehmend andere Modi (z. B. den ÖPNV) vorziehen. Elektrische Reichweite wäre demnach entsprechend unbedeutender und die Zahlungsbereitschaft sinkt. Darüber hinaus kommen die Autoren zu dem Schluss, dass eine substitutive Beziehung zwischen Ladeinfrastruktur und Reichweite in Fällen unterstellt werden kann, in denen keine anderen Optionen bei der Modalwahl zur Verfügung stehen.

Diese Ergebnisse unterstützen die in Abschnitt 3.3.2.1.1 geführte Diskussion zur Bedeutung einer hohen Ladeinfrastrukturdichte für die Modalwahl.

TYPISCHE DISTANZEN, REICHWEITE VON ELEKTROFAHRZEUGEN UND „REICHWEITENANGST“

Einige Ansätze zur Untersuchung des Bedarfes an ÖLI basieren auf der Analyse historischer Wegeprofile.[270] Dabei wird üblicherweise auf Daten zurückgegriffen, die einen relativ kurzen Zeitraum, wie beispielsweise eine Woche, beschreiben.[271] Auf dieser Basis lassen sich (ex post) Aussagen bzgl. des relativen Anteils von Wegen treffen, die mit der Reichweite eines Elektrofahrzeugs hätten zurückgelegt werden können. Dabei wird angenommen, dass Fahrzeuge auf privaten Stellplätzen laden können.

Diesen Ansatz zugrunde legend, kommen z. B. PWC / FH FFM / FRAUNHOFER LBF (2012) zu dem Ergebnis, dass unter Berücksichtigung der durchschnittlichen täglichen Wegstrecke „schon heute lediglich für eine kleine Minderheit der Autofahrer überhaupt ein Reichweitenproblem [besteht]“ und

[267] Vgl. ITO / TAKEUCHI / MANAGI (2013, S. 2 f.).

[268] Vgl. ITO / TAKEUCHI / MANAGI (2013, S. 7).

[269] Vgl. ITO / TAKEUCHI / MANAGI (2013, S. 8).

[270] Zu diesem Ansatz vgl. z. B. PWC / FH FFM / FRAUNHOFER LBF (2012, S. 127), KLEY (2011, S. 131) sowie KLEY / DALLINGER / WIETSCHEL (2010, S. 3).

[271] Das häufig verwendete deutsche Mobilitätspanel basiert z. B. auf Wochentagebüchern; vgl. VORTISCH ET AL. (2012, S. 10).

dass somit der Aufbau öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur nicht notwendig wäre, da „in den meisten Fällen nicht zwischengeladen werden muss.“[272]

Es ist anzumerken, dass dieser Ansatz verschiedene, oben dargestellte Zusammenhänge vernachlässigt. Zunächst ist bzgl. der Datengrundlage problematisch, dass Wege, die unregelmäßig bestritten werden (wie typischerweise vereinzelte Freizeit- oder Urlaubsverkehre mit Entfernungen jenseits der Reichweiten eines Elektrofahrzeugs), nicht bei allen Befragten innerhalb des Erhebungszeitraumes anfallen dürften. Damit könnte ein erheblicher Teil der Gruppe, für die elektromobiles Fahren gemäß oben dargestellten Ansatzes möglich ist, in einer anderen Woche zu der Gruppe gehören, deren Wegedistanzen höher als die Reichweite von Elektrofahrzeugen sind.[273] Auch der in Abschnitt 3.3.2.1.1 erläuterte Optionsnutzen wird systematisch unterschätzt, da lediglich tatsächlich zurückgelegte Wege berücksichtigt werden. Dabei unterstellen diese Ansätze häufig implizit, dass ein Aufbau von ÖLI nur erfolgt, wenn auch eine entsprechend hohe Nutzung vorliegt. Dabei wird vernachlässigt, dass auch die (abstrakte) Option auf einen Weg für Nutzer bereits einen Wert haben dürfte bzw. ein Elektromobilitätssystem, das keine flächendeckende Mobilität gewährleistet, aus der Nutzerperspektive potenziell unattraktiver ist als der konventionelle MIV.

Im Gegensatz zu Untersuchungen, die historische Wegeprofile zugrunde legen, kommen Untersuchungen auf Basis von Nutzerbefragungen häufig zu dem Ergebnis, dass ÖLI für Nutzer von hoher Bedeutung ist.[274] Dieser Widerspruch wird häufig mit der Existenz von „Reichweitenangst“ bei den Nutzern begründet,[275] wobei ebenfalls der Nutzen von Mobilitätsoptionen unberücksichtigt bleibt.[276]

Im Übrigen wird eine geringe Bedeutung einer räumlich ausgedehnten ÖLI häufig auch mit der Möglichkeit einer weitgehenden Etablierung von Hybridfahrzeugen begründet.[277] Dabei gilt es jedoch grundsätzlich zu berücksichtigen, dass im Umkehrschluss ÖLI auch die Notwendigkeit von Hybridfahrzeugen senkt (bzw. die Zahlungsbereitschaft für elektrische Reichweite erhöhen kann) und so fahrzeugseitige Kosten eingespart werden können.[278]

---

[272] PWC / FH FFM / FRAUNHOFER LBF (2012, S. 127).

[273] Die Situation kann anhand des folgenden Beispiels erläutert werden: Die Nutzer A und B wohnen in Dortmund und Berlin und besuchen sich wechselseitig an den Wochenenden, wobei die Distanz die Reichweite einer Batteriefüllung eines Elektrofahrzeugs übersteigt. In Woche 1 treffen sie sich in Dortmund, in Woche 2 findet das Treffen in Berlin statt. Wird nun eine Erhebung über den Zeitraum einer Woche durchgeführt, käme zumindest einer der beiden Nutzer als Käufer eines Elektrofahrzeugs in Frage, da er in der betrachteten Woche keine Fahrten durchführt, die die Reichweite eines Elektrofahrzeugs überschreiten.

[274] Vgl. z. B. NOW (2011a, S. 59) oder NPE (2012a, S. 39), die beide die Bedeutung für Nutzer betonen.

[275] Vgl. z. B. PWC / FH FFM / FRAUNHOFER LBF (2012, S. 126) für eine Begründung mit der Existenz von Reichweitenangst.

[276] In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass bei Nutzerbefragungen, die sich auf Erst- bzw. Testnutzer von Elektrofahrzeugen konzentrieren, eine gewisse Selbstselektion vorliegen kann, da diese Nutzer über einen Zugang zu Ladeinfrastruktur verfügen (sollten).

[277] Vgl. z. B. WEISS ET AL. (2012, S. 384).

[278] Vgl. Abschnitt 3.3.1.2.1 sowie für eine ähnliche Aussage KLEY (2011, S. 135).

3.3.2.1.4 Fazit

Auf Basis der Darstellungen und Analysen der vorhergehenden Abschnitte lässt sich festhalten, dass der Aufbau eines öffentlich zugänglichen Ladeinfrastrukturnetzwerks für eine weitgehende Substitution fossiler Energieträger im MIV notwendig erscheint. Davon ausgehend, dass potenzielle Nutzer das Elektromobilitätssystem als eine Alternative bei der Modalwahl betrachten, wird diese Alternative gegenüber konventionellen Fahrzeugen nur bei einer ähnlichen Angebotsqualität bzw. einem ähnlichen Verhältnis von (individuellen) Nutzen und Kosten attraktiv sein, wobei insbesondere auch der Wert von Mobilitätsoptionen von Bedeutung ist.

3.3.2.2 Weitere Nutzenpotenziale öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur

Im Folgenden wird kurz auf weitere Nutzenpotenziale von ÖLI eingegangen. Dabei wird in Abschnitt 3.3.2.2.1 zunächst die Bedeutung von ÖLI für die Erschließung von Nutzergruppen ohne eigenen Stellplatz thematisiert. Anschließend wird in Abschnitt 3.3.2.2.2 auf die Möglichkeit eingegangen, elektrische Verbraucher unabhängig vom Batteriestrom zu betreiben. Der abschließende Abschnitt 3.3.2.2.3 geht auf sonstige eventuelle Nutzenpotenziale ein.

3.3.2.2.1 Bedeutung für die Erschließung von Nutzergruppen ohne eigenen Stellplatz

Insbesondere in urbanen Ballungsgebieten verfügen viele Pkw-Nutzer über keinen eigenen Stellplatz, sondern parken am Wohnort auf öffentlichen Stellplätzen. Diese Gruppe wird häufig auch als „Laternenparker“ bezeichnet.[279] Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Besitzer eines Pkw Mobilitätsoptionen vergleichsweise hoch bewerten, was bedeutet, dass die Verfügbarkeit bzw. Einsatzfähigkeit des Pkw von hoher Bedeutung ist. Eine Lademöglichkeit am Wohnort (der regelmäßig Startort beliebiger Wege ist) geht einher mit einer höchstmöglichen elektrischen Reichweite des Fahrzeugs und ermöglicht somit weitgehendere Mobilitätsoptionen vom Wohnort. Im Umkehrschluss kann davon ausgegangen werden, dass ohne eine Lademöglichkeit am Wohnort der Wert des Elektromobilitätssystems im Vergleich zum konventionellen MIV geringer ist. Ohne ÖLI am Wohnort dürfte die Erschließung von Laternenparkern als Nutzergruppe somit nur schwer möglich sein.

In diesem Zusammenhang ist allerdings zu hinterfragen, ob Laternenparker Überschneidungen mit typischen Nutzern von Elektrofahrzeugen aufweisen. So sind Elektrofahrzeuge aufgrund der höheren Anfangsinvestitionen in Verbindung mit geringeren laufenden Kosten für Nutzer mit höheren Jahresfahrleistungen früher attraktiv.[280]

[279] Vgl. z. B. MATTHIES / STRICKER / TRAENCKNER (2010, S. 10).

[280] Siehe für eine ausführlichere Diskussion Abschnitt 3.3.3.

3.3.2.2.2 Entkoppelung von antriebsunabhängigem Energiebedarf

Wie im Rahmen von Abschnitt 3.3.1.2.1 mit Bezug zu Komforteigenschaften von Elektrofahrzeugen beschrieben, reduzieren elektrische Verbraucher die Reichweite des Fahrzeugs, wenn sie mit Batteriestrom betrieben werden. Bei einem bestehenden Anschluss an das Stromnetz können durch verschiedene Anwendungen Batterieenergie und / oder Kosten gespart werden. Im Folgenden werden kurz zwei Beispiele erläutert:

- Problematisch für BEV ist insbesondere der Betrieb der Klimaanlage sowie der Heizung mit Batteriestrom, da beide Aggregate relativ viel Energie benötigen. Bei einer bestehenden Verbindung mit dem Stromnetz (über entsprechende Ladeinfrastruktur) ist es möglich, die Fahrgastkabine vor Fahrtantritt elektrisch zu heizen oder zu kühlen, ohne dafür Batteriestrom zu nutzen. Somit würde die für den Antrieb zur Verfügung stehende Energiemenge geschont.

- Eine weitere Anwendung für die eine Verbindung mit dem Stromnetz von Bedeutung sein kann, ist die Vorkonditionierung der Batterie. So ist die Batteriealterung auch vom Temperaturbereich abhängig, in der die Batterie be- oder entladen wird. Eine entsprechende Temperierung vor Fahrtantritt kann somit die Batteriealterung verringern.

Ein dichtes Infrastrukturnetzwerk würde Nutzern ermöglichen, obige Beispiele häufiger umzusetzen und damit Kosten der Batteriealterung zu sparen sowie die Reichweite zu steigern.

3.3.2.2.3 Sonstige Nutzenpotenziale

Weitere Nutzenpotenziale von ÖLI betreffen insbesondere Interdependenzen mit dem energiewirtschaftlichen System. So steigt das Potenzial der Nutzung von Fahrzeugbatterien für Anwendungen im energiewirtschaftlichen Bereich mit der Anzahl und Größe der Fahrzeugbatterien sowie der Häufigkeit bzw. Dauer der Verbindungen zum Stromnetz.[281] Wie in Abschnitt 3.3.2.1 dargestellt wurde, kann ein dichteres Ladeinfrastrukturnetzwerk sowohl auf die Fahrzeuganzahl als auch auf die von den Nutzern präferierte elektrische Reichweite (und damit auf die Batteriegröße) einen positiven Einfluss haben. Außerdem kann unterstellt werden, dass ein dichteres Ladeinfrastrukturnetzwerk aufgrund der höheren Verfügbarkeit auch zu häufigeren Verbindungen mit dem Stromnetz führt.

Ein weiterer Effekt von ÖLI kann in einer potenziellen Erhöhung der Akzeptanz von Elektromobilität aufgrund einer gewissen Signalwirkung gesehen werden. So könnten potenzielle Nutzer durch die Existenz von ÖLI darauf aufmerksam gemacht werden, dass Elektromobilität technisch umsetzbar ist bzw. bereits umgesetzt wurde.[282]

---

[281] Vgl. für eine Darstellung potenzieller Anwendungen Abschnitt 3.2.1.1.

[282] Vgl. SLATER ET AL. (2009, S. 9).

3.3.3 Potenzielle Erstnutzer der Elektromobilität

Im Rahmen des obenstehenden Abschnitts 3.3.1 wurden Auswahlentscheidungen potenzieller Nutzer allgemein thematisiert, ohne einzelne Nutzergruppen zu differenzieren. Dabei wurde bereits darauf hingewiesen, dass einzelne Nutzer oder Nutzergruppen stark unterschiedliche Mobilitätsbedürfnisse (bzw. unterschiedliche Wegeprofile) und damit unterschiedliche Präferenzen in Bezug auf das Mobilitätssystem haben können. Aufgrund verschiedener Kostenfunktionen bzw. Entgeltstrukturen der verschiedenen Mobilitätssysteme, führen verschiedene Mobilitätsbedürfnisse auch zu unterschiedlichen individuell zu tragenden Kosten, die wiederum Einfluss auf die Modalwahl haben. Im Übrigen können auch Nutzerpräferenzen, die keinen unmittelbaren Bezug zu Mobilitätsbedürfnissen haben, die Modalwahl beeinflussen.

Unter der (realitätsnahen) Annahme, dass Nachteile, die das Gesamtsystem der Elektromobilität noch aufweist, zukünftig abgebaut werden, existieren Nutzergruppen, für die Elektromobilität bereits in frühen Phasen der Einführung von Elektromobilität vorteilhaft sein kann, während sich für andere Nutzer eine Vorteilhaftigkeit potenziell erst später einstellt.

Im folgenden Abschnitt 3.3.3.1 werden zunächst nutzerbezogene Eigenschaften dargestellt, die eine Vorteilhaftigkeit des Elektromobilitätssystems bereits in der Einführungsphase begünstigen. Daran anschließen werden in Abschnitt 3.3.3.2 konkret potenzielle Erstnutzergruppen benannt.

3.3.3.1 Eigenschaften potenzieller Erstnutzer

Aus der Beschreibung der Eigenschaften des Elektromobilitätssystems in Abschnitt 3.3.1.2 lassen sich einige grundlegende Schlussfolgerungen ziehen, die an dieser Stelle von Bedeutung sind. Diese werden im Folgenden kurz dargestellt:

- **Hohe (elektrische) Fahrleistung**: Aufgrund der im Vergleich zu ICE-Fahrzeugen höheren Anfangsinvestition und der geringeren laufenden Kosten, erzielen Elektrofahrzeuge erst ab einer gewissen Fahrleistung einen Kostenvorteil gegenüber ICE-Fahrzeugen.

- **Geringer Anteil an Langstrecken**: Da die Reichweite von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu ICE-Fahrzeugen geringer ist, müssten Nutzer, die häufig Wege zurücklegen, deren Distanz die Reichweite des Fahrzeugs überschreitet, Wartezeiten für die Beladung in Kauf nehmen. Diese können durch höhere Ladegeschwindigkeiten reduziert werden, wodurch dieser Faktor etwas an Bedeutung verlieren würde. Auch die Verfügbarkeit eines weiteren Fahrzeugs (Zweitwagens), mit dem unregelmäßig längere Wege gefahren werden können, reduziert die Bedeutung dieses Faktors.

- **Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur am regelmäßigen Stellplatz**: Wie bereits in Abschnitt 3.3.2.2.3 mit Bezug zu Laternenparkern dargestellt, erhöht die Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur am regelmäßigen Stellplatz (z. B. am Wohnort) den Nutzen von Mobilitätsoptionen und senkt somit Kaufbarrieren.

- **Know-how hinsichtlich der Bewertung zukünftiger Nutzen- und Kostenkomponenten**: Für die Bewertung des Vorteils einer höheren Anfangsinvestition gegenüber Einsparungen bei den laufenden Kosten sind gewisses Know-how und Informationen notwendig.[283] Für deren Aufbau bzw. Beschaffung können Ressourcen notwendig sein, die eher bei Unternehmen als bei Privatnutzern vermutet werden können.

- **Weitere Eigenschaften**: Neben den hier dargestellten Eigenschaften können eine Reihe weiterer Faktoren von Bedeutung sein, die zumeist keinen direkten Einfluss auf eine TCO-Betrachtung oder Mobilitätsoptionen haben. Als Beispiele können an dieser Stelle Umweltfreundlichkeit oder die Innovationsaffinität genannt werden.[284] Auch das Einkommen sowie das Alter kann die Entscheidung bei der Modalwahl beeinflussen.[285]

Unter Berücksichtigung dieser Eigenschaften können nun Gruppen identifiziert werden, die potenzielle Erstnutzer der Elektromobilität darstellen.

3.3.3.2 Potenzielle Nutzergruppen

Im Folgenden werden beispielhaft Kundengruppen genannt, auf die die im vorhergehenden Abschnitt erläuterten Eigenschaften zumindest teilweise zutreffen. Dabei ist anzumerken, dass der Aufbau von Ladeinfrastruktur, wie oben dargestellt, signifikanten Einfluss auf die Erschließung von Nutzergruppen hat.

FLOTTENKUNDEN MIT HOHEM INNERORTSANTEIL

Flotten des städtischen Wirtschaftsverkehrs, wie beispielsweise von Lieferdiensten, Pflegediensten oder anderen Organisationen, die für die Erbringung ihrer Leistungen Fahrzeuge im städtischen MIV einsetzen, kommen häufig auf hohe Fahrleistungen. Gleichzeitig ist der Anteil an Langstrecken (annahmegemäß) geringer. Häufig verfügen diese Organisationen auch über eigene (private) Stellplätze für ihre Fahrzeuge, die sich ggf. mit Lademöglichkeiten (wenn nicht ohnehin vorhanden) ausrüsten lassen. Hinzu kommt, dass Unternehmen im Vergleich zu Privatpersonen häufig über Know-how verfügen dürften, mit dem ein potenzieller längerfristiger Kostenvorteil erkannt werden kann. Außerdem kann der Einsatz von Elektrofahrzeugen mit positiven Effekten bzgl. der eigenen Außendarstellung einhergehen.

PENDLER

Eine weitere mögliche Erstnutzergruppe stellen Pendler dar, die für den täglichen Weg zur Arbeit einen Pkw nutzen. Für diese Gruppe kann zunächst eine hohe Fahrleistung angenommen werden. Des Weiteren wohnen Pendler häufig in Vororten größerer Städte und verfügen dort i. d. R. über einen

[283] Vgl. dazu Abschnitt 3.3.1.1.3.

[284] Vgl. HIDRUE ET AL. (2011, S. 19).

[285] Vgl. HABIB / DAY / MILLER (2009, S. 648 f.).

privaten Stellplatz, an dem ggf. eine Lademöglichkeit besteht oder der entsprechend ausgestattet werden kann. Auch am Arbeitsplatz kann die Möglichkeit bestehen, ein Elektrofahrzeug zu laden. Schließlich können innerhalb der Gruppe der Pendler weitere Gruppen unterschieden werden, die weitere Eigenschaften aufweisen, welche den Kauf eines Elektrofahrzeugs potenziell begünstigen. So können die Haushalte der Pendler z. B. über einen Zweitwagen verfügen.

WEITERE POTENZIELLE ERSTNUTZER

Auf Basis der in Abschnitt 3.3.3.1 dargestellten Eigenschaften potenzieller Erstnutzer sind vielfältige weitere Nutzergruppen denkbar. Grundsätzlich erscheint es möglich, dass Faktoren, die insbesondere Kostenaspekte beeinflussen (wie z. B. die Fahrleistung), bei einzelnen Nutzergruppen von geringerer Bedeutung sind und „weichere“ Faktoren in den Vordergrund treten. Beispielsweise identifizieren WIETSCHEL ET AL. (2012) unter Berücksichtigung psychologischer und soziodemografscher Faktoren eine Gruppe potenzieller Erstnutzer, deren Entscheidung nicht vorrangig durch wirtschaftliche Überlegungen beeinflusst wird, sondern eher durch weiche Faktoren, wie z. B. Umweltfreundlichkeit oder Individualismus.[286] Diese Gruppe besteht überwiegend aus Männern im Alter von 40 bis 50 Jahren, die in ländlichen Gebieten wohnhaft sind, eine hohe Technikaffinität aufweisen und deren Haushalte über mehrere Pkw verfügen.

EXKURS: CARSHARING-UNTERNEHMEN

Häufig werden Carsharing-Unternehmen bzw. deren Kunden als potenzielle Erstnutzer der Elektromobilität diskutiert. Carsharing-Konzepte beabsichtigen u. a. eine höhere Auslastung der eingesetzten Fahrzeuge, als dieses bei Fahrzeugen der Fall ist, die im Eigentum von Privatnutzern sind. Somit können grundsätzlich (analog zu den oben beschriebenen Flottenkunden) höhere Jahresfahrleistungen unterstellt werden. Auch weitere in Bezug auf Flottenkunden diskutierte Faktoren können analog für Carsharing-Unternehmen angenommen werden, wie insbesondere die Verfügbarkeit von Ressourcen für eine TCO-Betrachtung sowie potenzielle Vorteile bei der Außendarstellung.

Grundlegende Unterschiede zu den oben beschriebenen Flottenkunden bestehen hinsichtlich der Stellplätze. Hier lassen sich Carsharing-Angebote nach Konzepten mit festen Standorten und solchen, bei denen die Stellplätze von den Kunden innerhalb bestimmter Gebiete frei gewählt werden können, unterscheiden. Während bei festen Stellplätzen wiederum relativ einfach garantiert verfügbare Lademöglichkeiten geschaffen werden können, ist dieses bei freier Stellplatzwahl nicht möglich. In letzterem Fall würden den Kunden des Carsharing-Unternehmens ggf. zusätzliche Wege- bzw. Wegezeiten entstehen, um ein Fahrzeug an Stellplätzen mit Lademöglichkeit zu parken. Um diese bei

[286] Vgl. WIETSCHEL ET AL. (2012, S. 25).

den Kunden entstehenden Nachteile bzw. Kosten auszugleichen dürften bestimmte Kompensationen oder andere Anreize notwendig sein.[287]

Unabhängig von der Stellplatzdiskussion gilt es zu hinterfragen, inwieweit die Kunden von Carsharing-Unternehmen auf den Einsatz von Elektrofahrzeugen reagieren. Dabei ist die Frage der Entgeltgestaltung des Carsharing-Unternehmens von Bedeutung. In Fällen, in denen die Nutzung eines Elektrofahrzeugs von einem Kunden im Vergleich zu einem ICE-Fahrzeug als qualitativ schwächer bewertet wird (z. B. aufgrund von Komforteinbußen), dürfte dieser auch eine entsprechend geringere Zahlungsbereitschaft aufweisen.

3.4 Technische Ausgestaltungsoptionen für das Angebot öffentlicher Ladeinfrastruktur

Die in diesem Abschnitt behandelten technischen Ausgestaltungsoptionen sind zum einen hinsichtlich der in Abschnitt 3.3 dargestellten Nutzung von Ladeinfrastruktur von Bedeutung, da sie Einfluss auf die Angebotsqualität sowie die Kosten haben. Zum anderen existieren wichtige Interdependenzen mit den in Abschnitt 3.2 behandelten Anwendungsfällen, da diese unterschiedliche Anforderungen an die technische Ausgestaltung stellen.

Im folgenden Abschnitt 3.4.1 werden zunächst die verschiedenen technischen Ausgestaltungsoptionen dargestellt. Daran anschließend erfolgt in Abschnitt 3.4.2 eine kriterienbasierte Diskussion der in dieser Arbeit betrachteten technischen Ausgestaltungsoptionen. In Abschnitt 3.4.3 werden Schlussfolgerungen und sich daraus ergebende Annahmen dargestellt.

3.4.1 Darstellung

Für die Darstellung der technischen Ausgestaltungsoptionen wird im folgenden Abschnitt 3.4.1.1 zunächst ein allgemeiner Überblick über die verschiedenen an der Ladeschnittstelle notwendigen Komponenten gegeben. Darauf aufbauend wird in Abschnitt 3.4.1.2 auf die Ausgestaltung der Energieübertragung und in Abschnitt 3.4.1.3 auf die Ausgestaltung der Kommunikation zwischen Fahrzeug, Ladeeinheit und sog. „Backend“ eingegangen.

[287] Es ist anzumerken, dass unter bestimmten Voraussetzungen im Bereich der Nutzungsregeln für Stellplätze mit Lademöglichkeit eine Steigerung der Attraktivität von Carsharing-Angeboten möglich erscheint. So werden mit öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur ausgestattete Stellplätze häufig mit einem exklusiven Parkrecht für Elektrofahrzeuge ausgestattet. Wenn in einem bestimmten Gebiet öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur aufgebaut wird, aber zumindest für einen gewissen Zeitraum im gleichen Gebiet nur wenige Elektrofahrzeuge außerhalb von Carsharing-Angeboten eingesetzt werden, stünden die entsprechenden Stellplätze mit Lademöglichkeit exklusiv den Carsharing-Unternehmen zur Verfügung (wenn diese Elektrofahrzeuge einsetzen).

3.4.1.1 Komponenten an der Ladeschnittstelle

Im Rahmen dieses Abschnitts wird Ladeinfrastruktur zunächst als nicht näher beschriebene allgemeine „Ladeschnittstelle“ zwischen Stromnetz, Elektrofahrzeug und Nutzer betrachtet, an der für verschiedene Anwendungen unterschiedliche Komponenten bzw. Teilleistungen vorgesehen werden müssen. Diese können grundsätzlich an verschiedenen Stellen verbaut bzw. „verortet“ werden (im Fahrzeug oder einer Ladeeinheit am Stellplatz). Im Folgenden werden diese Komponenten kurz dargestellt.[288]

KOMPONENTEN ZUR ENERGIEÜBERTRAGUNG

Die Basisfunktion einer Ladeschnittstelle ist die Übertragung von (elektrischer) Energie vom Stromnetz in das Fahrzeug bzw. die Fahrzeugbatterie sowie bei Anwendungen, die eine bidirektionale Verbindung erfordern, auch in umgekehrter Richtung. Dafür sind verschiedene Komponenten notwendig:

- **Netzanschluss**: Für die Verbindung mit dem Verteilnetz ist ein Netzanschluss, i. d. R. zum Niederspannungsnetz, erforderlich. Bei Ladeverfahren mit besonders hohen Leistungen kann u. U. auch ein Anschluss an die Mittelspannung notwendig sein.

- **Medium zur Energieübertragung**: In Abhängigkeit des Energieflussprinzips ist ein Medium zur Energieübertragung notwendig, bei konduktivem Energiefluss i. d. R. ein Kabel.

- **Schnittstelle(n) zur Energieübertragung zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit**: Je nach Energieflussprinzip sind am Fahrzeug sowie ggf. am Stellplatz Schnittstellen (beispielsweise Steckverbindungen) vorzusehen.

- **Stromrichter (Gleichrichter / Inverter)**: Da im Verteilnetz Wechselstrom (AC) fließt und die Fahrzeugbatterien Gleichstrom (DC) benötigen (und liefern), ist zur Beladung ein Gerät zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom (Gleichrichter) und bei Rückspeisung ein Gerät zur Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom (Inverter) erforderlich.

Dieser Themenkomplex wird in Abschnitt 3.4.1.2 ausführlich behandelt.

KOMPONENTEN ZUR INFORMATIONSGENERIERUNG, -VERARBEITUNG UND -ÜBERTRAGUNG (BEREICH KOMMUNIKATION)

In Abhängigkeit des jeweiligen Anwendungsfalles existieren Kommunikationserfordernisse, die verschiedene Komponenten oder Teilleistungen erfordern. Im Folgenden werden die verschiedenen Komponenten oder Teilleistungen, die ggf. benötigt werden, kurz aufgelistet:

[288] Auf deren Verortung wird im Anschluss an diesen Abschnitt in Verbindung mit der Ausgestaltung der Energieübertragung (in Abschnitt 3.4.1.2) sowie der Ausgestaltung der Kommunikation (in Abschnitt 3.4.1.3) eingegangen.

- **„Backend“ zur Informationsverarbeitung und -bereitstellung**: Je nach Anwendungsfall bestehen verschiedene Anforderungen an die Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen (wie z. B. Messdaten oder Tarifinformationen). Dabei können zwei Informationsarten unterschieden werden:

    - **Abrechnungsinformationen**: Für die Verarbeitung und Weitergabe von Abrechnungsinformationen sind Datenverarbeitungs-Kapazitäten sowie entsprechende Programme (bzw. Hard- und Software) notwendig. Diese werden im Rahmen dieser Arbeit auch als Abrechnungsbackend bezeichnet.

    - **Informationen zur Beeinflussung oder Steuerung**: Bei Anwendungsfällen, die eine Beeinflussung oder Steuerung des Ladevorgangs vorsehen, sind weitere Informationen zu verarbeiten sowie Steuerungs- oder Preissignale zu generieren. Die hierfür notwendigen Hard- und Softwaresysteme werden im Rahmen dieser Arbeit auch als Steuerungsbackend bezeichnet.

  Es ist im weiteren Verlauf zu berücksichtigen, dass gewisse Komponenten von Abrechnungs- und Steuerungsbackend (wie beispielsweise die Hardware sowie Schnittstellen zur Datenübertragung) ggf. kombiniert werden können. Es ist jedoch auch möglich, dass die mit diesen Komponenten einhergehenden Aufgaben ggf. bei unterschiedlichen Akteuren anfallen.

- **Messeinrichtung (Meter)**: Zur Generierung abrechnungsrelevanter Informationen ist an der Ladeschnittstelle eine Messeinrichtung erforderlich. Die Anforderungen an diese Messeinrichtung bestimmen sich insbesondere nach dem Stromtarif.[289] In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Messung über ein Smart Meter erfolgt, dass alle sich ergebenden Anforderungen erfüllt.

- **Schnittstellen zum Nutzer**: Für verschiedene Anwendungsfälle sind unterschiedliche Informationen notwendig (wie z. B. Abrechnungsinformationen oder Informationen über die bei der nächsten Fahrt benötigte Energie), die von Seiten des Nutzers in das System eingegeben (und zum Backend kommuniziert werden) müssen. Außerdem kann es erforderlich sein, dass der Nutzer bestimmte Informationen erhält (wie beispielsweise bzgl. dynamisch variabler Tarife).

- **Informationsübertragungsschnittstellen zur Ladeeinheit sowie zum Fahrzeug**: Neben dem Meter und den Nutzerschnittstellen generieren auch weitere technische Komponenten, wie z. B. das Batteriemanagementsystem, Informationen, die in Abhängigkeit des Anwendungsfalles von Bedeutung sein können. Je nach Verortung dieser Komponenten können für die Übertragung der Informationen Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Backend

[289] Vgl. Abschnitt 2.1.3.3.

oder zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit sowie zwischen Ladeeinheit und Backend erforderlich sein.

- **Direktbezahlmöglichkeit**: Für den Fall, dass an der Ladeschnittstelle die Möglichkeit der Direktbezahlung vorgesehen werden soll, kann ein entsprechendes Modul (z. B. ein Kartenterminal) vorgesehen werden, welches die Bezahlinformationen in das System einspielt. Außerdem sind auch sog. mobile Bezahlverfahren über ein Smartphone denkbar. In jedem Fall erscheint eine Nutzerschnittstelle, über die entsprechende Bezahlinformationen vom Nutzer in das System eingegeben werden, notwendig. Die Möglichkeit der Direktbezahlung wird aus diesem Grund im weiteren Verlauf der Arbeit allgemein als Schnittstelle zum Nutzer angesehen und nicht vertieft betrachtet. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Bezahlung mit Bargeld keinen relevanten Fall darstellt, da diese mit zu hohen Transaktionskosten sowie einem gesteigerten Vandalismusrisiko einhergeht.[290]

Der Bereich der Kommunikation wird im Rahmen von Abschnitt 3.4.1.3 ausführlich betrachtet.

3.4.1.2 Ausgestaltung der Energieübertragung

Für das Gesamtsystem der Elektromobilität sind die verschiedenen Prinzipien der Energieübertragung vor allem aufgrund der unterschiedlichen Leistungen, die jeweils unterschiedliche Ladegeschwindigkeiten ermöglichen, von Bedeutung. Des Weiteren determinieren die Prinzipien auch gewisse Kostenanteile.[291]

Im Folgenden wird in Abschnitt 3.4.1.2.1 zunächst auf grundlegende Prinzipien der Energieübertragung eingegangen. Daran anschließend wird in Abschnitt 3.4.1.2.2 auf konduktive Ladeprinzipien fokussiert, welche aus heutiger Sicht in den nächsten Jahren die größte Verbreitung finden werden.

3.4.1.2.1 Grundlegende Prinzipien der Energieübertragung zwischen Stromnetz und Batterie

In diesem Abschnitt werden zunächst Grundlagen zur konduktiven und induktiven Energieübertragung vorgestellt. Anschließend erfolgt eine kurze Darstellung weiterer Möglichkeiten der Energieübertragung zwischen Fahrzeug und Stromnetz. Abschließend wird kurz auf die Kompatibilität der verschiedenen Prinzipien eingegangen.

[290] Siehe für eine ausführlichere Diskussion der Möglichkeit der Direktzahlung Abschnitt 3.4.2.3.2.

[291] Im Übrigen ist eine Rückspeisung nicht bei allen Ladeprinzipien möglich, sodass gewisse Einschränkungen bzgl. der Umsetzung von Anwendungsfällen bestehen können.

3.4.1.2.1.1 Konduktive Energieübertragung

Bei konduktiver Energieübertragung findet der Energiefluss über physisch miteinander verbundene leitende Materialien statt.[292] Im Bereich der Elektromobilität wird daher auch häufig vom kabelgebundenen Laden gesprochen. Dabei ist grundsätzlich eine Steckverbindung zwischen Fahrzeug und Kabel erforderlich, sowie ggf. eine weitere Steckverbindung zwischen Kabel und stellplatzseitiger Ladeeinheit, wenn das Kabel dort nicht fest verbaut ist. Weiterhin ist, wie oben bereits erläutert, ein Gleichrichter oder für die Rückspeisung ein Inverter notwendig.

Vorteile des kabelgebundenen Ladens bestehen im hohen Wirkungsgrad der Übertragung sowie in potenziell hohen Übertragungsleistungen. Außerdem bestehen gewisse Freiheitsgrade hinsichtlich der Positionierung des Fahrzeugs auf dem Stellplatz (je nach Länge des Kabels). Nachteile können darin bestehen, dass die Steckverbindungen sowie ggf. weitere Komponenten (im öffentlich zugänglichen Bereich) frei zugänglich und daher für Witterungseinflüsse sowie Vandalismus anfällig sind.[293]

Im Bereich der konduktiven Energieübertragung existieren eine Reihe unterschiedlicher Ausgestaltungsmöglichkeiten, die in Abschnitt 3.4.1.2.2 vertieft betrachtet werden. An dieser Stelle ist der Vollständigkeit halber darauf hinzuweisen, dass auch Oberleitungen eine konduktive Energieübertragung ermöglichen. Diese Option wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht vertieft betrachtet.

3.4.1.2.1.2 Induktive Energieübertragung

Die kontaktlose Energieübertragung über ein Magnetfeld wird auch als induktive Energieübertragung oder elektromagnetische Induktion bezeichnet. Im Kontext der Ladeprinzipien wird auch von „induktivem Laden“ gesprochen. Für die Erzeugung des (zeitlich veränderlichen) Magnetfeldes aus elektrischem Wechselstrom sowie für die Rückumwandlung des Magnetfeldes in Wechselstrom sind stellplatzseitig und fahrzeugseitig Spulen notwendig. Diese können gewissermaßen als Schnittstelle angesehen werden. Außerdem ist ein Gleichrichter (zwischen fahrzeugseitiger Spule und Batterie) erforderlich.

Vorteile des induktiven Ladens bestehen vordergründig in einem höheren Nutzungskomfort aufgrund des Wegfallens der Steckverbindung. Außerdem erscheint es (unter Inkaufnahme entsprechender Kosten) möglich, die stellplatzseitigen Spulen unter dem jeweiligen Belag zu verbauen, sodass sie vor Witterungseinflüssen und Vandalismus geschützt sind.[294] Darüber hinaus eröffnet die induktive Technik das Potenzial, auch an Stellen mit kurzer Aufenthaltsdauer (z. B. am Taxistand) eine Lademöglichkeit zu etablieren. Im Übrigen ist auch eine Energieübertragung während der Fahrt

[292] Vgl. KLEY (2011, S. 8).

[293] Vgl. KLEY (2011, S. 139).

[294] Vgl. KLEY (2011, S. 10 f.).

prinzipiell denkbar. Dabei bestehen allerdings Interdependenzen zwischen der Geschwindigkeit und der Übertragungsleistung.

Nachteile des induktiven Ladens bestehen zum einen in den zusätzlichen Energieumwandlungsschritten, die einen geringeren Wirkungsgrad zur Folge haben. Dieser liegt zwischen 75 und 80 % und damit deutlich unter dem Wirkungsgrad des konduktiven Ladens (ca. 95 %).[295] Eine wesentliche Determinante des Wirkungsgrades ist die Positionierung der beiden Spulen zueinander.[296] Zudem bestehen gewisse Restriktionen bzgl. der Übertragungsleistung. So sind Leistungen oberhalb von 3,7 kW wohl mit erheblichem Mehraufwand verbunden.[297] Außerdem ist eine Rückspeisung von Energie per induktivem Laden eher nicht möglich, da die fahrzeugseitige Spule ein deutlich erhöhtes Gewicht aufweisen würde.[298]

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die induktive Ladung vor allem mit Verbesserungen im Komfort einhergehen kann, die insbesondere auch eine Zwischenladung bei nur kurzen Stopps ermöglicht. Jedoch ist die bei kurzen Stopps übertragbare Energie aufgrund der eher geringen Übertragungsleistung stark limitiert. Außerdem existieren Einschränkungen hinsichtlich der Anwendungsfälle, die eine Rückspeisung vorsehen.

Vor diesem Hintergrund sowie aufgrund der aktuell höheren Marktreife und weiteren Verbreitung der konduktiven Ladeverfahren, wird im weiteren Verlauf der Arbeit auf kabelgebundenes Laden fokussiert. Es ist jedoch anzumerken, dass durchaus Unsicherheiten hinsichtlich der weiteren technischen Entwicklung bestehen.

3.4.1.2.1.3 Sonstige Möglichkeiten der Energieübertragung

Es existiert eine Reihe weiterer Möglichkeiten, elektrische Energie in ein Elektrofahrzeug zu übertragen. Im Folgenden wird kurz auf diejenigen eingegangen, die im Kontext von Elektromobilität u. U. von Bedeutung sein könnten:

- **Batteriewechsel**: Über die Möglichkeit, die Batterie im Fahrzeug zu laden hinaus, existieren Konzepte zum Austausch der Fahrzeugbatterie.[299] Dafür sind Standards bzgl. der Batterie sowie der Batterieaufnahmen im Fahrzeug notwendig. Außerdem müssen entsprechende Batteriewechselstationen aufgebaut werden. Die Vorteile des Konzeptes liegen insbesondere in der auch im Vergleich zu Schnellladeverfahren hohen Austauschgeschwindigkeit einer

[295] Vgl. SCHRAVEN / KLEY / WIETSCHEL (2010, S. 6 f.).

[296] Vgl. PAPENDICK ET AL. (2011, S. 2).

[297] Vgl. SCHRAVEN / KLEY / WIETSCHEL (2010, S. 6).

[298] Vgl. KLEY (2011, S. 11).

[299] Das Konzept ist vor allem durch das Unternehmen Better Place bekannt.

(potenziell) vollständig geladenen Batterie.[300] Nachteile können vor allem in den Standardisierungserfordernissen gesehen werden. So ist es fraglich, ob sich eine Vielzahl von Fahrzeugherstellern (ohne Vorgaben der öffentlichen Hand) auf Standards bzgl. der Batterieaufnahme im Fahrzeug einigen kann. Ein weiterer Nachteil kann kostenseitig vorliegen, da das Gesamtsystem pro Fahrzeug mehr als eine Batterie benötigt. Demgegenüber stehen potenzielle Mehreinnahmen durch die Verwendung der Batterie für energiewirtschaftliche Dienstleistungen.

- **Redox Flow**: Eine weitere Möglichkeit stellen Batterien dar, die einen Austausch von energiespeichernden Elektrolyten ermöglichen.[301] Diese würden wiederum eine andere Infrastruktur und entsprechend andere Schnittstellen für den Austausch der Flüssigkeiten benötigen.

- **Wasserstoff:** Auch Wasserstoff kann als ein Energieübertragungsprinzip im Rahmen von Elektromobilität angesehen werden, wenn über eine Brennstoffzelle dieser Energieträger im Fahrzeug in elektrischen Strom umgewandelt wird.[302] Per Elektrolyse kann aus erneuerbarem Strom Wasserstoff emissionsarm erzeugt werden. Nachteile bestehen allerdings in hohen Energieverlusten aufgrund mehrerer Umwandlungsstufen, in hohen Investitionskosten in die neu zu errichtende Versorgungsinfrastruktur sowie in technologischen und kostenbezogenen Herausforderungen der mobilen Anwendung von Brennstoffzellen.

Die hier dargestellten sonstigen Möglichkeiten der Energieübertragung werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht tiefergehend betrachtet.

3.4.1.2.1.4 Kompatibilität unterschiedlicher Prinzipien

Im Folgenden wird kurz auf die Kompatibilität der Ladeprinzipien eingegangen. Aufgrund der unterschiedlichen Schnittstellen, die bei den jeweiligen Energieübertragungsprinzipien notwendig sind, können diese Prinzipien nur kompatibel miteinander sein, wenn die verschiedenen Schnittstellen im Fahrzeug sowie stellplatzseitig vorgesehen werden.

- **Kompatibilität zwischen konduktivem und induktivem Laden**: Um Kompatibilität mit beiden Verfahren herzustellen, müssten Fahrzeuge sowohl mit einer entsprechenden Steckverbindung als auch mit einer Spule ausgestattet sein, was mit entsprechenden Kosten- und Gewichtsnachteilen einhergehen würde. Für den Fall, dass Fahrzeuge nicht mit beiden Systemen ausgestattet sind, müssten stellplatzseitig entsprechende Spulen sowie konduktive

[300] Per Batteriewechsel kann eine (nahezu) leere Batterie binnen weniger Minuten gegen eine zu 100 % gefüllte Fahrzeugbatterie getauscht werden. Im Vergleich dazu sind die in Abschnitt 3.4.1.2.2 beschriebenen Ladeverfahren langsamer. Außerdem sind hohe Ladegeschwindigkeiten i. d. R. nicht bis 100 % SoC möglich.

[301] Vgl. Abschnitt 2.1.1.1.

[302] Vgl. z. B. BALL / WIETSCHEL (2009, S. 620).

Schnittstellen aufgebaut sein. Ein Gleichrichter müsste in jedem Fall im Fahrzeug verbaut werden.[303]

- **Exkurs zur Kompatibilität mit Batteriewechsel**: Da auch eine wechselbare Batterie prinzipiell im Fahrzeug geladen werden kann, besteht die Möglichkeit, Kompatibilität mit konduktiven und induktiven Ladeverfahren herzustellen, indem entsprechende Schnittstellen sowie ggf. weitere Komponenten (insbesondere Stromrichter) fahrzeugseitig vorgesehen werden. Dabei würden ebenfalls Kosten für die verschiedenen Komponenten anfallen.[304]

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Herstellung von (technischer) Kompatibilität zwischen den verschiedenen Prinzipien mit Kosten einhergeht, deren Höhe sich u. a. nach den notwendigen Komponenten bestimmt. Diese Kosten stellen im ökonomischen Sinn Adapterkosten dar.[305]

3.4.1.2.2 Varianten konduktiver Ladeverfahren

Aufgrund der noch bestehenden Unsicherheiten sowie vergleichsweise hohen Kosten und geringen Ladegeschwindigkeiten des induktiven Ladens, kommen für den Einsatz im öffentlich zugänglichen Bereich kurz- bis mittelfristig vorrangig konduktive Ladeverfahren in Betracht.[306] Diese stehen auch im Fokus dieser Arbeit. In den folgenden Abschnitten werden die drei grundlegenden konduktiven Ladeverfahren beschrieben und jeweils in einer Abbildung dargestellt. Im Anschluss erfolgt eine Darstellung der Kompatibilität der unterschiedlichen Verfahren. Die Kosten werden in Abschnitt 3.4.2.2 betrachtet.

3.4.1.2.2.1 Wechselstromladen mit dediziertem fahrzeugseitigem Stromrichter („AC 1“, „AC 3“)

Beim Wechselstromladen erfolgt die Wandlung des elektrischen Stroms in Gleichstrom innerhalb des Fahrzeugs. Dieses kann entweder durch einen dedizierten Stromrichter (umgangssprachlich häufig auch als Ladegerät bezeichnet) oder durch Nutzung der fahrzeugseitigen Leistungselektronik erfolgen (worauf in Abschnitt 3.4.1.2.2.2 eingegangen wird). Untenstehende Abbildung verdeutlicht das Prinzip des Wechselstromladens mit dediziertem fahrzeugseitigem Stromrichter.

---

[303] Dabei gibt es eine gewisse Interdependenz mit DC-Ladeverfahren, da diese den Gleichrichter stellplatzseitig vorsehen; vgl. Abschnitt 3.4.1.2.2.

[304] Vor dem Hintergrund der potenziell hohen Kosten für Batteriewechselstationen, die entsprechend der mit Bezug zur Ladegeschwindigkeit in Abschnitt 3.3.2.1.2 geführten Diskussion nur in bestimmten Nutzungssituationen einen Mehrwert entfalten, erscheint es möglich, dass die zusätzliche Option eines konduktiven Ladeverfahrens bei einer Betrachtung des Gesamtsystems kostensenkend wirkt. Außerdem hätten Nutzer den Vorteil ihr Fahrzeug auch zu Hause laden zu können, was, wie bereits thematisiert, mit einer höheren Verfügbarkeit bzw. geringeren Wartezeiten einhergeht.

[305] Siehe Abschnitt 4.3.1.3 für eine ökonomische Betrachtung von Kompatibilitäts- und Standardisierungsfragen.

[306] Siehe für eine Darstellung der Kosten Abschnitt 3.4.2.2.

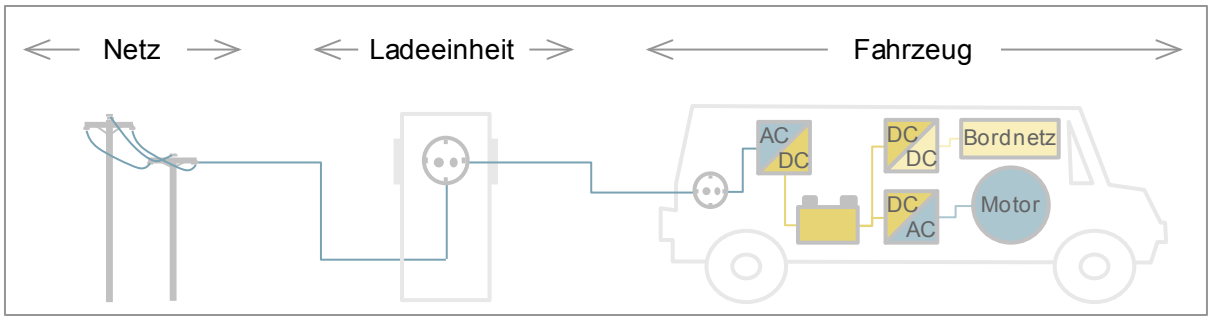


Abbildung 3: Wechselstromladen mit dediziertem fahrzeugseitigem Stromrichter (AC 1, AC 3)[307]

Innerhalb des dargestellten Prinzips lassen sich einphasiges und dreiphasiges Wechselstromladen unterscheiden:

- **Einphasiges Wechselstromladen („AC 1“)**: Beim einphasigen Wechselstromladen wird, wie z. B. auch im Haushalt an sog. SchuKo-Steckdosen üblich, eine der drei Phasen des Niederspannungs-Verteilnetzes genutzt. Die Spannung beträgt in Deutschland 230 V und die maximale Leistung i. d. R. 3,7 kW.[308]

- **Dreiphasiges Wechselstromladen („AC 3“)**: Als dreiphasiges Wechselstromladen wird die Nutzung aller drei Phasen des Niederspannungs-Verteilnetzes bezeichnet. Dabei sind prinzipiell Leistungen bis ca. 44 kW möglich.[309] Problematisch gestalten sich im Zusammenhang mit hohen Leistungen jedoch die Größe und das Gewicht des fahrzeugseitigen Stromrichters. Als praktikabel gelten bei Nutzung eines dedizierten fahrzeugseitigen Stromrichters daher Leistungen bis ca. 22,2 kW.[310] Diese Leistung wird im Rahmen dieser Arbeit auch als maximale Leistung des AC 3-Ladeverfahrens angenommen.

Die Kosten der beiden Ladeverfahren unterscheiden sich fahrzeugseitig vor allem aufgrund des größeren Stromrichters bei AC 3.[311] Die Kosten auf der Stellplatzseite sind im Wesentlichen von einer möglicherweise bereits vorhandenen Installation abhängig. Wenn ein neuer Netzanschluss für den Aufbau der Ladeeinheit notwendig ist, bestehen aufgrund des dreiphasig verlegten Verteilnetzes keine wesentlichen Kostenunterschiede.

[307] Quelle: Eigene (vereinfachte) Darstellung.

[308] In Verbindung mit einer Stromstärke von max. 16 A, was auch der in der Norm IEC 61851-1 dargestellten Ladebetriebsart Modus 1 entspricht.

[309] Vgl. NPE (2012b, S. 44).

[310] Diese Leistung entspricht gleichzeitig der in der Norm IEC 61851-1 dargestellten Ladebetriebsart Modus 2, die einen Strom von max. 32 A vorsieht.

[311] Siehe Abschnitt 3.4.2.2.

3.4.1.2.2.2 Wechselstromladen mit Nutzung fahrzeugseitiger Leistungselektronik (Inverterladen, „AC i“)

Beim sog. Inverterladen wird für die Stromumwandlung kein dedizierter Stromrichter, sondern die im Fahrzeug ohnehin vorhandene Leistungselektronik verwendet.[312] Dieses Prinzip ist im Vergleich zu obenstehenden konduktiven Verfahren noch vergleichsweise wenig erprobt, wurde jedoch im Rahmen von F & E-Projekten wohl erfolgreich getestet.[313] Aufgrund der hohen Leistung, die beispielsweise beim Rekuperationsbremsen anfällt, erscheinen beim Inverterladen hohe Leistungen möglich. Innerhalb dieser Arbeit wird eine Maximalleistung von 43,6 kW angenommen, wobei jedoch auch noch höhere Leistungen denkbar sind.[314] Untenstehende Abbildung 4 verdeutlicht das Prinzip des Inverterladens.

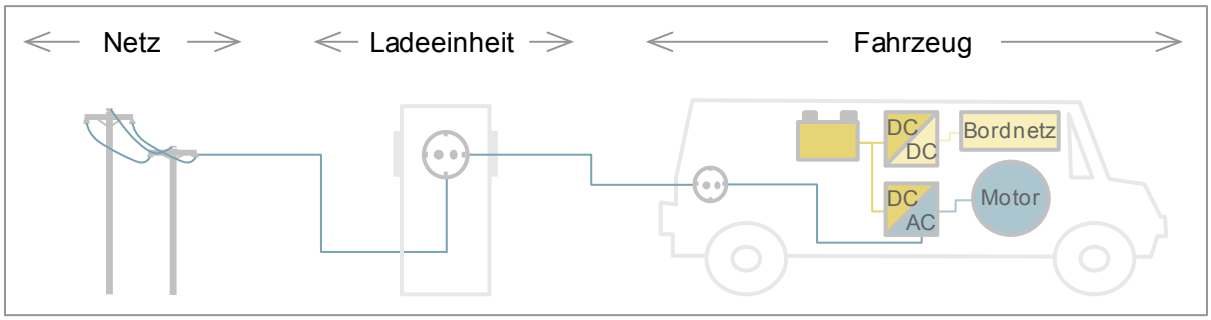


Abbildung 4: Inverterladen (AC i)[315]

Fraglich ist, welche fahrzeugseitigen Kosten mit dem Inverterladen einhergehen. So dürften durch die Verwendung der Leistungselektronik für die Beladung sowie evtl. Rückspeisung höhere Anforderungen an die Dauerfestigkeit der einzelnen Bauteile gestellt werden, die mit höheren Kosten einhergehen. Dafür entfallen die Kosten für einen dedizierten Stromrichter. Stellplatzseitig ergeben sich aus technischer Sicht im Vergleich zu AC 3 i. d. R. keine höheren Kosten (unter der Annahme, dass der Netzanschluss Leistungen bis 44 kW ermöglicht, was regelmäßig der Fall ist). Es können jedoch bei Leistungen oberhalb von 30 kW aufgrund energierechtlicher Regelungen höhere (individuell durch den Betreiber zu tragende) Entgelte für den Netzanschluss in Form von Baukostenzuschüssen anfallen.[316] Leicht höhere Kosten können außerdem für das Kabel entstehen, welches für höhere Leistungen einen entsprechend größeren Querschnitt aufweisen muss.

---

[312] Aufgrund der bei Elektrofahrzeugen i. d. R. vorhandenen Rekuperationsfunktion sowie Elektromotoren, die i. d. R. mit Wechselstrom betrieben werden, verfügen Elektrofahrzeuge bereits über die für einen Stromrichter notwendigen Komponenten.

[313] So beispielsweise im von der Siemens AG und der RUF Automobile GmbH durchgeführten und vom BMU geförderten Projekt „Emotion ohne Emission“; vgl. RUF / SIEMENS (2011, S. 17). Es ist anzumerken, dass beim Inverterladen u. U. noch zu lösende Probleme bzgl. einer galvanischen Trennung bestehen.

[314] Dieses entspricht der in der Norm IEC 61851-1 dargestellten Ladebetriebsart Modus 3, welche keine höheren Ströme als 63 A für Wechselstromladen vorsieht; siehe dazu auch Anhang B 1.1.1.

[315] Quelle: Eigene (vereinfachte) Darstellung.

[316] Vgl. § 11 NAV.

3.4.1.2.2.3 Gleichstromladen mit stellplatzseitigem Stromrichter („DC“).

Beim Gleichstromladen wird der Strom bereits in der stellplatzseitigen Ladeeinheit in Gleichstrom umgewandelt.[317] Damit entfällt, wie beim Inverterladen, die Notwendigkeit eines dedizierten fahrzeugseitigen Stromrichters. Somit bestehen auch kaum fahrzeugseitige Gewichts- oder Größenbeschränkungen für höhere Ladeleistungen.[318] Dementsprechend sehen die aktuell bekannten DC-Ladeverfahren hohe Leistungen von i. d. R mehr als 50 kW vor und stehen häufig auch in Verbindung mit dem Begriff „Schnellladen“.[319] Dabei handelt es sich um das von deutschen Herstellern propagierte „Combined Charging System“ (CCS) sowie das aus Japan stammende DC-Ladeverfahren „CHAdeMO“.[320] Untenstehende Abbildung verdeutlicht das Prinzip des Gleichstromladens.

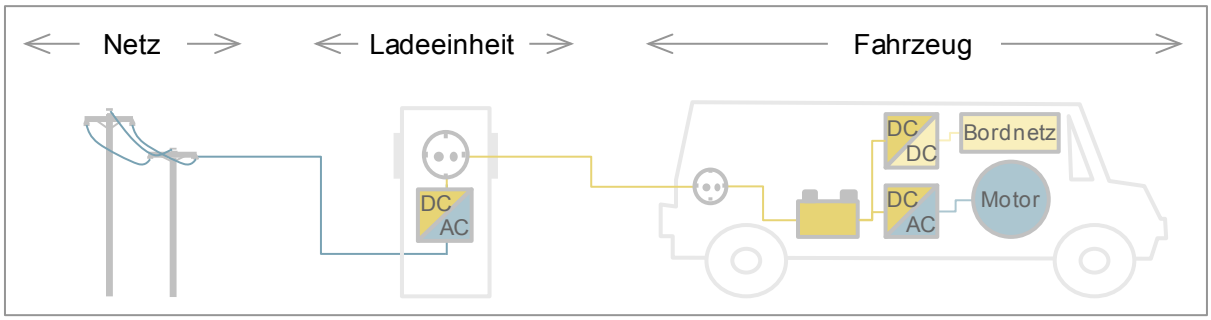


Abbildung 5: Gleichstromladen (DC)[321]

Auch hier sind aufgrund der wegfallenden fahrzeugseitigen Gewichts- und Bauraumrestriktionen große Leistungen (von theoretisch über 100 kW) möglich. Dabei ergeben sich Leistungsrestriktionen aus verschiedenen potenziellen Engpässen. Zunächst ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Batterien mit sehr hohen Leistungen beladen werden können und dass die maximal mögliche Leistung vom SoC abhängt. Dabei gibt i. d. R. das an die Batterie gekoppelte Batteriemanagementsystem das Ladeprofil in Abhängigkeit des SoC vor.[322] Insbesondere sind hohe Ladeleistungen zumeist nicht bei hohem SoC möglich, sodass eine Schnellladung häufig nur bis ca. 85 % SoC durchgeführt werden kann. Weiterhin stellen die Komponenten des konduktiven Systems (Stecker, Kabel) sowie der Stromrichter selbst potenzielle Engpässe dar, welche aber durch die Konstruktion bedingt sind. Ein weiterer wesentlicher Leistungsengpass ist der Netzanschluss bzw. das Niederspannungsnetz. So sind für Leistungen oberhalb von 50 kW in Abhängigkeit von der Kapazität des jeweiligen Niederspannungsnetzes u. U. gesonderte Anschlüsse an die Mittelspannung oder ein Ausbau des Niederspannungsnetzes nötig, was mit entsprechenden Kosten einhergeht. Von daher wird im

[317] Vgl. KLEY (2011, S. 9).

[318] Vgl. DIEFENBACH / GAUL / VOIT (2010, S. 4) sowie KLEY (2011, S. 34).

[319] Vgl. KLEY (2011, S. 117).

[320] Vgl. NPE (2012b, S. 35 f.).

[321] Quelle: Eigene (vereinfachte) Darstellung.

[322] Vgl. Abschnitt 2.1.1.1.

weiteren Verlauf der Arbeit für DC-Ladeverfahren eine maximale Leistung von 60 kW angenommen.[323]

Für DC-Schnellladeverfahren ist neben der bisher beschriebenen Energieübertragung i. d. R. auch eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit notwendig. So wird, um eine fahrzeugseitige Spannungswandlung zu vermeiden, bei den heutigen DC-Ladeverfahren das sog. „geregelte Verfahren“ angewandt, nach dem die Spannungs- und Stromwerte nach Fahrzeugvorgaben in der Ladeeinheit eingestellt werden.[324] Somit muss das vom Batteriemanagementsystem angeforderte Ladeprofil vom Fahrzeug zur Ladeeinheit kommuniziert werden.

Im Vergleich zu Wechselstrom-Ladeverfahren bewirkt die stellplatzseitige Verortung des Stromrichters eine Kostenverschiebung von der Fahrzeugseite hin zur Ladeeinheit. Dabei ist jedoch fraglich, ob aus Kompatibilitätsgründen mit Lademöglichkeiten im privaten Bereich fahrzeugseitig nicht (zumindest) auch ein Stromrichter zum einphasigen Laden vorgesehen werden dürfte.[325] Wie weiter oben bereits erwähnt, können aufgrund der höheren Leistungen für den Netzanschluss insbesondere dann deutlich höhere Kosten anfallen, wenn ein Anschluss an die Mittelspannung erforderlich wird. Auch die beim Inverterladen beschriebene Thematik der Baukostenzuschüsse gilt hier analog. Zudem können Zusatzkosten aufgrund der Notwendigkeit der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit anfallen.

3.4.1.2.2.4 Kompatibilität konduktiver Ladeverfahren

Für eine Betrachtung der Kompatibilität unterschiedlicher Ladeverfahren wird im Folgenden zunächst davon ausgegangen, dass für Gleich- und Wechselstromverfahren grundsätzlich die gleichen Energieübertragungsschnittstellen (Stecker) verwendet werden können.[326] Unter dieser Voraussetzung bleibt die Frage der Kompatibilität zwischen AC- und DC-Ladeverfahren sowie die Frage der Kompatibilität der dargestellten AC-Verfahren zueinander. Dabei ist jeweils die Ausstattung der stellplatzseitigen Ladeeinheit sowie des Fahrzeugs von Bedeutung. Im Folgenden wird zunächst auf diese beiden Fragen eingegangen. Anschließend erfolgt ein Exkurs zur Kompatibilität der verschiedenen DC-Verfahren.

---

[323] Dieser Wert liegt am oberen Ende der aktuell unter www.chademo.com angebotenen CHAdeMO-Schnellladestationen. Auch die NPE geht davon aus, dass zunächst nicht mehr als 60 kW realisiert werden; vgl. NPE (2011, S. 36).

[324] Vgl. NPE (2012b, S. 43) sowie DIEFENBACH / GAUL / VOIT (2010, S. 4).

[325] Siehe für eine Darstellung der Kompatibilität unterschiedlicher konduktiver Verfahren Abschnitt 3.4.1.2.2.4.

[326] Beispielsweise ermöglicht der beim DC-Schnellladesystem CCS fahrzeugseitig verwendete Steckerstandard auch die Verwendung des sog. Typ 2 Steckers, mit dem AC 3- und AC i-Wechselstromladen erfolgen kann; siehe auch Anhang B 1 zur Standardisierung.

KOMPATIBILITÄT ZWISCHEN AC- UND DC-LADEVERFAHREN

Im Folgenden werden verschiedene Kombinationen der Ausstattung von Fahrzeug und Ladeeinheit betrachtet:

- **DC-Fahrzeuge an AC-Ladeeinheit**: Da bei DC-Verfahren zunächst kein für AC-Verfahren notwendiger Stromrichter im Fahrzeug vorgesehen ist, besteht grundsätzlich keine Kompatibilität. Es ist aber denkbar (und auch bereits Praxis), dass DC-fähige Fahrzeuge mit einem Stromrichter, also sowohl mit DC- als auch mit AC-Ladetechnik ausgestattet werden.[327] Dieses geht mit entsprechenden Mehrkosten einher. Weiterhin ist eine (hier annahmegemäß vorhandene) kompatible Steckverbindung erforderlich.

- **AC-Fahrzeuge an DC-Ladeeinheit**: Unter der Annahme, dass die DC-Technik nach dem geregelten Verfahren funktioniert (was bei beiden bekannten Verfahren der Fall ist), ist für eine DC-Ladung fahrzeugseitig ein mit der Ladeeinheit kompatibles Kommunikationsmodul sowie ein kommunikationsfähiges Batteriemanagementsystem erforderlich. Von daher besteht auch hier grundsätzlich keine Kompatibilität. Um Kompatibilität herzustellen, wäre eine zusätzliche Ausstattung der Fahrzeuge denkbar, sodass diese mit beiden Ladeverfahren ausgestattet wären. Dabei ist eine (hier annahmegemäß vorhandene) kompatible Steckverbindung erforderlich.[328]

- **Kombinierte AC**-, **DC-Ladeeinheit:** Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, beide Verfahren an der Stellplatzseite vorzusehen. Dafür wären alle Ladeeinheiten mit der (insbesondere aufgrund des Stromrichters) aufwendigeren DC-Technik auszustatten. Für das Beladen von AC-Fahrzeugen wäre dann (lediglich) eine „Umgehung“ der DC-Komponenten notwendig.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass grundsätzlich keine Kompatibilität zwischen AC- und DC-Ladeverfahren besteht, sondern die Fahrzeuge bzw. die stellplatzseitige Ladeeinheit mit zusätzlichen (ggf. redundanten) Komponenten ausgestattet werden müssten.

KOMPATIBILITÄT INNERHALB DER AC-VERFAHREN

Innerhalb der AC-Verfahren besteht grundsätzlich Abwärtskompatibilität. So können AC 3- oder AC i-Fahrzeuge so ausgestattet werden, dass auch an einer AC 1-Ladeeinheit geladen werden kann,[329] wobei dann selbstverständlich auch nur die entsprechend geringere Leistung möglich ist. Im

[327] Beispielsweise verfügt der Mitsubishi i MiEV über CHAdeMO-Technik sowie über die Möglichkeit AC 1 zu laden; vgl. das online abrufbare technische Datenblatt des i MiEV (unter www.imiev.de abgerufen am 10.11.2012). Dabei sind i. d. R. zwei Steckverbindungen fahrzeugseitig vorgesehen, da der im CHAdeMO-System vorgesehene Stecker nicht mit AC-Verfahren kompatibel ist.

[328] Grundsätzlich könnte auch durch eine doppelte Ausführung fahrzeugseitiger Steckverbindungen (eine Steckdose für AC, eine für DC) Kompatibilität hergestellt werden.

[329] Nach Expertenangaben kann diese Funktion, dreiphasige Stromrichter oder entsprechende Inverterelektronik auch an einphasigen Ladeeinheiten einzusetzen, i. d. R. ohne wesentliche Mehrkosten hergestellt werden.

umgekehrten Fall können AC 1-Fahrzeuge auch an dreiphasigen Ladeeinheiten geladen werden – ebenfalls mit entsprechend geringerer Geschwindigkeit.

EXKURS: KOMPATIBILITÄT ZWISCHEN VERSCHIEDENEN DC-VERFAHREN

Wie in Abschnitt 3.4.1.2.2.3 bereits thematisiert, existieren mit dem Combined Charging System (CCS) und dem CHAdeMO System zwei DC-Ladeverfahren, die auf dem gleichen technischen Prinzip basieren. Beide Verfahren setzen eine Kommunikation zwischen stellplatzseitiger Ladeeinheit und Fahrzeug voraus und sehen einen Gleichrichter in der Ladeeinheit vor, der hohe Ladeleistungen (> 50 kW) ermöglicht. Kompatibilität zwischen den beiden Verfahren besteht jedoch nicht. So verwenden die Systeme unterschiedliche Stecker, sodass kein Energiefluss möglich ist. Außerdem werden grundlegend unterschiedliche Kommunikationsprotokolle verwendet.[330]

3.4.1.3 Ausgestaltung der Kommunikation

Im Folgenden wird die Ausgestaltung der Kommunikation betrachtet, die in engem Zusammenhang mit den in Abschnitt 3.2 dargestellten Anwendungsfällen steht. Dabei werden in Abschnitt 3.4.1.3.1 zunächst potenzielle Kommunikationserfordernisse auf Basis der Anwendungsfälle hergeleitet. Anschließend erfolgt in Abschnitt 3.4.1.3.2 eine Darstellung verschiedener Ausgestaltungsmöglichkeiten für die Kommunikation zwischen Fahrzeug, Ladeeinheit und Backend, wobei auch auf die Verortung von Messeinrichtungen und Nutzerschnittstellen eingegangen wird.

3.4.1.3.1 Potenzielle Kommunikationserfordernisse

Potenzielle Kommunikationserfordernisse ergeben sich aus den in Abschnitt 3.2.1.2 ausführlich dargestellten, für die verschiedenen Anwendungsfälle erforderlichen Informationen.[331] Im Folgenden werden diese Informationen und sich daraus ergebende Kommunikationserfordernisse kurz nach Anwendungsfällen abgestuft dargestellt:

- **Für alle Anwendungsfälle relevant**: Alle in dieser Arbeit betrachteten Anwendungsfälle gehen von einer Bepreisung elektrischen Stroms sowie einer automatisierten Abrechnung aus. Dafür sind zum einen vom Meter generierte Informationen in Richtung Abrechnungsbackend zu übertragen. Zum anderen sind auch nutzerbezogene Abrechnungsinformationen (wie z. B. eine Vertrags-ID) mit den Meter-Informationen in Verbindung zu bringen. Somit besteht immer ein Kommunikationserfordernis zwischen Meter und Abrechnungsbackend sowie zwischen einer Nutzerschnittstelle und dem Abrechnungsbackend.

[330] Siehe dazu auch Anhang B 2.1.

[331] Vgl. Abschnitt 3.2.3.

- **Zusätzlich für den Anwendungsfall „beeinflusstes Laden“ relevant**: Für die Etablierung variabler Tarife ist, für den Fall, dass diese dynamisch ausgestaltet werden (sich also z. B. täglich ändern), eine Informationsschnittstelle vom Steuerungsbackend in Richtung Nutzer notwendig. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Messeinrichtung für die variablen Tarife geeignet sein muss, was hier annahmegemäß der Fall ist.[332]

- **Zusätzlich für den Anwendungsfall „gesteuertes Laden“ relevant**: Wie in Abschnitt 3.2 dargelegt, können potenzielle Anforderungen des Energiesystems mit dem Anwendungsfall gesteuertes Laden weitestgehend erfüllt werden.[333] Dabei sind jedoch auch Informationen hinsichtlich der verfügbaren Energie- und Leistungskapazität von Bedeutung, die, wie insbesondere der SoC oder das Ladeprofil, i. d. R. fahrzeugseitig vorliegen. In diesem Zusammenhang sind auch Nutzereingaben hinsichtlich Zeitpunkt und Distanz der nächsten Fahrt(en) von Relevanz. Des Weiteren müssen an der Ladeschnittstelle Steuerungsinformationen empfangen werden, um das Ladeprofil entsprechend anzupassen. Es wird im Rahmen dieser Arbeit davon ausgegangen, dass das fahrzeugseitige Batteriemanagementsystem entsprechende Informationen empfängt und auf dieser Basis das Ladeprofil anpasst.[334]

  Im Übrigen kann der Ort der Ladeeinheit für gesteuertes Laden (mit Blick auf die Vermeidung von Netzengpässen) als Information relevant sein. Diese ist selbstverständlich an die Ladeeinheit gebunden, könnte aber ggf. auch durch das Fahrzeug (in Verbindung mit einem Navigationssystem) generiert werden, wobei unklar ist, ob die Genauigkeit dabei ausreicht.

