

Elektromobilität – Normen bringen die Zukunft in Fahrt

Die Studie zur Ableitung des mittel- bis langfristigen Normungs- und Standardisierungsbedarfs im Bereich Elektromobilität auf Basis der sozioökonomischen Entwicklung wurde von uns im Auftrag des DIN erstellt. Sie ist Bestandteil des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie an das DIN vergebenen Auftrags zur „Normung und Standardisierung im Bereich Elektromobilität“.



Elektromobilität – Normen bringen die Zukunft in Fahrt

*Die Studie zur Ableitung
des mittel- bis langfristigen
Normungs- und Standardi-
sierungsbedarfs im Bereich
Elektromobilität auf Basis
der sozioökonomischen
Entwicklung wurde von uns
im Auftrag des DIN erstellt.
Sie ist Bestandteil des vom
Bundesministerium für
Wirtschaft und Technologie
an das DIN vergebenen
Auftrags zur „Normung
und Standardisierung im
Bereich Elektromobilität“.*



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis.....	12
A. Ausgangssituation	14
B. Auftragsdurchführung	18
C. Akzeptanz und Marktdurchdringung alternativer Antriebstechnologien	22
D. Ganzheitliche Analyse der sozioökonomischen Bereiche unter Berücksichtigung der relevanten Sekundärliteratur.....	28
I. Nutzer	30
1.1 Grundlagen des Verkehrsverhaltens	30
1.2 Zahlungsbereitschaft.....	46
1.3 Anforderungen und Erwartungen der Nutzer an Elektromobilität.....	52
1.4 Integration der Elektromobilität in bestehende Wegekette.....	56
II. Wirtschaft.....	63
2.1 Kostenentwicklung.....	63
2.2 Wirtschaftliche Geschäftsmodelle	72
2.3 Strategische Partnerschaften.....	84
III. Recht.....	86
3.1 Verkehrsraumgestaltung	86
3.2 Fahrzeugsicherheit.....	88
3.3 Bevorrechtigung	89
3.4 Umweltrecht	92
3.5 Datenschutz	96
3.6 Eichrecht.....	97
IV. Politik.....	99
4.1 Zuständigkeit der Ministerien.....	99
4.2 Politische Motivation und Fördermaßnahmen im internationalen Kontext.....	100
V. Übertragung der sozioökonomischen Herausforderungen auf die technologischen Entwicklungen unter Berücksichtigung der relevanten Sekundärliteratur	109
5.1 Einleitung	109
5.2 Energiespeicher	109
5.3 Ladetechnik	113
5.4 Abrechnungskonzepte.....	115
5.5 Antriebsstrang	116
VI. Überführung der Ergebnisse in eine SWOT-Analyse	117

E. Zielgruppen	118
F. Erarbeitung von mittel- bis langfristigen Szenarien	124
I. Einleitung.....	126
II. Kritische Faktoren.....	127
2.1 Kosten, Reichweite und Ladeinfrastruktur.....	127
2.2 Umwelt	131
2.3 Sicherheit und Zuverlässigkeit.....	133
2.4 Komfort	133
III. Darstellung zukünftiger Entwicklungen	135
3.1 Basisszenario	135
3.2 Negativszenario	138
G. Ableitung des Normungs- und Standardisierungsbedarfs	140
I. Anzuwendender Filter	142
II. Kritische Faktoren.....	142
III. Anwendung von Use Cases.....	144
Literaturverzeichnis	158
Impressum	166
Ihre Ansprechpartner	167

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Sozioökonomische Bereiche der Elektromobilität	20
Abb. 2	Technologische Faktoren normungsrelevanter Themen im Bereich Elektromobilität	21
Abb. 3	Wachstum der Anzahl an Pkw nach Kraftstoffarten	24
Abb. 4	Neuzulassungen nach Antriebsarten im Trend-Szenario	25
Abb. 5	Neuzulassungen nach Antriebsarten im Alternativ-Szenario	26
Abb. 6	Kosteneffizienz und Praktikabilität unterschiedlicher Antriebstechnologien	26
Abb. 7	Jährlicher globaler Verkauf von batteriebetriebenen und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen	27
Abb. 8	Pkw-Bestand 2009 in ausgewählten Ländern	31
Abb. 9	Pkw-Bestand je 1000 Einwohner von ausgewählten Ländern nach Basisdaten Personenkraftwagen	31
Abb. 10	Erteilte Fahrerlaubnisse 2007 bis 2010 nach Geschlecht in der Altersklasse der 17- bis 24-Jährigen	32
Abb. 11	Bevölkerungszahlen der 15- bis 25-Jährigen von 2005 bis 2009 und Prognose 2025	32
Abb. 12	Modal Split Deutschland von 2007	33
Abb. 13	Anteile des MIV am motorisierten Personenverkehr in Deutschland von 2000 bis 2008	34
Abb. 14	Beispiel einer Wegekette vom Wohnort zum Arbeitsplatz	35
Abb. 15	Entfernungen der Reisen am Beispiel der Frankfurter Bürger (n = 2.179)	37
Abb. 16	Entfernungen der Reisen am Beispiel der Kasseler Bürger (n = 238)	37
Abb. 17	Zeitaufwand für den Weg zur Arbeits- bzw. Ausbildungsstätte in 2004 (Deutschland)	38
Abb. 18	Durchschnittliche Fahrzeit pro Person und Tag in ausgewählten Ländern Europas	39
Abb. 19	Modal Split 2008 und Prognose 2025 in Deutschland	40
Abb. 20	Entwicklung des Modal Split im chinesischen Stadtverkehr (nach Wegen)	41
Abb. 21	Modal Split im chinesischen Überlandverkehr (nach Personenkilometern)	42
Abb. 22	Nutzergruppen und Wegstrecken im privaten Verkehr – theoretisches Modell	43
Abb. 23	Anzahl der Neuzulassungen 2005 bis 2010	46
Abb. 24	Durchschnittliche Pkw-Anschaffungspreise von 2000 bis 2010	47
Abb. 25	Preissegmente bei Gebrauchtwagen (Pkw) 2010	47
Abb. 26	Preissegmente bei Neuwagen (Pkw) 2010	48
Abb. 27	Anteile Neuwagen nach Preissegmenten	48
Abb. 28	Einkommensstruktur im Jahr 2010	49
Abb. 29	Bedeutung eines niedrigen CO ₂ -Ausstoßes beim Neuwagenkauf (n = 351)	52

Abb. 30	Abhängigkeitsdreieck Mobilität-Kosten-Umwelt	52
Abb. 31	Geforderte Mindestreichweite von Elektroautos (n = 278)	53
Abb. 32	Geforderte Reichweite von Elektroautos (n = 100)	53
Abb. 33	Gewünschte Reichweite von Elektrofahrzeugen gemäß einer Nutzer- befragung in der Modellregion Rhein-Main	54
Abb. 34	Nutzererfahrungen zur Reichweite	54
Abb. 35	Anteil der neu zugelassenen Elektro-Pkw an den Pkw-Zulassungen 2009.....	57
Abb. 36	Anzahl der im Jahr 2009 neu zugelassenen Elektro-Pkw	58
Abb. 37	Prognostizierter Anteil der Elektro-Pkw am Gesamtbestand 2014.....	59
Abb. 38	Nutzerbefragung zu den Hinderungsgründen beim Kauf eines Elektrofahrzeugs.....	60
Abb. 39	Der Wissensstand der Befragten zur Elektromobilität	61
Abb. 40	Produktionskosten je Antriebsstrang.....	63
Abb. 41	Annahmen zur Entwicklung der Herstellungskosten von Fahrzeugen nach Antriebstechnologie.....	65
Abb. 42	Vergleich der TCO eines Verbrennungs- und eines batteriebetriebenen Fahrzeugs.....	65
Abb. 43	Entwicklung der Herstellungskosten eines Elektrofahrzeugs.....	67
Abb. 44	Prognose zur Entwicklung der Batteriepreise.....	68
Abb. 45	Produktion, Reserven und potenzieller Bedarf an Metallen	70
Abb. 46	Mögliche Gründe einen Mehrpreis für Elektroautos zu akzeptieren.....	72
Abb. 47	Bereitschaft der Nutzer einen Mehrpreis für ein Elektroauto zu zahlen.....	72
Abb. 48	Vehicle to Grid.....	81
Abb. 49	Schematisches Beispiel für ein Smart Home.....	82
Abb. 50	Verteilung des ruhenden Verkehrs in Frankfurt am Main (n = 1.691)	89
Abb. 51	Verteilung des ruhenden Verkehrs in Kassel (n = 1.006).....	89
Abb. 52	CO ₂ -Emissionen von Pkw.....	95
Abb. 53	Vereinfachte Übersicht über relevante eichrechtliche Vorschriften im Bereich Elektromobilität.....	97
Abb. 54	Einstellung der Nutzer zur Subventionierung von Elektroautos.....	100
Abb. 55	„Leuchttürme Elektromobilität“	102
Abb. 56	Politische Förderung der Elektromobilität in China im Zeitablauf	106
Abb. 57	Technische Themen	109
Abb. 58	Darstellung unterschiedlicher Batterietechnologien mit Zeitangaben	111
Abb. 59	Key-Performance für BEV-Stadtfahrzeug	112
Abb. 60	Systemansätze zum Laden.....	114
Abb. 61	SWOT-Analyse.....	117
Abb. 62	Kritische Faktoren der Elektromobilität	126
Abb. 63	Entwicklung der Strom- und Benzinpreise in Deutschland (indexiert)	129
Abb. 64	Bis zur Amortisation zu fahrende Kilometer pro Tag	130
Abb. 65	Bis zur Amortisation zu fahrende Kilometer pro Wochentag	130
Abb. 66	Vorteilhaftigkeit von Finanzierungsoptionen im Vergleich zum Verbrennungsfahrzeug (km/Tag).....	131

Abb. 67	CO ₂ -Emissionen (g/km)	132
Abb. 68	Entwicklung des Strommix in Deutschland.....	132
Abb. 69	Komfort bei Elektroautos – Chancen und Risiken	134
Abb. 70	Entwicklung der Produktionszahlen von reinen Elektroautos (global)	135
Abb. 71	Szenario 1 – Basisszenario.....	137
Abb. 72	Szenario 2 – Negativszenario.....	139
Abb. 73	Use-Case-Vorbereitung von Batterien zur Zweitnutzung	147
Abb. 74	Aktivität: Übergabe an den Händler.....	148
Abb. 75	Aktivität: Batterietest	148
Abb. 76	Aktivität: Weitervertrieb.....	149
Abb. 77	Aktivität: Übergabe an den Zweitnutzer	149
Abb. 78	Use-Case-Hausenergiesysteme	150
Abb. 79	Use-Case-Authentifizierung.....	152
Abb. 80	Use-Case-Wartung mittels Ferndiagnose.....	154
Abb. 81	Use-Case-Eigendiagnose Fahrzeug und Ladestation.....	155
Abb. 82	Use-Case-Rettungskette: Unfall mit Personenschaden.....	156

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Pkw-Bestand nach Kraftstoffarten zum 1. Januar 2011	24
Tab. 2	Darstellung ausgewählter Antriebskonzepte klassifiziert nach dem Antriebsmotor	25
Tab. 3	Durchschnittliche Wegezahl und Wegstrecke ausgewählter europäischer Länder und der USA im Vergleich	35
Tab. 4	Zurückgelegte Wegstrecken in km/Tag in Deutschland nach Geschlecht und Alter	36
Tab. 5	Zurückgelegte Wegstrecken in km/Tag in Deutschland nach Berufstätigkeit	36
Tab. 6	Prognose der Personenverkehrsleistung (zurückgelegte Strecken im Personenverkehr) ausgewählter Schwellen- und Entwicklungsländer	41
Tab. 7	Bewertungsmatrix der Nutzung von Elektromobilität im Pkw-Personenverkehr (privat)	45
Tab. 8	Daten zur Markteinführung unterschiedlicher Elektro- und Hybrid-PKW	50
Tab. 9	Bestand an Personenkraftwagen aus den Jahren 2002 bis 2011 mit Elektro- und Hybridantrieb	56
Tab. 10	Kosten verschiedener Antriebstechnologien nach Fahrzeugklassen im Jahr 2030 (T€)	64
Tab. 11	Entwicklung der Batteriekosten	68
Tab. 12	Vergleich der Entwicklung der Listenpreise von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebstechnologien	68
Tab. 13	Geografische Verteilung wesentlicher Lithiumvorkommen	69
Tab. 14	Prognose der Betriebskosten eines Verbrennungs- und eines Elektrofahrzeugs im Jahr 2020	71
Tab. 15	Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „Fahrzeugkauf“	73
Tab. 16	Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „Fahrzeugleasing“	73
Tab. 17	Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „Batterieleasing“	74
Tab. 18	Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „Batteriewechselsysteme“	74
Tab. 19	Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „E-Carsharing“	79
Tab. 20	Vor- und Nachteile für Nutzer des „Vehicle to Grid Konzepts“	81
Tab. 21	Beispiele für strategische Partnerschaften in der Elektromobilität	84
Tab. 22	Sicherheitsaspekte beim Ladevorgang	87
Tab. 23	Sicherheitstechnische Anforderungen an Elektrofahrzeuge mit Beispielen	88
Tab. 24	Internationale Fördermaßnahmen zum Thema Parken im Jahr 2008	90
Tab. 25	Parkentgelte in Parkhäusern in deutschen Großstädten	91
Tab. 26	Höchstparkgebühren in ausgewählten niederländischen Städten und in Stockholm	91
Tab. 27	Schadstoffgruppen und Plaketten nach dem Anhang 2 der 35. Bundesimmissionsschutzverordnung	93
Tab. 28	Auslöseschwellen für Lärmaktionspläne	94
Tab. 29	Umweltauswirkungen des Straßenverkehrs	95

Tab. 30	Datenschutzrechtliche Aspekte nach dem Bundesdatenschutzgesetz und mögliche Komplikationen bei der Nutzung von Ladeinfrastruktur	96
Tab. 31	Beispiele zu Maßnahmen der Absatzförderung in ausgewählten Ländern	101
Tab. 32	Bonus/Malus System in Frankreich.....	103
Tab. 33	Entwicklung der Anzahl an Ladestationen und der korrespondierenden Kosten in den 25 größten Agglomerationen Frankreichs	103
Tab. 34	Förderung der Elektromobilität in Großbritannien	104
Tab. 35	Förderung der Elektromobilität in den USA	105
Tab. 36	„Next Generation Vehicle Strategy“, Japan.....	107
Tab. 37	Steuervorteile emissionsarmer Fahrzeuge in Japan.....	108
Tab. 38	Möglichkeiten elektrische Energie zu speichern und Art der gespeicherten Energie	109
Tab. 39	Zielgruppendefinition Elektromobilität nach McKinsey.....	120
Tab. 40	Potenzielle Nutzer und Hypothesen (Fraunhofer ISI)	121
Tab. 41	Merkmale von unterschiedlichen Nutzergruppen.....	122
Tab. 42	Reichweite von Elektroautos nach Segmenten im Jahr 2010	126
Tab. 43	Verteilung der Nutzer nach der durchschnittlichen Kilometerleistung	127
Tab. 44	Kostenvergleich Tanken/Laden (zu Hause vs. öffentlich)	128
Tab. 45	Potenzial an Nutzern in unterschiedlichen Szenarien.....	131
Tab. 46	Sicherheitsrelevante Themen der Elektromobilität	133
Tab. 47	Kritische Faktoren und Normen	143
Tab. 48	Relevante Normenarten aus DIN 820.....	144
Tab. 49	Auswahl der Use Cases zur Ermittlung des Normungsbedarfs	145
Tab. 50	Relevanz von Normarten bei ausgewählten Use Cases.....	146

Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current, Wechselstrom
AG	Aktiengesellschaft
ANSI	American National Standards Institute
BEV	Battery Electric Vehicle
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMS	Batteriemanagementsystem
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CEN	Comité Européen de Normalisation, Europäisches Komitee für Normung
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung
DC	Direct Current, Gleichstrom
DOD	Depth of Discharge, Entladungsgrad
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EVSP	Electric Vehicles Standards Panel
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FH	Fachhochschule
FHEV	Full Hybrid Electric Vehicle
GD	Generaldirektoren
HCCI	Homogeneous Charge Compression Ignition
ICE	Internal Combustion Engine
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
ISO	International Organization for Standardization
Kfz	Kraftfahrzeug
kWh	Kilowattstunde
k. N. i.	kein Normungsbedarf identifiziert
Li	Lithium
Li-S	Lithium-Schwefel
METI	Japanisches Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
p. a.	pro Jahr (per anno)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PLC	Powerline Communication
PPP	Public Private Partnership
REEV	Range Extender Electric Vehicle
RFID	Radio-frequency Identification
SOC	State of Charge
SOH	State of Health
SrV	System repräsentativer Verkehrserhebungen
SSL	Secure Socket Layer
StVO	Straßenverkehrsordnung
SUV	Sport Utility Vehicle
TCO	Total Cost of Ownership
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TÜV	Technischer Überwachungs-Verein

Die Bundesregierung hat das Ziel vorgegeben, Deutschland zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Als eine wesentliche Zielgröße wird die Versorgung Deutschlands mit einer Million Elektrofahrzeuge im Jahr 2020 genannt. Um diesem Anspruch der Bundesregierung gerecht zu werden, wurden für die Elektromobilität besonders relevante Themenbereiche definiert, die in den Arbeitsgruppen der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) bearbeitet werden. Ein Kernthema ist der in Arbeitsgruppe 4 bearbeitete Bereich der Normung, Standardisierung und Zertifizierung. Um Elektromobilität marktfähig zu machen, ist neben dem technologischen Angebot die Akzeptanz der Nutzer¹ ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Internationale und nationale Normen und Standards fördern die Technikkonvergenz, stellen ein hohes Qualitätsniveau sicher und fördern den Wettbewerb. Sie schaffen Transparenz und erzeugen Vertrauen beim Nutzer.² Daher dienen sie direkt und indirekt dazu, die Nutzerakzeptanz der Elektromobilität zu steigern.³ Um diese Ziele zu erreichen, sind zuerst die Vorstellungen und Wünsche der Nutzer zu erheben, um in einem zweiten Schritt technologisch darauf reagieren zu können. Bedeutende Herausforderungen sind die Koordination des „Reagierens“ zwischen Automobil-, Energie- und IKT-Sektor sicherzustellen und gleichzeitig bestehende Normen und Standards an die neuen Erfordernisse anzupassen bzw. neue Normen und Standards zielgerichtet zu entwickeln.

Erste Ergebnisse der Arbeitsgruppe Normung, Standardisierung und Zertifizierung wurden in der am 30. November 2010 veröffentlichten deutschen Normungs-Roadmap Elektromobilität⁴ vorgestellt. Die deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität ist hauptsächlich auf Themengebiete, die kurz- bis mittelfristig relevant sind, fokussiert. Andere Themen wie z. B. induktive Ladevorgänge werden aufgrund des „wenig ausgereiften Entwicklungsstadiums“ nur am Rande berücksichtigt. Die Normungs-Roadmap wird zurzeit weiterentwickelt und an die neuen Erkenntnisse und Entwicklungen angepasst.

Das DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), Berlin, wurde im Jahr 2010 beauftragt, eine koordinierende Funktion hinsichtlich der Normungsaktivitäten in Deutschland zu übernehmen. Unter anderem gehören zu seinem Aufgabenbereich die Erarbeitung der Normungs-Roadmap Elektromobilität zu begleiten sowie die Ermittlung des mittel- bis langfristigen Normungs- und Standardisierungsbedarfs im Bereich Elektromobilität.⁵ Diese Arbeiten zum mittel- bis langfristigen Normungsbedarf sollen zum einen auf den Ergebnissen der bereits veröffentlichten deutschen Normungs-Roadmap Elektromobilität aufbauen zum anderen aber auch konkret Themenbereiche beinhalten, die in den bisherigen Normungs- und Standardisierungsarbeiten noch nicht oder nicht vollständig berücksichtigt wurden.

¹ Die Verwendung der Begriffe Nutzer, Käufer, Pendler etc. schließt die weibliche Form mit ein.

² DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (15. 11 2004).

³ DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (26. 11 2009).

⁴ NPE (2010).

⁵ DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2011).

Während auf der technologischen Seite viele Themen bereits abgedeckt sind, werden gerade im sozioökonomischen Bereich Lücken identifiziert. Im Zusammenhang mit der Notwendigkeit des Aufbaus einer weltweit einheitlichen Ladeinfrastruktur betont die Normungs-Roadmap: „Die Interessen der Nutzer müssen Vorrang haben vor den Interessen einzelner Unternehmen.“⁶

Die sozioökonomische Komponente ist für die Entwicklung der Elektromobilität von zunehmender Bedeutung. So werden beispielsweise im Rahmen der Modellregion Rhein-Main umfangreiche Untersuchungen zum Mobilitätsverhalten der Nutzer und zur Nutzerakzeptanz der Elektromobilität durchgeführt, um die Mobilitätsanforderungen und die Wünsche der bisherigen Nutzer bei der Fortentwicklung der Elektromobilität zu berücksichtigen. Ziel dieser Untersuchungen ist die nachhaltige Implementierung von Elektromobilität. Diese kann nur gewährleistet werden, wenn die Erwartungen der Nutzer an die Fahrzeuge und die Ladeinfrastruktur erfüllt werden und sie die Elektromobilität sinnvoll in ihre alltägliche Mobilität integrieren können.

Weitere wichtige Aspekte sind die politische Entwicklung und damit einhergehend die rechtlichen Grundlagen für die Förderung der Elektromobilität bzw. die Anpassung der gesetzlichen Bestimmungen für den öffentlichen Straßenraum zugunsten der notwendigen Ladeinfrastruktur und bspw. einer möglichen Bevorrechtigung von Elektrofahrzeugen in bestimmten Stadtquartieren oder beim Parken.

All diese Aspekte sind bei der Weiterentwicklung der Elektromobilität und somit auch bei der zukünftigen Normung mit einzubeziehen. Vor diesem Hintergrund hat das DIN die PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC), Frankfurt am Main, beauftragt, eine „Studie zur Ableitung des mittel- bis langfristigen Normungs- und Standardisierungsbedarfs im Bereich Elektromobilität auf Basis der sozioökonomischen Entwicklung“ zu erstellen.

⁶ (NPE, 2010).

B Auftragsdurchführung

PwC hat den Auftrag gemeinsam mit der Fachhochschule Frankfurt am Main – University of Applied Sciences, Frankfurt am Main (FH FFM), und dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (Fraunhofer LBF), Darmstadt, durchgeführt. Die für den Auftrag zu erbringenden Leistungen wurden bereits vorab vom DIN Deutsches Institut für Normung e. V. konkret definiert:

Die Leistungsbeschreibung des DIN sieht die Bearbeitung von insgesamt fünf Arbeitspaketen vor. Während in den ersten zwei Arbeitspaketen im Wesentlichen eine Darstellung und Bewertung der Ist-Situation zu erbringen ist, werden in den Arbeitspaketen drei und vier Prognosen zur Entwicklung des zukünftigen Normungs- und Standardisierungsbedarfs im Bereich Elektromobilität abgeleitet. Arbeitspaket fünf stellt eine schriftliche und mediale Zusammenfassung und Aufbereitung der Ergebnisse in Berichts- und Präsentationsform dar.

Unter Berücksichtigung der relevanten Sekundärliteratur wird zunächst eine ganzheitliche Analyse der sozioökonomischen Bereiche vorgenommen, die in einem zweiten Schritt auf die für die Normung und Standardisierung relevanten Themenstellungen fokussiert wurde. Dies sind zum einen politische, rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen und insbesondere Nutzererwartungen an die Elektrofahrzeuge sowie die Infrastruktur. Daneben spielen auch verschiedene Nutzungsvarianten, Kundengruppen und Geschäftsmodelle eine wichtige Rolle.

Abb. 1 Sozioökonomische Bereiche der Elektromobilität.



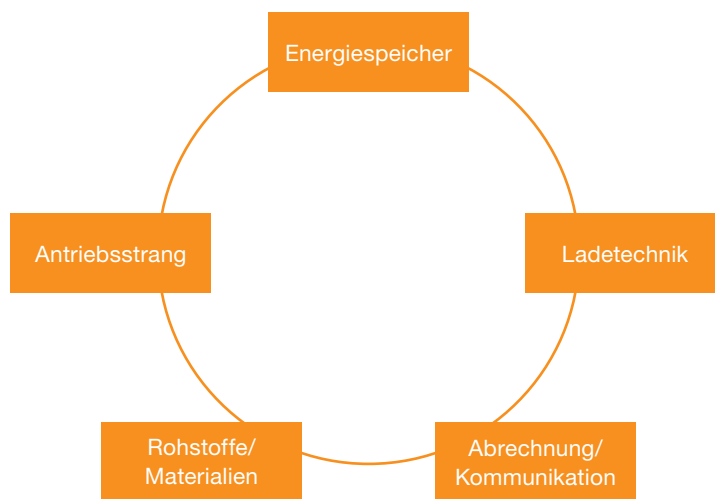
Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Neben den sozioökonomischen Bereichen werden relevante technologische Faktoren dargestellt. Es scheinen insbesondere die Themen Energiespeicher, Ladetechnik, Abrechnung/Kommunikation, Rohstoffe/Materialien und Antriebsstrang für die Themenstellung relevant zu sein:

Anhand der Erarbeitung von Szenarien (basierend auf bestehenden Erkenntnissen/Studien etc.) sollen zunächst das Gesamtsystem Elektromobilität erfasst und Aussagen zur Entwicklung der Elektromobilität im Zeitraum 2015 bis 2025 getroffen werden. Diese Aussagen betreffen sowohl die Entwicklungsgeschwindigkeit als solche als auch die Identifikation, welche Bereiche des Gesamtsystems von einer solchen Entwicklung grundsätzlich betroffen sind (Dienstleistungen, Technik, Technik und DL zugleich, Schnittstellen, Änderung/Einfluss auf Rahmenbedingungen etc.). Diese Art der Clusterung erscheint notwendig, um letztlich den Normungs- und Standardisierungsbedarf ermitteln zu können.

Im Anschluss an die Identifikation der Entwicklungsfelder (Dienstleistungen, Technik, Technik und DL zugleich, Schnittstellen, Änderung/Einfluss auf Rahmenbedingungen etc.) müssen diese, wo notwendig, weiter aufgesplittet werden, um schließlich eine sinnvolle Analyse/Bewertung des

Abb. 2 Technologische Faktoren normungsrelevanter Themen im Bereich Elektromobilität.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Normungsbedarfs durchführen zu können. Schließlich sollen alle relevanten Aspekte herausgefiltert werden, bei denen Normung und Standardisierung berücksichtigt werden müssen, um eine Umsetzung/Entwicklung der einzelnen Cluster des Gesamtsystems zu gewährleisten.

Sollte festgestellt werden, dass Aspekte bereits in der Normungs-Roadmap enthalten sind, sollen diese für die weitere Untersuchung ausgeklammert werden (es sei denn, es ergeben sich abweichende Erkenntnisse).

Im einzelnen ergibt sich folgende Vorgehensweise:

- Identifikation eines Themenfeldes/-bereichs (Cluster des Gesamtsystems).
- Das Themenfeld wird anhand der folgenden Filterkriterien bewertet:
 - i) Das Themenfeld ist für die Elektromobilität grundsätzlich relevant
 - ii) Das Themenfeld wird voraussichtlich im Zeitraum 2015 bis 2025 für die Elektromobilität relevant.
 - iii) Das Themenfeld wird nicht bzw. nicht umfassend in der Normungs-Roadmap behandelt.
- Im weiteren Verlauf werden die Themenfelder bearbeitet, die alle genannten Filterkriterien erfüllen.¹

¹ Smart Grid relevante Themen, die nicht elektromobilitätsspezifisch sind, stehen nicht im Fokus dieser Arbeit.

C Akzeptanz und Marktdurchdringung alternativer Antriebstechnologien

Verschiedene Antriebstechnologien können den Übergang zur und die Implementierung der Elektromobilität unterstützen. Rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge bilden den Fokus der Arbeit. Auch wenn auf diese Fahrzeuggruppe zurzeit noch ein relativ geringer Marktanteil entfällt, deuten nicht zuletzt die umfangreiche

Förderung der Bundesregierung⁷ und die Steigerung des Marktanteils der Hybridautos⁸ darauf hin, dass die Bedeutung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen deutlich zunehmen wird.⁹

Da Hybridkonzepte, die keiner relevanten Reichweitenproblematik unterliegen, gemäß verschiedener

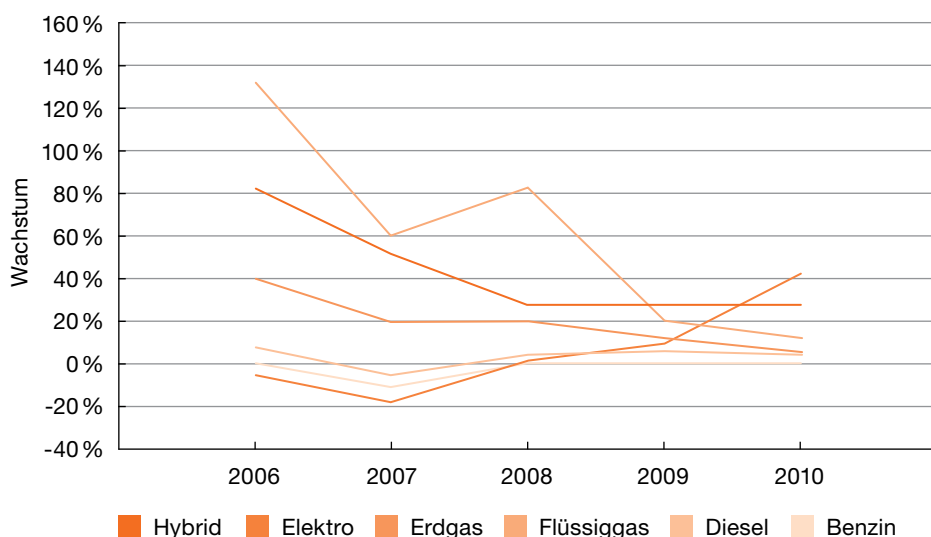
Studien als eine Art Übergang zur reinen Elektromobilität gesehen werden und auch bspw. Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) parallel weiterentwickelt werden, wird an den Stellen, an denen es sinnvoll erscheint (z. B. Kosten), eine Unterscheidung stattfinden.¹⁰

Tab. 1 Pkw-Bestand nach Kraftstoffarten zum 1. Januar 2011.

	Benzin	Diesel	Flüssiggas	Erdgas	Elektro	Hybrid
Pkw-Bestand 01.01.2011	30.487.578	11.266.644	418.659	71.519	2.307	37.256

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (2011).

Abb. 3 Wachstum der Anzahl an Pkw nach Kraftstoffarten.



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (2011).

⁷ Die Bundesregierung (2011).

⁸ Kraftfahrt-Bundesamt (2011).

⁹ Kraftfahrt-Bundesamt (2011).

¹⁰ PwC, Fraunhofer IAO (2010), S. 36.

Während Parallelhybridfahrzeuge noch über einen rein mechanischen Antriebsstrang verfügen, dienen die Verbrennungsmotoren in seriellen Hybridfahrzeugen lediglich zum Betreiben eines Generators zur Speisung der Batterien mit Energie. Für die Traktion werden nur die Elektromotoren genutzt. Plug-in-Hybridfahrzeuge (PHEV) haben den Vorteil, dass die Batterien am Netz geladen werden können.

Fahrzeuge mit Elektroantrieben fallen durch ihre geringen Geräuschemissionen bei niedrigen Geschwindig-

keiten und durch ihr hohes Drehmoment ab der ersten Umdrehung auf. Elektrofahrzeuge beschleunigen stark und zugunterbrechungsfrei, da ein Mehrganggetriebe nicht mehr notwendig ist. Ein weiterer Vorteil von Elektroantrieben ist ihre leichte Steuerbarkeit, die zu höherer aktiver Sicherheit führt. Im Gegensatz zum ölbasierten Antriebssystem lassen sich sowohl Energiespeicher als auch Energiewandler von Elektrofahrzeugen dezentral verteilt anordnen und bieten daher vollkommen neue Gestaltungsmöglichkeiten für das gesamte Fahrzeug. Große Teile des klassischen Antriebsstrangs können

entfallen. Im Extremfall von sogenannten Radnabenmotoren befindet sich die gesamte Antriebseinheit in den Rädern.

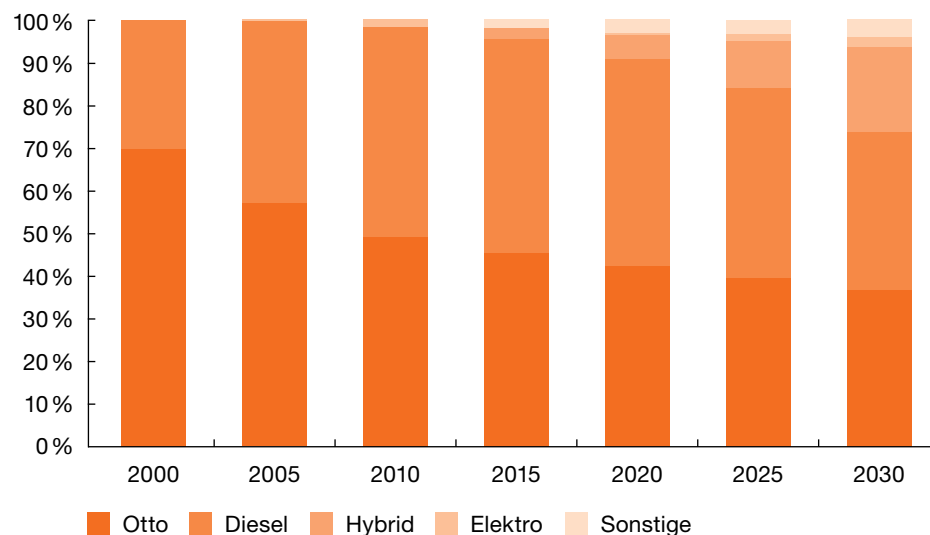
Gemäß einer aktuellen Prognose von Shell wird bei der Entwicklung der Neuzulassungen bis zum Jahr 2030 insbesondere bei der Anzahl der Hybridfahrzeuge eine deutliche Steigerung erfolgen. Deren Anteil an den Neuzulassungen wird im Jahr 2030 bei knapp 20 Prozent liegen, während der Anteil reiner Elektrofahrzeuge lediglich bei ca. 2,5 Prozent liegt. Bezieht man die klimapolitischen Instrumente zur Förderung nachhaltiger Mobilität der

Tab. 2 Darstellung ausgewählter Antriebskonzepte klassifiziert nach dem Antriebsmotor.

Verbrennungsmotor	Verbrennungs- und Elektromotor	Elektromotor
Ottomotor	Mildhybrid	Serieller Hybrid/Range Extender
Dieselmotor	Parallelhybrid (Vollhybrid)	Batteriefahrzeug
HCCI		Brennstoffzellenfahrzeug

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Abb. 4 Neuzulassungen nach Antriebsarten im Trend-Szenario.



Quelle: Shell (2009).

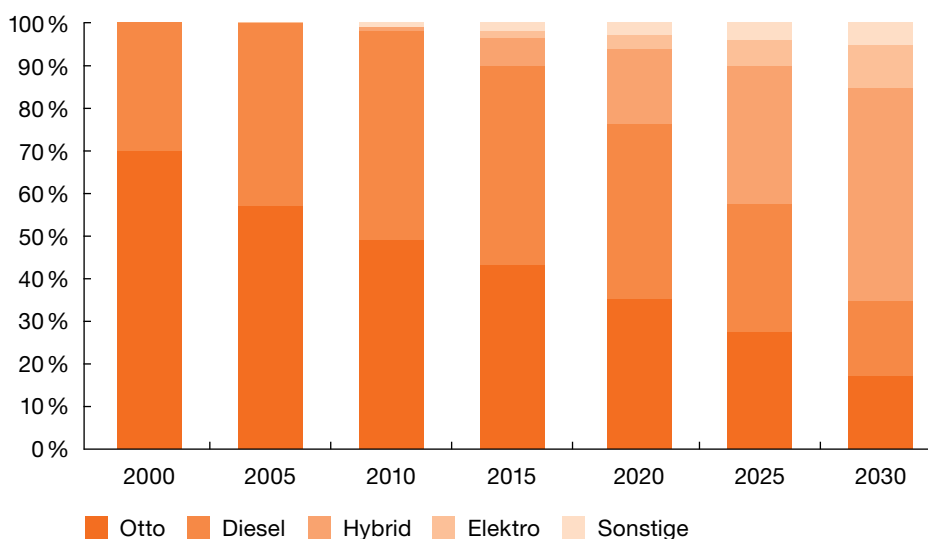
Bundesregierung innerhalb eines Alternativszenarios mit ein, steigt im Jahr 2030 der Anteil der Hybride auf 50 Prozent und der reiner Elektrofahrzeuge auf 10 Prozent.¹¹

Eine Studie von Energie Impuls OWL e.V. kommt zu dem Ergebnis, dass die Zielgröße von einer Millionen Elektrofahrzeugen im Jahr 2020 nur erreicht wird, wenn auch Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV) in dieser Zahl berücksichtigt werden. Grund dafür sind insbesondere die Anforderungen, die Nutzer an die Reichweite eines Elektroautos stellen. Insgesamt wird berechnet, dass Elektrofahrzeuge und PHEV im Jahr 2020 einen Marktanteil von etwa 2 Prozent haben werden.¹²

Die Ergebnisse der Studie „Nielsen Energy Survey“ deuten ebenso darauf hin, dass PHEV aufgrund der Möglichkeit große Distanzen ohne „Tankstopp“ zurückzulegen, eine große Bedeutung zukommt. So gibt mehr als die Hälfte der befragten US-Amerikaner an, sich vorstellen zu können, bei vergleichbarer Reichweite ein (teil) elektrisch betriebenes Fahrzeug zu fahren. An rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen mit dementsprechend geringer Reichweite sind hingegen nur 8 Prozent der Befragten interessiert.¹³

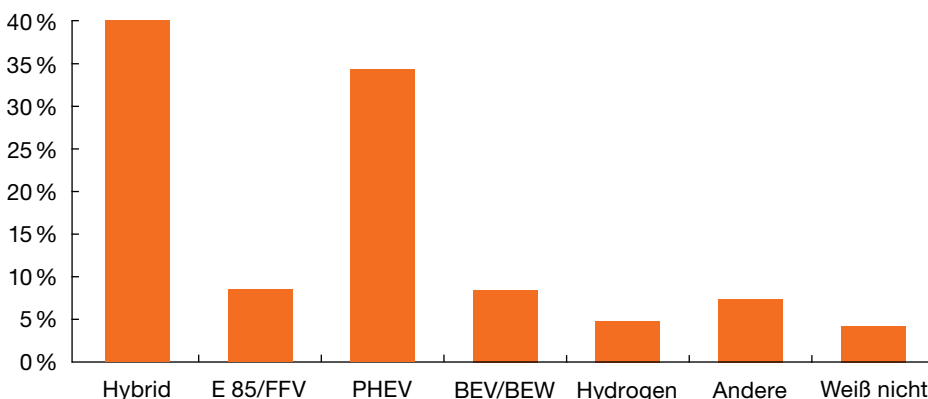
PwC hat verschiedene Personen befragt, welche alternativen Antriebstechnologien sie nach den Maßstäben Kosteneffizienz und Praktikabilität zurzeit für besonders geeignet halten. Demnach plädiert die Mehrzahl der Nutzer für Hybridfahrzeuge und PHEV. Nur etwa 8 Prozent halten rein batteriebetriebene Fahrzeuge für besonders geeignet.¹⁴

Abb. 5 Neuzulassungen nach Antriebsarten im Alternativszenario.



Quelle: Shell (2009).

Abb. 6 Kosteneffizienz und Praktikabilität unterschiedlicher Antriebstechnologien.



Quelle: PwC (2011).

¹¹ Shell (2009), S. 32,33.

¹² Kortlücke & Pieprzyk (2010), S. 10,11.

¹³ DailyGreen (2011).

¹⁴ PwC (2011).

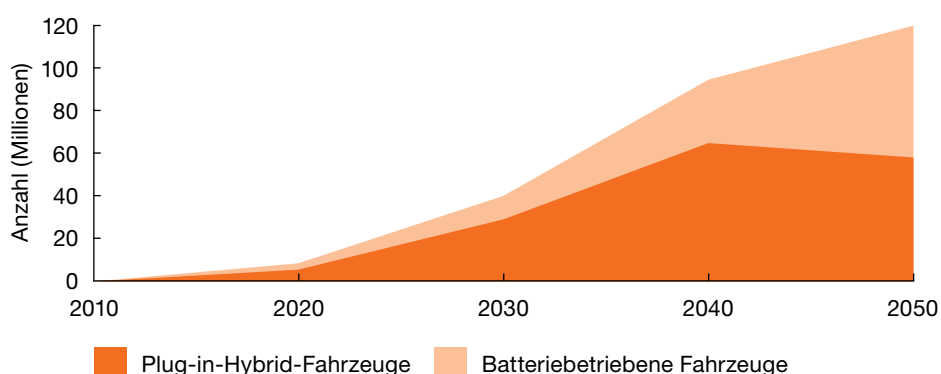
Eine Studie von Gartner kommt für Deutschland zu einem ähnlichen Ergebnis. Demnach wollen nur etwa 16 Prozent der deutschen Autofahrer den Kauf eines rein batteriebetriebenen Fahrzeugs prüfen. Den Kauf eines Hybridautos hingegen können sich etwa 43 Prozent der Befragten gut vorstellen. Im Jahr 2010 waren es noch lediglich 37 Prozent. Gasbetriebene Fahrzeuge scheinen besonders im Fokus der Nutzer zu stehen (52 Prozent).¹⁵

Nach einer Untersuchung der IEA wird bis zum Jahr 2030 hauptsächlich PHEV eine wesentliche Bedeutung zukommen. Erst im Jahr 2050 wird der Verkauf von batteriebetriebenen Fahrzeugen den Verkauf von PHEV übersteigen.¹⁶

Im Rahmen einer aktuellen Stellungnahme unterschiedlicher Unternehmen zu einem aktuellen Weissbuch der Europäischen Kommission¹⁷ wird die Notwendigkeit eines parallelen Aufbaus einer Stromlade- und einer Wasserstoff-tankstelleninfrastruktur beschrieben.¹⁸ Um den Aufbau einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur in Deutschland zu untersuchen bzw. zu prüfen, haben sich die Akteure Linde, Daimler, EnBW, NOW, OMV, Shell, Total und Vattenfall in der Initiative „H2 Mobility“ zusammengeslossen.¹⁹

Bain & Company haben sich mit den Marktchancen von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebsarten auseinandergesetzt. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass sowohl Elektro- als auch Hybridautos geeignet sind, von unterschiedlichen Kundengruppen bereits heute akzeptiert zu werden. Dementsprechend haben reine Elektroautos insbesondere im Zweitwagensegment ein großes Potenzial, den Kundenbedürfnissen der Pendler zu entsprechen. Kunden die höhere Ansprüche an Reichweite und Fahrzeuggröße stellen, sollten eher auf Hybridtechnologien umsteigen.²⁰

Abb. 7 Jährlicher globaler Verkauf von batteriebetriebenen und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen.



Quelle: IEA (2009).

¹⁵ Koslowski (2011).

¹⁶ IEA (2009), S. 15.

¹⁷ Europäische Kommission (2011).

¹⁸ Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)/NEW-IG/European Hydrogen Association (EHA)/HyRaMP/FuelCellEurope (2011).

¹⁹ Linde AG (2009).

²⁰ Bain & Company (2010).

D Ganzheitliche Analyse der sozioökonomischen Bereiche unter Berücksichtigung der relevanten Sekundärliteratur

I. Nutzer

Seit dem Beginn der Massenproduktion und der damit einhergehenden Senkung der Anschaffungskosten stellt der Pkw das wichtigste Transportmittel im Individualverkehr dar. In den Industrieländern ist der motorisierte Individualverkehr (MIV), der sich zum größten Teil aus Pkw-Fahrten zusammensetzt, die Hauptkomponente des Modal Split (Verkehrsmittelverteilung). In den Schwellen- und Entwicklungsländern steigen die Anteile am Modal Split kontinuierlich an. In Deutschland wurden im Jahr 2008 etwa 79,6 Prozent der Personenkilometer im motorisierten Personenverkehr zurückgelegt.²¹

Den Anforderungen und Erwartungen der Nutzer zu entsprechen, ist eine Grundvoraussetzung für den Erfolg der Elektromobilität. Dementsprechend bildet das bisherige Verkehrsverhalten die Basis für die Prognose des Verkehrsverhaltens im Untersuchungszeitraum zwischen den Jahren 2015 und 2025. Neben dem zukünftigen Verkehrsverhalten sind ökonomische, gesellschaftliche und ökologische Aspekte von Bedeutung. Dazu gehören die derzeitige Zahlungsbereitschaft der Fahrzeugkäufer im Neu- und Gebrauchtwagenmarkt, eine Analyse der gezahlten Fahrzeugpreise, die preisliche Einordnung der derzeitigen Elektrofahrzeuge, die Anforderungen und Erwartungen der Nutzer hinsichtlich ökonomischer und ökologischer Aspekte der Elektromobilität sowie die Integration der Elektromobilität in das zukünftige Verkehrsverhalten. Je nach Land und Generation variiert das Verkehrsverhalten oder die Ausprägung der oben genannten Aspekte sehr stark und es

können sich unterschiedliche Anforderungsprofile ergeben. Daher werden im Folgenden die wichtigsten Industrie- und Schwellenländer sowie unterschiedliche Altersgruppen, sofern entsprechende Daten vorliegen, betrachtet und beschrieben.

Die Normung und Standardisierung kann dazu beitragen, dass den Nutzern von Anfang an das Sicherheits- und Komfortniveau geboten wird, das sie bisher auch bei den konventionellen mit fossilen Brennstoffen betriebenen Fahrzeugen gewohnt sind. Das kann z. B. in der Art geschehen, dass die Technik so zuverlässig und sicher wie bei konventionellen Fahrzeugen ist (z. B. einfaches Laden, einfaches Handling des Fahrzeugs und dessen technischer Ausstattung (u. a. IKT), hohe Crashesicherheit, möglichst flexible Nutzbarkeit etc.). Dies erhöht die Akzeptanz der Elektromobilität in der Bevölkerung, aus der auch positive ökonomische Effekte resultieren können. Bisherige Mobilitätsmuster werden erst durch Generationswechsel oder plötzlich eintretende Trendbrüche (z. B. Ölknappheit oder massiver Preisanstieg, Umweltkatastrophen, politische Umbrüche) verändert. Normen und Standards können frühzeitig die Entwicklung neuer Mobilitätsservices unterstützen, um schnittstellenübergreifende Angebote bei Bedarf etablieren zu können (z. B. Mobilitätskarte: Identifizierungsstandards, regionenübergreifende Nutzbarkeit, Datenschutzstandards, Abrechnungsvorgänge (standardisierte Datenprotokolle)). Die Notwendigkeit der Normung und Standardisierung ist unmittelbar abhängig vom zukünftigen Verkehrsverhalten, da infolgedessen die relevanten Themenfelder aufgezeigt werden können.

1.1 Grundlagen des Verkehrsverhaltens

Um das für die Fortentwicklung der Elektromobilität wichtige Verkehrsverhalten abschätzen zu können, müssen zunächst die statistischen Daten über den Fahrzeugbestand, den Führerscheinbesitz sowie über die Verkehrsmittelwahl analysiert werden. Die derzeitige Abwicklung der täglichen Mobilität (Modal Split, Intermodalität, Wegketten) ist der Ausgangspunkt für die Bestimmung der möglichen Substitutionspotenziale für elektrische Fahrzeuge im zukünftigen Verkehrsgeschehen. Neben dem unterschiedlichen Verkehrsverhalten von Personen in verschiedenen Ländern sind bei einem Betrachtungshorizont von 15 Jahren zunehmend generationsspezifische Fragestellungen zu beachten. Es folgt eine Beschreibung der erwarteten Veränderungen im Verkehrsverhalten bis zum Jahr 2025. Abschließend werden auf Basis der vorherigen Untersuchungen die möglichen Nutzergruppen vorgestellt und die Chancen und Probleme der Elektromobilität für die einzelnen Gruppen herausgearbeitet.

²¹ BMVBS (2009), S. 223.

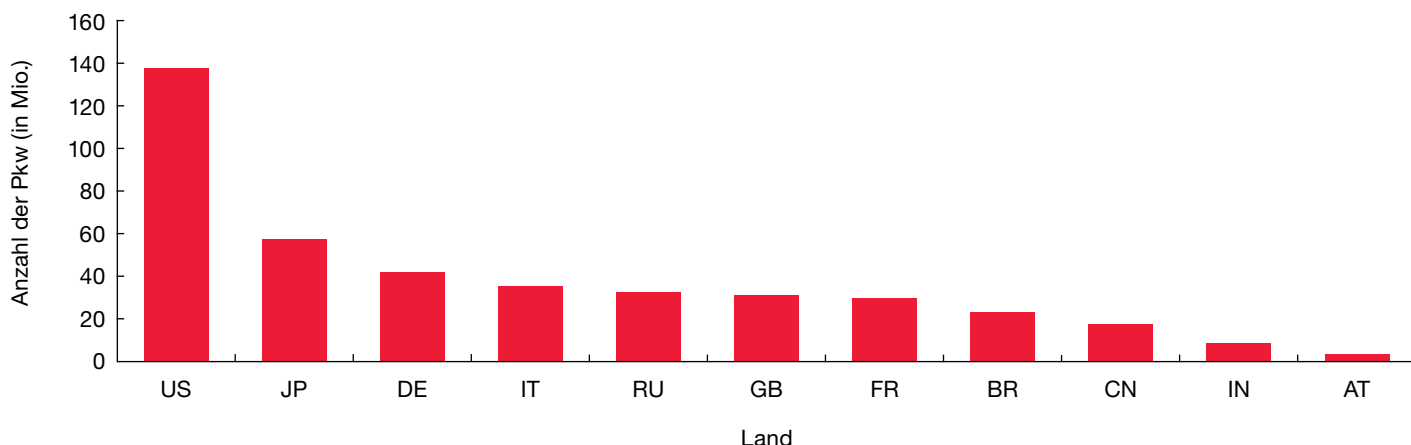
Fahrzeugbestand und Führerscheinerwerb

Der aktuelle Bestand an Fahrzeugen gibt die Größe des Marktes im jeweiligen Land wieder. Die USA sind mit fast 140 Millionen Fahrzeugen das Land mit dem höchsten Pkw-Bestand. Japan folgt mit 57,9 Millionen Pkw. Deutschland führt mit 41,3 Millionen Pkw die europäische Rangliste an. Russland hat einen Bestand von 33,2 Millionen Pkw. Brasilien, China und Indien führen mit 23,6, 18,3 und 9,4 Millionen Pkw die Liste der Entwicklungs- und Schwellenländer mit dem höchsten Pkw-Bestand an.

Um die Pkw-Sättigung in der Bevölkerung zu bestimmen, wird der Pkw-Bestand mit der Einwohnerzahl verglichen (individuelle Mobilität in den einzelnen Ländern).²² Von den untersuchten Ländern führt Italien mit 596 Pkw je 1000 Einwohner die Liste an. Es folgen Österreich, Deutschland, Frankreich, Großbritannien und die USA (514–451 Pkw). Mit größeren Abständen folgen Japan (319 Pkw), Russland (206 Pkw) und Brasilien (158 Pkw). China und Indien weisen mit 27 bzw. 10 Pkw je 1000 Einwohner die geringsten Anteile auf. Es kann

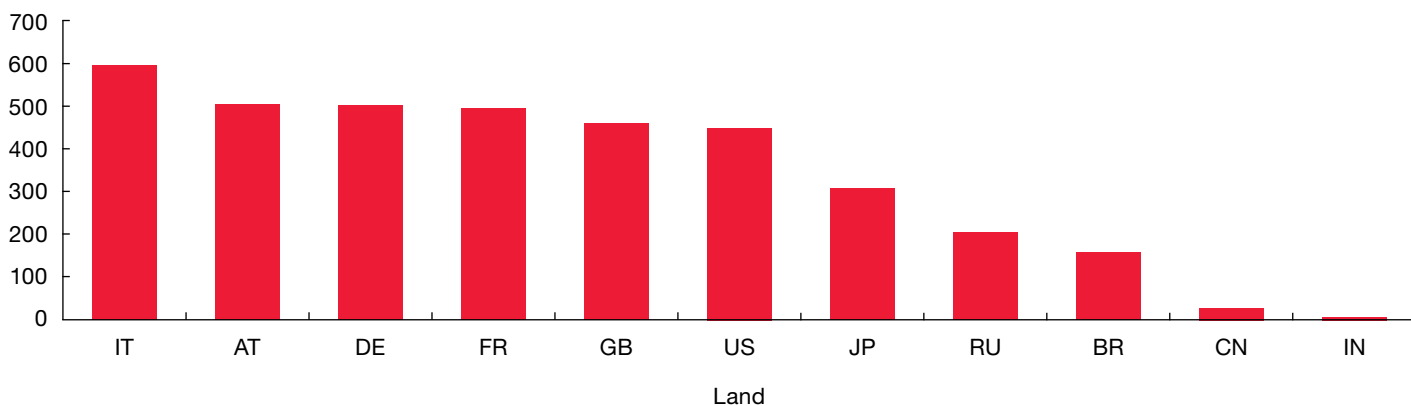
vermutet werden, dass die Pkw-Sättigung unmittelbar mit dem wirtschaftlichen Entwicklungsstand zusammenhängt. Die Ausnahme bei den untersuchten Werten bildet Japan. Dies ist vermutlich den städtebaulichen Strukturen (zahlreiche hochverdichtete Agglomerationsräume) geschuldet.

Abb. 8 Pkw-Bestand 2009 in ausgewählten Ländern.



Quelle: Korea Automobile Manufacturers Association (2010).

Abb. 9 Pkw-Bestand je 1000 Einwohner von ausgewählten Ländern nach Basisdaten Personenkraftwagen.



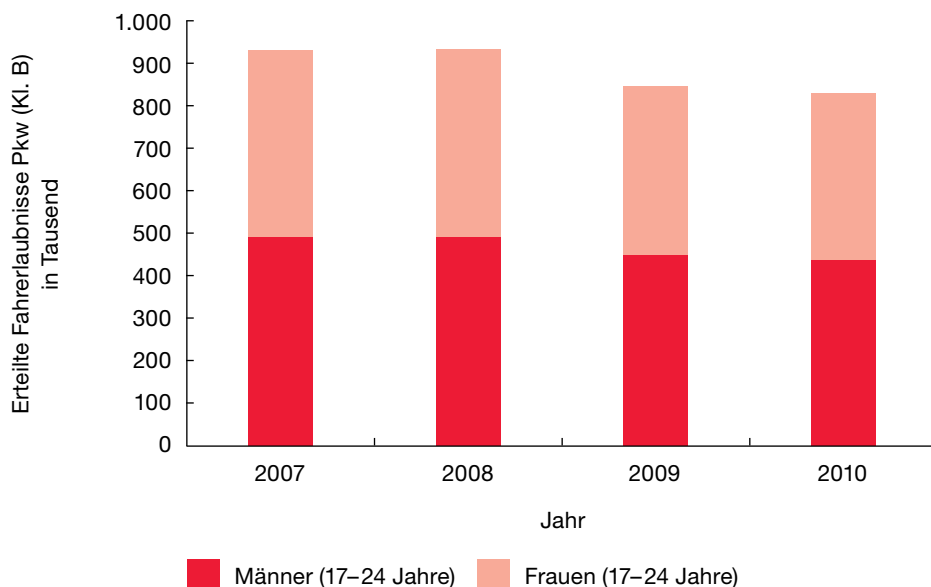
Quelle: Statistisches Bundesamt Deutschland (2011).

²² Die Werte für den Pkw-Bestand pro 1000 Einwohner stammen aus dem Jahr 2008. Für Russland und Indien sind nur ältere Werte vorhanden.

In Deutschland zeichnet sich eine leichte Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs (MIV), d. h. der Pkw- und Motorradnutzung ab.²³ An der Anzahl der erteilten Fahrerlaubnisse sind erste Trends einer Veränderung der Einstellung von Generationen zu erkennen. Niedrige Geburtenraten können den Effekt zukünftig verstärken. Die Abbildung 10 zeigt die erteilten Fahrerlaubnisse (Klasse B) in den Jahren 2007 bis 2010 nach Geschlecht in der Altersklasse der 17- bis 24-Jährigen in Deutschland.

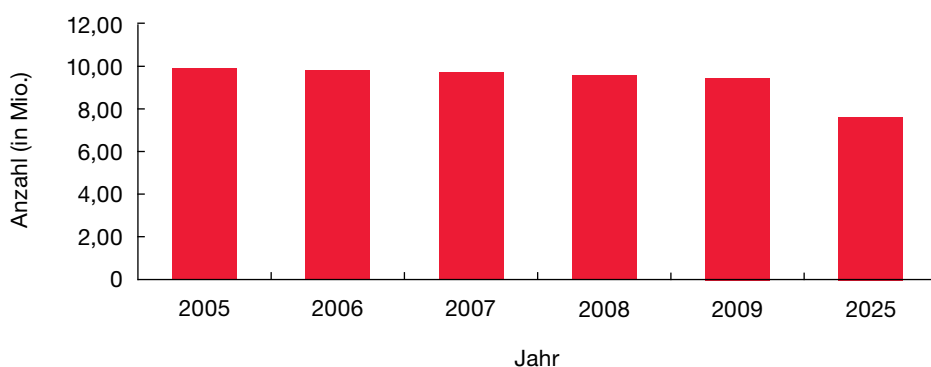
Seit dem Jahr 2008 ist die Summe der erteilten Fahrerlaubnisse in der untersuchten Altersklasse gesunken. Die Gründe hierfür sind noch nicht hinreichend untersucht. Erste Vermutungen gehen davon aus, dass die Wichtigkeit des Automobils in den jüngeren Generationen sinkt und durch andere Güter substituiert wird (z. B. Smartphones). Zudem nimmt die Gesamtzahl der Personen in dieser Altersgruppe durch schwache Geburtenjahrgänge ab. Dieser Rückgang erfolgt in geringerem Maße als der Rückgang der erteilten Fahrerlaubnisse. Abbildung 11 zeigt, dass die Bevölkerungszahlen der 15- bis 25-Jährigen seit 2005 rückläufig sind. Die Prognose des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2025 geht davon aus, dass die Bevölkerungszahl um 1,78 Millionen von 9,25 Millionen (2009) auf 7,47 Millionen (2025) sinkt.

Abb. 10 Erteilte Fahrerlaubnisse 2007 bis 2010 nach Geschlecht in der Altersklasse der 17- bis 24-Jährigen.



Quelle: KBA (2011 (2)).

Abb. 11 Bevölkerungszahlen der 15- bis 25-Jährigen von 2005 bis 2009 und Prognose 2025.



Quelle: Statistisches Bundesamt (2010).

²³ BMVBS (2009), S. 223.

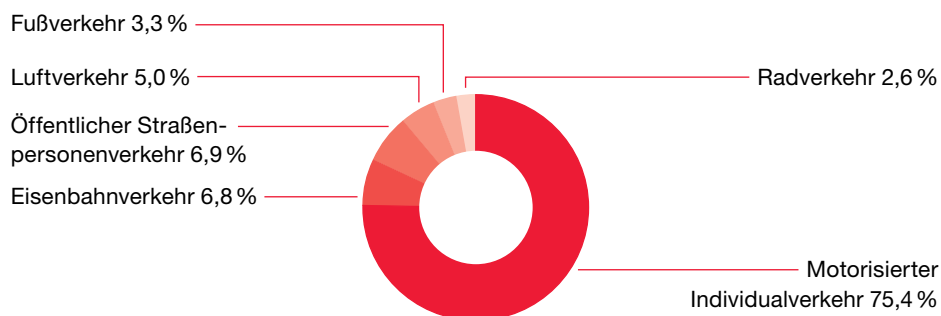
Verkehrsmittelwahl

Der Modal Split beschreibt die Anteile der einzelnen Verkehrsmittel am Gesamtpersonenverkehr in Abhängigkeit der zurückgelegten Personenkilometer (Personenverkehrsleistung). Der Gesamtpersonenverkehr wird zunächst in den Individualverkehr und den öffentlichen Verkehr unterschieden. Im Folgenden wird eine weitere Unterteilung in die Art des Verkehrsmittels bzw. die Art der Fortbewegung vorgenommen. Individuelle Verkehrsmittel sind z. B. der Pkw, das Motorrad und das Fahrrad. Zu den öffentlichen Verkehrsmitteln gehören der öffentliche Straßenpersonenverkehr, der Eisenbahnverkehr und der Luftverkehr. Zudem werden Wege auch zu Fuß zurückgelegt. Die Wahl des Verkehrsmittels ist von den Faktoren Länge des Weges (Reisedauer und Distanz), Reisekosten und Reisekomfort abhängig. Beim Reisekomfort ist insbesondere beim Fuß- und Radverkehr der Einfluss der Witterung zu beachten. Abbildung 12 zeigt exemplarisch den Modal Split für Deutschland im Personenverkehr.

Demnach werden 75,4 Prozent der Kilometer im motorisierten Individualverkehr zurückgelegt. Das verbleibende Viertel teilt sich auf den öffentlichen Straßenpersonenverkehr (6,9 Prozent), den Eisenbahnverkehr (6,8 Prozent), den Luftverkehr (5,0 Prozent) sowie auf den nicht motorisierten Fuß- und Radverkehr (3,3 bzw. 2,6 Prozent) auf. Hier wird deutlich, dass die anderen Verkehre nur eine untergeordnete Rolle spielen. Es ist jedoch zu berücksichtigen,

dass die regionale Verkehrsmittelwahl anders ausfallen kann. Höhere Anteile des öffentlichen Verkehrs oder auch des Radverkehrs können in Ballungsräumen und in Großstädten auftreten, während sie auf dem Land, durch ein geringes ÖV-Angebot und längere Wegstrecken, eher unter dem bundesweiten Durchschnitt liegen dürften. Dennoch besitzt der motorisierte Verkehr auch dort einen hohen Anteil.

Abb. 12 Modal Split Deutschland von 2007.



Quelle: BMVBS (2009), S. 223

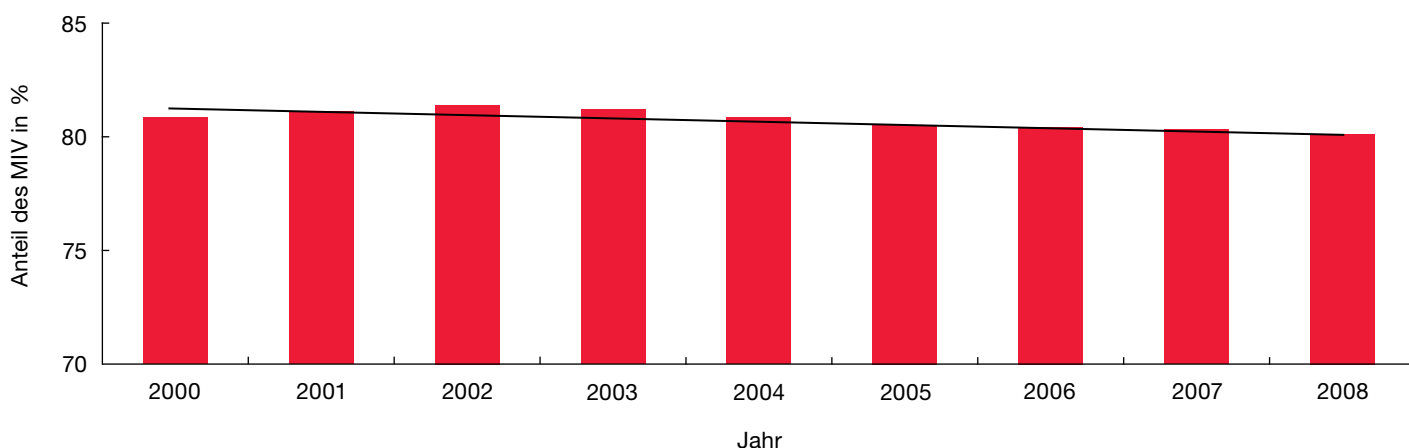
In geringem Maße ist der Anteil des MIV am motorisierten Personenverkehr in Deutschland im Zeitraum 2000 bis 2008 zurückgegangen. Abbildung 13 beschreibt den Anteil des MIV am motorisierten Verkehr, also ohne Berücksichtigung des Fuß- und Radverkehrs.

Bis zum Jahr 2002 stieg der Anteil des MIV am motorisierten Personenverkehr an. Seitdem ist der Anteil rückläufig. Er fiel um 2,8 Prozentpunkte von 82,4 Prozent (2002) auf 79,6 Prozent (2008). Die Länge der Strecken und die Anzahl der Wege nehmen aber weiterhin zu, werden jedoch anders verteilt.²⁴

Aus dem AXA Verkehrssicherheits-Report 2009 geht hervor, dass der Benzinpreis deutliche Auswirkungen auf das Verkehrsverhalten der Autofahrer hat. Mehr als die Hälfte der deutschen Fahrer sollen das Fahrverhalten wegen der hohen Spritkosten geändert haben (54 Prozent). Der europäische Durchschnitt lag bei 43 Prozent. Die Anpassung geschah in den meisten Fällen durch einen Verzicht auf Fahrten mit dem Pkw. Die meisten der Befragten (90 Prozent) wollen ihr angepasstes Verkehrsverhalten auch bei wieder sinkenden Spritpreisen beibehalten.²⁵

In den Entwicklungs- und Schwellenländern kann vermutlich mit einem weiteren Anstieg des MIV gerechnet werden, da sich deren gute wirtschaftliche Entwicklung positiv auf die Einkommensverhältnisse der Bevölkerung auswirken könnte. Insbesondere in China und Indien, in denen der Anteil des MIV am Gesamtpersonenverkehr durch eine geringe Kfz-Dichte noch sehr gering ist, kann mit einer Zunahme gerechnet werden. Die weitere Entwicklung wird im Kapitel Veränderungen im Verkehrsverhalten bis 2025 vorgestellt.

Abb. 13 Anteile des MIV am motorisierten Personenverkehr in Deutschland von 2000 bis 2008.



Quelle: BMVBS (2009), S. 223.

²⁴ ITP/BVU (2007).

²⁵ AXA Konzern AG (2010), S. 10.

Wegekettten, Wegehäufigkeiten, Wegstrecken und Reise-geschwindigkeit

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten Wegekettten zu beschreiben. Die Unterschiede zwischen den Definitionen sind in erster Linie auf den Zweck des Weges und die Aufenthaltsdauer an den Zwischenorten bezogen. Wenn der Weg von der Arbeit nach Hause über einen Supermarkt führt, dann kann er den Zweck „Heimweg“ oder die Zwecke „Einkaufen“ und danach „Heimweg“ haben. Diese Festlegung kann auch anhand der Dauer des Zwischenaufenthalts getroffen werden. Ab einer bestimmten Aufenthaltsdauer beginnt eine neue Kette. In der weiteren Darstellung wird davon ausgegangen, dass sich eine Wegekette aus mindestens drei Teilen zusammensetzt: Startpunkt, Weg und Zielpunkt. Sie kann aus einer Vielzahl von Kettengliedern bestehen. Die Aufenthaltsdauer pro Zwischenziel liegt bei maximal 30 Minuten. Abbildung 14 zeigt ein Beispiel für eine Wegekette für den Weg von der Wohnort zum Arbeitsplatz.

Die Wegehäufigkeit gibt die Anzahl der Wege an, die eine Person pro Tag zurücklegt. Als Weg wird der gesamte Weg zwischen Quelle und Ziel angenommen. Solange der Zweck des Weges (z. B. Erreichen des Arbeitsplatzes) identisch bleibt, gilt dies unabhängig von einem Wechsel des Verkehrsmittels. Wenn auf dem Weg vom Arbeitsplatz zum Wohnort ein Supermarkt angefahren wird, handelt es sich demnach um zwei Wege (Zweck Einkaufen und Zweck Heimreise). Das System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV) aus dem Jahr 2008 gibt für die untersuchten Städte in Deutschland eine Wegehäufigkeit von 3,5 Wegen pro Person und Tag an.²⁶ In der Studie Mobilität in Deutschland (MiD) aus dem Jahr 2008 wird eine Wegehäufigkeit von 3,4 Wegen pro Person angegeben. Gemäß MiD ist die Wegehäufigkeit seit dem Jahr 2002 um den Wert 0,1 nur unwesentlich angestiegen.²⁷ Daher ist davon auszugehen, dass

die Wegehäufigkeit auch in Zukunft nur geringfügig ansteigen wird.