  Aus den obigen Erläuterungen wird deutlich, dass für den skizzierten Anwendungsfall gesteuertes Laden Informationen aus mehreren Bereichen notwendig sind, wobei vor allem fahrzeugseitige Informationen, wie insbesondere der SoC, von Bedeutung sind.

Zusammenfassend lässt sich Folgendes festhalten:

- Für den Anwendungsfall **ungesteuertes Laden** sind Abrechnungsinformationen vom Meter sowie vom Nutzer in Richtung Abrechnungsbackend zu kommunizieren.

---

[332] Vgl. Abschnitt 2.1.3.3.

[333] Vgl. Abschnitt 3.2.3.

[334] Grundsätzlich erscheint es möglich, dass Steuerungssignale auch in der Ladeeinheit empfangen und umgesetzt werden (z. B. durch eine einfache Unterbrechung des Energieflusses). Es kann jedoch unterstellt werden, dass dieses nur möglich ist, wenn ein entsprechender Standard etabliert ist, der die Batterierestriktionen berücksichtigt. Im Übrigen kann die für diesen Anwendungsfall relevante Möglichkeit einer Rückspeisung in jedem Fall nur unter Berücksichtigung der Batterierestriktionen umgesetzt werden und dürfte darüber hinaus weitere fahrzeugseitige Vorkehrungen erfordern. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird deutlich, dass unabhängig von dieser Annahme umfassende Kommunikations- und Standardisierungserfordernisse anfallen, um eine Steuerung umzusetzen. Siehe dafür insbesondere Abschnitt 8.1.1.

- Für den Anwendungsfall **beeinflusstes Laden** ist (unter der Annahme eines dynamisch variablen Tarifs) außerdem eine Tarifinformation vom Steuerungsbackend in Richtung Nutzer notwendig.

- Im Anwendungsfall **gesteuertes Laden** benötigt das Steuerungsbackend weitere Informationen vom Nutzer sowie vom Fahrzeug und ggf. von der Ladeeinheit. Außerdem müssen Steuerungsinformationen zum Fahrzeug übertragen werden. Die Notwendigkeit einer Übertragung von Tarifinformationen zum Nutzer entfällt.

Damit geht der Anwendungsfall gesteuertes Laden mit den weitreichendsten Kommunikationserfordernissen einher. Im Übrigen ist anzumerken, dass über die dargestellten Anwendungsfälle hinaus u. U. weitere Kommunikationserfordernisse bestehen, die sich z. B. aus Anwendungen wie der Fernwartung oder der Statusabfrage von Ladeeinheiten sowie durch den hier ausgeklammerten Bereich der Informations- und Reservierungssysteme ergeben können. Bei einer bestehenden Kommunikationsmöglichkeit zwischen den Komponenten an der Ladeschnittstelle und einem Backend erscheint es jedoch plausibel, dass für diese Anwendungen notwendige Informationen ebenfalls kommuniziert werden können.

3.4.1.3.2 Kommunikation zwischen Fahrzeug, Ladeeinheit sowie Abrechnungs- und Steuerungsbackend

Im Folgenden werden in Abschnitt 3.4.1.3.2.1 zunächst mögliche Kommunikationswege systematisiert. Daran anschließend wird in Abschnitt 3.4.1.3.2.2 auf Möglichkeiten der Verortung von Messeinrichtungen und Nutzerschnittstellen eingegangen.

3.4.1.3.2.1 Mögliche Kommunikationswege

Innerhalb dieses Abschnitts werden mögliche Kommunikationswege zwischen Fahrzeug, stellplatzseitiger Ladeeinheit, dem Steuerungs- und Abrechnungsbackend sowie dem Nutzer systematisiert. Eine Unterscheidung zwischen Steuerungs- und Abrechnungsbackend erfolgt dabei nicht. Im Übrigen wird die Annahme getroffen, dass die Kommunikation mit dem Backend über eine Internetverbindung etabliert wird.

Bezüglich der Kommunikation mit dem Nutzer existieren grundsätzlich die Möglichkeiten der Schaffung entsprechender Schnittstellen im Fahrzeug oder der stellplatzseitigen Ladeeinheit sowie der Nutzung eines separaten Gerätes (wie insbesondere eines Smartphones). Dabei würden die nutzerbezogenen Informationen entweder durch eine Kommunikationsverbindung zwischen Fahrzeug bzw. Ladeeinheit und Backend ausgetauscht werden oder direkt zwischen einem Smartphone und

dem Backend. Es verbleibt daher die Frage der Etablierung der folgenden drei Kommunikationswege:[335]

- **Kommunikation zwischen Fahrzeug und Backend**: Viele Fahrzeuge verfügen bereits über eine Kommunikationsschnittstelle (z. B. ein Mobilfunkmodul), die es ermöglicht eine Verbindung zum Internet herzustellen. Über eine solche Verbindung könnten auch Fahrzeug und Backend kommunizieren. Dabei ist von Bedeutung, dass die Möglichkeit des Verbindungsaufbaus vom Fahrzeugstandort abhängig ist.

- **Kommunikation zwischen Ladeeinheit und Backend**: Die Ladeeinheit kann ebenfalls (auf verschiedene Arten) mit einer Internetverbindung ausgestattet werden, über die eine Kommunikation mit dem Backend möglich ist.

- **Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit**: Bei einer konduktiven Verbindung kann das Kabel als physisches Medium zur Informationsübertragung zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit genutzt werden. Voraussetzung ist die Anwendung eines geeigneten Standards, mit dem beide Seiten (also Fahrzeug und Ladeeinheit) entsprechend ausgestattet werden müssen.[336] Alternativ könnten ggf. auch kabellose Standards (wie z. B. Bluetooth) verwendet werden.

Somit besteht grundsätzlich die Möglichkeit der Schaffung von Kommunikationswegen zwischen den drei Einheiten. Welche der skizzierten Kommunikationswege für welchen Anwendungsfall notwendig sind, ist abhängig von der Verortung des Meters sowie der Schnittstellen zum Nutzer.

3.4.1.3.2.2 Verortung von Messeinrichtungen und Nutzerschnittstellen

Im Folgenden werden zunächst kurz grundlegende Möglichkeiten der Verortung des Meters sowie der Nutzerschnittstellen dargestellt. Daraufhin erfolgt eine Beschreibung von Interdependenzen mit möglichen Kommunikationswegen.

[335] Siehe für eine Abbildung der möglichen Kommunikationswege in Verbindung mit der Energieübertragung den folgenden Abschnitt 3.4.1.4.

[336] Als Beispiel kann hier der PLC-Standard genannt werden; siehe dazu auch Anhang B 2.1.

GRUNDLEGENDE MÖGLICHKEITEN DER VERORTUNG

Messeinrichtung (Meter): Annahmegemäß können alle evtl. tarifrelevanten Informationen, wie insbesondere die Energie, die Leistung sowie ggf. die Zeit, über ein Gerät gemessen werden.[337] Die Messtechnik lässt sich im Fahrzeug (mobil) oder in der Ladeeinheit (stationär) verorten.[338]

- **Schnittstellen zum Nutzer**: Da je nach Anwendungsfall unterschiedliche Informationen vom Nutzer benötigt werden und der Nutzer ggf. auch Informationen erhalten muss, könnte die Kommunikation über verschiedene Schnittstellen erfolgen. Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt 3.4.1.3.2.1 kurz angedeutet, bestehen dabei die grundlegenden Möglichkeiten der Verortung von Schnittstellen im Fahrzeug, in der Ladeeinheit oder in einem Smartphone.

INTERDEPENDENZEN ZWISCHEN DER VERORTUNG UND MÖGLICHEN KOMMUNIKATIONSWEGEN

Im Folgenden werden Interdependenzen zwischen der Verortung von Messeinrichtungen und Nutzerschnittstellen sowie der im vorhergehenden Abschnitt 3.4.1.3.2.1 beschriebenen Etablierung verschiedener Kommunikationswege aufgezeigt. Dabei wird zwischen Fällen, in denen zwei oder drei Kommunikationswege etabliert sind und solchen, bei denen nur ein Kommunikationsweg etabliert ist, unterschieden.

- **Bestehen von zwei oder drei Kommunikationswegen**: Beim Bestehen von zwei oder sogar drei Kommunikationswegen ist eine Kommunikation zwischen allen Komponenten möglich und somit auch der erforderliche Datenaustausch für alle Anwendungsfälle, unabhängig von der Verortung von Meter und Nutzerschnittstellen. Bei nur zwei Kommunikationswegen sind allerdings eventuelle Probleme hinsichtlich der Stabilität der Verbindung sowie der eventuell notwendigen Datenweitergabe durch eine Komponente von Bedeutung. In Fällen, in denen aufgrund einer derartigen Problematik ein Kommunikationsweg nicht (oder nicht sicher) funktioniert, werden die unten beschriebenen Fälle relevant, in denen nur ein Kommunikationsweg etabliert ist.

- **Bestehen von nur einem Kommunikationsweg**: Da aufgrund der Notwendigkeit der Abrechnung in jedem Fall eine Kommunikation mit dem Backend bestehen muss, werden im Folgenden die Fälle „Kommunikation zwischen Ladeeinheit und Backend“ sowie „Kommunikation zwischen Fahrzeug und Backend“ unterschieden.

    - **Nur Kommunikation zwischen Ladeeinheit und Backend**: Um ungesteuertes Laden zu ermöglichen, muss in diesem Fall das Meter in der Ladeeinheit verortet

[337] Es sind auch verschiedene Geräte denkbar, wobei dann analoge Überlegungen gelten.

[338] Außerdem besteht die Möglichkeit die Messtechnik im Kabel zu verorten (in diesem Fall müsste das Kabel auch über eine Kommunikationsschnittstelle verfügen). Da das Kabel sich jedoch entweder an der Ladeeinheit befindet oder aber im Auto mitgeführt wird (was der wahrscheinlichere Fall ist), wird die Messtechnik im Kabel hier als ein Unterfall der beiden anderen Formen betrachtet und nicht näher thematisiert.

sein. Weiterhin muss der Nutzer die Abrechnungsinformationen entweder über eine entsprechende Schnittstelle an der Ladeeinheit in das System eingeben oder über ein separates Gerät direkt an das Backend kommunizieren. Wenn der Nutzer über eine Schnittstelle Tarifinformationen erhält, kann außerdem der Anwendungsfall beeinflusstes Laden umgesetzt werden. Aufgrund der fehlenden fahrzeugseitigen Informationen ist jedoch kein gesteuertes Laden möglich.

- **Nur Kommunikation zwischen Fahrzeug und Backend**: Analog zu der Betrachtung des vorhergehenden Falles ist ungesteuertes Laden auch hier möglich, wenn die Messtechnik im Fahrzeug verortet ist.[339] Auch die Informationen des Nutzers müssten, wenn kein Smartphone verwendet wird, über eine Schnittstelle im Fahrzeug in das System eingespielt werden. Ebenso erscheint beeinflusstes Laden bei einer Information des Nutzers möglich. Im Gegensatz zum vorhergehenden Fall könnte hier jedoch auch gesteuertes Laden umgesetzt werden, da wesentliche dafür notwendige Informationen im Fahrzeug vorliegen bzw. vorliegen können und das Fahrzeug Steuerungsinformationen empfangen kann.

Es ist anzumerken, dass die Etablierung von nur einem Kommunikationsweg zwischen Fahrzeug und Backend nicht zwangsläufig vorteilhaft ist. Beispielsweise kann eine geringere Stabilität von Mobilfunkverbindungen u. U. problematisch für eine (reaktionsschnelle) direkte Steuerung sein. Somit könnten auch Lösungen, die auf einer (evtl. stabileren) Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit sowie zwischen Ladeeinheit und Backend aufbauen, ggf. vorteilhaft sein.

Es wird deutlich, dass für die Etablierung erweiterter Anwendungsfälle, wie insbesondere dem Anwendungsfall gesteuertes Laden, eine Standardisierung von Kommunikationswegen (sowie der Informationen selbst) erforderlich ist. Dabei ist zu hinterfragen, inwieweit die beteiligten Akteure ein Interesse an einer offenen Ausgestaltung der Schnittstellen haben.[340]

3.4.1.4 Zusammenfassende Darstellung

Untenstehende Abbildung 6 stellt die verschiedenen in Abschnitt 3.4.1.1 eingeführten Komponenten beispielhaft dar. Die Energieübertragung ist dabei entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 3.4.1.2.2 am Beispiel eines AC-Ladeverfahrens (mit fahrzeugseitigem Stromrichter) abgebildet.

Hinsichtlich der Kommunikation ist zunächst von Bedeutung, dass in der Abbildung ein stationäres Meter in der Ladeeinheit dargestellt wird. Außerdem werden alle drei möglichen Kommunikationswege

[339] Entsprechend der aktuellen energiewirtschaftlichen Regelungen wäre jedoch auch ein Meter am Netzanschluss erforderlich; vgl. Abschnitt 2.1.3.3 sowie Abschnitt 2.1.4.2.

[340] Siehe zu dieser Thematik allgemein Abschnitt 4.3.1.3 sowie für eine spezifische Diskussion im Kontext öffentlicher Ladeinfrastruktur Abschnitt 8.1.1.

(Fahrzeug – Backend, Ladeeinheit – Backend, und Fahrzeug – Ladeeinheit) abgebildet. Entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 3.4.1.3.2 werden für eine Umsetzung des Anwendungsfalles gesteuertes Laden zumindest zwei dieser Kommunikationswege benötigt, um sowohl fahrzeugseitige Informationen, als auch Messdaten mit dem jeweiligen Backend austauschen zu können. Nutzerschnittstellen sind zur Ladeeinheit, zum Fahrzeug sowie direkt zum Backend (z. B. über ein Smartphone) angedeutet, wobei im dargestellten Fall potenziell eine Nutzerschnittstelle ausreichen würde, wenn über diese eine Kommunikation in beide Richtungen erfolgen kann.

Eine Direktbezahlmöglichkeit ist nicht dargestellt, könnte grundsätzlich jedoch über eine Nutzerschnittstelle (wie z. B. ein Smartphone) etabliert werden.[341]

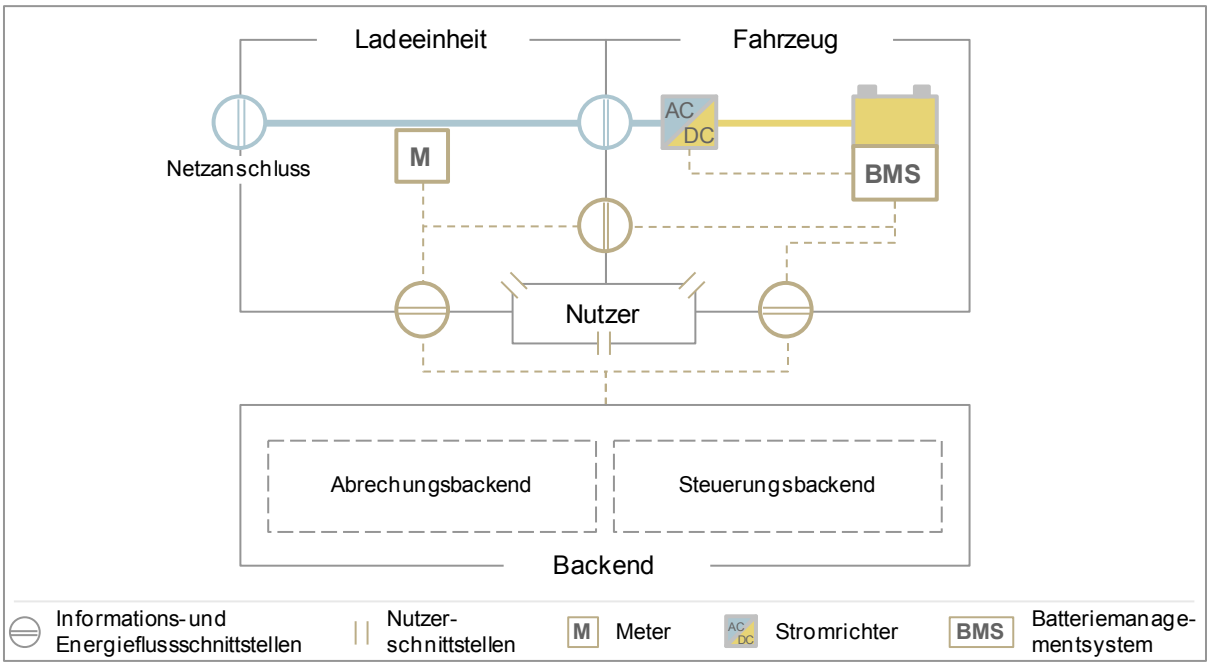


Abbildung 6: Zusammenfassende Darstellung von Energieübertragung und Kommunikation am Beispiel eines AC-Ladeverfahrens mit stationärem Meter[342]

3.4.2 Kriterienbasierte Diskussion

Innerhalb dieses Abschnitts werden die dargestellten technischen Ausgestaltungsoptionen hinsichtlich relevanter Kriterien eingeordnet und diskutiert. Insbesondere wird im folgenden Abschnitt 3.4.2.1 zunächst auf die Qualität und daran anschließend in Abschnitt 3.4.2.2 auf die Kosten eingegangen. Dabei sind vor allem Unterschiede zwischen den verschiedenen Ladeverfahren relevant. In Abschnitt 3.4.2.3 werden dann weitere Aspekte, wie die Verortung von Messeinrichtungen und Nutzerschnittstellen sowie die Möglichkeit einer Direktzahlung berücksichtigt.

[341] Vgl. Abschnitt 3.4.1.1.

[342] Quelle: Eigene vereinfachende Darstellung.

Vorab ist anzumerken, dass die auf Basis der hier im Fokus stehenden technischen Ausgestaltungsoptionen (bzw. „Hardware“) laufenden Anwendungen und Prozesse, wesentlichen Einfluss auf den Komfort der Nutzung sowie ggf. auch auf die Lade- bzw. Wartezeit haben können. Beispielsweise ist davon auszugehen, dass Nutzer es als störend empfinden, wenn Prozesse, die zur Abrechnung notwendig sind (wie beispielsweise die Authentifizierung des Nutzers) zu Wartezeiten führen oder kompliziert durchzuführen sind. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die dargestellten Ausgestaltungsoptionen sich diesbezüglich nicht unterscheiden.

3.4.2.1 Qualität

Wie in Abschnitt 3.3.1.2.2 dargestellt, sind die wesentlichen Qualitätsparameter des Ladeinfrastruktur-Systems die Anzahl bzw. Dichte und die räumliche Verteilung von Ladepunkten, die Ladegeschwindigkeit sowie der Komfort der Nutzung. Die Wahl der technischen Ausgestaltungsoptionen ist dabei zunächst nur für die beiden letzten Parameter von Bedeutung.[343]

LADEKOMFORT

Der Ladekomfort wird im Wesentlichen durch das gewählte Energieübertragungsprinzip determiniert. Es erscheint möglich, dass für Nutzer induktives Laden mit einem höheren Komfort einhergeht, da der Einsatz eines Kabels entfällt.[344] Allerdings muss beachtet werden, dass beim induktiven Laden höhere Anforderungen an die genaue Positionierung des Fahrzeugs gestellt werden, die u. U. mit gewissen Herausforderungen beim Einparken verbunden sind.

Innerhalb der konduktiven Ladeverfahren können Komfortunterschiede vor allem durch unterschiedliche Kabel bestehen. So werden für hohe Ladegeschwindigkeiten (bzw. Leistungen) größere Kabelquerschnitte benötigt, die zu einem höheren Kabelgewicht führen. Auch die Verortung des Kabels hat u. U. Einfluss auf den von Nutzern empfundenen Komfort. So existieren Konzepte, bei denen das Kabel fest mit der Ladeeinheit verbunden ist (insbesondere bei DC), während andere Konzepte voraussetzen, dass das Kabel im Auto mitgeführt wird. Insgesamt kann aber davon ausgegangen werden, dass innerhalb der konduktiven Verfahren keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich des Nutzungskomforts bestehen. Vielmehr dürften äußere Einflüsse auf den Ladestandort, wie insbesondere die Witterung, den empfundenen Nutzungskomfort beeinflussen.

Im Übrigen kann auch die Verortung von Nutzerschnittstellen Einfluss auf den Nutzungskomfort haben. Befinden sich diese in der Ladeeinheit, ist der Nutzer bei Eingaben i. d. R. äußeren Witterungseinflüssen ausgesetzt. Somit ist anzunehmen, dass eine Positionierung von Nutzerschnittstellen im Fahrzeug mit einem höheren Komfort einhergehen kann.

---

[343] Es ist anzumerken, dass verschiedene technische Ausgestaltungsoptionen aufgrund unterschiedlicher Kosten unter der Annahme einer Budgetrestriktion auch Einfluss auf die Anzahl von Ladeeinheiten und damit auf die Dichte haben, was an dieser Stelle jedoch nicht vertieft betrachtet wird.

[344] Vgl. Abschnitt 3.4.1.2.1.2.

LADEGESCHWINDIGKEIT

Entsprechend der in Abschnitt 3.4.1.2.2 dargestellten unterschiedlichen Maximalleistungen der verschiedenen Varianten konduktiver Ladeverfahren, unterscheiden sich diese bzgl. der für eine bestimmte Energiemenge benötigten Geschwindigkeit.

Tabelle 2 stellt die Ladezeit für die jeweils benötigten Energiemengen der in Abschnitt 2.1.1.2 dargestellten Fahrzeugklassen bei Distanzen von jeweils 20 und 100 km dar. Dabei ist insbesondere zu den hohen Ladeleistungen anzumerken, dass hier von einer Batterie ausgegangen wird, die die entsprechende Leistung auch über die gesamte Ladedauer aufnehmen kann.[345]

Fahrzeug	Energiebedarf		Ladedauern (h) nach -verfahren			
	Verbrauch (kWh/100km)	Distanz (km)	AC 1 (3,7 kW)	AC 3 (22,2 kW)	AC i (43,6 kW)	DC (60,0 kW)
Klasse A	14,6	20	0:47	0:07	0:04	0:02
		100	3:56	0:39	0:20	0:14
Klasse B	16,5	20	0:53	0:08	0:04	0:03
		100	4:27	0:44	0:22	0:16
Klasse C	18,5	20	1:00	0:10	0:05	0:03
		100	5:00	0:50	0:25	0:18

Tabelle 2: Ladedauern bei unterschiedlichen Ladeverfahren und elektrischen Verbräuchen[346]

Aus Tabelle 2 wird deutlich, dass selbst bei einphasigen Ladeverfahren die für typische Distanzen benötigte Energie innerhalb weniger Stunden geladen werden kann.[347] Weiterhin wird deutlich, dass die beiden dreiphasigen Wechselstrom-Ladeverfahren (AC 3 und AC i) deutlich geringere Ladedauern ermöglichen als AC 1. So kann die für 100 km benötigte Energie mit AC 3 bereits in weniger als einer Stunde geladen werden. Schließlich geht aus der Abbildung hervor, dass die Unterschiede in der Ladezeit zwischen AC i- und DC-Schnellladen vergleichsweise gering ausfallen.

[345] Dieses ist von Bedeutung, da eine Schnellladung bei hohem SoC problematisch sein kann; vgl. Abschnitt 3.4.1.2.2.3.

[346] Quelle: Eigene Darstellung auf Basis eigener Berechnungen.

[347] Die mittlere tägliche Fahrleistung in Deutschland beträgt ca. 40 km; Vgl. DAT (2012, S. 48) oder KUNERT / RADKE (2011, S.16).

3.4.2.2 Höhe von Investitions- und Betriebskosten sowie Aufteilung auf zentrale Güter

Im Folgenden wird gemäß der in Abschnitt 3.3.1.1.2 vorgenommenen Differenzierung nach einmaligen Anfangsinvestitionen sowie laufenden Betriebskosten unterschieden.

EINMALIGE ANFANGSINVESTITIONEN

Untenstehende Tabelle 3 gibt einen Überblick der verschiedenen Investitionskosten für unterschiedliche Ladeverfahren. Dabei wird zwischen Kosten, die fahrzeugseitig entstehen sowie Kosten, die stellplatzseitig zum einen für die Ladeeinheit und zum anderen für die Installation anfallen, unterschieden. Den dargestellten Kosten liegen verschiedene Annahmen hinsichtlich der Komponenten sowie ihrer Verortung zugrunde:

- **Fahrzeugseitige Kosten** beinhalten die Kosten für die Ladeelektronik (inkl. des Stromrichters bzw. Inverters bei AC-Verfahren und der Spule bei induktivem Laden) sowie bei AC 1 und AC 3 für das Ladekabel. Bei DC-Schnellladung ist außerdem ein Kommunikationsmodul für den Informationsaustausch mit der Ladeeinheit berücksichtigt. Eine eventuelle Internetschnittstelle ist fahrzeugseitig nicht einkalkuliert, viele Fahrzeuge sehen diese jedoch unabhängig davon vor.

- **Kosten in der Ladeeinheit** beinhalten allgemeine Hardwarekosten (für Gehäuse und (Leistungs-)Elektronik). Für DC und AC i ist (aufgrund der hohen Leistungen) außerdem das Ladekabel in der Ladeeinheit berücksichtigt. Bei allen Ladeverfahren sind (gleich hohe) Kosten für Kommunikationsmodule (Internetanbindung, Datenverarbeitung, Nutzerschnittstellen) sowie für das Meter in Höhe von min. 200 € bis max. 1.300 € angenommen. Diese Kosten könnten bei entsprechender Ausgestaltung alternativ auch im Fahrzeug anfallen.

- **Installationskosten** beinhalten insbesondere Kosten für die Herstellung eines Netzanschlusses (inkl. Erdarbeiten) sowie Montagekosten. Dabei ist zu beachten, dass in Einzelfällen und insbesondere bei hohen Leistungen ein Bedarf an Kapazitätserweiterungsinvestitionen im Verteilnetz entstehen kann.

Es ist anzumerken, dass bei Ladeeinheiten im halböffentlichen Bereich signifikante Kostenbestandteile, wie z. B. für die Herstellung eines Netzanschlusses, entfallen können. In diesem Abschnitt wird jedoch entsprechend des Schwerpunktes dieser Arbeit auf den öffentlichen Bereich fokussiert.

Ladeverfahren	Kosten in Euro: Fahrzeug min.	Fahrzeug max.	Ladeeinheit min.	Ladeeinheit max.	Installation min.	Installation max.
AC 1 (3,7 kW)	70	170	700	4.300	1.000	5.000
AC 3 (22,2 kW)	150	750	1.200	5.300	1.000	5.000
AC i (43,6 kW)	50	10.000	2.500	8.300	1.000	5.000
DC (60 kW)	20	300	18.000	30.300	2.000	10.000
Induktiv (3,7 kW)	1.400	2.500	2.200	4.800	1.500	5.500

Tabelle 3: Investitionskosten unterschiedlicher Ladeverfahren[348]

Aus Tabelle 3 wird zunächst deutlich, dass höhere Ladeleistungen innerhalb der konduktiven Verfahren auch mit höheren Kosten für die Ladeeinheiten einhergehen. Außerdem sind beim induktiven Verfahren insbesondere die fahrzeugseitigen Kosten noch sehr hoch. Im Übrigen fallen die hohen Unsicherheiten hinsichtlich der fahrzeugseitigen Kosten bei AC i auf, welche sich durch die Unsicherheit bzgl. der Lebensdauer der Inverterelektronik begründen.

Des Weiteren wird deutlich, dass sich die Installationskosten aller Verfahren in ihrer Höhe nicht wesentlich unterscheiden, was insbesondere dadurch begründet ist, dass das Verteilnetz dreiphasig aufgebaut ist und Netzanschlüsse entsprechend dreiphasig hergestellt werden. Dieses ist insbesondere hinsichtlich des Unterschiedes zwischen AC 1 und AC 3 von Bedeutung, da mit AC 3 zu geringen stellplatzseitigen Mehrkosten eine vielfach höhere Leistung erzielt werden kann.

Schließlich geht aus der Tabelle hervor, dass bei DC-Schnellladeverfahren mit hohen Kosten für die Ladeeinheit zu rechnen ist und die Kosten der Ladeeinheiten für alle AC-Verfahren deutlich darunter liegen. Jedoch ermöglicht DC (als alleiniges Verfahren) eine günstigere fahrzeugseitige Ausstattung. Von den hohen Unsicherheiten abstrahierend, hätte AC i grundsätzlich das Potenzial, ein auf Wechselstrom basierendes sehr schnelles Ladeverfahren günstiger bereitzustellen, als dieses mit DC-Technik möglich ist.

[348] Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Informationen aus KLEY (2011, S. 32 ff.), Experteninterviews sowie eigenen Abschätzungen.

LAUFENDE KOSTEN DES BETRIEBS

Im Folgenden wird kurz auf verschiedene Arten laufender Kosten eingegangen:

- **Wartungskosten** fallen beispielsweise für die Reinigung oder den Austausch von Verschleißteilen (wenn vorhanden) an. Grundsätzlich kann von einer Korrelation mit den Investitionskosten ausgegangen werden, sodass teurere Ladeeinheiten auch mit höheren Wartungskosten einhergehen dürften.

- **Kommunikationskosten** entstehen insbesondere durch die Notwendigkeit einer Internetverbindung zwischen der Ladeschnittstelle und dem Backend.

- **Kosten aufgrund von Vandalismus**: Das Vandalismusrisiko ist vor allem standortabhängig, kann aber auch durch konstruktive Details (wie beispielsweise selbstverschließende Steckdosen) verringert werden.

Es wird deutlich, dass die technischen Ausgestaltungsoptionen nur einen geringen Einfluss auf die laufenden Kosten haben, da viele Kostenbestandteile unabhängig von der technischen Ausgestaltung anfallen. Aufgrund der Wartungskosten lässt sich grundsätzlich von einer gewissen Korrelation der Höhe von Investitionskosten und laufenden Kosten ausgehen.

Es ist anzumerken, dass die Kosten für die Nutzung komplementärer Güter (wie insbesondere für elektrischen Strom und die Netznutzung) hier nicht berücksichtigt sind. Je nach Ausgestaltung der Bepreisung und der institutionellen Rahmenbedingungen können aus einer Nutzerperspektive hier jedoch Unterschiede bestehen. Für den (isolierten) Bereich der Ladeinfrastruktur kann festgehalten werden, dass signifikante einmalige Kosten (Investitionskosten) anfallen, während der Bereich der laufenden Kosten geringere Größenordnungen aufweist.

3.4.2.3 Berücksichtigung weiterer Aspekte

Im Folgenden werden kurz weitere Aspekte betrachtet, die einen potenziellen Einfluss auf relevante Kriterien haben. In Abschnitt 3.4.2.3.1 wird zunächst der Einfluss verschiedener Optionen der Verortung von Messtechnik und Nutzerschnittstellen thematisiert. Daran anschließend wird in Abschnitt 3.4.2.3.2 auf die Möglichkeit der Direktzahlung eingegangen.

3.4.2.3.1 Einfluss der Verortung von Messeinrichtungen und Nutzerschnittstellen

Wie in Abschnitt 3.4.1.3.2.2 ausführlich beschrieben, können die für Anwendungsfälle notwendigen Nutzerschnittstellen und die Messeinrichtung an verschiedenen Stellen verortet werden.[349] Dabei kann die Verortung von Nutzerschnittstellen ggf. Einfluss auf den Nutzungskomfort und damit die

[349] Vgl. Abschnitt 3.4.1.3.2.2.

Angebotsqualität haben.[350] In Bezug auf die Verortung der Messeinrichtung ist anzunehmen, dass bei gleichbleibender Qualität keine signifikanten Kostenunterschiede zwischen einem fahrzeugseitig und einem stellplatzseitig verbauten Modul bestehen (wobei Transaktionskosten an dieser Stelle ausgeklammert werden). Somit findet zunächst nur eine Verschiebung von Kosten zwischen Ladeeinheit und Fahrzeug statt.

Eine eventuelle Vorteilhaftigkeit bzgl. der stellplatzseitigen oder fahrzeugseitigen Kosten hängt somit aus einer Gesamtperspektive von der Anzahl der Ladeeinheiten und der Anzahl der Fahrzeuge ab. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass bei günstigeren Ladeeinheiten eine höhere Dichte bzw. engmaschigere Abdeckung günstiger hergestellt werden kann. Somit kann die Entscheidung für die Verortung entsprechender Messeinrichtungen im Fahrzeug gleichzeitig dazu führen, dass ein qualitativ hochwertigeres System günstiger aufgebaut werden kann. Dieses könnte insbesondere für den Aufbau im halböffentlichen Bereich relevant sein, wenn dort weitere signifikante Kostenbestandteile (wie z. B. für den Netzanschluss) entfallen. Eine ausführlichere Betrachtung mobiler Messtechnik und halböffentlicher Ladeinfrastruktur erfolgt in Kapitel 9.[351]

3.4.2.3.2 Potenzieller Einfluss der Möglichkeit einer Direktbezahlung

Wie bereits in Bezug auf die Kommunikationserfordernisse dargestellt, kann eine Direktbezahlmöglichkeit relativ kostengünstig über bestehende Nutzerschnittstellen (wie z. B. ein Smartphone) hergestellt werden. Alternativ könnten auch dedizierte Bezahlmodule (wie z. B. ein EC-Kartenterminal oder sogar die Möglichkeit der Barzahlung) in der Ladeeinheit vorgesehen werden, was mit entsprechenden Mehrkosten bei der Investition sowie mit höheren Wartungskosten und einem höheren Vandalismusrisiko einhergehen würde.

Es ist fraglich, ob eine solche Bezahlmöglichkeit signifikanten Einfluss auf die Qualität der Nutzung hat. Zunächst kann davon ausgegangen werden, dass ein automatisiertes Abrechnungssystem mit gewissen Einmalaufwendungen auf Seiten der Nutzer (z. B. für die Registrierung) einhergeht und die Transaktionskosten des eigentlichen, sich wiederholenden Abrechnungsvorgangs dann sehr gering (bzw. nahezu Null) sind. Somit steigt die Vorteilhaftigkeit eines automatisierten Abrechnungssystems mit der Regelmäßigkeit bzw. Häufigkeit der Nutzung. Geht man davon aus, dass die Nutzung eines Elektromobilitätssystems (durch einen Nutzer) eine gewisse zeitliche Dauer umfasst lässt sich unterstellen, dass ein automatisiertes Bezahlsystem mit Vorteilen einhergeht.

3.4.3 Schlussfolgerungen und Annahmen beim weiteren Vorgehen

Im Rahmen der Beschreibung technischer Ausgestaltungsoptionen in Abschnitt 3.4.1 ist zunächst deutlich geworden, dass noch gewisse Unsicherheiten hinsichtlich nicht konduktiver

[350] Vgl. Abschnitt 3.4.2.1.

[351] Siehe Abschnitt 9.2 sowie Abschnitt 9.3.

Energieübertragungsprinzipien bestehen, sodass im weiteren Verlauf der Arbeit auf konduktive Ladeverfahren fokussiert wird.

Innerhalb der konduktiven Ladeverfahren erscheinen mit dem AC 3-Ladeverfahren vergleichsweise hohe Ladeleistungen zu geringen Mehrkosten (gegenüber AC 1) möglich.[352] Die Analysen in Kapitel 6 bis Kapitel 8 abstrahieren jedoch zunächst von der Frage des Umgangs mit verschiedenen AC-Ladeverfahren und gehen allgemein von einer AC-Ladeinfrastruktur und einem dedizierten fahrzeugseitigen Stromrichter aus. Konduktive Schnellladeverfahren (AC i und DC) werden dann in Kapitel 9 wieder aufgegriffen,[353] wobei dort auch thematisiert wird, welche Auswirkung die (mit noch hohen Unsicherheiten behaftete) Option des Inverterladens (AC i) auf die Rationalität einer Etablierung von DC-Schnellladung hat.

Für den (wahrscheinlichen) Fall, dass Ladeinfrastruktur im öffentlichen Bereich als AC 3-Ladeinfrastruktur aufgebaut wird (bzw. aufgebaut werden sollte), stellt sich die Frage, inwiefern Elektrofahrzeuge ebenfalls AC 3-fähig sind. Dieses betrifft die Frage der Abstimmung zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeug und wird im Rahmen von Kapitel 8 kurz aufgegriffen.[354] In Verbindung mit der Betrachtung anderer (Schnell-)Ladeoptionen wird ein potenzielles Abstimmungsproblem dann in Abschnitt 9.1 nochmals untersucht. Somit wird im Rahmen des zentralen Analyseteils dieser Arbeit (Kapitel 6 bis Kapitel 8), zumeist von AC-Ladeinfrastruktur im Allgemeinen ausgegangen und die fahrzeugseitige Ausstattung nicht näher thematisiert.

Im Übrigen wird in Kapitel 6 bis Kapitel 8 bzgl. der verschiedenen in Abschnitt 3.4.1.3 dargestellten Optionen für die Ausgestaltung von Kommunikationswegen und der damit in Verbindung stehenden Interdependenzen bzgl. der Verortung der Messeinrichtung, von stationärer Messtechnik ausgegangen. Die Möglichkeit mobiler Messtechnik wird dann in Abschnitt 9.3. thematisiert.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die in diesem Abschnitt getroffenen Aussagen auf einer Vielzahl (transparent dargestellter) Annahmen basieren, die mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind.

[352] Vgl. für eine analoge Einschätzung NPE (2012b, S. 41).

[353] Siehe Abschnitt 9.1.

[354] Siehe Abschnitt 8.1.2.1.

Teil B – Untersuchungsansatz und Vorgehen bei der Analyse

In diesem Teil der Arbeit erfolgt in Kapitel 4 zunächst eine allgemeine Darstellung des Untersuchungsansatzes. Darauf aufbauend werden in Kapitel 5 Elemente des Untersuchungsansatzes mit Bezug zum Gesamtsystem der Elektromobilität angewendet sowie die Vorgehensweise bei der weiteren Analyse beschrieben.

4 Untersuchungsansatz und relevante theoretische Erkenntnisse für die Analyse von Systemgütern

Innerhalb dieses Kapitels wird in Abschnitt 4.1 zunächst ein Überblick über den Untersuchungsansatz gegeben. Daran anschließend werden in Abschnitt 4.2 ein allgemeiner Untersuchungsrahmen und in Abschnitt 4.3 relevante theoretische Erkenntnisse für die Analyse auf Basis des Untersuchungsrahmens dargestellt.

4.1 Überblick über den Untersuchungsansatz

Für die Untersuchung der Fragestellungen bezüglich der Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur wird in dieser Arbeit ein Untersuchungsansatz angewendet, der in ähnlicher Form bereits bei vergleichbaren Themenstellungen zur Anwendung gekommen ist.[355] Die wesentlichen Elemente dieses Ansatzes sind der Untersuchungsrahmen, ökonomische Theorien sowie ein Zielsystem, auf dessen Basis sich Bewertungskriterien herleiten lassen.[356] Abbildung 7 stellt diese Elemente im Zusammenhang mit ihrer konkreten Anwendung dar.

[355] Der in dieser Arbeit angewendete Untersuchungsansatz wurde von der Arbeitsgruppe Infrastrukturökonomie und -management am Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik der TU Berlin zur Analyse von Systemgütern entwickelt; vgl. für eine ausführliche Darstellung BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b). Vgl. für die Anwendung eines ähnlichen Ansatzes im Bereich der Verkehrstelematik BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012a).

[356] Vgl. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 1). Auf das Zielsystem wird in Abschnitt 5.1 eingegangen.

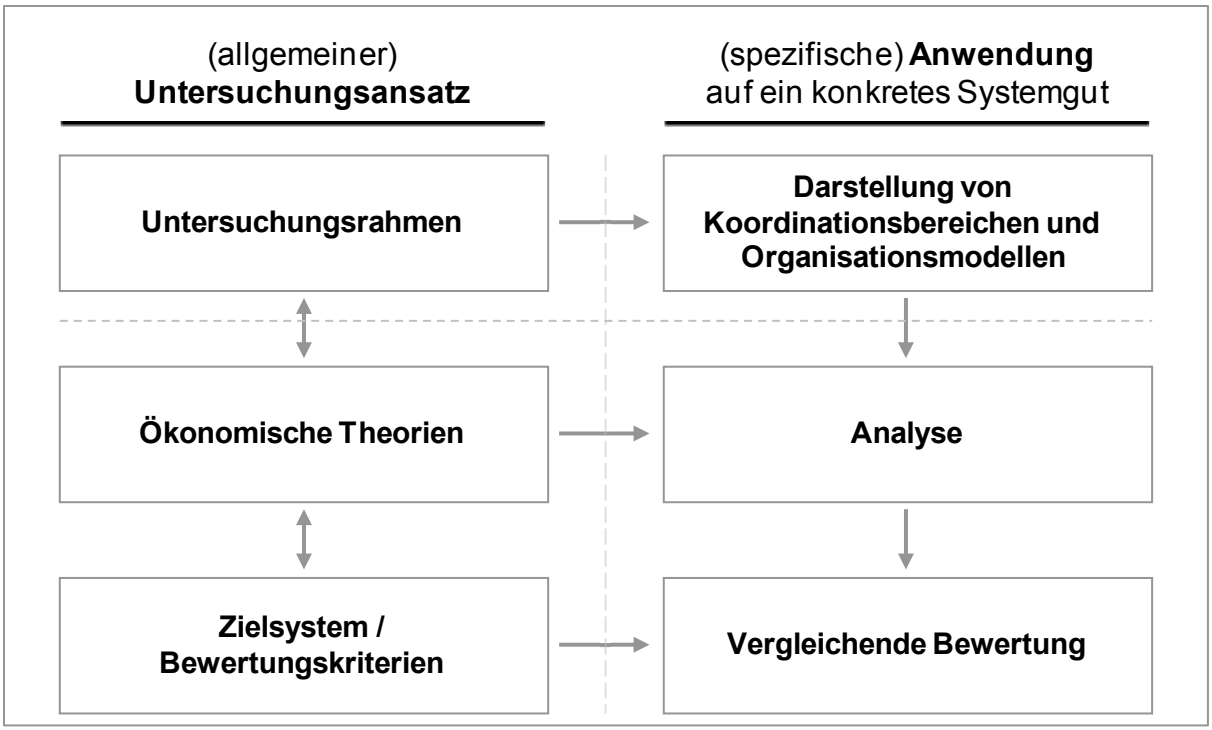


Abbildung 7: Überblick über den Untersuchungsansatz[357]

Der Untersuchungsrahmen bildet die Grundlage des Untersuchungsansatzes und dient einer systematischen Darstellung der verschiedenen Elemente des Gesamtsystems. Darauf aufbauend lassen sich zunächst Entscheidungen, die das Angebot verschiedener Teilleistungen betreffen, identifizieren. Dabei bestehen aufgrund des Systemcharakters i. d. R. vielfältige Interdependenzen zwischen den durch verschiedene Rollen verantworteten (Bereitstellungs-)Entscheidungen, die zu einem Abstimmungsbedarf in sog. „Koordinationsbereichen" führen.[358] Von zentraler Bedeutung für das Ergebnis dieser Abstimmungen sind die institutionellen Lösungen,[359] auf die die beteiligten Akteure, die eine oder mehrere Rollen ausfüllen können, bei der Fällung ihrer Entscheidungen zurückgreifen. Die Auswirkungen der „Verwendung" bestimmter institutioneller Lösungen können dann mithilfe ökonomischer Theorien prognostiziert und im Zusammenspiel mit Bewertungskriterien beurteilt werden.

Zur Vorbereitung der Analysen werden (konkret in dieser Arbeit in Abschnitt 5.2) die verschiedenen Rollen beschrieben, auf dessen Basis dann die Abstimmungserfordernisse aufgezeigt werden können. Bei den Analysen können dann grundsätzlich zwei Wege eingeschlagen werden, die im Regelfall substitutiv eingesetzt werden, aber sich ggf. auch ergänzen können:

---

[357] Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 1).

[358] Siehe für eine ausführliche Erläuterung der Begrifflichkeiten Abschnitt 4.2.

[359] Der Begriff institutionelle Lösung steht in diesem Zusammenhang zum einen für die Koordinationsform (z. B. Abstimmung innerhalb der „hierarchischen" Organisation eines Akteurs oder über wettbewerbliche (Markt-)Mechanismen) sowie zum anderen für die formellen oder informellen Regeln, die ebenfalls Einfluss auf die Abstimmung haben; siehe für eine Erläuterung verschiedener Koordinationsformen Abschnitt 4.3.2.

- Zunächst besteht die Möglichkeit, einzelne Koordinationsbereiche zu betrachten und für diese Ausschnitte des Gesamtsystems unter Rückgriff auf ökonomische Theorie im Hinblick auf das Zielsystem sinnvolle institutionelle Lösungen zu identifizieren. Diese werden dann unter zielgerichteter Anwendung ökonomischer Theorien hinsichtlich der Ausprägung relevanter Parameter analysiert und auf Basis eines (konkret in dieser Arbeit in Abschnitt 5.1 dargestellten) Zielsystems (vergleichend) bewertet werden. Dabei ist zu beachten, dass die institutionellen Lösungen, die für die verschiedenen Ausschnitte aus dem Gesamtsystem als geeignet eingestuft werden, auch miteinander sinnvoll harmonieren.

- Alternativ können Organisationsmodelle, die ein konsistentes Bündel der im Gesamtsystem relevanten Koordinationsbereiche sowie der auf diese Bereiche wirkenden institutionellen Lösungen umfassen, beschrieben werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird insbesondere der zuerst genannte Ansatz verfolgt.

4.2 Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsrahmen dient der systematischen Darstellung der für die Bereitstellung eines Systemgutes notwendigen Elemente und bildet die Basis für die Beschreibung von Koordinationsbereichen und Organisationsmodellen. Im Kontext von Systemgütern ist dabei insbesondere ein Verständnis der für die (koordinierte) Erbringung der verschiedenen Teilleistungen notwendigen Abstimmungen bzw. der Koordinationserfordernisse von Bedeutung.

Wesentliche Grundlage des Untersuchungsrahmens ist die systematische Aufnahme des technischen Systems, welches insbesondere die notwendigen Assets und Prozesse sowie die Interdependenzen zwischen diesen Elementen beinhaltet.[360] Im Rahmen dieser Arbeit wurde das technische System bereits in Abschnitt 2.1 sowie in Kapitel 3 ausführlich dargestellt.

Im folgenden Abschnitt 4.2.1 werden wesentliche, für die Beschreibung von Organisationsmodellen notwendige Systematisierungen eingeführt. Im anschließenden Abschnitt 4.2.2 erfolgt eine Erläuterung der Eigenschaften von Akteuren sowie eine Einführung und Beschreibung von Institutionen, die die Handlungen von Akteuren beeinflussen. Der abschließende Abschnitt 4.2.3 beinhaltet eine allgemeine Darstellung von Koordinationsbereichen entlang von Phasen der Marktentwicklung, die bei der Bereitstellung von Systemgütern durchlaufen werden.

[360] Vgl. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 3).

4.2.1 Rollen als Aufgabenbündel, Beziehungen sowie Entscheidungen und Koordinationsbereiche

Im Folgenden wird zunächst auf den Begriff der Rolle eingegangen. Daran anschließend erfolgt eine Systematisierung verschiedener Arten von Beziehungen und schließlich eine Erläuterung des Begriffes Koordinationsbereich.

ROLLEN ALS AUFGABENBÜNDEL

Der Begriff „Rolle“ wird im Rahmen dieser Arbeit als Bündel von Aufgaben verstanden, die für die Erbringung einer (Teil-)Leistung im Kontext der Bereitstellung des Gesamtsystems zu erfüllen sind.[361] Dabei umfasst die Rolle auch die Verantwortung für die mit den Aufgaben einhergehenden Entscheidungen. Die Aufgaben und Teilleistungen können i. d. R. auf Basis des technischen Gesamtsystems hergeleitet werden. So kann beispielsweise die Bereitstellung eines zentralen Gutes ein Aufgabenbündel darstellen, das in einer Rolle zusammengefasst wird.

Rollen werden durch Akteure wahrgenommen (bzw. verantwortet). Dabei kann ein Akteur grundsätzlich mehrere Rollen wahrnehmen. Außerdem wird in dieser Arbeit zunächst davon ausgegangen, dass sich die Verantwortung für eine Rolle nicht auf unterschiedliche Akteure aufteilen lässt.[362] Somit erfolgt durch die Definition von Rollen bereits eine Voreinstellung hinsichtlich der Integration von einzelnen Aufgaben durch Akteure, die Rollen ausfüllen. Das in dieser Arbeit für das Gesamtsystem der Elektromobilität unterstellte Rollenmodell wird in Abschnitt 5.2 vorgestellt.

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN ROLLEN BZW. AKTEUREN

Im Kontext eines Systemgutes bestehen i. d. R. Interdependenzen zwischen den verschiedenen (Teil-)Leistungen. Somit stehen die Rollen bzw. die Akteure, die die Rollen ausfüllen, als Erbringer dieser Leistungen in einer gewissen Beziehung.[363]

Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei wesentliche Formen von Beziehungen unterschieden:

- **Horizontale Beziehungen** bezeichnen Beziehungen zwischen Akteuren, die die gleiche Rolle wahrnehmen.[364] Dabei kann zwischen Akteuren, die im Wettbewerb zueinander stehen sowie solchen, die die gleiche Rolle in verschiedenen Gebieten ausüben, unterschieden werden.

[361] Vgl. für ein analoges Begriffsverständnis BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 5).

[362] Es besteht natürlich die Möglichkeit, dass Akteure, die Rollen wahrnehmen, einzelne Leistungen durch andere Akteure (z. B. durch sog. Subunternehmer) erbringen lassen, wobei die Verantwortung grundsätzlich bei dem Akteur, der die Rolle wahrnimmt, verbleibt.

[363] Vgl. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 7).

[364] Diese Beziehung kann auch als „substitutive Beziehung“ bezeichnet werden.

Letzterer Fall kann auch als „räumlich komplementär“ im Zusammenhang mit Gebietskomplementären bezeichnet werden.[365]

- **Komplementäre Beziehungen** bestehen zwischen Rollen (bzw. den Akteuren, die die Rolle ausführen), deren (Teil-)Leistungen sich zu einer Gesamtleistung ergänzen (bzw. komplementieren). Komplementäre Beziehungen können weiter unterschieden werden in räumlich (s. o.), zeitlich oder sachlich komplementäre Beziehungen sowie Auftragsbeziehungen.[366] Im Rahmen dieser Arbeit sind vor allem sachlich komplementäre Beziehungen relevant, die zwischen Rollen bestehen, deren Leistungen durch einen Nutzer gleichzeitig genutzt werden.[367]

ENTSCHEIDUNGEN UND KOORDINATIONSBEREICHE

Für die Erbringung von Leistungen sind Entscheidungen zu treffen, die einhergehend mit den Aufgaben verschiedenen Rollen zugeordnet werden können und zeitlich in verschiedene Phasen fallen.[368] Zwischen den Entscheidungen können Interdependenzen bestehen, woraus sich ein Abstimmungs- bzw. Koordinationsbedarf ergibt, welcher im Rahmen dieser Arbeit auch als Koordinationsbereich bezeichnet wird.

4.2.2 Aufgaben wahrnehmende Akteure sowie Institutionen, die Handlungsspielräume vorgeben

Im Folgenden wird in Abschnitt 4.2.2.1 auf Akteure und in Abschnitt 4.2.2.2 auf Institutionen eingegangen.

4.2.2.1 Akteure

Unter dem Begriff Akteur werden in dieser Arbeit Individuen oder organisatorische Einheiten (die sich wiederum aus mehreren Akteuren zusammensetzen) verstanden.[369] Wie im vorhergehenden Abschnitt 4.2.1 kurz erläutert, werden Rollen bzw. Aufgabenbündel durch Akteure wahrgenommen. Dabei treffen Akteure insbesondere die mit den jeweiligen Aufgaben verbundenen Entscheidungen. Die Entscheidungen und Handlungen eines Akteurs werden im Wesentlichen durch sein individuelles Zielsystem in Verbindung mit individuellen Verhaltensparametern (z. B. dem Grad der Risikoaversion) sowie durch seine Ressourcenausstattung beeinflusst:

---

[365] Vgl. Abschnitt 2.1.3.2 für eine Einführung des Begriffes „Gebietskomplementär“ am Beispiel von Netzbetreibern.

[366] Vgl. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 7). Auftragsbeziehungen werden häufig auch als vertikale Beziehungen bezeichnet, wobei diese auch innerhalb einer organisatorischen Einheit bestehen können; vgl. ERLEI / LESCHKE / SAUERLAND (2007, S. 42).

[367] Demgegenüber bestehen zeitlich komplementäre Beziehungen zwischen Rollen, deren Leistungen in zeitlicher Abfolge zu erbringen sind.

[368] Vgl. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 8).

[369] Vgl. für analoge Definitionen BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 9) sowie KLATT (2011, S. 60).

- **Zielsysteme** von Akteuren können durch Mehrdimensionalität gekennzeichnet sein.[370] So können neben monetären Werten auch immaterielle Aspekte wie Macht, Ruhm oder Respekt für Akteure von Bedeutung sein. Vereinfachend kann angenommen werden, dass private Unternehmen eher eindimensionale, monetär orientierte Zielsysteme aufweisen, während öffentliche Akteure eher gesamtwirtschaftlich orientierte, mehrdimensionale Zielsysteme aufweisen.

- **Ressourcen** werden von Akteuren zur Verfolgung der individuellen Ziele eingesetzt.[371] Es lassen sich verschiedene Arten von Ressourcen, wie insbesondere Zeit, Geld, Sachmittel sowie Wissen unterscheiden, wobei Interdependenzen zwischen diesen Arten bestehen.[372] So lässt sich Wissen beispielsweise durch den Einsatz von Zeit aufbauen. Die Anforderungen an die Ressourcenausstattung von Akteuren ergeben sich im Wesentlichen aus den verschiedenen Rollen.[373]

Grundsätzlich können Akteure entlang weiterer Dimensionen, wie z. B. als öffentliche oder private Akteure, beschrieben werden. In dieser Arbeit werden Akteure außerdem entsprechend ihrer Rolle benannt bzw. eingeordnet (z. B. Fahrzeughersteller oder Netzbetreiber).

4.2.2.2 Institutionen

Institutionen beeinflussen die Entscheidungen bzw. Handlungen von Akteuren, indem sie Anreize setzen oder Handlungsspielräume definieren.[374] Im Allgemeinen werden handlungskanalisierende Regeln oder Verträge sowie Mechanismen zu ihrer Durchsetzung, die sowohl formellen als auch informellen Charakter haben können, als Institutionen bezeichnet.

Beispiele für formelle Institutionen sind Gesetze oder Verordnungen. Ihre Einführung setzt regelmäßig einen formellen Beschluss voraus.[375] Im Gegensatz dazu werden informelle Institutionen i. d. R. über einen gewissen Zeitraum aufgebaut. Als Beispiel kann Reputation genannt werden, deren Aufbau durch wiederholte Interaktion von Akteuren oder wiederholtes Signaling ermöglicht wird.[376] Auch hinsichtlich ihrer Durchsetzbarkeit können formelle und informelle Institutionen unterschieden werden. So ist die Wirkung formeller Institutionen auf die Handlungen von Akteuren wesentlich vom Regeldesign abhängig. In Verbindung mit einer gewissen Komplexität des Regelungsgegenstandes sowie Unsicherheit hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen können formelle Regeln auch

[370] Vgl. KLATT (2011, S. 63 ff.).

[371] Vgl. KLATT (2011, S. 63).

[372] Vgl. KLATT (2011, S. 61 f.).

[373] Vgl. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 9).

[374] Vgl. ERLEI / LESCHKE / SAUERLAND (2007, S. 22).

[375] Vgl. KLATT (2011, S. 94).

[376] Bei vorhandener Reputation können die mit einem Reputationsverlust potenziell einhergehenden Kosten zu einer gewissen Kanalisation der Handlungen des jeweiligen Akteurs führen.

Handlungsspielräume zulassen bzw. eröffnen, die bei der Einführung der Regel nicht berücksichtigt wurden.[377] Die Wirkung informeller Institutionen hingegen ist vor allem abhängig von ihrer Akzeptanz. So können sich informelle Institutionen im Zeitverlauf zurückbilden, wenn ihre Vorteilhaftigkeit allgemein hinterfragt wird oder in zunehmendem Maße gegen sie verstoßen wird.

Im Rahmen dieser Arbeit sind Institutionen zum einen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Entscheidungen von Akteuren in verschiedenen Koordinationsbereichen von Bedeutung. Zum anderen können Institutionen die Handlungsspielräume von Akteuren auch hinsichtlich der Wahrnehmung von Rollen (durch Wahrnehmungsgebote oder -verbote) beeinflussen.[378]

4.2.3 Phasen und Koordinationsbereiche bei der Bereitstellung von Systemgütern

Innerhalb dieses Abschnitts erfolgt eine kurze Beschreibung zentraler Koordinationsbereiche, die bei der Bereitstellung von Systemgütern im Allgemeinen bestehen.[379] Dabei wird entlang der unterschiedlichen Phasen der Marktentwicklung vorgegangen. In Abschnitt 4.2.3.1 wird zunächst kurz auf die Forschungs- und Entwicklungsphase (F & E-Phase) eingegangen. Daran anschließend werden in Abschnitt 4.2.3.2 Koordinationsbereiche in der Angebotsvorbereitungsphase dargestellt, die im Zentrum der weiteren Analysen dieser Arbeit stehen. In Abschnitt 4.2.3.3 wird auf die Erstangebots- und Folgephase eingegangen.

Es ist zu beachten, dass die verschiedenen zentralen Güter bzw. (Teil-)Leistungen eines Systemgutes zu einem Zeitpunkt unterschiedliche Phasen durchlaufen können. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn einzelne zentrale Güter bereits außerhalb des Systems einen Nutzen stiften.[380] In solchen Fällen können jedoch Anpassungen von Entscheidungen erforderlich sein, die in früheren Phasen getroffen wurden, womit wiederum ein Abstimmungsbedarf einhergeht.

4.2.3.1 Forschungs- und Entwicklungsphase

Innerhalb der F & E-Phase erfolgen für die weitere Ausgestaltung des Systemgutes wesentliche Entscheidungen bzw. Voreinstellungen. Insbesondere werden Grundlagen hinsichtlich der Funktionsweise einzelner Teilleistungen sowie des Gesamtsystems erarbeitet. Außerdem werden i. d. R. verschiedene (ggf. vorläufige) Standards geschaffen, die die Voraussetzung für die Herstellung von Kompatibilität zwischen einzelnen Teilleistungen darstellen. Im Folgenden wird kurz auf die Koordinationsbereiche Forschung und Entwicklung sowie die Schaffung von Standards näher eingegangen.

---

[377] Siehe für Effekte, die mit formellen Institutionen einhergehen, auch Abschnitt 4.3.2.

[378] Vgl. diesbezüglich auch BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012b, S. 4).

[379] Die Ausführungen des Abschnitts basieren in Teilen auf BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012a, S. 32 ff.).

[380] Im Systemgut Elektromobilität betrifft dies insbesondere das Elektrizitätssystem.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Im Rahmen der F & E-Phase ist im Bereich von Teilleistungen, die durch einzelne Akteure bereitgestellt werden können, von keinen oder nur geringen Abstimmungserfordernissen auszugehen. Fraglich hingegen ist, in welcher Form F & E erfolgt, die mehrere Teilleistungen sowie insbesondere Schnittstellen zwischen diesen Leistungen betrifft (diese wird im Folgenden auch als „systemische F & E" bezeichnet). Zunächst ist davon auszugehen, dass für systemische F & E Wissen bzgl. mehrerer Teilleistungen erforderlich ist, welches in dieser frühen Phase nur in Ausnahmefällen bei einem einzelnen Akteur vorliegt. Somit können zwei grundlegende Möglichkeiten für systemische F & E angenommen werden:

- **Integration**: Ein Akteur versucht Wissen bzgl. aller relevanten Teilbereiche aufzubauen, da er die mit einer Bereitstellung des Gesamtsystems für ihn zu erwartenden Renten höher einschätzt, als die in frühen Phasen entstehenden Kosten (u. a. für den Wissensaufbau). Dieses dürfte vor allem dann der Fall sein, wenn der entsprechende Akteur die Möglichkeit sieht, beim Angebot des Systemgutes eine dominante Stellung einzunehmen, die es ihm erlaubt sich einen Großteil der Renten anzueignen. Eine solche Stellung wird im Folgenden auch als Position des Systemeigentümers bezeichnet.[381] In Fällen, in denen mehrere Akteure die Position des Systemeigentümers anstreben, kann es dazu kommen, dass verschiedene Systemansätze entwickelt werden, die u. U. nicht kompatibel zueinander sind.[382]

- **Kooperation**: Es kommt zu systemischer F & E im Rahmen von Kooperationen zwischen verschiedenen Akteuren. Derartige Kooperationen erfolgen eher, wenn die beteiligten Akteure in der Lage sind, Vereinbarungen hinsichtlich der Aufteilung potenzieller Renten zu treffen und gehen mit Abstimmungs- bzw. Transaktionskosten einher. Für den Fall, dass sich mehrere F & E-Kooperationen bilden, kann es auch hier zur Entwicklung verschiedener Systemansätze kommen. Sollten die (erwarteten) Transaktionskosten über die (erwarteten) Renten hinausgehen, erfolgt keine Kooperation. Somit kann es im Rahmen eines Systemgutes zu Situationen kommen, in denen systemische F & E nicht erfolgt – und somit auch keine Bereitstellung des Gesamtsystems.

In Fällen, in denen die öffentliche Hand ein Interesse an der Bereitstellung bzw. Optimierung des Gesamtsystems hat, erfolgt häufig eine Förderung systemischer F & E-Projekte mit öffentlichen Geldern. Die zur Verfügung gestellten Mittel dürften, im häufigen Fall der Förderung von Forschungskooperationen, auch von Bedeutung sein, um die Kosten der Abstimmung zwischen verschiedenen Akteuren (zumindest partiell) zu tragen.

[381] Vgl. auch BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012a, S. 38).

[382] Dabei gelten ähnliche Überlegungen wie bei der Standardisierung, die im Rahmen von Abschnitt 4.3.1.3 auf Basis der Netzwerkökonomik ausführlich behandelt wird.

SCHAFFUNG VON STANDARDS

Für die Bereitstellung von Systemgütern ist Kompatibilität zwischen den einzelnen Teilleistungen erforderlich. Um Kompatibilität zwischen Teilleistungen herzustellen, sind deren Schnittstellen mit entsprechenden (Kompatibilitäts-)Standards auszugestalten. In der F & E-Phase werden grundlegende Standards (und damit die Voraussetzungen für die Herstellung von Kompatibilität) geschaffen.[383]

Grundsätzlich lassen sich proprietäre und offene Standards unterscheiden. Proprietäre Standards sind durch einen Akteur bzw. Eigentümer gekennzeichnet, der über die Verwendung des Standards entscheiden kann. Beispielsweise kann der Eigentümer des Standards Entgelte für die Verwendung verlangen oder Akteure von der Verwendung ausschließen.[384] Demgegenüber können offene Standards grundsätzlich von allen Akteuren verwendet werden. Außerdem lassen sich verschiedene Standardisierungsprozesse unterscheiden, wie beispielsweise wettbewerbliche Prozesse, die häufig zu proprietären Standards führen, sowie Kooperationen in Standard-Komitees, die i. d. R. eher zu offenen Standards führen.[385]

Aufgrund der verschiedenen Zielsysteme von Akteuren sowie unterschiedlicher Ressourcen existieren im Ergebnis häufig verschiedene offene sowie proprietäre Standards, die für die Ausgestaltung von Schnittstellen verwendet werden können. Die Entscheidung für die Verwendung bestimmter Standards (Kompatibilitäts- bzw. Standardisierungsentscheidung) wird im Rahmen dieser Arbeit der im folgenden Abschnitt beschriebenen Angebotsvorbereitungsphase zugeordnet.

4.2.3.2 Angebotsvorbereitungsphase

Innerhalb der Angebotsvorbereitungsphase werden die für die tatsächliche Ausgestaltung des Gesamtsystems wesentlichen (Bereitstellungs-)Entscheidungen getroffen. Die in den folgenden Abschnitten dargestellten Koordinationsbereiche beschreiben im Rahmen eines erstmaligen Angebotes zu treffende Entscheidungen.

4.2.3.2.1 Grundlegendes technisches Systemdesign und Kompatibilitätsentscheidungen

Für das Angebot eines Systemgutes sind zunächst grundlegende Entscheidungen hinsichtlich des Systemdesigns zu treffen. Darunter fallen insbesondere Entscheidungen zur beabsichtigten Angebotsqualität, die i. d. R. durch die verschiedenen technischen Komponenten wesentlich beeinflusst wird. Dabei bestehen bzgl. der einzelnen zentralen Güter häufig vielfältige

[383] Nach SWANN (2000) lassen sich verschiedene Arten von Standard-Kategorien unterscheiden (die sich auch überschneiden können). So existieren neben Kompatibilitätsstandards weitere Standards, wie z. B. Sicherheits- und Qualitätsstandards; vgl. SWANN (2000, S. 4 ff.). Im Rahmen dieser Arbeit stehen Kompatibilitätsstandards im Vordergrund und der Begriff Standards wird (sofern nicht anders gekennzeichnet) auch in diesem Sinne verwendet.

[384] Vgl. SWANN (2000, S. 5).

[385] Siehe für eine ausführlichere Darstellung Abschnitt 4.3.1.3.

Ausgestaltungsmöglichkeiten, die Interdependenzen zueinander aufweisen. Als Beispiel kann hier die Übertragungsgeschwindigkeit von Mobilfunknetzen genannt werden, die mit der technischen Ausstattung von Smartphones abzustimmen ist und Einfluss auf mögliche Smartphone-Anwendungen („Apps“) hat. Somit besteht ein Abstimmungsbedarf von grundlegenden Entscheidungen des Systemdesigns, die Einfluss auf weitere Koordinationsbereiche, wie z. B. auf die Kapazitätswahl und die damit in Verbindung stehende Bepreisung, haben.[386]

In engem Zusammenhang mit Entscheidungen, die das grundlegende Systemdesign betreffen, steht die Auswahl von Standards, die hier als Kompatibilitätsentscheidung (oder auch Standardisierungsentscheidung) bezeichnet wird. Dabei ist insbesondere die Auswahl offener oder proprietärer Standards von Bedeutung. Akteure, die in der F & E-Phase mit dem Ziel der Systemeigentümerschaft proprietäre Standards entwickelt haben, werden versuchen diese auch durchzusetzen, während andere Akteure an der Verwendung offener Standards interessiert sein können. Wenn durch verschiedene Akteure unterschiedliche Standards ausgewählt werden, kommt es zum Angebot verschiedener (inkompatibler) Systeme. Die Herstellung von Kompatibilität ist dann nur mit Adapterlösungen möglich, die i. d. R. mit Zusatzkosten einhergehen.[387] Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass die öffentliche Hand Standards auswählt, die zur Anwendung kommen müssen.

Es ist zu berücksichtigen, dass für die Herstellung von Kompatibilität nicht nur technische (Schnittstellen-)Standards erforderlich sind. Auch durch Institutionen, die Beziehungen zwischen Rollen ausgestalten (und damit zwischen einzelnen Teilleistungen), kann Kompatibilität hergestellt oder verhindert bzw. eingeschränkt werden. So ist es z. B. denkbar, dass Nutzer eines Systems oder einer Teilleistung technisch kompatible Systeme oder Teilleistungen nicht nutzen können, da Institutionen (wie beispielsweise Verträge) dies verhindern.

4.2.3.2.2 Räumliche Verteilung und Kapazität

Bei Systemgütern, die als Teilleistung die Bereitstellung einer Infrastruktur voraussetzen, ist die räumliche Verteilung dieser Infrastruktur abzustimmen, die häufig in direktem Zusammenhang mit der Kapazität steht. Als Beispiel kann hier wieder der Mobilfunk genannt werden, der erst mit einer gewissen räumlichen Abdeckung der Basisstationen für Nutzer attraktiv wird. Neben der überregionalen Abdeckung sind auch Entscheidungen im Bereich der lokalen Verteilung abzustimmen. Beide Koordinationsbereiche werden im Folgenden kurz erläutert:

- **Überregionale räumliche Verteilung und Kapazität (Abdeckung und Dichte)**: Entscheidungen hinsichtlich der überregionalen Verteilung stehen häufig in engem Zusammenhang mit Entscheidungen, die das grundlegende technische System betreffen und haben i. d. R. Einfluss auf die Angebotsqualität sowie ggf. auf die Kapazität der Infrastruktur.

[386] Siehe für diese Koordinationsbereiche den folgenden Abschnitt 4.2.3.2.2 und Abschnitt 4.2.3.2.4.

[387] Siehe auch Abschnitt 4.3.1.3.

So dürfte beispielsweise die technische Ausstattung von Mobilfunk-Basisstationen sowie deren räumliche Verteilung einen Einfluss auf die Angebotsqualität sowie ggf. die Kapazität von Mobilfunknetzen haben.

- **Lokale Verteilung (Verortung und Kapazität)**: Bei der lokalen Verortung von Infrastruktureinrichtungen (wie beispielsweise Mobilfunk-Basisstationen) sind i. d. R. regionale Gegebenheiten zu berücksichtigen, was eine gewisse Ortskenntnis bzw. lokales Know-how voraussetzt. Dabei können insbesondere Interdependenzen zu anderen Gütern oder Systemen bestehen sowie Investitionen in (komplementäre) lokale Infrastruktur notwendig werden.[388] Ohne eine entsprechende Abstimmung auf lokaler Ebene (und entsprechendes lokales Know-how) ist außerdem die Realisierung einer beabsichtigten Angebotsqualität fraglich, da die dafür notwendige Kapazität auch von der lokalen Nutzungsintensität abhängt.