Die Wegstrecke definiert sich als die Summe aller zurückgelegten Wege an einem Tag in Kilometern. Tabelle 3 zeigt Durchschnittswerte zu Wegehäufigkeit und Wegstrecke einiger europäischer Staaten und der USA. Die Daten stammen aus den Jahren 1999 bis 2001 und sind daher nicht mehr aktuell, jedoch geben sie einen guten Eindruck über die unterschiedlichen Mobilitätsraten in den untersuchten Ländern. Die Schweizer

legen in Europa mit einem Wert von 3,6 die meisten Wege pro Tag zurück. Die wenigsten Wege werden mit einem Wert von 1,8 Wegen/Tag von den Spaniern zurückgelegt. Die Schweden legen mit durchschnittlich 44,1 km/Tag die längsten Wegstrecken zurück. Die kürzesten Wege legen die Letten mit 8,7 km/Tag zurück. Der Vergleichswert der USA liegt bei 49 km. Die Wegehäufigkeit der US-Bürger liegt etwas oberhalb von 4 Wegen pro Tag und Person.²⁸

Abb. 14 Beispiel einer Wegekette vom Wohnort zum Arbeitsplatz.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Tab. 3 Durchschnittliche Wegezahl und Wegstrecke ausgewählter europäischer Länder und der USA im Vergleich.

Land	Durchschnittliche Wege pro Person/Tag	Durchschnittliche Wegstrecke pro Person/Tag
Schweden	2,7	44,1
Finnland	2,9	41,8
Norwegen	3,3	37,9
Dänemark	3	37,3
Estland	k. A.	37,3
Schweiz	3,6	37,1
Deutschland	3,3	36,9
Frankreich	2,9	35,3
Niederlande	3,1	31,9
Vereinigtes Königreich	2,9	31,1
Österreich	3	28,1
Tschechische Republik	k. A.	21,9
Lettland	1,9	8,7
Belgien	3	k. A.
Spanien	1,8	k. A.
USA	4,0	49,0

Quelle: De La Fuente Layos (2007).

²⁶ SrV 2008: Ahrens et al. (2009), S. 15.

²⁷ MiD 2008: infas, DLR (2010), S. 24.

²⁸ Bühler & Kunert (2008), S. 107.

Für Deutschland liegen aktuellere und differenziertere Werte vor. Die durchschnittliche Wegstrecke pro Person und Tag liegt im Jahr 2008 bei einem Wert von 40,0 km. Dieser Wert muss um die Anteile des nicht motorisierten Verkehrs reduziert werden. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass es sich hierbei lediglich um einen Durchschnittswert handelt.

Die Wegstrecken in Deutschland differenzieren nach Geschlecht, Altersklassen bzw. nach dem Status der Berufstätigkeit. Die Werte variieren zwischen 24,9 km/Tag für die Altersklasse der 10- bis 17-Jährigen und 55,8 km/Tag bei den Vollzeitbeschäftigten. Auch innerhalb einzelner Klassen ist eine Streuung möglich. Bezieht man die allgemeinen Mobilitätsmuster von Berufstätigen, Schülern, Rentnern etc. mit ein, ist eine solche Streuung jedoch nur in einem begrenzten Rahmen zu erwarten.

Tab. 4 Zurückgelegte Wegstrecken in km/Tag in Deutschland nach Geschlecht und Alter.

Kategorie	Wegstrecke in km/Tag (2008)
Alle Personen	40,0
Männlich	45,3
Weiblich	35,0
Nach Altersklassen	
10–17	24,9
18–35	52,0
36–59	44,0
>= 60	29,8

Quelle: BMVBS (2009), S. 236.

Tab. 5 Zurückgelegte Wegstrecken in km/Tag in Deutschland nach Berufstätigkeit.

Nach Berufstätigkeit	Wegstrecke in km/Tag (2008)
Voll berufstätig	55,8
Teilweise berufstätig	35,7
In Ausbildung	35,4
Hausfrau/-mann, arbeitslos	26,7
Rentner/-in	29,1

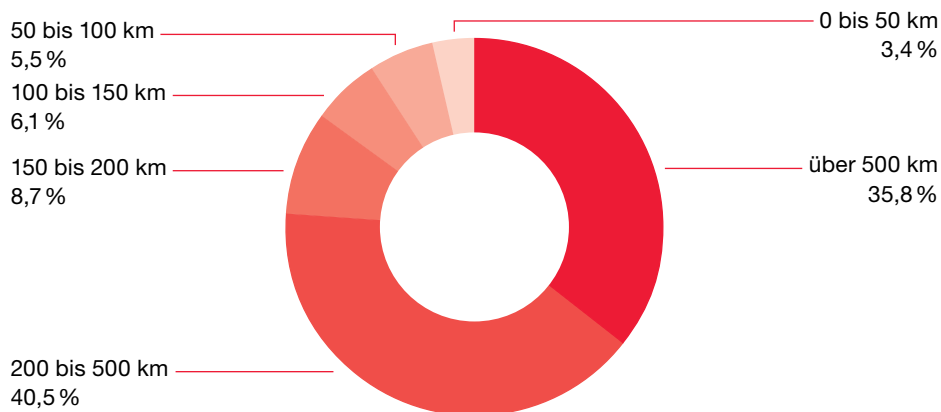
Quelle: BMVBS (2009), S. 236.

Besondere Berücksichtigung müssen Ausflüge und Urlaubsreisen finden, da diese ebenfalls im Durchschnittswert enthalten sind. Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen exemplarisch die durchschnittlich zurückgelegten Reiseentfernungen von Kasseler und Frankfurter Bürgern aus dem Jahr 2008. Die Frankfurter Bürger legen zu 40,5 Prozent Reisen von 200 bis 500 km zurück, 35,8 Prozent von über 500 km. Die verbleibenden 23,7 Prozent entfallen auf Reisen unter 200 km.²⁹ Somit lassen sich die meisten Reisen nicht mit einem aktuell verfügbaren Elektrofahrzeug zurücklegen, außer es wird in einer intermodalen Wegekette mit anderen Verkehrsmitteln (z. B. Bahn) genutzt. Alternativ besteht die Möglichkeit der Schnellladung, wenn auf der Wegstrecke eine entsprechende Ladeinfrastruktur zur Verfügung steht.

Beim Monozentrum Kassel sind 78,6 Prozent der Reisen länger als 200 km und können somit nicht mit einem Elektrofahrzeug zurückgelegt werden.³⁰ Auch hier kann nur der intermodale Verkehr oder die Schnellladung genutzt werden, um das Elektrofahrzeug sinnvoll einsetzen zu können. Es ist nicht zu erwarten, dass lange Ladezeiten bei der An- oder Abreise zum und vom Urlaubsort in Kauf genommen werden.

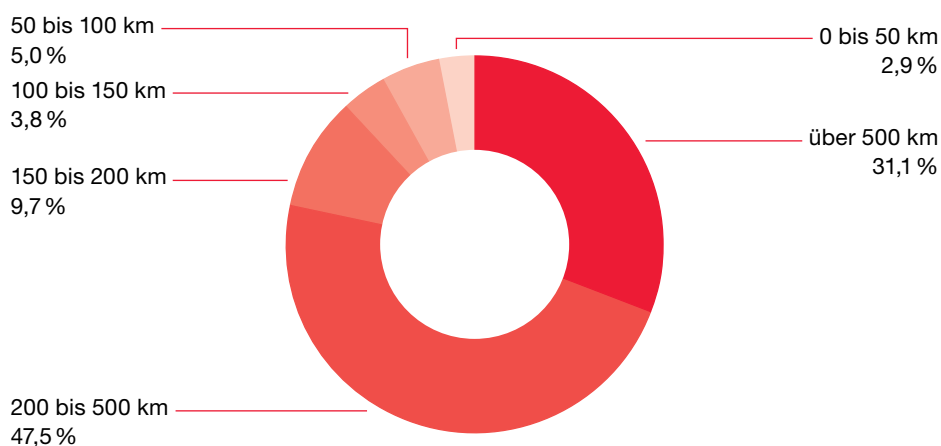
Der Reise- und Freizeitverkehr stellt somit einen wesentlichen Hinderungsgrund für den Kauf eines Elektrofahrzeuges dar, auch wenn der Nutzer für seine täglichen Wegstrecken, z. B. zur Arbeit, das Elektrofahrzeug sehr gut nutzen kann (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 5). Die Bereitschaft des Nutzers diesen Ausfall zu akzeptieren, könnte gering sein.

Abb. 15 Entfernungen der Reisen am Beispiel der Frankfurter Bürger (n = 2.179).



Quelle: MiD 2008: infas, DLR (2010).

Abb. 16 Entfernungen der Reisen am Beispiel der Kasseler Bürger (n = 238).



Quelle: MiD 2008: infas, DLR (2010).

²⁹ MiD 2008: infas, DLR (2010).

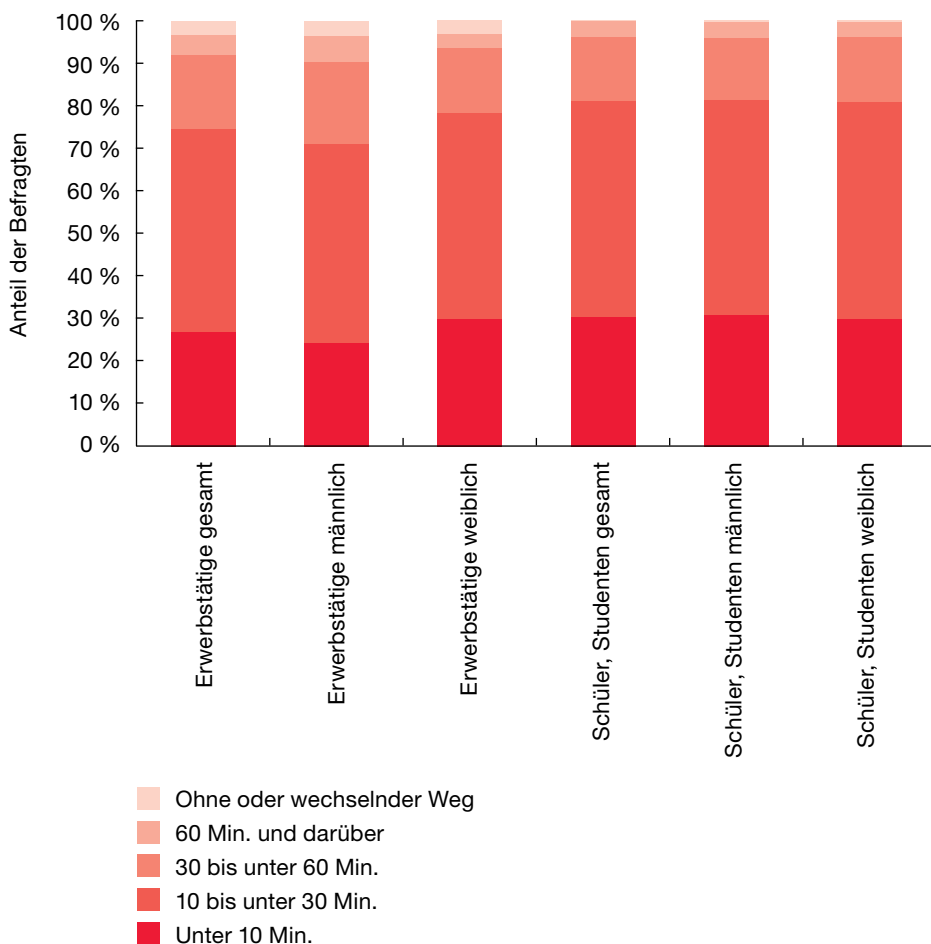
³⁰ MiD 2008: infas, DLR (2010).

Die Reisegeschwindigkeit ist abhängig von der Verkehrsdichte, der Qualität bzw. dem Ausbaustatus der Infrastruktur und dem jeweils eingesetzten Verkehrsmittel. Besonders in Ballungsräumen ist eine hohe Verkehrsdichte zu erwarten, auch wenn deren Infrastruktur, zumindest in den Industriestaaten, bereits eine hohe Leistungsfähigkeit aufweisen dürfte.

Im Folgenden wird der Zeitaufwand von Erwerbstätigen und Schülern/Studenten für die Wege zur Arbeits- bzw. Ausbildungsstätte betrachtet. Fast 75 Prozent der Erwerbstätigen benötigen weniger als 30 Minuten für den Weg zur Arbeit, nur ca. 22 Prozent benötigen mehr als 30 Minuten und rund 3 Prozent haben keinen oder einen wechselnden Weg. Die Anteile der Schüler und Studenten mit Reisezeiten, die mehr als 30 Minuten betragen, sind noch geringer (rund 15 Prozent).

Unter Berücksichtigung des Heimweges und anderer Fahrten (z. B. Einkaufen) ergibt sich eine durchschnittliche tägliche Reisezeit von 80 Minuten (Stand 2008).³¹ Unter der Voraussetzung, dass ein Pkw verwendet wird, ergeben sich so Standzeiten von mehr als 22 Stunden, wenn das Fahrzeug nur von einer Person genutzt wird. Dies dürfte im Berufs-pendelverkehr der Regelfall sein. Somit entstehen große Zeitfenster, in denen Elektrofahrzeuge auch über längere Zeit geladen werden könnten.

Abb. 17 Zeitaufwand für den Weg zur Arbeits- bzw. Ausbildungsstätte in 2004 (Deutschland).



Quelle: BMVBS (2009).

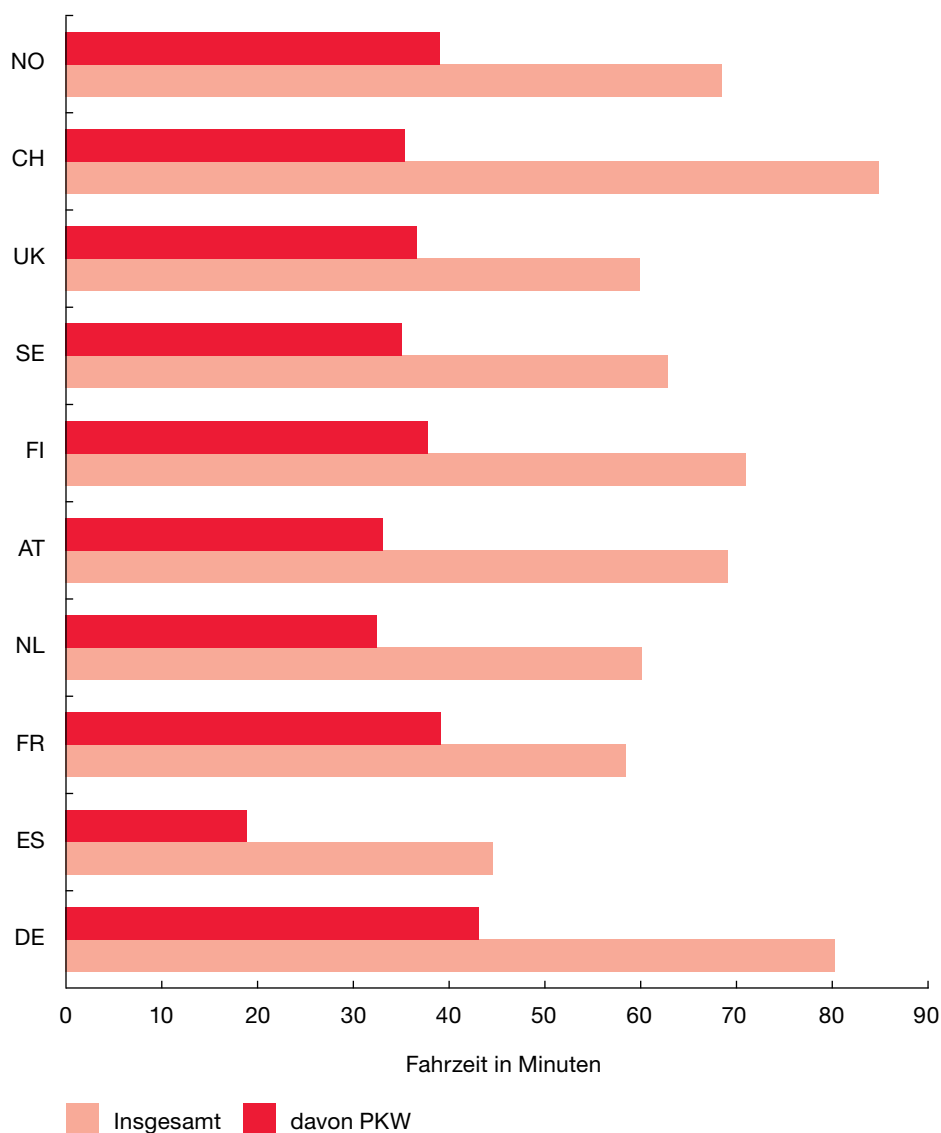
³¹ BMVBS (2009), S. 236.

Die Statistik zeigt, dass die Gesamtreisedauer je nach Land sehr unterschiedlich ist. Spitzenreiter in der Gesamtfahrzeit ist die Schweiz mit ca. 85 Minuten. In Spanien liegt dieser Wert nur bei ca. 44 Minuten. Die Fahrzeiten im Pkw liegen mit 43 Minuten in Deutschland am höchsten und mit ca. 19 Minuten in Spanien am niedrigsten. Es ergeben sich auch in den anderen Ländern Europas entsprechend große Zeitfenster zum Laden von Elektrofahrzeugen.

Nutzungsverhalten und Innovationsbereitschaft

Worin liegen Ursache und Wirkung für eine möglicherweise negative Kaufentscheidung? Erscheinen die technischen Lösungen nicht innovativ genug und werden gegebenenfalls mangelhaft vermarktet oder liegt die Ursache für eine möglicherweise geringere Akzeptanz tatsächlich im aktuellen Verkehrsverhalten, das eine Integration von Elektrofahrzeugen aus Sicht der Nutzer nicht zulässt? Als Beispiel aus dem IT-Bereich seien das Apple iPhone und iPad genannt, mit denen Apple sowohl den Markt der Mobiltelefone als auch den Markt der Tablet-PCs grundlegend verändert und sich innerhalb kürzester Zeit als ernst zu nehmender Konkurrent gegenüber Herstellern wie Nokia und Samsung positioniert hat.^{32,33} Der Erfolg stellte sich ein, obwohl die Produkte teurer als die der Konkurrenz sind und zum Teil einen geringeren Funktionsumfang haben oder besonderen Nutzungsrestriktionen beim Datenaustausch unterliegen. Dennoch wurden durch das Design der Geräte, der einfachen Bedienung und nicht zuletzt durch das unterstützende Marketing über TV und Internet neue Maßstäbe gesetzt, die von zahlreichen Herstellern nun bei neuen Produkten aufgegriffen werden und bereits zu zahlreichen Patentrechtsauseinandersetzungen führen.³⁴ Werden diese Erkenntnisse auf die Elektromobilität angewandt, könnte durchaus eine

Abb. 18 Durchschnittliche Fahrzeit pro Person und Tag in ausgewählten Ländern Europas.



Quelle: De La Fuente Layos (2007).

³² Schwan (2011).

³³ Becker L., Heise.de (2011).

³⁴ Becker L., Heise.de (2011).

Chance bestehen, ein gut funktionierendes Produkt am Markt zu platzieren. Allerdings ist dabei der Preishorizont zu beachten. Die Bereitschaft, für ein besonderes Mobiltelefon mehr Geld auszugeben, könnte aufgrund des niedrigen Basispreises höher eingeschätzt werden, als die Bereitschaft, für einen Elektrokleinwagen das Doppelte oder Dreifache des Preises eines herkömmlichen Kleinwagens auszugeben. Voraussetzung für die generelle Kaufbereitschaft sind die vorhandenen finanziellen Mittel. Personen, die nicht über ein entsprechend hohes Budget verfügen, werden nicht über den Kauf eines Elektrofahrzeugs nachdenken. Die Chance besteht vielmehr darin, die Aufmerksamkeit der Nutzer auf neue Mobilitätskonzepte (z. B. Mobilitätskarte) zu lenken, die die Elektromobilität als einen Baustein des multi- oder intermodalen Verkehrs integrieren und sie langfristig als Alternative zur fossilen Fortbewegung in der Wahrnehmung der Nutzer verankern. Es besteht durchaus die Möglichkeit durch innovative Ideen und Produkte die Nutzer zur Änderung ihres Kauf- und Verkehrsverhaltens zu bewegen.

Veränderungen im Verkehrsverhalten bis 2025

Das derzeitige Verkehrsverhalten in den Industrieländern wird vom motorisierten Individualverkehr geprägt. Die Anteile des MIV in den Schwellen- und Entwicklungsländern steigen kontinuierlich an.³⁵ Je nach Entwicklung der politischen, ökologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen kann sich das Verkehrsverhalten der Nutzer ändern.

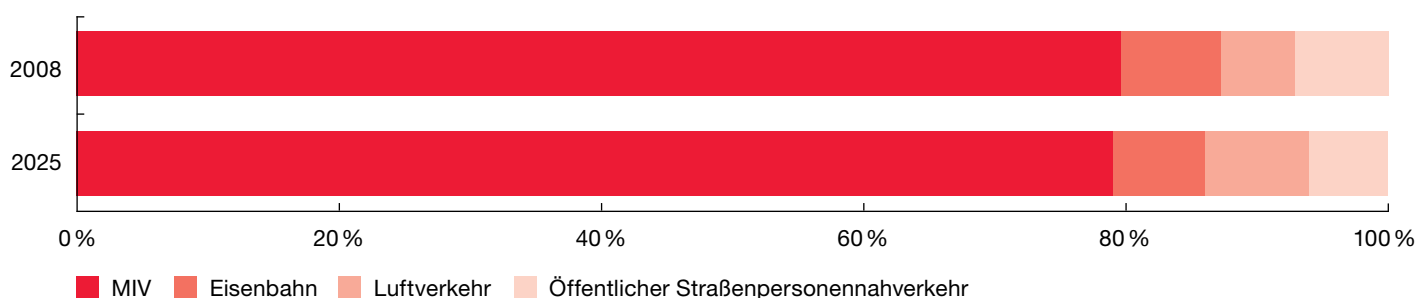
In einer Prognose der ProgTrans AG, Basel, wird angenommen, dass der Pkw-Bestand in den 40 untersuchten Ländern (u. a. EU, Schweiz, Brasilien, Indien, China, Japan, Russland und USA) um durchschnittlich 2 Prozent p. a. steigt. Die geringsten Steigerungen werden für die Industriestaaten erwartet, während Schwellen- und Entwicklungsländer wie Indien und China Steigerungsraten von etwa 6 Prozent p. a. aufweisen.³⁶

Die Verkehrsprognosen für Deutschland zeigen, dass sich die Anteile des MIV, des Eisenbahnverkehrs und des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs am motorisierten Personenverkehr

geringfügig reduzieren werden.

Demgegenüber steigt der Anteil des Luftverkehrs bis zum Jahr 2025 um 2,3 Prozent auf 7,9 Prozent an. Der MIV wird mit einem Anteil von 79 Prozent weiterhin die beherrschende Komponente des Modal Splits sein.³⁷ Insgesamt steigt das Verkehrsaufkommen: die Anzahl der Wege und die Länge der Wege bis zum Jahr 2025 um 2,7 Prozent (Wege) bzw. 17,9 Prozent (Strecken).³⁸ Abbildung 19 zeigt die Modal Splits des motorisierten Personenverkehrs für die Jahre 2008 und 2025.

Abb. 19 Modal Split 2008 und Prognose 2025 in Deutschland.



Quelle: BMVBS (2009).

³⁵ Drewitz/Rommerskirchen (2011), S. 16.

³⁶ Drewitz/Rommerskirchen (2011), S. 16.

³⁷ BMVBS (2009), S. 223, 340.

³⁸ ITP/BVU (2007).

Die ProgTrans AG, Basel, hat für die Länder China, Indien und Brasilien die Entwicklung des Personenverkehrs bis zum Jahr 2025 untersucht. Die Ergebnisse lassen sich Tabelle 6 entnehmen. Dargestellt ist der Anstieg der Personenverkehrsleistung, also der zurückgelegten Personenkilometer pro Jahr, bis zum Jahr 2025. Die oben genannten Länder sind die größten Entwicklungs- und Schwellenländer weltweit und haben durch die hohe Anzahl an Einwohnern ein hohes Marktpotenzial im Automobilsektor. Daher ist deren Entwicklung auch für die Elektromobilität relevant.

Im Folgenden wird die Entwicklung des Modal Splits in China für den Stadtverkehr (nach Wegen) und den Überlandverkehr (nach Personenkilometern) bis zum Jahr 2047 dargestellt.³⁹ Der Anteil des Pkw am Modal Split im Stadtverkehr steigt kontinuierlich an. Bis zum Jahr 2025 wird sich der Anteil voraussichtlich verdoppelt haben. Bis zum Jahr 2027 ist mit einer Steigerung der Anteile auf Werte zwischen 35 und 40 Prozent zu rechnen. Der Anteil des Busverkehrs steigt bis zum Jahr 2017 auf 30 bis 35 Prozent an, wird jedoch bis zum Jahr 2047 unter 40 Prozent bleiben. Klare Verlierer sind der Fahrrad- und der

Fußverkehr, deren Anteile von jeweils über 40 auf unter 10 Prozent sinken.⁴⁰

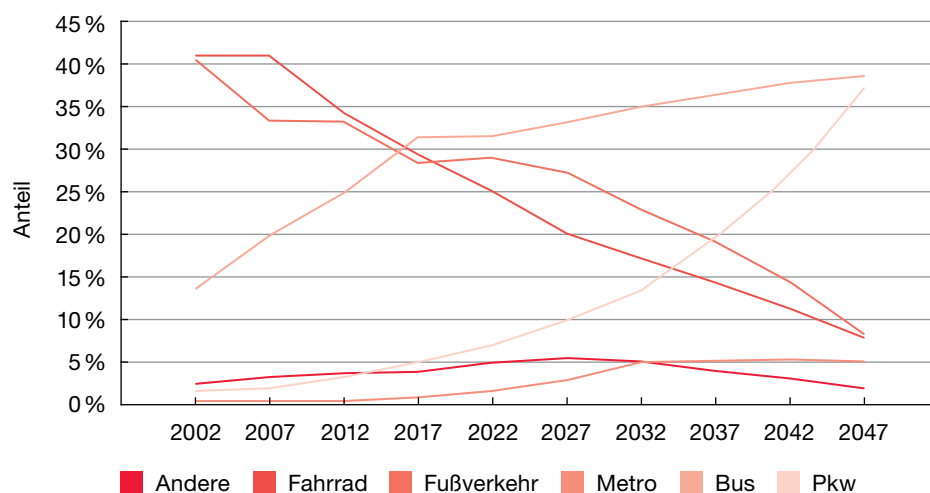
Der Anteil des Pkw-Verkehrs im chinesischen Überlandverkehr wird von knapp 15 Prozent (2011) auf 25 bis 30 Prozent im Jahr 2025 ansteigen. Der Peak wird ca. im Jahr 2037 erreicht. Im Folgezeitraum stellt sich ein Negativtrend ein. Ein starker Zuwachs wird aufgrund der großen Entfernungen für den Luftverkehr prognostiziert. Er steigt von 10 auf 20 Prozent im Jahr 2025 und bis zum Jahr 2047 auf bis zu 40 Prozent an. Verlierer sind der Bus und der Eisenbahnverkehr. Der Anteil des Busverkehrs reduziert sich von 55 Prozent im Jahr 2011 auf knapp über 30 Prozent im Jahr 2025 und auf 20 Prozent im Jahr 2047. Der Anteil des Eisenbahnverkehrs wird von 35 Prozent im Jahr 2011 auf 25 Prozent im Jahr 2025 und auf etwas über 10 Prozent im Jahr 2047 reduziert.

Tab. 6 Prognose der Personenverkehrsleistung (zurückgelegte Strecken im Personenverkehr) ausgewählter Schwellen- und Entwicklungsländer.

Land	Prognose der Personenverkehrsleistung (p. a.) bis 2025
China	+2,6 %
Indien	+2,9 %
Brasilien	+1,2 %

Quelle: Drewitz/Rommerskirchen (2011), S. 17.

Abb. 20 Entwicklung des Modal Split im chinesischen Stadtverkehr (nach Wegen).



Quelle: Tsinghua University Beijing (2006).

³⁹ Drewitz/Rommerskirchen (2011).

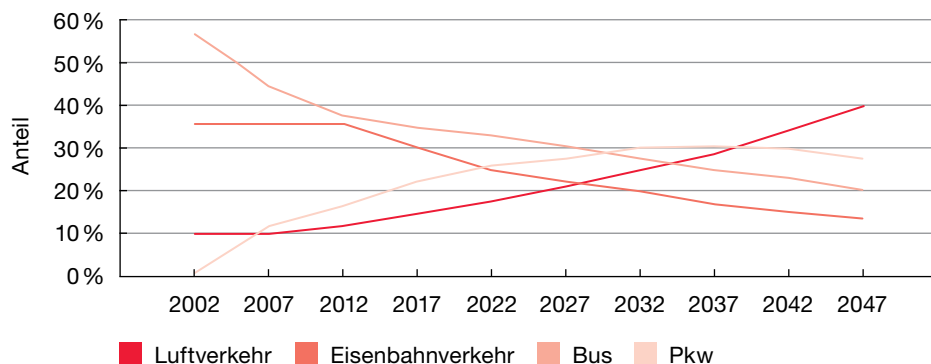
⁴⁰ Tsinghua University Beijing (2006), aktualisierte Daten wurden vom Autor bezogen.

Abschließend ist zu sagen, dass im Modal Split, mit Ausnahme von Indien, der Pkw das bedeutendste Verkehrsmittel in allen untersuchten Ländern Europas, Amerikas und Asiens sein wird. In Indien sind die Anteile des Bus- und Eisenbahnverkehrs besonders hoch. In Russland und in Brasilien hat der Anteil des Pkw's im Jahr 2008 die 50 Prozent Marke überschritten. Es wird davon ausgegangen, dass die Anteile im Jahr 2025 bei 70 Prozent in Russland und bei 60 Prozent in Brasilien liegen werden.⁴¹

Kernaussagen zum zukünftigen Verkehrsverhalten

Wie die Analyse des zukünftigen Verkehrsverhaltens ergeben hat (siehe Veränderungen im Verkehrsverhalten bis 2025), ist davon auszugehen, dass sich der Modal Split in Deutschland nicht wesentlich verändern wird. Der Pkw bleibt mit etwa 79 Prozent das wichtigste Verkehrsmittel. Unsicherheitsfaktoren bestehen durch Trendbrüche, die jedoch nicht seriös prognostiziert werden können. Hierzu zählen beispielsweise Umweltkatastrophen, ein massiver Ölpreisanstieg, plötzlich

Abb. 21 Modal Split im chinesischen Überlandverkehr (nach Personenkilometern).



Quelle: Tsinghua University Beijing (2006).

eintretende Ölknappheit oder politische und gesellschaftliche Unruhen. Die Entwicklung des Verkehrsverhaltens in den Entwicklungs- und Schwellenländern kann dynamischer eingestuft werden, da sich die Bevölkerung an den Lebensstandard der Industriestaaten anpasst. Die Wachstumsraten im Personenverkehr werden für Indien und China mit 2,6 bis 2,9 Prozent p. a. prognostiziert. Die Bedeutung des MIV nimmt weiter zu.

⁴¹ Drewitz/Rommerskirchen (2011), S. 17.

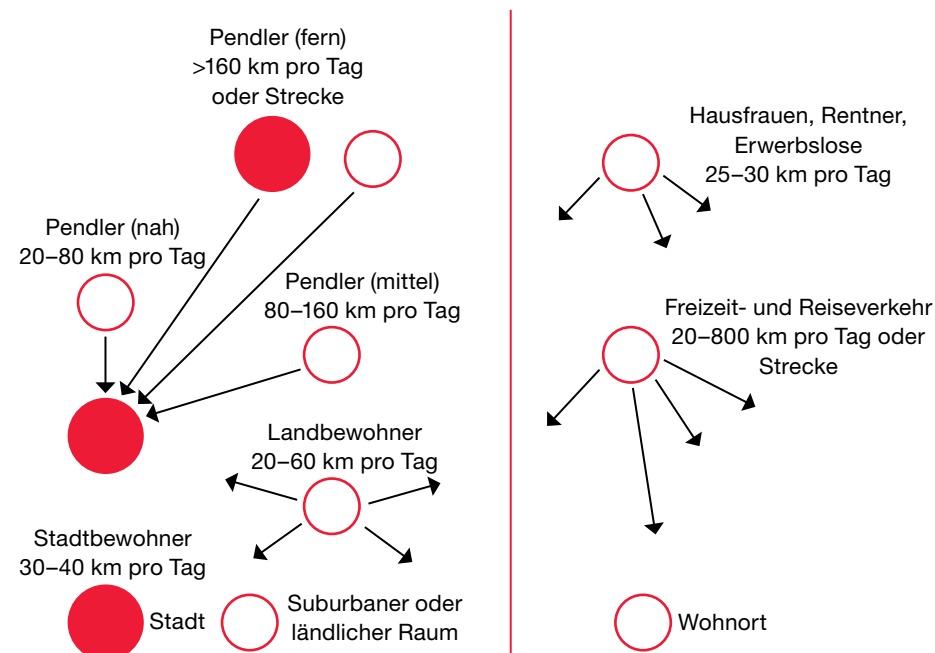
Nutzergruppen und deren Eignung für Elektrofahrzeuge

Die Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von Elektrofahrzeugen wird anhand der in Abbildung 22 dargestellten Nutzergruppen vorgenommen. Die hier getroffenen Annahmen zu den täglichen Wegstrecken orientieren sich im Wesentlichen an den vorliegenden Daten für Frankfurt aus der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“, den Werten für Berufspendler aus der Statistik „Verkehr in Zahlen 2009/2010“ (vgl. Tabelle 5) und der für die Elektromobilität wesentlichen Reichweitenparameter. Zur Vereinfachung der Darstellung wurden Reichweitenkategorien angenommen, da die statistischen Mittelwerte nur begrenzt Aussagen über alle Nutzer zulassen. Im weiteren Verlauf des Kapitels werden die Einsatzmöglichkeiten und möglichen Hinderungsgründe im Detail beschrieben, in einer Bewertungsmatrix dargestellt und abschließend bewertet.

Aus Gründen der Datenlage und der Homogenität der Darstellung ist die Untersuchung auf den privaten Verkehr beschränkt. Für die dienstlichen Reisen können kaum Prognosen erstellt werden, da die Datenlage nicht ausreicht. Durch die Globalisierung sind gegebenenfalls Steigerungen im Fernverkehr zu erwarten, die in den meisten Fällen vermutlich nicht mit dem Pkw abgewickelt werden. Für die Fahrten im mittel- und unmittelbaren Umfeld des Betriebsstandortes kann davon ausgegangen werden, dass sich die Art und Länge der Fahrten nicht signifikant ändern werden.

Die angegebenen Streckenlängen werden mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt. Die tatsächlich im Pkw zurückgelegten Strecken sind kürzer, da der Pkw auch im intermodalen Verkehr (z. B. Park & Ride) eingesetzt werden kann und längere Anfahrtswege im öffentlichen Verkehr die durchschnittliche Streckenlänge erhöhen können. Dieser Effekt wird an dieser Stelle vernachlässigt, weil er nur in Randbereichen Auswirkungen auf das Substitutions-

Abb. 22 Nutzergruppen und Wegstrecken im privaten Verkehr – theoretisches Modell.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

potenzial von Elektrofahrzeugen besitzt und andere Begleiteffekte wie die verbleibende Ladezeit oder die Gesamtreichweite wesentlich dominantere Hinderungsgründe für den Umstieg darstellen.

Stadtbewohner

Das Verkehrsverhalten der Stadtbewohner wird, insbesondere in den Großstädten, nicht maßgeblich durch den MIV geprägt. Als Beispiel kann der Modal Split von Berlin aus dem Jahre 2008 angeführt werden. Der MIV hat einen Anteil von 31 Prozent, während der ÖV und die Fuß- und Radverkehre einen gemeinsamen Anteil von 69 Prozent aufweisen.⁴² Die oben angegebenen Strecken (30 bis 40 km pro Tag) könnten problemlos in einem intermodalen Verkehrskonzept mit der Nutzung von Elektrofahrzeugen (z. B. zum Einkaufen) zurückgelegt werden. Handelt es sich bei den städtischen Bewohnern um Hausfrauen, Rentner und Erwerbslose werden die Strecken ebenfalls abgedeckt. Bei den vorliegenden Strecken sind die Ruhezeiten des Fahrzeugs

ausreichend lang einzuschätzen, sodass bequem in der Nacht oder während der Arbeitszeit voll- oder kurzfristig beim Einkaufen zwischengeladen werden kann. Für den Freizeit- und Reiseverkehr ergeben sich Probleme aus der begrenzten Reichweite in Abhängigkeit der geplanten Streckenlänge. Je nach Gesamtreichweite des rein elektrisch betriebenen Fahrzeugs kann die Einschränkung bei 80 bis 160 km/Strecke⁴³ eintreffen. Hybridlösungen unterliegen keinen Einschränkungen in der Reichweite, da die Fahrzeuge konventionell betankt werden können. Die Stellplatzverfügbarkeit ist je nach städtischer Struktur sehr unterschiedlich. Während in den weniger verdichteten Außenbereichen eine hohe Stellplatzverfügbarkeit angenommen werden kann, ist das Angebot in den verdichteten innenstadtnahen Quartieren als begrenzt zu bewerten. Für diese Räume bedarf es demnach einer dem Bedarf angepassten öffentlichen Ladeinfrastruktur. Durch das begrenzte Platzangebot ist bei zunehmender Verbreitung von Elektrofahrzeugen mit Kapazitäts-

⁴² Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2010), S. 7.

⁴³ Nähere Informationen zu den Fahrzeugen sind dem Kapitel „(Teil-)Elektrische Fahrzeuge und deren Preise“ zu entnehmen.

engpässen zu rechnen, da die Standzeiten der Fahrzeuge sehr hoch sind und in vielen Fällen nicht ausreichend Parkstände zur Verfügung gestellt werden können. Halböffentliche Ladepunkte können das Angebot entsprechend ergänzen. Hinsichtlich der Verkehrsmittelwahl bietet der städtische Raum die meisten Angebote, wozu auch (E-)Car-sharing oder (E-)Bikesharing gezählt werden können.

Pendler

Etwa 74 Prozent der Berufspendler legen Strecken von unter 50 km pro Tag zurück (nur Wege zwischen Arbeitsplatz und Wohnung). Lange Strecken von 100 km und mehr werden von nur 4,3 Prozent der Pendler zurückgelegt.⁴⁴ Die für Einkäufe und sonstige Besorgungen anfallenden Kilometer wirken sich nur in den Grenzbereichen der Reichweite der Elektrofahrzeuge aus. Daraus kann abgeleitet werden, dass die meisten Pendler, aus Sicht der durchschnittlichen täglichen Fahrleistung, Elektrofahrzeuge nutzen können. Probleme gibt es nur in den Grenzbereichen und im Freizeit- und Reiseverkehr, der die möglichen Reichweiten überschreitet. Die verbleibenden Ruhezeiten der Fahrzeuge sind ausreichend. Das Fahrzeug kann zu Hause und je nach Strecke und Länge des Arbeitstages auch am Arbeitsplatz geladen werden, wenn der Arbeitgeber eine Ladeinfrastruktur zur Verfügung stellt. Je länger die Reisezeiten werden, je kleiner werden die möglichen Zeitfenster zur (vollständigen) Ladung. Die Stellplatzverfügbarkeit ist, zumindest in den suburbanen und ländlichen Räumen, als sehr hoch einzuschätzen. Eine öffentliche Ladeinfrastruktur ist daher nur in sehr begrenztem Umfang nötig und kann eventuell durch eine Ladeinfrastruktur im halböffentlichen Raum (Tankstellen, Supermärkte etc.) abgedeckt werden. Hinsichtlich der Verkehrsmittelwahl ist die Entfernung zum Ober- oder

Mittelzentrum⁴⁵ entscheidend. Je näher der Wohnort zu einem dieser Zentren liegt, je höher kann die Verfügbarkeit und Nutzbarkeit alternativer Verkehrsmittel, wie dem ÖPNV oder dem Fahrrad eingeschätzt werden.

Die Fernpendler kommen nur dann für Elektrofahrzeuge infrage, wenn ihre einfache Wegstrecke zur Arbeit durch die maximale Reichweite des Fahrzeuges abzüglich eines Sicherheitspuffers gedeckt ist und die Verweildauer des Fahrzeuges am Arbeitsplatz so hoch ist, dass es vollgeladen werden kann. Dies setzt zwingend eine Ladeinfrastruktur beim Arbeitgeber voraus. Verweilen sie unter der Woche am Arbeitsort, dann gelten unter der Woche ähnliche Annahmen wie die für Stadtbewohner. Beim Freizeit- und Reiseverkehr entstehen wie bei allen anderen Gruppen die gleichen Probleme bei zu weiten Strecken.

Landbewohner

Eine Untersuchung der FH Frankfurt hinsichtlich des ländlichen Raums hat gezeigt, dass sich dort die täglich zurückgelegten Strecken kaum von den Strecken der Stadtbevölkerung unterscheiden. So lag die durchschnittliche tägliche Wegstrecke im mittelhessischen Lauterbach bei ca. 37 km, die von Frankfurt am Main weicht laut der Studie MiD 2008 nur geringfügig ab. Dies könnte durch die zu weite Entfernung zum nächsten Ballungsraum oder Monozentrum begründet sein, so dass die Bevölkerung in oder in der näheren Umgebung ihres Wohnorts arbeitet. Die Rahmenbedingungen zur Reichweite sind mit denen der Stadtbewohner vergleichbar. Auch in den Anforderungen die Stadtbewohner und Landbewohner an die Reichweite von Elektroautos stellen, sind Gemeinsamkeiten zu beobachten, wobei speziell die Autofahrer im urbanen Raum die höchsten diesbezüglichen Ansprüche zu haben

scheinen.⁴⁶ Im ländlichen Raum ist die Stellplatzverfügbarkeit besonders positiv zu bewerten. Bei den (halb)öffentlichen Ladepunkten erfolgt die Bewertung analog zu den Pendlern. Hier ist zu erwarten, dass der geringe Bedarf durch den halböffentlichen Raum gedeckt werden kann. Negativ ist die Flexibilität in der Verkehrsmittelwahl zu beurteilen, da es auf dem Land nur einen eingeschränkten öffentlichen Verkehr gibt und einzelne Strecken zu weit für die Nutzung von Fahrrädern sein könnten.

Zusammenfassung der Analyse

Tabelle 7 fasst die oben beschriebenen Ergebnisse in einer Übersicht zusammen. In der linken Spalte befinden sich die relevanten Themenfelder, daneben werden sie nach Nutzergruppen auf die jeweilige Eignung für die Elektromobilität überprüft. In den Fällen mit doppelter Bewertung ist eine Aussage über die Qualität abhängig vom individuellen Vorhaben und weist daher eine große Spanne auf (z. B. Freizeit- und Reiseverkehr: Weg zum Zoo innerhalb der Stadt: Reichweite sehr gut geeignet, Weg zum Freizeitpark in 300 km Entfernung: Reichweite nicht geeignet). In manchen Fällen ist keine Bewertung möglich, da die Quelle und das Ziel des Weges bekannt sein müssen. Hier lassen sich die Ergebnisse jedoch aus den anderen Nutzergruppen ableiten.

Abschließende Bewertung

Die Nähe zum Arbeitsort ist ein entscheidender Faktor für die Wahl des Wohnorts. Die Beschäftigten sind bestrebt, den Zeitaufwand für den Weg zur Arbeit möglichst gering zu halten. Eine Untersuchung des Statistischen Bundesamts über die durchschnittlichen Wegstrecken der Pendler hat gezeigt, dass diese geringfügig steigen.⁴⁷ Dies könnte damit begründet werden, dass es neben dem Trend Wiederentdeckung der Stadt als Wohnort nach wie vor das Bestreben gibt, ein Eigenheim im

⁴⁴ Destatis/STAT magazin (2009), S. 1ff.

⁴⁵ FGSV (1988): Oberzentren sind Orte mit Verwaltungs-, Kultur-, Wirtschafts- und Versorgungszentren für eine Region. Mittelzentren sind Orte, die der Deckung des gehobenen täglichen Bedarfs bzw. des selteneren Spezialbedarfs dienen und Schwerpunkte für Industrie, Gewerbe und Dienstleistung bilden.

⁴⁶ Teichmann (2011), S. 69,70.

⁴⁷ Destatis/STAT magazin (2009).

Tab. 7 Bewertungsmatrix der Nutzung von Elektromobilität im Pkw-Personenverkehr (privat).

	Stadtbewohner	Pendler (nah)	Pendler (mittel)	Pendler (fern)	Landbewohner
Tägliche Wegstrecken	++	++	+/-	--	++
Freizeit- und Reiseverkehr	++/-- ¹	++/-- ¹	++/-- ¹	++/-- ¹	++/-- ¹
Verbleibende Ladezeit	++	++	+	++/-- ²	++
Stellplatzverfügbarkeit	+/-	++	++	o	++
Parkstandverfügbarkeit mit Ladepunkt	+/-	--	--	o	--
Flexibilität in der Verkehrsmittelwahl	++	+	-	--	--

++ Sehr gut geeignet bzw. hohe Verfügbarkeit

+ Gut geeignet bzw. mittlere Verfügbarkeit

- Weniger geeignet bzw. geringere Verfügbarkeit

-- Nicht geeignet bzw. sehr geringe Verfügbarkeit

o Bewertung nicht möglich, da abhängig von Quelle und Ziel des Pendlers

¹ Steht in Abhängigkeit des Vorhabens und der Reichweite des genutzten Fahrzeugs

² Bei Wochenendheimfahrern Laden gut möglich, ansonsten eingeschränkt tagsüber

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Ballungsraum oder ländlichen Raum zu bauen. Eine andere Sichtweise wäre, durch den Wegzug aus der Stadt die Mietkosten zu senken und das Preis-Leistungs-Verhältnis beim Wohnumfeld zu verbessern. Ein weiterer Aspekt ist die Arbeitnehmermobilität. Diese steigt ebenfalls kontinuierlich an. Es wird erwartet, dass Mitarbeiter hochgradig mobil sind, um flexibel an verschiedenen Standorten national und international eingesetzt werden zu können und um ihren Erfahrungshorizont durch das Arbeiten in einem anderen Umfeld zu erweitern.⁴⁸ Die Erklärungen können ganz vielfältig sein und sollen hier nicht abschließend behandelt werden. Wichtig für die Szenarien ist, dass sich die Anzahl der Wege und Weglängen in begrenztem Umfang erhöhen, die oben beschriebenen Nutzergruppen dennoch

weiterhin so bestehen bleiben und sich die Änderungen nicht maßgeblich auf die Nutzbarkeit von Elektrofahrzeugen auswirken werden.

Die unvorhersehbarsten Komponenten bei allen Annahmen sind Trendbrüche, die ein Umdenken in der Bevölkerung und den Unternehmen notwendig machen, wenn das bisherige Verhalten aus politischen, rechtlichen, ökologischen, finanziellen oder sonstigen Aspekten nicht oder nicht mehr ohne Weiteres fortgeführt werden kann. Das Gesamtergebnis zeigt, dass Elektromobilität in Zukunft eine Vielzahl von Anwendungsfällen abdecken kann. Die technischen Hindernisse sind zu identifizieren und müssen kontinuierlich abgebaut werden. Dies gilt insbesondere in den Grenzbereichen der Reichweite

von Elektrofahrzeugen (Fernpendler, Freizeit- und Reiseverkehr) und bei der Ladedauer, wenn diese die freie Wahl des Startzeitpunktes wesentlich behindern. Der Preis für die Fahrzeuge und die Betriebskosten spielen ebenfalls eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Bei den Geschäfts- und Dienstreisen verhält es sich analog. Hier steht jedoch der wirtschaftliche Gedanke im Vordergrund. Die persönliche Einstellung des Fahrers hat weniger Gewicht. Die Entscheidung für Elektrofahrzeuge ist eher unternehmenspolitischer und ökonomischer Natur.

⁴⁸ Fokus Online (2008).

1.2 Zahlungsbereitschaft

Um die zukünftigen Marktchancen von Elektrofahrzeugen einschätzen zu können, sollte die derzeitige Marktlandschaft analysiert werden. Das Fahrzeugvolumen im Gebraucht- und Neuwagenmarkt, die Preissegmente im Automobilbereich, die gezahlten Preise pro Fahrzeug und die finanzielle Situation der Autokäufer geben Aufschluss über den Gesamtmarkt und einen Ansatzpunkt für die preisliche Positionierung von Elektrofahrzeugen. Die hier vorgestellten Erkenntnisse zum Pkw-Markt stammen aus dem DAT Report Kfz-Betrieb aus dem Jahr 2010. Eine Übersicht über die Entwicklung der Fahrzeugkosten nach Antriebsart bis zum Jahr 2025 ist dem Kapitel „Wirtschaft“ zu entnehmen.

Fahrzeugvolumen im Gebraucht- und Neuwagenmarkt

Die Anzahl der abgesetzten Fahrzeuge lässt sich zwischen Neu- und Gebrauchtwagenmarkt differenzieren. Sie gibt Aufschluss über die Gesamtsituation des Pkw-Marktes. Die Anzahl der abgesetzten Neuwagen ist im Zeitraum 2005 bis 2010 weitgehend konstant geblieben. Ausnahmen bilden die Jahre 2009 und 2010. Dies dürfte ein Resultat der Umweltprämie sein, die 2009 zu einem Anstieg der Pkw-Verkäufe und durch vorgezogene Anschaffungen im Folgejahr 2010 zu einer Minderung des sonst üblichen Fahrzeugvolumens geführt hat. Der Gebrauchtwagenmarkt ist abgesehen von geringen Schwankungen in etwa konstant geblieben. Abbildung 23 zeigt die Anzahl der Neuzulassungen im Zeitraum von 2005 bis 2010 bei Neu- und Gebrauchtwagen.

Gezahlte Fahrzeugpreise und Aufteilung nach Preissegmenten

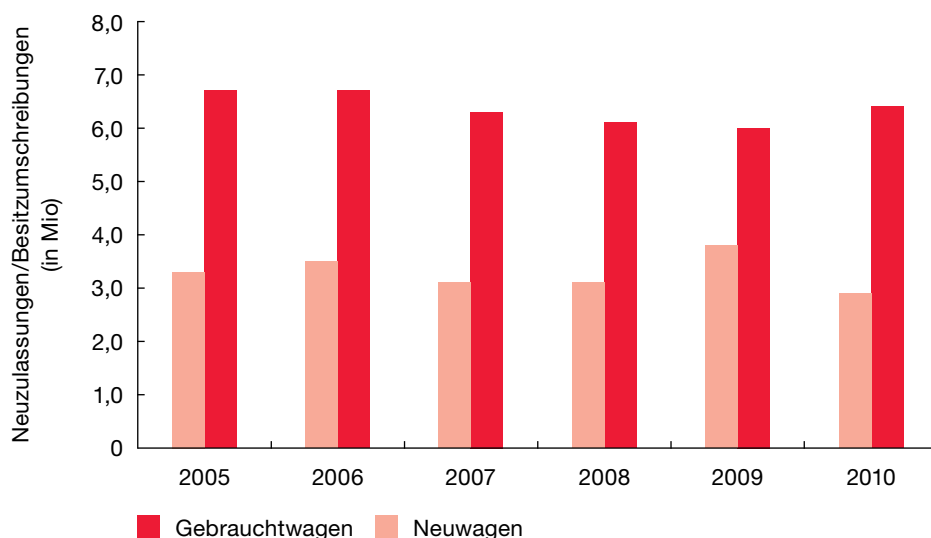
Durch die Analyse der durchschnittlichen Anschaffungspreise lässt sich einschätzen, ob die aktuellen und zukünftigen Preise von Elektrofahrzeugen, aus finanzieller Sicht, Akzeptanz bei den Nutzern finden

können. Zunächst wird die Entwicklung der Pkw-Anschaffungspreise im Zeitraum 2000 bis 2010 für den Gebraucht- und Neuwagenmarkt dargestellt. Da es sich hierbei um Durchschnittswerte handelt, der Pkw-Markt aber zahlreiche Preissegmente besitzt, werden im Folgenden noch differenzierte Darstellungen zu den beiden Märkten im Einzelnen und zu den Preissegmenten im Neuwagenmarkt vorgestellt. Der durchschnittliche Anschaffungspreis im Gebrauchtwagenmarkt blieb in den dargestellten Jahren mit ca. 8.300 Euro konstant. Der Anschaffungspreis eines Neuwagens steigt seit Jahren kontinuierlich an und lag 2010 bei 26.030 Euro. Der Anstieg im Zeitraum 2000 bis 2010 beträgt fast 20 Prozent. Eine Besonderheit stellen auch hier die Entwicklungen

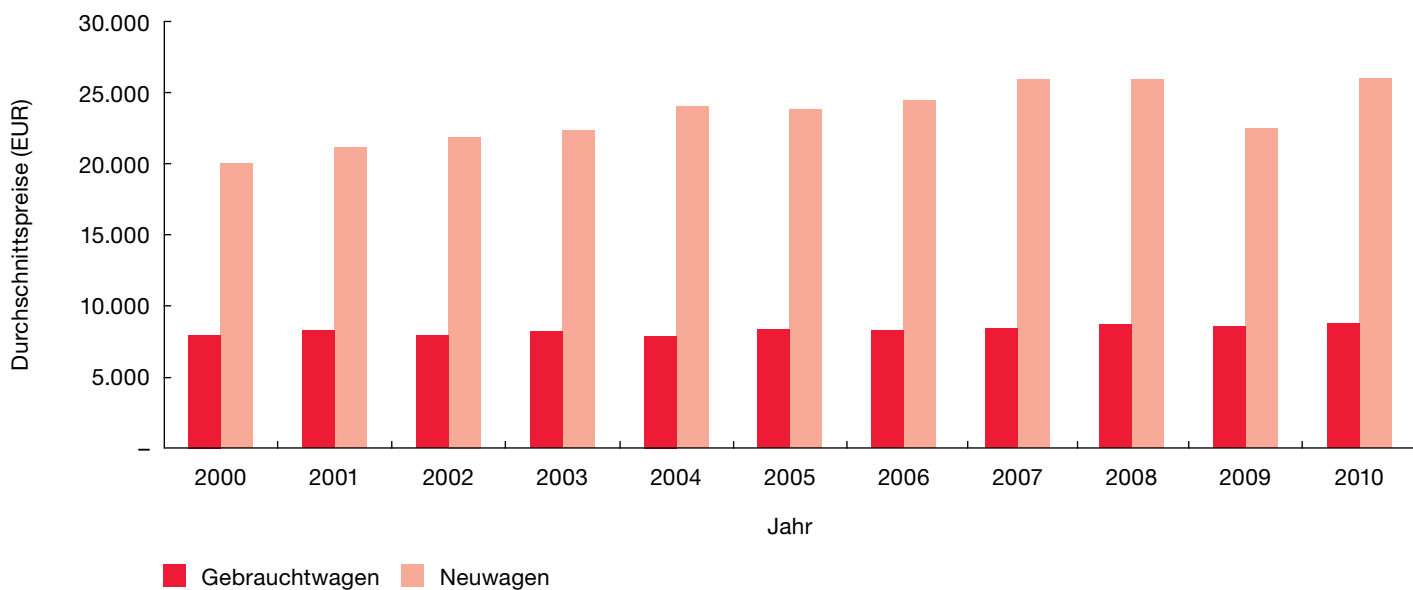
in den Jahren 2009 und 2010 dar. Die Abweichungen sind vermutlich ebenfalls auf die Umweltprämie zurückzuführen.

Die Anteile der abgesetzten Gebrauchtfahrzeuge in der Preisspanne von 1.250 bis 12.499 Euro und bei Preisen oberhalb von 20.000 Euro liegen bei 8 bis 10 Prozent. Die Anteile der Fahrzeuge unter 1.250 Euro und von 12.500 bis 19.999 Euro liegen mit 4 bis 7 Prozent geringfügig darunter. Es lassen sich keine eindeutigen Aussagen zur Verteilung treffen. Dies ist vermutlich dem sehr heterogenen Warenangebot bspw. innerhalb einer Fahrzeugklasse geschuldet (Höhe des Preises in Abhängigkeit von Kilometerleistung, Fahrzeugalter, Herstellerzuverlässigkeit etc.).

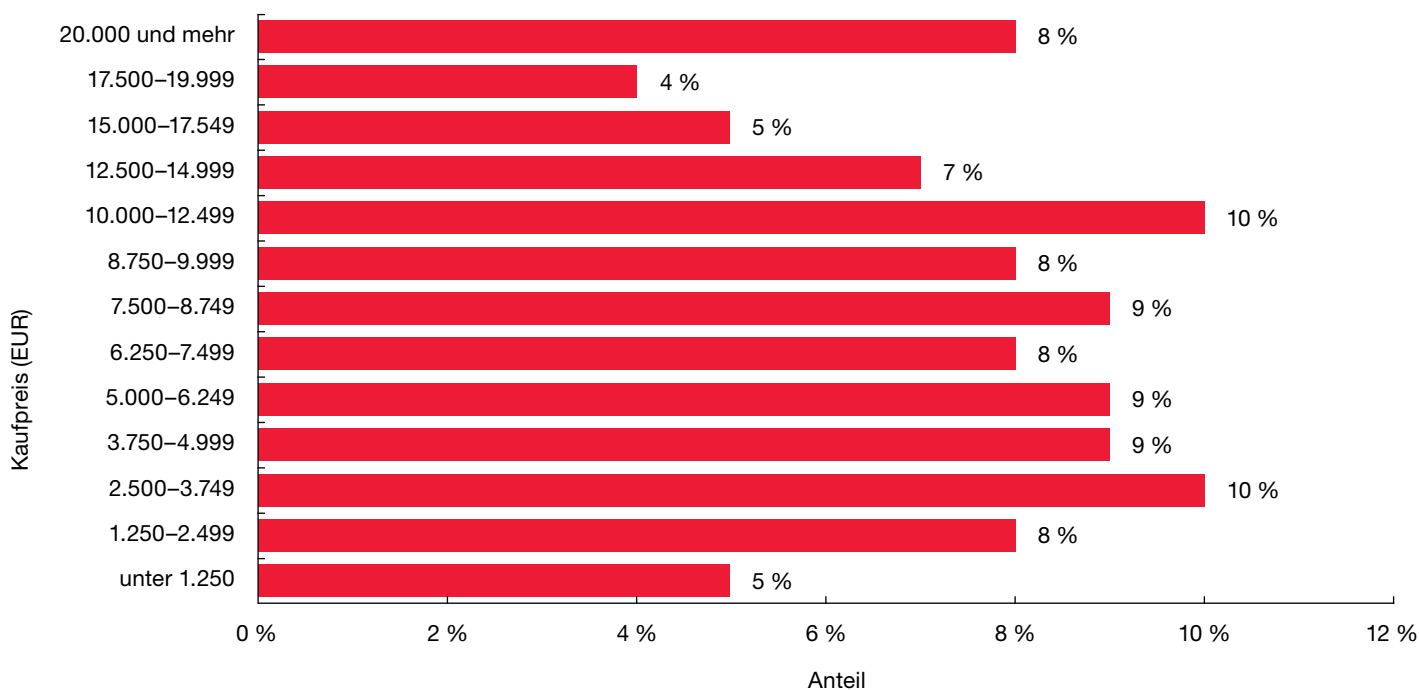
Abb. 23 Anzahl der Neuzulassungen 2005 bis 2010.



Quelle: Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2011).

Abb. 24 Durchschnittliche Pkw-Anschaffungspreise von 2000 bis 2010.

Quelle: Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2011), S. 54,55.

Abb. 25 Preissegmente bei Gebrauchtwagen (Pkw) 2010.

Quelle: Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2011), S. 14.

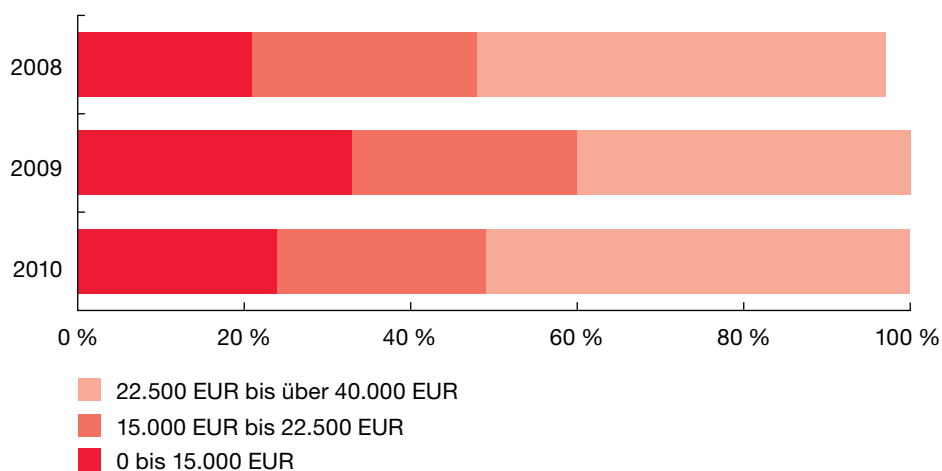
Eine ähnliche Analyse kann für den Neuwagenmarkt durchgeführt werden. Die Anteile der abgesetzten Fahrzeuge je Preissegment liegen in den meisten Klassen bei 6 bis 9 Prozent. Ausnahmen bilden die Preissegmente 12.500 bis 14.999 Euro, 15.000 bis 17.499 Euro und oberhalb von 40.000 Euro. Hier liegen die Werte bei 11, 10 und 15 Prozent. Die Anzahl der Neuwagen deren Preis unterhalb von 7.500 Euro liegt, ist minimal. Werden die Anteile der gekauften Neuwagen in den Jahren 2008, 2009 und 2010 zur besseren Übersicht im unteren, mittleren und oberen Neuwagenpreissegment betrachtet, liegt der in allen Jahren größte Anteil mit 49 Prozent (2008), 40 Prozent (2009) bzw. 51 Prozent (2010) bei Fahrzeugen mit einem Preis oberhalb von 22.500 Euro. Das mittlere und untere Preissegment teilen sich den verbleibenden Anteil in etwa gleich auf. Die Verschiebung im Jahr 2009 ist vermutlich auf die Umweltprämie zurückzuführen. Während besonders günstige Fahrzeuge angeschafft wurden und der

Anteil der sehr teuren Fahrzeuge sank, wurde dieser Trend nach dem Auslaufen der Prämie im Jahr 2010 wieder gedreht. Das Niveau aus dem Jahr 2008 wurde im Jahr 2010 wieder erreicht. Das mittlere Preissegment veränderte sich kaum.

Finanzielle Situation der Käufer

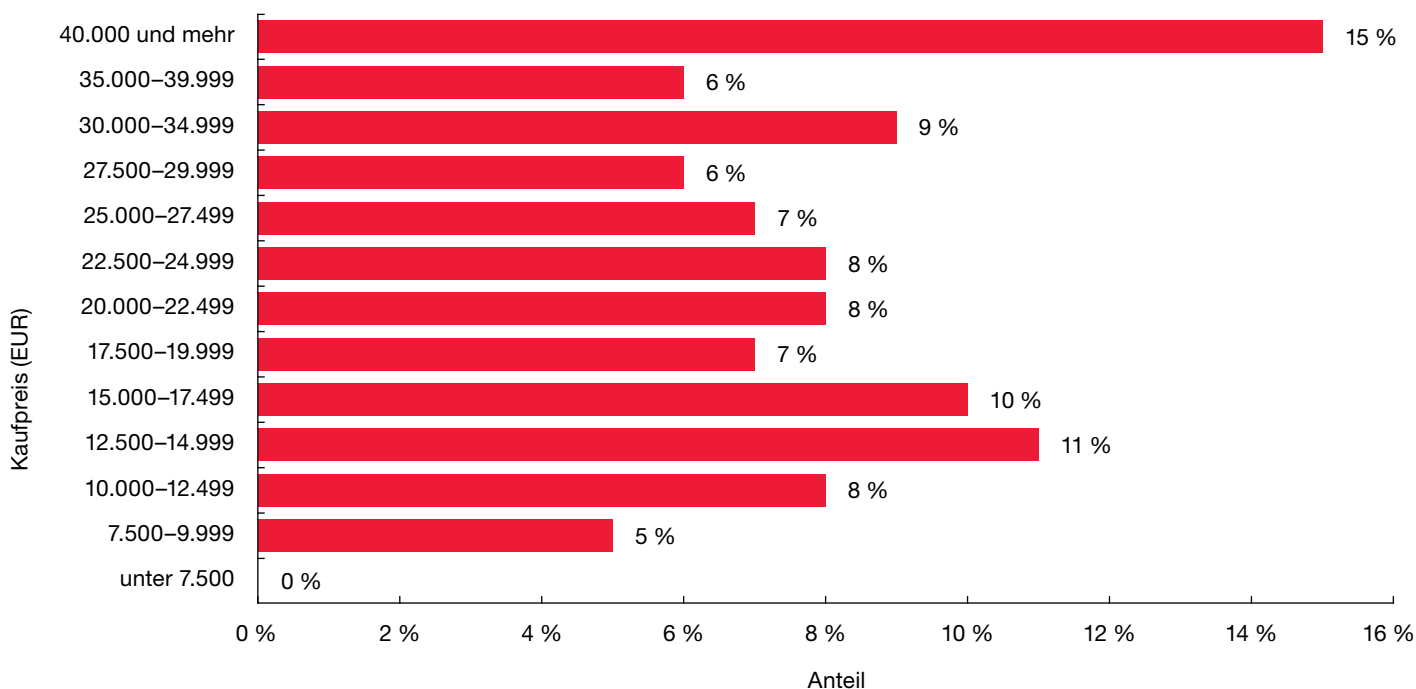
Das monatliche Einkommen der Käufer kann einen ersten Anhaltspunkt für mögliche Fahrzeugkäufe und deren Preis geben. Es ist jedoch kein unmittelbarer Indikator für die finanzielle Ausstattung

Abb. 27 Anteile Neuwagen nach Preissegmenten.



Quelle: Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2011); Die Daten aus dem DAT-Report 2009 weisen für Gesamtdeutschland im Jahr 2008 nur 97 Prozent aus.

Abb. 26 Preissegmente bei Neuwagen (Pkw) 2010.