Hinsichtlich der im Rahmen dieses Abschnitts dargestellten Koordinationsbereiche ist zu berücksichtigen, dass die abzustimmenden Entscheidungen im Zeitverlauf regelmäßig überprüft und ggf. angepasst werden müssen. So ist insbesondere bei Entscheidungen, die die Kapazität einer Infrastruktur betreffen, zu berücksichtigen, dass ab einer gewissen Nutzeranzahl bei gleichbleibender Kapazität Nutzungskonflikte wahrscheinlicher werden.

4.2.3.2.3 Investitionszeitpunkte

Die Bereitstellung von Systemgütern setzt das gleichzeitige Angebot der verschiedenen Teilleistungen voraus. So kann z. B. eine Spielkonsole nur in Verbindung mit (gleichzeitig verfügbaren) kompatiblen Spielen genutzt werden. Die Durchführung einer Investition zur Bereitstellung einer Teilleistung wäre in diesem Fall ohne die Bereitstellung der anderen Teilleistung problematisch, da davon auszugehen ist, dass potenzielle Nutzer eine positive Kaufentscheidung erst durchführen, wenn das Gesamtsystem verfügbar ist. Somit besteht eine Notwendigkeit der Abstimmung von Investitionszeitpunkten zwischen den beteiligten Rollen und Akteuren

Im Zusammenhang mit (im untenstehenden Abschnitt 4.3.1.1 beschriebenen) Netzwerkeffekten können Akteure außerdem Anreize haben, ihre Investitionen zeitlich zu verzögern, bis sich eine gewisse Nutzeranzahl (kritische Masse) für den Kauf eines Systems entschieden hat. So sind beispielsweise beim Angebot eines Konsolen-Spiels höhere Renten zu erwarten, wenn eine höhere Anzahl Konsolen verkauft wurde. Gleichzeitig verkaufen sich Konsolen besser, wenn die verfügbare Spieleauswahl höher ist.[389]

[388] Beispielsweise dürfte für den Aufbau von Mobilfunk-Basisstationen ein Anschluss an das Stromnetz sowie an das Telefonnetz notwendig sein, wofür entsprechende Kapazitäten in diesen Netzen notwendig sind.

[389] Siehe für eine ausführliche Darstellung derartiger Abstimmungsprobleme Abschnitt 4.3.1.2.

4.2.3.2.4 Bepreisung

Die Bepreisungsentscheidungen beziehen sich auf die Bepreisung der einzelnen Teilleistungen und der damit in Verbindung stehenden Bepreisung des Gesamtsystems. Dabei können vielfältige Interdependenzen bestehen. Grundsätzlich wirken Bepreisungsentscheidungen auf die Abschöpfung von Zahlungsbereitschaft der Nutzer. Diese wird sich bei Systemgütern i. d. R. nach dem erwarteten Nutzen des Gesamtsystems richten. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Nutzer eine positive Kauf- bzw. Nutzungsentscheidung treffen, wenn der Nutzen aus dem erwarteten Gesamtsystem größer ist als die Summe der Preise der Teilleistungen.

Im Rahmen des Angebotes von Systemgütern kann eine Abstimmung der Bepreisung einzelner Teilleistungen von Bedeutung sein. Beispielsweise können bestimmte Ziele hinsichtlich der Anzahl der Nutzer eines Systems ggf. günstiger im Rahmen einer Preisabstimmung erreicht werden, im Rahmen derer es evtl. auch zur Bildung von Angebotsbündeln kommt, bei denen mehrere Teilleistungen gemeinsam bepreist werden. Demgegenüber setzen die Anbieter von Teilleistungen bei einer unkoordinierten Bepreisung ihre Preise individuell, im Fall von privaten Akteuren i. d. R. mit der Zielsetzung, die eigenen Einnahmen zu maximieren. Dabei ist es möglich, dass die Gesamteinnahmen geringer sind als bei einer koordinierten Preissetzung, beispielsweise wenn durch unkoordinierte Preissetzung die Nutzeranzahl bzw. die abgesetzte Menge kleiner wird. Dieses Phänomen ist auch als sog. „doppelte Marginalisierung“ bekannt.[390]

4.2.3.2.5 Ausgestaltung von Beziehungen zum Nutzer

Die Beziehungen zum Kunden werden über den Vertrieb hergestellt und bestehen in Form von einmaligen oder längerfristigen Austauschbeziehungen, die durch kurz- oder längerfristige Verträge ausgestaltet sind. Dabei werden die Bepreisungsentscheidungen umgesetzt. Innerhalb der Austauschbeziehungen sind die Abrechnung sowie die Zahlungsabwicklung von Bedeutung.

Im Rahmen der Koordination von Beziehungen zum Nutzer sind Entscheidungen bzgl. der genannten Bereiche (Vertrieb, Abrechnung sowie Zahlungsabwicklung) abzustimmen. So ist für das Angebot von Systemgütern beispielsweise zu entscheiden, ob der Vertrieb von Teilleistungen über gemeinsame Kanäle erfolgt. Auch weitere Vertriebskonditionen und -services können aufeinander abgestimmt werden. Ebenso ist bzgl. der Abrechnung eine Bündelung von Teilleistungen denkbar. Durch eine entsprechende Ausgestaltung dieser Bereiche können ggf. (Transaktions-)Kosten vermieden werden.

4.2.3.3 Erstangebots- und Folgephase

Die Erstangebotsphase wird im Rahmen dieser Arbeit als Zeitraum angesehen, der mit der Investitionsdurchführung (dem Aufbau des Systems) startet und der Amortisation der Erstinvestition endet. Sie beinhaltet die Leistungserstellung, welche die im Rahmen der Angebotsvorbereitungsphase

[390] Vgl. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012a, S. 23).

getroffenen Bereitstellungsentscheidungen umsetzt. Es schließt sich die Folgephase an, in der das Angebot ggf. fortgesetzt wird. Für beide Phasen ist von Bedeutung, dass gewisse Unsicherheiten bestehen, wie z. B. technische Unsicherheiten bei der Investitionsdurchführung oder Unsicherheiten hinsichtlich der Umweltentwicklung. Aufgrund dieser Unsicherheiten kann es im Verlauf der Erstangebots- und Folgephasen zu einem Anpassungsbedarf bzgl. der bei der Angebotsvorbereitung getroffenen Entscheidungen kommen. In diesem Zusammenhang spielen die im Rahmen von Austauschbeziehungen zwischen verschiedenen Akteuren getroffenen Vereinbarungen (die ggf. angepasst werden müssen) sowie Machtaspekte eine wichtige Rolle.[391]

Es ist anzumerken, dass sich auch durch die Verwendung eines bereits angebotenen bzw. etablierten Systems in einem anderen Kontext Anpassungen ergeben können. Dieses ist hinsichtlich der bereits etablierten Subsysteme des Gesamtsystems der Elektromobilität in verschiedenen Bereichen der Fall.

4.3 Theoretische Erkenntnisse als Basis für Analysen im Kontext von Systemgütern

In diesem Abschnitt werden ausgewählte ökonomische Theorien und Erkenntnisse in komprimierter Form vorgestellt, die eine wesentliche Bedeutung für die Analysen im weiteren Verlauf dieser Arbeit aufweisen. Im folgenden Abschnitt 4.3.1 werden relevante theoretische Erkenntnisse der Industrie- und Netzwerkökonomik dargestellt. Daran anschließend wird in Abschnitt 4.3.2 die Transaktionskostentheorie als Teilgebiet der Neuen Institutionenökonomik erläutert. In Abschnitt 4.3.3 wird auf Erkenntnisse zur Kompetenzzuordnung und Koordination im föderalen System eingegangen.

4.3.1 Erkenntnisse der Industrie- und Netzwerkökonomik mit Bezug zu Systemgütern

Die Industrieökonomik beschäftigt sich vor allem mit Akteuren, die gleichartige bzw. substitutive Güter auf wettbewerblichen Märkten anbieten.[392] Die Netzwerkökonomik, welche als Teilbereich der Industrieökonomik gilt, hat Güter bzw. Märkte zum Gegenstand, die von Netzwerkeffekten gekennzeichnet sind. Dieses ist bei Systemgütern aufgrund der Kompatibilitätsbedingung regelmäßig der Fall.

Im folgenden Abschnitt 4.3.1.1 wird zunächst ein Verständnis für den Begriff der Netzwerkeffekte sowie deren Auswirkungen auf die Entscheidungen von Nutzern und das Verhalten von Akteuren geschaffen. Daran anschließend erfolgt in Abschnitt 4.3.1.2 eine Darstellung zeitlicher Abstimmungsprobleme und in Abschnitt 4.3.1.3 eine Darstellung der Abstimmung von Kompatibilitätsentscheidungen bei vorliegenden Netzwerkeffekten. In Abschnitt 4.3.1.4 wird auf die Standortwahl von Unternehmen im Wettbewerb eingegangen.

[391] Siehe hierzu insbesondere die in Abschnitt 4.3.2 erläuterten Annahmen der Transaktionskostentheorie.

[392] Vgl. BECKERS / GIZZI / / JÄKEL (2012b, S. 13).

4.3.1.1 Auswirkungen von Netzwerkeffekten

Im Folgenden wird zunächst der Begriff der Netzwerkeffekte eingeführt und der Zusammenhang mit Systemgütern dargestellt. Anschließend werden verschiedene Auswirkungen von Netzwerkeffekten bzw. Eigenschaften von Märkten, die durch Netzwerkeffekte gekennzeichnet sind, beschrieben.

BEGRIFF DER NETZWERKEFFEKTE

Netzwerkeffekte liegen vor, wenn der Nutzen eines Nutzers mit der Anzahl der Nutzer kompatibler oder ähnlicher Produkte korreliert.[393] Es lassen sich direkte und indirekte Netzwerkeffekte unterscheiden:[394]

- Im Fall **direkter Netzwerkeffekte** steigt der Nutzen eines Nutzers mit der Anzahl der weiteren Nutzer eines Systems. Ein Beispiel hierfür stellt das Telefonnetz dar.

- **Indirekte Netzwerkeffekte** liegen vor, wenn durch die steigende Anzahl von Nutzern eine höhere Anzahl komplementärer Produkte angeboten wird. Dieses ist z. B. bei Spielkonsolen der Fall, wenn aufgrund hoher Nutzerzahlen zunehmend mit der Konsole kompatible Spiele entwickelt werden. Häufig liegen indirekte Netzwerkeffekte auch in Verbindung mit dem Angebot verbundener Dienstleistungen vor, wie z. B. im Fall von Servicewerkstätten bei Kraftfahrzeugen.

Systemgüter sind regelmäßig zumindest von indirekten Netzwerkeffekten gekennzeichnet. Dieses ist insbesondere der Fall, wenn kompatible Teilleistungen durch verschiedene Akteure bereitgestellt werden können, wie beispielsweise bei oben genannten Spielkonsolen oder auch bei Smartphones (in Verbindung mit entsprechenden Anwendungen). Vor diesem Hintergrund werden in diesem Abschnitt die Begriffe System und Netzwerk analog verwendet.

Im Übrigen können im Zusammenhang mit Netzwerkeffekten auch Nutzungsrivalitäten von Bedeutung sein, wie insbesondere in Fällen, in denen (kapazitätsbeschränkte) Infrastrukturen eine Teilleistung darstellen. Eine höhere Nutzeranzahl kann dann dazu führen, dass der Gesamtnutzen eines Nutzers durch weitere Nutzer sinkt, wobei hier der Zeitpunkt der Nutzung von Bedeutung ist.

KRITISCHE MASSE, WECHSELKOSTEN UND LOCK-IN-EFFEKTE

Liegen Netzwerkeffekte vor, stellt die (erwartete) Größe des Netzwerks einen wesentlichen Einflussfaktor für die Auswahlentscheidungen von Nutzern dar. Dieses ist insbesondere bei der Einführung verschiedener (inkompatibler) Systeme von Bedeutung. So können Erwartungen potenzieller Nutzer, dass ein auf einem bestimmten Standard basierendes Netzwerk weite Verbreitung findet dazu führen, dass sich dieser Standard tatsächlich durchsetzt.[395] Dabei bilden sich die

[393] Vgl. z. B. KATZ / SHAPIRO (1985, S. 424) oder SHY (2006, S. 3).

[394] Vgl. KATZ / SHAPIRO (1985, S. 424).

[395] Vgl. z. B. KATZ / SHAPIRO (1985, S. 426), GANDAL (2002, S. 81) oder SHY (2006, S. 3).

Erwartungen der Nutzer u. a. auf Basis von Beobachtungen der Vergangenheit, sodass die Größe des bereits vorhandenen Netzwerks von Bedeutung ist. In diesem Zusammenhang steht auch der Begriff der kritischen Masse für „die minimale Anzahl an Nutzern, die alle anderen potenziellen Nutzer veranlasst, diese Technologie zu übernehmen“.[396] Für den Fall, dass mehrere Netzwerke miteinander konkurrieren, besteht auch die Möglichkeit, dass keines der Netzwerke eine kritische Masse erreicht.[397]

Wechselkosten bezeichnen Kosten, die dem Nutzer durch den Wechsel von einem Netzwerk in ein anderes Netzwerk entstehen.[398] Nach der Wahl eines Netzwerks wird somit – in Abhängigkeit der Höhe der Wechselkosten – der Wechsel des Netzwerks erschwert. Dieser Effekt wird auch als Lock-in-Effekt bezeichnet. Es existieren vielfältige mögliche Ursachen für Wechselkosten, wie beispielsweise vertragliche Mindestlaufzeiten, Kosten für den Aufbau von notwendigem Know-how bzw. Lernkosten, Kosten für die Datenumwandlung oder auch durch Kundenbindungsprogramme erzeugte, „künstliche“ Kosten.[399] Außerdem können u. U. Kosten für die Beschaffung neuer technischer Einrichtungen anfallen, z. B. wenn bestehende Geräte nicht kompatibel mit der neuen Technologie sind.[400] Nach Erreichung einer kritischen Masse wird bei vorhandenen Wechselkosten auch häufig der Begriff der „Installed Base“ verwendet.[401] Netzwerke, die einmal eine Installed Base erreicht haben, setzen sich häufig gegen konkurrierende Netzwerke durch.[402]

In diesem Zusammenhang kann darauf hingewiesen werden, dass der Begriff der Pfadabhängigkeit für vergleichbare Phänomene verwendet wird. Pfadabhängigkeiten besagen z. B. nach NORTH (1990), dass inkrementelle Veränderungen einer Technologie auf einem bestimmten begonnenen Pfad dazu führen, dass diese Technologie sich gegen andere Technologien durchsetzt, auch wenn sie weniger effizient ist als alternative Technologien.[403] Als Ursache für Pfadabhängigkeiten werden u. a. auch adaptive Erwartungen von Nutzern sowie Lerneffekte genannt.

Ein prominentes Beispiel für eine unvorteilhafte Technologie, die weite Verbreitung gefunden hat, stellt der sog. QWERTY-Tastaturstandard dar,[404] der zu Zeiten mechanischer Schreibmaschinen mit dem Ziel eingeführt wurde, durch eine Verringerung der Anschlaggeschwindigkeit der Schreibkräfte

---

[396] SHY (2006, S. 3 f.).

[397] Vgl. dazu den nachfolgenden Abschnitt.

[398] Vgl. SHY (2006, S. 4).

[399] Vgl. KLEMPERER (1987, S. 138) sowie SHY (2006, S. 4 f.).

[400] Im letzteren Fall kann es Überschneidungen mit dem Begriff der Adapterkosten geben; siehe Abschnitt 4.3.1.3 für eine Darstellung dieses Begriffes.

[401] Vgl. SHY (2006, S. 5).

[402] Vgl. KRISTIANSEN (1998, S. 536) oder VAN DER VOOREN / ALKEMADE (2011, S. 3).

[403] Vgl. NORTH (1990, S. 93).

[404] QWERTY steht für die sechs ersten Buchstaben auf der Tastatur oben links. Deutsche Tastaturen verwenden anstelle des „Y“ ein „Z“.

Zusammenstöße zwischen sog. Typenhebeln[405] zu vermeiden.[406] Aufgrund von Wechselkosten, die beispielsweise durch eine Umgewöhnung bzw. Erlernung eines vorteilhafteren Standards bestehen, hat sich der QWERTY-Tastaturstandard bis heute gehalten.

Die Existenz von Wechselkosten kann auch entscheidenden Einfluss auf Bepreisungsentscheidungen haben. So könnten beispielsweise Akteure Anreize haben, die Preise für bestehende Kunden (bzw. für die Installed Base) im Rahmen der Wechselkosten anzuheben.[407] Ist beim Aufbau eines Netzwerks hingegen noch keine kritische Masse erreicht, kann von einem Anreiz zu günstigen Preisen ausgegangen werden, um möglichst viele Nutzer zu gewinnen.

FRAGE DER ÜBERWINDUNG VON LOCK-IN-EFFEKTEN

Es stellt sich die Frage, wie Lock-in-Effekte überwunden werden können, beispielsweise um eine vorteilhaftere Technologie durchzusetzen.

In einem wettbewerblichen Umfeld kann zunächst davon ausgegangen werden, dass Nutzer den erwarteten Nutzen des bestehenden Systems mit dem des neuen Systems vergleichen. In diesem Zusammenhang führen Netzwerkeffekte bzw. die erwartete Netzwerkgröße häufig dazu, dass Nutzer den erwarteten Nutzen aus der bestehenden Technologie (aufgrund der bereits erreichten kritischen Masse) höher einschätzen.[408] Jedoch wird auch für den Fall, dass Nutzer den potenziellen Nutzen aus der neuen Technologie höher einschätzen, ein Wechsel nur dann stattfinden, wenn der erwartete Mehrnutzen die Wechselkosten übersteigt. Somit erfolgt die Einführung einer überlegenen Technologie unter wettbewerblichen Rahmenbedingungen nur dann, wenn mit der neuen Technologie ein deutlicher Mehrnutzen einhergeht. Als Beispiel können u. a. die Ablösung der analogen Fotografie durch Digitalfotografie oder die Ablösung des VHS-Videosystems durch DVD-Systeme genannt werden.

In Fällen, in denen sich eine überlegene Technologie aufgrund von Lock-in-Effekten in einem wettbewerblichen Umfeld nicht durchsetzt, könnte die Ablösung der alten Technologie durch staatliche Eingriffe herbeigeführt werden. Dabei ist auf Seiten der öffentlichen Hand Know-how erforderlich, beispielsweise um einen überlegenen Standard zu identifizieren und um geeignete Maßnahmen zur Durchsetzung dieses Standards umzusetzen. Eine Form des staatlichen Eingriffes können hierbei Subventionen darstellen. So wird beispielsweise bei Netzwerken bzw. Systemgütern, die als eine Teilleistung die Bereitstellung einer (evtl. kapitalintensiven) Infrastruktur erfordern, ein initialer Aufbau dieser Infrastruktur häufig durch staatliche Subventionen unterstützt.[409]

---

[405] Bei mechanischen Schreibmaschinen werden die Buchstaben mittels eines Typenhebels, der auf ein Farbband drückt, auf das Papier gedruckt.

[406] Vgl. DAVID (1985, S. 333).

[407] Vgl. SHY (2006, S. 5).

[408] Vgl. VAN DER VOOREN / ALKEMADE (2011, S. 3).

[409] Vgl. VAN DER VOOREN / ALKEMADE (2011, S. 4).

4.3.1.2 Zeitliche Abstimmungsprobleme im Zusammenhang mit Netzwerkeffekten

Im Rahmen des Angebots von Gütern, die Netzwerkeffekte aufweisen, kann es zu Problemen bzgl. der Abstimmung von Bereitstellungszeitpunkten kommen. In diesem Zusammenhang sind das sog. „Henne-Ei-Problem“ sowie das „Free-Riding“ von Bedeutung.

„HENNE-EI-PROBLEM“

Wenn der Beitritt zu einem Netzwerk für einen potenziellen Nutzer mit Investitionen einhergeht, die nur innerhalb des Netzwerks einen Wert haben, und das Netzwerk keine kritische Masse erreicht, wären die Investitionskosten verloren. (Derartige Kosten werden daher auch als versunkene Kosten bezeichnet.) In solchen Fällen sind Nutzer häufig nicht bereit, das mit der Investition verbundene Risiko zu tragen und schließen sich dem Netzwerk nicht an. Bei Netzwerken, die verschiedene komplementäre Güter voraussetzen und mit indirekten Netzwerkeffekten einhergehen, existiert außerdem eine Interdependenz zwischen der Nutzeranzahl und der Anzahl komplementärer Güter (wie im oben genannten Beispiel der Spielkonsole, für die Spiele notwendig sind). Dabei ist fraglich, ob zunächst Nutzer einem Netzwerk, unter Inkaufnahme des in Verbindung mit versunkenen Kosten bestehenden Risikos (z. B. durch den Kauf einer Konsole), beitreten oder Akteure, die komplementäre Güter (z. B. Spiele) bereitstellen können, vor Erreichen einer kritischen Masse in die Bereitstellung investieren und so ebenfalls ein entsprechendes Risiko tragen.[410] Es besteht die Möglichkeit, dass weder Nutzer noch Akteure, die komplementäre Güter bereitstellen, investieren und somit kein Angebot entsteht. Dieses Bereitstellungsproblem wird auch „Henne-Ei-Problem“ genannt.

„FREE-RIDING“

Ein weiteres, ähnliches Abstimmungsproblem stellt das sog. „Free-Riding“ dar.[411] Dazu kommt es, wenn einzelne Akteure auf das Erreichen einer bestimmten Nutzeranzahl (z. B. die kritische Masse) warten und kompatible Güter erst dann bereitstellen, wenn diese Anzahl erreicht wird. Diese Akteure würden somit von den Investitionen anderer Akteure in den Aufbau einer bestimmten Nutzeranzahl profitieren. Auch in diesem Zusammenhang ist es fraglich, ob es zu einer Bereitstellung kommt.

4.3.1.3 Abstimmung der Standardisierung und Kompatibilitätsentscheidung

Kompatibilitätsentscheidungen sind im Bereich von Systemgütern sowohl in komplementären als auch in horizontalen Beziehungen von Relevanz. In komplementären Beziehungen ist die Verwendung von Standards für die Schnittstellen zwischen verschiedenen Teilleistungen abzustimmen, ohne die ein Angebot des Systems nicht möglich wäre. Innerhalb von horizontalen Beziehungen besteht hingegen die Frage, inwiefern Akteure ihr Netzwerk für komplementäre Güter oder Nutzer anderer Systeme öffnen. Im Folgenden wird zunächst auf die Etablierung von Standards eingegangen, die sowohl in horizontalen, als auch in komplementären Beziehungen von Bedeutung sind. Daran anschließend

[410] Vgl. GANDAL (2002, S. 81).

[411] Vgl. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012a, S. 41).

werden Determinanten der Kooperationsbereitschaft zur Herstellung von Kompatibilität thematisiert, wobei horizontale Beziehungen im Vordergrund stehen.

ETABLIERUNG VON STANDARDS

Wie bereits in Abschnitt 4.2.3.1 dargestellt, lassen sich grundsätzlich proprietäre und offene Standards unterscheiden. Des Weiteren können die im Folgenden beschriebenen Prozesse, die zu einer Standardsetzung führen, unterschieden werden:[412]

- **Etablierung von Standards im Wettbewerb**: Das Erreichen einer kritischen Masse durch ein Netzwerk kann dazu führen, dass sich ein von diesem Netzwerk verwendeter Standard gegen andere Standards durchsetzt.[413] Für den Fall, dass sich der Standard im Eigentum eines Akteurs befindet (also proprietär ist) und für den Zugang zum Netzwerk erforderlich ist, kann der betreffende Akteur die Position eines Systemeigentümers einnehmen, welche mit verbesserten Möglichkeiten einhergeht, die sich aus dem Angebot des Systems ergebenden Renten abzuschöpfen. Somit bestehen u. U. hohe Anreize für Akteure, proprietäre Standards zu entwickeln.

  Dabei kann es zu Parallelentwicklungen (sog. „Standard-Races“) kommen, die evtl. die Schaffung mehrerer proprietärer Standards zur Folge haben. Von Nutzern und Akteuren, die (vor dem Erreichen einer kritischen Masse) in Standards investiert haben, welche sich nicht durchsetzen, sind entsprechende versunkene Kosten zu tragen. Außerdem besteht ein Risiko, dass sich aufgrund der hohen Unsicherheiten keiner der Standards durchsetzt. Nach der Durchsetzung eines proprietären Standards können ggf. weitere Nachteile bestehen. So könnte der Systemeigentümer beispielsweise hohe Nutzungsentgelte verlangen, die dazu führen, dass sich das System langsamer verbreitet.[414]

- **Standardsetzung durch Kooperationen**: An Kooperationen (oder auch Standard-Komitees) sind i. d. R. eine Vielzahl von Akteuren mit dem Ziel der Schaffung offener Standards beteiligt. Die Entscheidung für die Beteiligung an derartigen Kooperationen hängt von den jeweils erwarteten Abstimmungskosten sowie den erwarteten Renten ab. Grundsätzlich können Kooperationen parallel zu wettbewerblichen Standardsetzungsprozessen existieren und Akteure können beide Prozesse verfolgen. Dabei werden Akteure auch im Rahmen von Standard-Komitees häufig versuchen, bestimmte Designs zum eigenen Vorteil durchzusetzen. Standard-Komitees gelten aufgrund des hohen Abstimmungsbedarfes als nachteilig bzgl. der

[412] Vgl. z. B. FARRELL / SALONER (1992, S. 9) oder GANDAL (2002, S. 83 f.).

[413] Vgl. Abschnitt 4.3.1.1.

[414] Vgl. GANDAL (2002, S. 84).

für die Standardsetzung erforderlichen Zeit.[415] Jedoch wird die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Abstimmung i. d. R. höher eingeschätzt.

- **Standardsetzung durch einen Regulierer**: Neben den oben genannten Fällen besteht die Möglichkeit, dass die öffentliche Hand einen Standard festlegt, was insbesondere relevant sein dürfte, wenn die Etablierung eines (offenen) Standards aus gesamtwirtschaftlicher Sicht vorteilhaft erscheint.[416] Dabei könnte die öffentliche Hand zu Beginn eines Standardisierungsprozesses einen eigenen Standard definieren oder auf bestehende Standards zurückgreifen. In beiden Fällen ist durch die öffentliche Hand Know-how aufzubauen oder das Know-how externer Akteure einzubeziehen. Dabei wird u. U. auch auf das Know-how privater Akteure zurückgegriffen, die ggf. ein Eigeninteresse bzgl. der Standardsetzung verfolgen.[417]

  In diesem Zusammenhang ist der Zeitpunkt der Festlegung eines Standards von kritischer Bedeutung, da durch Abwarten evtl. ein überlegener Standard identifiziert werden kann. Gleichzeitig könnten Akteure aber versuchen, mit einem proprietären Standard eine möglichst große Installed Base aufzubauen, um so die spätere Entscheidung der öffentlichen Hand zugunsten des eigenen Standards zu beeinflussen.[418] Im Übrigen können Lobby-Aktivitäten von Akteuren Einfluss auf die Entscheidung der öffentlichen Hand haben.[419] Somit wird auch bei der Standardsetzung durch einen Regulierer nicht zwangsläufig der überlegene Standard ausgewählt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass keiner der beschriebenen Prozesse eindeutig vorteilhaft ist. Wenn eine weite Verbreitung des jeweiligen Systems aufgrund übergeordneter bzw. gesamtwirtschaftlicher Interessen vorteilhaft ist, erscheint die Etablierung proprietärer Standards eher nachteilig. In solchen Fällen sowie wenn die Etablierung eines Standards im Wettbewerb oder durch ein Komitee nicht erfolgreich ist, könnte eine Standardsetzung durch die öffentliche Hand (in Abhängigkeit der damit verbundenen Kosten und Nutzen) vorteilhaft sein.

KOOPERATIONSBEREITSCHAFT ZUR HERSTELLUNG VON KOMPATIBILITÄT BEI HORIZONTAL VERBUNDENEN WETTBEWERBERN

An dieser Stelle wird kurz thematisiert, inwieweit horizontal verbundene Akteure, die unterschiedliche Netzwerkgüter im Wettbewerb anbieten, Anreize haben, diese mit anderen Netzwerken kompatibel

---

[415] Vgl. GANDAL (2002, S. 84).

[416] Die in Abschnitt 4.3.1.1 skizzierte Problematik der Überwindung von Lock-in-Effekten durch einen Eingriff der öffentlichen Hand weist Überschneidungen mit der hier thematisierten Standardsetzung auf, da die öffentliche Hand auch zur Überwindung von Lock-in-Effekten einen Standard setzen könnte.

[417] SHY (2006, S. 6).

[418] Vgl. KRISTIANSEN (1998, S. 539).

[419] Vgl. SWANN (2000, S. 8).

auszugestalten.[420] Dabei ist zu hinterfragen, welche Nutzen und Kosten den Akteuren durch eine Kooperation mit anderen Netzwerken entstehen. Es ist grundsätzlich zu beachten, dass Kompatibilität nicht zwangsläufig in beide Richtungen bestehen muss.

Wesentlichen Einfluss auf die Vorteilhaftigkeit einer Kooperation haben die drei folgenden Determinanten:

- **Grad der Nutzensteigerung durch Kompatibilität**: In Fällen, in denen durch die Herstellung von Kompatibilität ein wesentlicher Mehrwert, beispielsweise aufgrund einer deutlich verbesserten Angebotsqualität, entsteht, haben die Akteure höhere Anreize Kompatibilität herzustellen, da sich die Zahlungsbereitschaft der Nutzer erhöhen dürfte und die Netzwerke potenziell attraktiv für weitere Nutzer werden. Dieses kann beispielsweise der Fall sein, wenn sich das Angebot der beiden Netzwerke komplementär ergänzt.[421]

- **Symmetrie der Netzwerkgrößen**: Die Symmetrie der Netzwerke hat Einfluss auf die Kooperationsbereitschaft, da die Herstellung von Kompatibilität für ein deutlich größeres Netzwerk potenziell mit dem Verlust eines Wettbewerbsvorteils einhergeht.[422] Somit hätten kleinere Netzwerke tendenziell Anreize zur Kompatibilität, während große Netzwerke diese tendenziell ablehnen. Dieses kann beispielsweise bei räumlich differenzierten Angeboten der Fall sein, wenn ein größeres Netzwerk flächendeckend aufgestellt ist, während ein kleineres eine vergleichbare Qualität nur innerhalb einer Region erreicht.

- **Abstimmungskosten**: Für die Herstellung von Kompatibilität sind umfangreiche Abstimmungen zwischen Akteuren erforderlich, die beispielsweise Entscheidungen für die Verwendung technischer Standards sowie Entscheidungen bzgl. der Zugangsbedingungen von Nutzern anderer Netzwerke betreffen. Diese Kosten stellen Transaktionskosten dar und sind insbesondere von den Eigenschaften der beteiligten Akteure abhängig.

Im Zusammenhang mit der Herstellung von Kompatibilität zwischen verschiedenen Netzwerken sind auch Adapterlösungen von Bedeutung. Adapter werden zumeist nach einer Kompatibilitätsentscheidung eingeführt und gehen i. d. R. mit Kosten einher.[423] Somit sind durch Adapter Unterschiede hinsichtlich des Grades der Kompatibilität möglich.[424] Prohibitiv hohe Adapterkosten sind entsprechend gleichbedeutend mit Inkompatibilität, während Adapterkosten von Null volle Kompatibilität bedeuten. Die mögliche Einführung von Adaptern nach der Kompatibilitätsentscheidung (ex post) kann dazu führen, dass die Anreize für Akteure, sich ex ante für

---

[420] Ein Beispiel für parallele Netzwerke stellen beispielsweise die Geldautomaten verschiedener Banken dar.

[421] Vgl. ECONOMIDES (1991, S. 39).

[422] Vgl. ECONOMIDES (1991, S. 49) sowie KATZ / SHAPIRO (1985, S. 425).

[423] Vgl. FARRELL / SALONER (1992, S. 10 f.). Es ist anzumerken, dass Überschneidungen mit dem Begriff der Wechselkosten bestehen.

[424] Vgl. ECONOMIDES (1991, S. 41) oder FARRELL / SALONER (1992, S. 32).

Kompatibilität zu entscheiden, sinken, da die potenziellen Rentenverluste der Nicht-Kompatibilität durch die Möglichkeit eines Adapters verringert werden.

Es ist anzumerken, dass Adapter nicht nur in Form technischer Einheiten existieren. Auch institutionelle Arrangements (wie beispielsweise Roaming-Vereinbarungen zwischen Mobilfunkbetreibern) können die Eigenschaften von Adaptern besitzen. Institutionelle Vereinbarungen können auch derart ausgestaltet werden, dass der Grad der Kompatibilität in eine Richtung (von Netzwerk A zu B) größer ist, als in die andere Richtung (von Netzwerk B zu A). Dieses dürfte insbesondere dann vorkommen, wenn die Netzwerke stark asymmetrisch sind.

4.3.1.4 Standortwahl von Unternehmen im Wettbewerb

Im Folgenden wird kurz die Frage betrachtet, welchen Einfluss eine wettbewerbliche Koordination zwischen Unternehmen auf die Standortwahl der Unternehmen hat.[425]

Harold Hotelling zeigt in einer Arbeit aus dem Jahr 1929, dass sich zwei Wettbewerber bei „beweglichen“ Geschäften hinsichtlich ihrer Standorte minimal differenzieren, also beide den gleichen Standort wählen.[426] Dabei werden u. a. die Annahmen einer unelastischen Nachfrage entlang einer Strecke gleichverteilter Käufer, lineare Wegekosten sowie Kundenpräferenzen, die sich ausschließlich auf Preis und Wegekosten beziehen, getroffen.[427] Das Ergebnis der minimalen Differenzierung ist insofern suboptimal, als dass die Kunden höhere Wegekosten in Kauf nehmen müssen als bei einer Gleichverteilung der Standorte entlang der Strecke.

Die Arbeiten von HOTELLING (1929) wurden durch weitere Ökonomen aufgegriffen und insbesondere mit Bezug auf die Frage diskutiert, inwieweit Wettbewerber Anreize zu einer Produktdifferenzierung haben, wenn die getroffenen Annahmen verändert oder ergänzt werden. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass durch die Annahme einer quadratischen Nutzenfunktion (anstelle der unterstellten linearen Nutzenfunktion) eine maximale Produktdifferenzierung gewählt wird.[428] Somit würden sich die Wettbewerber bei einem Duopol an den beiden Enden der Strecke ansiedeln, was ebenfalls suboptimal wäre. BRENNER (2005) zeigt außerdem auf, dass neben der unterstellten Nutzenfunktion die Anzahl der Wettbewerber Einfluss auf die Produktdifferenzierung hat, wobei weder maximale noch minimale Differenzierung stattfindet, jedoch ein Optimum nur in Ausnahmefällen erreicht wird.[429]

---

[425] Dabei wird das Kriterium der wohlfahrtsökonomischen Effizienz angewendet, welches im Rahmen der Darstellung des Zielsystems in Abschnitt 5.1 ausführlich behandelt wird.

[426] Vgl. HOTELLING (1929, S. 53).

[427] Vgl. HOTELLING (1929, S. 45).

[428] Vgl. BRENNER (2005, S. 851).

[429] Vgl. BRENNER (2005, S. 859).

Insgesamt erscheint es plausibel, dass eine wettbewerbliche Koordination oftmals nicht zu einem optimalen Ergebnis bzgl. der Standortdifferenzierung führt. Die von HOTELLING (1929) aufgezeigte minimale Differenzierung erscheint jedoch genau wie die maximale Differenzierung ein Sonderfall zu sein, der nur unter bestimmten Annahmen zutrifft.[430]

4.3.2 Transaktionskostentheorie als Teilgebiet der Neuen Institutionenökonomik

Im Folgenden wird zunächst die Transaktionskostentheorie in die Neue Institutionenökonomik (NIÖ) eingeordnet. Daran anschließend werden Begriffe und zentrale Annahmen der Transaktionskostentheorie sowie grundlegende Koordinationsformen dargestellt. Schließlich wird auf den Einfluss verschiedener Parameter auf die Wahl und Ausgestaltung von Koordinationsformen eingegangen.

EINORDNUNG DER TRANSAKTIONSKOSTENTHEORIE IN DIE NEUE INSTITUTIONENÖKONOMIK

Gegenstand der Neuen Institutionenökonomik ist die Analyse verschiedener institutioneller Lösungen für die Ausgestaltung von (Austausch-)Beziehungen zwischen Organisationen bzw. Akteuren, die Aufgaben im Rahmen von (Austausch-)Beziehungen wahrnehmen.[431] Dabei können auf Basis der NIÖ sowohl positive Aussagen hinsichtlich bestehender institutioneller Lösungen getroffen werden, als auch normative Fragestellungen in Bezug auf das Design von Organisationsmodellen untersucht werden.[432]

Der NIÖ lassen sich verschiedene Theorien zuordnen, wie insbesondere die Transaktionskostentheorie, die Prinzipal-Agent-Theorie sowie weitere Bereiche, in denen Institutionen des politischen Sektors im Vordergrund stehen.[433] Für die in dieser Arbeit durchgeführten Analysen ist die im Folgenden kurz eingeführte Transaktionskostentheorie von zentraler Bedeutung.[434]

Die Transaktionskostentheorie wird häufig auf Ronald H. Coase zurückgeführt,[435] der in seinem 1937 veröffentlichten Aufsatz „The Nature of the Firm“ die Existenz von Unternehmen mit der Existenz von Kosten, die in Verbindung mit Verträgen für die Benutzung des Marktes anfallen, begründet.[436] Demnach ist die „Gründung einer Firma wahrscheinlicher in Fällen, in denen kurzfristige Verträge nicht zufriedenstellend wären“.[437] Auch nach heutigem Verständnis steht der Begriff Transaktionskosten für

---

[430] Vgl. BRENNER (2005, S. 862).

[431] Vgl. KLATT (2011, S. 46).

[432] Vgl. ERLEI / LESCHKE / SAUERLAND (2007, S. 42 f.).

[433] Vgl. ERLEI / LESCHKE / SAUERLAND (2007, S. 42).

[434] Es ist anzumerken, dass in den Analysen dieser Arbeit vereinzelt auch auf Erkenntnisse der Prinzipal-Agent-Theorie zurückgegriffen wird.

[435] Vgl. ERLEI / LESCHKE / SAUERLAND (2007, S. 41).

[436] Vgl. COASE (1937). Den Begriff Transaktionskosten verwendet Ronald H. Coase übrigens nicht.

[437] COASE (1937, S. 392).

Kosten, die bei der Anbahnung und Durchführung von Austauschbeziehungen anfallen, wobei diese im Kern durch die notwendige Verständigung von Personen an Schnittstellen entstehen.[438]

Die Transaktionskostentheorie aktueller Prägung wurde im Wesentlichen in den 1970er Jahren von Oliver E. Williamson, im Hinblick auf die Analyse von Koordinationsformen für die Erstellung von Leistungen (Marktprozesse oder Eigenerstellung), entwickelt.[439] In der heutigen Praxis geht der Anwendungsbereich der Transaktionskostentheorie über diese Fragestellungen hinaus. So werden insbesondere auch Fragen der Regulierung, des Marktdesigns oder der Bereitstellung von Gütern durch die öffentliche Hand mit Hilfe der Transaktionskostentheorie und weiterer Bereiche der NIÖ untersucht.[440]

BEGRIFFE UND ZENTRALE ANNAHMEN DER TRANSAKTIONSKOSTENTHEORIE

Allgemein lassen sich Transaktionskosten in Kosten, die vor Vertragsschluss (ex ante) anfallen sowie solche, die nach Vertragsschluss (ex post) anfallen, unterscheiden.[441] Vor Vertragsschluss können Transaktionskosten beispielsweise durch Verhandlungen oder das Design von Verträgen entstehen, während Transaktionskosten nach Vertragsschluss z. B. durch Kontrollen, Nachverhandlungen oder die Durchsetzung vertraglicher Ansprüche anfallen können.

Hinsichtlich des Verhaltens der an den Transaktionen beteiligten Individuen sind zwei zentrale Annahmen von Bedeutung:[442]

- **Begrenzte Rationalität**: Individuen haben zwar die Intention rational zu handeln, verfügen i. d. R. jedoch nur über eine begrenzte „Kapazität zur Aufnahme und Verarbeitung von Informationen“.[443] Demnach handeln Individuen lediglich aus ihrer subjektiven Wahrnehmung rational.

- **Opportunismus**: Opportunistisches Verhalten bezeichnet die „Verfolgung von Eigeninteressen unter Zuhilfenahme von List“.[444] Dabei werden Informationsasymmetrien von

---

[438] Vgl. SCHUMANN / MEYER / STRÖBELE (2007, S. 489). Grundsätzlich ist anzumerken, dass auch innerhalb von Unternehmen Schnittstellen existieren, an denen auch Kosten für die Abstimmung von Individuen entstehen. Dabei müssen diese Schnittstellen nicht notwendigerweise durch formale Institutionen geregelt sein.

[439] Vgl. z. B. WILLIAMSON (1975).

[440] Beispielsweise greifen BRENCK ET AL. (2004) bei der Analyse verschiedener Koordinationsbereiche zwischen Eisenbahninfrastruktur und Eisenbahnverkehrsunternehmen auf die Transaktionskostentheorie zurück. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012a) entwickeln mit Hilfe der Transaktionskostentheorie Organisationsmodelle für Verkehrstelematikangebote. Auch KLATT (2011) nutzt bei der Analyse von Finanzierungslösungen für die Bundesfernstraßen die Transaktionskostentheorie.

[441] Vgl. WILLIAMSON (1990, S. 23).

[442] Vgl. WILLIAMSON (1990, S. 49 ff.).

[443] SCHUMANN / MEYER / STRÖBELE (2007, S. 468).

[444] WILLIAMSON (1990, S. 54).

den Individuen herbeigeführt bzw. bestehende Informationsasymmetrien zum eigenen Vorteil genutzt.

In Verbindung mit den Annahmen einer gewissen Umweltunsicherheit sowie einer gewissen Komplexität von Transaktionen kann davon ausgegangen werden, dass Vereinbarungen über Transaktionen nicht alle Eventualitäten berücksichtigen und somit unvollständig sind.[445] Darüber hinaus werden ex ante auch potenzielle Entwicklungen, deren Eintrittswahrscheinlichkeit als gering eingeschätzt wird, aufgrund von Transaktionskosten nicht in den Vereinbarungen berücksichtigt. Treten ex post Entwicklungen ein, die ex ante nicht berücksichtigt wurden, entstehen Spielräume für opportunistisches Verhalten. In diesem Zusammenhang bezeichnet der Begriff des „Hold-up" die Gefahr, dass ein Transaktionspartner durch opportunistisches Verhalten des anderen Partners ex post benachteiligt wird. Dabei wird die Gefahr eines (mit ex post Transaktionskosten einhergehenden) Hold-up in hohem Maße von der institutionellen Lösung bzw. der Koordinationsform bestimmt.

GRUNDLEGENDE KOORDINATIONSFORMEN

Nach der Transaktionskostentheorie lassen sich drei grundlegende Koordinationsformen unterscheiden:[446]

- **„Hierarchie"**: Als „Hierarchie" wird die Erstellung der benötigten Leistung bzw. des Gutes innerhalb der eigenen Organisation bezeichnet. Daher werden in diesem Zusammenhang auch häufig die Begriffe Eigenerstellung oder Integration verwendet. Dabei ist von Bedeutung, dass innerhalb einer Organisation i. d. R. Weisungsmöglichkeiten bestehen. Die damit einhergehende Flexibilität ist im Fall von Änderungen an der ursprünglich geplanten Leistungserstellung von Bedeutung.

- **„Markt"**: Die Koordinationsform „Markt" steht für die Beschaffung der benötigten Leistungen mit Hilfe kurzfristiger Verträge wie z. B. über Spotmärkte. Im Vergleich zur Eigenerstellung können Vorteile insb, in Form geringerer Produktionskosten vorliegen, wenn der (produzierende) Transaktionspartner in der Lage ist, Skalenvorteile zu realisieren. Außerdem gehen marktliche gegenüber hierarchischen Koordinationsformen eher mit geringeren ex ante Transaktionskosten einher. Dabei ist jedoch eine gewisse Standardisierung der produzierten Güter notwendig.

- „**Hybride**":Als „Hybride" werden zahlreiche Mischformen aus den beiden voranstehenden Koordinationsformen bezeichnet. So lassen sich insbesondere langfristige Verträge oder sog. Joint Ventures als hybride Koordinationsformen einordnen.

---

[445] Vgl. KLATT (2011, S. 49).

[446] Vgl. BECKERS / GIZZI / JÄKEL (2012a, S. 26 ff.) sowie SCHUMANN / MEYER / STRÖBELE (2007, S. 496 ff.).

EINFLUSS VERSCHIEDENER PARAMETER AUF DIE WAHL UND AUSGESTALTUNG VERSCHIEDENER KOORDINATIONSFORMEN

Vor dem Hintergrund der Grundannahmen der Transaktionskostentheorie sind bestimmte Koordinationsformen für eine Transaktion mit gewissen Eigenschaften besser geeignet als andere Koordinationsformen. In der Literatur werden verschiedene Eigenschaften bzw. Rahmenbedingungen von Transaktionen diskutiert, die Einfluss auf die Vorteilhaftigkeit der verschiedenen Koordinationsformen haben. Als relevante Eigenschaften werden im Allgemeinen die Spezifität der für die Abwicklung der Transaktion notwendigen Investitionen, die Dauer und Häufigkeit der Transaktion, die Komplexität der Transaktion in Verbindung mit dem Grad der Unsicherheit, die Nachvollziehbarkeit der vereinbarten Leistung sowie der Grad der Vernetzung mit anderen Transaktionen genannt.

Im Folgenden wird zunächst auf die Spezifität eingegangen, die großen Einfluss auf die Vorteilhaftigkeit der alternativen Koordinationsformen hat.[447] Daran anschließend werden die weiteren Transaktionseigenschaften thematisiert.

- **Spezifität**: Die Gefahr eines Hold-up wird durch Abhängigkeiten zwischen den Transaktionspartnern begünstigt.[448] Solche Abhängigkeiten bestehen insbesondere dann, wenn ein Partner im Rahmen der Transaktion Investitionen tätigt, die außerhalb der Transaktion einen geringeren Wert haben (also spezifisch sind). Als Maßstab für die Spezifität wird auch das Konzept der „Quasi-Rente“ verwendet, welche für die Differenz zwischen den Werten der (spezifischen) Investition innerhalb der Transaktion und ihrer zweitbesten Verwendung außerhalb der Transaktion steht.[449] In einer Situation, in der einer der Transaktionspartner spezifisch investiert hat, läuft er im Falle von Entwicklungen, die in der getroffenen Vereinbarung nicht berücksichtigt wurden, Gefahr, dass er durch opportunistisches Handeln des anderen Transaktionspartners den Wert der Quasi-Rente verliert.

  Nach WILLIAMSON (1990) lassen sich mindestens vier verschiedene Formen der Spezifität unterscheiden, die sich teilweise überschneiden:[450] Standortspezifität besteht, wenn beispielsweise Produktionsanlagen oder Ressourcen nur mit gewissem Aufwand an einen anderen Ort gebracht werden können. Sachkapitalspezifität bezeichnet Investitionen in spezifische Anlagen oder Werkzeuge. Humankapitalspezifität steht für Investitionen in Personal, um z. B. spezifisches Know-how aufzubauen. Zweckgebundene Sachwerte stehen

[447] Vgl. MILGROM / ROBERTS (1992, S. 30 ff.) sowie WILLIAMSON (1990, S. 59 ff.).

[448] Vgl. KLATT (2011, S. 49 f.).

[449] Vgl. z. B. SCHUMANN / MEYER / STRÖBELE (2007, S. 491) sowie WILLIAMSON (1990, S. 60 ff.).

[450] Vgl. WILLIAMSON (1990, S. 62) sowie für die weiteren Ausführungen KLATT (2011, S. 50) und SCHUMANN / MEYER / STRÖBELE (2007, S. 491 f.).

beispielsweise für die Erweiterung bestehender Anlagen auf Wunsch eines Transaktionspartners.[451]

Es ist davon auszugehen, dass Transaktionspartner, die in höherem Maße spezifisch investieren, auch höhere Transaktionskosten in Kauf nehmen, um der Gefahr des Verlustes der Quasi-Rente zu begegnen.[452] Diese Transaktionskosten können z. B ex ante im Rahmen der Ausgestaltung von umfangreicheren Verträgen oder ex post durch die Kontrolle des Transaktionspartners entstehen. Hinsichtlich des Einflusses von Spezifität auf die Vorteilhaftigkeit verschiedener Koordinationsformen kann somit davon ausgegangen werden, dass hierarchische Modelle für die Abwicklung von Transaktionen besser geeignet sind, je höher die spezifischen Investitionen eines Transaktionspartners sind, da das Risiko eines Hold-up steigt (und damit einhergehend die Transaktionskosten einer marktlichen Koordination).[453] Für den Fall, dass beide Transaktionspartner spezifisch investieren, bestehen gegenseitige Abhängigkeiten, die das Risiko des Hold-up reduzieren und somit auch die Notwendigkeit einer hierarchischen Koordination. Im Umkehrschluss sind marktliche Koordinationsformen besser geeignet, wenn die Spezifität gering ist.

- **Häufigkeit und Dauer der Transaktion**: Grundsätzlich lassen sich einmalige Transaktionen von solchen unterscheiden, die regelmäßig zwischen Transaktionspartnern abgewickelt werden oder dauerhaft bestehen.[454] Bei regelmäßigen oder dauerhaften Beziehungen kann davon ausgegangen werden, dass die Transaktionspartner ex ante eher bereit sind Vereinbarungen zu treffen (und damit Transaktionskosten in Kauf zu nehmen), die geeignet erscheinen, ex post Transaktionskosten zu reduzieren. Beispielsweise sehen viele längerfristige Verträge für den Streitfall die Einbeziehung eines Schlichters vor, um die Kosten eines Rechtsstreits zu senken. Auch zwischen regelmäßigen Transaktionspartnern bestehende Kommunikationsschnittstellen werden häufig aufeinander abgestimmt, wodurch sich die Spezifität erhöht. Im Gegensatz dazu sind die Transaktionskosten derartiger Vorkehrungen im Rahmen von einmaligen Transaktionen häufig zu hoch, sodass auf allgemeine (unspezifische) Standards zurückgegriffen wird. Somit nimmt ceteris paribus die Vorteilhaftigkeit hybrider oder sogar hierarchischer Koordinationsformen gegenüber einer

---

[451] Im Zusammenhang mit spezifischen Investitionen steht der von WILLIAMSON geprägte Begriff der „fundamentalen Transformation“ für die Umwandlung einer vor Vertragsschluss stehenden Wettbewerbssituation in ein bilaterales Monopol nach Vertragsschluss; vgl. WILLIAMSON (1990, S. 70 ff.). Kommt es im Rahmen der Transaktion zu spezifischen Investitionen, ist ein Fortbestehen des bilateralen Monopols auch bei einer erneuten Vergabesituation wahrscheinlich, da beispielsweise entstandene Humankapitalspezifität einen Vorteil der bisherigen Transaktionspartner darstellt; vgl. SCHUMANN / MEYER / STRÖBELE (2007, S. 495). (In diesem Zusammenhang ist zu hinterfragen, ob die Kosten der spezifischen Investition in das Angebot des bisherigen Transaktionspartners einbezogen werden). Somit können spezifische Investitionen mit Lock-in-Effekten einhergehen. Auch die im vorhergehenden Abschnitt 4.3.1 in Zusammenhang mit Netzwerkeffekten dargestellten Lock-in-Effekte lassen sich auf die Durchführung spezifischer Investitionen zurückführen.

[452] Vgl. MILGROM / ROBERTS (1992, S. 31).

[453] Vgl. KLATT (2011, S. 50 f.).

[454] Vgl. MILGROM / ROBERTS (1992, S. 31).

marktlichen Koordination bei häufigen oder dauerhaften Transaktionen zu. Bei einmaligen Transaktionen können hingegen trotz evtl. hoher Spezifität die ex ante Transaktionskosten für hybride oder hierarchische Koordinationsformen so hoch sein, dass eine Abwicklung über den Markt vorteilhaft bleibt.

- **Komplexität und Unsicherheit**: Die Komplexität der Transaktion ist genau wie der Grad der Umweltunsicherheit insofern von Bedeutung, als dass sich potenzielle Spielräume für opportunistisches Handeln durch eine steigende Komplexität oder Unsicherheit vergrößern. Komplexe Vorhaben zeichnen sich häufig dadurch aus, dass sich im Verlauf der Austauschbeziehung noch Änderungen ergeben, die ex ante nicht bedacht wurden.[455] Solche Änderungen führen i. d. R. zu Nachverhandlungen, die in Abhängigkeit der Verhandlungsmacht der Transaktionspartner (welche wiederum von der Spezifität beeinflusst wird) zum Verlust der Quasi-Rente führen kann. Dementsprechend steigt ceteris paribus die Rationalität für hierarchische Koordinationsformen mit der Komplexität der Transaktion.

  Hinsichtlich der Unsicherheit gelten ähnliche Überlegungen. Dabei kann sich die Unsicherheit sowohl auf die Umwelt, als auch auf das Verhalten des Transaktionspartners beziehen.[456] Mit zunehmender Unsicherheit in Bezug auf die Umwelt oder das Verhalten des Transaktionspartners nimmt die Unvollständigkeit der Verträge tendenziell zu – und somit (in Verbindung mit Spezifität) das Hold-up-Risiko. Somit steigt auch bei hoher Unsicherheit ceteris paribus die Rationalität für eine eher hierarchische Koordinationsform.

- **Nachvollziehbarkeit**: Die Nachvollziehbarkeit der vereinbarten Leistungserstellung (z. B. für einen Auftraggeber) beeinflusst die Handlungsspielräume des Transaktionspartners, die dieser für opportunistisches Verhalten nutzen kann. Dabei ist die Nachvollziehbarkeit zum einen abhängig von der (im Folgenden beschriebenen) Plastizität der eingesetzten Ressourcen sowie zum anderen von der Beobachtbarkeit der Handlungen des Transaktionspartners.[457]

  Ressourcen mit einer hohen Plastizität sind dadurch gekennzeichnet, dass sie vielfältig einsetzbar sind, wie z. B. (Arbeits-)Zeit oder auch Geld.[458] Demgegenüber können Ressourcen mit einer geringen Plastizität nur für wenige Zwecke verwendet werden. Die Beobachtbarkeit kann als Möglichkeit, die Handlungen von Akteuren zu kontrollieren, beschrieben werden. Beispielsweise kann opportunistisches Verhalten bei Transaktionen, bei

[455] Vgl. MILGROM / ROBERTS (1992, S. 31 f.).

[456] Vgl. WILLIAMSON (1990, S. 65 ff.).

[457] Es ist anzumerken, dass das Konzept der Nachvollziehbarkeit der (positiven) Prinzipal-Agent-Theorie zuzuordnen ist; vgl. z. B, KLATT (2011, S. 55 ff.).

[458] Vgl. ALCHIAN / WOODWARD (1987, S. 117).

denen plastische Ressourcen zum Einsatz kommen, eingeschränkt werden, wenn die tatsächliche Ressourcenverwendung beobachtet bzw. kontrolliert werden kann.

Bei einer geringen Nachvollziehbarkeit (aufgrund hoher Plastizität und / oder geringer Beobachtbarkeit) steigt somit die Gefahr eines Hold-up. Ceteris paribus steigt analog die Vorteilhaftigkeit hierarchischer Koordinationsformen.

- **Grad der Vernetzung mit anderen Transaktionen**: Wie im Rahmen vorhergehender Abschnitte bereits ausführlich erläutert, sind (Teil-)Leistungen häufig im Rahmen eines Systems zu erbringen, was eine gewisse Abstimmung der Erstellung der einzelnen Teilleistungen erfordert. MILGROM / ROBERTS (1992) betonen in diesem Zusammenhang die Bedeutung der Koordination zwischen den an der Bereitstellung des Gesamtsystems beteiligten Personen.[459] Zur Reduzierung der bei der Koordination der Teilleistungen entstehenden Transaktionskosten kommen u. a. zentralisiertere Entscheidungsstrukturen sowie Koordinationsmechanismen, die weniger Personen involvieren, in Betracht. Diese finden sich typischerweise in hierarchischen (bzw. integrierten) Koordinationsformen.

4.3.3 Erkenntnisse zur Kompetenzzuordnung und Koordination im föderalen System

Das Verwaltungssystem der Bundesrepublik Deutschland besteht mit Bund, Ländern und Kommunen aus drei Ebenen.[460] Bei Organisationsmodellen, bei denen Aufgaben und Entscheidungen durch die öffentliche Hand übernommen bzw. getroffen werden, stellt sich die Frage, welche Ebene die geeignete für die Übernahme der Aufgaben und Entscheidungen sowie für die Übernahme der Finanzierung ist. Dabei bestehen vor dem Hintergrund unterschiedlicher Kosten der Mittelerhebung und Anreizwirkungen Interdependenzen zwischen der Zuordnung von Aufgaben und Entscheidungen der Finanzierungsverantwortung sowie der Allokation von Risiken zwischen den Ebenen.

Innerhalb dieser Arbeit wird aus Vereinfachungsgründen von einem zweistufigen Verwaltungssystem mit einer zentralen und einer dezentralen Ebene ausgegangen. Wesentliche Determinanten für die Vorteilhaftigkeit der Verankerung von Aufgaben und Entscheidungen auf der zentralen oder der dezentralen Ebene stellen Transaktionskosten sowie die Notwendigkeit des Einbezugs von lokalem Know-how dar:[461]

- **Transaktionskosten** entstehen in diesem Zusammenhang insbesondere dann, wenn Entscheidungen zwischen einer Vielzahl von Akteuren abzustimmen sind. Dabei ist die Höhe der Transaktionskosten auch abhängig vom Grad der Übereinstimmung der Akteure bzgl. der mit der Entscheidung in Verbindung stehenden Ziele. Grundsätzlich kann davon ausgegangen

[459] Vgl. MILGROM / ROBERTS (1992, S. 32 f.).

[460] Vgl. HESSE / ELLWEIN (2004, S. 310 f.).

[461] Vgl. für die folgenden Ausführungen BECKERS ET AL. (2011, S. 43 f.).

werden, dass mit einer Verankerung von Entscheidungen auf der dezentralen Ebene aufgrund der Vielzahl an Gemeinden höhere Transaktionskosten verbunden sind, als mit einer Verankerung auf der zentralen Ebene.

- **Lokales Know-how** ist entsprechend auf der dezentralen Ebene verankert und ist bei Systemgütern insbesondere dann erforderlich, wenn lokale Besonderheiten berücksichtigt werden müssen. Dies ist z. B. bei Entscheidungen bzgl. der lokalen Verortung von Infrastruktureinrichtungen häufig der Fall. Außerdem kann lokales Know-how erforderlich sein, wenn weitere Akteure auf lokaler Ebene für die Bereitstellung eingebunden werden.

Somit können gewisse Zielkonflikte hinsichtlich möglichst geringer Transaktionskosten und der Berücksichtigung lokalen Know-hows bestehen. Vor diesem Hintergrund wird im späteren Teil der Arbeit entlang der relevanten Koordinationsbereiche analysiert, ob die jeweiligen Entscheidungen und Aufgaben lokal bzw. dezentral verankert werden sollten.[462]

Bei der Frage der Zuordnung der Finanzierungsverantwortung sind Anreize hinsichtlich der Wahrnehmung von Aufgaben und Entscheidungen sowie die Effizienz der Mittelerhebung von Bedeutung.[463] Dem Kriterium der „institutionellen Kongruenz“ folgend, nach welchem sich Nutznießer und Entscheidungs- sowie Kostenträger decken sollten, wäre eine Verankerung der Finanzierungsverantwortung auf der Ebene, auf der auch die Entscheidungen und Aufgaben verankert werden, sinnvoll.[464] Dabei muss die mit der Finanzierungsverantwortung ausgestattete Ebene über die notwendigen Mittel verfügen. Bei einer dezentralen Zuordnung kann vor diesem Hintergrund die Abstimmung der zeitlichen Investitionsentscheidung problematisch sein, z. B. wenn die gleichzeitige Bereitstellung einer Teilleistung in verschiedenen Gebieten von Bedeutung ist, die notwendigen Mittel aber nicht zeitgleich verfügbar sind (bzw. andere Ausgaben in einzelnen Gemeinden priorisiert werden). Außerdem kann die Mittelerhebung auf dezentraler Ebene ggf. mit interregionalen Verdrängungswirkungen und hohen Vollzugskosten einhergehen.[465]

[462] Siehe dazu insbesondere Abschnitt 6.2.1.

[463] Vgl. BECKERS ET AL. (2011, S. 44).

[464] Vgl. KLATT (2011, S. 105) sowie BLANKART (2008, S. 547 ff.).

[465] Vgl. KLATT (2011, S. 105).

5 Anwendung des Untersuchungsansatzes und Vorgehensweise bei der Analyse

Innerhalb dieses Kapitels werden Elemente des in Kapitel 4 allgemein beschriebenen Untersuchungsansatzes im Hinblick auf das Gesamtsystem der Elektromobilität angewendet, um die Analysen im nachfolgenden Teil C dieser Arbeit vorzubereiten. In Abschnitt 5.1 wird zunächst auf das Zielsystem eingegangen, auf dessen Basis sich verschiedene Organisationsmodelle (bzw. einzelne Ausschnitte davon) bewerten lassen. Daraufhin werden in Abschnitt 5.2 das im weiteren Verlauf angewendete Rollenmodell unter Berücksichtigung neuer Aufgaben an der Ladeschnittstelle eingeführt und Beziehungen bestehender Rollen zu potenziellen Nutzern erläutert. Die Vorgehensweise bei der weiteren Analyse wird in Abschnitt 5.3 dargestellt.

5.1 Zielsystem

Als Kriterien für die Beurteilung von Fragen hinsichtlich der institutionellen Ausgestaltung von Infrastruktursektoren werden in der ökonomischen Literatur regelmäßig die Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt sowie die Berücksichtigung der Nachfragerinteressen genannt.[466] Diese Kriterien werden auch in dieser Arbeit angewendet.

Für die Beurteilung der Auswirkungen verschiedener institutioneller Lösungen auf die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt wird das Kaldor-Hicks-Kriterium herangezogen, welches besagt, dass die durch eine Maßnahme (wie beispielsweise die Einführung einer formalen Regel) entstehenden (Brutto-)Nutzen größer als die Kosten sein müssen.[467] Die Verteilung des sich aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ergebenden Nettovorteils bleibt dabei unberücksichtigt.[468] Vor diesem Hintergrund wird in dieser Arbeit der Begriff der wohlfahrtsökonomischen oder auch allokativen Effizienz verwendet. Demnach gilt eine Maßnahme A als (wohlfahrtsökonomisch oder allokativ) effizienter als eine Maßnahme B, wenn das Verhältnis von Nutzen zu Kosten bei Maßnahme A größer als bei Maßnahme B ist. Dabei wird „realitätsorientiert“ davon ausgegangen, dass Kosten auch Transaktionskosten beinhalten, welche in formalen wohlfahrtsökonomischen Modellen und Theorien häufig nicht berücksichtigt werden.[469]

Hinsichtlich der Preissetzung gelten aus wohlfahrtsökonomischer Sicht Preise in Höhe der Grenzkosten als optimal. Diese gehen mit einem Output einher, der alle Nachfrager bedient, deren

---

[466] Vgl. z. B. HOLZNAGEL / VOGELSANG (2009, S. 25) sowie BECKERS / KLATT / KÜHLING (2010, S. 17).

[467] Vgl. KLATT (2011, S. 37 f.) sowie KALDOR (1939) und HICKS (1943).

[468] Dementsprechend ist das Kaldor-Hicks-Kriterium weniger restriktiv als das ebenfalls häufig angewandte Pareto-Kriterium, welches eine vollständige Kompensation von Individuen, die durch Maßnahmen schlechter gestellt werden, verlangt.

[469] Es ist anzumerken, dass es bei der Analyse institutioneller Lösungen im Regelfall kaum möglich ist, die mit diesen Lösungen einhergehenden wohlfahrtsökonomischen Effekte quantitativ zu erfassen. Vor diesem Hintergrund erfolgen auch im Rahmen dieser Arbeit grundsätzlich qualitative Analysen.

individuelle Zahlungsbereitschaft (bzw. individueller Nutzen) zumindest der Höhe der Grenzkosten entspricht. In Fällen, in denen die Bereitstellung einer Leistung von hohen Fixkosten gekennzeichnet ist, kann das Niveau der Durchschnittskosten über den Grenzkosten liegen.[470] In diesem Fall würde bei Preisen in Höhe der Grenzkosten ein Defizit (auf Seiten des Anbieters) entstehen. Unter der Nebenbedingung der Kostendeckung können in solchen Fällen im Allgemeinen Durchschnittskostenpreise als effizient angesehen werden.[471] Der mit reinen Durchschnittskostenpreisen einhergehenden Nachfrageverdrängung kann ggf. durch eine Preisdifferenzierung entgegengewirkt werden.

Werden bei der Beurteilung verschiedener institutioneller Lösungen neben dem Kriterium der wohlfahrtsökonomischen Effizienz auch Nachfragerinteressen berücksichtigt, kann es zu Konflikten zwischen diesen Kriterien kommen.[472] Diese ergeben sich insbesondere bei Fragen der Ausgestaltung von Koordinationsformen und Anreizregimen im Bereich der Leistungserstellung, welche die Vergütung eines Unternehmens und in diesem Kontext auch die Preissetzung betreffen.[473] Diesbezüglich wird in dieser Arbeit grundsätzlich nicht in Frage gestellt (und nicht näher thematisiert), dass private Unternehmen Renten in ausreichender Höhe erzielen müssen, um ihre Investitionen mit angemessener Rendite zu amortisieren. Dementsprechend wird ein ex post opportunistisches Verhalten des Regulierers (bzw. der öffentlichen Hand) ausgeschlossen.

Bei der Bereitstellung von Infrastrukturen werden im Übrigen häufig auch Aspekte der Daseinsvorsorge, wie insbesondere Fragen der räumlichen Verteilung von Infrastruktur thematisiert.[474] So könnten beispielsweise Überlegungen mit einbezogen werden, inwieweit verschiedene Modelle geeignet sind, auch Gebiete mit potenziell geringer Nutzung mit öffentlicher Ladeinfrastruktur auszustatten. Solche Maßnahmen werden häufig als „distributiv“ bzw. verteilungspolitisch motiviert bezeichnet, wenn sie nach einer rein wohlfahrtsökonomischen Bewertung nicht durchgeführt werden sollten. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass derartige Maßnahmen auch allokative Komponenten haben können. So kann ein gewisser Grad der Flächendeckung bzw. eine gewisse

[470] Ein hoher Fixkostenanteil kann Ursache für eine sog. subadditive Kostenfunktion sein, die Voraussetzung für das Vorliegen eines natürlichen Monopols ist; vgl. FRITSCH / WEIN / EWERS (2007, S. 187 ff.) sowie SCHRÖDER (2006, S. 2 ff.).

[471] Vgl. BECKERS / KLATT / KÜHLING (2010, S. 18).

[472] Vgl. BECKERS / KLATT / KÜHLING (2010, S. 19).

[473] Beispielsweise können, wenn mit entsprechenden institutionellen Lösungen auch Anreize zur Kosteneffizienz gesetzt werden sollen, Modelle unterschieden werden, die sich hinsichtlich des Preises (P) und der Durchschnittskosten (DK) unterscheiden. So könnten ein Modell A mit P = 12 und DK = 8 sowie ein Modell B mit P = 10 und DK = 9 unterschieden werden. Modell A wäre aus wohlfahrtsökonomischer Sicht kosteneffizienter, jedoch Modell B hinsichtlich der Interessen potenzieller Nutzer unterlegen. Unter der Annahme, dass Modell B ein evtl. vorgegebenes Verteilungsziel (Preisminimierung) erfüllt, wären bei Umsetzung von Modell A weitere Umverteilungen über das Steuersystem vorzunehmen, welche jedoch mit weiteren (Transaktions-)kosten einhergehen; Vgl. BECKERS / KLATT / KÜHLING (2010, S. 20).

[474] Vgl. KLATT (2011, S. 38).

Grundversorgung Transaktionskosten der Nutzung des Gesamtsystems u. U. signifikant senken.[475] Dieser Aspekt wird somit im Rahmen der wohlfahrtsökonomischen Betrachtungen in dieser Arbeit berücksichtigt.

5.2 Rollenmodell und Beziehungen zu Nutzern

Rollen beschreiben entsprechend des hier angewendeten Untersuchungsrahmens Aufgabenbündel, die für die Erbringung einer (Teil-)Leistung im Kontext der Bereitstellung des Gesamtsystems zu erfüllen sind.[476] Die Systematisierung von Rollen und Aufgaben im Gesamtsystem der Elektromobilität erfolgt innerhalb dieses Abschnitts auf Basis der Beschreibung des Gesamtsystems in Abschnitt 2.1 sowie der detaillierten Beschreibung des Ladeinfrastruktursystems in Kapitel 3.

Einzelne Teilleistungen des Gesamtsystems werden bereits durch etablierte Rollen, z. B. im Kontext anderer (System-)Güter, angeboten. Auf diese Rollen wird im folgenden Abschnitt 5.2.1 kurz eingegangen. Daran anschließend werden in Abschnitt 5.2.2 für die Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur notwendige Aufgaben an der Ladeschnittstelle dargestellt, die überwiegend neuartigen Charakter haben und noch nicht einheitlich etabliert sind. Diese werden der (neuen) Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers zugeordnet, wobei im weiteren Verlauf der Arbeit analysiert wird, inwieweit eine Bündelung dieser Rolle mit der Rolle des Stromlieferanten sinnvoll erscheint. In Abschnitt 5.2.3 wird auf Beziehungen zu potenziellen Nutzern durch bestehende Rollen eingegangen.

5.2.1 Etablierte Rollen

Als bereits etablierte Rollen wird im Folgenden kurz auf den Fahrzeughersteller (in Abschnitt 5.2.1.1), die Rolle der Kommune (u. a. als Bereitstellerin des Parkraumes; in Abschnitt 5.2.1.2), den Netzbetreiber (in Abschnitt 5.2.1.3) sowie den Stromlieferanten (in Abschnitt 5.2.1.4) eingegangen.

5.2.1.1 Fahrzeughersteller

Der Rolle des Fahrzeugherstellers werden im Rahmen dieser Arbeit alle Aufgaben und Entscheidungen zugeordnet, die für die Bereitstellung von Elektrofahrzeugen (inkl. der Batterie) notwendig sind.[477]

---

[475] In diesem Zusammenhang kann als Beispiel das Angebot der Post genannt werden, welches garantiert, dass an jede Adresse eine Sendung (zu einem einheitlichen Tarif) zugestellt werden kann. Für potenzielle Nutzer werden dadurch Transaktionskosten, die andernfalls z. B. durch die Suche nach einer Möglichkeit eine Sendung zustellen zu können entstehen, signifikant gesenkt.

[476] Vgl. Abschnitt 4.2.1.

[477] Vgl. Abschnitt 2.1.1 für eine Darstellung des technischen Systems. Da im Rahmen der weiteren Analyse, das Batteriewechselkonzept ausgeklammert wird, ist eine Einordnung dieses Aufgabenbereichs als gesonderte Rolle im Rahmen dieser Arbeit nicht erforderlich.

Akteure, die die Rolle des Fahrzeugherstellers bekleiden, werden häufig auch als OEMs bezeichnet. Zwischen diesen Akteuren bestehen, wie auch bei der Bereitstellung konventioneller Fahrzeuge, horizontale Wettbewerbsbeziehungen.

5.2.1.2 Kommune (Parkraum und Verkehrssystem)

Kommunen verantworten in Bezug auf die Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur verschiedene Aufgabenbereiche. So sind Kommunen als Träger der Straßenbaulast für die Bereitstellung öffentlicher Stellplätze in Städten und Gemeinden verantwortlich, also für das Angebot von öffentlichem Parkraum.[478] Des Weiteren erfolgt die Ausgestaltung lokaler Parkraum- und Verkehrskonzepte unter Berücksichtigung der verschiedenen lokalen Belange durch Kommunen.[479] Dabei sind für die Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur insbesondere Entscheidungsspielräume hinsichtlich der Ausgestaltung von Nutzungsregeln sowie der Entgelterhebung im Bereich des Parkraumes von Bedeutung.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird diskutiert, inwieweit verschiedene (Bereitstellungs-) Entscheidungen hinsichtlich der Ausgestaltung eines Ladeinfrastrukturnetzwerks bei den Kommunen (der dezentralen Ebene) oder bei der zentralen (Bundes-)Ebene liegen sollten.[480] Dabei ist von Bedeutung, dass die Kommunen Gebietskomplementäre darstellen, die entsprechende Entscheidungen (nach der in dieser Arbeit verwendeten Einordnung) in horizontalen Beziehungen abstimmen. Außerdem besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, dass die zentrale Ebene Vorgaben macht, welche die Entscheidungsspielräume der dezentralen Ebene einschränken.

5.2.1.3 Netzbetreiber

Entsprechend der in Abschnitt 2.1.3.2 erfolgten Erläuterungen, sind Netzbetreiber für den sicheren Transport bzw. die Verteilung von elektrischem Strom sowie für die Wartung und den Ausbau der Elektrizitätsnetze verantwortlich. Im Rahmen dieser Arbeit sind insbesondere Verteilnetzbetreiber von Bedeutung, da diese die für den Netzanschluss von Ladeeinheiten relevanten Spannungsebenen verantworten. Außerdem werden die für die bilanzielle Abrechnung elektrischen Stroms erforderlichen Messdaten durch den Verteilnetzbetreiber verarbeitet.[481]

---

[478] Vgl. hierzu die Abgrenzung öffentlicher von halböffentlicher und privater Ladeinfrastruktur in Abschnitt 3.1. Es ist anzumerken, dass auch Kreise, Länder oder der Bund als Träger der Straßenbaulast die Rolle des Parkraumanbieters einnehmen können. Diese Fälle werden in dieser Arbeit jedoch nicht näher betrachtet.

[479] In der kommunalen Praxis werden diese Konzepte zumeist innerhalb teilweise standardisierter Pläne verankert, wie z. B. dem Bauleitplan oder dem Verkehrsentwicklungsplan; vgl. z. B. BLEES (2011, S. 3) für eine Darstellung der verschiedenen Pläne.

[480] Siehe hierzu Abschnitt 6.2.1.

[481] Die Messaufgaben selbst (u. a. Messung und Datenweitergabe) können nach Verlangen des Anschlussnutzers durch einen Dritten ausgeführt werden; vgl. Abschnitt 2.1.3.3. Innerhalb dieser Arbeit wird angenommen, dass die Messaufgaben bei der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers (als Anschlussnutzer) liegen (und von diesem ggf. delegiert werden); siehe dazu Abschnitt 5.2.2.

Akteure, die die Rolle des Netzbetreibers ausfüllen, haben innerhalb ihres Netzgebietes eine monopolistische Stellung und können entsprechend als Gebietskomplementäre bezeichnet werden. Die Vorgaben bzw. Regeln des mit der Monopolstellung einhergehenden Regulierungsregimes haben wesentlichen Einfluss auf die Entscheidungen und Handlungen der Akteure hinsichtlich der Koordination mit anderen Rollen des Elektromobilitätssystems.

5.2.1.4 Stromlieferanten

Stromlieferanten sind entsprechend der energiewirtschaftlichen Definition für den Vertrieb sowie die Belieferung von Letztverbrauchern mit elektrischem Strom verantwortlich.[482] Die Beschaffung elektrischen Stroms erfolgt dabei i. d. R. über den Börsenhandel, OTC oder ggf. von mit der eigenen Organisation verbundenen Erzeugungseinheiten.[483]

Für den weiteren Verlauf der Arbeit ist insbesondere relevant, dass Stromlieferanten die Möglichkeit haben, mit ihren Kunden variable Tarife zu vereinbaren[484] und so grundsätzlich den Anwendungsfall des beeinflussten Ladens umsetzen könnten.[485] Außerdem besteht die Möglichkeit, dass Kunden die Kompetenz der Steuerung an den Stromlieferanten übertragen und dieser die Aufgabe eines Optimierungsagenten (z. B. zur Umsetzung des gesteuerten Ladens) ausfüllt.

Zwischen Akteuren, die die Rolle des Stromlieferanten ausfüllen, bestehen grundsätzlich horizontale Wettbewerbsbeziehungen, da (nicht mobile) Letztverbraucher ihren Lieferanten grundsätzlich frei wählen können. Inwiefern hinsichtlich der Belieferung von Elektromobilitätskunden an öffentlicher Ladeinfrastruktur ebenfalls ein solcher Wettbewerb etabliert werden kann, wird im weiteren Verlauf der Arbeit näher betrachtet.[486]

5.2.2 Aufgaben an der Ladeschnittstelle und Umfang der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers

Im Folgenden werden in Abschnitt 5.2.2.1 Aufgaben an der Ladeschnittstelle beschrieben, die im Rahmen dieser Arbeit der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers zugeordnet werden. Daran anschließend wird in Abschnitt 5.2.2.2 kurz auf die Frage der „Zwangsbündelung“ der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers mit der Rolle des Stromlieferanten eingegangen.

---

[482] Vgl. Abschnitt 2.1.3.1 für eine ausführlichere Beschreibung der Aufgaben von Stromlieferanten.

[483] Diese vorgelagerten Aufgaben werden im weiteren Verlauf der Arbeit nicht näher betrachtet.

[484] Dabei ist ein entsprechendes Mess- und Bilanzierungsverfahren von Bedeutung. Aktuell aufgrund des SLP-Verfahrens bestehende Umsetzungsbarrieren werden hier, wie in Abschnitt 2.1.3.3 beschrieben, ausgeklammert.

[485] Vgl. Abschnitt 3.2.2.2 für eine Darstellung der in dieser Arbeit unterschiedenen Anwendungsfälle.

[486] Die Unsicherheit ergibt sich aus der in Abschnitt 2.1.4.2 beschriebenen derzeitigen „Zwangsbündelung“ zwischen der Rolle des Stromlieferanten und dem Betrieb von Ladeeinheiten. Siehe dazu den folgenden Abschnitt 5.2.2.2 sowie Kapitel 7 für die ausführliche Analyse.

5.2.2.1 Aufgaben des Ladeinfrastrukturbetreibers

Die für die Bereitstellung eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks erforderlichen (und noch nicht durch andere Rollen wahrgenommenen) Aufgaben umfassen zum einen die Bereitstellung von Ladeeinheiten. Zum anderen bestehen verschiedene Erfordernisse im Bereich der Kommunikation und Datenverarbeitung:

- **Aufbau und Betrieb von Ladeeinheiten**: Dieser Aufgabenbereich umfasst den Aufbau sowie den Betrieb der Ladeeinheiten an Stellplätzen. Dabei beinhaltet der Aufbau die Bereitstellung der Hardware-Komponenten (z. B. Gehäuse, Kabel, Kommunikationsmodule und Nutzerschnittstellen) sowie deren Installation.[487] Die Betriebsaufgaben umfassen die Gewährleistung der Funktionsfähigkeit, insbesondere durch Wartung sowie ggf. Reparaturen.

- **Kommunikation und Datenverarbeitung**: In Abhängigkeit des betrachteten Anwendungsfalles sind verschiedene Informationen (an der Ladeschnittstelle) zu erfassen, weiterzuleiten und ggf. zu verarbeiten.[488]

    - **Mess- und Abrechnungsinformationen**: In allen Anwendungsfällen sind Mess- und Abrechnungsinformationen an den Ladeeinheiten zu erfassen und weiterzuleiten. Diese Aufgabe umfasst u. a. die Erfassung der für die Abrechnung von elektrischem Strom erforderlichen Daten sowie die Weiterleitung dieser Daten an den VNB und hat somit eine große Ähnlichkeit mit der energiewirtschaftlichen Messaufgabe.[489] Außerdem können bei einer separaten Bepreisung des Ladeinfrastruktursystems ggf. weitere, z. B. zeitbezogene Informationen für die Abrechnung der Ladeinfrastrukturnutzung anfallen.[490]

    - **Beeinflussungs- oder Steuerungsinformationen**: Bei einer Beeinflussung oder Steuerung von Ladevorgängen sind außerdem ggf. (Tarif-)Informationen oder Steuerungsinformationen zu erfassen und weiterzuleiten.

    Für die Durchführung dieser Aufgaben ist die Bereitstellung entsprechender Datenverarbeitungs-, Hard- und Software (in dieser Arbeit allgemein „Backend“ genannt) notwendig, wobei zwischen Steuerungs- und Abrechnungsbackend unterschieden werden kann.

---

[487] Vgl. Abschnitt 3.4.1.1.

[488] Vgl. für eine ausführliche Beschreibung der Kommunikationserfordernisse Abschnitt 3.4.1.3.1.

[489] Der Ladeinfrastrukturbetreiber hat als Anschlussnutzer gemäß energiewirtschaftlicher Regelungen die Möglichkeit, die Messaufgaben an einen Dritten zu übertragen. Dementsprechend wird die Verantwortung für diese Aufgabe hier dem Ladeinfrastrukturbetreiber zugeordnet (wobei die Durchführung der Aufgaben durch einen Dritten erfolgen kann).

[490] In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage der Durchsetzung von (in Abschnitt 8.3.2 genauer betrachteten) Regeln für die Nutzung von Stellplätzen mit Lademöglichkeit, die hier jedoch ausgeklammert wird.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden diese Aufgabenbereiche der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers zugeordnet. Dabei wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass auch die mit den Aufgaben einhergehenden Entscheidungen (wie z. B. die Kompatibilitätsentscheidung) bei dieser Rolle liegen, wenn keine Institutionen etabliert werden, die entsprechende Entscheidungsspielräume einschränken.

5.2.2.2 Frage der Bündelung mit der Rolle des Stromlieferanten

Vor dem Hintergrund des in Abschnitt 2.1.4.2 beschriebenen Status quo energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen ist zu hinterfragen, inwieweit der Vertrieb von elektrischem Strom für Elektromobilitätskunden an öffentlicher Ladeinfrastruktur eine Aufgabe des Ladeinfrastrukturbetreibers darstellt.

Unter der bestehenden Regelung der eins-zu-eins-Zuordnung von an einem Netzanschluss erhobenen Messdaten zu dem Bilanzkreis eines Stromlieferanten, sind Elektromobilitätskunden an den Stromlieferanten der jeweiligen Ladeeinheit gebunden. Unter dieser Voraussetzung würde ein Ladeinfrastrukturbetreiber auch elektrischen Strom vertreiben und damit (zwangsweise) eine Aufgabe des Stromlieferanten übernehmen.

Die Frage der Vorteilhaftigkeit möglicher Änderungen an den bestehenden Regeln wird ausführlich in Kapitel 7 behandelt.

5.2.3 Beziehungen zu potenziellen Nutzern

Für den Vertrieb (bzw. die Schaffung eines Zugangs für Nutzer) sowie für die Rechnungsstellung und Zahlungsabwicklung, sind Beziehungen zu potenziellen und bestehenden Nutzern des Ladeinfrastrukturnetzwerks herzustellen und zu verwalten. Dabei besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dass die Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers eigene Strukturen (für den Vertrieb, die Rechnungsstellung und Zahlungsabwicklung) aufbaut. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass bei etablierten Rollen bestehende Strukturen (mit)genutzt werden. Im Folgenden wird diesbezüglich kurz auf die etablierten Rollen eingegangen.

- **Stromlieferanten** verfügen innerhalb des Elektrizitätssystems über etablierte Vertriebs- und Abrechnungsstrukturen. Mit Nutzern bestehen i. d. R. längerfristige Verträge, die bestimmte Entgeltstrukturen beinhalten. Die Rechnungsstellung und Zahlungsabwicklung erfolgt aufgrund der Regelmäßigkeit über standardisierte bzw. automatisierte Abrechnungssysteme. Diese werden außer für die Abrechnung elektrischer Energie auch genutzt, um die von den Netzbetreibern erhobenen Netzentgelte in Rechnung zu stellen. Zwischen Netzbetreibern und Endkunden bestehen daher keine regelmäßigen Beziehungen.

- **Fahrzeughersteller** verfügen ebenfalls über etablierte Vertriebsstrukturen. Auch Akteure, die mit dem Angebot von Elektrofahrzeugen neu in den Markt eintreten, dürften häufig eigene Vertriebsstrukturen aufbauen.[491] Es erscheint jedoch auch möglich, dass diese mit etablierten Herstellern kooperieren und ein bestehendes Vertriebssystem mitnutzen. Da es sich beim Fahrzeugkauf häufig um eine einmalige bzw. seltene Transaktion handelt, verfügen Fahrzeughersteller im Gegensatz zu Stromlieferanten nicht immer über ein hoch automatisiertes Abrechnungssystem. In Kombination mit Leasingverträgen könnten derartige Strukturen jedoch bei Leasinggebern vorliegen, die häufig vertikal mit Fahrzeugherstellern verbunden sind.

- **Parkraumbetreiber** verfügen über Abrechnungsstrukturen, die i. d. R. räumlich mit den Stellplätzen zusammenfallen und häufig auf einmalige, automatisierte Transaktionen (z. B. über Parkscheinautomaten) spezialisiert sind.

- **Rollen außerhalb des Elektromobilitätssystems** können ebenfalls über Strukturen verfügen, die sich für Vertriebs- und Abrechnungsaufgaben innerhalb des Elektromobilitätssystems nutzen lassen. Beispielsweise verfügen Anbieter von Telekommunikationsdienstleistungen über eine Vertriebsstruktur sowie über ein Abrechnungssystem, welches die Rechnungsstellung im Rahmen langfristiger Verträge ermöglicht.[492]

Die Ausgestaltung von Nutzerbeziehungen wird auch durch die Frage der „Zwangsbündelung“ der Rollen des Stromlieferanten und des Ladeinfrastrukturbetreibers beeinflusst. Von daher wird die Ausgestaltung dieser Beziehungen in Kapitel 8, nachgelagert zur in Kapitel 7 analysierten Frage der „Zwangsbündelung“ betrachtet.[493]

5.3 Vorgehensweise bei der weiteren Analyse

Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der weiteren Analyse in Teil C erläutert. Dabei wird zunächst auf den Aufbau der Analyse eingegangen. Anschließend werden relevante Annahmen dargestellt.

AUFBAU DER WEITEREN ANALYSE

Innerhalb von Kapitel 6 bis Kapitel 8 werden institutionelle Lösungen für einzelne Ausschnitte des Gesamtsystems (bzw. einzelne komplementäre und horizontale Beziehungen) betrachtet. Im Folgenden wird die Vorgehensweise entlang der einzelnen Kapitel näher beschrieben:

[491] Als Beispiel kann hier der amerikanische Hersteller Tesla Motors genannt werden.

[492] Als Beispiel hierfür kann das BMWi-Forschungsvorhaben „SMS&Charge“ genannt werden, welches ein Konzept zur Abrechnung der Ladeinfrastrukturnutzung über das Mobilfunksystem verfolgt.

[493] Siehe Abschnitt 8.4 für die Diskussion der Ausgestaltung von Nutzerbeziehungen.

- In **Kapitel 6** wird zunächst auf die Abstimmung von Bereitstellungsentscheidungen (der Angebotsvorbereitungsphase) in horizontalen Beziehungen fokussiert, wobei die Frage der Bündelung zwischen Ladeinfrastrukturbetreiber und Stromlieferant noch ausgeklammert wird. Die eigentliche Erstangebotsphase wird dabei nur insofern betrachtet, als dass (Bereitstellungs-)Entscheidungen auch auf Nutzen und Kosten des Angebots Einfluss haben. Im Übrigen wird die Leistungserstellung (bzw. die Umsetzung der Entscheidungen im Rahmen der Erstangebotsphase) nicht näher betrachtet. Grundsätzlich bleiben verschiedene Formen der Leistungserstellung im Kontext der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers möglich.

  Kern des Kapitels ist der Vergleich verschiedener Varianten einer Abstimmung bzw. Planung von Bereitstellungsentscheidungen durch die öffentliche Hand sowie einer wettbewerblichen Abstimmung durch private Unternehmen. In dem Kapitel wird außerdem diskutiert, ob Fördergelder (aus öffentlichen Haushaltsmitteln), die das Ziel eines erfolgreichen Markthochlaufes adressieren, auch zur Deckung von Kosten für die Bereitstellung eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks herangezogen werden sollten. Auf Basis der Ergebnisse können Ausgangsannahmen für die weiteren Analysen getroffen werden.

- In **Kapitel 7** wird anschließend auf die (komplementäre) Beziehung zwischen der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers und der Rolle des Stromlieferanten fokussiert. Dabei steht die Frage der Vorteilhaftigkeit einer Auflösung der „Zwangsbündelung“ zwischen den beiden Rollen im Vordergrund. Als Ergebnis der Analyse kann der Umfang der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers aus normativer Sicht beschrieben werden.

- In **Kapitel 8** werden weitere komplementäre Beziehungen analysiert. Dabei wird insbesondere untersucht, inwieweit Entscheidungen der öffentlichen Hand in Bezug auf die verschiedenen Koordinationsbereiche (der Angebotsvorbereitungsphase) hinsichtlich einer effizienten Bereitstellung des Gesamtsystems vorteilhaft oder notwendig erscheinen.

In Teil D der Arbeit werden die Analysen durch eine teilweise Auflösung der im Folgenden dargestellten Annahmen erweitert.

ANNAHMEN BEI DER WEITEREN ANALYSE

Im Bereich der technischen Ausgestaltungsoptionen werden in Teil C die in Abschnitt 3.4.3 beschriebenen Annahmen aufrechterhalten. Somit ergeben sich Voreinstellungen bzgl. des Koordinationsbereiches „Systemdesign und Kompatibilitätsentscheidungen“. Es wird insbesondere von einem (nicht näher spezifiziertem) AC-Ladeinfrastruktursystem ausgegangen, wobei Schnellladeverfahren sowie die Möglichkeit der mobilen Messtechnik ausgeklammert sind und in

Kapitel 9 im Teil D wieder aufgegriffen werden.[494] Im Übrigen wird auch die bisher nicht näher betrachtete halböffentliche Ladeinfrastruktur in Kapitel 9 thematisiert.[495]

Des Weiteren wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die technischen Ausgestaltungsoptionen auch umsetzbar sind, sodass die Abstimmung von Entscheidungen in der F & E-Phase bei der Analyse ausgeklammert wird. Somit wird auch die Frage der Schaffung verschiedener Standards nicht näher betrachtet. Vielmehr stellt die Auswahl und Durchsetzung von Standards (bzw. die Kompatibilitätsentscheidung) einen zentralen Analysebereich dar.

Hinsichtlich der insbesondere in Kapitel 6 abstrakt unterschiedenen Akteure wird im weiteren Verlauf der Arbeit angenommen, dass die öffentliche Hand (auf verschiedenen Ebenen) tendenziell ein mehrdimensionales Zielsystem verfolgt, welches grundsätzlich an der Maximierung der gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt orientiert ist und auch die Interessen potenzieller Nutzer berücksichtigt.[496] Dabei ist die zentrale Ebene eher an überregionalen Interessen orientiert, während die dezentrale Ebene insbesondere auf lokale Interessen fokussiert ist. Für private Unternehmen wird demgegenüber das Ziel einer Maximierung des eigenen Gewinns als Ergebnis des Umsatzes abzüglich der (durch das Unternehmen zu tragenden) Kosten angenommen.

In Bezug auf die Ressourcenausstattung wird davon ausgegangen, dass die Akteure finanzielle Mittel, die ggf. notwendig sind, um nicht vorhandene Ressourcen (wie z. B. Wissen) aufzubauen, beschaffen können. Dabei sind die Kosten der Mittelerhebung der zentralen Ebene der öffentlichen Hand geringer als die der dezentralen Ebene. Die Finanzierungskosten privater Unternehmen sind, neben der Stärke regulatorischer und öffentlicher Commitments, insbesondere von der Allokation von Risiken abhängig, jedoch i. d. R. höher als bei einer Mittelbereitstellung durch die zentrale Ebene der öffentlichen Hand.[497] Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass durch die zentrale Ebene der öffentlichen Hand getroffene Entscheidungen auch mit Mitteln der zentralen Ebene umgesetzt werden, wobei die Mittel auch an die dezentrale Ebene alloziert werden können.[498]

Es ist im Übrigen anzumerken, dass im Rahmen der Analysen in den folgenden Kapiteln rechtliche Aspekte weitestgehend ausgeklammert werden. Die aus den hier durchgeführten ökonomischen Betrachtungen ableitbaren Handlungsempfehlungen sind daher grundsätzlich vorbehaltlich einer juristischen Bewertung zu verstehen.

---

[494] Siehe hierzu Abschnitt 9.1.

[495] Siehe Abschnitt 9.2.

[496] Vgl. für eine allgemeine Systematisierung der Eigenschaften von Akteuren Abschnitt 4.2.2.1.

[497] Vgl. hierzu ausführlich BECKERS ET AL. (2008, S. 21 ff.). Dabei ist die Annahme von Bedeutung, dass private Unternehmen risikoavers sind, während die öffentliche Hand grundsätzlich als risikoneutral einzustufen ist, wobei kleine Gebietskörperschaften eine Ausnahme darstellen können.

[498] Bei einer Wahrnehmung von Entscheidungskompetenzen durch die dezentrale Ebene sind dabei jedoch ggf. entstehende Anreizprobleme zu berücksichtigen; vgl. Abschnitt 4.3.3.

Teil C – Zentrale Analysethemen

Innerhalb dieses Teils der Arbeit erfolgt die ökonomische Analyse von verschiedenen institutionellen Lösungen sowie deren Bewertung unter Berücksichtigung des in Abschnitt 5.1 eingeführten Zielsystems. Dabei gelten verschiedene (in Abschnitt 5.3 dargestellte) Annahmen, die in Teil D (Kapitel 9) dieser Arbeit z. T. aufgelöst werden. So werden innerhalb dieses Teils C insbesondere der halböffentliche Bereich, verschiedene Schnellladeverfahren sowie die technische Ausgestaltungsoption der mobilen Messtechnik nicht näher betrachtet.

Im Folgenden wird in Kapitel 6 auf die Abstimmung von Bereitstellungsentscheidungen in horizontalen Beziehungen sowie auf die Frage der Kostendeckung durch Zuschüsse aus öffentlichen Haushaltsmitteln eingegangen. Kapitel 7 fokussiert anschließend auf die Frage der „Zwangsbündelung“ zwischen der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers und der Rolle des Stromlieferanten. In Kapitel 8 wird die Abstimmung in (weiteren) komplementären Beziehungen betrachtet.

6 Abstimmung von Entscheidungen in horizontalen Beziehungen und Frage der Förderung eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks

Horizontale Beziehungen liegen gemäß der in dieser Arbeit verwendeten Einordnung zwischen Akteuren vor, die die gleiche Rolle wahrnehmen.[499] Dieses ist bei Unternehmen, die im Wettbewerb zueinander stehen, sowie bei sich räumlich ergänzenden Gebietskomplementären, wie z. B. Kommunen, der Fall. Innerhalb dieses Kapitels werden verschiedene institutionelle Lösungen mit Wirkung auf die Abstimmung von (Bereitstellungs-)Entscheidungen in der Angebotsvorbereitungsphase in horizontalen Beziehungen analysiert und bewertet.[500] Dabei wird insbesondere zwischen einer Abstimmung bzw. Planung durch die öffentliche Hand im föderalen System und einer wettbewerblichen Abstimmung unterschieden.

Im Folgenden werden in Abschnitt 6.1 zunächst Bewertungskriterien, die für die weitere Diskussion herangezogen werden, dargestellt. In Abschnitt 6.2 werden daraufhin unter der Annahme einer ausreichenden Zahlungsbereitschaft für das Gesamtsystem der Elektromobilität verschiedene Varianten einer Abstimmung oder Planung durch die öffentliche Hand sowie einer wettbewerblichen Abstimmung durch Unternehmen analysiert und bewertet. Im sich anschließenden Abschnitt 6.3 wird die Annahme einer ausreichenden Zahlungsbereitschaft aufgelöst und diskutiert, inwiefern finanzielle Zuschüsse aus öffentlichen Haushaltsmitteln, die den Markthochlauf der Elektromobilität adressieren

[499] Vgl. Abschnitt 4.2.1.

[500] Vgl. Abschnitt 4.2.3 für eine allgemeine Darstellung notwendiger Bereitstellungsentscheidungen (die sich Koordinationsbereichen zuordnen lassen) in verschiedenen Phasen der Marktentwicklung.

(im Folgenden als Subventionierung oder Förderung bezeichnet), auch für die Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur herangezogen werden sollten. In Abschnitt 6.4 wird ein Fazit gezogen.

6.1 Bewertungskriterien

Im Folgenden werden Kriterien auf Basis des in Abschnitt 5.1 dargestellten Zielsystems hergeleitet, die im weiteren Verlauf dieses Kapitels für die Bewertung verschiedener institutioneller Lösungen herangezogen werden. In Abschnitt 6.1.1 erfolgt zunächst eine Einordnung von Kapazitäts- und Kostenkriterien. Daraufhin wird in Abschnitt 6.1.2 auf Kriterien und Zielkonflikte hinsichtlich einer effizienten (auslastungsorientierten) Bepreisung eingegangen.

6.1.1 Kapazitätsziel und Kosten

Innerhalb dieses Abschnitts wird zunächst auf die Abdeckung und Kapazität eines öffentlichen Ladeinfrastruktursystems eingegangen, welche – von der Bepreisung zunächst abstrahierend – im Wesentlichen den (Brutto-)Nutzen des Systems determinieren. Daran anschließend werden kurz die verschiedenen relevanten Kostenelemente dargestellt. Zum Abschluss wird die weitere Vorgehensweise hinsichtlich der Berücksichtigung von Nutzen- und Kostenelementen in der Analyse erläutert.

ERREICHUNG EINES ABDECKUNGS- UND KAPAZITÄTSZIELES

Für eine Identifikation bzw. Festlegung einer aus wohlfahrtsökonomischer Sicht optimalen Anzahl und räumlichen Verteilung von Ladepunkten (hier allgemein als Abdeckungs- und Kapazitätsniveau bezeichnet), wäre eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung von Nutzen- und Kostenelementen im Gesamtsystem der Elektromobilität unter Berücksichtigung von Interdependenzen mit weiteren Systemen bzw. Nutzern außerhalb des Elektromobilitätssystems erforderlich. In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, dass die in diesem Kapitel betrachteten verschiedenen institutionellen Lösungen für die Bereitstellung eines Ladeinfrastruktursystems auch wesentlichen Einfluss auf die Kosten einer Bereitstellung haben, die zu einem bestimmten Nutzenniveau führen. Um die Komplexität bei der Analyse von institutionellen Lösungen zu reduzieren, wird im Folgenden ein allgemeines Abdeckungs- und Kapazitätsziel unterstellt, das im Wesentlichen den Bruttonutzen des Systems determiniert.[501] Dieses Abdeckungs- und Kapazitätsziel soll insbesondere zwei Kriterien erfüllen:

- **Flächendeckende Mobilitätsoptionen**:[502] Die Abdeckung des Ladeinfrastruktursystems soll einen flächendeckenden Einsatz reiner Elektrofahrzeuge ermöglichen. Mit diesem

[501] Vgl. dazu Abschnitt 3.3.1.2.2 sowie Abschnitt 3.3.2.1.1. Es ist anzumerken, dass weitere für den Bruttonutzen relevante Parameter, wie insbesondere die Ladegeschwindigkeit sowie der Nutzungskomfort, hier (vor dem Hintergrund der in Abschnitt 3.4.3 dargestellten Annahmen) ausgeklammert sind.

[502] Vgl. für eine ausführliche Diskussion der Bedeutung von Mobilitätsoptionen Abschnitt 3.3.2.1.

Abdeckungsziel geht in Verbindung mit den dafür notwendigen Ladeeinheiten eine bestimmte Basiskapazität einher.

- **Hinreichende Verfügbarkeit und Verlässlichkeit in verschiedenen lokalen Gebieten**:[503] Über die Basiskapazität hinaus soll die Anzahl der Ladeeinheiten ausreichen, um die Anforderungen von Nutzern hinsichtlich der Verfügbarkeit und Verlässlichkeit des Systems zu befriedigen. Das bedeutet, dass in (potenziell) nachfragestarken Gebieten über die für die Erreichung der Abdeckungsziele notwendigen Ladeeinheiten hinaus Kapazität bereitzustellen ist.

Somit umfasst das Abdeckungs- und Kapazitätsziel sowohl eine überregionale als auch eine lokale Komponente.

KOSTEN

Die für die weitere Analyse relevanten Kostenkomponenten lassen sich in Produktions- und Transaktionskosten unterteilen:

- **Produktionskosten** fallen insbesondere für den Aufbau und den Betrieb sowie im Übrigen auch für die Planung eines Ladeinfrastruktursystems an. Dabei sind die Kosten für den Aufbau eines Netzwerks abhängig von dem ausgewählten Ladeverfahren, das hier per Annahme festgelegt ist.[504] Außerdem ist von zentraler Bedeutung, ob ein einzelnes (in sich kompatibles) Netzwerk oder mehrere (inkompatible) Netzwerke aufgebaut werden. So wäre bei mehreren inkompatiblen Netzwerken für die Erreichung einer festgelegten Abdeckung ein paralleler Aufbau erforderlich. Hinsichtlich der lokalen Kapazität kann davon ausgegangen werden, dass die marginalen Kosten für die Aufrechterhaltung eines Verfügbarkeits- und Verlässlichkeitsniveaus mit steigender Nutzerzahl abnehmen.[505] Des Weiteren ist für die Höhe der Produktionskosten von wesentlicher Bedeutung, inwiefern Synergieeffekte, wie insbesondere Skalenvorteile oder Verbundvorteile, beim Aufbau und Betrieb realisiert werden können.[506]

- **Transaktionskosten** können in ex ante und ex post Transaktionskosten unterschieden werden.[507] Im Zusammenhang mit dem Angebot eines Ladeinfrastruktursystems werden im

---

[503] Vgl. für eine Erläuterung der Begriffe „Verfügbarkeit“ und „Verlässlichkeit“ Abschnitt 3.3.1.1.1.

[504] Vgl. Abschnitt 3.4.3.

[505] Dieser Zusammenhang kann an einem Beispiel verdeutlicht werden: Wenn innerhalb eines Stadtgebietes für ein festgelegtes Qualitätsniveau bei 1000 Nutzern 500 Ladepunkte ausreichen, kann davon ausgegangen werden, dass bei 2000 Nutzern und gleichem Qualitätsniveau weniger als 1000 Ladepunkte ausreichen. Damit wären die marginalen Kosten der für einen Nutzer notwendigen Kapazitätserweiterung bei 2000 Nutzern geringer als bei 1000 Nutzern. Dieses lässt sich insbesondere durch zufällig verteilte Wegeprofile begründen.

[506] Diese Synergieeffekte sind insbesondere bei einer Betrachtung der (in diesem Kapitel ausgeklammerten) Leistungserstellung relevant.

[507] Vgl. Abschnitt 4.3.2.

Folgenden Kosten, die vor der Erstinvestition insbesondere in der Angebotsvorbereitungsphase anfallen, als ex ante Kosten und Kosten, die in der Erstangebots- und in der Folgephase anfallen, als ex post Kosten bezeichnet. Dabei fallen ex ante Transaktionskosten insbesondere für die Abstimmung von Entscheidungen in Koordinationsbereichen an.[508] Ex post können Transaktionskosten bei der Nutzung des Systems sowie für die Anpassung von Entscheidungen entstehen. Außerdem sind Transaktionskosten im Kontext der Etablierung und Einhaltung von Institutionen, beispielsweise im Rahmen von Regulierungsmaßnahmen, von Relevanz.[509]

Es ist anzumerken, dass die im weiteren Verlauf dieses Kapitels analysierten institutionellen Lösungen sowohl Einfluss auf die Produktionskosten, als auch auf die Transaktionskosten haben. Dabei unterscheiden sich zunächst die mit den Abstimmungen einhergehenden ex ante Transaktionskosten in Abhängigkeit von der institutionellen Lösung. Das Ergebnis der Entscheidungen (z. B. Kompatibilität oder Inkompatibilität) wirkt sich wiederum auf die Produktionskosten sowie die ex post Transaktionskosten aus.

VORGEHENSWEISE IN BEZUG AUF DIE BERÜCKSICHTIGUNG VON NUTZEN- UND KOSTENELEMENTEN IN DER ANALYSE

Aufgrund der hinsichtlich des wohlfahrtsökonomisch relevanten Nettonutzens bestehenden Interdependenz zwischen dem sich aus der Abdeckung und Kapazität ergebenden (Brutto-)Nutzen und den Kosten, wird – wie bereits vorstehend erläutert – im weiteren Verlauf des Kapitels die Erreichung des beschriebenen Abdeckungs- und Kapazitätszieles grundsätzlich als eine Bedingung vorausgesetzt (und somit der Bruttonutzen fixiert). Es wird daher zunächst untersucht, inwieweit die jeweilige institutionelle Lösung geeignet erscheint, dieses Ziel zu erreichen.[510] Anschließend wird auf die Kosten zur Erreichung dieses Zieles fokussiert. Dabei wird in Fällen, in denen eine Erreichung des Abdeckungs- und Kapazitätszieles unsicher erscheint, von einer Vorgabe zur Erreichung dieser Ziele ausgegangen, was i. d. R. wiederum mit (Transaktions-)Kosten einhergehen wird, da entsprechende Regeln zu implementieren und anzuwenden sind.

---

[508] Hier können Überschneidungen mit Planungskosten (die oben den Produktionskosten zugeordnet wurden) bestehen.

[509] Es ist anzumerken, dass im Bereich der Transaktionskosten Interdependenzen mit der im folgenden Abschnitt 6.1.2 behandelten Bepreisung bestehen. So wirkt die dort adressierte Ausgestaltung der Bepreisung auf die Transaktionskosten der Nutzung.

[510] Dabei wird (auch aufgrund der nicht gegebenen quantitativen Festlegung eines bestimmten Abdeckungs- und Kapazitätsniveaus) nicht näher thematisiert, inwiefern eine vollständige Erreichung dieses Zieles notwendig erscheint. Grundsätzlich kann jedoch angemerkt werden, dass der Grenznutzen ab einer gewissen Abdeckung und Kapazität abnimmt.

6.1.2 Effiziente Bepreisung

Innerhalb dieses Abschnitts wird auf Kriterien und Zielkonflikte hinsichtlich einer effizienten (auslastungsorientierten) Bepreisung des Ladeinfrastrukturnetzwerks bzw. der Nutzung von Ladepunkten eingegangen.[511]

Für eine effiziente Bepreisung von Ladeinfrastrukturkapazitäten ist zum einen relevant, inwieweit die mit dem Angebot dieser Kapazität einhergehende Kostenfunktion von Fixkosten und nutzungsabhängigen Kosten geprägt ist.[512] Außerdem sind bei ggf. bestehenden Knappheiten Opportunitätskosten von Bedeutung.[513] Im folgenden Abschnitt 6.1.2.1 wird auf diese Kostenelemente eingegangen. Daran anschließend wird in Abschnitt 6.1.2.2 die Ausgestaltung von Tarifen diskutiert.

6.1.2.1 Berücksichtigung verschiedener Kostenarten

Im Folgenden wird zunächst auf fixe Kosten und Grenzkosten der Nutzung eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks und daraufhin auf Opportunitätskosten der Nutzung eingegangen. Anschließend wird ein kurzes Fazit gezogen.

FIXE KOSTEN UND GRENZKOSTEN DER NUTZUNG

Unter der Annahme der Bereitstellung einer einzelnen Ladeeinheit ist zunächst davon auszugehen, dass der Anteil der Investitionskosten für den Aufbau von Ladeeinheiten und Backend im Vergleich zu den laufenden (bzw. zeitvariablen) Kosten, wie z. B. für die Wartung der Ladeeinheiten oder den Betrieb des Backends, hoch ist.[514] Dabei ist insbesondere von Bedeutung, dass keine nennenswerten Verbrauchsgüter mit der Nutzung von Ladeinfrastruktur konsumiert werden.[515] Somit ist die Kostenfunktion einer einzelnen Ladeeinheit von hohen Fixkosten gekennzeichnet, die insbesondere aus Investitionskosten bestehen. Außerdem können zeitvariable Kosten den Fixkosten zugeordnet werden, da diese mit der Bereitstellung über einen gewissen Zeitraum einhergehen. Demgegenüber sind die nutzungsabhängigen (Grenz-)Kosten sehr gering bzw. nahezu Null.

Bei Betrachtung eines Ladeinfrastrukturnetzwerks mit einer Vielzahl räumlich verteilter Ladeeinheiten kann bei einzelnen Teilleistungen von Skalenerträgen ausgegangen werden. So dürften beispielsweise die mit der Bereitstellung von Hard- und Software des Backends einhergehenden

---

[511] Vgl. Abschnitt 2.1.4.1 für eine Erläuterung des Begriffes „Ladepunkt“. Die Bepreisung komplementärer Güter wird in Abschnitt 8.3 thematisiert.

[512] Vgl. dazu Abschnitt 5.1.

[513] KNIEPS (2009, S. 4).

[514] Vgl. für eine Betrachtung der Kostenelemente Abschnitt 3.4.2.2.

[515] Elektrischer Strom ist bei dieser Betrachtung als komplementäres Gut ausgeklammert. Lediglich für den Kommunikationsaufwand können aus Sicht eines Ladeinfrastrukturbetreibers u. U. nutzungsbezogene Kosten (in Abhängigkeit der Vereinbarungen mit einem Kommunikationsdienstleister) anfallen. Außerdem kann evtl. Verschleiß z. B. an Steckverbindungen oder auch elektronischen Bauteilen entstehen, der jedoch nur sehr geringe Größenordnungen aufweisen dürfte.

Kosten pro Ladeeinheit mit zunehmender Anzahl der Ladeeinheiten sinken. Der Anteil der nutzungsabhängigen Kosten bleibt dabei (selbstverständlich) nahezu Null.

OPPORTUNITÄTSKOSTEN IN ABHÄNGIGKEIT DER NUTZERANZAHL UND DER KAPAZITÄT

Preismechanismen stellen ein Instrument für die Allokation von (knappen) Kapazitäten dar. So ist es nach KNIEPS (2009) von Vorteil, wenn Nutzer die Opportunitätskosten der Inanspruchnahme, welche sich aus dem „Wert der bestmöglichen alternativen Verwendung" bestimmen lassen, in ihre Entscheidungen einbeziehen.[516]

Als Wert der bestmöglichen alternativen Verwendung eines Ladepunktes kann der Wert (bzw. der Nutzen) dieser Kapazitätseinheit für einen Nutzer angesehen werden, der aufgrund von Nutzungsrivalitäten zum präferierten Zeitpunkt und am gewünschten Standort keinen Zugang zur Infrastruktur (bzw. zum gewünschten Ladepunkt) erhält. Die Opportunitätskosten können dabei entweder in Form von Wartezeiten oder in Form einer zurückzulegenden Wegstrecke zum nächstfreien Ladepunkt oder einer Kombination aus beiden Elementen auftreten. Außerdem sind auch ein Wechsel des Mobilitätssystems, der ebenfalls mit Kosten einhergehen kann, sowie eine Entscheidung gegen den Antritt des Weges, die mit einem entgangenen Nutzen einhergeht, denkbar.

Dementsprechend werden die Opportunitätskosten durch Nutzungsrivalitäten verursacht, die wiederum in direktem Zusammenhang mit der Infrastrukturkapazität stehen. Vor dem Hintergrund der mit einer räumlichen Abdeckung einhergehenden Basiskapazität sind Nutzungsrivalitäten erst ab einer bestimmten Nutzeranzahl wahrscheinlich, wobei regionale Unterschiede bestehen.

FAZIT

Es lässt sich festhalten, dass das Angebot von Ladeinfrastruktur von hohen Fixkosten geprägt ist, während die Grenzkosten der Nutzung sehr gering bzw. Null sind. Somit stellt sich die Frage, wie eine kostendeckende Preissetzung ohne eine ineffiziente Verdrängung von Nachfrage erfolgen kann.[517] Des Weiteren ist zu prüfen, inwiefern bei der Bepreisung Opportunitätskosten der Inanspruchnahme von Ladeinfrastrukturkapazitäten berücksichtigt werden können.

6.1.2.2 Ausgestaltung von Tarifen

Zweistufige Tarife (mit einem fixen Grundpreis und einem nutzungsabhängigen Preis) stellen eine Form der Preisdifferenzierung dar, die in (von hohen Fixkosten gekennzeichneten) Infrastruktursektoren häufig mit Vorteilen einhergeht.[518] So kann über zweistufige Tarife zum einen

[516] Vgl. KNIEPS (2009, S. 4).

[517] Vgl. Abschnitt 5.1.

[518] Vgl. KNIEPS (2009, S. 9).

eine Kostendeckung erreicht werden.[519] Zum anderen lässt sich eine ineffiziente Verdrängung von Nachfrage (in gewissem Maße) vermeiden.

Bei der Ausgestaltung eines zweistufigen Tarifs könnte der Grundpreis so festgelegt werden, dass über diesen eine weitestgehende Fixkostendeckung erfolgt. Des Weiteren könnte über den nutzungsabhängigen Preis eine Berücksichtigung von Opportunitätskosten erfolgen und somit ein Mechanismus zur Kapazitätsallokation etabliert werden. Bei der Ausgestaltung des Kapazitätsallokationsmechanismus ist zu berücksichtigen, dass in verschiedenen Gebieten potenziell stark unterschiedliche Nutzungsrivalitäten und somit unterschiedliche Opportunitätskosten bestehen. Für eine Berücksichtigung dieser lokalen Unterschiede wäre eine intensive Preisdifferenzierung notwendig, die zu einem komplexen Preissystem führt. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine solche Komplexität mit Transaktionskosten auf Seiten der Nutzer einhergeht. Dementsprechend liegt hier ein Zielkonflikt zwischen einer stark ausdifferenzierten, auslastungsorientierten Bepreisung und der Vermeidung von Transaktionskosten vor. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird unterstellt, dass eine gewisse Differenzierung hinsichtlich der Transaktionskosten unproblematisch erscheint, wenn diese (überregional) einheitlich angewendet wird.

Hinsichtlich des Einflusses lokaler Kapazitäten auf die Nutzungsrivalitäten ist außerdem anzumerken, dass vor dem Hintergrund des Zieles der Einhaltung eines Verfügbarkeits- und Verlässlichkeitsniveaus, bei steigenden Nutzungsrivalitäten die Notwendigkeit einer Kapazitätserweiterung zunimmt.[520]

6.2 Bereitstellung bei hoher Zahlungsbereitschaft für die Elektromobilität

Innerhalb dieses Abschnitts wird davon ausgegangen, dass die Zahlungsbereitschaft der Nutzer des Elektromobilitätssystems die mit dem Angebot einhergehenden Kosten übersteigt und dabei die Kosten der Bereitstellung eines Ladeinfrastrukturnetzwerks mit einer angemessenen Kapazität „problemlos“ getragen werden können. Somit können Fragestellungen hinsichtlich einer evtl. notwendigen Deckung von Kosten durch eine Subventionierung ausgeklammert werden.[521]

Im folgenden Abschnitt 6.2.1 wird auf eine planerische Abstimmung von in horizontalen Beziehungen relevanten Bereitstellungsentscheidungen durch die öffentliche Hand eingegangen. Im anschließenden Abschnitt 6.2.2 wird die Abstimmung von Entscheidungen durch Unternehmen im

[519] Vgl. hierzu auch Abschnitt 5.1.

[520] Grundsätzlich sollte eine Kapazitätserweiterung dann erfolgen, wenn die dabei entstehenden Kosten den (durch den Aufbau dieser Kapazitätseinheit vermeidbaren) Opportunitätskosten entsprechen (bzw. diese gerade unterschreiten).

[521] Diese werden dann kurz in Abschnitt 6.3 betrachtet.

Wettbewerb analysiert und bewertet. In Abschnitt 6.2.3 werden Schlussfolgerungen auf Basis eines kurzen Vergleichs beider institutioneller Lösungen dargestellt.[522]

6.2.1 Planung durch die öffentliche Hand

Eine Abstimmung bzw. Planung von Entscheidungen durch die öffentliche Hand kann unter der Annahme eines zweistufigen Verwaltungssystems grundsätzlich durch die zentrale Ebene sowie die dezentrale Ebene erfolgen. Im folgenden Abschnitt 6.2.1.1 wird zunächst von einem einstufigen Verwaltungssystem ausgegangen, wobei insbesondere die Frage des Einbezugs lokalen Know-hows thematisiert wird. Anschließend wird in Abschnitt 6.2.1.2 ein zweistufiges Verwaltungssystem unterstellt, bei dem die Entscheidungskompetenzen im Ausgangszustand auf der zentralen Ebene verankert sind und von dort an die dezentrale Ebene delegiert werden können. In Abschnitt 6.2.1.3 wird dann von dezentralen Entscheidungskompetenzen und der Möglichkeit der (dezentralen) Verständigung auf eine Zentralisierung von Entscheidungskompetenzen ausgegangen. In Abschnitt 6.2.1.4 wird ein Fazit gezogen.

6.2.1.1 Zentrale Planung im einstufigen Verwaltungssystem

Innerhalb dieses Abschnitts wird unterstellt, dass die Bereitstellungsentscheidungen durch die zentrale Ebene eines einstufigen Verwaltungssystems der öffentlichen Hand getroffen werden. Insofern erfolgt keine Abstimmung zwischen verschiedenen Akteuren. Vielmehr nimmt die öffentliche Hand die Position eines zentralen Planers ein. Im Folgenden wird zunächst analysiert, welchen Einfluss die hier unterstellte institutionelle Lösung auf die in Abschnitt 6.1 dargestellten Bewertungskriterien hat. Anschließend wird auf verschiedene Möglichkeiten des Einbezugs von dezentralem Know-how eingegangen.

EINFLUSS ZENTRALER PLANUNG HINSICHTLICH BEWERTUNGSRELEVANTER KRITERIEN

Unter der hier geltenden Annahme, dass die öffentliche Hand das Ziel der Maximierung der gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt verfolgt und dabei die Interessen potenzieller Nachfrager berücksichtigt, wird der zentrale Planer eine Optimierung des Gesamtsystems hinsichtlich der in Abschnitt 6.1 dargestellten Bewertungskriterien anstreben. In Bezug auf die verschiedenen (hier relevanten) Bereitstellungsentscheidungen ist dabei zu hinterfragen, an welcher Stelle Entscheidungen auf Basis zentral verfügbaren Know-hows getroffen werden können und wo ggf. dezentrales Know-how notwendig ist.

[522] Es ist anzumerken, dass innerhalb dieses Abschnitts auf institutionelle Lösungen für einzelne Koordinationsbereiche fokussiert wird. In einem nächsten Schritte ließen sich Organisationsmodelle als konsistente Bündel der auf diese Bereiche wirkenden institutionellen Lösungen tiefergehend beschreiben und bewerten. Für den Fall des Aufbaus und des Betriebs eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks durch die öffentliche Hand wäre insbesondere vertiefend zu analysieren, in welcher Form die verschiedenen Ebenen des föderalen Systems in das Organisationsmodell eingebunden sind und welche Optionen für die Ausgestaltung der Beziehungen zwischen den Ebenen vorteilhaft wären.

Hinsichtlich der Kompatibilitätsentscheidung hat ein zentraler Planer die Möglichkeit, überregional einheitliche Standards festzulegen, um so Kompatibilität zwischen den in verschiedenen Regionen aufgebauten Ladeeinheiten zu gewährleisten und einen kostenintensiven Aufbau paralleler Netzwerke zu vermeiden. Dabei kann die öffentliche Hand ggf. auf bestehende Standards zurückgreifen oder einen (neuen) Standard definieren. In jedem Fall ist für die Festlegung eines Standards entsprechendes Know-how durch die zentrale Ebene der öffentlichen Hand aufzubauen oder einzubeziehen, wobei auch auf das Know-how externer Akteure (z. B. Berater) zurückgegriffen werden kann.[523] In diesem Zusammenhang könnte die öffentliche Hand sich beispielsweise an Standard-Komitees beteiligen bzw. Komitees einrichten, an denen verschiedene Akteure (z. B. Hersteller von Ladeeinheiten, Telekommunikationsunternehmen, Automobilhersteller) zu beteiligen wären.[524]

Des Weiteren erscheinen auch eine Festlegung des Abdeckungs- und Kapazitätszieles sowie eine Festlegung von Zeitpunkten für die Durchführung von Investitionen mit zentralem Know-how möglich. In beiden Fällen können durch eine Zentralisierung der Entscheidungen Transaktionskosten für ansonsten notwendige Abstimmungen vermieden werden. Fraglich ist jedoch, in welcher Form die Planung der lokalen Verortung und Kapazität innerhalb dieses Modells erfolgen kann, da ein zentraler Planer nicht über das notwendige dezentrale Wissen verfügt. Auch hinsichtlich der genauen Festlegung von Investitionszeitpunkten (innerhalb bestimmter Zeitspannen) wäre zu überprüfen, inwieweit eine Berücksichtigung lokaler Besonderheiten erfolgen sollte, da u. U. Vorteile aus einer gemeinsamen Durchführung mit weiteren lokalen Investitionen (z. B. im Straßenraum oder Verteilnetz) bestehen können.[525]

In Bezug auf die Ausgestaltung von Tarifen ist ebenfalls zu hinterfragen, inwieweit dezentrales Know-how einbezogen werden kann. Während die Festlegung überregional einheitlicher Tarife auf zentraler Ebene grundsätzlich möglich erscheint, wäre für eine Berücksichtigung lokal bestehender Opportunitätskosten (analog zur Planung der lokalen Kapazität) dezentrales Know-how notwendig.[526]

Abstrahiert man von der Frage des Einbezugs lokalen Know-hows, lässt sich festhalten, dass die Erreichung eines Kapazitätszieles unproblematisch möglich ist. Dabei lassen sich durch eine entsprechende (überregional gültige) Kompatibilitätsentscheidung Produktionskosten für den Aufbau paralleler Strukturen vermeiden. Außerdem gehen mit vorliegendem Modell grundsätzlich eher geringe Transaktionskosten einher, da kostenintensive Abstimmungen zwischen verschiedenen Akteuren entfallen. Zu berücksichtigen sind jedoch die Kosten, die auf Seiten der öffentlichen Hand für den Aufbau bzw. den Einbezug von Know-how und zur Durchführung der Planungen anfallen. Problematisch innerhalb dieses Modells ist der (im Folgenden thematisierte) Einbezug von lokalem

[523] Vgl. Abschnitt 4.3.1.3.

[524] Dabei wären auch die Anreize der Akteure bzgl. einer Beteiligung zu berücksichtigen.

[525] Siehe dazu Abschnitt 8.2.2.

[526] Vgl. Abschnitt 6.1.2.2 für weitergehende Überlegungen zur Ausgestaltung von Tarifen.

Know-how, der bzgl. der lokalen Verortung sowie Festlegung der lokalen Kapazität und Bepreisung notwendig erscheint.

MÖGLICHKEITEN DES EINBEZUGS LOKALEN KNOW-HOWS

Innerhalb des hier unterstellten Modells eines einstufigen Verwaltungssystems bestehen verschiedene Möglichkeiten, dezentrales Know-how einzubeziehen. Im Folgenden werden drei Optionen kurz dargestellt und diskutiert. Dabei wird die Möglichkeit der Kompetenzübergabe an dezentrale Einheiten noch ausgeklammert (da diese hier annahmegemäß nicht existieren) und dann im folgenden Abschnitt 6.2.1.2 vertieft betrachtet.

- **Gründung dezentraler Einheiten**: Zunächst erscheint es möglich, dass durch die zentrale Ebene dezentrale Einheiten gegründet werden, die das notwendige dezentrale Know-how aufbauen. Dabei würden der öffentlichen Hand Kosten für den Aufbau dieser Einheiten entstehen.

- **Vergabe von dezentralen Konzessionen**: Als Alternative zur Gründung dezentraler Einheiten könnte die zentrale Ebene auch Aufträge (hier als Konzessionen bezeichnet) an (externe) Akteure vergeben. Dabei können die Akteure auf ggf. in Teilbereichen vorhandenem, dezentralem Know-how (z. B. aus komplementären Sektoren) aufbauen. Fraglich ist jedoch, inwieweit die zentrale Ebene der öffentlichen Hand in der Lage ist, die dezentralen Konzessionen auszugestalten. Nicht sinnvoll ausgestaltete und (mehr oder weniger) unvollständige Vereinbarungen werden grundsätzlich zu Transaktionskosten und (anderen) Ineffizienzen führen.[527] Zusammenfassend stellt die Vergabe dezentraler Konzessionen eine mögliche Alternative zur Gründung dezentraler Einheiten dar, deren Vorteil im Einbezug des ggf. bereits vorhandenen Wissens besteht. Nachteile können insbesondere in Form von Transaktionskosten aufgrund fehlenden zentralen Know-hows bzgl. der Ausgestaltung der Konzessionsverträge bestehen.

- **Aufbau dezentraler Einheiten im Rahmen eines planerisch organisierten Wettbewerbs**: Ein Aufbau von dezentralem Know-how könnte auch durch im Wettbewerb stehende private Unternehmen erfolgen. Etabliert werden könnte ein solcher Wettbewerb beispielsweise durch zentral vergebene Konzessionen, die mit (planerisch festgelegten) Vorgaben bzgl. der zu verwendenden Standards, der Abdeckung und Kapazität sowie der Bepreisung einhergehen. Dabei ist fraglich, inwieweit der Aufbau von dezentralem Know-how durch private Unternehmen günstiger erfolgen kann als durch die öffentliche Hand. So erscheinen beispielsweise aufgrund des parallelen Aufbaus auch Dissynergien, wie geringere Skalen- oder Verbundvorteile, möglich. Im Ergebnis kommt es vermutlich zu keiner relevanten

[527] Vgl. Abschnitt 4.3.2.

Reduzierung des Problems, sondern vielmehr zu einer Verschiebung von Kosten und ggf. sogar zu einer Kostensteigerung.

Insgesamt kann an dieser Stelle keine Aussage hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit einer der aufgezeigten Optionen getroffen werden. Es ist jedoch anzumerken, dass die Alternativen auch ineinander übergehen. So dürften beispielsweise dezentrale Einheiten der öffentlichen Hand Teilleistungen an private Unternehmen vergeben. Auch Unternehmen im Wettbewerb dürften häufig Aufgaben an andere (dezentrale) Akteure delegieren.

6.2.1.2 Zweistufiges Verwaltungssystem mit zentraler Kompetenzzuordnung im Ausgangszustand

Innerhalb dieses Abschnitts wird von einem zweistufigen System, bestehend aus zentraler und dezentraler Ebene, ausgegangen. Außerdem wird angenommen, dass die Kompetenz zur Fällung von Bereitstellungsentscheidungen im Ausgangszustand bei der zentralen Ebene liegt und von dieser an die dezentrale Ebene weitergegeben bzw. delegiert werden kann. Die beiden Ebenen können in Bezug zur Bundesrepublik Deutschland auch als Bundesebene sowie als kommunale Ebene angesehen werden, wobei anzumerken ist, dass das deutsche föderale System in der Realität komplexer ist.

Entsprechend der Ausführungen des vorherigen Abschnitts 6.2.1.1, gehen mit einer zentralen Planung von verschiedenen Bereitstellungsentscheidungen Vorteile einher, sodass auch hier von einer zentralen Festlegung von (Kompatibilitäts-)Standards sowie von einem zentral festgelegten überregionalen Abdeckungs- und Kapazitätsziel in Verbindung mit zentral festgelegten Investitionszeitpunkten ausgegangen wird. Im Gegensatz zum einstufigen Verwaltungssystem besteht innerhalb der hier betrachteten institutionellen Lösung jedoch die Möglichkeit, lokales Know-how der dezentralen Ebene einzubeziehen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage der Zuordnung von Entscheidungskompetenzen (hinsichtlich der lokalen Verortung und Kapazität sowie der Bepreisung) auf die verschiedenen Ebenen. Dabei wird hier grundsätzlich von einer Umsetzung zentral getroffener Entscheidungen mit von der zentralen Ebene erhobenen Finanzmitteln ausgegangen, die auch an verschiedene dezentrale Einheiten verteilt werden.[528] Diesbezüglich sei angemerkt, dass die Kosten der Mittelerhebung der zentralen Ebene grundsätzlich geringer als die der dezentralen Ebene sind.

Hinsichtlich einer Delegation von Entscheidungskompetenzen an die dezentrale Ebene sind insbesondere bei einem Auseinanderfallen von Entscheidungskompetenz und Finanzierungsverantwortung potenzielle Anreizprobleme zu berücksichtigen, wobei auch die Allokation von Risiken zwischen den Ebenen von Bedeutung ist.[529] Eine Festlegung bzgl. der Zuordnung von Entscheidungskompetenzen, Finanzierungsverantwortung und Risiken auf die verschiedenen Ebenen wird im Rahmen dieser Arbeit auch als „Finanzierungs- und Anreizsystem“ bezeichnet. Im Folgenden

[528] Vgl. Abschnitt 5.3.

[529] Vgl. Abschnitt 4.3.3.

wird die Frage der Zuordnung von Entscheidungskompetenzen hinsichtlich der regionalen Verortung sowie der Bepreisung näher betrachtet. Dabei wird auf Interdependenzen mit der Zuordnung der Finanzierungsverantwortung und der Risikoallokation hingewiesen.

LOKALE VERTEILUNG (VERORTUNG UND KAPAZITÄT)

Im Koordinationsbereich der lokalen Verteilung ist dezentrales Know-how zunächst hinsichtlich der Auswahl von Standorten für die Ladeeinheiten von wesentlicher Bedeutung. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass ggf. Anreize bzgl. der Wahrnehmung dieser Aufgabe auf dezentraler Ebene bestehen, die nicht den Zielen der zentralen Ebene entsprechen. Dennoch erscheint eine Verankerung entsprechender Entscheidungen auf dezentraler Ebene grundsätzlich vorteilhaft, da die Alternative eines Aufbaus von Know-how durch die zentrale Ebene mit vermutlich höheren Kosten verbunden ist.[530] Bei einer entsprechenden Zuordnung der Entscheidungen sollten jedoch ggf. zusätzlich (handlungskanalisierende) Vorgaben durch die zentrale Ebene etabliert werden.

Fraglich ist, inwieweit die dezentrale Ebene auch über die Anzahl der Ladepunkte innerhalb eines bestimmten Gebietes und damit über die lokal bereitgestellte Kapazität entscheiden sollte. Bei einer dezentralen Zuordnung dieser Kompetenz würde die dezentrale Ebene Know-how benötigen, um den lokalen Bedarf abzuschätzen. Dieses Know-how hat z. T. übergeordneten Charakter, da es in ähnlicher Weise in vielen dezentralen Einheiten benötigt werden würde. Außerdem bestehen in Abhängigkeit der Zuordnung der Finanzierungsverantwortung verschiedene Anreize, die zu einem Über- oder Unterinvestment führen können. So ist es wahrscheinlich, dass die dezentralen Einheiten Anreize haben, die lokale Infrastrukturkapazität zu erhöhen, wenn die dafür notwendigen Finanzmittel von der zentralen Ebene bereitgestellt werden. Insofern erscheinen bei einer zentralen Finanzierungsverantwortung zentrale Vorgaben hinsichtlich der lokalen Kapazität notwendig. Im Folgenden werden zwei Möglichkeiten zentraler Vorgaben diskutiert:

- **Eindeutige Vorgaben**: Zum einen könnte die zentrale Ebene eindeutige Vorgaben hinsichtlich der dezentralen Kapazität machen, die sich beispielsweise auf die Bevölkerungsanzahl oder die Zahl zugelassener Fahrzeuge beziehen. Diese Vorgaben würden die lokale Situation vermutlich nur unzureichend berücksichtigen. Jedoch würden ggf. bestehende Anreizprobleme reduziert und der Umfang des dezentral benötigten Know-hows gesenkt werden.

- **Zentral definierte Methodik zur Kapazitätsermittlung**: Eine Alternative besteht in einer zentral definierten Methodik zur Kapazitätsermittlung, deren Anwendung auf dezentraler Ebene verpflichtend ist. Dabei könnten auch Freiräume für die Berücksichtigung lokaler Besonderheiten geschaffen werden. Eine solche Methodik würde den Umfang des auf dezentraler Ebene notwendigen übergeordneten Know-hows ebenfalls reduzieren. Jedoch ist

[530] Vgl. dazu auch den vorhergehenden Abschnitt 6.2.1.1. Darüber hinaus kommt der Kommune aufgrund ihrer Eigenschaft als Eigentümerin des öffentlichen Parkraumes hier auch faktisch die Entscheidungskompetenz zu.

für die Definition der Methodik Know-how auf der zentralen Ebene notwendig. Im Übrigen können ggf. Probleme aufgrund zwischen den Ebenen bestehender Informationsasymmetrien auftreten.

Es lässt sich festhalten, dass beide Modelle mit jeweiligen Vor- und Nachteilen einhergehen. Eine eindeutig vorteilhafte Lösung ist an dieser Stelle nicht ersichtlich.

In Bezug auf die Anpassung lokaler Kapazität (in der Erstangebots- bzw. Folgephase) stellt sich ebenfalls die Frage, inwiefern Entscheidungskompetenzen bei der dezentralen Ebene liegen sollten.[531] Dabei sind, analog zu der Entscheidung über die (initiale) Festlegung der lokalen Kapazität, Anreize zu einem Über- oder Unterinvestment von Bedeutung. Hier besteht jedoch die Möglichkeit, Entscheidungen bzgl. einer Kapazitätserweiterung auf Basis von Informationen über die tatsächliche Auslastung zu treffen.[532] Dabei ist zu berücksichtigen, dass Interdependenzen mit den Anreizen hinsichtlich der Auswahl von Standorten bestehen.[533]

BEPREISUNG

Hinsichtlich der Bepreisungsentscheidungen bestehen ebenfalls verschiedene Möglichkeiten der Kompetenzzuordnung, die im Folgenden diskutiert werden:[534]

- **Eindeutige Vorgaben**: Zunächst könnte die zentrale Ebene auch hier klare Vorgaben machen, die dezentral umzusetzen sind. Dabei dürften, ähnlich wie bei zentralen Vorgaben hinsichtlich der lokalen Kapazität, lokale Besonderheiten nur unzureichend berücksichtigt werden. Von Vorteil erscheint die auf diese Weise festgelegte überregionale Einheitlichkeit der Tarife, die hinsichtlich der Komplexität der Bepreisung zu geringen Transaktionskosten der Nutzer führt.

- **Tarifkatalog**: Des Weiteren besteht die Möglichkeit, einen Tarifkatalog auf der zentralen Ebene zu etablieren, der Freiheitsgrade hinsichtlich der Auswahl von Tarifen für verschiedene Standorte durch die dezentrale Ebene vorsieht. Auch hier würden überregional einheitliche Tarife festgelegt, die mit einer Vermeidung von Transaktionskosten der Nutzer einhergehen. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass in Abhängigkeit von der Allokation der Nutzereinnahmen

[531] Diesbezüglich bestehen Interdependenzen mit den im Folgenden betrachteten Bepreisungsentscheidungen, da sich diese u. a. an Nutzungsrivalitäten orientieren.

[532] Ein Abbau von Ladeeinheiten dürfte aufgrund hoher versunkener Kosten nicht sinnvoll sein.

[533] So erscheint es möglich, dass dezentrale Einheiten bei (ex ante bekannten) Regelungen einer auslastungsabhängigen Anpassung von Standortkapazitäten ex ante zum einen Standorte mit potenziell sehr geringer Nutzung und zum anderen mit potenziell sehr hoher Nutzung auswählen, um ex post Kapazitätserweiterungen (aufgrund der an einzelnen Standorten sehr hohen Nutzung) durchführen zu können. Daher erscheint es vorteilhaft, wenn die für entsprechende Anpassungsentscheidungen herangezogenen Auslastungsinformationen über ganze Gebiete und nicht an einzelnen Standorten erhoben werden.

[534] Vgl. für eine Diskussion einer effizienten Preisausgestaltung auch Abschnitt 6.1.2.2.

(bzw. der Allokation des Risikos aus Nutzerzahlungen) an die verschiedenen Ebenen unterschiedliche Anreize hinsichtlich der Tarifauswahl auf dezentraler Ebene gesetzt werden können. So könnten dezentrale Einheiten Anreize zu einer Auswahl höherer Preise haben, wenn sie die Einnahmen aus den Nutzerzahlungen selbst erhalten.

- **Allgemeine zentrale Regeln**: Eine weitere Möglichkeit besteht in der Definition allgemein gehaltener Regeln durch die zentrale Ebene, im Rahmen derer die dezentralen Einheiten eigene Tarifmodelle entwickeln. Dabei erscheint zunächst fraglich, inwieweit überregional einheitliche Tarife etabliert werden, da die verschiedenen dezentralen Einheiten für deren Abstimmung Transaktionskosten in Kauf nehmen müssten. Außerdem sind wiederum Anreize in Abhängigkeit der Allokation von Nutzereinnahmen zu berücksichtigen. Darüber hinaus steigt der Bedarf an dezentral aufzubauendem Know-how.

- **Dezentrale Abstimmung**: Schließlich könnte die Kompetenz zur Preisfestlegung auch gänzlich an die dezentrale Ebene abgegeben werden, ohne weitere Regeln damit zu verbinden. In diesem Fall würden hohe Transaktionskosten für die Abstimmung von Tarifen zwischen den verschiedenen dezentralen Einheiten entstehen, womit eine Etablierung überregional einheitlicher Tarife unwahrscheinlich erscheint. Im Vergleich zu den anderen Optionen ist außerdem der notwendige dezentrale Kompetenzaufbau am höchsten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Festlegung eines Tarifkatalogs auf zentraler Ebene als geeignet erscheint, überregional einheitliche Tarife zu etablieren und dabei lokale Besonderheiten (bzw. insbesondere lokale Opportunitätskosten) zu berücksichtigen. In Abhängigkeit der in Verbindung mit der Allokation von Nutzerzahlungen bestehenden Anreize könnte ein derartiger Tarifkatalog auch mit Regeln hinsichtlich der Tarifauswahl für bestimmte Standorte (ggf. in Abhängigkeit von Auslastungsinformationen) verbunden werden.

6.2.1.3 Zweistufiges Verwaltungssystem mit dezentraler Kompetenzzuordnung im Ausgangszustand

Innerhalb dieses Abschnitts wird ebenfalls ein zweistufiges Verwaltungssystem unterstellt. Allerdings wird angenommen, dass die Kompetenz zur Fällung von Bereitstellungsentscheidungen im Ausgangszustand bei der dezentralen Ebene liegt. Im Folgenden werden kurz die Auswirkungen einer solchen Kompetenzzuordnung diskutiert.

Hinsichtlich der kostengünstigen Erreichung eines Kapazitätszieles sind verschiedene Entscheidungen in den entsprechenden (Koordinations-)Bereichen durch die dezentralen Einheiten abzustimmen.[535] So ist insbesondere eine Verständigung auf das Abdeckungs- und Kapazitätsziel

[535] Vgl. Abschnitt 6.1.1 für eine Erläuterung des Abdeckungs- und Kapazitätszieles sowie Abschnitt 4.2.3.2 für die hier betrachteten Koordinationsbereiche der Angebotsvorbereitungsphase.

selbst erforderlich, wobei Interdependenzen mit dem grundlegenden Systemdesign bestehen.[536] Des Weiteren wäre die Festlegung überregional einheitlicher Kompatibilitätsstandards notwendig, um die Produktionskosten möglichst gering zu halten. Auch bzgl. der zeitlichen Durchführung von Investitionen sind Abstimmungen erforderlich, da der Nutzen des Netzwerks auch von der gleichzeitigen Bereitstellung in verschiedenen Regionen abhängt. Dabei können Free-Riding-Probleme bestehen, was insbesondere dann wahrscheinlich ist, wenn dezentrale Finanzmittel für die Finanzierung herangezogen werden müssten oder das Risiko aus Nutzerzahlungen bei der dezentralen Ebene liegen würde. Es kann jedoch bereits ohne eine derartige Ausgestaltung zu Free-Riding-Problemen kommen, da die für den Aufbau benötigten kommunalen Flächen zumeist der Nutzung als (u. U. bewirtschafteten) Parkraum für konventionelle Fahrzeuge entzogen werden und weitere Transaktionskosten mit dem Aufbau von Ladeeinheiten verbunden sind. Hinsichtlich der Bepreisung des Ladeinfrastrukturnetzwerks sowie der lokalen Kapazität können ebenfalls, entsprechend der Diskussion im vorhergehenden Abschnitt 6.2.1.2, überregional einheitliche Rahmenbedingungen mit Vorteilen einhergehen.