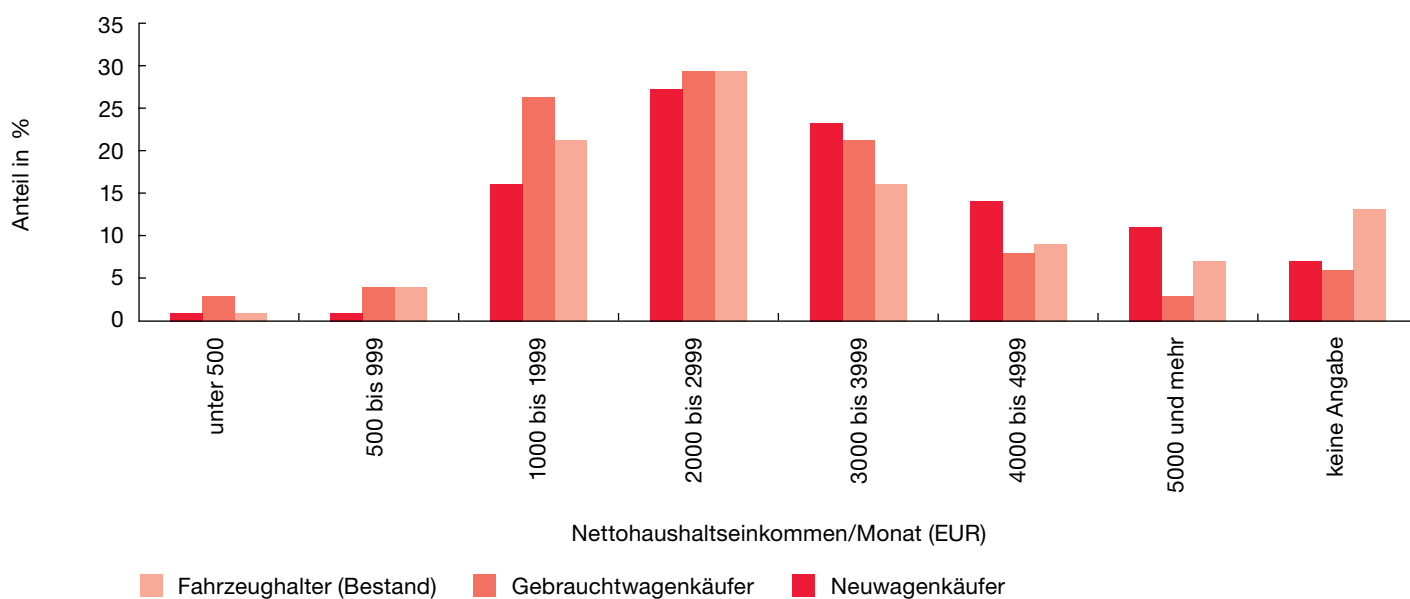
Quelle: Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2011), S. 16.

in Gänze. Hier spielen noch andere Faktoren hinein (z. B. Schulden, Barvermögen, sonstige Einkünfte etc.). Daher ist dieses nur als erster Anhaltspunkt zu verstehen. Abbildung 28 zeigt die Einkommensstruktur der Neu- und Gebrauchtwagenkäufer sowie der Fahrzeughalter im Bestand, soweit Angaben dazu gemacht wurden. Die größten Anteile weisen bei den Neuwagenkäufern die Einkommensklassen 1.000 bis 1.999 Euro, 2.000 bis 2.999 Euro und 3.000 bis 3.999 Euro mit 16,27 Prozent und 23 Prozent auf. Der Anteil in den höheren Einkommensklassen sinkt bis zur Einkommensklasse

oberhalb von 5.000 Euro auf 11 Prozent. Die Einkommensklassen bis 1.000 Euro stellen mit 2 Prozent einen geringen Anteil an der Gesamtstruktur im Neuwagenmarkt dar. Der Gebrauchtwagenmarkt ist ähnlich aufgestellt, jedoch ist hier insbesondere der Anteil der Einkommensklasse von 1.000 bis 1.999 Euro mit 26 Prozent relativ hoch. Ab einem Einkommen von 3000 Euro sinkt der Anteil kontinuierlich. Nur 3 Prozent der Gebrauchtwagenkäufer verfügen über ein Nettohaushaltseinkommen oberhalb von 5.000 Euro. Über ein Einkommen unterhalb von 1.000 Euro verfügen lediglich 7 Prozent der

Gebrauchtwagenkäufer. Die Verteilung der Fahrzeughalter (Bestand) folgt im Wesentlichen der Verteilung der anderen Gruppen. Die höchsten Anteile insgesamt liegen somit in den mittleren Einkommensklassen.

Abb. 28 Einkommensstruktur im Jahr 2010.



Quelle: Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2011), S. 47.

Anschaffungskosten von Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb

Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl von Fahrzeugen, für die nähere Informationen zur Verfügbarkeit, zu Preisen oder Reichweiten vorliegen. Die meisten

der aufgeführten Fahrzeuge sind reine Elektrofahrzeuge. Ausnahmen bilden der Opel Ampera und der Toyota Prius PHV. Wobei der Ampera die durchschnittlichen täglichen Wegstrecken mit einer rein elektrischen Reichweite von 60 km

gut abdecken kann, während der Prius PHV mit 20 km rein elektrischer Reichweite die Anforderung der Nutzer nicht vollständig erfüllen kann.

Tab. 8 Daten zur Markteinführung unterschiedlicher Elektro- und Hybrid-Pkw.

Hersteller	Modell	Markteinführung	Reichweite (km)	Geschwindigkeit (km/h)	Ladezeit (Std.)	Preis (Euro)
Mitsubishi	iMiev	2009	150	130	6	35.000
Citroën	C-Zero	2010	150	130	6	30.000
Nissan	Leaf	2010	160	144	7–8	24.700 ³
Peugeot	iOn	2010	150	130	6	23.600 ⁴
Ford	Focus Electric	2011	100	136	3–4	k. A.
Mercedes-Benz	Vito E-Cell	2011	130	80	10–12	k. A.
Opel	Ampera	2011	60/500 ²	161	4	42.900
Renault	Kangoo Rapid Z.E.	2011	160	130	6–8	23.800 ²
Fiat	500EV	2012	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Renault	Fluence Z.E.	2012	160	135	6–8	26.200 ²
Renault	Twizy	2012	100	75	3,5	k. A.
Renault	Zoe	2012	160	140	6–8	k. A.
Smart	Fortwo	2012	140	120	8	19.000 ²
Toyota	IQ-EV	2012	80	100	3–4	22.000
Toyota	Prius PHEV	2012	20/740 ¹	180	1,5	35.000
Toyota	RAV EV	2012	160	k. A.	k. A.	k. A.
BMW	Megacity Vehicle	2013	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Mercedes-Benz	SLS AMG E-Cell	2013	200	250	k. A.	k. A.
Volkswagen	Golf Blue-E-Motion	2013	150	135	6	k. A.
Volkswagen	UP! Blue-E-Motion	2013	130	135	5–6	k. A.

¹ Elektrischer Anteil/fossiler Anteil Reichweite

² Preis ohne Batterieleasing

³ US-amerikanischer Marktpreis

⁴ Leasingpreis

Quelle: Volkswagen AG (2011), n-tv (2011), Adam Opel AG (2011), Golem.de (2011).

Der Preis der aufgelisteten Fahrzeuge liegt zwischen 19.000 Euro und 42.900 Euro. Der Ende des Jahres 2011 erscheinende Opel Ampera mit Range Extender ist mit 42.900 Euro das teuerste gelistete Fahrzeug, der Smart electric drive mit 19.000 Euro das günstigste. Die relativ günstigen Preise zwischen 19.000 und 26.200 Euro sind vermutlich auf den Wechselkurs Dollar zu Euro zurückzuführen (Nissan Leaf), resultieren aus einer geringeren Reichweite (Toyota iQ-EV) oder aus der Auskopplung des Preises der Batterie durch ein gesondert abzurechnendes Batterieleasing (Renault, Smart). Der Peugeot iOn ist momentan nur als Leasingfahrzeug erhältlich, daher wurde der Fahrzeugwert geschätzt.

Die zuvor beschriebene Untersuchung der durchschnittlichen Höhe der Neuwagenpreise in Deutschland zeigt, dass beim Neuwagenkauf der Anteil der Fahrzeuge mit Preisen oberhalb von 22.500 Euro bei 51 Prozent liegt. Der Anteil reduziert sich auf 30 Prozent bei Fahrzeugen ab 30.000 Euro. Somit werden 70 Prozent des Neuwagenmarktes aus preislicher Sicht nicht durch die oben gelisteten Elektro- und Hybridfahrzeuge abgedeckt, abgesehen von den Fahrzeugen, die aus den oben genannten Gründen günstiger angeboten werden. Es kann derzeit nicht abgeschätzt werden, ob sich die Käufer auf eine Reichweitenverkürzung zugunsten des Kaufpreises oder einen separat abzuschließenden Batterieleasingvertrag einlassen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den oben genannten Preisen um Basispreise handelt, während die in Abbildung 26 genannten Neuwagenpreise inklusive aller Sonderausstattungen sind.⁴⁹ Somit vergrößert sich die Spanne weiter. Nicht

außer Acht sollte die Fahrzeuggröße gelassen werden. Die fossil betriebenen Fahrzeuge, deren Preise oberhalb von 30.000 Euro liegen, sind eher der Mittel- bis Oberklasse zuzuordnen. Die (teil) elektrischen Fahrzeuge sind mehr in den Segmenten A/B zu finden. Daher kann vermutet werden, dass die Bereitschaft, ein kleineres und im Verhältnis wesentlich teureres Fahrzeug zu erwerben, eher gering sein dürfte. Eine Möglichkeit könnte die Nutzung als Zweitwagen sein. Dies dürfte jedoch eher für finanziell besser gestellte Nutzer interessant sein. Die Fahrzeuge der Mittelklasse, wie der Opel Ampera, könnten durchaus Chancen für eine bereitere Akzeptanz haben, wenn die notwendigen finanziellen Mittel vorhanden sind.

Die Entwicklung des Gebrauchtwagenmarktes kann derzeit nicht eingeschätzt werden. Insbesondere über die Werterhaltung der Elektrofahrzeuge bzw. der Batterien besteht Unsicherheit.

Komfortverzicht

Die CAMA-Studie der Universität Essen⁵⁰ stellte die Frage, ob und bei welchen Inhalten die Nutzer bereit wären, zugunsten eines niedrigeren Kaufpreises auf bestimmte Ausstattungsmerkmale des Elektroautos zu verzichten. Etwa 38 Prozent der Befragten könnte sich vorstellen, auf bestimmte Merkmale zu verzichten oder einen Verzicht in Erwägung zu ziehen. 29 Prozent würden nicht darauf verzichten oder einen Verzicht in Erwägung ziehen und 33 Prozent der Befragten sind sich noch unsicher. Einschränkungen beim Komfort werden demnach nur von einem Drittel der Nutzer akzeptiert. Die unsicheren Nutzer warten vermutlich die Preisentwicklung ab und entscheiden sich dann. Bei den genannten

Ausstattungsmerkmalen handelt es sich zum Großteil um Ausstattungsmerkmale, die auch bei konventionellen Fahrzeugen als „Add-ons“ angesehen werden. Hingegen sind die Nutzer nicht bereit, auf solche Merkmale zu verzichten, die heutzutage schon vielfach serienmäßig angeboten werden.

Die Nutzer würden am ehesten auf die folgenden Ausstattungsmerkmale verzichten:

- Lederausstattung (92 Prozent)
- Einparkhilfe (79 Prozent)
- Sitz-/Standheizung (75 Prozent)
- Elektrisches Schiebedach (72 Prozent)
- Anhängerkupplung (69 Prozent)

Die folgenden Ausstattungsmerkmale wurden am seltensten genannt und werden daher vermutlich als wichtig erachtet:

- Zentralverriegelung (20 Prozent)
- Elektrisches Stabilitätsprogramm (14 Prozent)
- Seitenairbags (4 Prozent)
- Servolenkung (2 Prozent)
- Antiblockiersystem (1 Prozent)

Abgesehen von den Komfort- und Kostenaspekten könnte ein Verzicht auf technische Ausstattungsmerkmale die Energiebilanz der Fahrzeuge geringfügig verbessern. Je nach Umfang des Einsparungspotenzials könnte sich das mehr oder minder stark auf die Reichweite der Elektrofahrzeuge auswirken. Auf Sicherheitsmerkmale wollen Nutzer nicht verzichten.

⁴⁹ Zum Teil enthalten die Premierenmodelle später aufpreispflichtige Sonderausstattungen.

⁵⁰ Fojzik (2010).

1.3 Anforderungen und Erwartungen der Nutzer an Elektromobilität

Die Politik sieht die Elektromobilität als wichtige Komponente für einen nachhaltigen und ökologisch sinnvollen Umbau des derzeitigen Verkehrswesens.⁵¹ In diesem Zusammenhang unterstützt die Elektromobilität u. a. infolge der Einführung intelligenter Stromnetze (Smart Grid) sowie der Möglichkeit der Zwischenspeicherung von Energie während der Ruhezeit der Fahrzeuge die von der Bundesregierung initiierte Energiewende.⁵² Um dieses Ziel zu erreichen, muss eine breite Akzeptanz in der Bevölkerung erreicht werden. Ansatzpunkte sind: die Umwelteinstellung und die ökologische Erwartungshaltung, die Bereitschaft das Verkehrsverhalten an die sich neu ergebenden Rahmenbedingungen anzupassen, die Höhe der Kosten für Anschaffung, Betrieb und Unterhalt der Elektrofahrzeuge und nicht zuletzt der gewünschte Komfort bei der Nutzung der Fahrzeuge und der (Lade-)Infrastruktur. Mithilfe von Normen und Standards kann der zuletzt genannte Aspekt sichergestellt werden (Einfachheit der Bedienung des Fahrzeuges, der Ladeinfrastruktur, der IKT etc.).

Umwelteinstellung und ökologische Erwartungshaltung

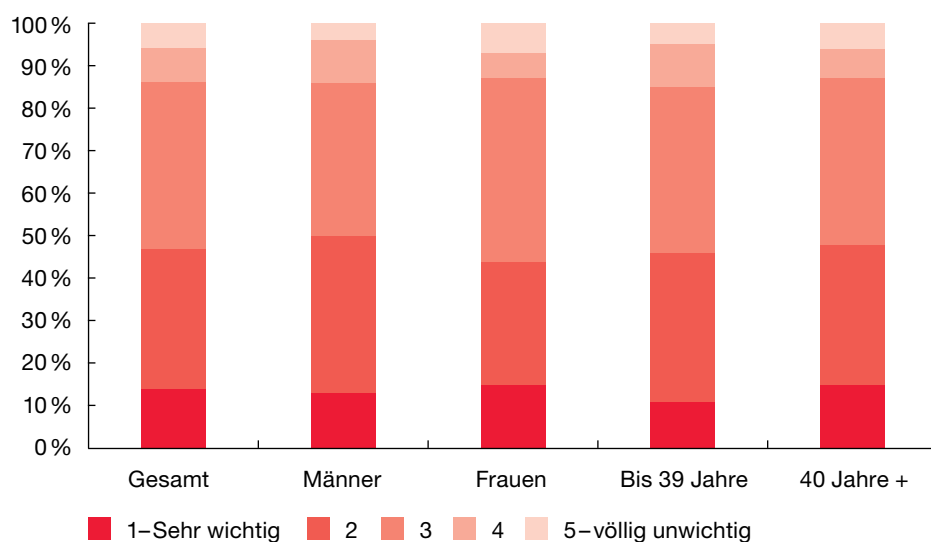
In der Markthochlaufphase ist zu erwarten, dass vornehmlich Nutzer mit hohem bis sehr hohem Einkommen auf Elektrofahrzeuge umsteigen werden. Inwieweit die Nutzerakzeptanz über diese erste Gruppe hinausgeht, hängt in dieser Phase maßgeblich von der Subventionspolitik in den einzelnen Ländern ab. Während die USA die Anschaffung von Elektrofahrzeugen steuerlich bezuschusst und einzelne Bundesstaaten zusätzliche Zuschüsse gewähren, sind derart hohe Subventionen nach der Regierungserklärung zur Elektromobilität vom Mai 2011⁵³ in

Deutschland vorerst nicht zu erwarten. Neben dem Kostenaspekt spielt das ökologische Selbstverständnis der Käufer eine wichtige Rolle bei der Kaufentscheidung. Nutzer von Elektromobilität können eine hohe Affinität zum Umweltschutz aufweisen.

Die folgende Grafik zeigt ein Ergebnis der Aral-Studie „Trends beim Autokauf“ aus dem Jahr 2009. Es wurden 301 Nutzer nach der Bedeutung des CO₂-Ausstoßes beim Neuwagenkauf befragt.

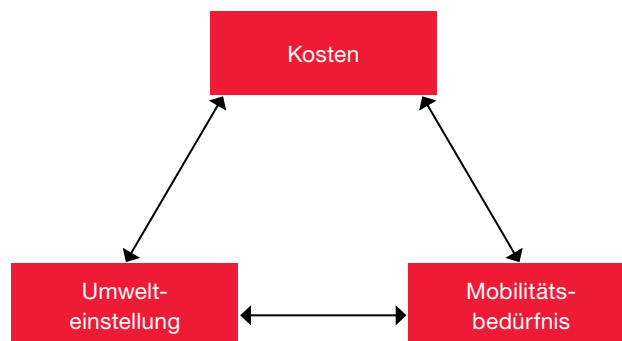
Die Ergebnisse zeigen, dass der CO₂-Ausstoß mit 47 Prozent ein wichtiger Aspekt beim Autokauf ist. Wird das neutral eingestellte Mittelfeld hinzuge-rechnet, wird ein Wert von 86 Prozent erreicht. Als unwichtig sehen den CO₂-Ausstoß nur 14 Prozent der Befragten an. Jedoch sind fast die Hälfte der Befragten nicht bereit, Mehrkosten für ein CO₂-ärmeres Fahrzeug zu akzeptieren.⁵⁴ Abbildung 30 zeigt das Abhängigkeitsverhältnis von Kosten, Umwelteinstellung und Mobilitätsbedürfnis.

Abb. 29 Bedeutung eines niedrigen CO₂-Ausstoßes beim Neuwagenkauf (n = 351).



Quelle: ARAL AG (2011), S. 17.

Abb. 30 Abhängigkeitsdreieck Mobilität-Kosten-Umwelt.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

⁵¹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011).

⁵² Pressestelle der Bundesregierung (2011).

⁵³ Die Bundesregierung (2011).

⁵⁴ ARAL AG (2011), S. 17.

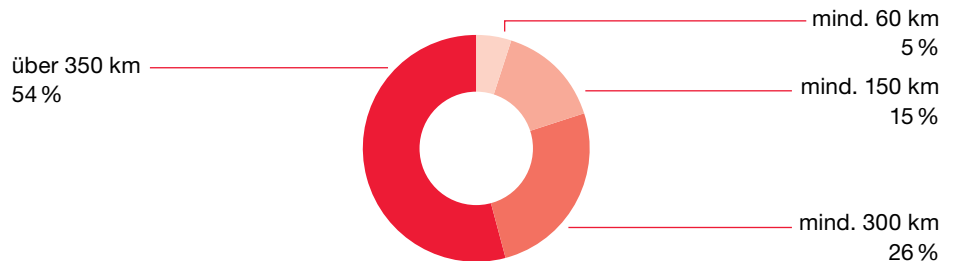
Je nach den persönlichen Voraussetzungen wiegen die jeweiligen Komponenten unterschiedlich stark. Die finanzielle Situation der Nutzer kann einen Einfluss auf die Umwelteinstellung haben, wenn durch umweltgerechtes Verhalten höhere Kosten entstehen. Das Mobilitätsbedürfnis richtet sich an der Berufstätigkeit und den Freizeitaktivitäten aus. Je aktiver die Nutzer sind, desto höher ist ihre Mobilität.⁵⁵ Die Mobilität kann bei einer schlechten finanziellen Situation sehr schnell Grenzen finden. Die Umwelteinstellung kann sich auf die Mobilität auswirken, wenn die Nutzer bewusst ihre Mobilität zugunsten der Umweltbelange einschränken.

Anpassungsbereitschaft des Verkehrsverhaltens

Eine Anpassung des Mobilitätsverhaltens ist bis zu einer möglichen Lösung der technischen Limitierungen von reinen Elektrofahrzeugen (Ladezeiten, Reichweiten etc.) je nach Nutzergruppe mehr oder weniger stark notwendig. Werden die Elektrofahrzeuge als Zweitwagen eingesetzt, sind kaum Anpassungen zu erwarten, da vermutet werden kann, dass diese Fahrzeuge bereits die bestehenden Mobilitätsanforderungen erfüllen und deshalb angeschafft werden.⁵⁶ Bei Hybridkonzepten lässt sich die Notwendigkeit der Anpassung entsprechend skalieren. Abbildung 31 veranschaulicht die von den Nutzern erwartete Mindestreichweite von Elektroautos. Die Ergebnisse stammen aus einer Studie des Mineralölkonzerns ARAL. Studentische Befragungen, die im Frühjahr 2011 im Rahmen einer Projektarbeit an der FH Frankfurt durchgeführt wurden, zeigen ein ähnliches Bild.

Abb. 31 Geforderte Mindestreichweite von Elektroautos (n = 278).

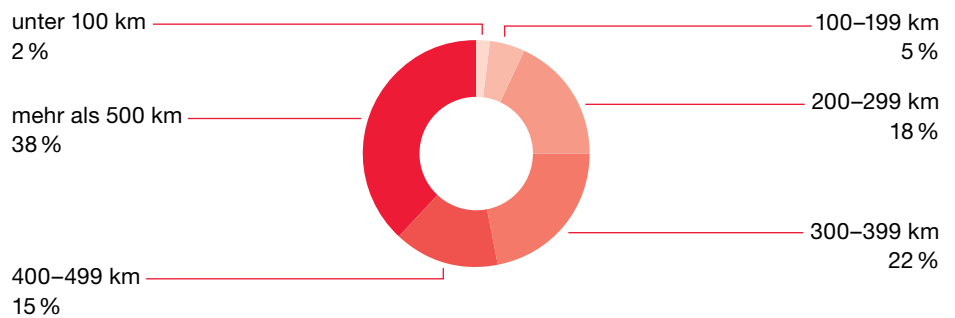
Welche Mindestreichweite müsste ein Elektrofahrzeug aufweisen?



Quelle: ARAL AG (2011), S. 21.

Abb. 32 Geforderte Reichweite von Elektroautos (n = 100).

Welche Reichweite sollte ein Elektrofahrzeug zurücklegen können?



Quelle: Studentische Befragung FH Frankfurt (April/Mai 2011).

Gemäß der ARAL-Studie erwarten 80 Prozent der Nutzer eine Reichweite, die oberhalb von 300 km liegt, nur 15 Prozent akzeptieren eine Mindestreichweite von 150 km. Damit findet die Mehrzahl der derzeit auf dem Markt verfügbaren reinen Elektroautos nach dieser Studie keine Akzeptanz bei den Nutzern. Solange die technischen Limitierungen bei rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen bestehen, bieten nur Hybridfahrzeuge die gewünschten Reichweiten oder alternativ die Nutzung

ergänzender Mobilitätsangebote (Bahn, Carsharing, Mietwagen etc.). Die studentische Befragung bestätigt die hohen Erwartungen an die Reichweite. Über 70 Prozent der Befragten fordern Reichweiten von mindestens 300 km und davon 38 Prozent von mehr als 500 km. Dies lässt vermuten, dass die Akzeptanz bei den derzeitigen Nutzern erst steigt, sobald die Elektrofahrzeuge höhere Reichweiten erzielen oder die alternativen Mobilitätskonzepte an Attraktivität gewinnen.

⁵⁵ MiD 2008: infas, DLR (2010), S. 82.

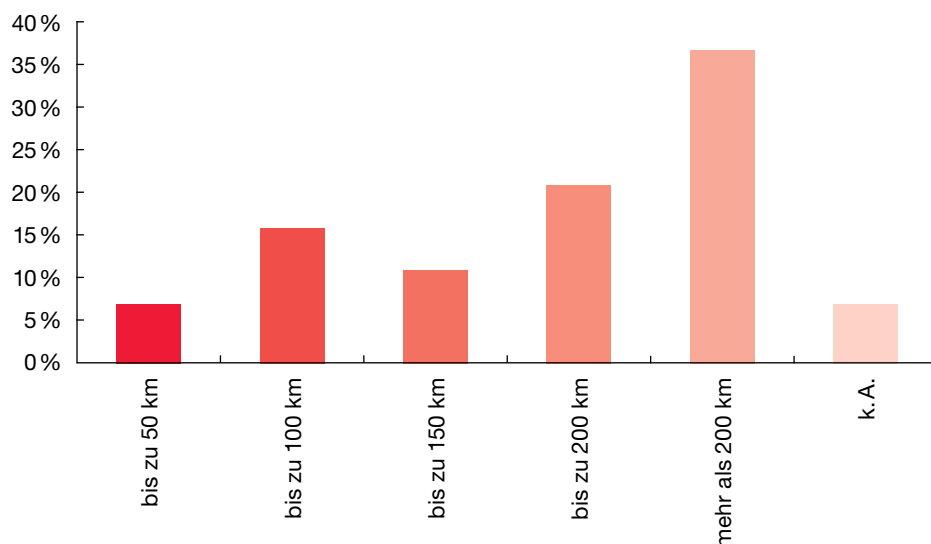
⁵⁶ Becker, T. (2011), S. 10.

Durch die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten besteht die Möglichkeit, dass die Nutzer in ihrer Entscheidung beeinflusst wurden. Eine weitere Befragung der FH Frankfurt im Rahmen der Demonstrationsvorhaben in der Modellregion Rhein-Main zeigt, dass sich bei einer auf die Elektromobilität angepassten Fragestellung zum Teil andere Ergebnisse ergeben.

Fast jeder vierte Befragte würde sogar Reichweiten bis zu 100 km akzeptieren. Jedoch wird auch bei dieser Befragung deutlich, dass Reichweiten von bis zu 200 und mehr Kilometern von 58 Prozent der Befragten gewünscht werden. Da diese Erwartungen an die Reichweite von den meisten Elektrofahrzeugen bisher nicht erfüllt werden, ist die Reichweite ein entscheidender Aspekt für die Nutzerakzeptanz.

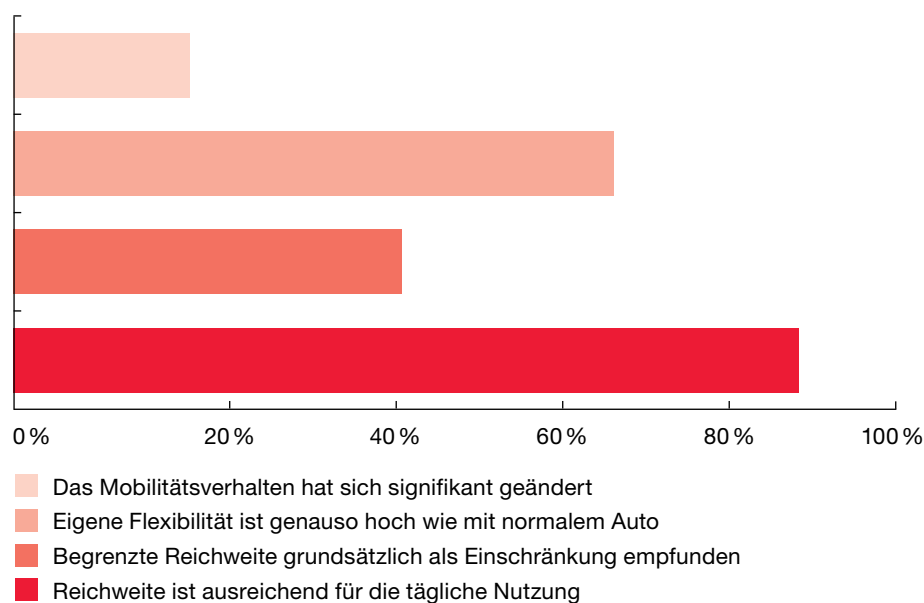
Die bisher erfolgten Untersuchungen konzentrierten sich auf den aktuellen Markt und die Fahrer von konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Die Gewöhnung an die technischen Rahmenbedingungen in den untersuchten Generationen ist sehr hoch einzuschätzen. Infolgedessen sind die Nutzer vermutlich nur begrenzt bereit, ihr Mobilitätsverhalten anzupassen. Ergebnisse einer Befragung von Personen, die den Mini E im Rahmen eines Feldversuchs in München getestet haben, zeigen, dass die Reichweite des Fahrzeugs für die Mehrheit der Nutzer im Alltag ausreichend ist. Dennoch hat fast die Hälfte der Nutzer die begrenzte Reichweite als Einschränkung empfunden. Die persönliche Flexibilität mit einem Elektrofahrzeug sehen zwei Drittel der Befragten gleichwertig zur Flexibilität mit einem normalen Pkw. Das Mobilitätsverhalten selbst hat sich nur bei einem Fünftel der Befragten signifikant verändert.⁵⁷

Abb. 33 Gewünschte Reichweite von Elektrofahrzeugen gemäß einer Nutzerbefragung in der Modellregion Rhein-Main.



Quelle: Befragung der FH FFM im Rahmen der Demonstrationsvorhaben in der Modellregion Rhein-Main.

Abb. 34 Nutzererfahrungen zur Reichweite.



Quelle: ADAC blog Elektromobilität (2011 (2)).

⁵⁷ ADAC blog Elektromobilität (2011 (2)).

Für die zukünftige Entwicklung sollten bereits Kinder und Jugendliche stärker einbezogen werden. Es besteht die Möglichkeit, diesen grundlegend andere Schwerpunkte in puncto Mobilität näherzubringen und damit auch zu einer Verhaltensänderung beizutragen. Hierzu gehören der Umweltverbund (Rad- und Fußverkehr, ÖPNV), neue Mobilitätskonzepte (z. B. Car- und Bikesharing, Prepaid-Mobilität) und die Stärkung des Umweltbewusstseins in Verbindung mit Mobilität durch Bildung in Kindergärten, Schulen und anderen sozialen Einrichtungen.

Kosten für die Anschaffung, den Betrieb und den Unterhalt von Elektrofahrzeugen

Die hohen Kosten für die Anschaffung eines reinen Elektrofahrzeugs sind ein wichtiger Hinderungsgrund für die Anschaffung.⁵⁸ Zur Berechnung der Total Cost of Ownership (TCO) müssen auch die Betriebs- und Unterhaltskosten für das Fahrzeug in die Betrachtung einbezogen werden. Eine Befragung des TÜV Rheinland aus dem Jahr 2010 mit 1000 Befragten kommt zu dem Ergebnis, dass geringe Betriebskosten von 22,2 Prozent der Befragten als wichtiger Grund für die Anschaffung eines Elektroautos gesehen werden. Nach dem Umweltschutz (36,4 Prozent) und der Unabhängigkeit vom Öl (25,7 Prozent) sind geringe Betriebskosten der drittwichtigste Aspekt.⁵⁹ In welchem Ausmaß sich die Erwartung der Nutzer an niedrige Betriebskosten erfüllt, hängt von der Strompreisentwicklung und der Preispolitik der Automobilhersteller bei Wartung und Instandhaltung der Fahrzeuge ab.

Nutzungskomfort der Elektrofahrzeuge und bevorzugte Ladestandorte

Erste Fahrberichte der Nutzer lassen grobe Rückschlüsse auf deren Zufriedenheit zu. Das Fraunhofer ISI hat 100 Erfahrungsberichte ausgewertet. Bei den Probanden handelte es sich zu 41 Prozent um Journalisten, zu 45 Prozent um Privatpersonen mit verschiedenen Hintergründen und zu 14 Prozent um Blogger. Die getesteten Fahrzeuge waren zum größten Teil reine Elektrofahrzeuge (85 Prozent). Zu einem kleineren Teil handelte es sich um Hybridfahrzeuge (6 Prozent) und Fahrzeuge mit Range Extender (9 Prozent). Innerhalb der Befragung wurden Themen wie Reichweite, Ladeprozess, Platzangebot/Transportkapazität, Fahreigenschaften und Kosten abgedeckt.

Die Reichweite wurde von 14 Prozent der Befragten als zu gering eingestuft. 5 Prozent bewerteten diese als ausreichend. Der Rest machte keine Angaben. Der Ladeprozess wird von 20 Prozent der Befragten als (zu) lange bewertet. Weitere 20 Prozent bewerteten die Möglichkeit der Schnellladung positiv. Die Aussagen zum Platzangebot bzw. zur Transportkapazität lassen sich nicht unmittelbar auf die (teil)elektrische Betriebsweise zurückführen. Die Kritik war mehr der Fahrzeugart und -form geschuldet. Bei den Fahreigenschaften beurteilten 50 Prozent der Befragten die Beschleunigung des Elektrofahrzeugs positiv. 44 Prozent bewerteten die niedrigen Fahrgeräusche positiv. Die Rekuperation wurde als gewöhnungsbedürftig beschrieben, schien aber nach einer Eingewöhnungsphase akzeptabel zu sein. Die Kosten für die Anschaffung wurden von 20 Prozent als sehr hoch eingeschätzt. Die Verbrauchs- und Betriebskosten wurden von 18 Prozent als niedrig eingeschätzt.⁶⁰

Die CAMA Studie der Universität Duisburg-Essen kommt zu dem Ergebnis, dass 90 Prozent der Nutzer das Fahrzeug gerne zu Hause laden würde. Am Arbeitsplatz erachten 70 Prozent der Befragten die Ladung für sinnvoll. Fast 70 Prozent der Befragten würden aber auch an einer Tankstelle laden. Etwa die Hälfte der Befragten fände es sinnvoll, das Elektrofahrzeug auch im öffentlichen Raum aufladen zu können.⁶¹ Die Untersuchung zeigt, dass die Tendenz eindeutig in Richtung des Ladens zu Hause und am Arbeitsplatz geht. Der Tankstelle wird mit 70 Prozent ebenfalls ein sehr hoher Wert beigemessen, könnte aber nur in Verbindung mit Schnelllade- oder Wechselsystemen als sinnvoll erachtet werden, da die Standzeiten anderenfalls vermutlich zu lang wären. Ursache für die hohe Zustimmung ist vermutlich die Gewöhnung an das Tanken fossiler Treibstoffe.

⁵⁸ PwC, Fraunhofer IAO (2010), S. 12.

⁵⁹ Aubel (2010), S. 12.

⁶⁰ Fraunhofer ISI (2010), S. 18.

⁶¹ Fojzik (2010), S. 20.

1.4 Integration der Elektromobilität in bestehende Wegekettten

Um die Elektromobilität sinnvoll in die bestehenden Wegekettten integrieren zu können, müssen die potenziellen Anwendungsfelder frühzeitig identifiziert werden. Diese ergeben sich aus der Verknüpfung des Verkehrsverhaltens der Nutzer, insbesondere der Wegelängen und Lademöglichkeiten, mit den technischen Eigenschaften der Fahrzeuge hinsichtlich Reichweite, Reisegeschwindigkeit, Ladedauer und Betriebssicherheit. Einhergehend mit den technischen Aspekten beeinflussen insbesondere politische, rechtliche, ökonomische und ökologische Rahmenbedingungen die Bereitschaft der Nutzer, auf Elektrofahrzeuge umzusteigen. Alle genannten Aspekte beinhalten nicht nur Chancen für die Integration der Elektromobilität sondern auch Hinderungsgründe. Normung und Standardisierung können Barrieren vermeiden oder deren Effekte auf die Elektromobilität möglichst gering halten (z. B. komplizierte Abrechnungs- und Anmeldemodalitäten, Barrierefreiheit von Ladestationen etc.).