Somit besteht unter den hier geltenden Annahmen für verschiedene Bereitstellungsentscheidungen ein umfassender Abstimmungsbedarf zwischen den dezentralen Einheiten, der mit Transaktionskosten einhergeht. In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, dass die Anzahl der Kommunen sehr hoch ist.[537] Außerdem kann angenommen werden, dass innerhalb der verschiedenen dezentralen Einheiten die Interessen in Bezug auf die Einführung der Elektromobilität in Deutschland unterschiedlich sind. Dabei können auch die Interessen lokal ansässiger Unternehmen Einfluss auf das Zielsystem der jeweiligen Gebietskörperschaft haben. Somit ist grundsätzlich fraglich, ob es überhaupt zu erfolgreichen Abstimmungen kommt. In jedem Fall würden aber hohe Transaktionskosten entstehen.

Vor diesem Hintergrund erscheint es vorteilhaft, dass entsprechende Bereitstellungsentscheidungen durch die dezentralen Einheiten an die übergeordnete (zentrale) Ebene abgegeben werden, was im Ergebnis zu dem im vorhergehenden Abschnitt 6.2.1.2 diskutierten Modell führt. Die dafür notwendige Einigung auf dezentraler Ebene würde wiederum mit Transaktionskosten einhergehen, die ggf. prohibitiv hoch wären.

6.2.1.4 Fazit

Im Rahmen der vorhergehenden Abschnitte ist zunächst deutlich geworden, dass eine zentrale Planung von verschiedenen Bereitstellungsentscheidungen gegenüber einer dezentralen Abstimmung vorteilhaft ist. Dieses betrifft insbesondere Entscheidungen bzgl. des Systemdesigns und der Kompatibilität sowie bzgl. der überregionalen Abdeckung und Kapazität. Außerdem lässt sich

[536] In diesem Teil der Arbeit ist das Systemdesign annahmegemäß vorgegeben, grundsätzlich besteht aber in diesem Bereich ein erheblicher Abstimmungsbedarf (insbesondere hinsichtlich der Ladeverfahren).

[537] Lt. Gemeindeverzeichnis-Informationssystem des Statistischen Bundesamtes (www.destatis.de) gibt es zum Stichtag 31.12.2012 über 11.000 Gemeinden sowie kreisfreie und kreisangehörige Städte in Deutschland.

festhalten, dass der Einbezug von dezentralem Know-how hinsichtlich der Auswahl von konkreten Standorten für Ladeeinheiten notwendig erscheint. Eine Verankerung entsprechender Entscheidungen auf dezentraler Ebene sollte dabei ggf. mit zentral festgelegten Regelungen verbunden werden. Des Weiteren sind lokale Besonderheiten sowohl hinsichtlich der lokal notwendigen Kapazität und der genauen Festlegung von Investitionszeitpunkten als auch hinsichtlich der Bepreisung in Abhängigkeit der Nutzungsrivalitäten an den verschiedenen Standorten von Bedeutung. Auch hier ist, in Verbindung mit der Frage der Allokation von Finanzmitteln sowie der Risikoallokation, zu überprüfen, inwieweit innerhalb zentraler Vorgaben dezentrale Handlungsspielräume geschaffen werden könnten bzw. sollten.

Für eine detaillierte Ausgestaltung eines Finanzierungs- und Anreizsystems, das die Zuordnung von (Entscheidungs-)Kompetenzen, die Finanzierungsverantwortung sowie die Allokation von Risiken berücksichtigt, ist neben ökonomischen Analysen auch eine rechtliche Betrachtung der Umsetzbarkeit bzw. eine Abschätzung der mit einer Umsetzung einhergehenden Transaktionskosten notwendig. Dabei wäre insbesondere zu hinterfragen, welche Entscheidungen durch die zentrale Ebene (Bundesregierung in Verbindung mit der Legislative) getroffen werden können und welche Rechte grundsätzlich auf der dezentralen Ebene verankert sind.[538] Darüber hinaus wäre eine Erweiterung der Betrachtungen um die Landesebene erforderlich. Im Übrigen sollte ein Einbezug der EU-Ebene in Erwägung gezogen werden. Diesbezüglich sei angemerkt, dass eine hier identifizierte Vorteilhaftigkeit der Verankerung von Entscheidungen auf zentraler Ebene ein Hinweis für eine u. U. bestehende Vorteilhaftigkeit der Verankerung auf der übergeordneten EU-Ebene ist.[539]

6.2.2 Abstimmung von Entscheidungen durch Unternehmen im Wettbewerb

Innerhalb dieses Abschnitts wird analysiert, welche Wirkung eine Abstimmung von (Bereitstellungs-) Entscheidungen durch private Unternehmen im Wettbewerb im Lichte der in Abschnitt 6.1 dargestellten bewertungsrelevanten Kriterien hat. Dabei wird zunächst von der Kompatibilitätsentscheidung abstrahiert. So wird im folgenden Abschnitt 6.2.2.1 von inkompatiblen Ladeinfrastrukturnetzwerken unterschiedlicher Anbieter ausgegangen. Demgegenüber wird im anschließenden Abschnitt 6.2.2.2 die Annahme der vollständigen Kompatibilität getroffen. In Abschnitt 6.2.2 wird dann auf Anreize, die bei der Kompatibilitätsentscheidung selbst bestehen, sowie auf die Auswirkungen einer eingeschränkten Kompatibilität zwischen verschiedenen Netzwerken eingegangen.

---

[538] Dabei wäre insbesondere zu berücksichtigen, dass die Bundesebene grundsätzlich keine Möglichkeit hat, direkt auf Gemeinden einzuwirken. Jedoch können die Landesregierungen aufgefordert werden, ihre Befugnisse gegenüber Gemeinden einzusetzen, beispielsweise um die Umsetzung von Bundesgesetzen zu erzwingen; vgl. BECKERS / WALLBRECHT / HERMES (2012, S. 60).

[539] In diesem Zusammenhang kann darauf hingewiesen werden, dass auf der EU-Ebene auch Entscheidungen bzgl. des Aufbaus von Ladeinfrastruktur vorbereitet werden. So sieht ein Vorschlag der Europäischen Kommission für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe eine Mindestanzahl von öffentlich zugänglichen Ladestationen sowie bestimmte Vorgaben bzgl. Kompatibilitätsstandards vor; vgl. EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013).

6.2.2.1 Annahme von Inkompatibilität

Innerhalb dieses Abschnitts wird unterstellt, dass der Wechsel eines Nutzers zwischen den Systemen unterschiedlicher Anbieter mit prohibitiv hohen Adapter- oder Wechselkosten einhergeht, sodass ein Wettbewerb zwischen inkompatiblen Systemen (auch „Systemwettbewerb“ genannt) besteht. Dabei ist von Bedeutung, dass die Unternehmen bei (räumlich) größeren für den Wettbewerb relevanten (Markt-)Gebieten grundsätzlich die Möglichkeit haben, verschiedene Strategien hinsichtlich der überregionalen Ausdehnung ihrer Netzwerke zu verfolgen. Um zunächst von dieser Komplexität zu abstrahieren, wird im folgenden Abschnitt 6.2.2.1.1 ein für den Wettbewerb räumlich begrenztes Gebiet unterstellt, innerhalb dessen keine (wesentlichen) Unterschiede hinsichtlich der räumlichen Ausdehnung von Wettbewerbern zu erwarten ist.[540] Daran anschließend wird in Abschnitt 6.2.2.1.2 auf Änderungen bei einer Betrachtung eines räumlich ausgedehnten Gebietes eingegangen.

6.2.2.1.1 Betrachtung eines räumlich begrenzten Gebietes

Im Folgenden wird das Ergebnis wettbewerblicher Abstimmungen hinsichtlich der in Abschnitt 6.1 dargestellten Bewertungskriterien (unter den hier geltenden Annahmen) diskutiert. Dabei wird zunächst auf die Frage der Erreichung eines Abdeckungs- und Kapazitätszieles eingegangen. Daraufhin werden die mit der Bereitstellung einhergehenden Kosten sowie die Bepreisung des Netzwerks analysiert. Im Anschluss erfolgt eine Betrachtung möglicher Renteneffekte.[541]

ERREICHUNG EINES ABDECKUNGS- UND KAPAZITÄTSZIELES

Zunächst stellt sich die Frage, inwieweit ein Abdeckungs- und Kapazitätsniveau erreicht wird, das zum einen flächendeckende Mobilitätsoptionen und zum anderen ein hinreichendes Verfügbarkeits- und Verlässlichkeitsniveau gewährleistet. Diesbezüglich ist zu analysieren, inwiefern Anreize für das Angebot eines flächendeckenden Netzwerks vorliegen. Außerdem sind die Kapazität sowie die lokale Verortung der Infrastruktur zu berücksichtigen.

Hinsichtlich der lokalen Standortplanung kann angenommen werden, dass die privaten Unternehmen das notwendige dezentrale Know-how intern oder über die Vergabe von Aufträgen aufbauen bzw. beschaffen und dabei in Einzelfällen auf bereits vorhandenes Know-how zurückgreifen können (z. B. wenn das Unternehmen in der hier betrachteten Region ansässig ist).[542] Dabei ist davon auszugehen, dass die Unternehmen die Einnahmen aus Nutzerzahlungen maximieren wollen. Vor dem Hintergrund, dass die verschiedenen Netzwerke inkompatibel sind, ist keine lokale Differenzierung von Standorten zu erwarten, die (vergleichbar mit dem in Abschnitt 4.3.1.4 erläuterten Effekten einer minimalen oder maximalen Differenzierung) mit zusätzlichen Kosten für Nutzer einhergeht.

---

[540] Als Beispiel können Inseln mittlerer Größe mit einer homogenen (gleichmäßig verteilten) Siedlungsstruktur ohne relevanten Pkw-Verkehr zum Festland (per Fähre oder über eine Brücke) konstruiert werden. Solch abgegrenzte Gebiete dürften in der Realität jedoch relativ selten vorkommen.

[541] Dieses Kriterium ergibt sich direkt aus dem in Abschnitt 5.1 dargestellten Zielsystem.

[542] Welche Probleme bzw. Kosten mit unterschiedlichen Lösungen des Einbezugs dezentralen Know-hows einhergehen wird hier nicht näher betrachtet.

Diesbezüglich ist auch anzumerken, dass die Planung von Standorten für öffentliche Ladeinfrastruktur i. d. R. in Abstimmung mit der lokalen Gebietskörperschaft erfolgt oder zumindest deren Genehmigung bedarf. Im Ergebnis bestehen Anreize für eine am Nutzer orientierte Planung. Es sei jedoch angemerkt, dass es u. U. zu Abstimmungsproblemen bzw. Konflikten zwischen der Kommune und den privaten Unternehmen kommen kann.

In Bezug auf die Frage der überregionalen Abdeckung und Kapazität ist von Bedeutung, dass der primäre Nutzen des Elektromobilitätssystems in der Befriedigung von Mobilitätsbedürfnissen der Nutzer liegt. Dabei ist ein Ladeinfrastruktursystem mit einer hohen räumlichen Abdeckung (durch eine Vielzahl räumlich verteilter kompatibler Ladeeinheiten) aufgrund des Wertes von Mobilitätsoptionen für Nutzer attraktiver, als ein System mit einer geringen Abdeckung.[543] Die Entscheidung der Nutzer für ein System wird demnach wesentlich durch die (erwartete) Netzwerkgröße beeinflusst.[544] Somit kann für den Bereich der Ladeinfrastruktur von Anreizen zur Bereitstellung eines flächendeckenden Netzwerks ausgegangen werden, wobei fraglich bleibt, inwiefern bei einer Planung durch private Unternehmen ein aus gesamtwirtschaftlicher Sicht optimales Niveau erreicht wird.

Aufgrund der hohen Fixkosten, die dem Anbieter eines Ladeinfrastrukturnetzwerks entstehen,[545] benötigen die Unternehmen eine gewisse Nutzeranzahl, um über Nutzerzahlungen eine Kostendeckung zu erreichen. Diese Nutzeranzahl kann auch als „kritische Masse“ betrachtet werden, die dazu führt, dass sich das Netzwerk langfristig etablieren kann. Dabei ist von Bedeutung, dass bei steigenden Nutzerzahlen die marginalen Kosten für die Aufrechterhaltung eines bestimmten Verfügbarkeits- und Verlässlichkeitsniveaus sinken. Vor diesem Hintergrund erscheint es plausibel, dass die Anzahl der (inkompatiblen) Netzwerke, die sich langfristig etablieren, eher gering ist. Außerdem ist es prinzipiell möglich, dass im Wettbewerb kein Netzwerk eine ausreichende Nutzeranzahl erreicht, was im Folgenden jedoch ausgeklammert wird.

Es lässt sich somit festhalten, dass private Unternehmen im Wettbewerb (unter den hier geltenden Annahmen)[546] Anreize haben, ein Ladeinfrastruktursystem aufzubauen, das flächendeckende Mobilitätsoptionen ermöglicht. Des Weiteren dürfte in der Markthochlaufphase die Kapazität des Netzwerks (die das Verfügbarkeits- und Verlässlichkeitsniveau determiniert) so gewählt werden, dass Nutzer für das eigene Netzwerk gewonnen werden können.[547] Fraglich bleibt jedoch, inwiefern ein aus wohlfahrtökonomischer Sicht optimales Niveau erreicht wird. Außerdem ist es wahrscheinlich, dass sich eher oligopolistische (oder im Extremfall sogar monopolistische) Angebotsstrukturen entwickeln.

---

[543] Vgl. hierzu ausführlich Abschnitt 3.3.2.

[544] Dabei gibt es Ähnlichkeit zu anderen Netzinfrastrukturen, wie z. B. zum Mobilfunk; vgl. hierzu auch Abschnitt 4.3.1.

[545] Vgl. Abschnitt 6.1.2.1 für eine Erläuterung zur Kostenfunktion eines Ladeinfrastrukturnetzwerks.

[546] Dieses sind insbesondere die Annahmen einer ausreichenden Zahlungsbereitschaft, der Inkompatibilität sowie eines räumlich begrenzten Gebietes.

[547] Inwiefern bei steigenden Nutzungsrivalitäten Anreize für eine Anpassung der Kapazität bestehen, wird in Verbindung mit der Bepreisung diskutiert.

KOSTEN DER BEREITSTELLUNG

Davon ausgehend, dass das in Abschnitt 6.1.1 dargestellte Abdeckungs- und Kapazitätsziel erreicht wird, stellt sich die Frage, mit welchen Kosten die Bereitstellung dieses Angebotes einhergeht. Diesbezüglich kann zunächst festgestellt werden, dass es (unter der hier geltenden Annahme der Inkompatibilität) wahrscheinlich zu einem Aufbau paralleler Netzwerke kommt, der mit hohen Produktionskosten einhergeht.[548] Auch die Planung des Systemaufbaus erfolgt mehrfach, wobei im Bereich der lokalen Verortung aufgrund der erforderlichen Abstimmungen mit den Gebietskörperschaften auch (mehrfach) Transaktionskosten auftreten.

Des Weiteren können in hohem Maße versunkene Kosten entstehen, wenn einzelne Anbieter keine kritische Masse erreichen und ihr Angebot im Zeitverlauf einstellen. So besteht auf Seiten der Anbieter ein Risiko in Form von i. d. R. nicht anderweitig verwendbarer (spezifischer) Investitionen (z. B. für Installationsarbeiten, Netzanschlüsse, Ladeeinheiten sowie Backendsysteme). Ein solches von den Anbietern zu tragende Risiko wird grundsätzlich zu höheren Kapitalkosten führen. Auch auf Seiten der Nutzer besteht ein Risiko signifikanter versunkener Kosten, da bestehende Nutzer eines „unterlegenen" Systems für ihr Fahrzeug (annahmegemäß) kein kompatibles Ladeinfrastrukturnetzwerk mehr vorfinden und die Investition in das Fahrzeug somit „versunken" wäre.[549] Es ist anzunehmen, dass dieses Risiko eine Kaufbarriere darstellt und somit negativen Einfluss auf die Nutzerzahlen hat.

BEPREISUNG

Bezüglich der Bepreisung lässt sich zunächst festhalten, dass ein Angebot zweistufiger Tarife wahrscheinlich ist, da ein Tarif mit einer Grundgebühr geeignet ist, die für Mobilitätsoptionen vorhandene Zahlungsbereitschaft abzuschöpfen.[550] Fraglich ist jedoch, wie komplex die verschiedenen Anbieter ihre Tarifmodelle ausgestalten. Vor dem Hintergrund, dass die Unternehmen bestrebt sind, ihre angebotene Kapazität so hoch wie möglich auszulasten, besteht ein Anreiz, die Opportunitätskosten in hohem Maße zu berücksichtigen und entsprechend stark differenzierte Tarifmodelle zu etablieren. Allerdings führen diese Modelle aufgrund der hohen Komplexität auch zu Transaktionskosten auf Seiten der Nutzer. Daher stellt sich die Frage, inwiefern bei den Anbietern Anreize bestehen, derartige Kosten der Nutzer zu vermeiden. Ähnliche, die Aufteilung von Renten betreffende Fragestellungen bestehen auch in Bezug auf die Preishöhe (bzw. die Frage der kostenorientierten Bepreisung) sowie hinsichtlich der Frage von Kapazitätsanpassungen und werden im Folgenden diskutiert.

---

[548] Vgl. dazu Abschnitt 6.1.1. Im Übrigen käme es auch zu einem gewissen Mehrbedarf an Flächen für die Ladeeinheiten sowie ggf. – in Abhängigkeit der Nutzungsregeln für Ladeplätze – zu einem Mehrbedarf an Stellplätzen.

[549] In der Praxis wäre ggf. eine Adapterlösung möglich, die jedoch auch mit entsprechenden (u. U. prohibitiv hohen) Kosten einhergeht.

[550] Auch in anderen Verkehrssektoren akzeptieren Nutzer regelmäßig Fixkosten in Form von Anfangsinvestitionen oder einer Grundgebühr; vgl. Abschnitt 3.3.1.1.

AUFTEILUNG VON RENTEN

Hinsichtlich der Aufteilung des Nettonutzens (bzw. der Renten) können verschiedene Effekte differenziert werden:

- **Anreize in Abhängigkeit der Wettbewerbsintensität**: Unternehmen im Wettbewerb werden versuchen, potenzielle Nutzer zu einer Entscheidung für das eigene Netzwerk zu bewegen. Bei einer hohen Wettbewerbsintensität verbleiben dementsprechend eher höhere Renten auf Seiten der Nutzer, da eine an den Kosten orientierte Bepreisung wahrscheinlicher ist, als im Fall oligopolistischer oder sogar monopolistischer Strukturen. Vor dem Hintergrund der bestehenden Netzwerkeffekte sowie der von hohen Fixkosten geprägten Kostenstruktur ist bei fortschreitender Marktentwicklung jedoch eine eher geringere Anbieteranzahl und somit eine geringere Wettbewerbsintensität wahrscheinlich, sodass es zu Rentenverschiebungen von den Nutzern zu den Anbietern kommen kann.

- **Anreize in Verbindung mit Lock-in-Effekten**: Um einem Netzwerk beizutreten, müssen Nutzer spezifische Investitionen (in Form eines Fahrzeugkaufs) durchführen, die zu den hier unterstellten sehr hohen Wechselkosten führen. Infolge dieses Lock-in-Effekts sind bestehende Nutzer grundsätzlich bereit, Preiserhöhungen bzw. (Transaktions-)Kosten bis zu einer Höhe des verbleibenden Nettonutzens oder der Höhe der Wechselkosten zu akzeptieren.[551] Für den wahrscheinlichen Fall, dass Anbieter und Nutzer keine vollständigen Verträge (z. B. über die relevante Abschreibungsdauer des Fahrzeugs) abschließen, kann daher angenommen werden, dass Anbieter versuchen, den Lock-in-Effekt zu nutzen, um sich Renten anzueignen. So erscheint es möglich, dass bestehende Nutzer, die ihren Vertrag verlängern bzw. nicht kündigen, ungünstigere Konditionen akzeptieren (müssen) als neue bzw. potenzielle Nutzer, die noch nicht spezifisch investiert haben.

Es lässt sich festhalten, dass bei einer abnehmenden Wettbewerbsintensität sowie bei bestehenden Nutzern Rentenverschiebungen von den Nutzern zu den Anbietern wahrscheinlich sind. Es stellt sich daher die Frage einer Einschränkung dieser Rentenverschiebungen durch die öffentliche Hand, wodurch im Kontext entsprechender Regulierungen wiederum gewisse Transaktionskosten entstehen würden.

6.2.2.1.2 Betrachtung eines ausgedehnten Gebietes

Im Folgenden wird ebenfalls zunächst die Frage der Erreichung eines Abdeckungs- und Kapazitätszieles analysiert. Anschließend werden die Kosten der Bereitstellung sowie die Bepreisung und Renteneffekte diskutiert. Zum Abschluss des Abschnitts wird ein kurzes Fazit gezogen.

[551] Vgl. Abschnitt 4.3.1.1.

ERREICHUNG EINES ABDECKUNGS- UND KAPAZITÄTSZIELES

Bei Betrachtung eines ausgedehnteren Gebietes haben Wettbewerber die Möglichkeit, verschiedene Strategien hinsichtlich der überregionalen Ausdehnung ihrer Netzwerke zu verfolgen. Dabei lassen sich zwei „Grundstrategien" unterscheiden, wobei auch Mischformen möglich sind:[552]

- **Regionale Fokussierung**: Wettbewerber könnten zum einen versuchen, sich auf eine Nutzergruppe zu fokussieren, deren Mobilitätsbedürfnisse sich weitestgehend auf eine Region oder einen Ballungsraum (im Folgenden auch „Kerngebiet" genannt) beschränken und für die überregionale Mobilitätsoptionen eine untergeordnete Rolle spielen. Dabei könnte es vor dem Hintergrund der hohen Fixkosten des Systems von Vorteil sein, dass die Nutzungsintensität innerhalb von Ballungsräumen höher ist als in der Peripherie.

- **Flächendeckung**: Eine andere Strategie könnte darin bestehen, Nutzer anzusprechen, die eine höhere Zahlungsbereitschaft für überregionale Mobilitätsoptionen aufweisen. Dabei ist von Bedeutung, dass für die Eröffnung von Mobilitätsoptionen ein Aufbau auch innerhalb nachfrageschwächer Gegenden erforderlich ist und die Kosten innerhalb des Gesamtsystems entsprechend umgelegt werden müssten.

Es ist offensichtlich, dass die Strategie der regionalen Fokussierung aufgrund der geringeren räumlichen Ausdehnung mit geringeren Aufbaukosten verbunden ist, als die Strategie der Flächendeckung. Außerdem kann von einer potenziell höheren Kapazitätsauslastung in Ballungszentren ausgegangen werden, sodass tendenziell günstigere Tarife möglich sind. In diesem Fall gehen niedrigere Preise jedoch auch mit einer niedrigeren Angebotsqualität aufgrund nicht vorhandener (flächendeckender) Mobilitätsoptionen einher. Dementsprechend sind die mit dieser Strategie angesprochenen Nutzergruppen auch entsprechend kleiner bzw. räumlich begrenzt.

In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, dass es durch eine räumliche Differenzierung von Preisen möglich ist, innerhalb eines Netzwerks sowohl Nutzer mit räumlich begrenzten Mobilitätsbedürfnissen, als auch Nutzer, die durch eine höhere Zahlungsbereitschaft für überregionale Mobilitätsoptionen gekennzeichnet sind, anzusprechen. So könnte z. B. ein Tarif für „lokale Nutzer" hohe nutzungsabhängige Entgelte für Standorte außerhalb des Kerngebietes und geringere Entgelte innerhalb des Kerngebietes vorsehen, während ein Tarif für „überregionale Nutzer" mit einer höheren Grundgebühr und geringeren (räumlich undifferenzierten) nutzungsabhängigen Entgelten ausgestattet wird. Es ist anzumerken, dass bei einer derartigen Differenzierung die Angebotsqualität auch für Nutzer im regional fokussierten Tarif gesteigert werden würde, da auch hier Mobilitätsoptionen (unter Inkaufnahme entsprechender Entgelte) bestehen. Somit kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass Unternehmen im Wettbewerb Anreize haben, ihr Netzwerk in einem gewissen Maße räumlich auszudehnen, um für möglichst viele Nutzergruppen ein Angebot bereitzustellen.

[552] Vgl. für ähnliche Überlegungen BECKERS ET AL. (2011, S. 32).

Zu hinterfragen ist jedoch, zu welchem Ergebnis der Wettbewerb im Zeitverlauf führt. Diesbezüglich kann zunächst festgestellt werden, dass ein flächendeckendes Netzwerk über das gesamte Gebiet mit sehr hohen Investitionskosten einhergeht und ein früher bzw. zeitgleicher flächendeckender Aufbau mit hohen Risiken verbunden ist.[553] Dementsprechend ist es zumindest fraglich, ob ein Unternehmen in sehr kurzer Zeit eine hohe Flächendeckung anstrebt. Im Folgenden wird daher unterstellt, dass sich Unternehmen zunächst auf ein oder mehrere Kerngebiete fokussieren und aus diesen Regionen heraus versuchen zu expandieren.

Für den Wettbewerb zwischen inkompatiblen Netzwerken innerhalb einer Region gelten zunächst die im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Überlegungen. So ist insbesondere auch die Bildung von regionalen Oligo- bzw. Monopolen wahrscheinlich, die innerhalb ihrer Kerngebiete kritische Massen erreichen. In Bezug auf die Erreichung des Abdeckungs- und Kapazitätszieles ist hier zu hinterfragen, inwiefern bei diesen Unternehmen Anreize bestehen, weitere Regionen zu erschließen. So ist eine Erschließung neuer Regionen für die Unternehmen grundsätzlich dann attraktiv, wenn eine gewisse Anzahl neuer Nutzer gewonnen werden kann oder eine entsprechend höhere zusätzliche Zahlungsbereitschaft bei bestehenden Nutzern generiert wird. Geht man davon aus, dass in anderen Regionen bereits Wettbewerber mit einem (inkompatiblen) Angebot eine kritische Masse erreicht haben, ist das Potenzial neue Nutzer aus anderen Regionen mit einer räumlichen Erweiterung des Netzwerks zu gewinnen, jedoch gering. Allerdings lässt sich die Attraktivität des Netzwerks für potenzielle Nutzer aus dem eigenen Kerngebiet sowie die Zahlungsbereitschaft bestehender Nutzer steigern. Dieser Effekt dürfte jedoch mit zunehmender Distanz zum Kerngebiet geringer werden.

Somit kann unter der Annahme, dass Unternehmen zu Beginn der Markthochlaufphase eher regional fokussiert sind, festgehalten werden, dass sich die Netzwerke von Anbietern aus verschiedenen Kerngebieten zu einem späteren Zeitpunkt wahrscheinlich zu einem gewissen Grad überlappen, die Erreichung einer überregionalen Flächendeckung durch ein Unternehmen jedoch eher unwahrscheinlich ist. Für den (zumindest fraglichen) Fall, dass Unternehmen auch in einer sehr frühen Marktphase eine Flächendeckung anstreben, gelten grundsätzlich die in Bezug zur Annahme eines räumlich begrenzten Gebietes im vorhergehenden Abschnitt 6.2.2.1.1 dargestellten Überlegungen. Im Folgenden wird unterstellt, dass aufgrund einer regionalen Fokussierung der Anbieter eine Vorgabe zur Flächendeckung notwendig ist. Dadurch würde das Angebot jedes (lokalen) Oligo- bzw. Monopolisten um einzelne Ladeeinheiten zur Flächendeckung der Netzwerke ergänzt werden.

KOSTEN DER BEREITSTELLUNG

Hinsichtlich der unter diesen Voraussetzungen mit dem Angebot einhergehenden Kosten gelten ebenfalls grundsätzlich die bereits im vorhergehenden Abschnitt 6.2.2.1.1 dargestellten Überlegungen. So geht der parallele Aufbau verschiedener Netzwerke mit hohen Produktionskosten

[553] Trotz der Annahme einer grundsätzlich ausreichenden Zahlungsbereitschaft existieren Risiken (z. B. aus einem ggf. suboptimalen Systemdesign), die dazu führen können, dass ein einzelner Wettbewerber nicht erfolgreich ist.

einher. Außerdem sind die Unternehmen (bei einer Vorgabe zur Flächendeckung) gezwungen, auch außerhalb ihrer Kerngebiete lokales Know-how aufzubauen, was mit weiteren Kosten einhergeht. Im Übrigen besteht in Verbindung mit der Annahme der Inkompatibilität ebenfalls das Risiko versunkener Kosten für Anbieter und Nutzer.

BEPREISUNG UND AUFTEILUNG VON RENTEN

Auch hinsichtlich der Ausgestaltung der Bepreisung sind innerhalb des Netzwerks eines Anbieters keine wesentlichen Änderungen zu den Darstellungen in Abschnitt 6.2.2.1.1 ersichtlich. Allerdings kann es hier, aufgrund der Erweiterung des relevanten Gebietes, zu einer stärkeren räumlichen Differenzierung von Preisen kommen. Außerdem führt dieses Modell ggf. zu einer etwas stärkeren Wettbewerbsintensität, da sich die Gebiete aller Anbieter aufgrund der unterstellten Vorgabe überlappen, was bzgl. der Aufteilung der Renten mit Vorteilen für die Nutzer einhergehen kann. Allerdings ergeben sich auch ggf. höhere Transaktionskosten auf Seiten der Nutzer.

FAZIT

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Erreichung eines hinreichenden Abdeckungs- und Kapazitätsniveaus ohne eine diesbezügliche Vorgabe bei der Betrachtung eines räumlich ausgedehnten Gebietes fraglich ist. Im Übrigen ergeben sich (insbesondere hinsichtlich der Kosten) keine wesentlichen Änderungen zur Betrachtung eines räumlich begrenzten Gebietes in Abschnitt 6.2.2.1.1.

6.2.2.2 Annahme (vollständiger) Kompatibilität

Die in diesem Abschnitt unterstellte Annahme der vollständigen Kompatibilität geht damit einher, dass Nutzer ohne Inkaufnahme von Wechsel- oder Adapterkosten zwischen den Ladeeinheiten unterschiedlicher Anbieter wechseln können. Der hier angewendete Kompatibilitätsbegriff lässt sich dabei grob in zwei Bereiche aufteilen:[554]

- **Technische Kompatibilität**: Zunächst ist die Verwendung einheitlicher technischer Schnittstellenstandards Grundvoraussetzung für die Herstellung von Kompatibilität. So können z. B. unterschiedliche Energieflussprinzipien Kompatibilität zwischen verschiedenen Netzwerken verhindern. Auch die Erforderlichkeit eines bestimmten Informationsträgers oder eines bestimmten Gerätes (z. B einer RFID-Karte oder eines Smartphones) für den Zugang zu einem Netzwerk kann mit Adapterkosten einhergehen und so die Kompatibilität einschränken.

- **„Institutionelle Kompatibilität“**: Über die Voraussetzung der technischen Kompatibilität hinaus sind weitere Ursachen für Wechsel- oder Adapterkosten auszuschließen. So können beispielsweise vertragliche Mindestlaufzeiten in Verbindung mit einer Grundgebühr zu Wechselkosten führen, wenn diese Grundgebühr nur im Netzwerk des Vertragspartners mit

[554] Vgl. hierzu auch Abschnitt 4.3.1.3.

geringeren nutzungsabhängigen Entgelten einhergeht. Auch besondere Nutzungsentgelte für Kunden fremder Anbieter (wie z. B. sog. „Roaming-Entgelte“) können die Kompatibilität einschränken. Außerdem wird in Fällen, in denen die Nutzung eines fremden Systems mit Transaktionskosten für den Nutzer einhergeht, ebenfalls die Kompatibilität eingeschränkt. Entsprechende Transaktionskosten können z. B. durch notwendige Informationsrecherchen in Verbindung mit dem Abschluss eines Vertrages entstehen.

Somit wird innerhalb dieses Abschnitts eine Einigung auf einheitliche technische Standards zwischen den verschiedenen Wettbewerbern unterstellt, die (ohne diesbezügliche Vorgaben der öffentlichen Hand) mit hohen Transaktionskosten verbunden sein dürfte. Des Weiteren ist vor dem Hintergrund der Bedingung der „institutionellen Kompatibilität“ bzgl. der Abstimmung von Bepreisungsentscheidungen unklar, inwiefern eine Grundgebühr etabliert und zwischen den verschiedenen Anbietern aufgeteilt werden kann. Von daher wird im Folgenden zunächst ein überregional einheitlicher einstufiger Tarif unterstellt.[555]

Hinsichtlich der lokalen Verortung bei vollständiger Kompatibilität können, im Gegensatz zum Modell der Inkompatibilität, unvorteilhafte Differenzierungseffekte nicht ausgeschlossen werden, die zu einer aus gesamtwirtschaftlicher Sicht suboptimalen lokalen Standortplanung verschiedener Wettbewerber führen.[556] Dabei muss jedoch auch hier berücksichtigt werden, dass lokale Gebietskörperschaften einen signifikanten Einfluss auf die lokale Standortplanung haben können, sodass dieses Problem, entsprechendes Know-how und Ressourcen auf Seiten der Gebietskörperschaft vorausgesetzt, reduziert werden kann, wobei jedoch wiederum Konflikte zwischen Kommunen und Unternehmen auftreten könnten.

In Bezug zur Frage der Erreichung einer überregionalen Flächendeckung ist zunächst von Bedeutung, dass bei vollständiger Kompatibilität (und insbesondere ohne eine Grundgebühr) die Abschöpfung von Zahlungsbereitschaft für die Bereitstellung von Mobilitätsoptionen nicht möglich ist. Dementsprechend haben die Unternehmen nur dann Anreize für den Aufbau von Ladeeinheiten, wenn die an einer einzelnen Ladeeinheit erzielten Einnahmen größer als die Kosten dieser Ladeeinheit sind. Dabei wird der Grad der Abdeckung von der Höhe des (einstufigen) Tarifs in Verbindung mit der jeweiligen lokalen Nachfrage determiniert. Somit wären für die Erreichung einer Flächendeckung ein sehr hoher Tarif und gleichzeitig entsprechende Nutzerzahlen notwendig. Geht man davon aus, dass die Preiselastizität der Nachfrage insbesondere bei potenziellen Nutzern aufgrund der Möglichkeit auf andere Mobilitätssysteme auszuweichen eher hoch ist, erscheint eine Flächendeckung unrealistisch.

Löst man die Bedingung eines überregional einheitlichen Tarifs auf, könnten an nachfrageschwachen Standorten höhere Nutzungsentgelte von den Anbietern festgelegt werden, sodass ein Angebot in nachfrageschwächeren Gebieten (in Abhängigkeit der Preiselastizität der Nachfrage) evtl. eher

[555] Dabei wird hier ausgeklammert, inwiefern ein solcher Tarif mit wohlfahrtsökonomischen Nachteilen einhergeht.

[556] Vgl. dazu Abschnitt 4.3.1.4.

kostendeckend möglich ist. Allerdings würden die Tarife die Höhe der Grenzkosten ggf. sehr stark überschreiten, was zu einer geringeren Nutzung führen kann und somit ineffizient wäre. Im Übrigen würden aufgrund der unterschiedlichen Tarife (Transaktions-)Kosten auf Seiten der Nutzer entstehen, womit zum einen die Kompatibilitätsbedingung verletzt wird und zum anderen die Attraktivität des Netzwerks sinkt.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass eine Flächendeckung bei voller Kompatibilität und einem einstufigen Tarif nicht erreicht wird. Vielmehr liegt bei überregional einheitlichen Tarifen ein Free-Riding-Problem vor, da die Attraktivität des gesamten Netzwerks mit dem Aufbau von Ladeeinheiten an nachfrageschwachen Standorten grundsätzlich steigen würde und auch Unternehmen, die diese Ladesäulen nicht aufbauen, von höheren Nutzerzahlen profitieren.

Somit kann, unter der Bedingung der vollen Kompatibilität, das Abdeckungs- und Kapazitätsziel nur durch eine entsprechende Abstimmung bzw. Koordination zwischen den verschiedenen Anbietern erreicht werden. Dabei müsste zum einen die überregionale räumliche Verteilung geplant bzw. abgestimmt werden, wobei insbesondere festzulegen ist, welche Akteure für den Aufbau an den einzelnen nachfrageschwachen Standorten verantwortlich sind. Des Weiteren wäre die Finanzierung der nachfrageschwachen Standorte, bzw. die Umverteilung von Nutzereinnahmen, abzustimmen. Dabei erscheint es möglich (und plausibel), dass auch Abstimmungen in Bezug auf das Preissystem erfolgen. In diesem Zusammenhang könnte dann auch eine Grundgebühr eingeführt werden, die über die Deckung der Kosten von nachfrageschwachen Standorten hinaus auch zur Deckung aller Fixkosten herangezogen und in entsprechender Höhe festgelegt werden könnte.

Im Ergebnis weist ein derartiges Modell (mit einer „planerischen Abstimmung“ der räumlichen Abdeckung und des Bepreisungssystems) große Ähnlichkeit mit dem Modell einer monopolistischen Bereitstellung durch ein einzelnes Unternehmen auf. Es bestehen jedoch Unterschiede hinsichtlich der Transaktionskosten für die Abstimmung der Bereitstellungsentscheidungen, die unter den hier geltenden Annahmen (vermutlich prohibitiv) hoch sind. Diesbezüglich lässt sich festhalten, dass entsprechende Vorgaben der öffentlichen Hand (insbesondere hinsichtlich der Verwendung von Standards, der räumlichen Abdeckung sowie der Bepreisung) die Transaktionskosten reduzieren könnten. Auch die bei einer monopolistischen Bereitstellung nachteilige Verteilung der Renten könnte durch (regulatorische) Vorgaben der öffentlichen Hand beeinflusst werden. Ein derartiges (reguliertes) Modell hätte im Ergebnis große Ähnlichkeit mit einer zentralen Planung durch die öffentliche Hand. Dabei dürften jedoch Unterschiede hinsichtlich der Höhe von Transaktionskosten bestehen, die sich beispielsweise aufgrund von Informationsasymmetrien zwischen den (regulierten) Unternehmen und der öffentlichen Hand ergeben.

6.2.2.3 Anreize bei der Kompatibilitätsentscheidung und eingeschränkte Kompatibilität

Innerhalb dieses Abschnitts wird die eingeschränkte Kompatibilität (oder auch „Teilkompatibilität“) betrachtet, bei der Wechsel- bzw. Adapterkosten in einer Höhe bestehen, die den Wechsel des Netzwerks bzw. eine Kompatibilität von Netzwerken nicht gänzlich verhindert.[557]

Im folgenden Abschnitt 6.2.2.3.1 wird zunächst auf Anreize, die bei privaten Unternehmen in Bezug auf die Kompatibilitätsentscheidung vorliegen, eingegangen. Daran anschließend werden in Abschnitt 6.2.2.3.2 die Auswirkungen des Wettbewerbs bei Teilkompatibilität auf die hier relevanten Bewertungskriterien eingeordnet.

6.2.2.3.1 Anreize bei der Kompatibilitätsentscheidung

Die Anreize in Bezug auf die Kompatibilitätsentscheidung werden im Folgenden entlang früher Phasen der Marktentwicklung (F & E-, sowie Angebotsvorbereitungsphase) und späterer Phasen (insbesondere Erstangebotsphase) unterschieden.[558]

Im Folgenden wird zunächst auf ex ante Entscheidungen in frühen Phasen (vor dem Erstangebot) und anschließend auf ex post Entscheidungen eingegangen. Daraufhin wird ein Fazit gezogen.

EX ANTE

Unter der Annahme einer ausreichenden Zahlungsbereitschaft kann unterstellt werden, dass Akteure insbesondere in frühen Phasen der Marktentwicklung Anreize haben, proprietäre Standards zu entwickeln und einzusetzen, wenn sie die Möglichkeit sehen, durch ein (frühzeitiges) Erreichen einer kritischen Masse, in eine monopolistische oder oligopolistische Stellung zu gelangen.[559] Dabei besteht grundsätzlich die Möglichkeit, durch Abstimmungen mit Wettbewerbern die Option einer späteren (ex post) Herstellung von Kompatibilität offen zu halten. Dafür wäre insbesondere eine Einigung auf einheitliche technische Schnittstellenstandards erforderlich, um (technische) Adapterkosten zu vermeiden. Der Grad der Kompatibilität lässt sich dann über „organisatorische Maßnahmen“, wie z. B. durch Roaming-Entgelte, einschränken.

Anreize für die Schaffung der Option, ex post Kompatibilität herstellen zu können, bestehen zum einen darin, das Risiko der versunkenen Kosten zu reduzieren. Dieses ergibt sich aus der Möglichkeit, mit einem (inkompatiblen und daher hoch spezifischen) System keine kritische Masse zu erreichen. Außerdem schafft die Option der ex post Kompatibilität die Möglichkeit, sich mit einem räumlich komplementären Netzwerk zusammenzuschließen. Nachteile der Schaffung einer solchen Option

---

[557] Somit steht die Annahme der Teilkompatibilität zwischen den beiden in den vorhergehenden Abschnitten 6.2.2.1 und 6.2.2.2 diskutierten „Randmodellen“.

[558] Vgl. Abschnitt 4.2.3 für eine Darstellung typischer Phasen der Marktentwicklung beim Angebot von Systemgütern.

[559] Vgl. hierzu ausführlich Abschnitt 4.3.1.3.

bestehen in den ggf. hohen Transaktionskosten, die mit der Abstimmung von Schnittstellenstandards einhergehen. Außerdem können private Unternehmen Anreize haben, eine ex post Kompatibilität auszuschließen, um Wettbewerbern durch die bewusste Inkaufnahme des Risikos versunkener Kosten zu signalisieren, dass sie anstreben, eine eigene kritische Masse zu erreichen. Im Bereich öffentlicher Ladeinfrastruktur scheinen aus Perspektive der Unternehmen i. d. R. die Vorteile, die mit der Option der ex post Kompatibilität einhergehen, die Nachteile zu überwiegen.[560]

EX POST

Im weiteren Verlauf der Marktentwicklung können Anreize bei Akteuren, Kompatibilität zwischen ihren Netzwerken herzustellen, steigen. So kann in Fällen, in denen eine Kooperation das Erreichen einer kritischen Masse für die potenziellen Kooperationspartner wahrscheinlicher macht, von einer erhöhten Kooperationsbereitschaft und entsprechenden Anreizen zur Senkung von Adapter- und Wechselkosten ausgegangen werden.[561] Auch bei sich komplementär ergänzenden Netzwerken dürften Anreize zur Kooperation bestehen. Dabei erscheint es auch möglich, dass durch die Schaffung von Kompatibilität zwischen räumlich komplementären Netzwerken erstmals eine kritische Masse erreicht wird. Für Wettbewerber, die bereits eine kritische Masse und / oder eine vergleichsweise hohe Abdeckung erreicht haben oder diese sehr wahrscheinlich erreichen werden, können geringere Anreize bestehen, Kompatibilität herzustellen, da diese mit dem Verlust von Marktanteilen einhergehen kann. Somit bestehen ggf. asymmetrische Anreize, die auch zur Schaffung asymmetrischer Adapter- bzw. Wechselkosten führen können.

FAZIT

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in frühen Phasen der Marktentwicklung bei ausreichender Zahlungsbereitschaft Anreize überwiegen dürften, Optionen für die Herstellung von Kompatibilität in späteren Marktphasen zu schaffen. Damit gehen Anreize für die Unternehmen einher, sich auf einheitliche technische Standards zu verständigen.

Inwiefern verschiedene Unternehmen im weiteren Verlauf der Marktentwicklung Kompatibilität zwischen ihren Netzwerken herstellen, hängt vom Erfolg der Wettbewerber kritische Massen zu erreichen sowie von der (räumlichen) Komplementarität der Netzwerke ab. Außerdem ist auch die Höhe der aggregierten Zahlungsbereitschaft aller Nutzer von Bedeutung, da diese Einfluss auf die Anzahl der räumlich parallelen (inkompatiblen) Netzwerke hat, die im Wettbewerb bestehen können. Aufgrund dieser vielfältigen Einflussfaktoren sind verschiedene Ergebnisse hinsichtlich der Kompatibilität verschiedener Netzwerke möglich. Insbesondere ist es wahrscheinlich, dass es zu Fällen von Teilkompatibilität kommt, bei denen Kompatibilität in Bezug auf technische Standards besteht und künstliche Adapter- bzw. Wechselkosten erzeugt werden. Außerdem ist es möglich, dass

[560] Dieses zeigt sich in Deutschland beispielsweise dadurch, dass weitestgehende Einigkeit bzgl. der Steckverbindung besteht; siehe dazu Anhang B 1.

[561] Vgl. Abschnitt 4.3.1.3.

sich verschiedene Kooperationen bilden, innerhalb derer Teilkompatibilität besteht, während die Kooperationen untereinander inkompatibel sind.

6.2.2.3.2 Wettbewerb bei eingeschränkter Kompatibilität

Im Folgenden wird angenommen, dass zwischen den Netzwerken verschiedener Anbieter technische Kompatibilität besteht, diese Kompatibilität jedoch durch Roaming-Entgelte eingeschränkt wird. Diese Annahme einer Teilkompatibilität führt grundsätzlich zu Ergebnissen bzgl. der Bewertungskriterien, die zwischen den Ergebnissen der beiden in den vorhergehenden Abschnitten 6.2.2.1 und 6.2.2.2 diskutierten „Randmodelle“ (vollständige Kompatibilität und Inkompatibilität) liegen.

In Bezug auf die räumliche Abdeckung und Kapazität können analog zum Modell der vollen Kompatibilität Free-Riding-Probleme auftreten, da der Aufbau von Ladeeinheiten an nachfrageschwachen Standorten durch einen Anbieter auch Mobilitätsoptionen für die Nutzer fremder Anbieter schafft. Allerdings erhalten Anbieter entsprechender Ladeeinheiten im Fall der Nutzung hier annahmegemäß Roaming-Gebühren, sodass ggf. etwas höhere Anreize für einen Aufbau an nachfrageschwachen Standorten bestehen. Im Ergebnis bleibt es jedoch fraglich, ob in diesem Modell das Abdeckungs- und Kapazitätsziel erreicht wird.

Des Weiteren kann es auch im Modell der Teilkompatibilität zu einem parallelen Aufbau von Netzwerken, insbesondere in frühen Phasen der Marktentwicklung kommen, der mit entsprechend hohen Produktionskosten einhergeht. Allerdings wäre insbesondere das Ausmaß der versunkenen Kosten reduziert, da die Möglichkeit besteht, ex post (Teil-)Kompatibilität mit anderen Netzwerken herzustellen. Außerdem gehen die notwendigen Abstimmungen zwischen den Wettbewerbern, insbesondere zur Festlegung von Roaming-Entgelten, wiederum mit ggf. hohen Transaktionskosten einher. Durch die Roaming-Entgelte steigt im Übrigen auch die Komplexität der Entgeltstrukturen, was mit höheren Transaktionskosten für die Nutzer einhergeht.

6.2.3 Vergleich und Schlussfolgerungen

Es lässt sich festhalten, dass im Modell einer Abstimmung von Bereitstellungsentscheidungen durch Unternehmen im Wettbewerb das Angebot durch ein monopolistisches Unternehmen dem Modell einer zentralen Planung durch die öffentliche Hand am nächsten kommt. Insbesondere könnte durch ein monopolistisches Angebot ein paralleler Aufbau vermieden und gleichzeitig das Abdeckungsziel erreicht werden. Unterschiede bestehen insbesondere im Bereich der Aufteilung von Renten, weshalb ggf. Regulierungsmaßnahmen erfolgen sollten. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass insbesondere in frühen Phasen des Wettbewerbs ein Aufbau in verschiedenen Regionen nicht unwahrscheinlich ist, und dass dabei ohne einen Eingriff der öffentlichen Hand parallele Strukturen entstehen dürften. Somit ist als Ergebnis des Wettbewerbs eher die Bildung regional fokussierter Oligopole oder Monopole wahrscheinlich, die ggf. Teilkompatibilität untereinander herstellen. Damit wäre wiederum die Erreichung des Abdeckungszieles ohne weitere Vorgaben der öffentlichen Hand fraglich. Im Ergebnis wären planerische Regulierungsmaßnahmen bei einer wettbewerblichen Bereitstellung notwendig, wobei diese mit (ggf. hohen) Transaktionskosten einhergehen. Im Vergleich zu einer wettbewerblichen

Abstimmung der Bereitstellungsentscheidungen erscheint eine Planung entsprechender Entscheidungen daher vorteilhaft. Dabei kann die eigentliche Leistungserstellung auch (wettbewerblich) ausgeschrieben werden. Es ist zu beachten, dass die mit einer Planung von Bereitstellungsentscheidungen einhergehenden Transaktionskosten im Wesentlichen von der Ausgestaltung des notwendigen Finanzierungs- und Anreizsystems determiniert werden.

6.3 Bereitstellung bei niedriger Zahlungsbereitschaft und damit einhergehendem Förderbedarf für die Elektromobilität

Im vorhergehenden Abschnitt 6.2 wurde unter der Annahme einer hohen Zahlungsbereitschaft eine Planung von Bereitstellungsentscheidungen durch die öffentliche Hand als vorteilhaft gegenüber wettbewerblichen Abstimmungen identifiziert. Innerhalb dieses Abschnitts wird die Annahme einer hohen Zahlungsbereitschaft aufgelöst, was dem aktuellen Stand der Marktentwicklung entspricht.

So sind aktuelle Elektrofahrzeug-Modelle insbesondere aufgrund der hohen Batteriekosten häufig deutlich teurer als vergleichbare ICE-Modelle, wobei die Angebotsqualität des Elektromobilitätssystems insgesamt als geringer einzustufen ist.[562] Die geringere Angebotsqualität resultiert dabei auch aus häufig nur sporadisch vorhandenen Ladeinfrastrukturnetzwerken, was zu Einschränkungen der mit einem Elektrofahrzeug bestreitbaren Wege (Mobilitätsoptionen) führt. Im Ergebnis weisen nur wenige Nutzer eine Zahlungsbereitschaft auf, welche die mit der Nutzung des Elektromobilitätssystems einhergehenden (von den Nutzern zu tragenden) Kosten übersteigt. Auch in Deutschland werden die von der Bundesregierung formulierten Markthochlaufziele für Elektrofahrzeuge ohne Fördergelder bzw. Subventionen wahrscheinlich nicht erreicht.[563]

Somit stellt sich (wenn bestimmte Markthochlaufziele erreicht werden sollen) die Frage einer Förderung des Markthochlaufes mit Mitteln aus einem Sozialisierungssystem. Im Folgenden wird aufbauend auf den Ergebnissen des vorherigen Abschnitts diskutiert, wie eine solche Förderung ausgestaltet werden sollte.

Innerhalb des Gesamtsystems der Elektromobilität kommen verschiedene Akteure und Bereiche (bzw. zentrale Güter) für eine Subventionierung in Frage. Dabei lassen sich zwei grundlegende Subventionsvarianten unterscheiden:[564]

- **Variante A – Subvention der Nutzer**: Zum einen können monetäre Anreize direkt an die Nutzer im Rahmen einer Kaufprämie oder einer Reduzierung der Kfz-Steuer für Elektrofahrzeuge etabliert werden. Innerhalb dieses Abschnitts wird der Fall der Kaufprämie

[562] Vgl. Abschnitt 2.1.1 für einen Vergleich von Batteriekosten für verschiedene Modelle mit den Preisen aktueller Modelle sowie Anhang A für eine Darstellung des Status quo der Marktentwicklung.

[563] Vgl. z. B. NPE (2011, S.6), ESMT (2011, S. 53) oder PROPFE ET AL. (2013, S. 6).

[564] Die im Folgenden dargestellten Überlegungen wurden in Teilen bereits in BECKERS ET AL. (2011, S. 29 ff.) dargestellt.

diskutiert, die indirekt auch die potenziell erzielbaren Nutzerzahlungen für ein öffentliches Ladeinfrastruktursystem stützt, da die Nutzerzahlen steigen. Eine Reduzierung der Kfz-Steuer würde mit ähnlichen Effekten einhergehen.[565] In diesem Kontext wird im Folgenden zunächst davon ausgegangen, dass sich die Kosten des Ladeinfrastruktursystems über Nutzerzahlungen decken müssen. Dabei ist insbesondere eine Fixkostendeckung (über die Grundgebühr) von Bedeutung.[566]

- **Variante B – Direkte Subventionierung des Aufbaus eines Ladeinfrastruktursystems**: In dieser Variante würden Subventionen zur Kostentragung direkt in den Aufbau eines Ladeinfrastruktursystems fließen. Somit wäre bei einer Deckung der Fixkosten über Subventionen ein Entfall der Grundgebühr möglich.

Variante B scheint vergleichsweise einfach umsetzbar zu sein und führt zu keinen wesentlichen Veränderungen zu den in Abschnitt 6.2.1 dargestellten Überlegungen. Es wäre allerdings noch vertieft zu hinterfragen, wie Finanzmittel und Einnahmen aus Nutzerzahlungen im Verwaltungssystem zwischen den Ebenen alloziert werden.

In Bezug zu Variante A ist zunächst von Bedeutung, dass weitgehende Unsicherheiten hinsichtlich der Höhe der Nutzerzahlungen für das Ladeinfrastrukturnetzwerk bestehen. So können Preise nur in Abhängigkeit der Preiselastizität der Nutzer erhöht werden. Diesbezüglich lässt sich annehmen, dass aufgrund von Substituten in Form anderer Mobilitätssysteme die Nachfrage (in frühen Marktphasen) nicht stark unelastisch ist, was die Möglichkeit der Steigerung von Einnahmen durch Preiserhöhungen begrenzt. Für den Fall, dass die Nutzereinnahmen nicht ausreichen, um die Kosten zu decken, müsste der Aufbau reduziert werden, womit das Abdeckungsziel verfehlt wird. Somit tragen die Nutzer bei Variante A ein Risiko aus Preiserhöhungen sowie ein (interdependentes) Risiko des begrenzten Aufbaus, womit von (risikoaversen) Nutzern weniger Fahrzeuge gekauft werden. Damit liegt bei dieser Variante ein klassisches „Henne-Ei-Problem“ vor.[567] Im Übrigen würden im Rahmen dieses Modells hohe Kosten der Risikoübernahme entstehen, wenn der Aufbau des Infrastruktursystems durch einen privaten Monopolisten erfolgt, der das Risiko der Nutzerzahlungen trägt. Vor diesem Hintergrund erscheint es eher unwahrscheinlich, dass das Abdeckungs- und Kapazitätsziel mit Variante A erreicht wird, womit sich die Frage weiterer Maßnahmen bzw. Institutionen stellt.

Eine derartige Maßnahme stellen Garantien der öffentlichen Hand dar, durch die problematische Risiken ausgeschlossen oder reduziert werden. So könnte der aufbauende Akteur eine Garantie bzgl. der Nutzerzahlen in einer Höhe erhalten, die eine Deckung der mit der Erreichung des Abdeckungs-

[565] Unterschiede bestehen für Nutzer z. B. durch ggf. bestehende Unsicherheiten bzgl. der zeitlichen Aufrechterhaltung des Steuervorteils durch die öffentliche Hand. Außerdem haben Nutzer eine Unsicherheit bzgl. der technischen Lebensdauer des Fahrzeugs und tragen höhere Kapitalkosten als die öffentliche Hand. Für Politiker geht eine Steuerreduktion ggf. mit (individuellen) Vorteilen einher, da die damit einhergehenden Kosten (bzw. Einnahmeminderungen) auch in zukünftigen Legislaturperioden anfallen können.

[566] Vgl. Abschnitt 6.1.2.2.

[567] Vgl. Abschnitt 4.3.1.2 für eine Beschreibung des „Henne-Ei-Problems“.

und Kapazitätszieles einhergehenden Kosten aus Nutzerzahlungen garantiert. Damit wäre dann auch eine Preissicherheit gewährleistet und das „Henne-Ei-Problem“ würde nicht entstehen. Es wird allerdings deutlich, dass Variante A, wenn man die durch Risiken bestehenden Nachteile ausgleicht, Variante B relativ ähnlich wird. Dabei bestehen Unterschiede hinsichtlich der Transaktionskosten, die bei Variante A von der Ausgestaltung der Garantien abhängen. Im Übrigen würden bei Variante A die durch die öffentliche Hand zu tragenden Lasten potenziell später anfallen. Im Ergebnis erscheint jedoch insbesondere vor dem Hintergrund der Transaktionskosten eine direkte Subventionierung bei einem Entfall der Grundgebühr vorteilhaft. In späteren Marktphasen bzw. nach einem Abbau der Kostennachteile des Elektromobilitätssystems könnte dann ggf. die Einführung einer Grundgebühr erfolgen.

6.4 Fazit

Es lässt sich festhalten, dass bei einer Planung der relevanten Bereitstellungsentscheidungen durch die öffentliche Hand insgesamt Vorteile bestehen. Diese ergeben sich insbesondere aufgrund von Unsicherheiten bzgl. der Erreichung des Abdeckungs- und Kapazitätszieles sowie aufgrund von höheren Kosten, zu denen es bei einer wettbewerblichen Abstimmung der Bereitstellungsentscheidungen kommt.

Von daher wird im weiteren Verlauf von Teil C dieser Arbeit angenommen, dass die Bereitstellungsentscheidungen im zweistufigen System der öffentlichen Hand getroffen werden. Dabei wird entsprechend der Überlegungen in Abschnitt 6.2.1 insbesondere von einer dezentralen „lokalen Feinplanung“ im Rahmen zentraler Vorgaben ausgegangen, die Entscheidungen bzgl. der lokalen Verortung, der Auswahl von Tarifen sowie bzgl. der Kapazitätsanpassungen umfasst und auch Spielräume hinsichtlich der genauen zeitlichen Investitionsdurchführung ermöglicht. Alle weiteren Entscheidungen, wie insbesondere die Festlegung von Kompatibilitätsstandards sowie Entscheidungen bzgl. der überregionalen räumlichen Verteilung und Kapazität, werden annahmegemäß auf zentraler Ebene getroffen.

Des Weiteren ist im Rahmen dieses Kapitels hinsichtlich der Förderung deutlich geworden, dass eine direkte Subventionierung des Ladeinfrastrukturaufbaus mit Vorteilen in Form geringerer Transaktionskosten gegenüber einer (ausschließlichen) Kaufprämie (bzw. einer Reduzierung der Kfz-Steuer etc.) einhergeht.

Es ist anzumerken, dass die Durchführung der eigentlichen Leistungserstellung innerhalb der Betrachtungen dieses Kapitels weitestgehend ausgeklammert wurde. Grundsätzlich bleibt (auch im Rahmen der im weiteren Verlauf unterstellten Annahmen) eine Leistungserstellung durch verschiedene Ladeinfrastrukturbetreiber im Rahmen der (geplanten) Bereitstellungsentscheidungen möglich.

7 Frage der Bündelung von Stromlieferant und Ladeinfrastrukturbetreiber

Wie in Abschnitt 2.1.4.2 beschrieben, besteht im Rahmen der aktuellen energiewirtschaftlichen Regelungen eine Art „Zwangsbündelung“ zwischen der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers und der des Stromlieferanten. Innerhalb dieses Abschnitts wird analysiert, ob eine Aufhebung dieser Zwangsbündelung vorteilhaft ist. In diesem Zusammenhang wird auch der Aufgabenumfang der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers für die weiteren Analysen festgelegt. Dabei werden im Folgenden zwei grundlegende Optionen verglichen, die auch als „Zugangsmodelle“ bezeichnet werden: [568]

- **Option A**: Schaffung eines „diskriminierungsfreien Zugangs“ zum Ladeinfrastrukturnetzwerk analog zu bestehenden Regelungen im Verteilnetz, wodurch die eins-zu-eins-Beziehung zwischen Stromlieferant und Netzanschluss und damit einhergehende Zwangsbündelung beseitigt würde.

- **Option B**: Beibehaltung der eins-zu-eins-Beziehung und ggf. Etablierung weiterer Regeln im Rahmen eines „Roaming-Modells“ für die Abstimmung zwischen den mit Ladeinfrastrukturbetreibern gebündelten Stromlieferanten (im weiteren Verlauf als „integrierte Stromlieferanten“ bezeichnet).

In Abschnitt 7.1 werden im Folgenden zunächst Vor- und Nachteile der bestehenden „Zwangsbündelung“ gegeneinander abgewogen. Daraufhin werden in Abschnitt 7.2 mögliche Optionen der Umsetzung eines diskriminierungsfreien Zugangs verglichen. In Abschnitt 7.3 wird ein kurzes Fazit gezogen.

7.1 Diskussion der bestehenden „Zwangsbündelung“

Im Status quo der „Zwangsbündelung“ sind Nutzer grundsätzlich an den integrierten Stromlieferanten der jeweiligen Ladeeinheit und damit insbesondere an den Tarif dieses Stromlieferanten gebunden. Somit müssen mobile Nutzer im Ausgangszustand u. U. diverse Verträge abschließen, wenn Sie zwischen Ladeeinheiten wechseln, die von unterschiedlichen Stromlieferanten beliefert werden. Damit wären hohe Wechsel- bzw. Transaktionskosten und somit Kompatibilitätseinschränkungen verbunden.

Diese Kompatibilitätsbeschränkungen können durch (horizontale) Kooperationen zwischen integrierten Stromlieferanten im Rahmen eins „Roaming-Modells“ (Option B) für einfache (ungesteuerte) Ladevorgänge reduziert werden. Der Grundgedanke eines solchen Modells ist, dass Kunden gegen Entrichtung eines Roaming-Entgeltes an Ladeeinheiten von integrierten Stromlieferanten laden können, mit denen kein (direktes) Vertragsverhältnis besteht (im Folgenden

[568] Vgl. für andere Darstellungen ähnlicher Modelle bzw. Optionen z. B. LBD (2010) sowie FEST / FRANZ / GAUL (2010).

werden diese Lieferanten auch „Fremdlieferanten“ genannt). Somit führt dieses Modell zu einer (in Abschnitt 6.2.2.3.2 beschriebenen) Teilkompatibilität zwischen verschiedenen Netzwerken (integrierter) Stromlieferanten, wobei die Höhe der Roaming-Entgelte den Grad der Kompatibilität bestimmt. Fraglich ist, inwiefern auch bzgl. der in Abschnitt 3.2 beschriebenen erweiterten Anwendungsfälle (Beeinflussung oder Steuerung des Ladevorgangs) eine Herstellung von Teilkompatibilität möglich ist.

Im Folgenden werden zunächst Nachteile und anschließend Vorteile dieses Modells diskutiert. Daraufhin werden Schlussfolgerungen gezogen.

NACHTEILE

Ausgehend von einer lokalen Marktmacht des Ladeinfrastrukturbetreibers würde im Rahmen eines Roaming-Modells aufgrund der „Zwangsbündelung“ kein Wettbewerb für den Bereich der Strombelieferung bestehen.[569] Somit sind Rentenverschiebungen – zunächst davon ausgehend, dass keine Regulierung erfolgt – wahrscheinlich.[570] Außerdem müssten Nutzer an Ladeeinheiten von (integrierten) Fremdlieferanten Roaming-Entgelte entrichten, was mit Transaktionskosten einhergeht.[571] Im Ergebnis stellen sich somit verschiedene Fragen der Regulierung, wie insbesondere hinsichtlich der Stromtarife sowie bzgl. der Zugangsbedingungen für Fremdlieferanten zu den Ladeeinheiten.[572]

Des Weiteren erscheint eine Beeinflussung oder Steuerung von Ladevorgängen im Roaming-Modell ohne weitere (mit vermutlich hohen Transaktionskosten einhergehende) Abstimmungen oder Regelungen nicht möglich. So wäre bzgl. der Bepreisung mit variablen Tarifen abzustimmen, wessen Tarif für Kunden an Ladeeinheiten von Fremdlieferanten gilt. Auch bei gesteuertem Laden wäre zu regeln, welcher Lieferant diese (Fremd-)Kunden steuert. Diesbezüglich ist anzumerken, dass Hindernisse für die Umsetzung von beeinflusstem oder gesteuertem Laden mit (weiteren) gesamtwirtschaftlichen Kosten einhergehen können, da bei ungesteuertem Laden keine Anreize bestehen, Strom dann nachzufragen, wenn er günstig ist.

---

[569] Die Annahme der lokalen Marktmacht ergibt sich bereits daraus, dass es kaum zu einem Aufbau von Ladeeinheiten verschiedener Betreiber am gleichen Standort kommen dürfte. So ist, wie aus Abschnitt 6.2.2 ersichtlich, bei einem wettbewerblichen Aufbau auch innerhalb einer Region die Bildung eines Oligo- oder Monopols wahrscheinlich. Im Übrigen wäre ein paralleler Aufbau im Hinblick auf die Kosteneffizienz negativ zu bewerten. Im Rahmen eines (hier unterstellten) planerischen Aufbaus der öffentlichen Hand ist ebenfalls nicht ersichtlich, dass ein paralleler Aufbau von Ladeeinheiten unterschiedlicher Betreiber am gleichen Standort erfolgen sollte.

[570] Vgl. für eine ausführliche Diskussion möglicher Rentenverschiebungen bei Inkompatibilität bzw. Teilkompatibilität im Bereich des Ladeinfrastrukturnetzwerks auch Abschnitt 6.2.2.1 sowie Abschnitt 6.2.2.3.

[571] In diesem Zusammenhang sei am Rande angemerkt, dass nicht integrierte Stromlieferanten vermutlich keine oder nur sehr geringe Anreize haben, Verträge mit Elektromobilitätskunden abzuschließen, da sie aufgrund fehlender eigener Ladeeinheiten keine eigenen Kunden beliefern können und selbst auch keine Roaming-Entgelte einnehmen würden, während für ihre Kunden an allen Ladeeinheiten Roaming-Entgelte anfallen würden.

[572] Im Übrigen erscheinen, als Ergebnis der Wettbewerbseinschränkungen im Segment der Elektromobilitätskunden, Rückwirkungen auf den wettbewerblich ausgestalteten Bereich um Haushaltskunden nicht ausgeschlossen. So könnten integrierte Stromlieferanten versuchen, ihre Marktmacht im Elektromobilitätssegment (z. B. über Bündelangebote) auch im Wettbewerb um Haushaltskunden zu nutzen.

Schließlich ist es bei einer Etablierung des Roaming-Modells möglich, dass sich mehrere Kooperationen bilden, innerhalb derer ein Roaming-Modell abgestimmt wird, während zwischen unterschiedlichen Kooperationen die hohen Kompatibilitätsbeschränkungen unverändert fortbestehen.[573] Für einen solchen Fall wäre zu überprüfen, ob durch zusätzliche Regelungen ein Zusammenschluss verschiedener Kooperationen erzwungen werden sollte.

VORTEILE

Die Vorteile einer Beibehaltung des Status quo liegen grundsätzlich darin, dass keine Änderung bestehender energiewirtschaftlicher Regelungen erforderlich ist. Somit werden Kosten für das Regeldesign sowie insbesondere Transaktionskosten der Umsetzung von Regeländerungen im politischen Prozess vermieden. Es ist jedoch anzumerken, dass auch bei der Etablierung eines Roaming-Modells in hohem Maße (Transaktions-)Kosten entstehen. So sind verschiedene Entscheidungen (wie z. B. bzgl. der Roaming-Entgelte) in horizontalen Beziehungen zwischen integrierten Stromlieferanten abzustimmen. Außerdem wären – wie oben dargestellt – ggf. Regulierungsmaßnahmen durch die öffentliche Hand zu etablieren. Die Anforderungen bzgl. der Standardisierung technischer Schnittstellen und Prozesse innerhalb des Roaming-Modells dürften dabei in etwa mit den Anforderungen des Durchleitungsmodells vergleichbar sein.[574] Somit erscheint die Vermeidung von Kosten bei einer Beibehaltung des Status quo unwahrscheinlich.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Nachteile des Roaming-Modells überwiegen. Von daher wird im folgenden Abschnitt auf die Umsetzung des Durchleitungsmodells fokussiert, wobei auch die mit einer Umsetzung einhergehenden Transaktionskosten detaillierter betrachtet werden.

7.2 Diskussion von Modellen zur Aufhebung der „Zwangsbündelung“ und Schaffung eines (diskriminierungsfreien) Durchleitungsmodells

Im Folgenden werden zunächst Umsetzungsoptionen für die Aufhebung der eins-zu-eins-Beziehung zwischen Stromlieferant und Netzanschluss dargestellt. Daran anschließend erfolgt ein Vergleich der Umsetzungsoptionen unter Berücksichtigung der mit den Änderungen einhergehenden Kosten. Zum Abschluss werden Handlungsempfehlungen dargestellt.

UMSETZUNGSOPTIONEN

Für eine Auflösung der Zuordnung eines Stromlieferanten zu einer Ladeeinheit (bzw. einem Netzanschluss) existieren zwei grundlegende Lösungen:

[573] Die in Abschnitt 6.2.2.3 dargestellten Überlegungen können hier analog angewendet werden.

[574] Vgl. für eine ähnliche Einschätzung LBD (2010, S. 32).