Aktuelle Rolle der Elektromobilität im Verkehrsgeschehen

Nach den Statistiken des Kraftfahrtbundesamtes waren zum Stichtag 1. Januar 2011 insgesamt 2.307 reine Elektro-Pkw in Deutschland zugelassen. Hybridfahrzeuge überstiegen mit 37.256 zugelassenen Fahrzeugen diesen Wert um ein Vielfaches. Bei Addition von Elektro- und Hybridfahrzeugen und Gegenüberstellung der Gesamtzahl der zugelassenen Pkw, ergibt sich ein

Anteil von lediglich 0,09 Prozent am Gesamtbestand. Damit ist die Rolle der Elektro-Pkw, unabhängig ob rein elektrisch oder hybridbetrieben, im derzeitigen Verkehrsgeschehen als unbedeutend einzustufen.⁶² Tabelle 9 zeigt die Entwicklung des Pkw-Bestands von Elektro- und Hybridfahrzeugen von 2002 bis 2011.

Rein elektrisch betriebene Pkw verzeichneten im Zeitraum 2001 bis 2006 einen durchschnittlichen Bestandsrückgang von 6,7 Prozent pro Jahr. Erst im Jahr 2008 stieg der Bestand wieder an. Im Jahr 2011 wurden 45,3 Prozent mehr Elektrofahrzeuge als im Vorjahr gelistet. Jedoch liegt dieser Stand immer noch unterhalb des Wertes aus dem Jahr 2002. Es ist zu vermuten, dass die aktuellen Entwicklungen zur Elektromobilität zu diesem Anstieg geführt

haben und es durch zahlreiche Demonstrationsprojekte zu einer Vielzahl Neuzulassungen gekommen sein könnte. Der Bestand an Hybridfahrzeugen hat sich im Zeitraum 2006 bis 2011 um durchschnittlich 45,9 Prozent p. a. gesteigert. Nach der Markteinführung der Hybridfahrzeuge und des damit einhergehenden Anstiegs der Bestandszahlen hält sich der Anstieg des Hybrid-Pkw-Bestandes seit dem Jahr 2008 bei durchschnittlich 29,1 Prozent pro Jahr. Die genannten Werte beziehen sich auf die Bilanz von Ab- und Neuanmeldungen.

Tab. 9 Bestand an Personenkraftwagen aus den Jahren 2002 bis 2011 mit Elektro- und Hybridantrieb.

Jahr	Anzahl Elektroautos	Veränderung	Anzahl Hybridautos	Veränderung
2002	2.534	k. A.	–	k. A.
2003	2.348	–7,3 %	–	k. A.
2004	2.169	–7,6 %	–	k. A.
2005	2.038	–6,0 %	–	k. A.
2006	1.931	–5,3 %	5.971	k. A.
2007	1.790	–7,3 %	11.275	+88,8 %
2008	1.436	–19,8 %	17.307	+53,5 %
2009	1.452	+1,1 %	22.330	+29,0 %
2010	1.588	+9,4 %	28.862	+29,3 %
2011	2.307	+45,3 %	37.256	+29,1 %

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (2011).

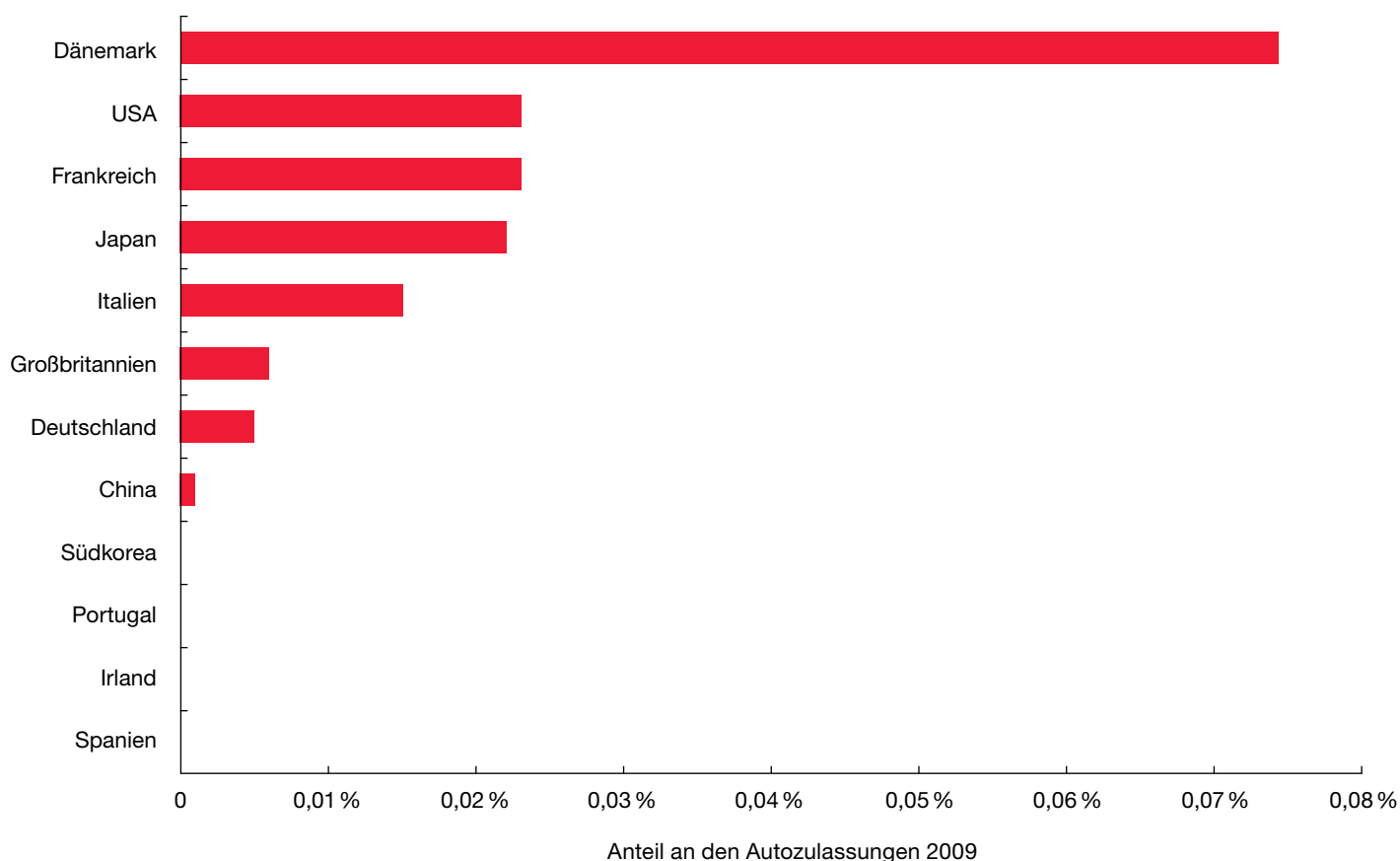
⁶² Zum gleichen Ergebnis kommt auch die Studie „Umweltfreundliche Pkw“ des Auto Club Europa (ACE) von 2011.

Abbildung 35 zeigt die Ergebnisse einer Untersuchung von McKinsey im Auftrag der „Wirtschaftswoche“. Es wurde ermittelt, wie hoch der Anteil an Elektro-Pkw an den Pkw-Zulassungen in ausgewählten Ländern im Jahr 2009 war. Abbildung 36 gibt Aufschluss über die Anzahl der Autozulassungen von Elektro-Pkw in absoluten Werten.

Es zeigt sich, dass der Anteil der Elektrofahrzeuge in allen untersuchten Ländern weit unter 1 Prozent liegt. Die höchsten Anteile weisen Dänemark (0,074 Prozent), die USA (0,023 Prozent) und Frankreich (0,023 Prozent) auf. Während Dänemark in absoluten Zahlen mit 94 Fahrzeugen auf dem vorletzten Platz der untersuchten Länder rangiert, führen die USA, Japan und Frankreich

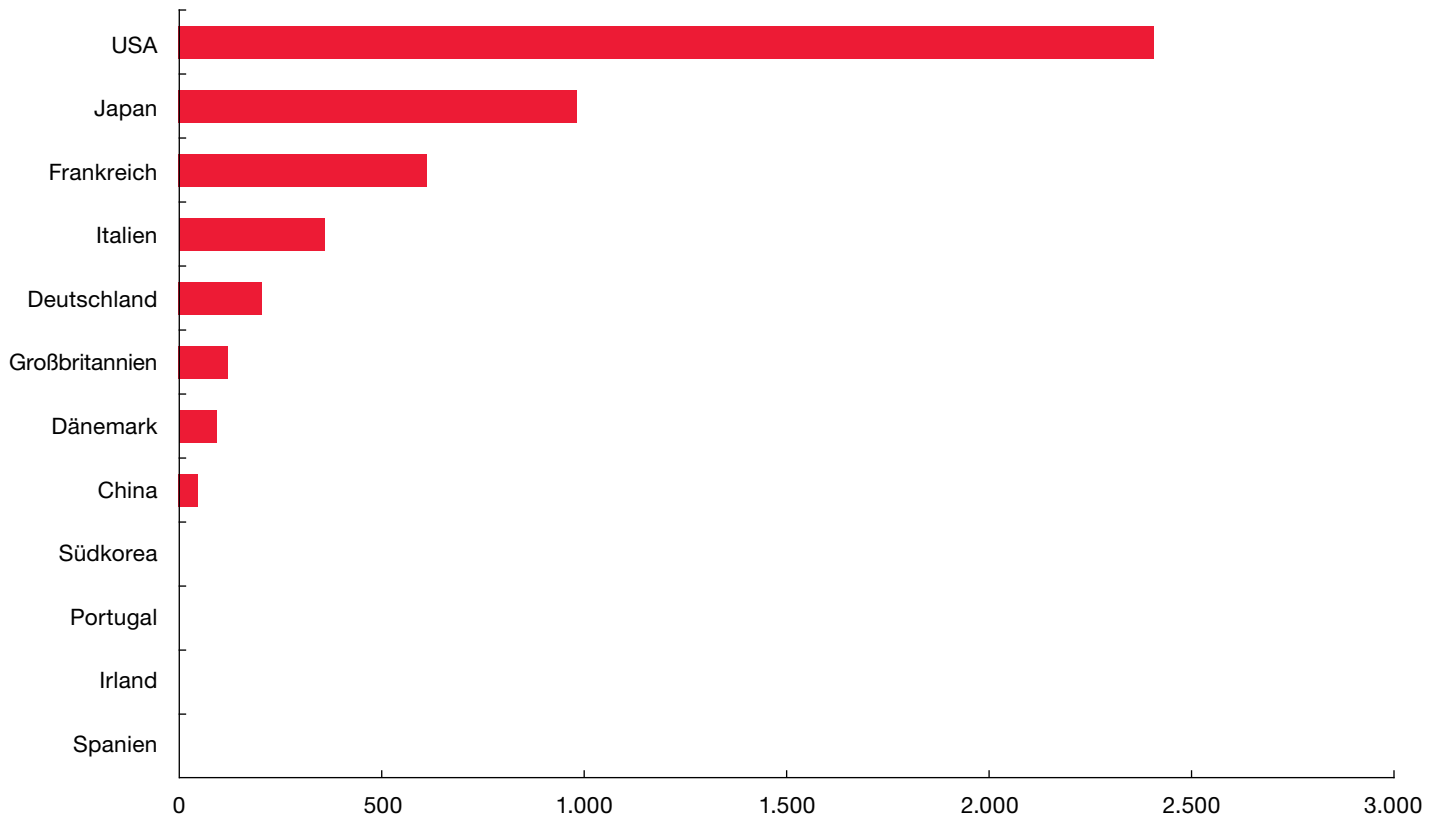
mit 2.412, 986 und 614 Elektro-Pkw die Liste an. In den Ländern Südkorea, Portugal, Irland und Spanien liegen die Anteile unterhalb von 0,001 Prozent. Deutschland liegt in der hinteren Hälfte der Länder mit zugelassenen Elektro-Pkw. Auch international kann demnach die Rolle der Elektro-Pkw am Verkehrsgeschehen als gering eingestuft werden.

Abb. 35 Anteil der neu zugelassenen Elektro-Pkw an den Pkw-Zulassungen 2009.

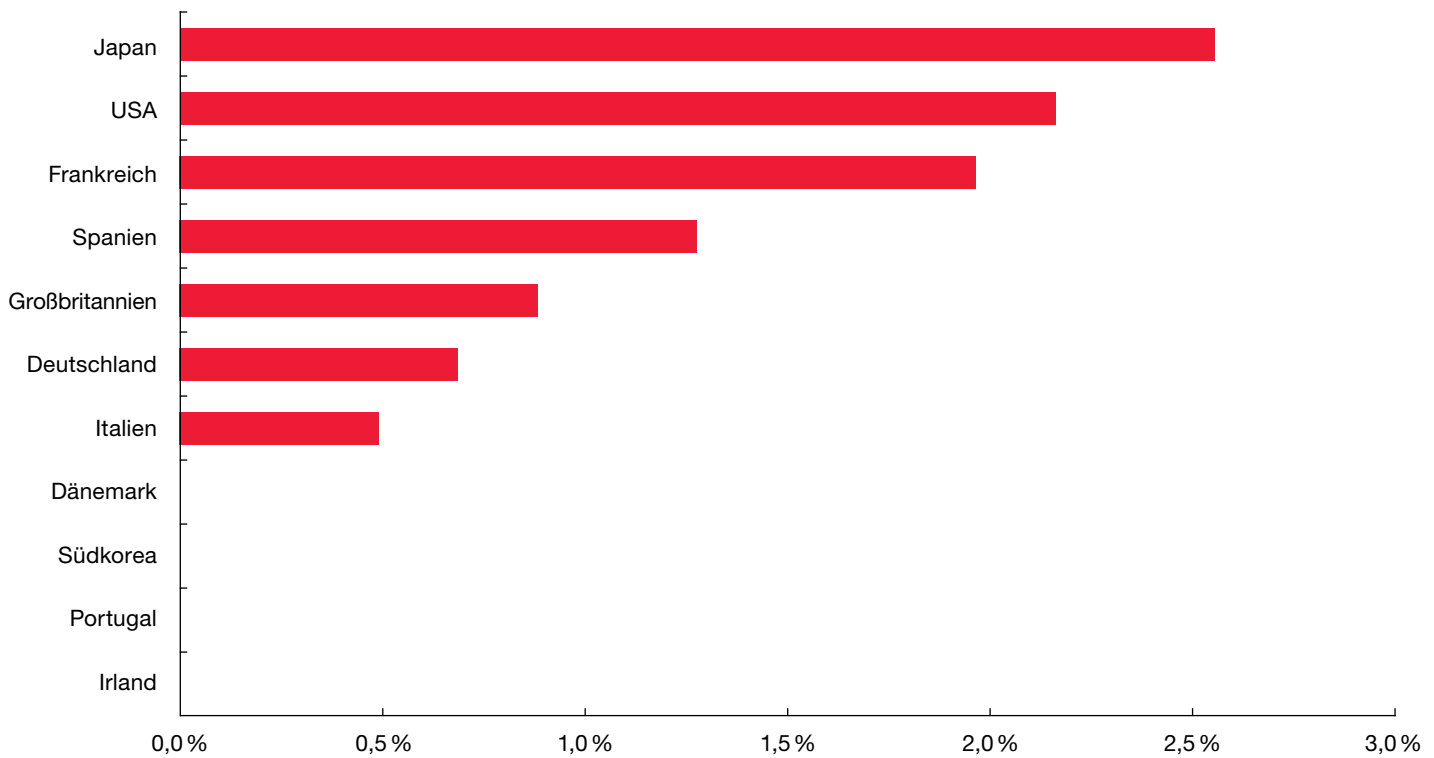


Quelle: McKinsey (2009).

Abb. 36 Anzahl der im Jahr 2009 neu zugelassenen Elektro-Pkw.



Quelle: McKinsey (2009).

Abb. 37 Prognostizierter Anteil der Elektro-Pkw am Gesamtbestand 2014.

Quelle: McKinsey (2009)

McKinsey prognostiziert die Anteile der Elektro-Pkw bis 2014 auf die in Abbildung 37 dargestellten Werte.

Infolge der gezeigten Prognosen wird der Anteil der Elektro-Pkw bis zum Jahr 2014 in Japan, den USA und Frankreich mit 2 bis 2,6 Prozent am höchsten sein. Diese haben zugleich auch die höchste Anzahl an Elektrofahrzeugen im Bestand: 228.594 (Japan), 224.749 (USA) und 53.683 (Frankreich). Deutschland wird demgemäß einen Anteil von 0,7 Prozent aufweisen. Dies entspricht einer Zahl von 39.431 Fahrzeugen. Für China wurden 4.164 Fahrzeuge prognostiziert.

Identifizierung der Substitutionspotenziale gegenüber anderen Verkehrsmitteln

Der potenzielle Einsatz von Elektrofahrzeugen folgt aus der Reichweite des

Fahrzeugs, der Reisegeschwindigkeit, dem Nutzungskomfort und der Höhe der Fahrtkosten. Zur Ermittlung der Substitutionspotenziale der Elektromobilität ist die täglich zurückgelegte Wegstrecke eine Kernkomponente, da die Reichweite der Elektrofahrzeuge begrenzt ist (ca. 80 bis 160 km pro Ladung). Auch mittelfristig ist aus technologischer Sicht vermutlich keine wesentliche Veränderung zu erwarten. Die durchschnittliche Reichweite wird sich bis zum Jahr 2025 in geringem Umfang erhöhen. Erst durch neue Technologien (>2025) sind wesentliche Fortschritte möglich.⁶³

Die alltäglichen Wege lassen sich mit einem Elektro-Pkw mit einer Reichweite von 80 km zurücklegen. Dies wurde bei der Betrachtung der durchschnittlichen täglichen Wegstrecken und der

Beschreibung der Nutzerprofile bereits belegt. Nur Fahrten von Langstreckenpendlern und in den Urlaub bzw. zur Freizeitgestaltung lassen sich nicht mit einem reinen Elektrofahrzeug und einer durchschnittlichen Reichweite von derzeit 160 km bewältigen. Hybridfahrzeuge und andere Mobilitätskonzepte (z. B. fossil betriebener Mietwagen, Carsharing etc.) können die Lücke schließen.

Die Reisegeschwindigkeit hängt von der Motor- und der Batterieleistung ab. Je schneller das Elektrofahrzeug fährt, desto höher ist der Energieverbrauch und desto geringer somit die Reichweite. Aus diesem Grund sind viele Elektrofahrzeuge derzeit bei ca. 130 km/h abgeriegelt.⁶⁴ Der Sportwagen Tesla Roadster erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h, ist jedoch ebenfalls abgeriegelt. Die durchschnittliche

⁶³ S. a. Kapitel 5.2.

⁶⁴ Vgl. auch Tabelle 8.

tägliche Reisegeschwindigkeit liegt der Erwartung nach unter den genannten Werten. Als eine Ursache ist die hohe Verkehrsdichte zu den Spitzenzeiten im Berufsverkehr zu nennen, die die Durchschnittsreisegeschwindigkeit sinken lässt. Für die Bewältigung des täglichen Verkehrs sind die genannten Höchstgeschwindigkeiten also ausreichend. Probleme bei der Akzeptanz der Nutzer könnte es bei längeren Strecken geben, die über Autobahnen und Schnellstraßen führen.

Für die Elektromobilität bedeutet die Zunahme des motorisierten Personenverkehrs in den Entwicklungs- und Schwellenländern eine Chance. Die Lücke zwischen dem aktuellen Anteil des MIV und dem je nach Entwicklung des Landes zu erwartenden zukünftigen Anteil könnte die Elektromobilität füllen. Es ist zu berücksichtigen, dass der motorisierte Verkehr auch Roller, Mofas und Kleinsttransporter beinhaltet. Es kann vermutet werden, dass die Substitutionspotenziale bei diesen Verkehrsmitteln größer als bei Pkw sind, da sie nur im Nahbereich eingesetzt werden und in der Anschaffung günstiger als Pkw sind. China hat zur Erreichung der Ziele, auch aus umweltpolitischer Sicht, bereits die Weichen gestellt. Die chinesische Regierung fördert die Elektromobilität mit 11,5 Milliarden Euro bis zum Jahr 2020 und möchte ebenfalls Leitmarkt werden.⁶⁵

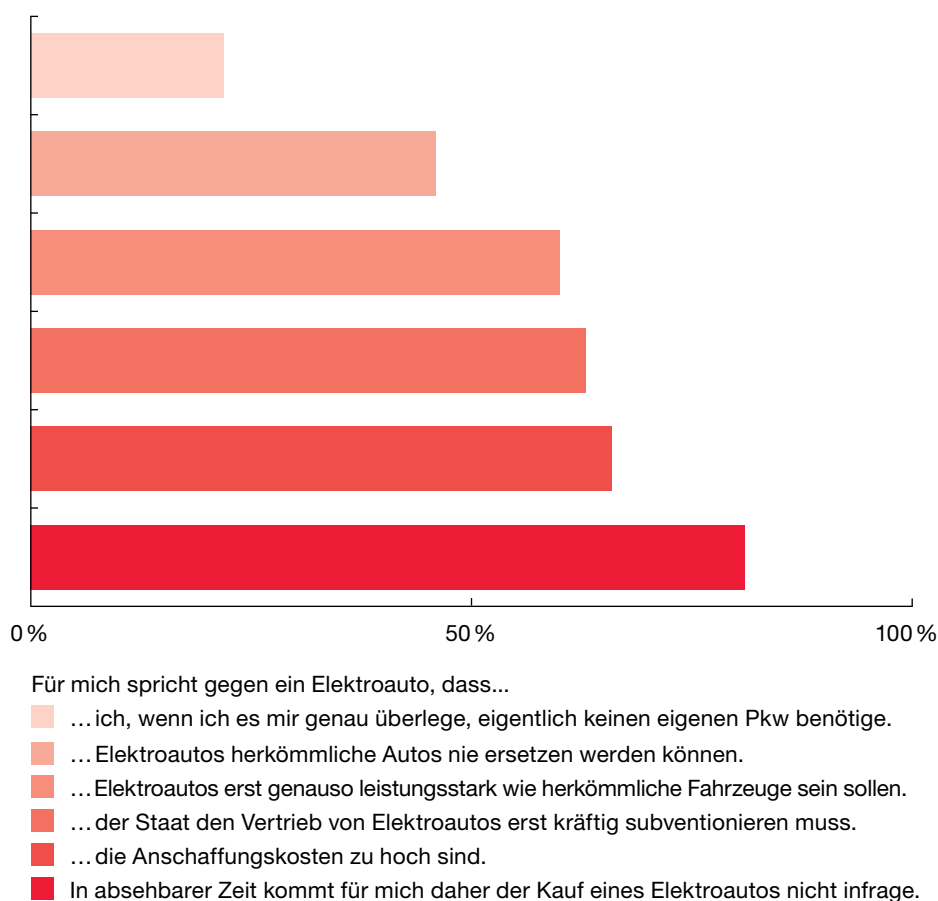
Zunehmend kritisieren Kommunen die Fortentwicklung der Elektromobilität als nicht zielführend, da Elektrofahrzeuge weiterhin zu einer hohen Verkehrsbelastung im MIV beitragen und Flächen im städtischen Straßenraum beanspruchen. Vom Mobilitätsforscher der Essener Verkehrs AG, Helmut Kanand, wird eine Kombination aus E-Bussen und der Straßenbahn mit Pedelecs favorisiert.⁶⁶ Unabhängig von den Forderungen

einzelner Interessengruppen ist dem ÖPNV ein besonders hohes Maß an Öffentlichkeitswirksamkeit zu unterstellen. Die Fahrzeuge sind in urban geprägten Räumen omnipräsent und dienen nicht zuletzt aus diesem Grund in vielen Kommunen als mobile Werbefläche. Somit sollte auch der Einsatz von Elektrobussen und anderen elektrisch betriebenen öffentlichen Verkehrsmitteln forciert werden, da dies Auswirkungen auf die öffentliche Wahrnehmung hat und das Interesse der Nutzer an der Elektromobilität steigern könnte.

Mögliche Hinderungsgründe für den Umstieg auf Elektrofahrzeuge

Wie die vorherigen Kapitel gezeigt haben, lässt das derzeitige Verkehrsverhalten in den meisten Ländern eine tägliche Nutzung von Elektrofahrzeugen zu. Jedoch bestehen ebenfalls zahlreiche, wenn auch zum Teil subjektive Hinderungsgründe für den Umstieg auf Elektrofahrzeuge. PwC und das Fraunhofer IAO haben Bürger nach den Gründen befragt, die aus ihrer Sicht gegen die Anschaffung eines Elektroautos sprechen. Abbildung 38 veranschaulicht das Ergebnis der Befragung.

Abb. 38 Nutzerbefragung zu den Hinderungsgründen beim Kauf eines Elektrofahrzeugs.



Quelle: PwC, Fraunhofer IAO (2010), S. 11.

⁶⁵ VDI (2011).

⁶⁶ Schraven (2011).

Von 66 Prozent der Befragten wird ein zu hoher Anschaffungspreis als wichtigster Hinderungsgrund benannt. Kritisch wird von 63 Prozent der Befragten die Notwendigkeit einer starken Subventionierung der Elektro-Pkw durch den Staat bewertet. Zwei Drittel der Befragten fordern eine gleiche Leistungsfähigkeit wie bei einem konventionellen Fahrzeug. Fast die Hälfte der Befragten geben an, dass Elektro-Pkw nie herkömmliche Pkw ersetzen können. Über 80 Prozent der Befragten können sich nicht vorstellen, in absehbarer Zeit ein Elektrofahrzeug anzuschaffen. Fast ein Viertel der Befragten benötigt eigentlich keinen eigenen Pkw und nimmt daher von der Anschaffung eines Elektro-Pkw Abstand. Diese Ergebnisse bestätigen die subjektive Erwartungshaltung der derzeitigen Automobilgeneration, dass sie bei der Leistungsfähigkeit keine Einbußen machen möchten, die zugleich mit einem höheren Anschaffungspreis einhergehen. Ein Problem ist der aktuelle Wissensstand über Elektromobilität unter den Befragten. Abbildung 39 zeigt den Wissensstand für die im oberen Beispiel befragten Personen.

Aus der Befragung geht hervor, dass rund zwei Drittel der Befragten nur wenig über Elektromobilität wissen. Etwa ein Drittel der Befragten schätzt den eigenen Wissensstand als durchschnittlich ein, während nur ein Zehntel den eigenen Wissensstand als relativ hoch einschätzt. Somit kann vermutet werden, dass das mangelnde Wissen zur Thematik sich unmittelbar auf die Bewertung der Elektrofahrzeuge auswirken könnte. Mithilfe von Marketing kann die Aufklärung und damit die Akzeptanz unter den Nutzern aller Voraussicht nach erhöht werden.

Im Rahmen der CAMA-Studie der Universität Duisburg-Essen wurden Personen zu ihrem Wissensstand über Reichweite, Ladezeiten und Kaufpreis befragt. Dabei stellte sich heraus, dass der Wissensstand nicht ausreichend ist. So behaupteten bspw. 53 Prozent der Befragten, Elektro-Pkw könnten ohne Zwischenladung 200 bis 600 und mehr Kilometer zurücklegen. Die Kosten hatten die Befragten im Fokus. Hier sagten 88 Prozent, dass die Anschaffungskosten höher als bei einem

Benzinfahrzeug seien, wobei hier mehr als die Hälfte der Befragten von keinem deutlich höheren Preis ausging.⁶⁷

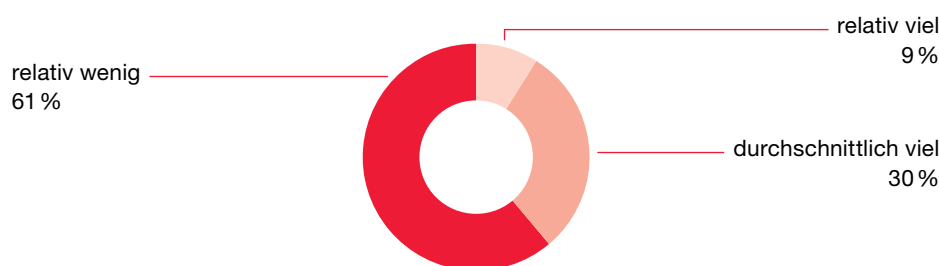
Während in der Fachwelt über die Sicherheitsaspekte der Elektromobilität in Bezug auf die Batterien und die allgemeinen Gefahren beim Umgang mit elektrischen Anlagen intensiv diskutiert wird,⁶⁸ scheinen die Nutzer der Sicherheit von Elektrofahrzeugen weniger kritisch gegenüberzustehen. Nach einer Nutzerbefragung von BMW aus den Jahren 2010 und 2011 sehen die Befragten keine erhöhte Gefahr, die von den Batterien im Fahrzeug ausgeht. Das Vertrauen der Nutzer in die Funktionsfähigkeit und die Sicherheit des Fahrzeuges wird mehr vom Markenimage des Fahrzeugherstellers abhängig gemacht. Lediglich Nutzer von Flottenfahrzeugen machen kritische Angaben zu einer möglichen Unzuverlässigkeit.⁶⁹

Sicherheitsbedenken

Durch die Elektromobilität entstehen neue Gefahrenquellen, die in der subjektiven Wahrnehmung der Nutzer Barrieren für den Umstieg darstellen können. Beispielhaft sind in diesem Zusammenhang aufgrund der hohen elektrischen Spannungen die Gefahr des elektrischen Schlages oder die Gefahr der Emission giftiger Substanzen bzw. eines Brandes nach einem „thermal runaway“ einer Lithium-Ionen-Batterie zu nennen. Normung und Standardisierung muss sicherstellen, dass die Gefahren für Mensch und Umwelt über das ganze Fahrzeugleben hinweg minimal sind. Das schließt Produktion, Gebrauch, Wartung, Unfall und Verschrottung/Recycling ein. Die deutsche Normungs-Roadmap adressiert diese Themen mit hoher Priorität und kurzfristigem Zeithorizont. Eine periodische Anpassung an die stetig wachsenden Erfahrungen, die technische Entwicklung und neue wissenschaftliche Erkenntnisse ist bei den sicherheitsrelevanten Themen besonders bedeutsam.

Abb. 39 Der Wissensstand der Befragten zur Elektromobilität.

Ich weiß über Elektromobilität ...



Quelle: PwC, Fraunhofer IAO (2010), S. 11.

⁶⁷ Fojzik (2010).

⁶⁸ VDE (2010).

⁶⁹ BMW (2011), S. 6.

Aktuell wird die Sicherheit von Elektrofahrzeugen, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, von den Nutzern nicht besonders hervorgehoben. Dies hängt vermutlich mit der ohnehin hohen Sicherheitserwartung an Personenkraftwagen zusammen, die auch für Elektrofahrzeuge angenommen werden kann. Erst wenn die oben genannten Probleme („thermal runaway“, Hochspannung) in den Fokus der Medien rücken (z. B. durch einen Unfall ggf. mit Verletzten oder Toten) rückt der Sicherheitsaspekt wieder stärker in den Fokus und kann zu einer starken Barriere für den Umstieg auf Elektrofahrzeuge werden.

Sollen Elektrofahrzeuge konventionelle Fahrzeuge ersetzen, müssen sie ebenso allwettertauglich sein wie diese. Widrige Wetterlagen wie z. B. Regenschauer oder Eis und Schnee dürfen zu keinem Komfortverlust und auf keinen Fall zu einer Minderung der Sicherheit führen. Diese Aspekte betreffen alle der Witterung ausgesetzten Komponenten: Fahrzeug, Ladestationen und insbesondere die Verbindung zwischen beiden.

Ein anderer Sicherheitsaspekt ergibt sich aus der Möglichkeit des induktiven Ladens. Aus Sicht der Nutzer kann das induktive Laden den Komfort erhöhen.

Es wird kein Kabel mehr benötigt und der umständliche Anschlussvorgang des Elektrofahrzeuges entfällt. Das induktive Ladesystem ist zudem vor Vandalismus geschützt und erhöht die Barrierefreiheit des Straßenraums insbesondere für Blinde und Sehbehinderte (z. B. Stolpergefahr durch Kabel). Auf der anderen Seite wird es einige Nutzer geben, die Bedenken bei der elektromagnetischen Verträglichkeit des Systems äußern und diesem aus gesundheitlichen Gründen eher kritisch gegenüberstehen. Die technischen Details zum Vergleich des induktiven und kabelgebundenen Ladens werden in Kapitel D.V dargestellt.

Der moderne Mensch ist den Umgang mit elektrischen Geräten gewohnt. In der Regel erwartet der Nutzer, dass von angeschlossenen Geräten keine Brandgefahr ausgeht und schließt elektrische Verbraucher sorglos an. Ein ladendes Elektrofahrzeug zieht eine vergleichsweise hohe Strommenge. Eine ausreichende Hausinstallation ist deshalb unbedingt erforderlich, um Brände zu vermeiden. In vielen älteren Bestandsbauten ist dies nicht gegeben.