- **Beschleunigung bestehender Wechselprozesse**: Zunächst ist es denkbar, bestehende Wechselprozesse soweit zu automatisieren und zu beschleunigen, dass bei der Nutzung von Ladeinfrastruktur keine Wartezeiten durch einen Wechsel des Stromlieferanten entstehen. Dieses wäre beispielsweise durch eine automatisierte Weitergabe der Zählerstände und eine (automatisierte) Neuzuordnung der Messstelle zu dem entsprechenden Bilanzkreis durch den Verteilnetzbetreiber möglich.[575]

- **Etablierung „unechter" Zählpunkte**: Ohne eine Veränderung der Wechselprozesse könnten innerhalb des Abrechnungssystems (z. B. im Abrechnungsbackend) für jeden Stromlieferanten (der Strom an Elektromobilitätskunden liefern möchte) und jede Ladeeinheit (bzw. jeden Netzanschluss) ein „unechter" Zählpunkt geschaffen werden, der nur informationstechnisch existiert, aber nicht physisch. Diese Zählpunkte würden wie bisher den jeweiligen Bilanzkreisen zugeordnet. Zusätzlich wäre eine Zuordnung der Energiemengen der verschiedenen Nutzer eines Stromlieferanten notwendig, die ebenfalls innerhalb des Abrechnungsbackends erfolgen könnte.

Neben diesen Lösungen dürften potenziell eine Reihe weiterer Optionen existieren, die ggf. auch Elemente der beiden hier dargestellten Möglichkeiten enthalten.

VERGLEICH

Aufgrund der hohen Anzahl verschiedener Verteilnetzbetreiber im Bundesgebiet erscheint die zuerst genannte Lösungsmöglichkeit einer flächendeckenden Automatisierung der Wechselprozesse mit hohen Kosten verbunden. Demgegenüber könnten mit der Schaffung unechter Zählpunkte die bestehenden Prozesse von Verteilnetzbetreibern vermutlich weitestgehend unangetastet bleiben, wobei jedoch ein zusätzlicher Aufwand für die Schaffung und die Verwaltung einer höheren Anzahl an Zählpunkten entsteht.

Grundsätzlich wäre für beide Lösungen eine Schaffung einheitlicher Standards (für die Automatisierung der Wechselprozesse oder die Verarbeitung und Weitergabe von Messdaten) erforderlich. Bei einer isolierten Betrachtung der sich aus der Elektromobilität ergebenden Anforderungen erscheint dabei eine Schaffung unechter Zählpunkte über das Backend eines Ladeinfrastrukturnetzwerks mit geringeren Transaktionskosten einherzugehen, als die Änderung bestehender Systeme der Verteilnetzbetreiber.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Es bleibt festzuhalten, dass es möglich erscheint, auch ohne Anpassungen an den bestehenden Wechselprozessen die eins-zu-eins-Zuordnung von Stromlieferanten zu Ladeeinheiten aufzulösen und so eine Wahlmöglichkeit für Elektromobilitätskunden zu schaffen bzw. Wettbewerb zwischen

[575] Dabei wäre zu prüfen, inwiefern die nutzerbezogenen Abrechnungsinformationen ebenfalls von Verteilnetzbetreibern an Stromlieferanten weitergeleitet werden können.

Stromlieferanten um Elektromobilitätskunden zu etablieren. Ein derartiges Modell hätte große Ähnlichkeit mit dem aus dem Bereich der Elektrizitätsnetze bekanntem Durchleitungsmodell, welches jedem Netznutzer einen diskriminierungsfreien Zugang zu den Netzen gewährleistet.

Für eine Umsetzung wären durch die öffentliche Hand auf der Bundesebene (die hier annahmegemäß die Bereitstellungsentscheidungen trifft) entsprechende Standards festzulegen. Dabei wäre evtl. auch eine Vorschrift zu einer verpflichtenden organisatorischen Trennung (im Sinne eines sog. „Legal Unbundling“) oder sogar einer eigentumsrechtlichen Trennung (sog. „Ownership Unbundling“) der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers und der des Stromlieferanten zu prüfen. Unter der Annahme, dass überregional einheitliche Entgelte (Tarifkataloge) für die Nutzung von Ladeinfrastruktur festgelegt werden und für Stromlieferanten keine zusätzlichen Entgelte anfallen, erscheint bei vordergründiger Betrachtung zumindest ein „Ownership Unbundling“ nicht nötig.

In Bezug auf die Etablierung erweiterter Anwendungsfälle kann festgehalten werden, dass eine Umsetzung von beeinflusstem Laden bzw. die Etablierung variabler Tarife in diesem Modell ohne wesentliche weitere Erfordernisse möglich erscheint. Für die Umsetzung von gesteuertem Laden wären (über die hier betrachteten Bereiche hinausgehende) flächendeckende Standards (aufgrund der erweiterten Kommunikationserfordernisse) zu etablieren.[576]

7.3 Fazit

Es lässt sich festhalten, dass die Etablierung des Durchleitungsmodells vorteilhaft erscheint. Die bestehende Alternative eines Roaming-Modells ist insbesondere in Bezug auf die Umsetzung erweiterter Anwendungsfälle problematisch und geht mit (Transaktions-)Kosten in zumindest ähnlicher Höhe einher, wenn ein (aus Nutzersicht) mit dem Durchleitungsmodell vergleichbares (kompatibles) Angebot etabliert werden soll. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird von einer Aufhebung der „Zwangsbündelung“ und somit von grundsätzlich separaten Rollen (Ladeinfrastrukturbetreiber und Stromlieferant) ausgegangen. Dabei wird auch eine separate Bepreisung des Stroms und des Ladeinfrastrukturnetzwerks unterstellt.

[576] Siehe dazu ausführlich Abschnitt 8.1.1.

8 Abstimmung von Entscheidungen in komplementären Beziehungen

Innerhalb dieses Kapitels wird auf (Bereitstellungs-)Entscheidungen der Angebotsvorbereitungsphase,[577] die in komplementären Beziehungen (zwischen verschiedenen Rollen) abzustimmen sind, fokussiert.[578] Dabei wird zum einen diskutiert, welche Entscheidungen hinsichtlich einer effizienten Bereitstellung des Gesamtsystems vorteilhaft erscheinen. Zum anderen wird untersucht, inwieweit eine diesbezügliche Einflussnahme der öffentlichen Hand vorteilhaft oder notwendig ist.

In Abschnitt 8.1 wird zunächst auf Kompatibilitätsentscheidungen mit Bezug zu Kommunikations- und Energieflusserfordernissen eingegangen. In Abschnitt 8.2 stehen die Bereitstellungsentscheidungen hinsichtlich der räumlichen Verteilung, der Kapazität sowie der Investitionszeitpunkte im Zentrum der Analyse. Abschnitt 8.3 behandelt die Abstimmung der Bepreisung in komplementären Beziehungen und geht in diesem Zusammenhang auch auf die Festlegung von Regeln für die Parkraumnutzung ein. In Abschnitt 8.4 wird kurz die Ausgestaltung von Beziehungen zum Nutzer behandelt, bevor in Abschnitt 8.5 ein Fazit gezogen wird.

8.1 Kompatibilitätsentscheidungen

Die innerhalb dieses Abschnitts betrachteten Kompatibilitätsentscheidungen betreffen die Auswahl bzw. Festlegung von Standards für Schnittstellen zwischen zentralen Gütern des Gesamtsystems der Elektromobilität, die durch verschiedene Rollen bereitgestellt werden. Dabei werden Entscheidungen, die das grundlegende Systemdesign betreffen, hier ausgeklammert.[579]

Zunächst wird in Abschnitt 8.1.1 auf den Bereich der Kommunikation fokussiert. Dabei wird insbesondere untersucht, welche Entscheidungen für eine Umsetzung verschiedener Anwendungsfälle abzustimmen sind. Daran anschließend wird in Abschnitt 8.1.2 auf die Abstimmung von Entscheidungen bzgl. der Ausgestaltung (physischer) Schnittstellen für die Energieübertragung eingegangen.

8.1.1 Kommunikation

Die Anforderungen an die Kommunikation zwischen verschiedenen Gütern bzw. Subsystemen im Gesamtsystem der Elektromobilität sind, wie in Abschnitt 3.4.1.3 ausführlich erläutert, in hohem Maße

---

[577] Vgl. Abschnitt 4.2.3.2 für eine allgemeine Darstellung der Koordinationsbereiche der Angebotsvorbereitungsphase. Entscheidungen bzgl. des grundlegenden Systemdesigns werden ausgeklammert, da hier die annahmegemäßen Voreinstellungen (vgl. Abschnitt 3.4.3) gelten.

[578] Die Beziehung zwischen Ladeinfrastrukturbetreiber und Stromlieferant wird nicht tiefergehend betrachtet, da diese bereits im vorhergehenden Kapitel 7 thematisiert wurde.

[579] Diesbezüglich sind die in Abschnitt 3.4.3 dargestellten Annahmen von Bedeutung; vgl. auch Abschnitt 5.3.

von dem unterstellten Anwendungsfall abhängig. So sind (unter der hier getroffenen Annahme einer stellplatzseitigen Verortung des Meters) für alle Anwendungsfälle Informationen zwischen Ladeeinheiten und (Abrechnungs- oder Steuerungs-)Backend sowie dem energiewirtschaftlichen System zu übermitteln.[580] Bei gesteuertem Laden sind außerdem Informationen mit dem Fahrzeug auszutauschen. Für beeinflusstes Laden wären Nutzer über den (ggf. dynamisch angepassten) variablen Tarif zu informieren,[581] was beispielsweise über das Internet und entsprechende Endgeräte oder über eine separate Nutzerschnittstelle problemlos möglich ist und daher im Folgenden nicht näher betrachtet wird.

Im folgenden Abschnitt 8.1.1.1 werden zunächst Optionen für die Ausgestaltung der Kommunikation zwischen Ladeeinheiten, dem Backend sowie dem energiewirtschaftlichen System diskutiert, wobei mögliche Verteilnetzengpässe und Abstimmungen mit dem Netzbetreiber noch ausgeklammert werden. Daran anschließend wird in Abschnitt 8.1.1.2 auf die Kommunikation mit dem Fahrzeug fokussiert. In Abschnitt 8.1.1.3 wird dann im Rahmen eines Exkurses die Berücksichtigung potenzieller Engpässe im Verteilnetz diskutiert. In Abschnitt 8.1.1.4 wird ein Fazit gezogen.

8.1.1.1 Kommunikation zwischen Ladeeinheiten und Backend sowie energiewirtschaftlichen Rollen

In Abhängigkeit des unterstellten Anwendungsfalles sind verschiedene Informationen (in standardisierter Form) zwischen den Ladeeinheiten, dem Backend sowie dem Stromlieferanten und dem Verteilnetzbetreiber auszutauschen.[582] So sind (je nach Ausgestaltung der Umsetzung eines Durchleitungsmodells) die für die Abrechnung von elektrischem Strom erforderlichen Informationen an Verteilnetzbetreiber sowie, in Abhängigkeit der Umsetzungsoption (z. B. über „unechte Zählpunkte“) an Stromlieferanten zu übertragen.[583] Darüber hinaus können für gesteuertes Laden ggf. weitere Kommunikationserfordernisse bestehen.[584]

Es lassen sich zwei grundlegende Möglichkeiten für die Etablierung einheitlicher Kommunikationsstandards zwischen Ladeinfrastruktursystem und energiewirtschaftlichem System unterscheiden:

- **„Über-Backend“**: Zum einen könnten verschiedene Ladeinfrastrukturbetreiber unterschiedliche (ggf. proprietäre) Standards verwenden, auf denen dann ein offener

[580] Innerhalb dieses Kapitels wird im Folgenden allgemein von einem Backend ausgegangen.

[581] Vgl. Abschnitt 2.1.3.1 für verschiedene Ausgestaltungsoptionen variabler Tarife.

[582] Vgl. Abschnitt 3.4.1.3.

[583] Vgl. für mögliche Umsetzungsoptionen Abschnitt 7.2. Die Weiterleitung von Abrechnungsinformationen im System der elektrischen Energieversorgung wird grundsätzlich durch einen MSB / MDL durchgeführt, ist hier jedoch der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers zugeordnet; vgl. Abschnitt 5.2.2.1.

[584] Diese sind auch davon abhängig, ob die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Stromlieferant über das Ladeinfrastruktursystem oder separat erfolgt; vgl. Abschnitt 3.4.1.3.2.

Standard für die Kommunikation zu anderen Rollen aufgesetzt wird. Dieser stellt dann gewissermaßen ein „Über-Backend“ dar.

- **„Tiefergehende Standardisierung“**: Zum anderen könnte ein offener und überregional einheitlicher Kommunikationsstandard etabliert werden, der direkt an den Ladeeinheiten aufsetzt.

Bei der Option des „Über-Backends“ wären durch Ladeinfrastrukturbetreiber eigene Standards zu entwickeln oder vorhandene Standards auszuwählen.[585] Außerdem besteht für die Etablierung der übergeordneten Standards ein Abstimmungserfordernis zwischen Ladeinfrastrukturbetreibern und den Rollen des energiewirtschaftlichen Systems. Hinsichtlich der Alternative einer tiefergehenden Standardisierung kann davon ausgegangen werden, dass die Abstimmungserfordernisse gegenüber der Option des „Über-Backends“ noch zunehmen. Allerdings würde sich die Komplexität der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers reduzieren.

Vor dem Hintergrund der Vielzahl beteiligter Akteure mit z. T. divergierenden Interessen erscheint eine erfolgreiche Abstimmung jedoch in beiden Fällen grundsätzlich fraglich, sodass vermutlich eine Festlegung durch die öffentliche Hand erforderlich ist.[586] Welche der genannten Optionen dabei verfolgt werden sollte, kann an dieser Stelle nicht abschließend beantwortet werden.

8.1.1.2 Kommunikation zwischen Stromlieferant und Fahrzeug (über das Ladeinfrastruktursystem)

Für die Umsetzung des Anwendungsfalles „gesteuertes Laden“ sind Informationen zwischen Fahrzeug bzw. dem Batteriemanagementsystem und Stromlieferant (der die Aufgabe des Optimierungsagenten innehat) auszutauschen.[587] Somit sind Abstimmungen mit der Rolle des Fahrzeugherstellers erforderlich, da dieser (annahmegemäß) auch die Bereitstellung der Batterie verantwortet.[588] Dabei sind technische Kommunikationsschnittstellen (in Abhängigkeit des Kommunikationsweges) und Datenformate sowie zum anderen Steuerungsprozesse bzw. -verfahren zu standardisieren. Im Folgenden werden beide Bereiche kurz separat betrachtet und anschließend Schlussfolgerungen dargestellt.

[585] Siehe Anhang B 2.2 für eine kurze Darstellung von Informationen bzgl. vorhandener Standards in diesem Bereich.

[586] Dieses ist auch dadurch begründet, dass private Unternehmen in der Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers, die gleichzeitig auch Stromlieferanten sind, Anreize haben können, die Schnittstelle proprietär auszugestalten, um eine Steuerung über eigene Ladeeinheiten durch Wettbewerber auszuschließen.

[587] Vgl. Abschnitt 3.4.1.3.1.

[588] Vgl. Abschnitt 2.1.1.2 sowie Abschnitt 5.2.1.1.

ETABLIERUNG VON TECHNISCHEN KOMMUNIKATIONSSCHNITTSTELLEN

Im Bereich der technischen Kommunikationsschnittstellen ist zunächst eine Festlegung bzgl. des Kommunikationsweges erforderlich. Darauf aufbauend können dann Schnittstellenstandards ausgewählt werden.

Hinsichtlich des Kommunikationsweges bestehen dabei zwei Optionen.[589] Zum einen könnte ein Kommunikationsstandard für die Informationsübertragung zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit etabliert werden. Von der Ladeeinheit ließen sich die Daten dann weiter in Richtung Backend übertragen. Alternativ könnten die Informationen direkt vom Fahrzeug zum Backend übertragen werden. Beide Wege erscheinen grundsätzlich möglich, wobei ggf. Unterschiede bzgl. der Qualität und der (Produktions-)Kosten bestehen, die hier nicht näher untersucht werden können.

In Bezug auf die Auswahl von Schnittstellenstandards scheinen für beide Kommunikationswege grundlegende Standards zu existieren, die sich für eine Anwendung im Bereich der Elektromobilität eignen.[590] Für den Austausch von Informationen (z. B. batteriebezogene Energie- und Leistungsinformationen) sind außerdem Datenformate zu standardisieren, was ebenfalls unproblematisch erscheint.

ETABLIERUNG VON STEUERUNGSVERFAHREN

Neben der Standardisierung von technischen Kommunikationsschnittstellen sind Verfahren für die Steuerung selbst zu etablieren. Dabei ist von Bedeutung, dass das Ladeprofil Einfluss auf den Batterieverschleiß haben kann.[591] Somit besteht die Möglichkeit, dass eine Steuerung des Ladevorgangs (bzw. Änderung des Ladeprofils) bereits bei einem monodirektionalen Energiefluss mit fahrzeugseitigen Kosten aufgrund eines höheren Batterieverschleißes einhergeht. Es erscheint jedoch wahrscheinlich, dass diese Kosten verhindert werden können, wenn die Steuerung entsprechend auf die Batterie bzw. auf das Ladeprofil abgestimmt erfolgt. Bei einer Rückspeisung elektrischer Energie in das Stromnetz ist hingegen grundsätzlich von einem Batterieverschleiß auszugehen, der jedoch durch geeignete Steuerungsmechanismen verringert werden kann. Vor diesem Hintergrund bestehen bzgl. der Steuerungsverfahren Abstimmungserfordernisse zwischen der Rolle des Fahrzeugherstellers und der des Stromlieferanten.

In Bezug auf die Etablierung offener Standards ist dabei zu hinterfragen, inwieweit sich die aus den Eigenschaften der Batterien ergebenden Anforderungen mit einheitlichen Steuerungsverfahren erfüllen lassen. Vor dem Hintergrund der Vielzahl an Materialkombinationen, die innerhalb der Gruppe der Li-Ion-Batterien zur Anwendung kommen, kann davon ausgegangen werden, dass ebenso eine Vielzahl möglicher Ladeprofile bzw. Entladeprofile existiert, die den Verschleiß (in Abhängigkeit des

[589] Vgl. Abschnitt 3.4.1.3.

[590] Für den Kommunikationsweg über die Ladeeinheit ist ein Standardisierungsverfahren (ISO/IEC 15118) bereits weit vorangeschritten; siehe hierzu auch Anhang B.2.

[591] Vgl. Abschnitt 2.1.1.1.

jeweiligen Ladeverfahrens) minimieren. Die Herausforderung einer Standardisierung würde somit entsprechend darin bestehen, diese Ladeprofile mit Informationen bzgl. möglicher Freiheitsgrade für eine Steuerung zu kombinieren. Die Steuerung der Ladung dürfte dann nur innerhalb dieser Flexibilität (sowie unter Berücksichtigung der Nutzerpräferenzen) erfolgen.

Im Ergebnis erscheint es fraglich, inwieweit sich Steuerungsverfahren (einheitlich) standardisieren lassen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Hinsichtlich der Etablierung von technischen Kommunikationsschnittstellen ist deutlich geworden, dass die Etablierung einheitlicher, offener Standards möglich erscheint. Jedoch besteht in Bezug auf die Standardisierung von Steuerungsverfahren eine Unsicherheit, die nur im Rahmen weitergehender Analysen aufgelöst werden kann.

Im Folgenden wird zunächst unterstellt, dass für beide Bereiche offene Standards geschaffen werden können. Unter dieser Annahme ist zu hinterfragen, ob es ohne einen Eingriff der öffentlichen Hand zu einer Etablierung eines offenen Standards kommt, wobei insbesondere die Interessen der Fahrzeughersteller von Bedeutung sind. Diese könnten ggf. Anreize haben, durch die Verwendung proprietärer Standards den Grad der Kompatibilität mit Stromlieferanten zu kontrollieren, um an mit einer Steuerung potenziell erzielbaren Renten zu partizipieren. Somit kann bezweifelt werden, dass Fahrzeughersteller offene Standards herbeiführen.

Unter der Annahme, dass Fahrzeughersteller proprietäre Standards verwenden, ist des Weiteren zu hinterfragen, inwiefern damit Nachteile einhergehen. Dabei bestehen hinsichtlich der Umsetzung des Anwendungsfalles „gesteuertes Laden“ zwei Möglichkeiten.

- **Integration**: Fahrzeughersteller könnten die Steuerung der eigenen Fahrzeugflotte selbst übernehmen und somit auch die Rolle eines (steuernden) Stromlieferanten einnehmen.[592]
- **Kooperation**: Es könnte zu Kooperationen zwischen Fahrzeugherstellern und Stromlieferanten kommen, die die Möglichkeit der Steuerung auf Kooperationspartner begrenzen.

In beiden Fällen würde die Wahlfreiheit der Nutzer hinsichtlich des steuernden Stromlieferanten durch den Fahrzeughersteller eingeschränkt, was mit einem (verstärkten) Lock-In-Effekt einhergeht. Dieses könnte zum einen dazu führen, dass sich Fahrzeughersteller Renten (über die Durchsetzung höherer

[592] Das Geschäftsmodell des Unternehmens Better Place, welches Batteriewechselstationen, die Batterie sowie die Batterieladung (elektrischen Strom) anbietet, weist einen ähnlichen Charakter auf. Durch die Wechselbatterie wird dabei die hier relevante Schnittstelle zum Fahrzeug in eine Schnittstelle zur Batterie umgewandelt. Better Place stellt dabei sowohl die Batterie als auch den elektrischen Strom bereit und füllt damit (z. T.) beide Rollen aus.

Preise) aneignen.[593] Zum anderen könnten Nutzer auch auf die Vorteile einer Steuerung verzichten. Somit bestehen im Vergleich zur Etablierung offener Standards Nachteile, sodass die öffentliche Hand auf die Etablierung eines offenen Standards hinwirken sollte. Dabei könnten die Möglichkeiten, dass Fahrzeughersteller auch die Rolle des (steuernden) Stromlieferanten einnehmen oder mit Stromlieferanten kooperieren, erhalten bleiben. Jedoch sollten Nutzer grundsätzlich auch andere Stromlieferanten auswählen können.[594]

Unter der Annahme, dass die Schaffung offener Standards für die Kommunikation zwischen Stromlieferant und Fahrzeug nicht möglich ist, wäre zu prüfen, ob die sich aus den Lock-In-Effekten ergebenden Nachteile sinnvoll eingeschränkt werden können. Alternativ könnte auf die Möglichkeit der Steuerung verzichtet werden.

8.1.1.3 Exkurs: Berücksichtigung von Netzengpässen

In den vorhergehenden Abschnitten 8.1.1.1 und 8.1.1.2 blieben potenzielle Engpässe im Verteilnetz unberücksichtigt. Für den Fall, dass Netzengpässe auftreten, wären jedoch grundsätzlich Mechanismen zur Allokation (knapper) Kapazitäten auf verschiedene Netznutzer notwendig. Als Mechanismen könnten z. B. Auktionen, Listenpreise sowie auch Verlosungen in Erwägung gezogen werden, wobei insbesondere bei Listenpreisen fraglich ist, inwiefern derartige Anreize die beabsichtigte Wirkung im Einzelfall auch erzielen können.

Vermutlich wäre vorgelagert zu diskutieren, ob und in welchem Ausmaß die Netzkapazität, die durch Elektromobilitätskunden genutzt werden darf, begrenzt wird. Dieses könnte vorteilhaft sein, da sich damit die in diesem Kontext anfallenden Probleme und Transaktionskosten auf Engpässe, die im Kontext der (neu eingeführten) Elektromobilität anfallen, konzentrieren. Dabei würden andere Bereiche, in denen elektrische Energie genutzt wird und in denen Nutzer in der Vergangenheit im Vertrauen auf ausreichende Netzkapazität ggf. spezifisch investiert haben, von den Problemen infolge der Einführung der Elektromobilität verschont bleiben.

8.1.1.4 Fazit

Wesentliche Voraussetzung für eine (effiziente) Umsetzung der verschiedenen Anwendungsfälle ist eine Schaffung einheitlicher Kommunikationsstandards. Dabei ist für alle Anwendungsfälle eine Kommunikation zwischen Ladeeinheiten, Backend und dem energiewirtschaftlichen System erforderlich. Für gesteuertes Laden sind außerdem Schnittstellen zum Fahrzeug auszugestalten, wobei hier vertieft zu analysieren ist, ob und in welcher Form eine einheitliche Standardisierung möglich ist. Vor diesem Hintergrund bestehen z. T. umfangreiche Abstimmungserfordernisse, die in

[593] Vgl. zu möglichen Rentenverschiebungen als Folge von Lock-In-Effekten auch Abschnitt 6.2.2.1.

[594] In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass die Kosten einer Steuerung (ex post) insbesondere in einem möglichen Batterieverschleiß liegen und damit auch von den Nutzern bzw. Eigentümern (der Batterie) getragen werden.

Verbindung mit potenziell divergierenden Interessen der Akteure eine erfolgreiche Etablierung einheitlicher Standards fraglich erscheinen lassen. Eine zentrale Festlegung von Standards durch die öffentliche Hand erscheint daher vorteilhaft und würde insbesondere zu einer Vermeidung von Transaktionskosten beitragen.

8.1.2 Energieübertragung

Für die Herstellung von Kompatibilität hinsichtlich der Energieübertragung sind Abstimmungen zwischen dem Ladeinfrastrukturbetreiber sowie dem Fahrzeughersteller erforderlich, da an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit noch keine einheitlichen Standards etabliert sind. Auf diese Beziehung wird im Folgenden Abschnitt 8.1.2.1 fokussiert. Außerdem sind ggf. Entscheidungen zwischen dem Ladeinfrastrukturbetreiber und dem Verteilnetzbetreiber abzustimmen, worauf in Abschnitt 8.1.2.2 kurz eingegangen wird.

8.1.2.1 Schnittstelle zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeug

Für die Umsetzung der hier angenommenen (untereinander grundsätzlich kompatiblen) Ladeverfahren AC 1 und AC 3 können verschiedene technische Schnittstellenstandards (insbesondere Stecker und Kabel) von den beteiligten Rollen ausgewählt werden.[595]

Diesbezüglich kann angenommen werden, dass Fahrzeughersteller grundsätzlich Anreize haben, die von ihnen angebotenen Fahrzeuge kompatibel mit dem öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerk auszugestalten, da die Zahlungsbereitschaft der Nutzer u. a. aufgrund von Mobilitätsoptionen durch die Möglichkeit des Zugangs zu einem solchen Netzwerk steigt. Dabei erscheint es möglich, dass Hersteller die Fahrzeuge in einer Basisversion lediglich mit einem AC 1-Stromrichter ausstatten, mit dem auch an AC 3-Ladeeinheiten nur eine Phase genutzt werden kann und das schnellere Ladeverfahren (AC 3) als Sonderausstattung optional anbieten.[596] Eine solche Angebotsstrategie könnte auf der einen Seite die von den Nutzern zu tragenden Kosten für Nutzergruppen senken, die keinen Nutzen aus einer schnelleren Lademöglichkeit ziehen. Zum anderen können aber auch Nutzungsrivalitäten in einem (AC 3) Ladeinfrastruktursystem verstärkt werden, da sich Ladezeiten verlängern. Daher ist zu hinterfragen, ob Vorgaben der öffentlichen Hand bzgl. der fahrzeugseitigen Ausstattung ggf. vorteilhaft sind. Eine entsprechende Diskussion erfolgt in Abschnitt 9.1.1 unter der Berücksichtigung weiterer Ladeverfahren.

Es ist außerdem darauf hinzuweisen, dass für die Möglichkeit der Rückspeisung ebenfalls fahrzeugseitige Vorkehrungen getroffen werden müssen, wie insbesondere die Verwendung eines geeigneten Stromrichters (bzw. Inverters).[597] Diesbezüglich wäre, analog zur Etablierung von

[595] Vgl. Anhang B 1 für eine Darstellung verschiedener Standards im Bereich konduktiver Energieübertragung.

[596] Vgl. Abschnitt 3.4.1.2.2.4 für eine Darstellung von Aufwärts- und Abwärtskompatibilität unterschiedlicher Ladeverfahren.

[597] Vgl. Abschnitt 3.4.1.1.

Kommunikationsschnittstellen, zu hinterfragen, inwieweit Fahrzeugsteller Anreize haben, entsprechende Standards zu etablieren.[598]

8.1.2.2 Anschluss an das Verteilnetz

Für die Energieübertragung zwischen Elektrizitätsverteilnetz und Ladeeinheiten ist ein Netzanschluss erforderlich. Unter den hier geltenden Annahmen (wie insbesondere der Verortung eines Meters in der Ladeeinheit) ist die Herstellung eines Netzanschlusses im Rahmen der energiewirtschaftlichen Regelungen hochgradig standardisiert.[599] Insofern besteht kein relevanter Abstimmungsbedarf hinsichtlich der Energieübertragung zwischen Netzbetreiber und Ladeinfrastrukturbetreiber.

Bei (hier nicht betrachteten) Ladeverfahren, die höhere Leistungen vorsehen, kann sich jedoch ein Ausbaubedarf im Verteilnetz ergeben. Außerdem sind ggf. Baukostenzuschüsse für die Herstellung eines Netzanschlusses an den Netzbetreiber zu entrichten.[600]

8.2 Räumliche Verteilung, Kapazität und Investitionszeitpunkte

Innerhalb dieses Abschnitts wird auf die Abstimmung von Entscheidungen in komplementären Beziehungen hinsichtlich der räumlichen Verteilung (und der damit in Verbindung stehenden Kapazität) sowie hinsichtlich der Investitionszeitpunkte fokussiert. Dabei werden die Abstimmungen von Investitionszeitpunkten und der überregionalen räumlichen Verteilung im folgenden Abschnitt 8.2.1 gemeinsam behandelt, da die Abstimmungserfordernisse der beiden Bereiche wesentliche Interdependenzen aufweisen. Anschließend wird in Abschnitt 8.2.2 auf die lokale Verortung eingegangen.

8.2.1 Investitionszeitpunkte und überregionale räumliche Abdeckung

Im folgenden Abschnitt 8.2.1.1 wird zunächst auf die Abstimmung von Entscheidungen bzgl. der Bereitstellung von Fahrzeugen und dem Ladeinfrastrukturnetzwerk fokussiert. Anschließend wird kurz auf Abstimmungserfordernisse mit Rollen im energiewirtschaftlichen System eingegangen.

8.2.1.1 Abstimmung mit dem Fahrzeughersteller

Hinsichtlich der zeitlichen Investitionsentscheidung ist zum einen das bereits in Abschnitt 6.3 mit Bezug zur Frage einer Subventionierung des Ladeinfrastrukturnetzwerks thematisierte „Henne-Ei-Problem“ zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeugen von Bedeutung.[601] Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass ein öffentlich zugängliches, räumlich abdeckendes Ladeinfrastrukturnetzwerk

[598] Vgl. hierzu Abschnitt 8.1.1.2.

[599] Vgl. Abschnitt 2.3.1.2.

[600] Vgl. Abschnitt 3.4.1.2.2.2.

[601] Vgl. auch Abschnitt 4.3.1.2 für eine allgemeine Beschreibung des „Henne-Ei-Problems“.

(bei einer stark zusammenfassenden Betrachtung) die Zahlungsbereitschaft für elektrische Reichweite und somit die Zahlungsbereitschaft für reine Batteriefahrzeuge gegenüber Hybridfahrzeugen erhöhen dürfte.[602] Somit hat sowohl der Zeitpunkt der Bereitstellung eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks bzw. die Entscheidung, ob eine Bereitstellung erfolgt, als auch die Ausgestaltung dieses Netzwerks (insbesondere die räumliche Verteilung und Dichte) eine Interdependenz mit Entscheidungen der Fahrzeughersteller bzgl. der elektrischen Reichweite der Fahrzeuge.[603]

Unter der hier geltenden Annahme einer zentralen Planung durch die öffentliche Hand ist sowohl die Bereitstellung des Systems als auch eine signifikante räumliche Abdeckung gewährleistet.[604] Daher werden hier annahmegemäß das „Henne-Ei-Problem“ gelöst und Anreize für den Kauf von Elektrofahrzeugen mit höherer elektrischer Reichweite gesetzt. Somit ließe sich grundsätzlich davon ausgehen, dass bei Fahrzeugherstellern Anreize vorliegen, entsprechende Fahrzeuge bereitzustellen, wenn die Zahlungsbereitschaft der Nutzer (inkl. eventueller Subventionen der öffentlichen Hand) die Kosten überschreitet. Im Übrigen könnte jedoch auch unterstellt werden, dass in Abhängigkeit der Wettbewerbsposition bedeutender Hersteller im Bereich konventioneller Antriebe ggf. Anreize zu einer verzögerten Bereitstellung von (reinen) Elektrofahrzeugen vorliegen. In diesem Fall wären zusätzliche Regelungen zwischen Herstellern und der öffentlichen Hand zu prüfen.

Ohne eine zentrale Planung der räumlichen Verteilung sowie der Investitionszeitpunkte für das Ladeinfrastrukturnetzwerk dürften Abstimmungen zwischen verschiedenen Ladeinfrastrukturbetreibern und Fahrzeugherstellern mit (vermutlich prohibitiv) hohen Transaktionskosten einhergehen. Dabei dürften die Interessen der Fahrzeughersteller auch durch ihre jeweilige Wettbewerbsposition im Bereich konventioneller Antriebe beeinflusst sein.

8.2.1.2 Abstimmung mit Rollen des energiewirtschaftlichen Systems

Mit einer zunehmenden Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen nehmen bei ungesteuerten Ladeverfahren die Wahrscheinlichkeit von Engpässen im Verteilnetz sowie die Wahrscheinlichkeit einer steigenden Spitzenlast zu.[605] Von daher wären unter der Annahme ungesteuerter Ladeverfahren ggf. Kapazitätsanpassungen im Netzbereich sowie im Erzeugungsbereich notwendig. Somit besteht ein Optimierungsproblem zwischen Investitionen in den Kapazitätsausbau im energiewirtschaftlichen System und Investitionen in die Etablierung von Steuerungsmechanismen, wobei diese Thematik in

[602] Vgl. für eine ausführlichere Diskussion dieses Zusammenhangs Abschnitt 3.3.2.

[603] Vgl. Abschnitt 2.1.1.2.

[604] Vgl. Abschnitt 6.4.

[605] Vgl. Abschnitt 2.3.1.2.

den (größeren) Kontext der Veränderung energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen bzw. der „Energiewende“ einzuordnen ist und daher hier nicht vertieft betrachtet wird.[606]

8.2.2 Lokale Verortung

Im Bereich der lokalen Verortung von Ladeinfrastruktur ist insbesondere lokales Know-how hinsichtlich der Festlegung von Standorten sowie hinsichtlich der Einbindung des Elektromobilitätssystems in Parkraum- und Verkehrskonzepte von Bedeutung. Dabei sind Abstimmungen mit der Kommune erforderlich, die im folgenden Abschnitt 8.2.2.1 behandelt werden. Auch das Know-how des lokalen Verteilnetzbetreibers sollte bei der Verortung einbezogen werden, was im anschließenden Abschnitt 8.2.2.2 kurz thematisiert wird.

8.2.2.1 Abstimmung mit der Kommune

Die Kommune ist im Bereich öffentlicher Ladeinfrastruktur hinsichtlich des Angebots von lokalem Parkraum sowie hinsichtlich der Erstellung lokaler Parkraum- und Verkehrskonzepte von Bedeutung. Dabei kommt der Kommune bei öffentlicher Ladeinfrastruktur (durch die Notwendigkeit einer Sondernutzungserlaubnis) i. d. R eine Entscheidung über die Nutzung von Flächen, wie insbesondere von bestehenden Stellplätzen, für den Aufbau von Ladeeinheiten zu.[607] Somit liegt die Verantwortung über die lokale Verortung grundsätzlich bei der Kommune,[608] was mit der im Rahmen von Abschnitt 6.2.1 identifizierten Vorteilhaftigkeit einer dezentralen Zuordnung dieser Aufgabe übereinstimmt.

Unter Berücksichtigung lokaler Belange sowie lokaler Parkraum- und Verkehrskonzepte erscheint es vorteilhaft, über Standorte für Ladeeinheiten im Rahmen einer gesamthaften (lokalen) Feinplanung zu entscheiden, die entsprechende Interdependenzen bzw. lokale Belange und Besonderheiten berücksichtigt. Außerdem sollten ggf. bestehende Synergien aufgrund gleichzeitig anstehender Investitionen im Straßenraum berücksichtigt werden.[609] Für die Durchführung dieser Planung sind Know-how aus den verschiedenen Bereichen sowie Ressourcen für die Erstellung der Pläne notwendig. Dabei kann die Durchführung der Planung entweder durch die Kommune selbst oder durch andere Akteure erfolgen. Es erscheint aber in jedem Fall eine (enge) Abstimmung der Planung mit der Kommune notwendig, wodurch potenziell Transaktionskosten entstehen.

Hinsichtlich der bestehenden Praxis der Erteilung von Sondernutzungserlaubnissen kann an dieser Stelle angemerkt werden, dass die Genehmigung einer Vielzahl von Standorten, die durch einen

---

[606] Es sei jedoch angemerkt, dass mit einer steigenden Rationalität einer Etablierung von Steuerungsmöglichkeiten auch die Vorteile des in Kapitel 7 thematisierten Durchleitungsmodells zunehmen; vgl. dazu insbesondere Abschnitt 7.1.

[607] Der Betrieb von Ladeeinheiten im öffentlichen Straßenraum stellt eine erlaubnispflichtige Sondernutzung dar, die über den Gemeingebrauch hinausgeht; vgl. BECKERS ET AL. (2011, S. 44) sowie GAUGGEL (2011, S. 254). Die Erteilung von Sondernutzungserlaubnissen ist dabei in den verschiedenen Landesgesetzen geregelt.

[608] Wenn die Kommune nicht Trägerin der Straßenbaulast ist, kann die Erteilung einer Nutzungserlaubnis durch andere Träger der Straßenbaulast (Land oder Bund) erforderlich sein; vgl. Abschnitt 3.1.

[609] Ähnliches gilt für die im folgenden Abschnitt behandelte Abstimmung mit dem Netzbetreiber.

gesamthaften Plan beschrieben sind, vermutlich effizienter im Rahmen der Vergabe der Leistungserstellung, z. B. über eine Konzession, erfolgen kann.[610]

8.2.2.2 Abstimmung mit dem Netzbetreiber

Im Bereich der lokalen Verortung erscheinen Abstimmungen mit dem Verteilnetzbetreiber aufgrund lokal spezifischer Gegebenheiten, wie beispielsweise der genauen Lage von Niederspannungskabeln oder der lokalen Kapazitätsauslastung, notwendig. Außerdem besteht auch hier die Möglichkeit, evtl. anfallende Investitionen in das Verteilnetz mit dem Aufbau von Ladeeinheiten zu synchronisieren, um Kosten zu sparen.

Insofern entstehen bei der lokalen Verortung weitere Transaktionskosten für die Abstimmung mit dem Netzbetreiber. Vor diesem Hintergrund könnte eine Durchführung der entsprechenden Planungen durch den Verteilnetzbetreiber vorteilhaft sein. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass weiteres spezifisches Know-how, wie insbesondere aus dem Verkehrsbereich, für die Planung notwendig ist. Unabhängig von der Aufgabe der lokalen Verortung könnte aber auch eine Leistungserstellung durch den Verteilnetzbetreiber in Erwägung gezogen werden. Gewisse Freiheitsgrade bei der zeitlichen Investitionsdurchführung und der exakten Verortung der Ladeeinheiten (z. B. die Wahl der Straßenseite) vorausgesetzt, erscheint es dabei grundsätzlich möglich, Synergien einfacher zu realisieren und Transaktionskosten zu senken.

8.3 Bepreisung

Im Folgenden wird auf die Bepreisung im Gesamtsystem der Elektromobilität eingegangen. In Abschnitt 8.3.1 wird zunächst kurz die angenommene Bepreisung des Ladeinfrastrukturnetzwerks auf Basis der Analysen in Kapitel 6 dargestellt. Anschließend wird in Abschnitt 8.3.2 die Bepreisung komplementärer Güter diskutiert. In Abschnitt 8.3.3 werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Fazit gezogen.

8.3.1 Bepreisung des Ladeinfrastrukturnetzwerks

Im Zusammenhang mit einer Planung von Bereitstellungsentscheidungen durch die öffentliche Hand wurden bereits im Rahmen von Kapitel 6 Überlegungen zu einer effizienten Ausgestaltung der Bepreisung dargestellt.[611] Diese werden im Folgenden kurz zusammengefasst:

- **Etablierung eines überregional einheitlichen Tarifkatalogs:** Es sollte ein überregional einheitliches Tarifmodell zur Anwendung kommen, das eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher (standortbezogener Tarife) vorsieht. Dabei sollten vergleichbare Standorte den gleichen Tarif erhalten.

[610] Vgl. hierzu auch BECKERS ET AL. (2011, S. 45).

[611] Vgl. dazu insbesondere Abschnitt 6.1.2 sowie Abschnitt 6.2.1.2.

- **Zweistufige Tarife**: Die verschiedenen Tarife sollten grundsätzlich einen fixen Grundpreis und einen zeitvariablen Preis vorsehen.

- **Zeitvariabler Anteil zur Kapazitätsallokation**: Der zeitvariable Anteil sollte sich an potenziellen Nutzungskonflikten (bzw. den Opportunitätskosten) orientieren.

Es ist anzumerken, dass bei einer Subventionierung des Ladeinfrastruktursystems in Höhe der Investitionskosten, die einen wesentlichen Teil der Fixkosten ausmachen, der Grundpreis stark gesenkt werden oder sogar entfallen könnte.[612]

8.3.2 Bepreisung komplementärer Güter

Im Folgenden wird auf die Bepreisung der komplementären Güter „Fahrzeuge“, „Elektrischer Strom“, „Elektrizitätsnetze“ und „Parkraum“ eingegangen.

FAHRZEUGE

Der Kauf eines Elektrofahrzeugs stellt für Nutzer typischerweise eine seltene (bzw. einmalige) Transaktion dar. Eine gemeinsame Bepreisung mit anderen komplementären Gütern würde somit potenziell zu nur leicht geringeren Transaktionskosten auf der Nutzerseite führen. Es erscheinen jedoch Kooperationen, insbesondere zwischen Fahrzeugherstellern und Stromlieferanten, möglich, die zu einer gemeinsamen Bepreisung der jeweiligen Güter im Rahmen von Bündelangeboten führen können.[613]

Es kann an dieser Stelle noch angemerkt werden, dass die Fahrzeugpreise aus einer Nutzerperspektive einen signifikanten Teil der Gesamtkosten des Elektromobilitätssystems darstellen und somit einen Großteil der vorhandenen Zahlungsbereitschaft abschöpfen. Eine an den Fahrzeugkauf geknüpfte Subvention könnte daher auch als ein Mittel zur Abstimmung von Preisen mit anderen komplementären Gütern genutzt werden.

ELEKTRISCHER STROM

Durch eine Aufhebung der „Zwangsbündelung“ zwischen Stromlieferant und Ladeinfrastrukturbetreiber, entsprechend der in Kapitel 7 geführten Diskussion, ist eine separate Bepreisung des elektrischen Stroms möglich.[614] Dabei kann die Abrechnung und Zahlungsabwicklung der beiden Leistungen ggf. gemeinsam erfolgen.[615]

---

[612] Vgl. Abschnitt 6.3.

[613] Als Beispiel können beim Kauf eines Neuwagens angebotene Tank- bzw. Ladegutscheine genannt werden.

[614] Vgl. Abschnitt 7.2. Im Übrigen ist für den Fall, dass ein Durchleitungsmodell kurzfristig nicht etabliert werden kann, zu erwägen, ob elektrischer Strom gemeinsam mit der Nutzung des Ladeinfrastruktursystems im Rahmen eines zeitbezogenen Tarifs bepreist wird, da so insbesondere bei einer Umsetzung des „Roaming-Modells“ potenziell nachteilige Pfadabhängigkeiten vermieden werden könnten; vgl. Abschnitt 7.3.

[615] Siehe dazu den folgenden Abschnitt 8.4.

ELEKTRIZITÄTSNETZE

Hinsichtlich der Bepreisung der Netznutzung durch Elektromobilitätskunden ist von Bedeutung, dass die Verteilnetzentgelte zwischen verschiedenen Verteilnetzgebieten unterschiedliche Größenordnungen aufweisen, die sich (vor allem) durch regional unterschiedliche Kosten, z. B. aufgrund topografischer Unterschiede oder unterschiedlicher Siedlungsstrukturen, ergeben. Es stellt sich die Frage, inwiefern die Kosten der Netznutzung vom Elektromobilitätssystem getragen werden und in welcher Form diese innerhalb des Systems an die Nutzer weitergereicht werden. In diesem Zusammenhang können drei grundlegende Varianten verglichen werden:

- **Direkte Weiterleitung an die Nutzer**: In diesem Fall würden die Nutzer (wie bei normalen Hausanschlüssen) die Netzentgelte selbst tragen. Dabei würden in verschiedenen Regionen unterschiedliche Entgelte anfallen, was aufgrund einer höheren Komplexität grundsätzlich zu Transaktionskosten auf Seiten der Nutzer führt. Außerdem erhöht sich die Komplexität der Abrechnung, womit ebenfalls Transaktionskosten einhergehen.

- **Befreiung von Netzentgelten**: Alternativ könnten Elektromobilitätskunden von Netzentgelten befreit werden. Vor dem Hintergrund, dass Netzentgelte ein dezentrales Sozialisierungssystem darstellen, würde in diesem Fall gewissermaßen eine Subvention aus dezentralen Einnahmequellen erfolgen. Dabei würden zum einen die von den Nutzern aufgrund unterschiedlich hoher Entgelte zu tragenden Transaktionskosten verringert. Zum anderen würde auch die Komplexität der Abrechnung reduziert. Jedoch würden die über die Netzentgelte sozialisierten Kosten in den verschiedenen Gebieten aufgrund unterschiedlicher lokaler Kostenstrukturen unterschiedlich hoch ausfallen.

- **Sozialisierung über das Ladeinfrastrukturnetzwerk**: Des Weiteren könnten die Netzentgelte auch durch das Ladeinfrastrukturnetzwerk getragen werden und ggf. über die (überregional einheitlichen) Tarife für die Ladeinfrastrukturnutzung an die Nutzer weitergegeben werden. In diesem Fall wäre von Bedeutung, welche Ebene (Bund oder Kommune) die Nutzerzahlungen erhält (bzw. wer das Risiko aus Nutzerzahlungen trägt) und welche Ebene die Netzentgelte an die Verteilnetzbetreiber abführt (also diese Kostenkomponente trägt). Bei einer dezentralen Zuordnung der Einnahmen und Kosten (z. B. an die Kommune oder einen Ladeinfrastrukturbetreiber) würde, bei hier angenommenen überregional einheitlichen Tarifen, die Deckung der Kosten, die dem Ladeinfrastrukturnetzwerk aus der Tragung von Netzentgelten entstehen, unterschiedlich hoch ausfallen.

Es wird zunächst deutlich, dass sowohl eine Befreiung von Netzentgelten, als auch eine Sozialisierung über das Ladeinfrastrukturnetzwerk mit geringeren Transaktionskosten für Nutzer einhergehen, da überregional einheitliche Tarife möglich sind. Bei einer Befreiung von Netzentgelten werden außerdem Transaktionskosten für deren Abrechnung vermieden. Jedoch sinkt auch bei einer Sozialisierung über das Ladeinfrastrukturnetzwerk die Komplexität der Abrechnung, da die Netzentgelte lediglich pro Verteilnetzgebiet (und nicht nutzerbezogen) ermittelt werden müssen. Bei einer Befreiung von

Netzentgelten kann es außerdem aufgrund dezentraler Kostenbelastungen und unterschiedlichen Kosten der Mittelerhebung zu problematischen Anreizwirkungen kommen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine direkte Weiterleitung der Verteilnetzentgelte an die Nutzer eher nachteilig erscheint. Inwiefern eine der beiden verbleibenden Alternativen vorteilhaft gegenüber der anderen ist, kann an dieser Stelle nicht abschließend beantwortet werden.

PARKRAUM

Das Angebot von Stellplätzen (im öffentlichen Raum) ist grundsätzlich an Nutzer gerichtet, die ihr Fahrzeug über einen gewissen Zeitraum abstellen bzw. parken möchten, während das Angebot von Ladepunkten an Nutzer gerichtet ist, die die Antriebsbatterie ihrer (Elektro-)Fahrzeuge aufladen möchten. Von daher wird eine separate Preissetzung mit Vorteilen einhergehen.

Fraglich ist, inwieweit eine Nutzung von Stellplätzen mit Lademöglichkeit (im Folgenden auch „Ladeplatz“ genannt) durch Elektrofahrzeuge zum Parken möglich sein sollte. Entgelte sollten in solchen Fällen sowohl für die Nutzung des Ladepunktes (entsprechend des Tarifkatalogs) sowie ggf. für die Nutzung des Parkraumes zu entrichten sein.[616] In diesem Zusammenhang wäre des Weiteren zu untersuchen, ob ein Parkvorgang ohne vorherigen Ladevorgang ggf. verboten werden sollte, da (trotz entsprechender Bepreisung) ggf. hohe Opportunitätskosten bei anderen Nutzern entstehen. Eine derartige Regelung erscheint jedoch kaum umsetzbar, da ein Ladevorgang auch nur „zum Schein“ bzw. sehr kurz erfolgen könnte. Des Weiteren stellt sich die Frage, ob Ladeplätze ggf. nur durch ladende Fahrzeuge belegt werden dürfen. Durch eine solche Regelung würden allerdings hohe (Transaktions-)Kosten bei den Nutzern entstehen, da Fahrzeuge nach Abschluss eines Ladevorgangs grundsätzlich bewegt werden müssten.

Im Übrigen wäre zu überlegen, ob Ladeplätze auch durch konventionelle Fahrzeuge belegt werden dürfen. Diese Nutzung könnte ebenfalls an entsprechende Entgelte für die Belegung des Stellplatzes und des Ladepunktes gebunden sein, dürfte aber ggf. entstehende Nutzungsrivalitäten im Ladeinfrastruktursystem verstärken.

Eine Aussage bzgl. der Vorteilhaftigkeit der verschiedenen in Frage kommenden Regelungen kann an dieser Stelle nicht erfolgen, da eine tiefergehende Betrachtung notwendig erscheint, die insbesondere auch die durch (hier nicht betrachtete) Informations- und Reservierungssysteme bestehenden Optionen mit einschließt.

8.3.3 Fazit

Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden vorherigen Abschnitte entlang der verschiedenen Güter kurz zusammengefasst:

[616] Wobei das Entgelt für den Parkraum auch „Null“ sein kann.

- **Ladeinfrastrukturnetzwerk**: Eine Bepreisung sollte Im Rahmen eines überregional einheitlichen Tarifkatalogs erfolgen, der zweistufige Tarife vorsieht. Über den nutzungsabhängigen Tarifanteil sollten Anreize zu einer Kapazitätsallokation gesetzt werden, die sich an Nutzungsrivalitäten orientiert.

- **Fahrzeuge**: Eine Abstimmung der Bepreisung von Elektrofahrzeugen mit anderen komplementären Gütern erscheint nicht nötig.

- **Elektrischer Strom**: Elektrischer Strom sollte im Rahmen eines Durchleitungsmodells separat bepreist werden. In einer frühen Phase des Markthochlaufs könnte bei ungesteuertem Laden auch eine gemeinsame Bepreisung mit dem Ladeinfrastrukturnetzwerk über den nutzungsabhängigen Tarifanteil erfolgen.

- **Elektrizitätsnetze**: Eine direkte Weiterleitung der Netzentgelte an die Nutzer geht mit hohen Transaktionskosten einher. Von daher sollten Alternativen geprüft werden.

- **Parkraum**: Grundsätzlich dürfte eine separate Bepreisung der Parkraumkapazität mit Vorteilen einhergehen. Hinsichtlich festzulegender Regeln für die Nutzung von Ladeplätzen sind tiefergehende Betrachtungen unter Berücksichtigung von Informations- und Reservierungssystemen durchzuführen.

Es lässt sich festhalten, dass die einzelnen Güter separat bepreist werden sollten. Die Abrechnung und Zahlungsabwicklung einzelner Teilleistungen kann dennoch ggf. gemeinsam erfolgen, wie im folgenden Abschnitt 8.4 kurz thematisiert wird.

8.4 Beziehungen zum Nutzer

Auf Basis der bisherigen Ergebnisse kann im Rahmen dieses Abschnitts auf die Ausgestaltung der Beziehungen zum Nutzer eingegangen werden. Dabei sind Entscheidungen bzgl. der (gemeinsamen oder separaten) Ausgestaltung des Vertriebs sowie bzgl. der Abrechnung und Zahlungsabwicklung von Bedeutung.

Hinsichtlich der Ausgestaltung des Vertriebs ist zu hinterfragen, inwiefern für das neu zu schaffende zentrale Gut „öffentliche Ladeinfrastruktur“, eigene Vertriebsstrukturen aufzubauen sind oder auf bestehende Strukturen komplementärer Güter zurückgegriffen werden kann.

Eigene bzw. separate Vertriebsstrukturen für das öffentliche Ladeinfrastrukturnetzwerk würden insbesondere die Etablierung eines oder mehrerer Vertriebskanäle erfordern, deren Schaffung in Abhängigkeit des jeweiligen Vertriebskanals mit Kosten einhergehen würde. Auch auf Seiten der Nutzer entstehen Transaktionskosten für den Zugang zu einem (separaten bzw. zusätzlichen) Vertriebskanal. Der Vorteil eines separaten Aufbaus wären vermiedene Abstimmungskosten bzgl. einer Etablierung des Vertriebs über bestehende Strukturen anderer Rollen.

Hinsichtlich des Rückgriffs auf bestehende Beziehungen erscheint (entsprechend der Darstellungen zu diesem Thema in Abschnitt 5.2.3) grundsätzlich ein Vertrieb über die Strukturen der Stromlieferanten denkbar. Dieses bietet sich insbesondere an, da für das Angebot von (Auto-)Strom (im öffentlichen Bereich) das Angebot eines Ladeinfrastrukturnetzwerks erforderlich ist. Vor diesem Hintergrund erscheint eine separate Vertriebsstruktur für die Ladeinfrastruktur nicht notwendig. Vielmehr könnte ein Autostromangebot den Zugang zum Ladeinfrastrukturnetzwerk „automatisch" mit vorsehen.

Geht man von einer entsprechenden Ausgestaltung aus, stellt sich auch die Frage einer gemeinsamen Abrechnung von elektrischem Strom und der Ladeinfrastrukturnutzung durch die Stromlieferanten. Die bei Stromlieferanten bereits etablierten Abrechnungssysteme erscheinen potenziell geeignet, die Abrechnung der Ladeinfrastrukturnutzung ebenfalls zu übernehmen bzw. dürften diesbezüglich angepasst werden können.[617] Dabei könnte auch die Zahlungsabwicklung gemeinsam erfolgen.

Im Vergleich zu einer Etablierung separater Vertriebs- und Abrechnungsstrukturen erscheint die Nutzung der Strukturen von Stromlieferanten somit vorteilhaft. Daher sollte die öffentliche Hand (als zentraler Planer des Ladeinfrastruktursystems) entsprechende Abrechnungsstandards entwickeln. Diese könnten in Verbindung mit den in Abschnitt 8.1.1 beschriebenen Kompatibilitäts-entscheidungen bzgl. der Umsetzung des Durchleitungsmodells etabliert werden.

8.5 Fazit

Innerhalb der vorhergehenden Abschnitte ist deutlich geworden, dass eine Einflussnahme der öffentlichen Hand auch bei einer Analyse komplementärer Beziehungen an verschiedenen Stellen vorteilhaft erscheint. Im Folgenden werden die Ergebnisse kurz zusammengefasst:

- **Schaffung einheitlicher Standards für die Kommunikation und den Energiefluss**: Eine dezentrale Abstimmung zwischen den verschiedenen beteiligten Akteuren dürfte aufgrund hoher Transaktionskosten zu suboptimalen bzw. uneinheitlichen Standards führen. Von daher erscheint eine Festlegung einheitlicher Kompatibilitätsstandards durch die öffentliche Hand vorteilhaft, wobei insbesondere hinsichtlich der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Stromlieferanten (zur Umsetzung des „gesteuerten Ladens") vertieft zu prüfen ist, inwiefern eine Schaffung einheitlicher Standards sinnvoll möglich ist.

- **Planung von Investitionszeitpunkten und der überregionalen räumlichen Abdeckung**: Auch bei einer Analyse der komplementären Beziehungen erscheint es vorteilhaft, dass die öffentliche Hand zeitliche Investitionen sowie die räumliche Abdeckung des Ladeinfrastrukturnetzwerks (zentral) plant, da die Wahrscheinlichkeit eines unvorteilhaften

[617] Vgl. Abschnitt 5.2.3.

oder stark verzögerten Aufbaus bei (dezentralen) wettbewerblichen Abstimmungen hoch ist.[618]

- **Lokale Verortung im Rahmen einer gesamthaften lokalen Feinplanung**: Aufgrund von Interdependenzen mit anderen Systemen (insbesondere dem Straßen- und Parkraum sowie dem Verteilnetz) sowie der notwendigen Berücksichtigung (weiterer) lokaler Belange sollte die lokale Verortung im Rahmen eines gesamthaften kommunalen Plans erfolgen, der weitere lokale Aspekte berücksichtigt.

- **Separate Bepreisung der verschiedenen Teilleistungen**: Grundsätzlich können alle zum Ladeinfrastrukturnetzwerk komplementären Güter separat bepreist werden. In Bezug auf die Elektrizitätsnetze sollten Alternativen zu einer direkten Weiterleitung der Netzentgelte an die Nutzer analysiert werden.

- **Nutzung bestehender Vertriebs- und Abrechnungsstrukturen der Stromlieferanten**: Für den Aufbau von Nutzerbeziehungen, die Abrechnung der Ladeinfrastrukturnutzung und die Zahlungsabwicklung erscheint es vorteilhaft, die bestehenden Nutzerbeziehungen und Systeme der Stromlieferanten zu nutzen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das hier vorgeschlagene Modell der Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur durch die öffentliche Hand Ähnlichkeiten mit der Bereitstellung von Elektrizitätsnetzen hat.

[618] Zu einem ähnlichen Ergebnis hat bereits die Analyse horizontaler Beziehungen in Kapitel 6 geführt.

Teil D – Erweiterung der Analysen und Fazit

In diesem, die Arbeit abschließenden Teil erfolgt in Kapitel 9 zunächst eine Diskussion von Fragestellungen, die zwar in Kapitel 3 angeschnitten worden sind, aber bisher nicht vertieft betrachtet wurden. Außerdem werden weitere, bisher nicht angeschnittene Fragestellungen thematisiert. In Kapitel 10 werden abschließend die zentralen Ergebnisse zusammengefasst und Handlungsempfehlungen dargestellt.

9 Weitere Fragestellungen und Ausblick

Im Folgenden werden zunächst in Abschnitt 9.1 konduktive Schnellladeverfahren (DC und AC i) betrachtet. Daran anschließend erfolgt in Abschnitt 9.2 eine Erörterung von Fragestellungen hinsichtlich der Bereitstellung von Ladeinfrastruktur im halböffentlichen Bereich. In Abschnitt 9.3 wird auf die Möglichkeit einer fahrzeugseitigen Verortung der Messtechnik eingegangen. Zum Abschluss werden in Abschnitt 9.4 kurz weitere Fragestellungen thematisiert.

9.1 Berücksichtigung weiterer konduktiver Ladeverfahren

Innerhalb dieses Abschnitts erfolgt eine Erweiterung der bisherigen Betrachtung um Schnellladeverfahren (DC sowie AC i) und damit die Auflösung der bisherigen Annahme eines alleinigen Aufbaus von AC 1 und AC 3.[619] Dabei werden Fragestellungen hinsichtlich der Festlegung von Ladeverfahren betrachtet, die zum einen die Frage fahrzeugseitiger Vorgaben und zum anderen die Festlegung von Ladeverfahren für den (geförderten) Aufbau von Ladeinfrastruktur betreffen. Im Folgenden wird in Abschnitt 9.1.1 zunächst ausführlich auf diese Fragen unter Berücksichtigung des DC-Ladeverfahrens eingegangen. Daran anschließend erfolgt in Abschnitt 9.1.2 eine kurze Betrachtung des Inverterladens (AC i).

9.1.1 Gleichstromladen (DC)

Innerhalb dieses Abschnitts wird zunächst die Frage fahrzeugseitiger Vorgaben in Bezug auf die Etablierung verschiedener Ladeverfahren thematisiert. Anschließend wird die Festlegung bzw. Auswahl von Ladeverfahren für den geförderten Aufbau unter Berücksichtigung von DC erörtert.

FRAGE FAHRZEUGSEITIGER VORGABEN

Bereits unter der bisherigen Annahme, dass öffentliche Ladeinfrastruktur überwiegend dreiphasig (AC 3) aufgebaut wird, stellt sich (wie bereits in Abschnitt 8.1.2.1 erläutert) die Frage einer Vorgabe für die fahrzeugseitige Ausstattung. Unter zusätzlicher Berücksichtigung des DC-Ladeverfahrens wird auf

[619] Vgl. Abschnitt 3.4.1.2.2 für die verschiedenen konduktiven Ladeverfahren sowie Abschnitt 3.4.3 für eine Darstellung der bisherigen Annahmen. Im Übrigen wird auf induktives Laden sowie die Möglichkeit des Batteriewechsels kurz in Abschnitt 9.4 eingegangen.

diese Fragestellung im Folgenden näher eingegangen. Dabei wird auch hier angenommen, dass AC 3 im öffentlichen Bereich (aufgrund der gegenüber AC 1 geringen stellplatzseitigen Zusatzkosten)[620] das grundlegende Verfahren darstellt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass sehr viele Fahrzeuge (zumindest) AC 1-fähig sind, da einphasige Anschlüsse im privaten Bereich in Form von Schuko-Steckdosen weit verbreitet sind.

Bereits ohne Berücksichtigung einer DC-Ladeinfrastruktur ist nur schwer abzuschätzen, wie hoch der Anteil der Fahrzeuge ist, die AC 3 als zusätzliches Ladeverfahren an Bord haben. So erscheint es grundsätzlich möglich, dass Fahrzeughersteller ihr Angebot derart differenzieren, dass für ein schnelleres Ladeverfahren von den Nutzern auch ein höherer Preis zu zahlen ist. Dabei ist von Bedeutung, dass (aus technischer Sicht) AC 1-Fahrzeuge auch an AC 3-Ladeinfrastruktur (mit der Geschwindigkeit von AC 1 laden können).[621] Aufgrund der längeren Ladezeiten könnten somit AC 1-Fahrzeuge innerhalb eines AC 3-Ladeinfrastrukturnetzwerks zu höheren Kosten (in Form von längeren Wartezeiten bzw. einer geringeren Verfügbarkeit für andere Nutzer) führen. Auch bei einer Bepreisung, die einen entsprechenden Kapazitätsallokationsmechanismus beinhaltet,[622] könnte im Ergebnis ein zusätzlicher Kapazitätsaufbau zur Reduzierung der Engpässe notwendig sein, was bei einer Betrachtung des Gesamtsystems sowohl aufgrund der wahrscheinlich erhöhten Ausgaben (übergreifend über Nutzer und Steuerzahler betrachtet) als auch aufgrund der erhöhten Kosten aus wohlfahrtsökonomischer Sicht problematisch erscheint. Die sich stellende Frage der Vorteilhaftigkeit fahrzeugseitiger Vorgaben wäre in einer detaillierteren Analyse zu beantworten, die im Rahmen dieser Arbeit nicht erfolgen kann.[623]

Unter der Annahme, dass im öffentlichen Bereich auch DC-Ladeeinheiten bereitgestellt werden, gelten ähnliche Überlegungen. Zunächst erscheint es aufgrund der deutlich gesteigerten Ladegeschwindigkeit in Verbindung mit den geringen fahrzeugseitigen Kosten in diesem Fall wahrscheinlich, dass ein hoher Anteil der Elektrofahrzeuge (neben AC 1) auch DC-fähig ist, wobei wiederum eine Angebotsdifferenzierung (DC als Sonderausstattung) möglich ist. Da zwischen AC- und DC-Ladeverfahren (ohne entsprechende fahrzeugseitige Ausstattung) keine Kompatibilität besteht, könnten hier jedoch AC-Fahrzeuge keine zusätzliche Knappheit bei DC-Ladeeinheiten erzeugen.[624] Die Frage einer AC 3-Vorgabe für Fahrzeuge stellt sich jedoch auch hier, wobei wiederum Kapazitätsaspekte innerhalb des AC-Systems und Interdependenzen mit dem DC-System zu berücksichtigen sind.

---

[620] Geringe stellplatzseitige Zusatzkosten liegen aufgrund des (ohnehin) dreiphasigen Niederspannungsnetzes vor; vgl. Abschnitt 3.4.2.2.

[621] Vgl. Abschnitt 3.4.1.2.2.4 für eine Darstellung der Kompatibilität unterschiedlicher konduktiver Ladeverfahren.

[622] Vgl. zur Bepreisung Abschnitt 6.1.2 sowie Abschnitt 8.3.1.

[623] Es könnte darüber hinaus auch untersucht werden, ob eine Regel bzw. ein Verbot, das Inkompatibilität von AC 1-Fahrzeugen an (ggf. bestimmten) AC 3-Ladeplätzen erzeugt, vorteilhaft wäre.

[624] Von der Möglichkeit einer kombinierten AC/DC -Ladeeinheit wird an dieser Stelle abstrahiert.

FESTLEGUNG VON LADEVERFAHREN FÜR DEN (GEFÖRDERTEN) AUFBAU

Vor dem Hintergrund der (zumindest in der frühen Marktphase) nicht ausreichenden Zahlungsbereitschaft für das Elektromobilitätssystem sind, wie in Abschnitt 6.3 dargestellt, zur Erreichung der von der Bundesregierung formulierten Markthochlaufziele (höchstwahrscheinlich) Subventionen für das Gesamtsystem notwendig, wobei ein Teil der Subventionen in die Bereitstellung öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur fließen sollte. In diesem Zusammenhang ist fraglich, welche Ladeverfahren gefördert werden sollten. Dabei ist anzumerken, dass sich die Frage einer Festlegung von Ladeverfahren auch ohne bestehenden Subventionsbedarf stellen würde.[625] Unter Berücksichtigung des DC-Ladeverfahrens insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- **Einfluss auf Wartezeiten und Reichweite**: Zunächst ist von Bedeutung, dass eine DC-Ladeinfrastruktur die Qualität des Gesamtsystems verbessern kann, da sich Wartezeiten von Nutzern (für den Ladevorgang) reduzieren können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch andere Ladeverfahren (wie insbesondere AC 3) bereits relativ kurze Ladezeiten ermöglichen.[626] Vor diesem Hintergrund erscheinen Schnellladeverfahren insbesondere für Langstrecken, die eine Zwischenladung erfordern, vorteilhaft.[627]

- **Produktionskosten sowie Einfluss auf die räumliche Verteilung und Kapazität**: Die Investitionskosten einer DC-Ladeeinheit werden ca. fünf- bis zehnmal höher als die Kosten einer AC-Ladeeinheit eingeschätzt.[628] Unter der Annahme eines begrenzten Budgets für den Aufbau von Ladeinfrastruktur wäre die Anzahl von Ladeeinheiten entsprechend geringer, was zu einer geringeren Abdeckung führt. Dabei sind bzgl. der Kapazität des Systems Interdependenzen mit der Ladegeschwindigkeit zu berücksichtigen.[629]

- **Transaktionskosten des Aufbaus**: Bei einer isolierten Betrachtung von DC-Schnellladung erscheint es möglich, dass eine geringere institutionelle Komplexität und damit einhergehend auch ein geringeres Know-how auf Seiten der öffentlichen Hand erforderlich ist, als bei langsameren AC-Ladeverfahren. Dieses wäre zum einen der Fall, wenn andere Angebotskonzepte zu einer geringeren Komplexität führen. So wären in Verbindung mit einer Regelung, dass der Ladeplatz nur für die (kurze) Dauer des Ladevorgangs belegt werden darf, insbesondere einfachere Tarifmodelle denkbar. Für den Fall eines parallelen Aufbaus ist allerdings zu berücksichtigen, dass Know-how bzgl. beider Systeme erforderlich wäre. Auch

[625] Vgl. Abschnitt 6.2.

[626] Vgl. Abschnitt 3.4.2.1.

[627] Vgl. Abschnitt 3.3.2.1.2.

[628] Vgl. Abschnitt 3.4.2.2. Es ist außerdem zu berücksichtigen, dass durch Inverterladen ggf. vergleichbare Ladegeschwindigkeiten zu geringeren Kosten erzielt werden können; siehe dazu auch den folgenden Abschnitt 9.1.2.

[629] Außerdem wären Interdependenzen mit der Nutzung von DC-Ladeplätzen durch Fahrzeuge, die nicht laden, zu berücksichtigen. Es kann aufgrund der hohen Ladegeschwindigkeit und der hohen Investitionskosten jedoch unterstellt werden, dass Nutzer nach Beendigung des Ladevorgangs den Ladeplatz freigeben müssen.

die Komplexität der räumlichen Planung (insbesondere der lokalen Feinplanung) würde entsprechend zunehmen. Zum anderen könnten bei der DC-Schnellladung nur ungesteuerte Ladeverfahren relevant sein, was aufgrund der kurzen Standzeiten der Fahrzeuge (entsprechende Nutzungsregeln für die Ladeplätze unterstellt) plausibel erscheint.

- **Transaktionskosten der Nutzung**: Bzgl. der Transaktionskosten der Nutzung ist zu beachten, dass die Komplexität des Gesamtsystems für Nutzer steigen kann, wenn es zu einem parallelen Aufbau beider Systeme kommt. Beispielsweise könnten unterschiedliche Angebotskonzepte zu höheren Transaktionskosten führen, wenn die Nutzer diesbezügliche Informationen einholen müssen.