II. Wirtschaft

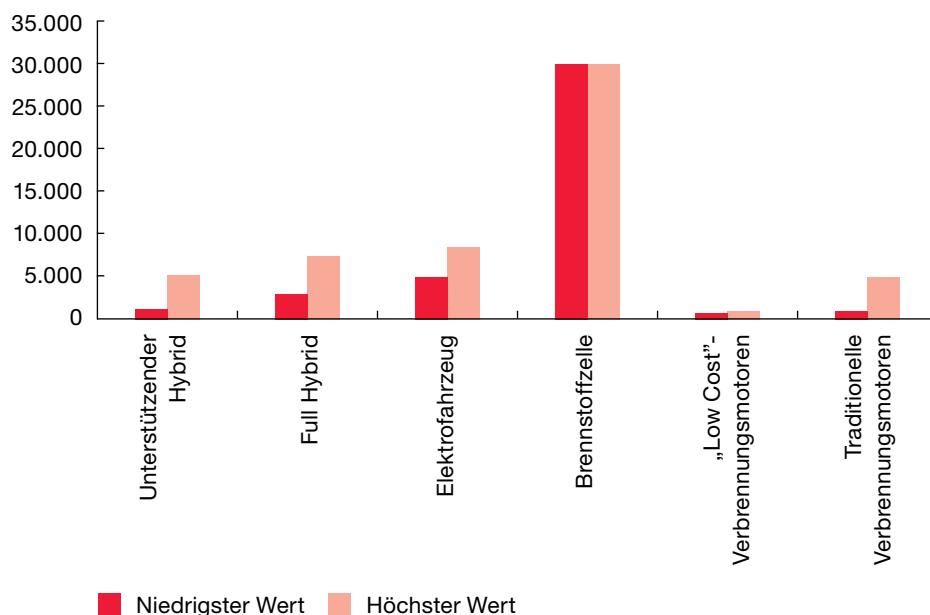
2.1 Kostenentwicklung

Der Übergang zu einer „grünen“ Verkehrslandschaft bedeutet einen Strukturwandel, der zumindest in den ersten Jahren mit hohen Kostenbelastungen verbunden ist. Während das Ziel, die Bedeutung des Verbrennungsmotors im Straßenverkehr zu senken, weitgehend unstrittig ist, ist fraglich, mit welcher Antriebstechnologie dieses Ziel am besten erreicht wird. In diesem Zusammenhang spielen neben den in diesem Kapitel betrachteten Kostenaspekten Punkte wie z. B. Geschwindigkeit, Reichweite oder Ladezeit eine wichtige Rolle. Insbesondere bei den beispielhaft genannten drei Punkten schneidet die Brennstoffzelle gegenüber der Batterie bereits heute vergleichsweise gut ab.⁷⁰

Auf der anderen Seite haben Brennstoffzellenfahrzeuge Nachteile wie z. B. Temperaturempfindlichkeit, Energieverlust oder Wasserempfindlichkeit. Genauso liegen die Produktionskosten für den Antriebsstrang nach Berechnungen von UNITY mit knapp 30.000 Euro deutlich über denen von Fahrzeugen mit anderen Antriebstechnologien.⁷¹ Bezüglich des Transports und der Lagerung des Wasserstoffs gibt es weitere noch zu untersuchende Bereiche.⁷²

In den nächsten Jahren und evtl. auch Jahrzehnten werden unterschiedliche Konzepte nebeneinander weiterentwickelt. Neben Konzepten für batteriebetriebene Fahrzeuge, Brennstoffzellenfahrzeuge und Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor scheint auch langfristig eine Kombination dieser Konzepte möglich (z. B. PHEV, Range Extender). In einer aktuellen Studie von ca. 30 namhaften Unternehmen

Abb. 40 Produktionskosten je Antriebsstrang.



Quelle: UNITY (2011).

verschiedenster Branchen (bspw. Automobilhersteller, Öl- und Gasproduzenten und -versorger etc.) wurden die Kosten, die Emissionen, die Energieeffizienz sowie die Fahrgeschwindigkeit von Fahrzeugen unterschiedlicher Fahrzeugklassen von verschiedenen Antriebstechnologien gegenübergestellt und prognostiziert. In der Studie wird u. a. gezeigt, dass sich die TCO von PHEV, BEV und FCEV den Kosten von vergleichbaren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor annähern werden.⁷³

In Deutschland werden zurzeit bereits 1.150 Ladesäulen (1. Juni 2011, LEMnet.org) und nur etwa 30 Wasserstofftankstellen (Ende 2010)⁷⁴ betrieben. Die Kosten einer Wasserstofftankstelle⁷⁵ liegen deutlich über den Kosten eines Ladepunkts. Wenn die Frequenz der Autos an den Tankstellen, die durch die

Ladezeiten beeinflusst wird, betrachtet wird, wird deutlich, dass Wasserstofftankstellen unter diesem Aspekt einen deutlichen Vorteil gegenüber Ladepunkten haben. Hinzu kommt, dass die Dichte von Ladepunkten aufgrund der begrenzten Reichweite batteriebetriebener Fahrzeuge vergleichsweise hoch sein muss. Daher wird die Anzahl der benötigten Ladepunkte die Anzahl der benötigten Wasserstofftankstellen deutlich übersteigen.

⁷⁰ McKinsey & Company et al (2010), S. 44.

⁷¹ UNITY (2011).

⁷² Germany Trade and Invest (2011).

⁷³ McKinsey & Company et al (2010), S. 33 ff.

⁷⁴ UNITY (2011), S. 16.

⁷⁵ Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg (2011).

Tab. 10 Kosten verschiedener Antriebstechnologien nach Fahrzeugklassen im Jahr 2030 (T€).¹

	Fahrzeug	Kaufpreis	Wartung und Instandhaltung	Betankungskosten	Infrastruktur	TCO
A/B Segment	FCEV	16,0	2,5	4,4	1,2	24
	BEV	15,2	2,2	2,7	2,5	22,6
	PHEV	13,7	2,8	3,4	1,4	21,3
	ICE-Gasoline	11,1	3,0	4,1	0,5	18,7
	ICE-Diesel	11,2	3,0	4,1	0,4	18,7
C/D Segment	FCEV	25,7	4,2	5,2	1,4	36,5
	BEV	26,3	3,6	3,2	2,5	35,6
	PHEV	25,0	4,9	3,7	1,4	35,0
	ICE-Gasoline	21,1	5,4	5,3	0,6	32,3
	ICE-Diesel	21,6	5,6	5,2	0,5	32,9
J Segment	FCEV	32,7	5,3	6,2	1,7	45,9
	BEV	37,3	5,2	3,9	2,5	48,9
	PHEV	34,7	6,7	5,1	1,4	47,9
	ICE-Gasoline	28,3	7,0	6,9	0,8	42,9
	ICE-Diesel	29,1	7,4	7,2	0,7	44,4

¹ Annahmen: Lebensdauer: 15 Jahre, Jährliche Kilometerleistung: 12.000, keine Berücksichtigung von Steuern

Quelle: McKinsey & Company et al (2010)

Erste Berechnungen gehen davon aus, dass in Deutschland insgesamt 952.000 Ladepunkte benötigt werden.⁷⁶ Demgegenüber wird erwartet, dass für den Aufbau einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur lediglich 1.000 Tankstellen notwendig sind.⁷⁷

Berechnungen im zweiten Bericht der NPE zeigen einen Bedarf von 900.000 Ladepunkten im Jahr 2020. Folgende Annahmen liegen den Berechnungen zugrunde:⁷⁸

- Fahrzeuge werden durchschnittlich alle zwei Tage geladen.
- PHEV und REEV werden bei der Bedarfsidentifizierung genauso wie Elektroautos behandelt.

- Um Vertrauen bei den Nutzern zu schaffen (Reichweite), werden für je zehn Elektrofahrzeuge ein öffentlicher oder halböffentlicher Ladepunkt zusätzlich geplant.
- Schnelle Zwischenladung ist ein wichtiger Bestandteil der öffentlichen Ladeinfrastruktur. Bis zum Jahr 2020 wird eine maximale Ladeleistung von 100 kWh erwartet.

⁷⁶ Portal-21 Onlineverlag GmbH (2010).

⁷⁷ Handelsblatt (2011).

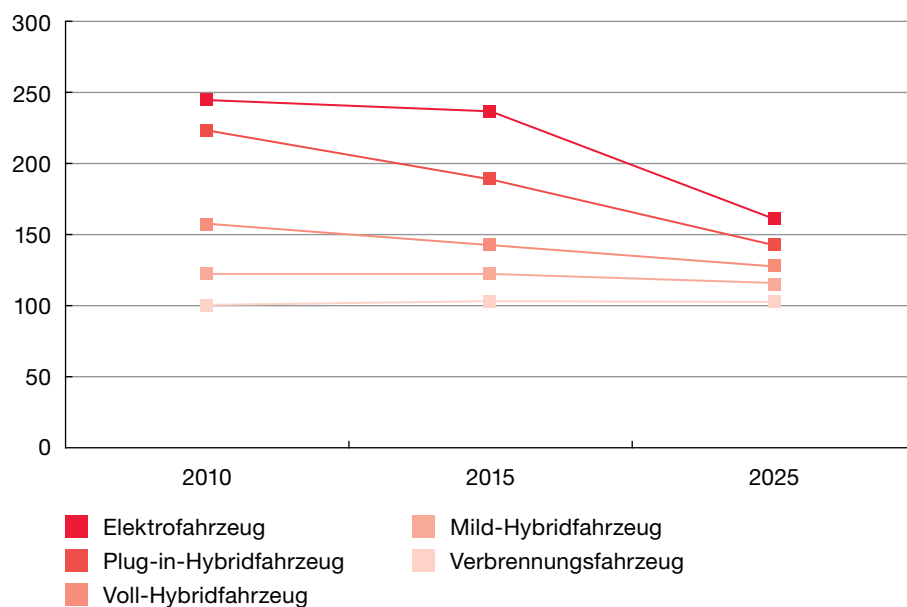
⁷⁸ NPE (2011), S. 36 f.

Bezüglich der weiteren Entwicklung bis zum Jahr 2050 wird prognostiziert, dass batteriebezogene Fahrzeuge gerade im mittleren Fahrzeugsegment leichte Vorteile gegenüber PHEV und FCEV Fahrzeugen haben. Die TCO sind ähnlich hoch wie die von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. In Fahrzeugklasse J (SUVs) hingegen sind Brennstoffzellenfahrzeuge allen anderen Antriebstechnologien deutlich überlegen. In der Fahrzeugklasse der Kleinwagen sind Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor auch langfristig günstiger als alle anderen Antriebsarten. Nach dieser Untersuchung wäre eine parallele Entwicklung unterschiedlicher Antriebsarten durchaus sinnvoll, da jede Antriebsart vermutlich je nach Fahrzeugklasse Vorteile aufweisen kann. Gründe für die Annäherung der TCOs liegen bei batteriebetriebenen Fahrzeugen im Wesentlichen in der Verminderung der Kosten der Komponenten (Batterie, Elektromotor etc.) und bei Brennstoffzellenfahrzeugen hauptsächlich an sinkenden Kosten des Brennstoffzellensystems. Annahm gemäß werden die Kosten für die Brennstoffzellensysteme allein zwischen den Jahren 2010 und 2020 um 90 Prozent sinken.⁷⁹

In einer aktuellen Studie von Oliver Wyman wird bestätigt, dass sich die Herstellungskosten von Verbrennungsfahrzeugen und batteriebetriebenen Fahrzeugen immer mehr annähern.⁸⁰

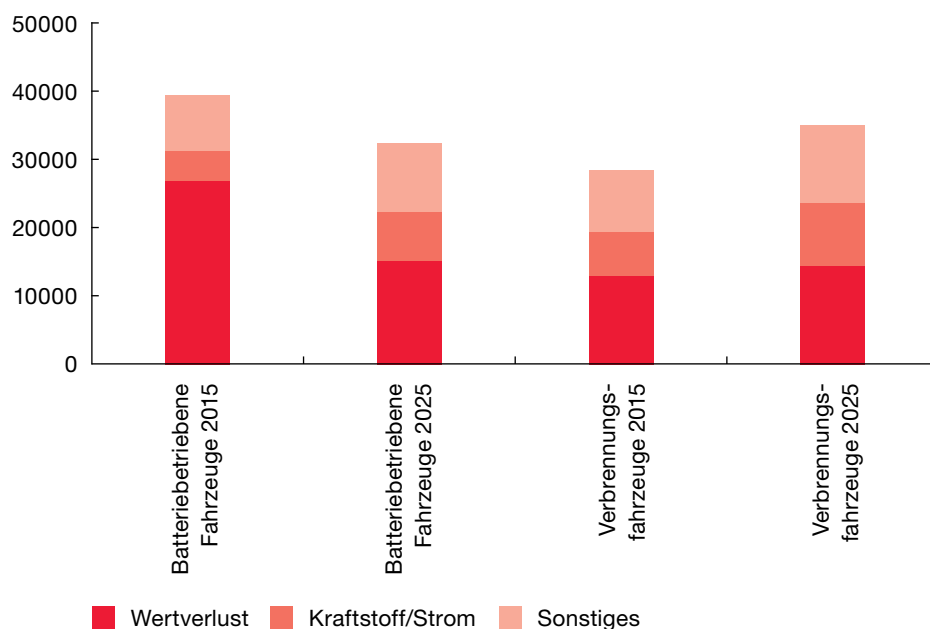
Eine Betrachtung der TCO führt in einer weiteren Studie⁸¹ zu dem Ergebnis, dass bereits im Jahr 2025 die TCO eines erworbenen Elektroautos unterhalb der TCO eines erworbenen Verbrennungsfahrzeugs liegen. Das ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass der Wertverlust eines Elektroautos, der zu einem Großteil auf die Haltbarkeit der Batterie zurückzuführen ist, in einem betrachteten 4-Jahres-Zeitraum deutlich gesenkt werden kann.

Abb. 41 Annahmen zur Entwicklung der Herstellungskosten von Fahrzeugen nach Antriebstechnologie.



Quelle: Wyman, O. (2009).

Abb. 42 Vergleich der TCO eines Verbrennungs- und eines batteriebetriebenen Fahrzeugs.



Quelle: Wyman, O. (2010).

⁷⁹ McKinsey & Company et al (2010)

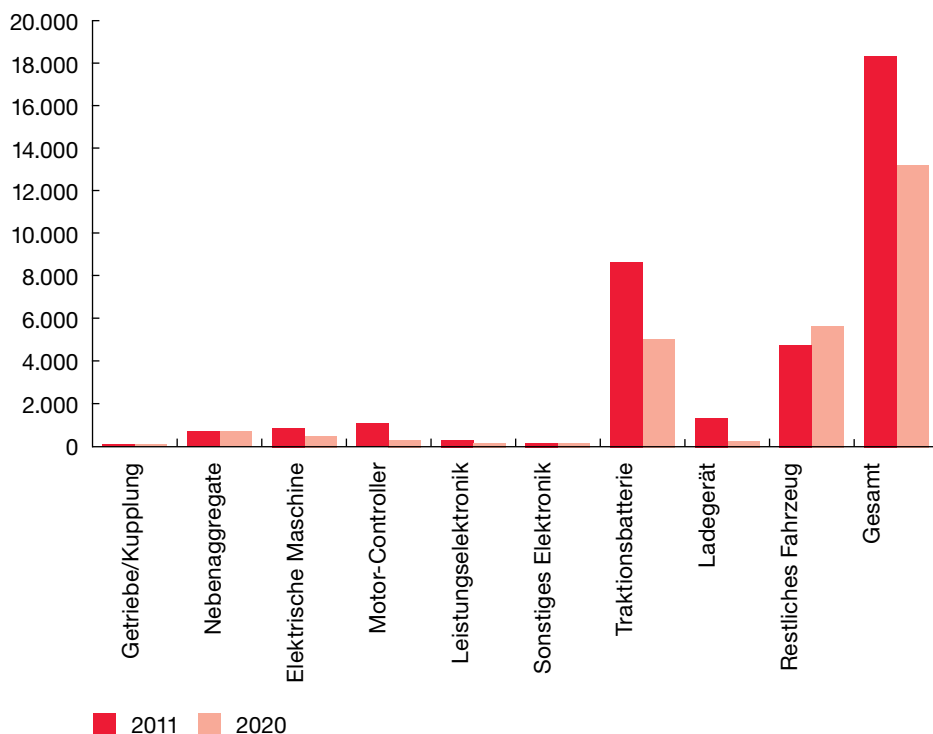
⁸⁰ Wyman, O. (2009).

⁸¹ Wyman, O. (2010).

Exkurs TCO



Quelle: NPE (2011).

Abb. 43 Entwicklung der Herstellungskosten eines Elektrofahrzeugs.

Quelle: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg/e-mobil BW GmbH/Fraunhofer IAO (2010).

Heutzutage erklären speziell die hohen Batteriekosten den Großteil der Differenz des Preises eines Elektrofahrzeugs gegenüber einem Verbrennungsfahrzeug. Gemäß der Ergebnisse einer Studie des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg besteht das Potenzial, diese in Zukunft erheblich zu senken.⁸²

Demnach ist die Entwicklung der Batteriepreise eine wesentliche Komponente, die die Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen entscheidend beeinflussen wird. Hinsichtlich der Entwicklung der Batteriepreise wird von Baum, Dobberstein und Schuler auf Basis bestehender Prognosen zukünftig eine jährliche Abnahme von 6 Prozent bis 10 Prozent erwartet. Diese große Spanne zeigt insbesondere dass weiterhin Unsicherheiten hinsichtlich der Realisierung und Intensität einer Massenproduktion und von Entwicklungsfortschritten bestehen.⁸³

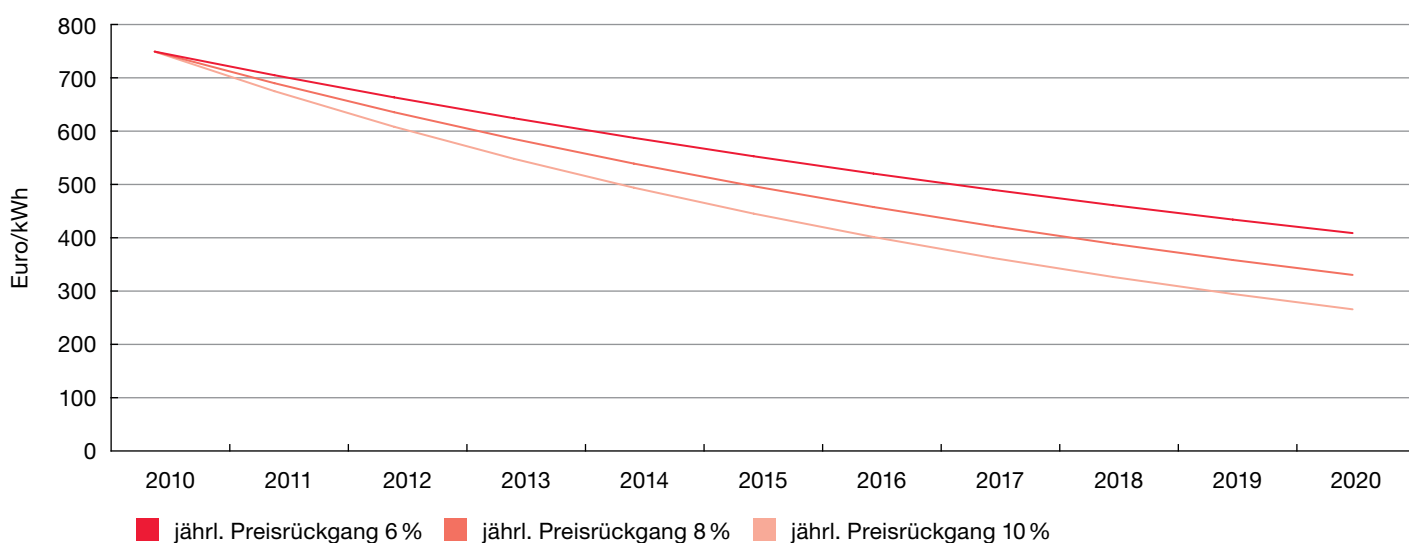
Die Autoren einer aktuellen Studie der Boston Consulting Group (BCG) erwarten ebenfalls stark sinkende Batteriekosten. So berechnen sie für den Zeitraum 2009 bis 2020 einen Rückgang der Kosten von etwa 60 bis 65 Prozent.⁸⁴ Eine Studie von Credit Suisse kommt zu einem ähnlichen Ergebnis: Demnach sinken die Kosten für Lithium-Ionen Batterien im gleichen Zeitraum um 58 Prozent.⁸⁵

⁸² Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg/e-mobil BW GmbH/Fraunhofer IAO (2010), S. 43.

⁸³ Baum/Dobberstein/Schuler (2011).

⁸⁴ The Boston Consulting Group Inc. (2010).

⁸⁵ Credit Suisse Securities (USA) LLC (2010), S. 7.

Abb. 44 Prognose zur Entwicklung der Batteriepreise.

Quelle: Baum/Dobberstein/Schuler (2011), S. 6.

Bain & Company erwarten, dass die Batteriekosten bereits im Jahr 2015 auf einem massentauglichen Niveau liegen werden. Entwicklungen wie bspw. Massenproduktion, sinkende Preise für Basischemikalien, Vereinfachung von Test- und Prüfverfahren, Prozess- und Montageautomatisierung können dazu führen, dass die Herstellungskosten pro kWh im Jahr 2015 auf einem Niveau zwischen 210 und 290 Euro und im Jahr 2020 zwischen 140 und 210 Euro liegen werden.⁸⁶

Gemäß den Ergebnissen des zweiten Berichts der NPE sinken die Batteriekosten im Zeitraum 2011 bis 2020 um 65 Prozent.⁸⁷

Insbesondere dieser Sachverhalt trägt die Annahme, dass sich die Netto-Listenpreise von elektrisch betriebenen Fahrzeugen und konventionellen Fahrzeugen im Zeitablauf weiter annähern werden.⁸⁸

Tab. 11 Entwicklung der Batteriekosten.

	2011	2014	2017	2020
Batteriekosten Euro/kWh	800	400	300	280

Quelle: NPE (2011).

Tab. 12 Vergleich der Entwicklung der Listenpreise von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebstechnologien.

		2011	2014	2017	2020
A/B	Otto	10.403	10.982	11.176	11.176
	BEV	27.444	19.336	17.228	16.720
C	Diesel	19.352	19.615	19.702	19.702
	Otto REEV	34.213	27.197	25.281	24.725
D	Diesel	32.787	33.497	33.734	33.734
	Otto PHEV	44.077	39.553	37.860	37.860
NFZ	Diesel	40.000	42.000	42.000	42.000
	Diesel PHEV	54.797	52.048	50.793	50.430

Quelle: NPE (2011).

⁸⁶ Bain & Company (2010), S. 14 f.

⁸⁷ NPE (2011).

⁸⁸ NPE (2011).

Die Rohstoffknappheit⁸⁹ kann auf der anderen Seite dazu führen, dass der Preis der Materialien für die Batterie in Zukunft deutlich ansteigen wird. Ähnlich den begrenzten Ölvorkommen bestehen in Deutschland keine nennenswerten Lithiumreserven. Um die Lithium-Ionen-Technologie nutzen zu können, müsste das Lithium aus anderen Ländern wie z. B. Argentinien oder Chile importiert werden.⁹⁰

Neben der geografischen Komponente ist auch die allgemeine Knappheit der Ressource ein wesentliches Thema. Tahil berechnet, dass die Versorgung einer Milliarde PHEVs (entspricht in etwa dem derzeitigen globalen Gesamtfahrzeugbestand) mit jeweils einer 5-kWh-Lithium-Ionen-Batterie einem Verbrauch von 24 Prozent der gesamten Lithiumreserven entspricht.⁹¹ Würden alle Fahrzeuge rein elektrisch betrieben, entspräche dies einem Anteil von etwa 60 Prozent aller Lithiumreserven.⁹² Das zeigt noch einmal wie wichtig die Entwicklung geeigneter Recyclingverfahren ist. Neben dem Recyclingvorgang selbst ist auch der Kreislauf, bzw. die sichere Überführung der Batterie in die und aus der Recyclingseinheit sicherzustellen.⁹³

Um die Marktmacht der Erzeugerstaaten und auch der Lieferanten zu mindern, ist der Abschluss langfristiger Lieferverträge oder auch der Aufbau von Partnerschaften notwendig. Des Weiteren können Alternativen zur Lithium-Ionen-Technologie genutzt bzw. entwickelt werden.

Tab. 13 Geografische Verteilung wesentlicher Lithiumvorkommen.

Land	Produktion 2005 (in t)	Nutzbare Reserven (in t)	Reserven gesamt (in t)
USA	1.000 ¹	38.000	410.000
Argentinien	2.000	2.000.000*	2.000.000*
Australien	4.000	160.000	260.000
Bolivien	–	–	5.400.000
Brasilien	240	190.000	910.000
Kanada	700	180.000	360.000
Chile	8.000	3.000.000	3.000.000
China	2.700	640.000	1.100.000
Portugal	320	k. A.	k. A.
Russland	2.200	k. A.	k. A.
Simbabwe	240	23.000	27.000
Gesamt	21.400	6.200.000	13.400.000

¹ Geschätzter Wert.

Quelle: Tahil (2006).

⁸⁹ Hock (2011).

⁹⁰ Tahil (2006).

⁹¹ Tahil (2006).

⁹² Wallentowitz/Freialdenhoven (2011).

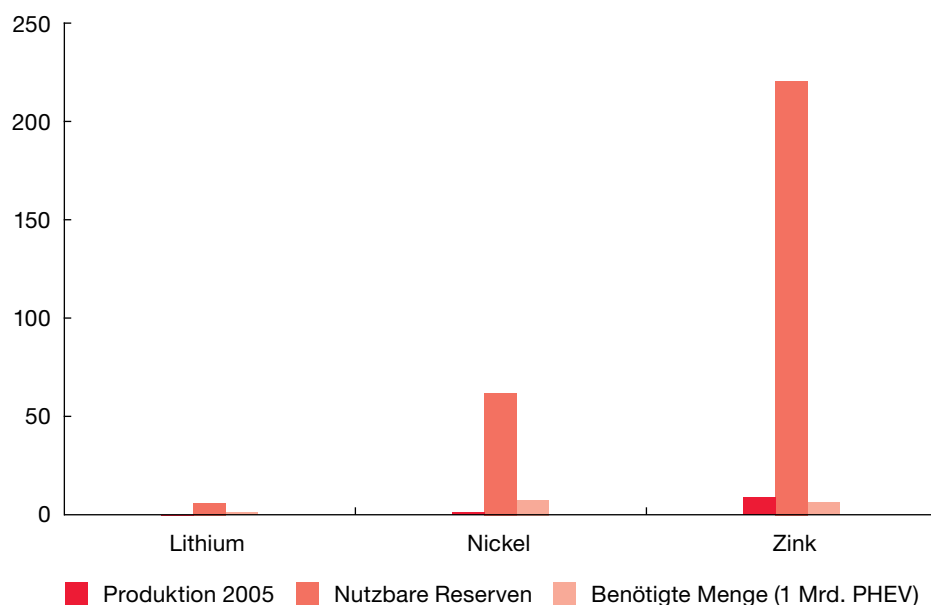
⁹³ Zu Lithiumvorkommen und Recycling vgl. auch: Angerer/Marscheider-Weidemann/Wendl/Wietschel (2009), Aul/Krause (2010), Steinbild/Aul (2011).

Neben Lithium-Ionen-Batterien werden u. a. Natrium-Nickelchlorid-Batterien, Nickel-Metallhydrid-Batterien, Zink-Luft-Batterien, Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien (Post-Lithium-Ionen-Technologien) sowie Superkondensatoren⁹⁴ und Redox-Flow-Akkumulatoren als potenzielle Speichermedien diskutiert.^{95,96,97} Tahil zeigt, dass bspw. Nickel- und Zinkvorräte wesentlich reichhaltiger als Lithiumvorräte vorhanden sind.⁹⁸

Andere als Lithium-Ionen-Batterietypen einzubeziehen, hat Auswirkungen auf die prognostizierte Kostenentwicklung und auf andere Bereiche wie Recycling und Beschädigung durch Unfall, die unter Normungsaspekten zu betrachten sind. Neben den Kostensenkungen bei einzelnen Komponenten ist die Zusammenführung derselben zu einem Elektrofahrzeug in einem massenproduktionstauglichen Prozess ein Schlüssel für kostengünstige Elektrofahrzeuge. Die Integration der neuen Komponenten wie HV-Bordnetz, Leistungselektronik, Elektromotor und Batterie in den Produktionsprozess stellt eine große Herausforderung dar. Insbesondere auch für die Mitarbeiterqualifikation und -sicherheit. Konzerninterne und Branchenstandards können hier helfen, Prozesse zu rationalisieren, sicherer zu machen und die Qualität zu steigern.

Es wird erwartet, dass die Kosten für Wartung und Instandhaltung bei einem Elektrofahrzeug geringer als bei einem Verbrennungsfahrzeug sein werden. Betriebskosten setzen sich bei einem

Abb. 45 Produktion, Reserven und potenzieller Bedarf an Metallen.



Quelle: Tahil (2006).

Verbrennungsfahrzeug im Wesentlichen aus den Kraftstoffkosten und den Kosten für Wartung und Instandhaltung zusammen. Bei einem Elektrofahrzeug bilden die Stromkosten einen wesentlichen Teil der Betriebskosten ab. Diese werden annahmegemäß geringer als die Kraftstoffkosten eines Verbrennungsfahrzeugs sein. Bei den Wartungs- und Instandhaltungskosten sind es insbesondere Kosten für den Wechsel eines Ölfilters, des Luftfilters und der Zündkerzen, die bei einem Elektroauto in der Form nicht auftreten.⁹⁹

Bei Hybridfahrzeugen wird oftmals angenommen, dass die Kosten unterhalb der Kosten eines reinen Elektrofahrzeugs und oberhalb der Kosten eines reinen Verbrennungsfahrzeugs liegen. Insbesondere bzgl. der Entwicklung der Betriebskosten ist diese Annahme zu hinterfragen. So entstehen bei Hybriden sowohl Betriebskosten für den Kraftstoff- als auch für den Stromverbrauch. Auch bei Wartung und Instandhaltung sind sowohl Komponenten wie Zündkerzen und Ölfilter als auch die Wartungskosten eines Elektrofahrzeugs zu beachten.

⁹⁴ DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2009), S. 48: „Für Kondensatoren für den E-Antrieb wird Forschungsbedarf gesehen.“

⁹⁵ UNITY (2011).

⁹⁶ Bakker (2010), S. 19–26.

⁹⁷ NPE (2011), S. 19.

⁹⁸ Tahil (2006).

⁹⁹ Baum/Dobberstein/Schuler (2011).

Im Bereich Wartung und Instandhaltung kann die verstärkte Integration von IKT in das Elektrofahrzeug neue Perspektiven für Kosteneinsparungen eröffnen. So können bestimmte Themenbereiche mittels einer Ferndiagnose bearbeitet werden. Neben dem Erkennen von Fehlfunktionen kann zum Teil auch eine Reparatur per Fernsteuerung möglich sein.

Energie Impuls OWL e. V. hat die entstehenden Batteriekosten mit den vermiedenen Energiekosten verglichen. Demnach zeigt sich in einer untersuchten Variante A (hohes Energiekosten- und niedriges Batteriekostenszenario), dass speziell bei Leichtfahrzeugen mit zwei Sitzen, bei PHEV-Oberklassewagen und bei Leichtbau-Transportern die vermiedenen Energiekosten im Jahr 2015 bereits höher als die Batteriekosten sind. Damit ist die Anschaffung eines solchen Fahrzeugs bereits im Jahr 2015 wirtschaftlich rentabel und bedarf keiner Förderung. Reine Elektro-Pkw im Klein- und Mittelklassewagensegment bedürfen hingegen weiterhin hoher Förderung. Im Jahr 2020 führen insbesondere die weiter sinkenden Batteriekosten dazu, dass in allen betrachteten Segmenten kaum noch relevanter Förderbedarf besteht.¹⁰⁰

Steigende Kraftstoffkosten für Verbrennungsfahrzeuge können die Entwicklung der Elektromobilität weiter befördern, da der Vorteil niedriger Betriebskosten weiter an Bedeutung gewinnt. Ergebnisse des AXA-Verkehrssicherheitsreport 2009 zeigen, dass etwa 54 Prozent der befragten Autofahrer angeben, ihr Fahrverhalten aufgrund der gestiegenen Benzinpreise geändert zu haben.¹⁰¹

Gemäß einer aktuellen PwC-Befragung sind die geringen Betriebskosten für Nutzer der Hauptgrund, um einen evtl. Aufschlag auf die konventionellen Anschaffungskosten zu akzeptieren. Andere Gründe sind Umweltaspekte oder Steuervorteile.¹⁰²

Tab. 14 Prognose der Betriebskosten eines Verbrennungs- und eines Elektrofahrzeugs im Jahr 2020.

Fahrzeugtyp	Benzinfahrzeug	Elektrofahrzeug
Kraftstoffverbrauch und -kosten		
Benzinpreis (Euro/l)	1,66–2,16	–
Kraftstoffverbrauch (l/100 km)	5,5	–
Kraftstoffkosten (Euro/km)	0,091–0,119	–
Stromverbrauch und -kosten		
Strompreis (Euro/kWh)	–	0,22
Stromverbrauch (kWh/km)	–	0,135
Stromkosten (Euro/km)	–	0,0397
Kosten für Wartung und Instandhaltung		
Ölwechsel mit Ölfilter (Euro/km)	0,007	–
Luftfilter (Euro/km)	0,001	–
Zündkerzen (Euro/km)	0,002	–
Wartungskosten Elektrofahrzeug (Euro/km)	–	~0,005
Wechsel Bremsflüssigkeit (Euro/km)	0,002	0,002
Wechsel Bremsbeläge (Euro/km)	0,006	0,006
Reifen inkl. Montage (Euro/km)	0,01	0,01
Summe Wartung und Instandhaltung (Euro/km)	0,028	0,023
Summe Betriebskosten (Euro/km)	0,119–0,147	0,063

Quelle: Baum/Dobberstein/Schuler (2011).

¹⁰⁰ Kortlüke/Pieprzyk (2010), S. 11 ff.

¹⁰¹ AXA Konzern AG (2010), S. 10.

¹⁰² PwC (2011).

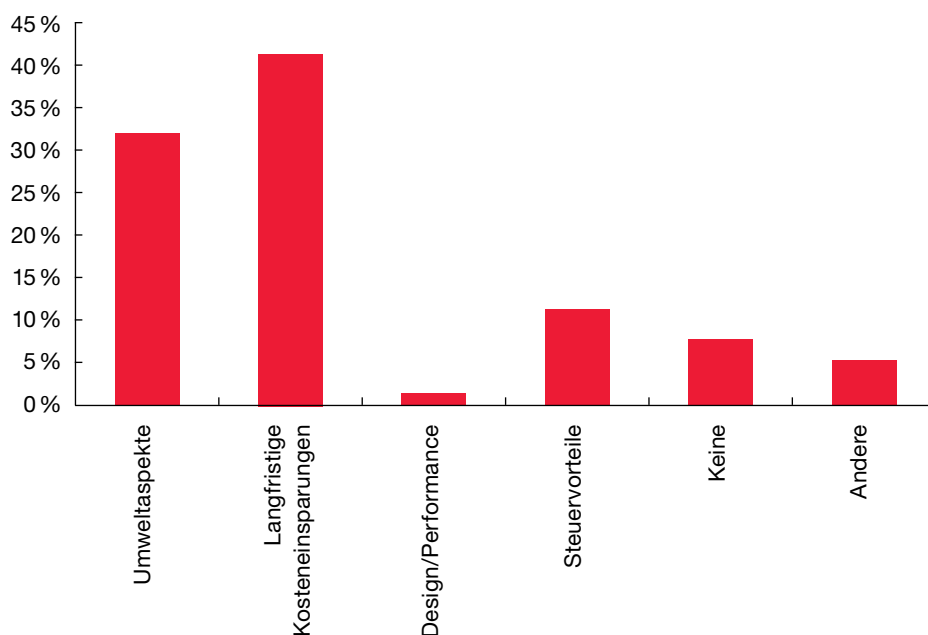
Ein standardisiertes Verfahren zur Ermittlung und plastischen Darstellung der TCO und somit eine zuverlässige Lifecycle-Betrachtung kann die Bereitschaft der Nutzer, höhere Anschaffungskosten zu akzeptieren, stärken.