Über die bereits in Kapitel 3 dargestellten Auswirkungen auf die Angebotsqualität und Produktionskosten hinaus lässt sich festhalten,[630] dass bei einer isolierten Betrachtung von DC, eine Komplexitätsreduzierung und damit geringere Transaktionskosten möglich erscheinen. Für den Fall einer Förderung mehrerer Verfahren im föderalen System würde jedoch die Komplexität insbesondere im Bereich der lokalen Feinplanung auf der dezentralen Ebene steigen. Somit sind bei einer Berücksichtigung von DC neben den Auswirkungen auf die Qualität und die Produktionskosten selbst, auch Auswirkungen hinsichtlich der Etablierung von Finanzierungs- und Anreizsystemen zu berücksichtigen. Dabei wäre insbesondere zu prüfen, inwieweit ein verschiedene Ladeverfahren bzw. Angebotskonzepte umfassendes System oder einzelne Finanzierungs- und Anreizsysteme etabliert werden sollten. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass bei einzelnen Angebotskonzepten auch keine bzw. eine deutlich geringere Involvierung der dezentralen Ebene erforderlich sein könnte.[631]

Es ist anzumerken, dass sich bereits ohne die Notwendigkeit einer Förderung die Frage der Festlegung von Standards und damit der Festlegung von Ladeverfahren stellt, da eine diesbezügliche Entscheidung ohne einen Eingriff der öffentlichen Hand ggf. nicht bzw. nicht effizient getroffen werden kann. Somit ist auch eine grundsätzliche Vorgabe, also ein Ge- bzw. Verbot bestimmter Ladeverfahren, das über die Entscheidung einer „Nicht-Förderung“ hinausgeht, denkbar.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass die bei einer Festlegung von Ladeverfahren bedeutenden Interdependenzen mit AC 3 und AC i auch unter Berücksichtigung des halböffentlichen Bereichs zu analysieren sind.[632]

9.1.2 Inverterladen (AC i)

Im Rahmen der Beschreibung technischer Ausgestaltungsoptionen in Kapitel 3 ist bereits deutlich geworden, dass durch Inverterladen möglicherweise eine mit DC vergleichbare Ladegeschwindigkeit

[630] Vgl. insbesondere Abschnitt 3.4.2.1 sowie Abschnitt 3.3.1.2.2 und Abschnitt 3.3.2.1.2.

[631] Dieses könnte insbesondere bei Schnellladekonzepten der Fall sein.

[632] Siehe dazu den folgenden Abschnitt 9.2.

zu geringeren Investitionskosten bereitgestellt werden kann, wobei noch große Unsicherheiten in Bezug auf die fahrzeugseitigen Kosten bestehen.[633]

Unter der Annahme, dass Inverterladen bei geringen fahrzeugseitigen Mehrkosten möglich ist, sinkt die Vorteilhaftigkeit von DC, was bei der Subventionierung bestimmter Ladeverfahren sowie einer davon unabhängigen Standardisierungsentscheidung zu berücksichtigen ist.

Um entsprechende Entscheidungen vorzubereiten, sollten somit bestehende Unsicherheiten durch geeignete F & E-Vorhaben reduziert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einzelne Fahrzeughersteller ggf. nur geringe Anreize haben, im Rahmen von F & E-Vorhaben zu kooperieren. Dementsprechend sollte die öffentliche Hand prüfen, ob Forschungsvorhaben im Themengebiet des Inverterladens existieren, die geeignet sind, die notwendigen Standardisierungsentscheidungen vorzubereiten und ggf. (weiteres) Know-how aufbauen.

9.2 Halböffentliche Ladeinfrastruktur

Entsprechend der Darstellungen in Abschnitt 3.1 befindet sich halböffentliche Ladeinfrastruktur auf öffentlich zugänglichen Stellplätzen privater Eigentümer. Beispiele für derartige Standorte sind insbesondere Stellplätze in Parkhäusern privater Betreiber, in Einkaufszentren oder auch von Supermärkten. Da entsprechende Einrichtungen regelmäßig Ziele potenzieller Nutzer darstellen, kann halböffentliche Ladeinfrastruktur öffentliche Ladeinfrastruktur partiell substituieren.

Im Folgenden werden zentrale Fragestellungen im Bereich halböffentlicher Ladeinfrastruktur dargestellt. In Abschnitt 9.2.1 wird zunächst auf Zugangsmodelle eingegangen. Daran anschließend werden in Abschnitt 9.2.2 Ladeverfahren thematisiert. Schließlich wird in Abschnitt 9.2.3 die Bepreisung und Sicherstellung des Aufbaus im halböffentlichen Bereich betrachtet. Innerhalb der einzelnen Abschnitte erfolgt jeweils eine isolierte Betrachtung des halböffentlichen Bereichs. Außerdem wird auf Interdependenzen, die sich bei einer übergreifenden Betrachtung ergeben, eingegangen.

9.2.1 Zugangsmodelle

Bei einer isolierten Betrachtung des halböffentlichen Bereichs stellt sich (analog zum öffentlichen Bereich) die Frage des Zugangs verschiedener Stromlieferanten zum Ladeinfrastrukturnetzwerk und damit die Frage der Wahlmöglichkeit der Nutzer hinsichtlich des Stromlieferanten.[634] Dabei ist zu berücksichtigen, dass im halböffentlichen Bereich i. d. R. bereits ein Netzanschluss mit einem Meter vorhanden ist, der entsprechend der bestehenden energiewirtschaftlichen Regelungen durch einen Stromlieferanten beliefert wird. Für den wahrscheinlich häufig auftretenden Fall, dass auch

[633] Vgl. Abschnitt 3.4.2.2. Außerdem bestehen ggf. Risiken hinsichtlich der Einhaltung sicherheitsrelevanter Vorgaben.

[634] Vgl. Kapitel 7 für eine ausführliche Diskussion dieser Fragestellung im öffentlichen Bereich.

Ladeeinheiten im halböffentlichen Bereich über einen solchen bereits vorhandenen Netzanschluss mit Elektrizität versorgt werden, sind unterschiedliche Verfahren bzgl. der Ausgestaltung der Belieferung von Elektromobilitätskunden mit Strom möglich.[635] So ist zunächst denkbar, dass der private Stellplatzeigentümer keine Bepreisung (und Abrechnung) des Stroms vornimmt oder den Strom im Rahmen einfacher (zeitbezogener Tarife) selbst vertreibt und abrechnet.

Des Weiteren könnte der Strom, wie allgemein üblich, im Rahmen eines arbeitsbezogenen (kWh-) Tarifs bepreist werden. Dabei besteht zum einen die Möglichkeit, dass der Stellplatzeigentümer eigene Tarife (für den von ihm als Anschlussnutzer bezogenen Strom) festsetzt. Zum anderen könnten die Elektromobilitätskunden aber auch die Möglichkeit erhalten, analog zu den für den öffentlichen Bereich diskutierten Zugangsmodellen (Durchleitung oder Roaming) zum Tarif des „eigenen“ Lieferanten zu laden. Dabei wäre eine Subtraktion bzw. Korrektur der Messwerte des Meters am Netzanschluss (um die von den Elektromobilitätskunden bezogenen Strommengen) erforderlich.

Von den technischen Voraussetzungen sowie den Transaktionskosten für die Etablierung entsprechender Verfahren abstrahierend, können die Ergebnisse der für den öffentlichen Bereich durchgeführten Analysen grundsätzlich auf den halböffentlichen Bereich übertragen werden. Somit könnte eine Vorteilhaftigkeit des Durchleitungsmodells bestehen, insbesondere wenn erweiterte Anwendungsfälle zukünftig im Gesamtsystem der Elektromobilität relevant sind. Dabei ist jedoch anzumerken, dass diese Überlegungen lediglich als erste Hinweise auf eine Vorteilhaftigkeit zu interpretieren sind und weitere Analysen notwendig erscheinen.

Bei einer übergreifenden Betrachtung von öffentlicher und halböffentlicher Ladeinfrastruktur ist zu berücksichtigen, dass eine Etablierung unterschiedlicher Zugangsmodelle in den beiden Bereichen für den Nutzer mit Transaktionskosten einhergehen würde, da sich die Komplexität des Gesamtsystems erhöht. Außerdem sind bei den privaten Eigentümern ggf. entstehende (Transaktions-)Kosten zu berücksichtigen. Darüber hinaus kann darauf hingewiesen werden, dass für die Etablierung des Durchleitungsmodells im öffentlichen Bereich notwendiges Know-how sehr wahrscheinlich (zumindest anteilig) auf den halböffentlichen Bereich übertragbar ist.

9.2.2 Ladeverfahren

Hinsichtlich der Energieübertragung bestehen im halböffentlichen Bereich grundsätzlich die auch im öffentlichen Bereich vorhandenen Optionen. Dabei ist jedoch auch hier zu berücksichtigen, dass ein i. d. R. bereits bestehender Netzanschluss sowie die vorhandene Elektroinstallation Auswirkungen auf Kosten- und Qualitätsaspekte haben können. So sind ggf. Restriktionen hinsichtlich der Kapazität des bestehenden Anschlusses zu berücksichtigen. Außerdem besteht u. a. aufgrund des bereits vorhandenen Anschlusses die Möglichkeit, dass Ladeeinheiten im halböffentlichen Bereich zu

[635] Diese Verfahren wären auch im Zusammenhang mit der im untenstehenden Abschnitt 9.3 behandelten mobilen Messtechnik näher zu analysieren.

geringeren Investitionskosten aufgebaut werden können. Dabei spielen auch Aspekte, wie eine evtl. entfallende Notwendigkeit des Schutzes vor Witterung oder vor Vandalismus, eine Rolle.

Aufgrund des dreiphasig aufgebauten Verteilnetzes und der dreiphasigen Netzanschlüsse kann davon ausgegangen werden, dass neben AC 1- auch AC 3-Ladeverfahren im halböffentlichen Bereich zu vergleichsweise günstigen Investitionskosten bereitgestellt werden können.

Bei einer übergreifenden Betrachtung würde eine hohe Bedeutung von AC 3 im halböffentlichen Bereich Einfluss auf die Vorteilhaftigkeit einer Verbreitung von AC 3 im öffentlichen Bereich haben. Dabei ist selbstverständlich zu berücksichtigen, dass in beiden Bereichen die gleichen Schnittstellenstandards (insbesondere Stecker) festgelegt werden sollten.

9.2.3 Bepreisung und Sicherstellung des Aufbaus

Auch im halböffentlichen Bereich stellen sich zum einen Fragen der Bepreisung des Ladeplatzes und komplementärer Güter sowie zum anderen Fragen der Sicherstellung des Aufbaus (im Rahmen eines Finanzierungs- und Anreizsystems). Dabei bestehen verschiedene Interdependenzen zwischen diesen Bereichen. So ist z. B. zu berücksichtigen, dass durch die Bepreisung auch Anreize hinsichtlich des Aufbaus von Ladeeinheiten durch Stellplatzeigentümer geschaffen werden können. Beispielsweise erscheint ein Aufbau von Ladeeinheiten durch Parkhausbetreiber möglich, wenn diese über entsprechende Preise die Kosten decken können. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass privaten Stellplatzeigentümern keine unzumutbaren Kostenbelastungen entstehen.

Im Folgenden wird (von diesen Interdependenzen abstrahierend) zunächst auf die Bepreisung in Verbindung mit Nutzungsregeln und anschließend auf Möglichkeiten der Sicherstellung des Aufbaus eingegangen.

BEPREISUNG UND NUTZUNGSREGELN

Für die Bepreisung komplementärer Güter gelten in weiten Teilen die Überlegungen der für den öffentlichen Bereich durchgeführten Analysen.[636] Insbesondere könnte auch hier in Verbindung mit einem Durchleitungsmodell der Strom separat bepreist werden. Außerdem erscheint für den Parkraum ebenfalls eine separate Bepreisung (wenn vorhanden) plausibel.

Wesentliche Unterschiede können sich jedoch ggf. hinsichtlich der Bepreisung des Ladepunktes (bzw. der Ladeinfrastrukturnutzung) und der damit in Verbindung stehenden Regeln für die Nutzung von Ladeplätzen ergeben. Im Folgenden werden kurz mögliche Optionen für die Bepreisung von Ladeplätzen im halböffentlichen Bereich dargestellt.

- **Eigentümer der Flächen legen Preise und Nutzungsregeln unabhängig fest**: Zunächst erscheint es möglich, dass die Eigentümer Preise und Nutzungsregeln unabhängig festlegen.

[636] Vgl. Abschnitt 8.3.

Von Vorteil bei dieser Lösung erscheint zunächst, dass Transaktionskosten für die Etablierung einer übergeordneten Lösung entfallen. Außerdem können die verschiedenen Eigentümer die für sie jeweils individuell vorteilhafte Lösung (dezentral) etablieren. Allerdings entstehen ggf. signifikante Transaktionskosten bei den Nutzern.[637]

- **Eigene Preise und Regelungen für den halböffentlichen Bereich**: Des Weiteren erscheint es möglich, dass innerhalb des halböffentlichen Bereichs (unabhängig vom öffentlichen Bereich) überregional gültige Regeln und Entgeltstrukturen etabliert werden. Dabei entstehen Transaktionskosten für die Etablierung dieser Regelungen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass den verschiedenen Eigentümern ggf. Kosten bzw. Einnahmeverluste entstehen. Auf der anderen Seite werden Transaktionskosten der Nutzer reduziert.

- **Gleiche Preise und Regelungen für den öffentlichen und den halböffentlichen Bereich**: Bei einer übergreifenden Betrachtung ist die Etablierung übergeordneter Regelungen für beide Bereiche in Betracht zu ziehen. Geht man von im öffentlichen Bereich vorhandenen überregional gültigen Preisen und Nutzungsregeln aus, könnten diese ggf. auf den halböffentlichen Bereich übertragen werden. Zusätzliche (über die Etablierung im öffentlichen Bereich hinausgehende) Transaktionskosten für die Etablierung von Regeln im halböffentlichen Bereich könnten dabei vermutlich weitestgehend vermieden werden. Für die Nutzer würden Transaktionskosten im Vergleich zu den obenstehenden Optionen (weiter) reduziert. Jedoch wären auch hier bei den verschiedenen Eigentümern entstehende Kosten bzw. Einnahmeverluste zu berücksichtigen.

An dieser Stelle kann aufgrund der verkürzten Betrachtung keine Empfehlung für eine der genannten Optionen erfolgen. In einer tiefergehenden Analyse wären insbesondere die den Eigentümern entstehenden Kosten sowie die Allokation der Einnahmen aus Nutzerzahlungen in Verbindung mit einem ggf. auszugestaltendem Finanzierungs- und Anreizsystem (bzw. der im Folgenden betrachteten Aufbauoptionen) zu berücksichtigen.

SICHERSTELLUNG DES AUFBAUS

Von der Frage der Etablierung allgemein gültiger Standards (insbesondere hinsichtlich der Zugangsmodelle, der Ladeverfahren und der Bepreisung) abstrahierend, können bei einer isolierten Betrachtung drei grundlegende Optionen unterschieden werden:

- **Keine Einflussnahme der öffentlichen Hand**: Zunächst ist es möglich, dass keine Einflussnahme der öffentlichen Hand hinsichtlich des Aufbaus von Ladeinfrastruktur im halböffentlichen Bereich erfolgt. Dabei ist fraglich, inwieweit private Eigentümer halböffentlicher Stellplätze Anreize haben, die mit dem Aufbau und Betrieb verbundenen Kosten (inkl. ggf. entstehender Einnahmeverluste) zu tragen. Von einer nicht ausreichenden

[637] Im Übrigen wären ggf. problematische Renteneffekte zu prüfen.

Zahlungsbereitschaft für das Gesamtsystem ausgehend, erscheint es (auch vor dem Hintergrund des „Henne-Ei-Problems“) unwahrscheinlich, dass es zu einem signifikanten Aufbau kommt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass Stellplatzeigentümer ggf. die Zahlungsbereitschaft für andere Produkte, die von ihnen (je nach Branche) angeboten werden, z. B. aufgrund von Imagewirkungen erhöhen können.

- **Pauschale Kostenzuschüsse**: Um den Aufbau im halböffentlichen Bereich (auch bei geringer Zahlungsbereitschaft für das Gesamtsystem) zu fördern, könnten auch pauschale Kostenzuschüsse durch die öffentliche Hand, die sich z. B. an den Investitionskosten einer Ladeeinheit oder an der Verfügbarkeit von Ladeeinheiten orientieren, in Erwägung gezogen werden. Dabei würden insbesondere für die Festlegung der Pauschalen sowie für deren Auszahlung (welche mit einer Umsetzungskontrolle zu verbinden wäre) Transaktionskosten entstehen.

  Im Vergleich zu obenstehender Option (keine Einflussnahme) würden durch pauschale Kostenzuschüsse zusätzliche Aufbauanreize gesetzt, wobei der (individuelle) Grad der Kostendeckung für die Entscheidung der verschiedenen Eigentümer maßgeblich sein dürfte.

- **Pauschale Vorgaben**: Des Weiteren könnte die öffentliche Hand Vorgaben für Eigentümer öffentlicher Stellplätze (wie z. B. bei Stellplätzen für behinderte Menschen der Fall) etablieren.[638] Dabei würden insbesondere ex ante Transaktionskosten für das Design einer entsprechenden Regel anfallen. Derartige Vorgaben könnten auch in Verbindung mit pauschalen Kostenzuschüssen etabliert werden, wobei, wie oben dargestellt, zusätzliche Transaktionskosten anfallen.

  Für den Fall, dass keine Kostenzuschüsse existieren, müssten Eigentümer die ihnen entstehenden Kosten bei der Preiskalkulation ihres jeweiligen Angebots berücksichtigen. Dabei würden die Kosten über die Gruppe der Kunden der verschiedenen Branchen sozialisiert, was mit Verteilungswirkungen einhergeht. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass es zu überproportionalen Belastungen einzelner Akteure kommen kann, die sich ggf. nachteilig auf deren jeweilige Wettbewerbsposition auswirken. Dementsprechend wäre ein kostengünstiger Aufbau und Betrieb im Fall pauschaler Vorgaben (ohne Kostenzuschüsse) von besonderer Bedeutung.[639]

[638] Entsprechende Vorschriften für die Bereitstellung von Behindertenstellplätzen sind i. d. R. in Verkaufsstättenverordnungen der Bundesländer verankert; vgl. z. B. § 28 VkVO der Länder Baden-Württemberg und Niedersachsen.

[639] In diesem Zusammenhang ist die Möglichkeit der fahrzeugseitigen Verortung von Messtechnik von Bedeutung; vgl. dazu den folgenden Abschnitt 9.3.

Bei allen drei dargestellten Optionen ist fraglich, inwieweit hinsichtlich der räumlichen Verteilung von Ladeinfrastruktur ein Aufbau an geeigneten Standorten erfolgt. Dabei erscheint im Rahmen pauschaler Vorgaben noch eine weitestgehende überregionale Abdeckung möglich. Eine lokale Feinplanung im halböffentlichen Bereich wäre jedoch unter Berücksichtigung der jeweiligen verkehrlichen Rahmenbedingungen und weiterer Belange durchzuführen, wobei Interdependenzen mit dem öffentlichen Bereich bestehen (wie im Folgenden kurz thematisiert wird).

Bei einer übergeordneten Betrachtung von öffentlicher und halböffentlicher Ladeinfrastruktur stellt sich die Frage, inwieweit ein Organisationsmodell bzw. ein Finanzierungs- und Anreizsystem so ausgestaltet werden kann, dass beide Bereiche berücksichtigt werden. Dieses ist vor dem Hintergrund verschiedener Wechselwirkungen zwischen den Bereichen von Bedeutung. So könnte beispielsweise eine Förderung im öffentlichen Bereich den Aufbau im halböffentlichen Bereich beeinflussen, wenn eine Sozialisierung von Investitionskosten im öffentlichen Bereich in Verbindung mit einer reduzierten bzw. entfallenden Grundgebühr zu einer geringeren Nachfrage im halböffentlichen Bereich führt. Ein im halböffentlichen Bereich ggf. vorhandenes Potenzial der Kostendeckung über Nutzereinnahmen würde somit reduziert. Des Weiteren bestehen Wechselwirkungen hinsichtlich der lokalen Feinplanung zwischen beiden Bereichen. Aus Sicht des Gesamtsystems kann davon ausgegangen werden, dass in den verschiedenen Regionen jeweils ein Optimum aus öffentlichen und halböffentlichen Standorten für Ladeeinheiten existiert. Außerdem bestehen entsprechend der Darstellungen in den vorherigen Abschnitten Interdependenzen in Bezug auf die Zugangsmodelle, die Ladeverfahren sowie hinsichtlich der Bepreisung von Ladeplätzen und der Nutzungsregeln.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine Abstimmung bzw. Optimierung dieser Wechselwirkungen innerhalb eines Finanzierungs- und Anreizsystems mit erheblichen Transaktionskosten einhergehen würde, die das Maß der Transaktionskosten der oben dargestellten Aufbauoptionen einer isolierten Betrachtung vermutlich weit übersteigen. Von daher könnten ggf. auch getrennte Finanzierungs- und Anreizsysteme für die beiden Bereiche sinnvoll sein.

9.3 Mobile Messtechnik

Im Folgenden wird auf die Möglichkeit einer fahrzeugseitigen Verortung von Messtechnik (die bisher ausgeklammert wurde) eingegangen. Dabei wird davon ausgegangen, dass neben der Messtechnik auch eine entsprechende Kommunikationsschnittstelle zum Backend fahrzeugseitig etabliert ist, sodass die stellplatzseitige Ladeeinheit grundsätzlich keine Verbindung zum Backend benötigt.

Wie bereits in Kapitel 3 erläutert, kommt es bei mobiler Messtechnik im Vergleich zu einem stationären Meter zu einer Verschiebung von Kosten in die Fahrzeuge.[640] Außerdem bestehen ggf. Implikationen hinsichtlich der Umsetzung von Modellen für den Zugang verschiedener

[640] Vgl. Abschnitt 3.4.2.3.1. Es ist anzumerken, dass innerhalb dieses Abschnitts davon abstrahiert wird, ob alle Ladeverfahren mit mobiler Messtechnik möglich sind. Bei einer oberflächlichen Betrachtung erscheinen jedoch keine technischen Hindernisse zu bestehen.

Stromlieferanten zum Ladeinfrastrukturnetzwerk, wobei davon ausgegangen werden kann, dass die Umsetzung des Durchleitungsmodells in keinem Fall komplizierter ist, als bei stationärer Messtechnik.

Im folgenden Abschnitt 9.3.1 wird zunächst auf die Rationalität einer Etablierung von mobiler Messtechnik anstelle des stationären Metering eingegangen. Daran anschließend erfolgt in Abschnitt 9.3.2 eine Diskussion des parallelen Aufbaus beider Verfahren.

9.3.1 Rationalität für mobile Messtechnik als Alternative zu stationärer Messtechnik

Die Betrachtung möglicher Vorteile mobiler Messtechnik gegenüber stationärer Messtechnik erfolgt innerhalb dieses Abschnitts zunächst für den öffentlichen Bereich. Anschließend wird der halböffentliche Bereich in die Betrachtungen einbezogen.

BETRACHTUNG DES ÖFFENTLICHEN BEREICHS

Für den öffentlichen Bereich wird im Folgenden zunächst auf Implikationen, die sich aus einer Verlagerung von Kosten ergeben, eingegangen. Daran anschließend wird kurz diskutiert, ob durch mobile Messtechnik ggf. eine einfachere Umsetzung einer Aufhebung der eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Ladeeinheit und Stromlieferant (entsprechend des Durchleitungsmodells) ermöglicht wird.

Hinsichtlich der Möglichkeit einer Kostenverschiebung können sich zunächst Auswirkungen auf die Investitionskosten im Gesamtsystem ergeben. Für eine Ermittlung der Kostendifferenz, die im Vergleich zu stationärem Metering besteht, wäre bei einer vertieften Betrachtung u. a. zu berücksichtigen, dass in Verbindung mit einer Verlagerung der Messtechnik in das Fahrzeug weitere Funktionen, wie insbesondere die Kommunikation mit dem Backend, durch das Fahrzeug übernommen werden und die entsprechenden Module in der Ladeeinheit entfallen können. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass aufgrund aktueller rechtlicher Rahmenbedingungen im öffentlichen Bereich trotz der mobilen Messmöglichkeit wahrscheinlich auch ein stationäres Meter am Netzanschluss erforderlich ist, wobei auch eine Anpassung entsprechender Regelungen denkbar ist.[641]

Von rechtlichen Rahmenbedingungen abstrahierend erscheint es mit mobiler Messtechnik jedoch grundsätzlich möglich, im öffentlichen Bereich bereits vorhandene Netzanschlüsse durch Installation einer Steckdose, die mit dem Fahrzeug kommuniziert, zu nutzen.[642] Beispiele für Einrichtungen mit einer bestehenden Verbindung zum Elektrizitätsnetz sind insbesondere Straßenlaternen sowie weitere Stadtmöbel (beleuchtete Werbeflächen etc.). Für die Analyse der sich hieraus ergebenden Kostenwirkungen wären (neben rechtlichen Rahmenbedingungen) auch technische Restriktionen hinsichtlich der Kapazität der jeweiligen Anschlussmöglichkeit zu berücksichtigen.

---

[641] Vgl. Abschnitt 2.1.3.3 und Abschnitt 2.1.4.2 sowie LBD (2010, S. 33).

[642] Die Kommunikation mit dem Fahrzeug ist insbesondere nötig, um den Ort der Ladeeinheit mit den Messdaten in Verbindung bringen zu können.

Über die Veränderungen der fahrzeugseitigen und stellplatzseitigen Kosten (pro Einheit) hinaus sind außerdem verschiedene Szenarien hinsichtlich der Anzahl der Ladeeinheiten und Fahrzeuge mit einzubeziehen. In Bezug auf die Anzahl (und Kosten) der Ladeeinheiten sind dabei insbesondere folgende Aspekte von Bedeutung:

- **Geringere stellplatzseitige Investitionskosten**: Bei angenommener gleichbleibender Angebotsqualität (hinsichtlich der Anzahl und räumlichen Verteilung von Ladeeinheiten) könnte das Ladeinfrastruktursystem mit mobiler Messtechnik ggf. deutlich günstiger bereitgestellt werden. Dieses hätte z. B. Einfluss auf die verschiedenen Organisationsmodelle, da die lokal entstehenden Investitionskosten geringer sind. Somit könnten die mit der Allokation von Mitteln der zentralen Ebene an die dezentrale Ebene verbundenen Transaktionskosten reduziert werden.

- **Weniger Kapazitätsrestriktionen bei Ausschöpfung eines fixen Gesamtbudgets für Ladeinfrastruktur**: Bei einem angenommenen fixen Gesamtbudget für den Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur wäre es mit mobiler Messtechnik möglich, eine höhere Anzahl an Ladeeinheiten aufzubauen. Dieses hätte einen positiven Effekt auf die Angebotsqualität und würde insbesondere entstehende Kapazitätsrestriktionen reduzieren. Somit würde sich auch die Rationalität für eine knappheitsorientierte Bepreisung sowie für die in dieser Arbeit nicht diskutierte Möglichkeit einer Reservierung reduzieren.

Es wird deutlich, dass sich durch eine mit mobiler Messtechnik einhergehende Reduzierung der stellplatzseitigen Kosten des Ladeinfrastruktursystems auch die Transaktionskosten des Aufbaus sowie der Nutzung reduzieren ließen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass sich die Investitionskosten der Fahrzeugseite erhöhen.

Neben den Implikationen, die sich aus der Verschiebung von Kosten ergeben, können in Verbindung mit mobiler Messtechnik evtl. Vorteile hinsichtlich der einfacheren Etablierung eines Durchleitungsmodells, das den Zugang verschiedener Stromlieferanten zur Ladeinfrastruktur ermöglicht, verbunden sein.[643] Der Grundgedanke dabei ist, dass eine eins-zu-eins Beziehung zwischen Stromlieferant und Ladeeinheit aufgehoben werden kann, während eine „physische“ eins-zu-eins Beziehung zwischen Kunde und Zählpunkt sowie Stromlieferant und Zählpunkt beibehalten wird, was die Komplexität, die z. B. mit einer ansonsten notwendigen Schaffung „unechter Zählpunkte“ verbunden ist, reduzieren könnte. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die mobilen Zählpunkte zwischen den Gebieten verschiedener Verteilnetze und Regelzonen wechseln können, was ggf. eine Anpassung der Abrechnungs- und Bilanzierungsprozesse innerhalb des energiewirtschaftlichen Systems erforderlich machen würde. Außerdem sind ebenfalls potenziell bestehende rechtliche Umsetzungsbarrieren von Bedeutung.

[643] Vgl. für eine Beschreibung der verschiedenen Zugangsmodelle Abschnitt 7.2.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass mobile Messtechnik im öffentlichen Bereich mit Vorteilen gegenüber stationärer Messtechnik einhergehen könnte, wobei Unsicherheiten hinsichtlich der Höhe möglicher Kostenvorteile sowie insbesondere hinsichtlich notwendiger Änderungen rechtlicher Rahmenbedingungen bestehen, die im Rahmen einer tieferen Analyse untersucht werden sollten.

BERÜCKSICHTIGUNG DES HALBÖFFENTLICHEN BEREICHS

Für den halböffentlichen Bereich gelten bei isolierter Betrachtung hinsichtlich der Kostenverschiebungen ähnliche Überlegungen. Außerdem gibt es evtl. eine Rationalität für mobile Messtechnik in Bezug auf die Etablierung von Anwendungsfällen und Zugangsmodellen (wie insbesondere des Durchleitungsmodells). Auf beide Aspekte wird im Folgenden kurz eingegangen:

- **Geringere Kosten der Ladeeinheiten**: Hinsichtlich des Potenzials, kostengünstige Lademöglichkeiten zu schaffen, ist für den halböffentlichen Raum (wie im vorhergehenden Abschnitt 9.2 dargestellt) von Bedeutung, dass i. d. R. bereits ein Netzanschluss (inkl. Meter) sowie häufig auch eine Elektroinstallation vorhanden sind. Eine fahrzeugseitige Verortung der notwendigen Mess- und Kommunikationstechnik könnte (wie auch bei bereits bestehenden Netzanschlüssen im öffentlichen Bereich) einen sehr kostengünstigen Aufbau von Ladeeinheiten ermöglichen. Somit könnte zum einen die Notwendigkeit von Zuschüssen für einen Aufbau von Ladeinfrastruktur im halböffentlichen Bereich sowie die mit den Zuschüssen einhergehenden Transaktionskosten reduziert werden. Zum anderen wäre es möglich, zu gleichbleibenden stellplatzseitigen Gesamtkosten eine höhere Anzahl Ladeeinheiten aufzubauen, mit entsprechend positivem Einfluss auf die Qualität des Systems.

- **Etablierung von Anwendungsfällen und Zugangsmodellen**: Durch die fahrzeugseitige Verortung der Messtechnik und der Kommunikationsschnittstellen ist es u. U. möglich, Standards bzw. Prozesse, wie insbesondere das Durchleitungsmodell oder einheitlich ausgestaltete erweiterte Anwendungsfälle, wie das gesteuerte Laden, zu geringeren (Transaktions-)kosten im halböffentlichen Bereich zu etablieren. Dieses könnte z. B. vor dem Hintergrund der relativ langen Lebensdauern von (Elektro-)Installationen im halböffentlichen Bereich (wie z. B. auch des bereits bestehenden Meters) der Fall sein, wenn bei einer stellplatzseitigen Verortung der Messtechnik Änderungen in diesem Bereich notwendig wären, die ggf. mit einer Vielzahl verschiedener Eigentümer abzustimmen sind. Somit wäre zu überprüfen, inwieweit mit mobiler Messtechnik weitergehende Änderungen im halböffentlichen Bereich vermieden werden können.

Es wird deutlich, dass auch im halböffentlichen Bereich ggf. Vorteile mobiler Messtechnik gegenüber dem stationären Metering für die Elektromobilität bestehen können, wobei auch hier eine vertiefte Betrachtung der verschiedenen Aspekte notwendig ist. Das Potenzial mobiler Messtechnik als Alternative zur stationären Messtechnik sollte entsprechend unter Berücksichtigung beider Bereiche analysiert werden.

9.3.2 Rationalität für den Aufbau paralleler Systeme

Im Folgenden wird hinterfragt, ob es neben der Etablierung von mobiler Messtechnik als einzigem Messsystem (anstelle von stationärer Messtechnik) ggf. auch eine Rationalität für die Etablierung beider Systeme gibt. Dabei wird ebenfalls zunächst auf den öffentlichen Bereich eingegangen und der halböffentliche Bereich anschließend in die Betrachtungen einbezogen.

BETRACHTUNG DES ÖFFENTLICHEN BEREICHS

Der Aufbau paralleler Systeme im öffentlichen Bereich könnte zum einen durch eine entsprechende Standardisierungs- bzw. Kompatibilitätsentscheidung (z. B. durch die öffentliche Hand im Rahmen einer planerischen Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur) oder durch einen Wettbewerb beider Systeme erfolgen. Beide Möglichkeiten werden im Folgenden kurz diskutiert:

- **Mobile Messtechnik als (geplantes) zusätzliches Verfahren im öffentlichen Bereich**: Um ggf. bestehende Vorteile mobiler Messtechnik, wie z. B. die Nutzung von Laternen als Ladeeinheiten, im öffentlichen Bereich zu nutzen, könnte eine Etablierung beider Standards in Erwägung gezogen werden. Dabei ist es von Bedeutung, dass Fahrzeuge für die Nutzung von Ladeeinheiten, die über kein stationäres Meter verfügen, mit mobiler Messtechnik ausgestattet sein müssen. Dieses Meter wäre bei der Nutzung von Ladeeinheiten mit stationärer Messtechnik redundant. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die umsetzungsreife Ausgestaltung beider Verfahren für eine Etablierung im öffentlichen Bereich mit höheren Transaktionskosten einhergeht als die Ausgestaltung von nur einem Verfahren. Somit wäre grundsätzlich zu hinterfragen, warum nicht nur mobile Messtechnik als Standard etabliert wird, wenn die damit einhergehenden Vorteile realisiert werden sollen.

- **Wettbewerb beider Systeme**: Ohne die Etablierung eines überregional einheitlichen Messsystems für die Elektromobilität ist ein Wettbewerb beider Systeme möglich. Auf Basis der in Abschnitt 6.2.2 dargestellten Analysen erscheinen als Ergebnis eines solchen Systemwettbewerbs verschiedene Ineffizienzen wahrscheinlich. Im Rahmen einer tiefergehenden Analyse der im Wettbewerb relevanten Kompatibilitätsentscheidungen wäre im Übrigen auch der oben angedeutete Umstand zu berücksichtigen, dass Fahrzeuge, die mit mobiler Messtechnik ausgestattet sind, aus technischer Sicht an allen Ladeeinheiten laden könnten, während Fahrzeuge ohne eigenes Meter nur zu Ladeeinheiten mit stationärem Meter kompatibel sind. Dabei wäre zu hinterfragen, inwiefern sich eine u. U. asymmetrische (Teil-)kompatibilität zwischen den verschiedenen Systemen einstellt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei einer isolierten Betrachtung des öffentlichen Bereichs, die Nachteile eines Aufbaus paralleler Systeme überwiegen dürften.

BERÜCKSICHTIGUNG DES HALBÖFFENTLICHEN BEREICHS

Für den halböffentlichen Bereich stellt sich, wie auch für den öffentlichen Bereich, zunächst die Frage, inwiefern durch eine Festlegung übergeordneter Standards ein Aufbau beider Systeme ermöglicht (oder verboten) werden sollte. Dabei ist hier analog zum öffentlichen Bereich die Problematik

redundanter Systeme zu berücksichtigen, wenn Ladeeinheiten z. T. mit und z. T. ohne stationäre Messtechnik ausgestattet werden sollen.

Für den Fall, dass im halböffentlichen Bereich keine übergeordneten Standards festgelegt werden, ist auch hier ein Systemwettbewerb denkbar, der in Verbindung mit der Etablierung einfacher Aufbauvorgaben auch durch die öffentliche Hand forciert werden könnte. In einem solchen Szenario dürften wahrscheinlich Wettbewerbsvorteile für das Konzept der mobilen Messtechnik bestehen, da dieses mit den günstigeren stellplatzseitigen Kosten einhergeht. Wie im öffentlichen Bereich kann jedoch auch hier grundsätzlich (entsprechend der Darstellungen in Abschnitt 6.2.2) davon ausgegangen werden, dass ein Systemwettbewerb zu verschiedenen Ineffizienzen führt.

9.4 Sonstige Fragestellungen

Neben den in den vorhergehenden Abschnitten in detaillierterer Form dargestellten Fragestellungen gibt es weitere Aspekte, die innerhalb der bisherigen Analyse ausgeklammert wurden, aber grundsätzlich von Relevanz sein können. Wesentliche Beispiele werden im Folgenden kurz genannt:

- **Weitere Energieübertragungsprinzipien**: Die in dieser Arbeit nicht vertieft berücksichtigten Möglichkeiten der Energieübertragung, wie insbesondere die Möglichkeit des Batteriewechsels sowie des induktiven Ladens, könnten im Rahmen einer weiteren Analyse mit in die Betrachtungen einbezogen werden. Dabei bestehen beim Batteriewechselkonzept aufgrund der hohen Geschwindigkeit, mit der eine volle Batterieladung verfügbar ist, Ähnlichkeiten zu den diskutierten Schnellladeverfahren (DC und AC i), wobei sich jedoch grundsätzlich andere Kostenstrukturen ergeben. Induktives Laden ist hingegen nach heutigen Erkenntnissen hinsichtlich der Ladegeschwindigkeit mit AC 1 vergleichbar. Es gibt jedoch potenzielle Unterschiede in Bezug auf die Anwendungsmöglichkeiten (z. B. an Taxiständen) und die Nutzerfreundlichkeit (aufgrund des wegfallenden Kabels).

- **Internationale Entwicklungen und Vorgaben**: Des Weiteren sollten bei bestimmten Fragestellungen internationale Entwicklungen in die Betrachtung mit einbezogen werden. Diese haben insbesondere hinsichtlich der Standardisierungs- und Kompatibilitätsentscheidungen eine hohe Bedeutung. Dabei wäre grundsätzlich auch zu prüfen, ob eine Festlegung entsprechender Entscheidungen der öffentlichen Hand auf internationaler Ebene, wie z. B. der EU-Ebene, vorteilhafter ist.

- **Informations- und Reservierungssysteme**: Innerhalb der Analysen dieser Arbeit wurde die Möglichkeit Nutzer hinsichtlich verfügbarer (nicht belegter) Ladeplätze zu informieren sowie die Möglichkeit der Reservierung von Ladeplätzen ausgeklammert. Diese können insbesondere hinsichtlich der Kapazitäts- und Bepreisungsentscheidungen von Relevanz sein und wären bei einer vertieften Analyse dieser Bereiche entsprechend zu berücksichtigen.

Im Übrigen sei an dieser Stelle (nochmals) darauf hingewiesen, dass im Rahmen dieser Arbeit keine juristische Bewertung der verschiedenen Ausgestaltungs- bzw. Handlungsoptionen erfolgen konnte,

die an verschiedenen Stellen hinsichtlich einer Umsetzung von Handlungsoptionen jedoch notwendig erscheint.

10 Fazit und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Fragen untersucht, die sich in Bezug auf die Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur stellen, um so einen Beitrag zur effizienten Erreichung der von der Bundesregierung formulierten langfristigen Ziele im Bereich der Elektromobilität zu leisten. Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse zunächst zusammengefasst und anschließend Handlungsempfehlungen für die öffentliche Hand dargestellt.

ZUSAMMENFASSUNG ZENTRALER ERGEBNISSE

Im Rahmen der Analysen ist herausgearbeitet worden, dass eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur notwendig ist, wenn mit elektrischen Antrieben ein zum konventionellen Verbrennungskraftsystem (qualitativ) ähnliches Angebotsniveau erreicht werden soll.[644] Des Weiteren ist aufgezeigt worden, dass für die technische Ausgestaltung der Ladeschnittstelle (zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit) bzgl. der Energieübertragung sowie bzgl. der Kommunikation vielfältige Möglichkeiten existieren, die Einfluss auf die Kosten sowie die Qualität des Gesamtsystems haben.[645] Diesbezüglich bestehen z. T. umfassende Standardisierungserfordernisse. Dabei sind insbesondere auch Anforderungen an die Kommunikation bzgl. der Nutzung von Fahrzeugbatterien im energiewirtschaftlichen System (durch eine Beeinflussung oder Steuerung von Ladevorgängen) zu berücksichtigen.[646]

Außerdem ist deutlich geworden, dass eine (rein) wettbewerbliche Bereitstellung eines öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzwerks mit verschiedenen Ineffizienzen einhergeht, sodass eine Festlegung (bzw. Planung) von Bereitstellungsentscheidungen durch die öffentliche Hand vorteilhaft erscheint.[647] Dabei stellt sich insbesondere die Herausforderung der Koordination von Entscheidungen im föderalen System. Diesbezüglich wurde dargestellt, dass ein Einbezug von lokalem Know-how sowie Abstimmungen mit lokalen Gebietskörperschaften in verschiedenen Bereichen, wie insbesondere der Standort- und lokalen Kapazitätsplanung, notwendig sind. Im Übrigen erscheint bei einem bestehenden Förderbedarf für das (gesamte) Elektromobilitätssystem der Einsatz von Fördermitteln zur Deckung von (Investitions-)Kosten des Ladeinfrastruktursystems gegenüber einer ausschließlichen „Kaufprämie“ vorteilhaft zu sein.

Darüber hinaus wurde untersucht, welche Aufgaben die Rolle des Ladeinfrastrukturbetreibers effizienterweise umfassen sollte, wobei deutlich geworden ist, dass die sich aus aktuellen energiewirtschaftlichen Regelungen ergebende „Zwangsbündelung“ mit der Rolle des Stromlieferanten und das mit dieser „Zwangsbündelung“ in Zusammenhang stehende „Roaming-

[644] Vgl. Abschnitt 3.3.2.

[645] Vgl. Abschnitt 3.4.

[646] Vgl. Abschnitt 3.2.2.2 für eine Beschreibung von beeinflusstem und gesteuertem Laden.

[647] Vgl. Abschnitt 6.2.

Modell“ mit verschiedenen Nachteilen einhergehen. Diese ergeben sich zum einen aus der lokalen Marktmacht der „integrierten Stromlieferanten“. Zum anderen erscheint es unwahrscheinlich, dass eine Steuerung oder Beeinflussung von Ladevorgängen bei einer Beibehaltung des Status quo (zu vertretbaren Kosten) umgesetzt werden kann.[648]

Schließlich bestehen hinsichtlich der Ausgestaltung des Ladeinfrastruktursystems an verschiedenen Schnittstellen zu komplementären Subsystemen Abstimmungs- und Standardisierungserfordernisse.[649] In Verbindung mit z. T. divergierenden Interessen der beteiligten Akteure gehen diese Abstimmungen mit (ggf. prohibitiv) hohen Transaktionskosten einher, sodass eine Einflussnahme der öffentlichen Hand in verschiedenen Bereichen mit Vorteilen einherzugehen scheint.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Im Folgenden werden mit den obenstehenden Ergebnissen in Verbindung stehende Handlungsempfehlungen dargestellt.

- **Auswahl von Ladeverfahren und Prüfung fahrzeugseitiger Vorgaben**: Vor dem Hintergrund der vielfältigen technischen Ausgestaltungsoptionen der Ladeschnittstelle erscheint eine Festlegung auf bestimmte Ladeverfahren notwendig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass stellplatzseitig ein vergleichsweise kostengünstiger Aufbau mit dreiphasigen Wechselstrom-Ladeverfahren (AC 3) möglich ist, die jedoch gegenüber einphasigen (AC 1) und Gleichstrom-Ladeverfahren (DC) mit (leicht) höheren fahrzeugseitigen Kosten einhergehen.[650] Diesbezüglich besteht jedoch mit der Möglichkeit des sog. Wechselstrom-Inverterladens (AC i) noch eine Unsicherheit, da dieses Verfahren u. U. vergleichsweise hohe Ladegeschwindigkeiten zu geringen stellplatzseitigen und fahrzeugseitigen Kosten ermöglichen könnte. Demgegenüber gehen Gleichstrom-Ladeverfahren, die sehr hohe Ladegeschwindigkeiten ermöglichen, mit hohen stellplatzseitigen Kosten einher. Vor diesem Hintergrund sollte die öffentliche Hand bestehende Unsicherheiten bzgl. des Inverterladens abbauen, da diese von wesentlicher Bedeutung für die Frage der Vorteilhaftigkeit schneller Gleichstrom-Ladeverfahren sind. Des Weiteren ist (insbesondere hinsichtlich AC 3) zu prüfen, ob Vorgaben für die Ausstattung von Fahrzeugen mit bestimmten Ladeverfahren etabliert werden sollten.[651] Im Übrigen sollten im Zuge der Auswahl von Ladeverfahren auch Schnittstellen für den Energiefluss (Kabel und

[648] Vgl. Abschnitt 7.1.

[649] Vgl. hierzu Kapitel 8.

[650] Vgl. Abschnitt 3.4.2.

[651] Vgl. Abschnitt 9.1.

Stecker) festgelegt werden, was vor dem Hintergrund der in diesem Bereich relativ weit vorangeschrittenen Standardisierungsbemühungen unproblematisch erscheint.[652]

- **Detaillierte Beschreibung eines Durchleitungsmodells und Festlegung von Standards für die Kommunikation**: Zur Auflösung der mit verschiedenen Nachteilen einhergehenden „Zwangsbündelung“ und Etablierung eines (vorteilhafteren) Durchleitungsmodells ist eine Änderung energiewirtschaftlicher Regelungen (und damit in Verbindung stehender) Prozesse notwendig, wobei verschiedene Umsetzungsoptionen existieren.[653] Die öffentliche Hand sollte die verschiedenen Optionen sowie die sich ergebenden Anpassungserfordernisse prüfen. Diese stehen zum einen in Verbindung mit der Etablierung von Standards für die Kommunikation von Abrechnungsinformationen. Außerdem sind für die Umsetzung von beeinflusstem oder gesteuertem Laden weitere Standardisierungserfordernisse zu berücksichtigen.[654]

- **Identifizierung von Abdeckungs- und Kapazitätszielen in Verbindung mit der Entwicklung eines Tarifmodells unter Berücksichtigung verschiedener Nutzungsszenarien:** Aktuell bestehen noch hohe Unsicherheiten bzgl. des Bedarfes an öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur. Insbesondere sind keine wissenschaftlichen Untersuchungen bekannt, die sich mit dieser Fragestellung unter Berücksichtigung verschiedener Interdependenzen auseinandersetzen. So sind insbesondere flächendeckende Mobilitätsoptionen sowie die Notwendigkeit einer hinreichenden Systemverfügbarkeit (in Abhängigkeit potenzieller Nutzungsrivalitäten) von Bedeutung.[655]

  Für eine Identifizierung von Abdeckungs- und Kapazitätszielen sind vermutlich Verkehrssimulationen (basierend auf einer geeigneten Methodik) notwendig. Dabei sind zunächst die verschiedenen Ladeverfahren bzw. -geschwindigkeiten zu berücksichtigen. Außerdem ist zu beachten, dass verschiedene Nutzungsregeln Einfluss auf die Kapazitätsauslastung sowie die (Transaktions-)Kosten der Nutzer haben. Des Weiteren sollte berücksichtigt werden, dass verschiedene Nutzungsszenarien, wie z. B. die Ladung nachts am eigenen Wohnort, die (ggf. kurze) Ladung an einem Zielort oder die Ladung im Rahmen eines Weges, der die elektrische Reichweite des Fahrzeugs übersteigt, differenziert werden können. Diese dürften sich insbesondere nach Standort sowie ggf. nach Tageszeit unterscheiden. Auf den Verkehrssimulationen aufbauend sollten außerdem Tarifmodelle

[652] Siehe auch Anhang B 1.

[653] Vgl. Abschnitt 7.2.

[654] Vgl. Abschnitt 8.1.1.

[655] Vgl. Abschnitt 6.1.1.

entwickelt werden, die einen (an den Opportunitätskosten orientierten) Allokationsmechanismus beinhalten.[656]

- **Ausgestaltung eines Finanzierungs- und Anreizsystems im föderalen System**: Für die (als vorteilhaft identifizierte) Festlegung (bzw. Planung) von Bereitstellungsentscheidungen durch die öffentliche Hand sind Entscheidungskompetenzen auf verschiedenen Ebenen zu verankern und die Beziehungen zwischen diesen Ebenen auszugestalten. Diesbezüglich konnten im Rahmen dieser Arbeit erste Hinweise hinsichtlich der Verankerung von Entscheidungskompetenzen auf verschiedenen Ebenen generiert werden. Es sind jedoch weiterführende Betrachtungen notwendig. Beispielsweise sind Fragen der Allokation von Finanzmitteln der zentralen Ebene an die dezentrale Ebene unter Berücksichtigung von Anreizwirkungen zu klären. Dabei wären auch rechtliche Fragen zu berücksichtigen, die im Rahmen dieser Arbeit ausgeklammert wurden.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die von der Bundesregierung bzgl. des Markthochlaufes der Elektromobilität formulierten Ziele in dieser Arbeit nicht hinterfragt wurden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass Unsicherheiten hinsichtlich der technologischen Entwicklung verschiedener alternativer Antriebstechnologien (wie insbesondere auch der Wasserstoffantriebe) bestehen.

[656] Vgl. hierzu ausführlich Abschnitt 6.1.2.

Literaturverzeichnis

ABB (2012): Pressemitteilung – VitaeMobility und ABB planen die Bereitstellung eines Netzes von 50 Gleichstrom-Schnellladegeräten in ganz Belgien; abgerufen am 27.09.2012 unter http://www02.abb.com/global/atabb/atabb104.nsf/0/7ae9a00760a0a4f7c1257a4b00501ee6/$file/Pressemitteilung+VITAEMOBILITY.pdf.

Abt, D. (1998): Die Erklärung der Technikgenese des Elektroautomobils; Frankfurt a.M.: Peter Lang.

Acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2010): Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann. Status quo – Herausforderungen – offene Fragen; acatech bezieht Position Nr.6; abgerufen am 01.09.2011 unter http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/e-mo/acatech_bezieht_Position_Nr6_pr%C3%A4final.pdf.

Alchian, A. A. / Woodward, S. (1987): Reflections on the Theory of the Firm; in: Journal of Institutional and Theoretical Economics, Vol. 143, No. 1, S. 110-136.

Andersson, S.-L. / Elofsson, A. K. / Galus, M. D. / Göransson, L. / Karlsson, S. / Johnsson, F. / Andersson, G. (2010): Plug-in hybrid electric vehicles as regulating power providers – Case studies of Sweden and Germany; in: Energy Policy, Vol. 38, No. 6, S. 2751–2762.

Angerer, G. / Marscheider-Weidemann, F. / Wendl, M. / Wietschel, M. (2009): Lithium für Zukunftstechnologien – Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität; Projektergebnisse aus den Projekten Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM und Innovationsallianz - Lithium-Ionen-Batterie (LIB2015) im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), abgerufen am 06.09.2011 unter http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/Images/%5BAngerer%20et%20al.%202009%5D%20Lithium%20f%C3%BCr%20Zukunftstechnologien-dez09%20_2__tcm243-58900.pdf.

Backhaus, O. / Döther, H. / Heupel, T. (2011): Elektroauto – Milliardengrab oder Erfolgsstory? – Entstehungsgeschichte, Marktanalyse 2010 und Zukunftspotenziale der Elektromobilität; in: Klumpp, M. (Hrsg.): Schriftenreihe Logistikforschung, Band 19, Essen: Institut für Logistik- und Dienstleistungsmanagement.

Ball, M. / Wietschel, M. (2009): The future of hydrogen – Opportunities and challenges; in: International journal of hydrogen energy, Vol. 34, No. 2, S. 615-627.

BCG – The Boston Consulting Group (2009): The Comeback of the Electric Car? How Real, How Soon, and What must Happen Next; abgerufen am 15.11.2012 unter http://www.electricdrive.org/index.php?ht=a/GetDocumentAction/id/27914.

BCG – The Boston Consulting Group (2010): Batteries for Electric Cars – Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020; in: BCG Focus, 1/10.

Beckers, T. / Brenck, A. / Gehrt, J. / Klatt, J. P. (2008): Rationalität und Ausgestaltung privater Finanzierung in PPP-Projekten; Studie im Auftrag der Initiative Finanzstandort Deutschland (IFD), abgerufen am 06.09.2011 unter http://www.wip.tu-berlin.de/typo3/fileadmin/documents/wip-de/forschung/publikationen/2009/private_finanzierung_in_ppp-projekten.pdf.

Beckers, T. / Gizzi, F. / Jäkel, K. (2012a): Organisations- und Betreibermodelle für Verkehrstelematikangebote – Untersuchungsansatz sowie beispielhafte Analyse von Verkehrsinformationsdiensten; Studie im Rahmen des von BMVBS, BMWi und BMBF geförderten Projektes SIM-TD, im Erscheinen.

Beckers, T. / Gizzi, F. / Jäkel, K. (2012b): Ein Untersuchungsansatz für Systemgüter – Einordnung, Darstellung, Vorgehen bei der Anwendung; abgerufen am 03.06.2012 unter http://wip.tu-berlin.de/typo3/fileadmin/documents/wip-de/forschung/working%20paper-reihe/beckers_gizzi_jaekel_2012-ein_untersuchungsansatz_fuer_systemgueter.pdf.

Beckers, T. / Klatt, J. P. / Kühling, J. (2010): Entgeltregulierung der deutschen Flughäfen – Reformbedarf aus ökonomischer und juristischer Sicht; Studie im Rahmen des Forschungsvorhabens „Reform der Entgeltregulierung der deutschen Flughäfen“, abgerufen am 27.10.2011 unter http://www.wip.tu-berlin.de/typo3/fileadmin/documents/wip-de/forschung/publikationen/2010/studie_entgeltregulierung_der_deutschen_flughaefen-v3.00_01.03.2010.pdf.

Beckers, T. / Reinke, J. / Bruchmann, C. / Gizzi, F. / Hoffrichter, A. / Jäkel, K. (2011): Elektromobilität und Infrastruktur - Ökonomische Analyse von Organisations- und Betreibermodellen, Aufbau- und Finanzierungsstrategien sowie Regulierungsfragen; Abschlussbericht zu dem Forschungsvorhaben „EM-Infra“ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), angerufen am 08.04.2013 unter http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb12/723680876.pdf.

Beckers, T. / Wallbrecht, A. / Hermes, G. (2012): Rationalität, Ausgestaltung und Umsetzbarkeit einer einheitlichen Wertstofferfassung nach dem Modell der Kommunalisierung mit zentralen Steuerungs- und Anreizelementen – Eine ökonomisch-(verfassungs-)rechtliche Analyse; Kurzgutachten im Auftrag des Verbands Kommunaler Unternehmen (VKU), im Erscheinen.

Bhat, C. R. (1995): A heteroscedastic extreme value model of intercity travel mode choice; in: Transportation Research Part B, Vol. 29, No. 6, S. 471-483.

Bickert, S. / Günther, C. / Krug, S. / Stumpp, S. / Kuhn, R. (2011): Total Costs of Ownership von Elektrofahrzeugen unter besonderer Berücksichtigung von Batteriekosten, Wertverlust und Batteriealterung; Vortrag der HdT-Tagung "Kraftwerk Batterie – Lösungen für Automobil und Energieversorgung", 01.-02. März 2011, abgerufen am 12.11.2012 unter http://www.net-elan.de/lw_resource/datapool/publications/Total_Costs_of_Ownership_von_Elektrofahrzeugen.pdf.

Biere, D. / Dallinger, D. / Wietschel, M. (2009): Ökonomische Analyse der Erstnutzer von Elektrofahrzeugen; in: Zeitschrift für Energiewirtschaft, 33. Jg., Heft 2, S. 173-181.

Blankart, C. B. (2008): Öffentliche Finanzen in der Demokratie – Eine Einführung in die Finanzwissenschaft; 7. Auflage, München: Verlag Franz Vahlen.

Blees, V. (2011): Kommunales Mobilitätsmanagement – Verankerung in Plänen und Programmen; Vortrag auf dem DECOMM-Workshop, 15. Juni.2011, abgerufen am 10.12.2012 unter http://www.mobilitaetsmanagement.nrw.de/cms1/images/stories/DECOMM_2011_Blees_Publikationsfassung.pdf.

.

Blümel, H. (1992): Nur noch mit Batterie- oder Hybrid-Antrieb in die Städte? – Eine vergleichende Betrachtung aus Sicht der Luftreinhaltung; in: VDI Berichte, Nr. 1020, S. 79-112.

Blümel, H. / Wein, K. (1996): Kosteneffizienz alternativer Pkw-Antriebe – Beispiel Elektrostraßenfahrzeug; in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg., Heft 3, S. 164-170.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie / BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung / BMU – Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit / BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2011): Bekanntmachung Richtlinie zur Förderung von Forschung und Entwicklung "Schaufenster Elektromobilität"; in: Bundesanzeiger, Nr. 164, S. 3804-3809.

Brenck, A. / von Hirschhausen, C. / Holzhey, M. / Hübner, L. / Peter, B. / Schulin, T. / Schultz, S. / Siegmann, J. (2004): Projektbericht SYNETRA – Synergien zwischen Bahnnetz und -transport: Praxis, Probleme, Potentiale; Endversion, abgerufen am 08.04.2013 unter http://www.wip.tu-berlin.de/fileadmin/fg280/forschung/publikationen/2004/tu_berlin_wip_bahnbetrieb-endbericht_projekt_synetra-synergie_zwischen_netz_und_transport_im_schienenverkehr.pdf.

Brenner, S. (2005): Hotelling Games With Three, Four and More Players; in: Journal of Regional Science, Vol. 45, No. 4, S. 851–864.

Brown, M. (2001): Market failures and barriers as a basis for clean energy policies; in: Energy Policy, Vol. 29, No. 14, S. 1197-1207.

Bundesnetzagentur (2010): Wettbewerbliche Entwicklungen und Handlungsoptionen im Bereich Zähl- und Messwesen und bei variablen Tarifen; abgerufen am 15.11.2012 unter http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Energie/Sonderthemen/BerichtZaehlMesswesen/BerichtZaehlMesswesenpdf.pdf?__blob=publicationFile.

Bundesnetzagentur (2011): "Smart Grid" und "Smart Market" – Eckpunktepapier der Bundesnetzagentur zu den Aspekten des sich verändernden Energieversorgungssystems; abgerufen am 19.01.2012 unter http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Energie/Sonderthemen/SmartGridEckpunktepapier/SmartGridPapierpdf.pdf?__blob=publicationFile.

Bundesregierung (2007): Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm; abgerufen am 06.09.2011 unter http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eckpunkt-fuer-ein-integriertes-energie-und-klimaprogramm,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf.

Bundesregierung (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung; abgerufen am 06.09.2011 unter http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf.

Bundesregierung (2011): Regierungsprogramm Elektromobilität; abgerufen am 06.09.2011 unter http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/regierungsprogramm-elektromobilitaet,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf.

Campanari, S. / Manzolini, G. / Garcia de la Iglesia, F. (2009): Energy analysis of electric vehicles using batteries or fuel cells through well-to-wheel driving cycle simulations; in: Journal of Power Sources, Vol. 186, No. 2, S. 464-477.

Coase, R. H. (1937): The Nature of the Firm; in: Economica, Vol. 4, No. 16, S. 386–405.

Creutzig, F. / Edenhofer, O. (2010): Mobilität im Wandel – Wie der Klimaschutz den Transportsektor vor neue Herausforderungen stellt; in: Internationales Verkehrswesen, 62. Jg., Heft 3, S. 1-6.

DAT – Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2012): DAT Report 2012; abgerufen am 16.11.2012 unter http://www.dat.de/servlet/com.bil.ep.mediaman.servlet.Download?fileid=3395.

David, P. A. (1985): Clio and the Economics of QWERTY; in: The American Economic Review, Vol. 75, No. 2, S. 332-337.

DCTI – Deutsches CleanTech Institut (2010): eMobilität; abgerufen am 11.04.2012 unter http://www.dcti.de/veroeffentlichungen/dcti-studienreihe.html.

Dearborn, S. (2005): Charging Li-ion Batteries for Maximum Run Times; in: Power Electronics Technology, April, S.40-49.

Diefenbach, I. / Gaul, A. / Voit, S. (2010): Intelligente Einbindung von E-Fahrzeugen in die Netze und daraus abgeleitete Anforderungen an die V2G Kommunikation; in: Tagungsband VDE-Kongress 2010.

DLR / Fraunhofer ISE / RWTH Aachen (2012): Perspektiven von Elektro-/Hybridfahrzeugen in einem Versorgungssystem mit hohem Anteil dezentraler und erneuerbarer Energiequellen; Schlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi); abgerufen am 19.11.2012 unter http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/projects/BMWi0328005A-C.pdf.

Ecofys / EnCT / BBH (2009): Einführung von lastvariablen und zeitvariablen Tarifen; abgerufen am 24.11.2012 unter http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/153298/publicationFile/ 6483/EcosysLastvariableZeitvariableTarife19042010pdf.pdf.

Economides, N. (1991): Compatibility and the Creation of Shared Networks; in: Guerrin-Calvert, M. E. / Wildman, S. S. (Hrsg.): Electronic Services Networks, New York: Praeger, S. 39-55.

Erlei, M. / Leschke, M. / Sauerland, D. (2007): Neue Institutionenökonomik; 2. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Ernst, C.S. / Hackbarth, A. / Madlener, R. / Lunz, B. / Sauer, D. U. / Eckstein, L. (2011): Battery sizing for serial plug-in hybrid electric vehicles – A model-based economic analysis for Germany; in: Energy Policy, Vol. 39, No. 10, S. 5871–5882.

ESMT – European School of Management and Technology (2011): Marktmodell Elektromobilität; abgerufen am 18.07.2012 unter http://www.mmem.eu/assets/report/ESMT-Marktmodell-Elektromobilitaet-Bericht.pdf.

EURELECTRIC (2012): Facilitating e-mobility – EURELECTRIC views on charging infrastructure; abgerufen am 17.09.2012 unter http://www.eurelectric.org/media/27060/0322_facilitating_emobility_eurelectric_views_-_final-2012-030-0291-01-e.pdf.

Europäische Kommission (2013): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe; abgerufen am 05.02.2013 unter http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2013/com2013_0018de01.pdf.

ExxonMobil (2011): Energieprognose 2011 – 2030; abgerufen am 15.05.2012 unter http://www.exxonmobil.com/Germany-German/PA/Files/Energieprognose_2011.pdf.

Farrell, J. / Saloner, G. (1992): Converters, Compatibility, and the Control of Interfaces; in: The Journal of Industrial Economics, Vol. 40, No. 1, S. 9-35.

Feller, D. / de Wyl, C. / Missling, S. (2010): Ladestationen für Elektromobilität – Regulierter Netzbereich oder Wettbewerb?; in: Zeitschrift für Neues Energierecht, 14. Jg., Heft 3, S. 240-246.

Fest, C. / Franz, O. / Gaul, A. (2010): E-Roaming – Ein Schlüsselelement für den flächendeckenden Rollout der Elektromobilität; in: Elektromobilität, 4. Jg., Heft 10, S. 30-34.

Fest, C. / Franz, O. / Gaul, A. (2011): Die künftige Messaufgabe für Elektromobilität – Erste Analyse und Bewertung; in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 61. Jg., Heft 1/2, S. 90-99.

Fraunhofer ISI (2011): Gesellschaftliche Fragestellungen der Elektromobilität; abgerufen am 03.05.2012 unter http://publica.fraunhofer.de/starweb/servlet.starweb?path=urn.web&search=urn:nbn:de:0011-n-1859775.

Fraunhofer IWES / OFFIS (2010): Marktübersicht Kommunikation/Steuerung; Studie im Auftrag der Initiative „Elektrofahrzeuge Intelligent am Netz“ (ELAN); abgerufen am 16.07.2012 unter http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_ELAN-Studien_stehen_jetzt_allen_BDEW-Mitgliedern_zur_Verfuegung/$file/752_ELAN2020_Studie_Marktuebersicht_Kommunikation_und_Steuerung.pdf.

Freund, D. / Lützenberger, M. / Albayrak, S. (2012): Costs and Gains of Smart Charging Electric Vehicles to Provide Regulation Services; in: Procedia Computer Science, Vol. 10, S. 846-853.

Fritsch, M. / Wein T. / Ewers, H. J. (2007): Marktversagen und Wirtschaftspolitik – Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns; 7. Auflage, München: Verlag Franz Vahlen.

Gandal, N. (2002): Compatibility standardization and network effects – Some policy implications; in: Oxford Review of Economic Policy, Vol. 18, No. 1, S. 80-91.

Gauggel, S. (2011): Öffentliche Ladeinfrastruktur für Elektromobile – Kommunale Handlungsmöglichkeiten; in: Infrastruktur Recht. Energie. Verkehr. Abfall. Wasser, 8. Jg., Heft 11, S. 252-257.

Gerke, W. / Hennies, M. / Schäffner, D. (2000): Der Stromhandel – Grundlagen, Profile, Perspektiven: Ein Wegweiser für Unternehmen, Marktteilnehmer an der Börse und den Endverbraucher; Frankfurt a. M.: F.A.Z.-Institut für Management-, Markt- und Medianinformationen GmbH.

Gerssen-Gondelach, S. J. / Faaij, A. P. C. (2012): Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term; in: Journal of Power Sources, Vol. 212, S. 111-129.

Habib, K. M. N. / Day, N. / Miller, E. J. (2009): An investigation of commuting trip timing and mode choice in the Greater Toronto Area – Application of a joint discrete-continuous model; in: Transportation Research Part A, Vol. 43, No. 7, S. 639-653.

Hahnel, U. / Gölz, S. / Spada, H. (2013): How accurate are drivers' predictions of their own mobility? Accounting for psychological factors in the development of intelligent charging technology for electric vehicles; in: Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 48, S. 123-131.

Hedegaard, K. / Ravn, H. / Juul, N. / Meibom, P. (2012): Effects of electric vehicles on power systems in Northern Europe; in: Energy, Vol. 48, No. 1, S. 356-368.

Helmes, S. (2013): Netz oder Nicht-Netz? Die Stellung von Kundenanlagen im EnWG; in: EnWZ - Zeitschrift für das gesamte Recht der Energiewirtschaft, Heft 1, S. 23-27.

Hempel, L. / Vedder, D. (2011): Subjektive Sicherheit im ÖPNV; in: Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis, 20. Jg., Heft 1, S. 75-78.

Hesse, J. J. / Ellwein, T. (2004): Das Regierungssystem der Bundesrepublik Deutschland; 9. Auflage, Berlin: De Gruyter.

Heuck, K. / Dettmann, K.-D. / Schulz, D. (2010): Elektrische Energieversorgung – Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie für Studium und Praxis; 8. Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

Hicks, J. R. (1943): The Four Consumer's Surpluses; in: The Review of Economic Studies, Vol. 11, No. 1, S. 31-41.

Hidrue, M. K. / Parsons, G. R. / Kempton, W. / Gardner, M. P. (2011): Willingness to pay for electric vehicles and their attributes; in: Resource and Energy Economics, Vol. 33, No. 3, S. 686-705.

Hilgers, M. (1994): Zur Psychologie der Verkehrsmittelwahl; in: Apel, D. / Holzapfel, H. / Kiepe, F. (Hrsg.): Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung, 6. Auflage, Bonn: Economica Verlag.

Holznagel, B. / Vogelsang, I. (2009): Weiterentwicklung der TK-Regulierung im Lichte neuer Herausforderungen und ökonomischer Erkenntnisse; in: Haucap, J. / Kühling, J. (Hrsg.): Effiziente Regeln für Telekommunikationsmärkte in der Zukunft - Kartellrecht, Netzneutralität und Preis-Kosten-Scheren, Baden-Baden: Nomos, S.13-113.

Hotelling, H. (1929): Stability in Competition; in: The Economic Journal, Vol. 39, No. 153, S. 41-57.

Høyer, K. (2008): The history of alternative fuels in transportation – The case of electric and hybrid cars; in: Utilities Policy, Vol. 16, No. 2, S. 63-71.

IEA – International Energy Agency (2009): Transport, Energy and CO_2 – Moving Toward Sustainability; 9. Auflage, Paris: OECD Publishing.

InfraCOMP (2009): Faire Strompreise - Grundlagen und Handlungsbedarf; Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), abgerufen am 20.11.2012 unter http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gutachten_infracomp_strompreise_bf.pdf.

Ito, N. / Takeuchi, K. / Managi, S. (2013): Willingness-to-pay for infrastructure investments for alternative fuel vehicles; in: Transportation Research Part D, Vol. 18, S. 1-8.

Jacobson, I. / Christerson, M. / Jonsson, P. / Övergaard, G. (1992): Object-Oriented Software Engineering – A Use Case Driven Approach; 4. Auflage, Amsterdam: Addison-Wesley.

Jay, L. (1990): Green About the Tills – Markets Discover The Eco-Consumer; in: Management Review, Vol. 79, No. 6, S. 24-28.

Kahn Ribeiro, S. / Kobayashi, S. / Beuthe, M. / Gasca, J. / Greene, D. / Lee, S. / Muromachi, Y. / Newton, P. / Plotkin, S. / Sperling, D. / Wit, R. / Zhou, P. (2007): Transport and its infrastructure; in: Metz, B. / Davidson, B. / Bosch, P. / Dave, R. / Meyer, L. (Hrsg.): Climate Change 2007 – Mitigation of Climate Change, New York: Cambridge University Press, S.323-385.

Kaldor, N. (1939): Welfare propositions of economics and interpersonal comparisons of utility; in: The Economic Journal, Vol. 49, No. 195, S. 549-552.

Kalhammer, F. R. / Kopf, B. M. / Swan, D. H. / Roan, V. P. / Walsh, M. P. (2007): Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology – Report of the ARB Independent Expert Panel 2007; abgerufen am 14.11.2012 unter http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevreview/zev_panel_report.pdf.

Katz, M. L. / Shapiro, C. (1985): Network Externalities, Competition, and Compatibility; in: The American Economic Review, Vol. 75, No. 3, S. 424-440.

Kempton, W. / Tomic, J. (2005): Vehicle-to-grid power fundamentals – Calculating capacity and net revenue; in: Journal of Power Sources, Vol. 144, No. 1, S. 268-279.

Kendall, G. (2008): Plugged in – The end of the oil age; Report im Auftrag des WWF, abgerufen am 07.08.2012 unter http://www.ika.rwth-aachen.de/forschung/veroeffentlichung/2008/04-02/wwf_2008_plugged_in_full_report.pdf.

Klatt, J. P. (2011): Eine institutionenökonomische Analyse von Finanzierungslösungen für die Bundesfernstraßen; Dissertationsschrift, Münster: Nomos.

Klemperer, P. (1987): Markets with consumer switching costs; in: Quarterly Journal of Economics, Mai, S. 375-394.

Kley, F. (2011): Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge – Entwicklung und Bewertung einer Ausbaustrategie auf Basis des Fahrverhaltens; Dissertationsschrift, Karlsruhe: Fraunhofer Verlag.

Kley, F. / Dallinger, D. / Wietschel, M. (2010): Optimizing the charge profile –considering users' driving profiles; Working Paper Sustainability and Innovation, No. S 6/2010, abgerufen am 28.12.2011 unter http://econstor.eu/bitstream/10419/40020/1/634895958.pdf.

Knieps, G. (2009): Der Markt für Netzinfrastrukturkapazitäten – Zur Vereinbarkeit von unternehmerischer Flexibilität und Regulierung; in: Knieps, G. / Weiß, H.-J. (Hrsg.): Fallstudien zur Netzökonomie, Wiesbaden: Gabler, S.1-25.

Konstantin, P. (2009): Praxisbuch Energiewirtschaft – Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt; 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Kraftfahrtbundesamt (2011): Fahrzeugzulassungen – Neuzulassungen und Besitzumschreibungen von Kraftfahrzeugen nach Emissionen und Kraftstoffen; abgerufen am 13.02.2013 unter http://www.kba.de/nn_191064/DE/Statistik/Fahrzeuge/Publikationen/2011/fz14__2011__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fz14_2011_pdf.pdf.

Kraftfahrtbundesamt (2012): Fahrzeugzulassungen – Bestand an Kraftfahrzeugen nach Emissionen und Kraftstoffen; abgerufen am 15.08.2012 unter http://www.kba.de/cln_031/nn_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Publikationen/2012/fz13__2012__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fz13_2012_pdf.pdf.

Kristiansen, E. (1998): R&D in the Presence of Network Externalities – Timing and Compatibility; in: The RAND Journal of Economics, Vol. 29, No. 3, S. 531-547.

Kubik, M (2006): Consumer Views on Transportation and Energy (Third Edition); Technischer Report im Auftrag des National Renewable Energy Laboratory, abgerufen am 24.11.2012 unter http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39047.pdf.

Kunert, U. / Radke, S. (2011): Kraftfahrzeugverkehr 2010 – Weiteres Wachstum und hohe Bedeutung von Firmenwagen; in: DIW Wochenbericht, No. 48, S. 15-25.

LBD - LBD-Beratungsgesellschaft mbH (2010): Umsetzung der Marktprozesse für Elektromobilität – Grundlagenpapier zu Marktmodellen, Prozessen und IT-Anforderungen rund um die Ladeinfrastruktur; Studie im Auftrag der regio iT Gesellschaft für Informationstechnologie mbH.

Legler, H. / Gehrke, B. / Krawczyk, O. / Schasse, U. / Rammer, C. / Leheysa, N. / Sofka, W. (2009): Die Bedeutung der Automobilindustrie für die deutsche Volkswirtschaft im europäischen Kontext; Endbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Projekt Nr. 29/08, abgerufen am 22.01.2013 unter ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/AutomobEndBericht_final.pdf.

Matthies, G. / Stricker, K. / Traenckner, J. (2010): Zum E-Auto gibt es keine Alternative; abgerufen am 12.11.2012 unter http://www.bain.de/Images/Bain_Brief_Zum_E-Auto_gibt_es_keine_Alternative_2010.pdf.

McFadden, D. (1974): Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior; in: Zarembka, P. (Hrsg.): Frontiers in Econometrics, New York: Academic Press Inc., S.105-142.

McKinsey, BMW AG, Daimler AG, Ford, General Motors LLC, Honda R&D, Hyundai Motor Company, Kia Motors Corporation, Nissan, Renault, Toyota Motor Corporation, Volkswagen, ENI Refining and Marketing, Galp Energia, OMV Refining and Marketing GmbH, Shell Downstream Services International B.V., Total Raffinage Marketing, EnBW Baden-Wuerttemberg AG, Vattenfall, Air Liquide, Air Products, The Linde Group, Intelligent Energy Holdings plc, Powertech, Nordex, ELT Elektrolyse Technik, Hydrogenics, Hydrogen Technologies, Proton Energy Systems, European Climate Foundation, European Fuel Cells und Hydrogen Joint Undertaking, NOW GmbH (2010): Ein Portfolio von Antriebssystemen für Europa: Eine faktenbasierte Analyse – Die Rolle von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen, Plug-in Hybridfahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen; abgerufen am 29.03.2012 unter http://www.now-gmbh.de /fileadmin/user_upload/RE-Mediathek/RE_Publikationen_NOW/NOW_Portfolio_von_ Antriebssystemen_fuer_Europa.pdf.

Milgrom, P. / Roberts, J. (1992): Economics, Organization and Management; New Jersey: Prentice Hall.

North, D. (1990): Institutions, Institutional Change and Economic Performance; Cambridge: Cambridge University Press.

NOW – Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2011a): Ergebnisbericht 2011 der Modellregionen Elektromobilität; Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), abgerufen am 03.12.2012 unter http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-Downloads/RE_DL_MR-Ergebnisbericht_2011/RE_DL_NOW_Ergebnisbericht_2011.pdf.

NOW – Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2011b): Umsetzungsbericht zum Förderprogramm "Elektromobilität in Modellregionen" des BMVBS; abgerufen am 29.05.2012 unter http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/66620/ publicationFile/37873/modellregionen-elektromobilitaet-umsetzungsbericht-mai-2011.pdf.

NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität; abgerufen am 20.12.2011 unter http://www.elektromobilitaet.din.de/ sixcms_upload/media/3310/RZ_0905_NPE_Zweiter%20Bericht_Final_Print.pdf.

NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2012a): Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht); abgerufen am 25.06.2012 unter http://www.bmvbs.de/ cae/servlet/contentblob/86250/publicationFile/58815/elektromobilitaet-fortschrittsbericht-nationale-plattform.pdf.

NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2012b): Die deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität – Version 2; abgerufen am 10.02.2012 unter www.elektromobilitaet.din.de/cmd?level=tpl-rubrik&languageid=de&cmsrubid=normungsroadmap_version2.

Ott, H. (2007): Keiner will der Erste sein; in: Politische Ökologie, 25. Jg., September, S. 21-24.

Papendick, K. / Brennecke, U. / Sánchez Márquez, J. S. / Deml, B. (2011): Nutzerverhalten beim Laden von Elektrofahrzeugen; abgerufen am 24.11.2012 unter http://www.iaf-ag.ovgu.de/iniafag_media/downloads/publikationen/Nutzerverhalten+beim+Laden+von+Elektrofahrzeugen.pdf.

Peterson, S. / Apt, J. / Whitacre, J. (2010): Lithium-ion battery cell degradation resulting from realistic vehicle and vehicle-to-grid utilization; in: Journal of Power Sources, Vol. 195, No. 8, S. 2385-2392.

Pike Reserach (2012): Executive Summary – Plug-in Electric Vehicles; abgerufen am 17.09.2012 unter http://www.pikeresearch.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/06/PEV-12-Executive- Summary.pdf.

Polk (2012): Global Passenger Vehicle Sales Development; abgerufen am 12.10.2012 unter https://www.polk.com/knowledge/download/fc01r/.

Prognos AG / Öko Institut / Ziesing, H.-J. (2009): Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken; Endbericht im Auftrag von WWF Deutschland, abgerufen am 31.10.2011 unter http://www.wwf.de/downloads/publikationsdatenbank/ddd/32874/.

Propfe, B. / Kreyenberg, D. / Wind, J. / Schmid, S. (2013): Market penetration analysis of electric vehicles in the German passenger car market towards 2030; in: International Journal of Hydrogen Energy, abgerufen am 09.04.2013 unter http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.02.049.

Prud`homme, R. / Koning, M. (2012): Electric vehicles – A tentative economic and environmental evaluation; in: Transport Policy, Vol. 23, S. 60-69.

PWC - PricewaterhouseCoopers / FH FFM - Fachhochschule Frankfurt am Main / Fraunhofer LBF (2012): Elektromobilität – Normen bringen die Zukunft in Fahrt; Studie im Auftrag des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., abgerufen am 08.02.2012 unter http://www.elektromobilitaet.din.de/sixcms_upload/media/3310/DIN_PWC_Studie_Normung.pdf.

Reece, M. (2012): The IEA oil data system; Vortrag auf dem Joint Rosstat – IEA Energy statistics workshop, abgerufen am 20.11.2012 unter http://www.iea.org/media/workshops/2012/trainingmoscow/Session3Reece.pdf.

Rochet, J.-C. / Tirole, J. (2004): Two-Sided Markets – An Overview; abgerufen am 14.12.2012 unter http://web.mit.edu/14.271/www/rochet_tirole.pdf.

Rolink, J. / Horenkamp, W. / Rehtanz, C. (2012): Ladeinfrastrukturen für die Netzintegration von Elektrofahrzeugen; in: at – Automatisierungstechnik, 60. Jg., Heft 2, S. 84-91.

Rolink, J. / Rehtanz, C. (2011): Capacity of Low Voltage Grids for Electric Vehicles; 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC); abgerufen am 22.08.2012 unter http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5874759.

RUF / Siemens (2011): Emotion ohne Emission; Abschlussbericht zum Verbundvorhaben im Rahmen des FuE-Programms "Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität", abgerufen am 09.04.2013 unter http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/foerderprojekte-aus-dem-konjunkturpaket-ii-2009-2011/pkw-feldversuche/abschlussberichte/abschlussbericht-emotion.pdf.

Rysman, M. (2009): The Economics of Two-Sided Markets; in: Journal of Economic Perspectives, Vol. 23, No. 3, S. 125-143.

Sauer, D. U. (2006): Optionen zur Speicherung elektrischer Energie in Energieversorgungssystemen mit regenerativer Stromerzeugung; Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA), RWTH Aachen, abgerufen am 28.03.2012 unter http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/Sauer_Optionen_Speicher_regenerativ_okt06.pdf.

Sauthoff, M. (2010): Öffentliche Straßen: Straßenrecht – Straßenverkehrsrecht – Verkehrssicherungspflichten; 2. Auflage, München: Verlag C. H. Beck.

Schallaböck, K. / Carpantier, R. / Fischedick, M. / Ritthoff, M. / Wilke, G. (2012): Modellregion Elektromobilität – Umweltbegleitforschung Elektromobilität; Abschlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), abgerufen am 19.11.2012 unter http://www.elektromobilitaet.nrw.de/fileadmin/redakteur/Downloads/Abschlussbericht_Umweltbegleitforschung_August_2012.pdf.

Schill, W.-P. (2010): Elektromobilität in Deutschland – Chancen, Barrieren, V2G und Auswirkungen auf das Elektrizitätssystem; in: Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung, 79. Jg., Heft 2, S. 139-159.

Schill, W.-P. (2011): Electric vehicles in imperfect electricity markets – The case of Germany; in: Energy Policy, Vol. 39, Nr. 10, S. 6178-6189.

Schraven, S. / Kley, F. / Wietschel, M. (2010): Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung; Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8/2010, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), abgerufen am 07.10.2011 unter http://econstor.eu/bitstream/10419/44993/1/645174661.pdf.

Schröder, A. (2011): Staatliche Förderung der eMobilität im internationalen Vergleich; in: Neue Mobilität, S. 92-93.

Schröder, G. (2006): Preise auf Grenzkostenniveau – Optimal, aber unmöglich? – Angebotsseitige Subadditivität und nachfrageseitige Nicht-Rivalität als Kehrseite derselben Medaille – Das Beispiel Fernsehprogramme; Diskussionspapier 04-06, abgerufen am 11.12.2012 unter http://www.fiwi.uni-bayreuth.de/de/download/WP_04-06.pdf.

Schumann, J. / Meyer, U. / Ströbele, W. (2007): Grundzüge der mikroökonomischen Theorie; 8. Auflage, Heidelberg: Springer.

Shepherd, S. / Bonsall, P. / Harrison, G. (2012): Factors affecting future demand for electric vehicles: A model based study; in: Transport Policy, Vol. 20, S. 62-74.

Shy,O. (2006): The Economics of Network Industries; 7. Auflage, Cambridge: Cambridge University Press.

Sierzchula, W. / Bakker, S. / Maat, K. / van Wee, B. (2012): The competitive environment of electric vehicles – An analysis of prototype and production models; in: Environmental Innovation and Societal Transitions, Vol. 2, S. 49-65.

Slater, S. / Dolman, M. / Taylor, P. / Trichakis, P. / Shine, J. (2009): Strategies for the uptake of electric vehicles and associated infrastructure implications; Report im Auftrag von The Committee on Climate Change, abgerufen am 19.01.2012 unter http://hmccc.s3. amazonaws.com/Element_Energy_-_EV_infrastructure_report_for_CCC_2009_final.pdf.

Spicher, U. (2012): Analyse der Effizienz zukünftiger Antriebssysteme für die individuelle Mobilität; in: Motortechnische Zeitschrift, 2. Jg., Heft 12, S. 98-105.

Swann, G. P. (2000): Ökonomie der Normung – Abschlussbericht für die Direktion Normen und technische Vorschriften; Department of Trade and Industry, abgerufen am 27.10.2011 unter http://www.bis.gov.uk/files/file11315.pdf.

Thomas, C. E. (2009): Fuel cell and battery electric vehicles compared; in: International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 34, No. 15, S. 6005-6020.

Turrentine, T. / Kurani, K. (2007): Car buyers and fuel economy?; in: Energy Policy, Vol. 35, No. 2, S. 1213-1223.

van der Vooren, A. / Alkemade, F. (2011): Infrastructure dependent Technologies – Escaping lock-in and the role of policy; abgerufen am 18.05.2012 unter http://final.dime-eu.org/files/vooren_D1.pdf.

Vasconcelos, J. / Ruester, S. / He, X. / Chong, E. / Glachant, J. (2012): Electricity Storage – How to Facilitate its Deployment and Operation in the EU; abgerufen am 16.07.2012 unter http://www.eui.eu/Projects/THINK/Documents/Thinktopic/THINKTopic8online.pdf.

VCÖ – Verkehrsclub Österreich (2009): Potenziale von Elektro-Mobilität; abgerufen am 11.04.2012 unter http://www.vcoe.at/de/publikationen/vcoe-schriftenreihe-mobilitaet-mit-zukunft/details/items/potenziale-von-elektromobilitaet.

Vortisch, P. / Chlond, B. / Weiß, C. / Streit, T. / Wirtz, M. / Zumkeller, D. (2012): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) wissenschaftliche Begleitung und erste Auswertungen – Bericht 2012: Alltagsmobilität (Herbsterhebung 2011); Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), abgerufen am 07.11.2012 unter http://mobilitaetspanel.ifv.uni-karlsruhe.de/index.php?eID=tx_mm_bccmsbase_zip&id=191531244150970930618ca.

Wallentowitz, H. / Freialdenhoven, A. (2011): Strategien zur Elektrifizierung des Antriebstranges - Technologien, Märkte und Implikationen; 2. Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

Warweg, O. / Nicolai, S. / Bretschneider, P. (2010): Integration der E-Mobilität in den Energiemarkt – Herausforderungen für Verteilnetz und Energiemarkt; in: emw Zeitschrift für Energie, Markt, Wettbewerb, Heft 4, S. 16-19.

Wawer, T. (2007): Förderung erneuerbarer Energien im liberalisierten deutschen Strommarkt; Dissertationsschrift, abgerufen am 07.12.2011 unter http://miami.uni-muenster.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-3603/diss_wawer.pdf.

Weiss, M. / Patel, M. / Junginger, M. / Perujo, A. / Bonnel, P. / Grootveld, G. (2012): On the electrification of road transport – Learning rates and price forecasts for hybrid-electric and battery-electric vehicles; in: Energy Policy, Vol. 48, S. 374-393.

Westbrook, M. (2001): The Electric Car – Development and Future of Battery, Hybrid and Fuel-Cell Cars; London: Institution of Electrical Engineers.

White, C. / Zhang, K. (2011): Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction; in: Journal of Power Sources, Vol. 196, No. 8, S. 3972-3980.

Wietschel, M. / Bünger, U. / Weindorf, W. (2010): Vergleich von Strom und Wasserstoff als CO_2-freie Endenergieträger – Endbericht; Studie im Auftrag der RWE AG, abgerufen am 20.11.2012 unter http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/Endbericht_H2_vs_Strom-final.pdf.

Wietschel, M. / Dallinger, D. (2008): Quo vadis Elektromobilität?; in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 58. Jg., Heft 12, S. 8-15.

Wietschel, M. / Dütschke, E. / Funke, S. / Peters, A. / Plötz, P. / Schneider, U. (2012): Kaufpotentiale für Elektrofahrzeuge bei sogenannten "Early Adoptern"; Studien im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), abgerufen am 07.06.2012 unter http://isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/Schlussbericht_Early_Adopter.pdf.

Williamson, O. E. (1975): Markets and Hierarchies – Analysis and Antitrust Implications; New York: Free Press.

Williamson, O. E. (1990): Die ökonomischen Institutionen des Kapitalismus – Unternehmen, Märkte, Kooperationen; Tübingen: Mohr.

Williamson, S. / Emadi, A. (2005): Comparative Assessment of Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles Based on Comprehensive Well-to-Wheels Efficiency Analysis; in: IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 54, No. 3, S. 856-862.

Wissenschaftlicher Beirat beim BMVBS (2012): Herausforderungen bei der Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland; in: Straßenverkehrstechnik, Heft 1, S. 11-19.

Zimmer, W. / Buchert, M. / Dittrich, S. / Hacker, F. / Harthan, R. / Hermann, H. / Jenseit, W. / Kasten, P. / Loreck, C. (2011): 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, abgerufen am 10.02.2012 unter http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/begleitforschung/optum-1.

Zimmer, W. / Hacker, F. / Harthan, R. / Matthes, F. (2009): Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe – Critical literature review; ETC/ACC Technical Paper (Version vom 16.05.2009), abgerufen am 26.03.2012 unter http://acm.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf.

Anhang

Anhang A) Status und Prognosen des Markthochlaufs in Deutschland

Dieser Anhang stellt den Status quo sowie verfügbare Prognosen des Markthochlaufes der Elektromobilität in Deutschland dar. Im folgenden Abschnitt A 1 wird auf Elektrofahrzeuge und im anschließenden Abschnitt A 2 auf Ladeinfrastruktur eingegangen.

A 1) Elektrofahrzeuge

Innerhalb dieses Abschnitts erfolgt eine kurze Darstellung der aktuellen und prognostizierten zahlenmäßigen Entwicklung von Elektrofahrzeugen und entsprechender Ladeinfrastruktur in Deutschland. In Abschnitt A 1.1 werden zunächst aktuelle und geplante Fahrzeugmodelle aufgelistet. Darauf aufbauend werden in Abschnitt A 1.2 derzeitige und in Abschnitt A 1.3 prognostizierte Fahrzeugzahlen dargestellt.

A 1.1) Modellüberblick

Im Zuge der internationalen Bestrebungen, elektrisch angetriebene Fahrzeuge in größeren Stückzahlen in den Markt zu bringen, ist seit wenigen Jahren ein wachsendes Angebot elektrisch angetriebener Pkw zu beobachten. Zu Beginn der durch den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität in Deutschland angestoßenen Fördermaßnahmen in 2009 wurden nur wenige, zumeist in kleinen Stückzahlen produzierte Fahrzeuge angeboten. Dabei handelte es sich häufig um einfache Umbauten mineralölbetriebener Kleinwagen für den städtischen Verkehr. Vor dem Hintergrund der bei diesen Fahrzeugen z. T. nur unzureichend abgestimmten Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass diese „frühen“ Modelle hinsichtlich Komfort und Leistungsfähigkeit im Vergleich zu ICE-Fahrzeugen noch Verbesserungspotenzial aufwiesen.[657] Eine bereits seit 2008 angebotene Ausnahme stellt das Modell „Roadster“ des US-amerikanischen Herstellers Tesla Motors dar, welches jedoch auf die Nische der Sportwagen abzielt und mit einem Verkaufspreis von über 100.000 Euro nur eine sehr begrenzte Nutzergruppe ansprechen dürfte.

Mit dem „i-MiEV“ brachte Mitsubishi Ende 2010 als erster Hersteller ein BEV in größeren Stückzahlen auf den deutschen Markt. Es folgten in den Jahren 2011 und 2012 eine Reihe weiterer Markteinführungen. Im internationalen Vergleich beginnen deutsche Hersteller eher spät mit der Serienproduktion von Elektrofahrzeugen. Der Smart fortwo electric drive von Daimler ist das erste Elektrofahrzeug eines deutschen OEM in Serienproduktion. BMW hat für das Jahr 2013 zudem den Marktstart des elektrisch angetriebenen Modells i3 angekündigt.

[657] Vgl. BACKHAUS / DÖTHER / HEUPEL (2011, S. 16).

In untenstehender Tabelle 4 werden Elektrofahrzeuge aufgelistet, die aktuell am Markt verfügbar sind oder deren Markteinführung bis Ende 2013 geplant ist und die voraussichtlich größere Stückzahlen erreichen werden.[658] Dabei wird deutlich, dass es sich überwiegend um kleinere Fahrzeuge mit einem Leergewicht von i. d. R weit unter 2.000 kg handelt. Auch die Maximalgeschwindigkeiten liegen eher im niedrigen bis mittleren Bereich. Alle dargestellten Modelle verfügen über Lithium-Ionen-Batterien, die bei BEV nach Herstellerangaben Reichweiten von deutlich über 100 km gewährleisten sollen. Bei hybriden Antriebskonzepten sind die Batteriegrößen und elektrischen Reichweiten entsprechend geringer.

Die Verkaufspreise der Elektrofahrzeuge bewegen sich deutlich oberhalb der Preise vergleichbarer konventioneller Fahrzeuge. So kostet ein Smart fortwo electric drive, wie in der Tabelle angegeben, knapp 20.000 €. Der identische Fahrzeugtyp Smart fortwo mit konventionellem Antrieb kostet, mit ca. 8.600 €, weniger als der Hälfte. Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Volvo V 60, der in elektrischer Ausführung 47.820 € kostet, während der konventionelle Fahrzeugtyp bei ca. 24.400 € liegt.

[658] Als Großserienproduktion werden i. d. R. Stückzahlen über 1.000 pro Monat verstanden.

Marke, Modell	Markt-einführung	Konzept	Batterie-größe [kWh]	Elektr. Reichweite [km]	Max. Geschw. [km/h]	Leerge-wicht [kg]	Nettopreis [€]
Mitsubishi i-MiEV	2010	BEV	16	150	130	1.110	24.620
Nissan Leaf	2011	BEV	24	175	145	1.570	31.080
Opel Ampera	2011	REEV	16	40-80	160	1.650	38.570
Smart fortwo electric drive	2012	BEV	17,6	145	125	970	19.900
Toyota Prius PHV	2012	PHEV	5,2	25	180	1.420	30.420
Renault Fluence Z.E.	2012	BEV	22	185	135	1.600	21.590 [1]
Volvo V60 Hybrid	2012	PHEV	11,2	50	230	1.870	47.820
Renault Zoe Z.E.	2013	BEV	22	210	135	1.500	18.240 [1]
Ford Focus Electric	Ende 2013	BEV	23	160	137	1.700	33.500
BMW i3	Ende 2013	BEV (REEV)	n. b.	160	150	1.250	29.370
VW Golf Blue-e-motion	Ende 2013	BEV	26,5	150	135	n. b.	n. b.
VW E-Up!	Ende 2013	BEV	18,7	150	135	n. b.	21.000
Mitsubishi Outlander PHEV	Ende 2013	PHEV	12	50	170	n. b.	37.800

[1] zzgl. Batteriemiete

Tabelle 4: Aktuelle und geplante Elektro-Pkw in Großserienproduktion[659]

[659] Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Informationen der Hersteller; lediglich Modelle, die voraussichtlich in größerer Stückzahl produziert werden, werden dargestellt.

A 1.2) Fahrzeugzahlen – Status quo

National wie auch international konnten Elektrofahrzeuge bisher keine signifikanten Verkaufszahlen erreichen. Nach Berechnungen des Marktforschungsunternehmens PIKE RESEARCH wurden weltweit in 2012 ca. 140.000 Elektrofahrzeuge verkauft.[660] Dieses entspräche ca. 0,2 % der weltweit neu zugelassenen Pkw in 2012.[661]

In Deutschland haben sich die Verkaufszahlen in den letzten Jahren deutlich erhöht. Die absoluten Zahlen liegen im Vergleich mit den konventionellen Fahrzeugen allerdings noch immer auf sehr niedrigem Niveau. So wurden in 2011 ca. 15.000 Elektrofahrzeuge (davon ca. 12.500 Hybride) in Deutschland zugelassen, was ca. 0,5 % aller zugelassenen Pkw entspricht.[662] Damit stieg die Zahl der neuzugelassenen Elektrofahrzeuge gegenüber dem Vorjahr um 32 %.

Die in untenstehender Abbildung 8 auf Basis von Informationen des Kraftfahrtbundesamtes dargestellten Fahrzeugbestände von Elektroautos in Deutschland bestätigen das Bild hoher Wachstumsraten.[663] Zudem wird deutlich, dass der Bestand an Hybridfahrzeugen den Bestand rein batterieelektrischer Fahrzeuge deutlich übersteigt.[664] Allerdings ist anzumerken, dass die Wachstumsraten von reinen Batteriefahrzeugen seit 2011 oberhalb derer von Hybridfahrzeugen liegen. Vor dem Hintergrund des Zieles der Bundesregierung von einer Million Elektrofahrzeugen bis 2020 ist anzumerken, dass aktuell knapp 5 % dieser Zielvorgabe erreicht sind, was jedoch vor dem Hintergrund der gerade erst bevorstehenden Markteinführung verschiedener Modelle (sowie des kaum vorhandenen Ladeinfrastrukturnetzwerks)[665] nicht verwundert. Von hoher Bedeutung dürften eher die Verkaufszahlen in den kommenden Jahren sein.

[660] Vgl. PIKE RESEARCH (2012, S. 3).

[661] POLK (2012) prognostizieren für 2012 einen Absatz von ca. 71 Mio. Pkw, der hier unterstellt ist; vgl. POLK (2012, S. 1). Dieses entspräche einem Wachstum von ca. 7 % im Vergleich zum Vorjahr.

[662] Vgl. KRAFTFAHRTBUNDESAMT (2011, S. 12).

[663] Vgl. KRAFTFAHRTBUNDESAMT (2012, S. 13).

[664] Das Kraftfahrtbundesamt fasst PHEV, RE und HEV als Hybrid-Fahrzeuge zusammen.

[665] Siehe dazu auch Anhang A 2.1.

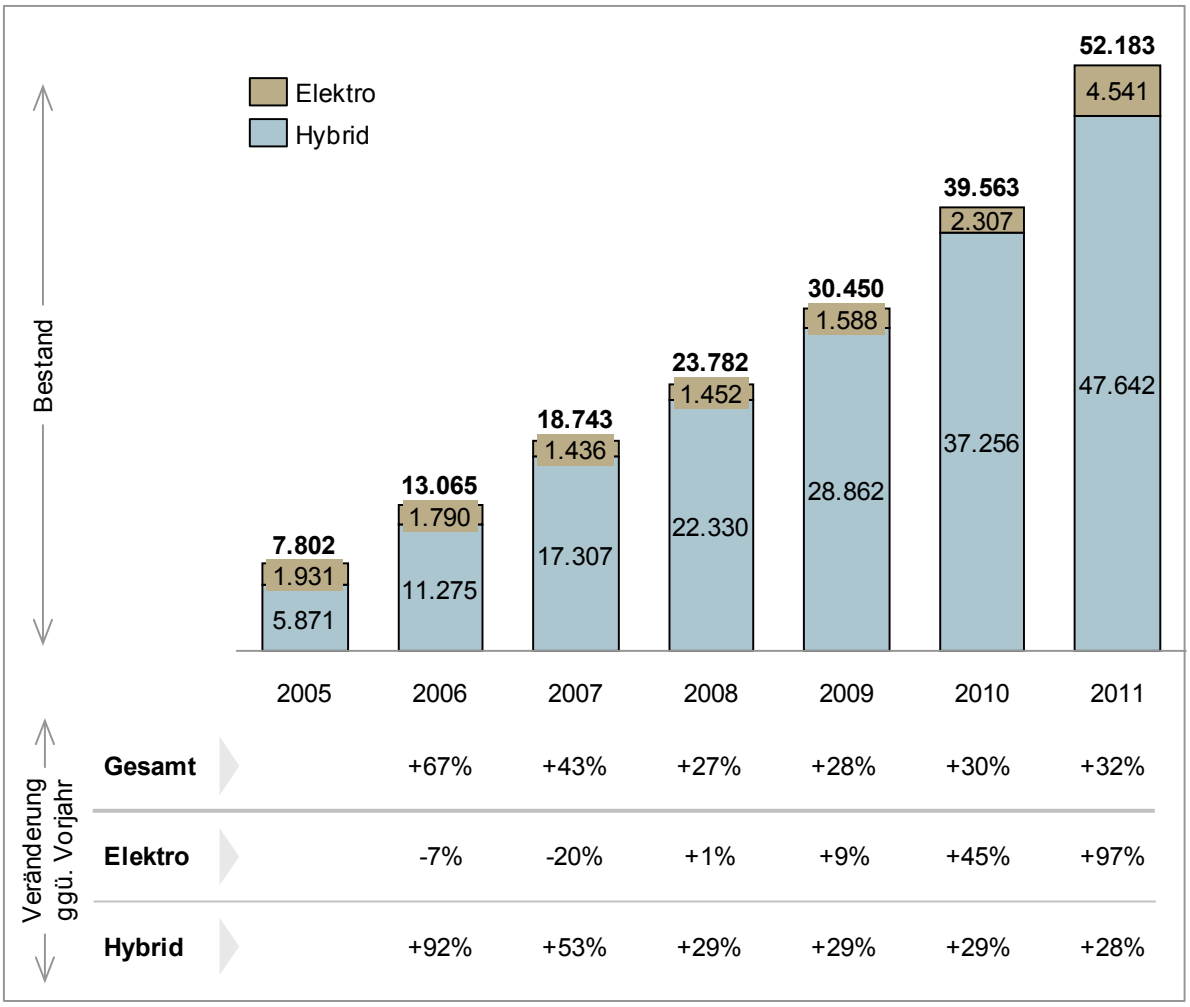


Abbildung 8: Bestand von Elektro- und Hybrid-Pkws in Deutschland[666]

A 1.3) Fahrzeugzahlen – Prognosen

Im Zuge der jüngeren internationalen Förderinitiativen wurden zahlreiche Prognosen für die zukünftige Entwicklung des Elektrofahrzeug-Bestands durch verschiedene Organisationen erstellt. Im Folgenden werden verfügbare Prognosen für den deutschen Markt erläutert und grafisch dargestellt.

WIETSCHEL / DALLINGER (2008) stellen zwei Marktszenarien dar, die den Elektrofahrzeug-Bestand bis 2050 prognostizieren.[667] Die Szenarien unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Annahmen bzgl. der Besteuerung von Elektrofahrzeugen, der Weiterentwicklung der Batterietechnologie, der Entwicklung von Mineralölpreisen sowie der Kundenakzeptanz. Annahmen hinsichtlich des Aufbaus von Ladeinfrastruktur werden nicht getroffen bzw. dargestellt. Im Folgenden wird kurz auf die beiden Szenarien eingegangen:

[666] Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten aus KRAFTFAHRTBUNDESAMT (2012, S. 13); Bestand jeweils am 1. Januar des Folgejahres.

[667] Vgl. WIETSCHEL / DALLINGER (2008).

- Im „Dominanz-Szenario“ gehen die Autoren von der Beibehaltung der Mineralölsteuer-Befreiung alternativ angetriebener Fahrzeuge sowie der Einrichtung von Umweltzonen und / oder CO_2-Grenzwerten für Pkw aus. Es wird weiterhin angenommen, dass der Rohölpreis bis auf über 180 US$/bbl steigt und dass schnelle Fortschritte im Bereich der Batteriespeicher erreicht werden. Ergebnis dieses Szenarios ist die „fast vollständige Substitution des konventionellen Fuhrparks durch Hybrid- und Elektrofahrzeuge bis 2050“.[668]

- Das „Pluralismus-Szenario“ geht von einer Entwicklung der Rahmenbedingungen aus, die geringere Anreize für die Verbreitung von Elektrofahrzeugen setzt. So wird z. B. eine geringere Preissteigerung für Rohöl angenommen als im „Dominanz-Szenario“. Auch bei den Batteriespeichern werden langsamere Fortschritte erzielt. Im Ergebnis des „Pluralismus-Szenarios“ ist Elektromobilität nicht die dominierende, sondern vielmehr „eine von mehreren Lösungen“.[669]

PROGNOS AG / ÖKO INSTITUT (2009) prognostizieren entlang zweier unterschiedlicher Szenarien die zukünftige Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen.[670] Das Referenzszenario folgt den Annahmen der „Entwicklung der Welt, wie wir sie kennen“.[671] Elektrofahrzeuge werden langsam in den Markt eingeführt, große technologische Innovationen werden dabei nicht erwartet. Im Alternativ-Szenario „Innovation“ wird angenommen, dass vor allem wegen der breiten gesellschaftlichen Akzeptanz ein ambitioniertes Emissionsziel erreicht wird.[672] Individuelle Mobilität wird dabei bis 2050 zu ungefähr zwei Dritteln durch Hybridfahrzeuge und zu einem Fünftel vollständig elektrisch erfolgen.

Die EUROPEAN SCHOOL OF MANAGEMENT AND TECHNOLOGY (ESMT) (2011) hat im Rahmen des vom BMU geförderten Projektes „Marktmodell Elektromobilität“ (MMEM) die Entwicklung des Pkw-Marktes in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität simuliert.[673] Fokus dieser Simulation war die Auswirkung verschiedener Politikmaßnahmen auf die Entwicklung alternativer Antriebstechnologien.[674] Kern des Marktmodells stellt das Referenzszenario dar. Dieses Szenario unterstellt die heute bekannten regulatorischen Rahmenbedingungen, wie insbesondere die von der EU festgelegten Emissionsnormen für Pkw.[675] Es werden zunächst weder Investitionen in Ladeinfrastruktur noch eine direkte Förderung von Elektrofahrzeugen angenommen. Weiterhin wird in Verbindung mit einer zunehmenden Urbanisierung sowie einer schrumpfenden und alternden Bevölkerung von einer bis 2050 um ca. 10 % sinkenden Gesamtzahl an Pkw ausgegangen.

---

[668] Vgl. WIETSCHEL / DALLINGER (2008, S. 13).

[669] Vgl. WIETSCHEL / DALLINGER (2008, S. 13).

[670] Vgl. PROGNOS AG / ÖKO INSTITUT / ZIESING (2009)

[671] Vgl. PROGNOS AG / ÖKO INSTITUT / ZIESING (2009, S. 51 ff.).

[672] Vgl. PROGNOS AG / ÖKO INSTITUT / ZIESING (2009, S. 168 ff.).

[673] Vgl. ESMT (2011).

[674] Vgl. ESMT (2011, S. 6).

[675] Entsprechend der EU-Verordnung 443/2009; ESMT (2011, S. 32).

Signifikante Verhaltensänderungen im Bereich individueller Mobilität unterstellt das Szenario nicht. Hinsichtlich der Ölpreisentwicklung wird von moderaten Steigerungen bis zu einer Höhe von 143 US$/bbl in 2050 ausgegangen.[676] Hinsichtlich der Strompreisentwicklung unterstellt das Szenario nur moderate Schwankungen auf heutigem Niveau von ca. 20-22 ct/kWh. Im Ergebnis werden im Referenzszenario für 2020 ca. 0,5 Mio., für 2030 ca. 6 Mio. und für 2050 ca. 13 Mio. Elektrofahrzeuge prognostiziert.[677]

Der Konzern EXXONMOBIL (2011) prognostiziert den Elektrofahrzeugbestand bis 2030 mit Annahmen auf Basis des heutigen Standes der Fördersysteme der Bundesregierung und kommt zu dem Ergebnis, dass im Jahr 2030 ca. 1,9 Mio. PHEV und jeweils ca. 320.000 BEV und REEV in Deutschland zugelassen sind. Für 2020 wird ein Bestand von 280.000 PHEV und jeweils rund 10.000 BEV und REEV in Deutschland prognostiziert.[678]

PROPFE ET AL. (2013) erstellen auf Basis einer TCO-Modellierung für 900 verschiedene Nutzergruppen und unter Berücksichtigung von Wasserstofffahrzeugen drei Szenarien der Marktentwicklung für die Jahre bis 2030, um den Einfluss verschiedener Parameter auf den Markthochlauf zu untersuchen.[679] Dabei werden im Referenzszenario, unter der Annahme einer Fortführung der aktuellen Rahmenbedingungen, ca. 0,2 Mio. Elektrofahrzeuge (und keine Wasserstofffahrzeuge) in 2020 prognostiziert und damit das von der Bundesregierung formulierte Markthochlaufziel deutlich verfehlt.[680] Im sog. „External Conditions" Szenario wird von einer für alternative Antriebe günstigen Entwicklung externer Einflussfaktoren, wie u a. einem stärker steigenden Ölpreis, sinkenden Elektrizitäts- und Wasserstoffpreisen sowie strikteren CO_2-Flottenvorgaben der EU, ausgegangen. Im Ergebnis werden insbesondere mehr Wasserstofffahrzeuge verkauft, die Markthochlaufziele mit ca. 0,3 Mio. Elektrofahrzeugen (und ca. 0,5 Mio. Wasserstofffahrzeugen) in 2020 jedoch ebenfalls verfehlt. Das dritte sog. „OEM Mark-Up" Szenario geht von stark sinkenden Kosten für Fahrzeugkomponenten, wie z. B. der Batterie, aus. Unter dieser Annahme prognostizieren die Autoren stark steigende Verkäufe alternativ angetriebener Fahrzeuge und mit ca. 1,9 Mio Elektrofahrzeugen (sowie .ca. 1,3 Mio. Wasserstofffahrzeugen) eine deutliche Übererreichung der Markthochlaufziele.

In Abbildung 9 sind die verschiedenen erläuterten Prognosen (bzw. Szenarien) grafisch dargestellt. Dabei wird die große Bandbreite der Vorhersagen deutlich. Diese lässt sich insbesondere durch die unterschiedlichen Annahmen begründen, die hinsichtlich der Förderungen und der Rahmenbedingungen getroffen wurden und kann als Ausdruck der bestehenden Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Marktentwicklung angesehen werden. Ein weiterer Grund für die starke

[676] Dabei wird Bezug auf die Prognose des EIA genommen; vgl. ESMT (2011, S. 26 f.).

[677] Vgl. ESMT (2011, S. 32) sowie Internetinformationen der Seite http://www.mmem.eu/simulation.

[678] Vgl. EXXONMOBIL (2011, S. 9).

[679] Vgl. PROPFE ET AL. (2013, S. 2 f.).

[680] Vgl. PROPFE ET AL. (2013, S. 6 f).

Schwankung der Prognosen lässt sich auf die unterschiedlichen Zeitpunkte der Prognosen zurückführen. Dabei ist erkennbar, dass jüngere Studien tendenziell einen geringeren zukünftigen Elektrofahrzeug-Bestand vorhersagen.

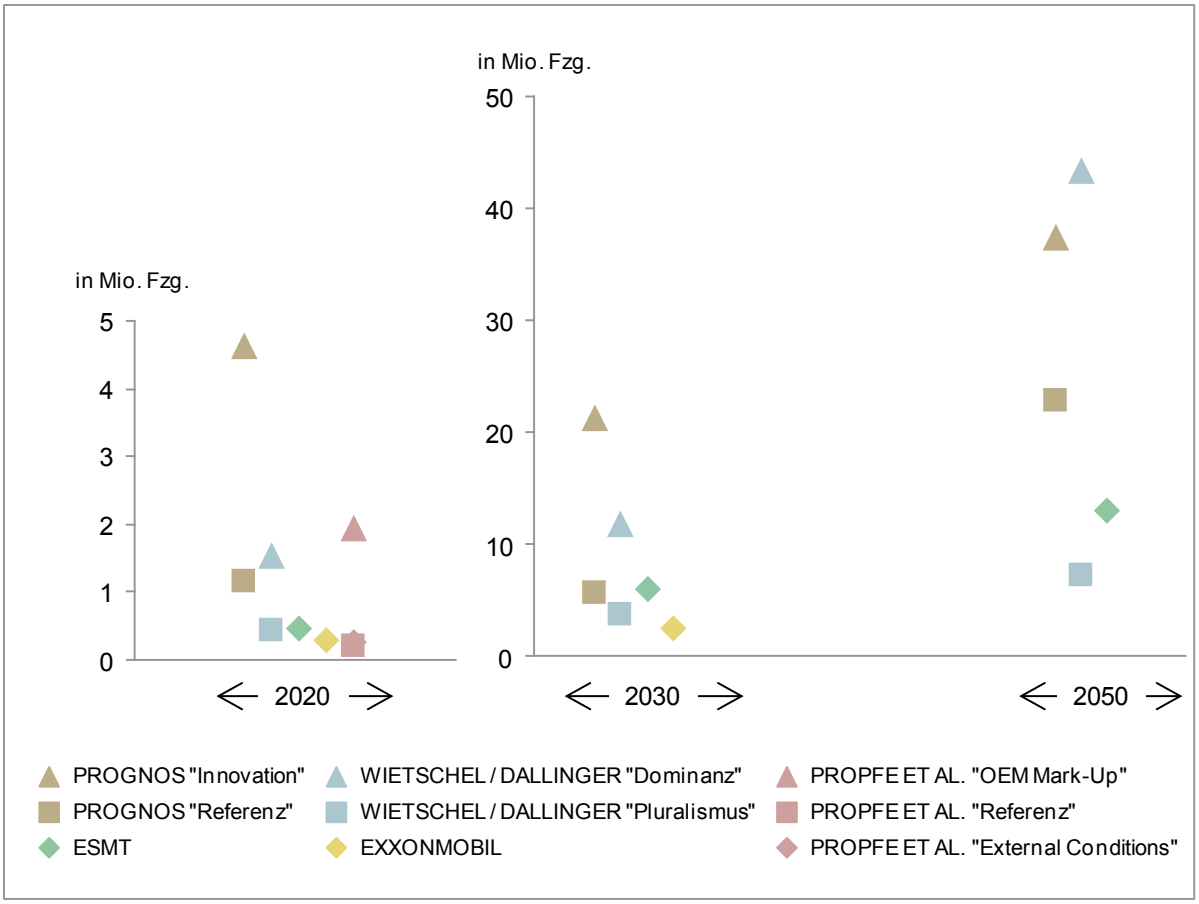


Abbildung 9: Prognosen der Elektrofahrzeuganzahl in Deutschland[681]

Es ist anzumerken, dass keine der dargestellten Prognosen eine Unterstützung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen durch den Aufbau von ÖLI annimmt.[682] Im Rahmen des Marktmodells Elektromobilität der ESMT wurden jedoch Auswirkungen von Subventionen in ÖLI (für Laternenparker sowie von Schnellladestationen) auf den Verkauf von Elektrofahrzeugen simuliert.[683] Das Modell kommt zu dem Ergebnis, dass diese Maßnahmen vergleichsweise teuer sind oder nur einen geringen Effekt haben. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieses Ergebnis auch aufgrund der getroffenen Annahmen (z. B. ca. 6.400 € plus monatliche Gebühren für

[681] Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von WIETSCHEL / DALLINGER (2008, S. 13), PROGNOS AG / ÖKO INSTITUT / ZIESING (2009, S. 51 ff. und S. 168 ff.), ESMT (2011, S. 32), EXXONMOBIL (2011, S. 9), NPE (2011, S. 311 f.) und PROPFE ET AL. (2013, S. 7). EXXONMOBIL ohne Szenario für 2050. PROPFE ET AL. nur für 2020 (und ohne Wasserstofffahrzeuge) dargestellt, da für 2030 keine Bestandszahlen (sondern lediglich Verkaufszahlen) vorliegen.

[682] PROPFE ET AL. (2013) nennen zwar den Infrastrukturausbau als Einflussparameter, variieren diesen Parameter jedoch nicht und gehen auch nicht auf potenzielle Auswirkungen ein.

[683] Vgl. ESMT (2011, S. 61 ff.).

Laternenparkerinfrastruktur) negativ ausfällt. Weiterhin ist unklar, in welcher Form das Modell Netzwerkeffekte sowie Mobilitätsoptionen bei der Modellierung der individuellen Nutzenfunktionen berücksichtigt.

A 2) Ladeinfrastruktur

Im Folgenden werden verfügbare Daten hinsichtlich der zahlenmäßigen Entwicklung von Ladeinfrastruktur dargestellt. Dabei wird in Abschnitt A 2.1 zunächst auf den Status quo und anschließend in Abschnitt A 2.2 auf Prognosen eingegangen.

A 2.1) Ladeinfrastruktur – Status quo

Untenstehende Abbildung 10 gibt einen Überblick über die Anzahl öffentlich zugänglicher Ladepunkte ausgewählter europäischer Länder.[684] Dabei werden signifikante Unterschiede zwischen den Ländern deutlich. Spitzenreiter Frankreich hat demnach bis 2012 rund 14.000 öffentliche AC-Ladeeinheiten genehmigt und liegt damit weit vor Großbritannien (ca. 4.300) und den Niederlanden (ca. 3.600).[685] Deutschland befindet sich mit ca. 2.200 Ladepunkten auf dem sechsten Rang.

[684] Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Ladeeinheit oder Ladestation mehrere Ladepunkte (Steckverbindungen) beinhalten kann.

[685] Vgl. EURELECTRIC (2012, S. 14 ff.). Es ist anzumerken, dass sich bei einer relativen Betrachtung, z. B. im Vergleich zur Fläche der Länder, eine andere Reihenfolge ergibt.

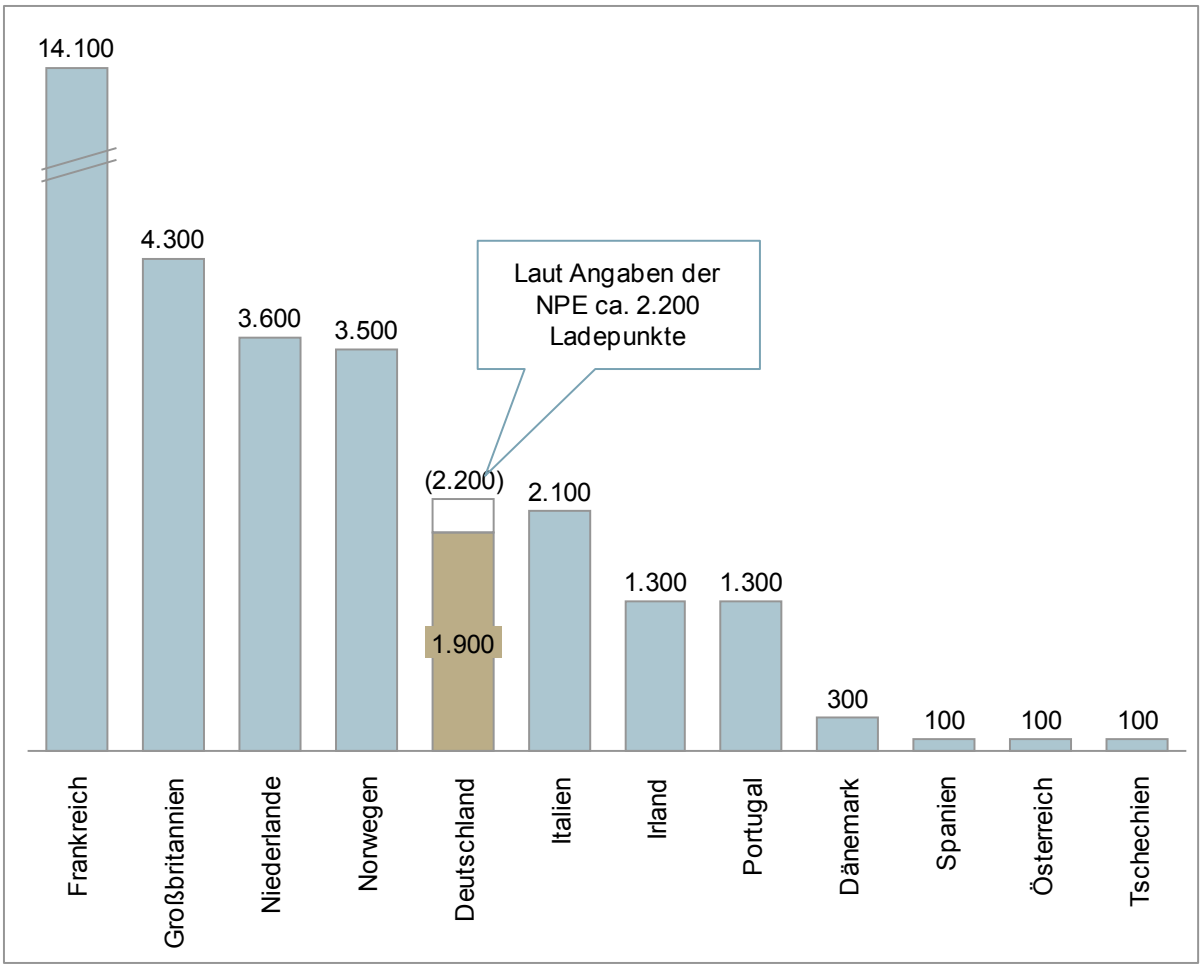


Abbildung 10: Abschätzung öffentlich zugänglicher (genehmigter) Ladepunkte in verschiedenen europäischen Ländern in 2012[686]

Laut NPE sind in Deutschland aktuell ca. 1.000 öffentliche und 1.200 halböffentliche Ladepunkte installiert.[687] Nach Informationen der NOW GmbH wurde ein Großteil dieser Ladepunkte (ca. 1.300 Ladepunkte an ca. 600 Ladestationen) im Rahmen der BMVBS Modellregionen Elektromobilität aufgebaut.[688] Mit ca. 300 öffentlich zugänglichen Ladepunkten weist das Rhein-Ruhr-Gebiet dabei die größte Anzahl auf.[689] Auch im Rahmen anderer Fördermaßnahmen, wie z. B. den laufenden Schaufensterprojekten, kommt es zum Aufbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum.

Wie bereits erwähnt, sind noch keine einheitlichen Standards hinsichtlich der Ausstattung von Ladeinfrastruktur bzw. der Schnittstelle zum Fahrzeug etabliert. Vielmehr kam es in der Vergangenheit im Rahmen der verschiedenen Förderprogramme der Bundesregierung zur Verwendung

[686] Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten aus EURELECTRIC (2012, S. 14 ff.) sowie für Deutschland zusätzlich NPE (2012a, S. 49).

[687] Vgl. NPE (2012a, S. 49).

[688] Vgl. NOW (2011b, S. 16).

[689] Vgl. NOW (2011b, S. 29).

unterschiedlicher Standards – was die Möglichkeit des Vergleichs verschiedener technischer Ausgestaltungskonzepte bietet, jedoch mit Kompatibilitätsproblemen einhergeht.[690]

Tabelle 5 stellt für die im Rahmen des BMVBS-Förderprojektes „Modellregionen Elektromobilität“ aufgebauten Ladestationen (zu unterscheiden von den oben genannten Ladepunkten) die unterschiedlichen verwendeten Ladeverfahren dar.[691] Es wird deutlich, dass alle grundlegenden Varianten konduktiver Ladeverfahren aufgebaut wurden.

	Öffentlich	Halb-öffentlich	Gesamt
AC 1	57	9	66
AC 3	258	215	473
DC	12	3	15
keine Angaben	51	7	58
Gesamt	378	234	**612**

Tabelle 5: In den Modellregionen aufgebaute Ladestationen nach Ladeverfahren und Standorten[692]

A 2.2) Ladeinfrastruktur – Prognosen

Hinsichtlich des zukünftigen Aufbaus öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur existieren keine bzw. nur sehr verkürzte Prognosen.

Das Marktforschungsinstitut PIKE RESEARCH rechnet damit, dass die Anzahl von Ladesäulen stark zunehmen wird. Für 2015 prognostiziert das Unternehmen einen weltweiten Bestand von etwa 1,6 Mio. Ladestationen, der bis 2017 auf ca. 7,7 Mio. steigt.[693]

[690] Vgl. auch Abschnitt 3.3.

[691] Die Daten wurden von der NOW GmbH zur Verfügung gestellt. Es ist anzumerken, dass weitere Ladeeinheiten in anderen Förderprojekten aufgebaut wurden.

[692] Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Informationen der NOW GmbH; Ladestationen auf Firmenparkplätzen sind nicht aufgeführt.

[693] Vgl. ABB (2012, S. 2) sowie Internetinformationen von Pike Research, abgerufen am 24.08.2012 unter http://www.pikeresearch.com/newsroom/electric-vehicle-charging-station-installations-to-reach-7-7-million-worldwide-by-2017-driven-by-rapidly-falling-prices.

Ein starker Anstieg des Bedarfes an Ladestationen wird auch für Deutschland vorhergesagt. Die NPE prognostiziert in ihrem dritten Bericht einen Bedarf von etwa 8.500 Ladepunkten im öffentlichen Raum bis 2014.[694] Diese Anzahl soll bis 2020 auf 150.000 steigen. Die Bedarfsschätzung der NPE basiert insbesondere auf der prognostizierten Fahrzeuganzahl. Zudem werden die Annahmen getroffen, dass Fahrzeuge durchschnittlich alle zwei Tage geladen werden und Hybridfahrzeuge und Range Extender vorwiegend elektrisch genutzt werden.[695] Abbildung 11 stellt die Bedarfsprognosen der NPE grafisch dar.

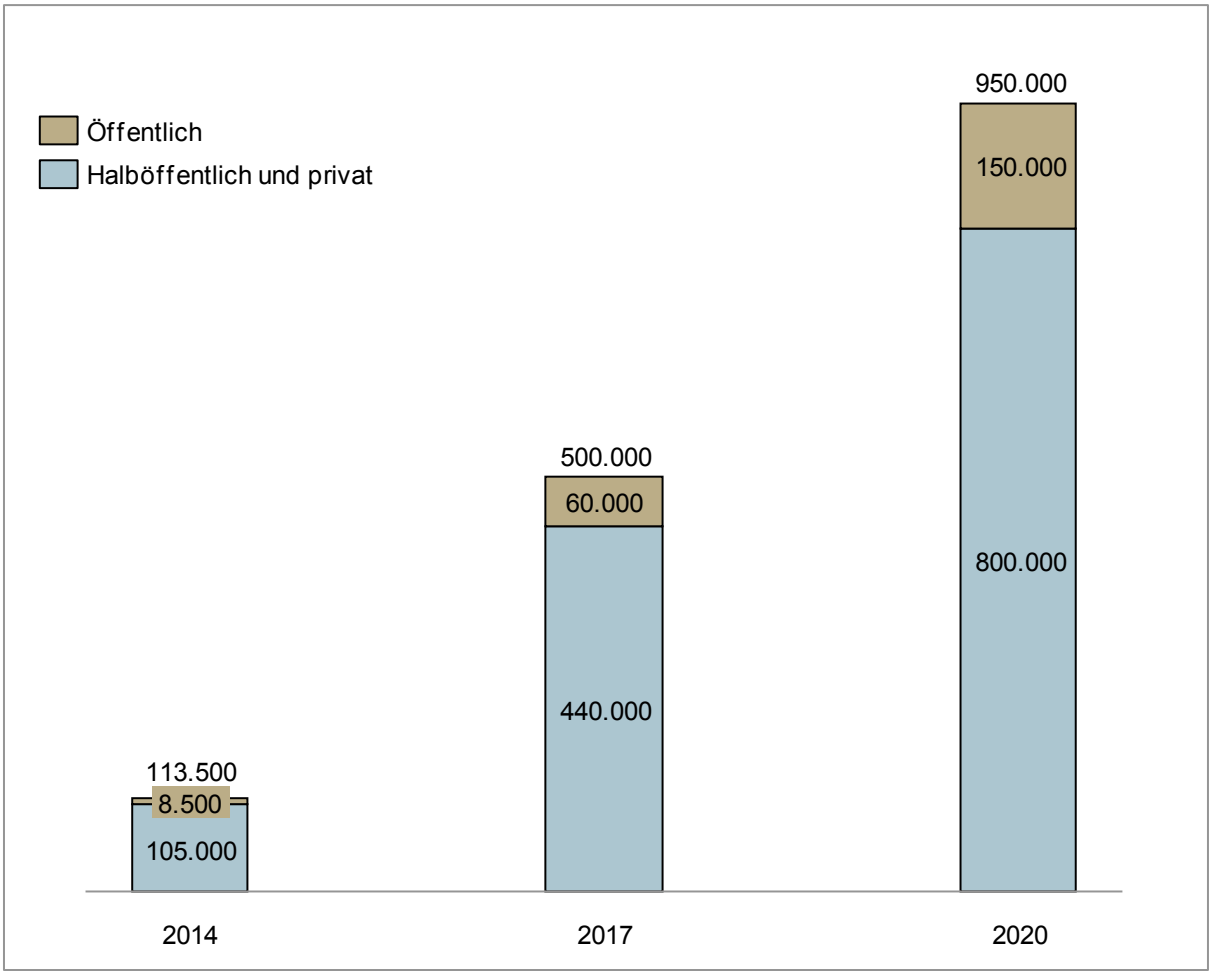


Abbildung 11: Von der NPE prognostizierter Bedarf an AC-Ladepunkten in Deutschland[696]

[694] Vgl. NPE (2012a, S. 50).

[695] NPE (2011, S. 36).

[696] Eigene Darstellung auf Basis von NPE (2012a, S. 50) sowie NPE (2011, S. 36).

Anhang B) Bestehende technische Standards im Bereich Ladeinfrastruktur

Innerhalb dieses Anhangs erfolgt eine kurze Darstellung relevanter technischer (Kompatibilitäts-)Standards.[697] Dabei wird entsprechend der in Abschnitt 3.3 eingeführten Systematisierung zwischen der Energieübertragung (folgender Abschnitt B 1) und der Kommunikation (daran anschließender Abschnitt B 2) differenziert.

B 1) Bereich Energieübertragung

Im Bereich der Energieübertragung existieren bereits zahlreiche Standards für konduktive Ladeverfahren, die im folgenden Abschnitt B 1.1 behandelt werden. Daran anschließend wird in Abschnitt B 1.2 auf induktive Standards eingegangen.

B 1.1) Konduktiv

Im Folgenden wird zunächst die grundlegende Standardisierung von Ladeverfahren behandelt. Daran anschließend wird auf die Standardisierung von Steckverbindungen eingegangen, bevor kurz die verschiedenen Schnellladeverfahren CCS und CHAdeMO thematisiert werden.

B 1.1.1) Definition verschiedener Ladeverfahren bzw. Lademodi

Als grundlegende Norm für konduktive Ladeverfahren definiert die IEC 61851-1 vier verschiedene Lademodi (auch Ladebetriebsarten genannt), die hinsichtlich der Ladegeschwindigkeit ungefähr den in dieser Arbeit beschriebenen Ladeverfahren AC 1, AC 3, AC i und DC entsprechen.[698] Diese werden im Folgenden kurz erläutert.[699]

- **Modus 1**: Im Rahmen der IEC 61851-1 beschreibt Modus 1 ein AC-Ladeverfahren mit einer Stromstärke von bis zu 16 A und einer (Nieder-)Spannung von bis zu 250 V (einphasig) oder 480 V (dreiphasig).[700] Für den einphasigen Fall entspricht dieser Modus damit ungefähr dem Ladeverfahren AC 1.

- **Modus 2**: Dieses AC-Ladeverfahren sieht eine Stromstärke von bis zu 32 A sowie ebenfalls eine Spannung von bis zu 250 V (einphasig) oder 480 V (dreiphasig) vor. Damit entspricht dieser Modus im dreiphasigen Fall ungefähr dem Ladeverfahren AC 3.

---

[697] Standards, die sicherheitsbezogene Aspekte adressieren, werden hier nicht betrachtet. Für eine umfassendere (anders strukturierte) Darstellung von Standards im Gesamtsystem der Elektromobilität vgl. NPE (2012b).

[698] Vgl. Abschnitt 3.4.1.2.2 für eine Darstellung dieser Ladeverfahren.

[699] Vgl. NPE (2012b, S. 41).

[700] Die angegebenen Spannungspegel beziehen sich auf die IEC Norm. In Deutschland gelten die Normspannungen 230 V / 400 V.

- **Modus 3**: Modus 3 ist ebenfalls ein AC-Ladeverfahren mit Niederspannung von bis zu 250 V (bzw. 480 V), das sich von den beiden oben genannten durch die Stromstärke von bis zu 63 A unterscheidet. Somit erreicht dieser Modus (im dreiphasigen Fall) Ladegeschwindigkeiten entsprechend des in dieser Arbeit als AC i bezeichneten Ladeverfahrens.

- **Modus 4**: Dieser Modus beschreibt ein DC-Ladeverfahren mit einem Stromrichter (bzw. Gleichrichter) in der Ladeeinheit und ist vergleichbar mit dem in dieser Arbeit beschriebenen DC-Ladeverfahren.

Neben den dargestellten Leistungsparametern unterscheiden sich die vier verschiedenen Lademodi insbesondere hinsichtlich ihrer Kommunikations- und Rückspeisungseigenschaften und damit hinsichtlich ihrer Eignung für verschiedene Anwendungsfälle.[701] So sind für Modus 1 und Modus 2 z. B. keine Rückspeisungsmöglichkeit sowie keine (bzw. nur eingeschränkte) Kommunikationsmöglichkeiten vorgesehen. Demgegenüber sieht Modus 3 die Möglichkeit einer Rückspeisung sowie eine durchgehende (bidirektionale) Kommunikation vor.

In Bezug auf DC-Ladeverfahren ist anzumerken, dass mit dem „Combined Charging System“ (CCS) und dem CHAdeMO-System zwei hinsichtlich ihrer Leistungsparameter sehr ähnliche, aber untereinander inkompatible Verfahren existieren.[702]

B 1.1.2) Normierung von Steckverbindungen

Im Folgenden wird auf unterschiedliche Standards für die bei konduktiven Ladeverfahren notwendigen Steckverbindungen eingegangen. Dabei wird zunächst kurz auf bestehende, allgemeine Standards und anschließend auf spezifische Standards im Elektromobilitätssystem eingegangen.

BESTEHENDE ALLGEMEINE STANDARDS

Zunächst ist es insbesondere bei AC-Ladeverfahren möglich, auf bestehende Standards zurückzugreifen. So kann der Energiefluss für einphasige AC-Ladeverfahren (AC 1) z. B. über die im privaten Bereich verbreitete sog. „SchuKo“-Steckdose hergestellt werden. Auch für dreiphasige Steckverbindungen existieren verschiedene Standards (z. B. sog. CEE-Steckverbindungen), die insbesondere im gewerblichen Bereich zur Anwendung kommen.

SPEZIFISCHE STANDARDS IM ELEKTROMOBILITÄTSSYSTEM

Für das Laden von Elektrofahrzeugen existieren eine Reihe systemspezifischer Standards, die sich insbesondere hinsichtlich ihrer Eignung für unterschiedliche Ladeverfahren unterscheiden. Eine

[701] Außerdem gibt es Unterschiede in Bezug auf sicherheitsrelevante Aspekte, von denen hier jedoch abstrahiert wird.

[702] Vgl. Abschnitt 3.4.1.2.2.3 sowie Abschnitt 3.4.1.2.2.4.

grundlegende Norm in diesem Bereich ist die IEC 62196, die drei verschiedene (inkompatible) Steckertypen sowie einen darauf aufbauenden „Combo-Stecker“ beschreibt:[703]

- **Typ 1**: Der Typ 1-Stecker eignet sich (ausschließlich) für einphasige Ladeverfahren und ist in Spannung und Strom auf max. 250 V sowie max. 32 A begrenzt. Dementsprechend ist mit diesem Stecker das in dieser Arbeit beschriebene Ladeverfahren AC 1 möglich.

- **Typ 2**: Der Typ 2-Stecker ist für ein- und dreiphasige AC- sowie für DC-Ladeverfahren bei einer Spannung von max. 480 V und einem Strom von max. 63 A (bei dreiphasigem Wechselstrom) und 70 A (bei DC) geeignet. Damit sind mit diesem Stecker die beiden in dieser Arbeit beschriebenen AC-Ladeverfahren möglich sowie bei einer gewissen Leistungsbegrenzung auch DC-Ladeverfahren.

- **Typ 3**: Der Typ 3-Stecker ist mit einer Spannung von 400 V und einem Strom von max. 32 A (dreiphasig) ebenfalls für ein- und dreiphasige AC-Ladeverfahren geeignet. Damit sind mit diesem Stecker die in dieser Arbeit beschriebenen Ladeverfahren AC 1 und AC 3 möglich.

- **Combo-Stecker**: Zusätzlich zu diesen drei Steckertypen ist in der IEC 62196-3 für das DC-Ladeverfahren CCS der sog. „Combo-Stecker“ beschrieben, der entweder auf dem Typ 2- oder dem Typ 3-Stecker aufbaut und DC-Leistungen bis über 100 kW ermöglicht.

Es ist anzumerken, dass neben den hier genannten Stecker-Standards weitere (ggf. proprietäre) Standards existieren. Beispielsweise wird im DC-Ladeverfahren „CHAdeMO“ ein Stecker verwendet, der mit dem Combo-Stecker vergleichbare Parameter aufweist, jedoch mit den Steckern nach IEC 62196 nicht kompatibel ist.

Laut NPE empfehlen die deutsche Industrie sowie der europäische Verband der Automobilhersteller (ACEA) die Verwendung des Typ 2-Steckers bzw. des auf dem Typ 2-Stecker aufbauenden Combo-Steckers.[704] Die EU-Kommission ist in ihrem Vorschlag für eine Richtlinie zum Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe diesem Vorschlag gefolgt.[705]

B 1.2) Induktiv

Im Bereich induktiver Ladeverfahren werden aktuell noch grundlegende technische Rahmenbedingungen sowie Standardisierungsvorschläge (im Rahmen der IEC 61980-1) erarbeitet.[706] Dementsprechend sind noch keine weitergehenden Informationen bekannt.[707]

---

[703] Vgl. NPE (2012b, S. 45).

[704] Vgl. NPE (2012b, S. 45).

[705] Vgl. EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013, S., 25).

[706] Vgl. NPE (2012b, S. 59).

[707] Für eine Beschreibung der technischen Funktionsweise induktiver Ladeverfahren vgl. Abschnitt 3.4.1.2.1.2.

B 2) Bereich Kommunikation

Im Folgenden wird auf technische Kommunikationsschnittstellen im „Dreieck“ zwischen Fahrzeug, Ladeeinheit sowie (Abrechnungs- und Steuerungs-)Backend eingegangen. Die drei folgenden Abschnitte fokussieren auf jeweils eine der drei Schnittstellen.

B 2.1) Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit

Für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit existiert mit der ISO/IEC 15118 eine Norm, die u. a. Daten und Datentypen für verschiedene Anwendungsfälle („Use Cases“) und „Abrechnungsszenarien“ definiert.[708] Dabei basiert der Standard auf einer „Power Line Communication“ (PLC) Technologie, die eine Kommunikation über die zur Energieübertragung vorhandenen Leitungen ermöglicht.

Des Weiteren ist im Rahmen geregelter DC-Ladeverfahren eine Kommunikation zwischen Ladeeinheit und Fahrzeug erforderlich, um Informationen bzgl. des Ladeprofils auszutauschen. Für diesen Bereich existiert im Zusammenhang mit dem CCS-Verfahren eine Vornorm (DIN SPEC 70121), die ebenfalls auf der PLC-Technologie basiert. Die Kommunikation im CHAdeMO-Verfahren basiert auf einer Controller Area Network (CAN) -Technologie.

B 2.2) Kommunikation zwischen Ladeeinheit und Backend

Für die Kommunikation zwischen der Ladesäule und dem Backend existiert kein einheitlicher Standard. Vielmehr verwenden verschiedene Anbieter (wie z. B. die Unternehmen „rwe“ oder „ubitricity“) eigene, z. T. proprietäre Kommunikationslösungen.[709] Einen vergleichsweise bekannten Standard für diesen Bereich stellt das „Open Charge Point Protocol“ (OCPP) dar, das einen internetbasierten Austausch verschiedener Informationen zwischen Ladeeinheiten und Backend ermöglicht.[710] Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Standards existieren des Weiteren Kooperationen, die auch auf unterschiedlichen proprietären Standards (als eine Art „Über-Backend“) aufsetzen. Beispielsweise könnte die von dem Unternehmen „hubject“ propagierte Lösung als ein solches „Über-Backend“ bezeichnet werden.

Für den Austausch von Informationen, die bei erweiterten Anwendungsfällen (beeinflusstes und gesteuertes Laden) relevant sind, sind außerdem Standardisierungsbestrebungen im Kontext des sog. „Smart Grid“-Themengebietes relevant.[711]

---

[708] Vgl. DIEFENBACH / GAUL / VOIT (2010, S. 5).

[709] Nach eigenen Schätzungen und Gesprächen mit Branchenexperten existieren in diesem Bereich mehr als 25 verschiedene Standards, wobei ein Großteil davon auf proprietäre Standards verschiedener Energieversorgungsunternehmen entfällt.

[710] Vgl. für weitere Informationen zu diesem Standard die Internetseite http://www.ocpp.nl/. Inwiefern der Standard als „offen“ bezeichnet werden kann, wäre näher zu überprüfen.

[711] Als Beispiel hierfür kann die in der Entwicklung befindliche IEC 61968 genannt werden.

B 2.3) Kommunikation zwischen Fahrzeug und Backend

Für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Backend sind ebenfalls keine einheitlichen Standards bekannt. Auch hier existieren proprietäre Lösungen verschiedener Anbieter, die auf bestehenden Standards aus anderen Bereichen des mobilen Datenaustausches aufsetzen können.[712]

[712] Als Beispiel kann das von dem Unternehmen ubitricity entwickelte „Mobile-Metering"-Konzept genannt werden, dass einen Austausch von Mess- und Abrechnungsinformationen zwischen Fahrzeug (bzw. mobilem Messgerät) und Backend vorsieht.