2.2 Wirtschaftliche Geschäftsmodelle

Im Jahr 2020 sollen nach den Vorstellungen der Bundesregierung eine Million Elektroautos auf deutschen Straßen fahren.¹⁰³ Damit wurde zwar die Menge an Fahrzeugen definiert, aber nicht die zukünftige Anzahl der Nutzer. Würde diese Million Fahrzeuge ausschließlich von Privatleuten erworben, würden ein bis zwei Personen das Auto regelmäßig nutzen. Würde diese Million jedoch mehrheitlich für Carsharing-Konzepte genutzt, stiege die Anzahl der potenziellen Nutzer um ein Vielfaches. Neben bestehenden konventionellen Geschäftsmodellen, die auf die Elektromobilität übertragen werden können, gibt es eine Reihe alternativer Modelle, die zurzeit diskutiert werden.¹⁰⁴ Ziele der Entwicklung eigener Geschäftsmodelle für die Elektromobilität sind zum einen die Kompensierung von Nachteilen wie geringer Reichweite und hoher Kosten, die aus dem Kauf eines Elektroautos resultieren, und zum anderen die Realisierung von Effizienzvorteilen. Zudem bestehen Möglichkeiten, qualitative Potenziale zu heben.

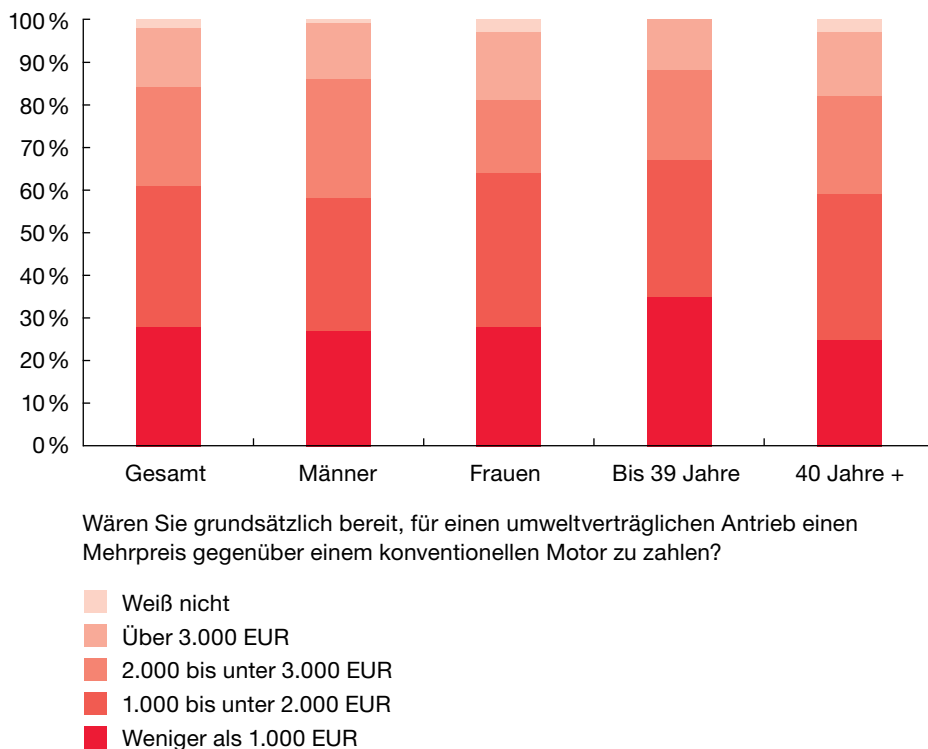
Da der Markt für Elektromobilität allein schon aus Verfügbarkeitsgründen gegenwärtig nicht in relevanter Weise besteht, werden auch spezifische Geschäftsmodelle erst mittel- bis langfristig umgesetzt werden können. Es ist durchaus möglich, dass zukünftig in verschiedenen Phasen unterschiedliche Geschäftsmodelle erprobt und realisiert werden.

Abb. 46 Mögliche Gründe einen Mehrpreis für Elektroautos zu akzeptieren.



Quelle: PwC (2011).

Abb. 47 Bereitschaft der Nutzer einen Mehrpreis für ein Elektroauto zu zahlen.



Quelle: ARAL AG (2011).

¹⁰³ Die Bundesregierung (2009), S. 2.

¹⁰⁴ Wallentowitz/Freialdenhoven (2011), S. 184–192.

Bei den hier vorgestellten Geschäftsmodellen kann allgemein unterschieden werden, ob sie vorrangig den Bereich der Fahrzeugnutzung oder der Fahrzeugversorgung betreffen. In beiden Kernbereichen können strategische Partnerschaften wesentlich zum Erfolg der Konzepte beitragen.

Fahrzeugkauf

Elektroautos werden auch zukünftig über konventionelle Varianten erworben werden können. Das Fahrzeug wird dann als eigenständige Einheit inklusive Batterie beim Händler gekauft werden. Ohne entsprechende Kaufanreize wird der Kunde das Elektroauto auch zukünftig zu einem höheren Preis als ein Auto mit Verbrennungsmotor erwerben müssen. In einer aktuellen Studie hat ARAL die Bereitschaft der Nutzer, mehr Geld zugunsten einer umweltfreundlichen Antriebstechnologie auszugeben, getestet.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die Nutzer bereit sind, im Mittel einen Aufpreis i. H. v. 1.564 Euro für ein Auto mit umweltverträglicher Antriebstechnologie zu zahlen. Eine geschlechtsspezifische Unterscheidung zeigt, dass die Werte bei Männern und Frauen auf nahezu identischem Niveau liegen.¹⁰⁵

In diesem Zusammenhang ist der Kauf von gebrauchten Fahrzeugen gesondert zu betrachten, da der Umgang mit gebrauchten Batterien bzw. deren Einpreisung zu prüfen ist.

Die hohe Differenz der Anschaffungskosten von Verbrennungsfahrzeugen und Elektrofahrzeugen kann dazu führen, dass zunächst kommerzielle Anbieter (Carsharing-Unternehmen, Vermieter) und Unternehmen (Fuhrparks) als Abnehmer von Elektrofahrzeugen auftreten. Dieser Trend lässt sich auch anhand der Ergebnisse einer neuen Studie von Dataforce ableiten.

Tab. 15 Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „Fahrzeugkauf“.

Vorteile	Nachteile
Vollständiger Eigentumserwerb	Hohe Anschaffungskosten
Hohe Flexibilität	Risiko der Haltbarkeit der Batterie verbleibt beim Fahrzeugeigentümer
Unabhängig von Nutzungsentgelten/Tarifen Dritter	Festlegung auf ein Verkehrsmittel/einen Fahrzeugtyp
Verkaufspreis	Dauerhafter Stellplatz mit Ladeinfrastruktur notwendig
	Lange Ladezeiten, geringe Reichweite

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Tab. 16 Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „Fahrzeugleasing“.

Vorteile	Nachteile
Geringe Anschaffungskosten	Leasinggebühren
Begrenzte Betriebskosten	Kein Eigentum
Risiko der Haltbarkeit der Batterie verbleibt beim Anbieter	Kein Verkaufspreis wird erzielt
Unabhängig von Nutzungsentgelten/Tarifen Dritter	Dauerhafter Stellplatz mit Ladeinfrastruktur benötigt
Hohe Flexibilität	Festlegung auf ein Verkehrsmittel/einen Fahrzeugtyp
	Lange Ladezeiten, geringe Reichweite

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Demnach wurden in den ersten fünf Monaten des Jahres 2011 insgesamt etwas mehr als 1.000 Elektrofahrzeuge neu zugelassen. Während der Anteil der Privatanutzer bei lediglich 4,9 Prozent lag, wurden 45,4 Prozent der Neuzulassungen in Fahrzeugflotten eingesetzt. Der Anteil der Akteure Autobauer, -handel und -vermieter lag demgegenüber bei 49,7 Prozent.¹⁰⁶

Fahrzeugleasing

Beim Fahrzeugleasing werden dem Kunden die Nutzungsrechte an einem Fahrzeug für einen bestimmten Zeitraum und/oder eine bestimmte Kilometeranzahl übertragen. Nach dem Ende der Nutzungsdauer geht das Eigentum i. d. R. nicht auf den Kunden über. Das Risiko der Haltbarkeit der Batterie verbleibt beim Leasinggeber und wird dementsprechend in die Leasinggebühr eingepreist.

¹⁰⁵ ARAL AG (2011).

¹⁰⁶ Bundesverband eMobilität e. V. (2011), S. 20 f.

Batterieleasing

Bei diesem Geschäftsmodell wird das Elektrofahrzeug ohne Batterie erworben. Stattdessen least der Fahrzeugkäufer die Batterie parallel bei einer Leasinggesellschaft. Als Leasinggeber können z. B. Fahrzeug- oder Batteriehersteller oder auch Energieunternehmen fungieren. Das Risiko der Haltbarkeit der Batterie verbleibt beim Leasinggeber. Eine Größe, die die Höhe der Leasingraten maßgeblich beeinflusst, ist der schwer zu bestimmende Restwert der Batterie nach Vertragslaufzeit (s. u.). Dem Geschäftsmodell Batterieleasing werden nach einer aktuellen Studie beträchtliche Umsatzpotenziale von bis zu 12 Milliarden Euro p. a. zugeschrieben.¹⁰⁷

Batteriewechselsysteme

Das Geschäftsmodell Batteriewechselsysteme erlaubt den Kunden, längere Distanzen mit dem Elektroauto zurückzulegen ohne lange Wartezeiten während des Ladevorgangs in Anspruch nehmen zu müssen. Das Unternehmen Better Place hat eine entsprechende Geschäftsidee und Technologie entwickelt. Vergleichbar mit dem Batterieleasing werden Fahrzeug und Batterie getrennt betrachtet. Der Kunde erwirbt das Fahrzeug und kauft gleichzeitig bei Better Place den Strom für eine festgelegte Anzahl an Kilometern. Der Strom kann an unterschiedlichen Ladestationen bezogen werden. Mit den Batterien können zurzeit Reichweiten von bis zu 160 km zurückgelegt werden. Um längere Distanzen in einem vernünftigen Zeitrahmen zurücklegen zu können, wird die entladene Batterie an speziell ausgerüsteten Wechselstationen durch eine neue, vollgeladene Batterie ersetzt. Der Vorgang des Batteriewechsels selbst dauert nur wenige Minuten. Um die Versorgung mit erneuerbaren Energien zu gewährleisten, wird teilweise über eine dezentrale Energieversorgung z. B. über eine Photovoltaikanlage auf dem Dach der Wechselstation nachgedacht.

Tab. 17 Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „Batterieleasing“.

Vorteile	Nachteile
Mittlere Anschaffungskosten	Hohe Betriebskosten
Eigentum am Fahrzeug	Kein Eigentum an der Batterie
Risiko der Haltbarkeit der Batterie verbleibt beim Anbieter	Verkaufspreis des Fahrzeugs ohne Batterie u.U. gering bzw. abhängig von Leasingangeboten Dritter
Hohe Flexibilität	Dauerhafter Stellplatz mit Ladeinfrastruktur benötigt
	Festlegung auf ein Verkehrsmittel/ einen Fahrzeugtyp
	Lange Ladezeiten, geringe Reichweite

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Tab. 18 Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „Batteriewechselsysteme“.

Vorteile	Nachteile
Mittlere Anschaffungskosten	Hohe Betriebskosten
Eigentum am Fahrzeug	Kein Eigentum an der Batterie
Risiko der Haltbarkeit der Batterie verbleibt beim Anbieter	Verkaufspreis des Fahrzeugs ohne Batterie u. U. gering bzw. abhängig von Leasingangeboten Dritter
Hohe Flexibilität	Stellplatz benötigt
Schneller Batteriewechsel, hohe Reichweiten möglich	Festlegung auf ein Verkehrsmittel/ einen Fahrzeugtyp

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Vorteile des Konzepts sind, neben den bereits genannten, die geringeren Anschaffungskosten des Elektrofahrzeugs, der Wegfall des Risikos der Haltbarkeit der Batterie und die Konzentration auf die jeweiligen Kernkompetenzen bei Automobil- und Batterieherstellern. Problematisch sind zurzeit u. a. die unterschiedlichen Größen der Batterien und die unterschiedliche Integration der Batterien ins Fahrzeug. Es handelt sich dabei um Faktoren, die herstellereigenspezifische Unterscheidungsmerkmale wie z. B.

Reichweite, Leistung oder Fahrdynamik des Elektroautos entscheidend beeinflussen. Somit existieren wesentliche Gründe, die gegen eine Implementierung des Konzepts sprechen.

¹⁰⁷ Kearney, A.T. (2009).

Der Aufbau einer Infrastruktur bzw. eines entsprechenden Netzes an Wechselstationen ist zeit- und kostenintensiv. Bevor hieraus ein tragfähiges Geschäftsfeld werden kann, muss die Anzahl an fahrenden Elektroautos deutlich steigen. Da erste Kooperationen und Modellprojekte zurzeit durchgeführt werden, ist die Wahrscheinlichkeit einer mittel- bis langfristigen Umsetzung (in bestimmten Ländern) deutlich gestiegen. Die Unternehmen Better Place und Renault sind eine diesbezügliche Kooperation eingegangen. Nach der Eröffnung einer ersten Station in Ekron, Israel, ist geplant, bis Ende des Jahres 400 Wechselstationen aufzubauen. Weitere Länder in denen erste Pilotversuche gestartet wurden, sind bspw. Dänemark und Japan. In Deutschland wurde vom Unternehmen Kitto eine erste Batteriewechselstation im Saarland errichtet.¹⁰⁸

Themen wie eine einheitliche Batterie-fach-Karosserie-Integration, einheitliche Ausbildungsstandards für das Personal einer solchen Station sowie andere sicherheitsrelevante Aspekte sind Voraussetzungen für die Verbreitung eines solchen Konzepts.

Carsharing

Auch Carsharing Konzepte können mittlerweile als konventionelle Geschäftsmodellvariante klassifiziert werden. Innerhalb der Modellregionen wird das Konzept auf elektrische Automobile übertragen. Nach einer aktuellen Studie¹⁰⁹ sind es speziell Personen in jüngeren Altersgruppen, die sich eine Mobilität ohne den Besitz eines eigenen Pkw vorstellen können. Demzufolge geben etwa 25 Prozent der befragten Personen der Altersgruppe der 18- bis 29-Jährigen an, einen eigenen Pkw überhaupt nicht zu benötigen. Da die zurückgelegten Wegstrecken vermutlich dennoch zunehmen werden, ist ein Umstieg auf alternative Verkehrsmittel oder aber auch E-Carsharing-Konzepte notwendig.

In der Regel ist zur Nutzung des Konzepts eine einmalige Registrierung der Nutzer notwendig. Die Finanzierung ist oftmals eine Kombination aus Anmeldegebühr, monatlicher Grundgebühr und nutzungsspezifischem Entgelt für Strom, Instandhaltung etc. Das E-Carsharing auch ein relevantes Business-Modell darstellen kann, zeigt nachstehender Exkurs.

¹⁰⁸ Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg/e-mobil BW GmbH/Fraunhofer IAO (2010).

¹⁰⁹ PwC, Fraunhofer IAO (2010).

Exkurs

Business Case:

„Dynamisiertes E-Carsharing am Frankfurter Flughafen“

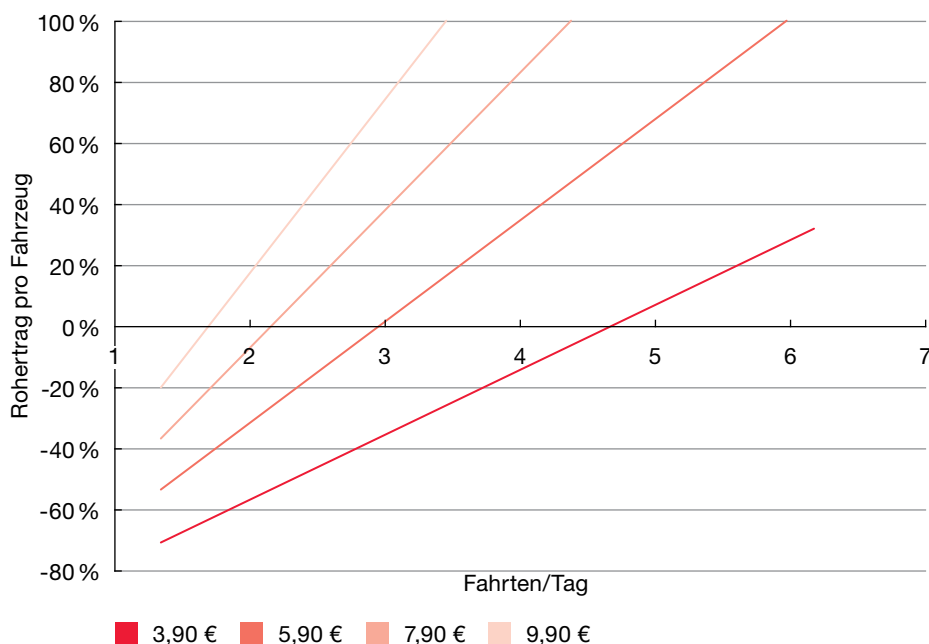
Dieses Carsharing-Konzept sieht eine Flotte von Elektrofahrzeugen mit Park- und Ladeflächen am Frankfurter Flughafen sowie an stark frequentierten Orten der Frankfurter Innenstadt vor. Das Kalkulationsmodell bezieht sich auf ein Fahrzeug.

Das Modell aus Kundensicht:

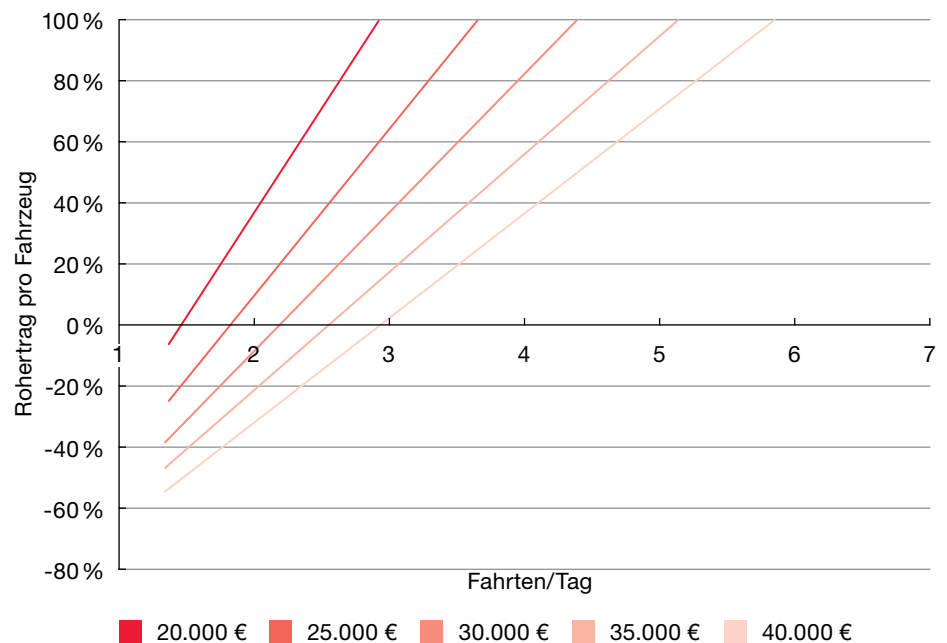
- Einsteigen – Losfahren – Abstellen. Ein simples Konzept, bei dem alles über eine Kredit- oder EC-Karte schnell am oder im Fahrzeug geregelt werden kann.
- Festpreis für die jeweiligen Ziele (im Kalkulationsbeispiel: 5,90 Euro)
- Optional sind gegen zusätzliches Entgelt längere Nutzungsdauern möglich (nicht im Kalkulationsbeispiel berücksichtigt), was die Attraktivität deutlich steigert.
- Ab- und Anstecken an die Ladestation markiert Anfang und Ende der Nutzung

Das Modell aus Anbietersicht:

- Die Kosten des Wertverlusts (Anschaffungskosten reduziert um den Erlös aus Veräußerung), Versicherungs- und Wartungskosten und der Ladeeinrichtung auf Parkflächen belaufen sich in fünf Jahren auf 30.000 Euro.
- Kosten pro elektrisch zurückgelegtem Kilometer betragen etwa zwei Cent.



Bei einem Fahrpreis von 5,90 Euro vom Frankfurter Flughafen in die Innenstadt, muss das Elektrofahrzeug die Strecke im Schnitt circa dreimal am Tag zurücklegen, um die Kosten zu decken. Mindestens drei Nutzer täglich anzusprechen, wäre vom Timing her vorstellbar, berücksichtigt man die getroffenen Annahmen zu den Nutzungszyklen (3-Stunden-Zyklus vom Flughafen und zurück, drei Stunden Aufladen nach der dritten Fahrt). Können die Fixkosten reduziert werden (zum Beispiel über die Erhöhung des Fahrzeugrestwerts nach fünf Jahren, indem man die Batterie teilweise aufbereitet), so verbessert sich der kalkulierte Break-even deutlich. Die folgende Grafik zeigt, dass bei einem Kundenpreis von 5,90 Euro die Anzahl der benötigten Fahrten auf zwei pro Tag sinkt, wenn die Kosten je Fahrzeug auf 20.000 Euro für fünf Jahre reduziert werden können.



Für den Kunden ist das Konzept allein schon aus Kostengründen attraktiv.

Man ist individuell mobil, viel günstiger unterwegs als mit dem Taxi und ab zwei Personen sogar billiger als mit den öffentlichen Verkehrsmitteln.



Diese Kalkulation ist zwar sehr einfach aufgebaut, zeigt jedoch, dass das Konzept bei hoher Kundenakzeptanz durchaus finanziell rentabel sein kann. Wichtig ist vor allem, dass mit einer ausreichend großen Flotte von E-Fahrzeugen eine fließende Zirkulation zwischen den Hauptanlaufpunkten der Stadt und dem Flughafen erreicht wird. Drei wichtige Aspekte müssen zusätzlich berücksichtigt werden:

- 1) Für das Parken und Aufladen der Flotte braucht man Platz. Die kommunale Infrastrukturpolitik muss Konzepte wie dieses, im Sinne einer integrativen, nachhaltigen und urbanen Mobilität fördernd begleiten. Ohne unmittelbaren Zugang zu den stark frequentierten öffentlichen Knotenpunkten (zum Beispiel Flughafen, Bahnhof, Geschäftsviertel, Messe) kann das Konzept nicht realisiert werden. Die Deutsche Bahn wäre hier als Anbieter im Vorteil, da sie für ein solches Angebot über das eigene, riesige Bahnhofsgelände als Knotenpunkt verfügen kann.
- 2) Partnerschaften mit Flughafenbetreiber und Airlines sind für den Erfolg des Konzepts essenziell, da man zahlreiche potenzielle Kunden durch attraktive Kombinationsangebote mit Flügen oder andere Flughafen-Services auf das Konzept aufmerksam machen kann.
- 3) Ein weiterer Erfolgsfaktor ist die Lebensdauer der Batterie. Durch die hohe Anzahl von Lade- und Entladezyklen wird sie stärker beansprucht als im privaten Betrieb. Außerdem muss ein Wartungs- und Pflegekonzept entwickelt werden, um die Fahrzeuge in einem ansprechenden Zustand zu erhalten.

Quelle: PwC, Fraunhofer IAO (2010).

Die Eignung von E-Carsharing für die Entwicklung der Elektromobilität scheint kurz-, mittel- und langfristig hoch zu sein. Zurzeit hemmt insbesondere die Verfügbarkeit von Elektroautos die Einführung des Konzepts. Hohe Anschaffungskosten können Nutzer auch in den nächsten Jahren davon abhalten, eigene Elektroautos zu erwerben. Ein wachsendes Umweltbewusstsein, die steigende Nachfrage nach innovativen Produkten sowie die sinkende Bedeutung des Fahrzeugeigentums tragen dazu bei, dieses Konzept zu unterstützen.

Speziell im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie kann Normung einen entscheidenden Beitrag zur Förderung der Akzeptanz des Konzepts leisten. So werden Nutzer unabhängig vom jeweiligen E-Carsharing-Anbieter/-Fahrzeug und Kommunikationsgerät die gleichen Abläufe und den gleichen Komfort bei der Teilnahme an dem Konzept erwarten.

Neben der herkömmlichen Variante der kommerziellen Carsharing Konzepte gewinnen sogenannte Peer-to-Peer-Car-Rental-Konzepte zunehmend an Bedeutung.¹¹⁰ Erste Unternehmen bieten bereits ein Portal, das neue Geschäftsbeziehungen zwischen privaten Autobesitzern und potenziellen Nutzern ermöglicht. Da Privatautos den Großteil der Zeit nicht gefahren werden, bietet dieses Modell eine stärkere und vergütete Auslastung des eigenen Pkw. Damit einhergehende Wertverluste des Privatautos werden in den Mietzins eingepreist. Die Anbieter bieten den Nutzern eine Versicherung, um so etwaige Schadenersatzansprüche gegen die Autoversicherung des Fahrzeughalters zu verhindern. Die Vorteile gegenüber der herkömmlichen Variante liegen in der räumlichen Nähe zu den Autoverleihern, der Möglichkeit eine neue Einkommensquelle zu generieren und der Flexibilität in der Wahl des jeweiligen Autotyps. Nachteile liegen bspw. in der geringer werdenden Flexibilität des Autohalters, in der

Tab. 19 Vor- und Nachteile für Nutzer des Geschäftsmodells „E-Carsharing“.

Vorteile	Nachteile
Keine Anschaffungskosten	Vorausschauende Planung/ Reservierung erforderlich
Begrenzte Betriebskosten	Nutzungsgebühr
Risiko der Haltbarkeit der Batterie verbleibt beim Anbieter	Abhängigkeit vom Angebot in der jeweiligen Region
Hohe Flexibilität bei der Wahl des Verkehrsmittels	Keinen Überblick über Zustand des Fahrzeugs
Kein dauerhafter Stellplatz benötigt	Kein Eigentum
	Geringe Reichweite

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

(jeweils unterschiedlichen) Abnutzung des eigenen Pkw und des Zeitaufwands für den jeweiligen Verleihvorgang (Übergabe, Vertrag) begründet.

Vergleich Carsharing – E-Carsharing:

Grundsätzlich sind zwischen diesen beiden Alternativen wenig Unterschiede zu erkennen. Jedoch gibt es kleine Unterschiede. So muss beim E-Carsharing eine (Lade-)Infrastruktur am jeweiligen Zielort vorhanden sein, damit das Fahrzeug nach der Nutzung direkt für die nächste Nutzung geladen werden kann. Beim „normalen“ Carsharing besteht dieses Problem nicht, da hier das Fahrzeug einfach betankt und dann „in der Nähe“ des vereinbarten Ortes abgestellt werden kann. Dadurch ist das Carsharing dem E-Carsharing nur in Sachen Flexibilität grundsätzlich überlegen. Unter der Prämisse einer vorhandenen Infrastruktur sind diese Modelle als gleichwertig zu betrachten.

Kombinierte Modelle

Möglich ist es zudem, Kauf- und Leasingmodelle zu kombinieren. Eine Idee ist, heutige Nachteile von Elektroautos durch zeitweise Miete oder Leasing eines konventionellen Fahrzeugs zu vergünstigten Konditionen zu kompensieren. Im städtischen Raum ist die Reichweite eines Elektroautos schon heutzutage weitgehend ausreichend. Für längere Fahrten (Dienstreisen, Urlaub etc.) werden andere Verkehrsmittel benötigt, um die Entfernungen in einem vernünftigen Zeitrahmen zurückzulegen.

Zweitnutzung von Batterien

Die Lebensdauer einer Batterie übersteigt i.d.R. den tatsächlich möglichen Einsatz innerhalb des Fahrzeugs. Bereits ab einem verbleibenden Leistungsvolumen i. H. v. 80 Prozent sind Batterien für den Einsatz im Fahrzeug ungeeignet. Trotz fehlender Eignung für das Fahrzeug sind andere Nutzungsmöglichkeiten gegeben. So können solche Batterien (auch für ein Haus oder Wohngebiet) als Puffer bzw. stationäre Stromspeicher verwendet werden. Die Anschaffungskosten der Batterie könnten dann durch den möglichen Wiederverkaufswert teilweise amortisiert werden.

¹¹⁰ Frankfurter Rundschau (2011).

Innerhalb eines Joint Ventures von Nissan und Sumitomo Corporation werden die Möglichkeiten und Probleme der Zweitverwertung zunächst anhand einer Machbarkeitsstudie untersucht. Folgende Eckpfeiler liegen dem „4R-Prinzip“ zugrunde:¹¹¹

- „Reuse (Wiederverwendung):
Zweiter Einsatz gebrauchter Batterien mit hoher Restleistung.
- Resell (Wiederverkauf):
Vertrieb der gebrauchten Akkumulatoren an verschiedene Interessenten.
- Refabricate (Aufbereitung):
Zerlegen und Neukonfiguration der gebrauchten Batteriestapel für verschiedene Alternativ-Applikationen.
- Recycle (Wiederverwertung):
Umsetzung eines Recyclingprogramms für Altbatterien zur Wiedergewinnung der wertvollen Rohstoffe.“

Als Möglichkeiten der Zweitverwertung werden verschiedene Branchenlösungen und insbesondere der Erneuerbare-Energien-Sektor einbezogen.¹¹²

Bereits in der Normungs-Roadmap wurde eine Vereinheitlichung der Angaben von Leistungsmerkmalen und Diagnosesignalen angesprochen.¹¹³

„Die Idee einer Verwendung („second life“) degradierter Batterien als stationäre Pufferbatterien (z. B. für Wind- und Sonnenenergie) wird diskutiert und ist Gegenstand von Untersuchungen. Eine Vereinheitlichung von Angaben von Leistungsmerkmalen, Diagnosesignalen (z. B. Temperatursignalen) und thermischen Anforderungen (Klimatisierung) kann positiven Einfluss auf die Etablierung einer derartigen Nutzung und entsprechender Geschäftsmodelle haben.“¹¹⁴

Die Kalkulation des aktuellen Wertes der Traktionsbatterie ist eine wesentliche Eingangsgröße in die genannten Geschäftsmodelle und zurzeit mit großen Unsicherheiten behaftet. Ein standardisiertes Verfahren zur Bestimmung des aktuellen Zustandes und des noch zu erwartenden Leistungsvermögens gebrauchter Batterien kann diese Unsicherheiten reduzieren.

Multimodale Nutzung von Verkehrsmitteln über Mobilitätskarte

Um dem Kunden die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel, die für die Elektromobilität geeignet sind, zu ermöglichen, kann der Verkauf einer bestimmten Kilometeranzahl unabhängig von den genutzten Verkehrsmitteln erfolgen. In solch einem Modell können z. B. E-Carsharing- oder Pedelecsharing-Konzepte, der öffentliche Nahverkehr sowie die Vermietung von Elektroautos integriert werden. Auf diese Weise wird dem Kunden nicht nur die größtmögliche Flexibilität gewährleistet sondern auch ein Anreiz gegeben, verstärkt umweltfreundliche Verkehrskonzepte wie den ÖPNV zu nutzen.

In Berlin wird ein solches System temporär von DB Rent, BVG und S-Bahn Berlin im Rahmen des Forschungsprojekt BeMobility über drei Monate getestet. Dabei erwerben Nutzer für einen monatlichen Preis von 78 Euro eine Mobilitätskarte mit der sie den ÖPNV (volumenfänglich), Call-a-Bike und E-Carsharing anhand einer vorgegebenen Zeitspanne nutzen können. Bei Überschreitung der Zeitspannen wird bei Call-a-Bike bei einem jeweiligen Zeitbudget von 30 Minuten pro Fahrt eine Gebühr von 8 Cent pro zusätzlich gefahrener Minute fällig. Der Carsharing Anbieter Flinkster rechnet innerhalb des Zeitguthabens von 50 Euro pro Monat lediglich eine Verbrauchspauschale, die bspw. für einen Elektro-Smart bei 25 Cent/km liegt, ab.¹¹⁵

Vehicle to Grid (V2G)

Vehicle to Grid (V2G) bezeichnet die Nutzung von Fahrzeugbatterien als mobile Stromspeicher. So kann die Batterie zu Zeiten geladen werden in denen die Stromnachfrage niedrig und die Stromerzeugung hoch (z. B. bei regenerativer Stromerzeugung durch hohes Windaufkommen) und Strom aufgrund des Überangebots entsprechend günstiger ist. In Zeiten hingegen, in denen die Nachfrage nach Strom hoch ist, kann die Batterie einen Teil der Nachfrage durch Abgabe des Stroms decken. Das Konzept V2G sieht ebenfalls vor, dass die Ladestationen gezielt gesteuert werden, um so Überlastungen in den Verteilnetzen zu vermeiden. Dieses Geschäftsmodell kann den Autofahrer entsprechend an den wirtschaftlichen Vorteilen partizipieren lassen, z. B. indem er ganz oder in Teilen von der Preisdifferenz profitiert. Speziell bei der Nutzung erneuerbarer Energien scheint dieses Konzept besonders geeignet zu sein, da bspw. bei für die Energieerzeugung günstigen Wetterverhältnissen ein Teil des überschüssigen Stroms in den Batterien gespeichert werden kann. Bei Wetterverhältnissen, die nur zu einer geringen Produktion erneuerbarer Energien führen, kann der gespeicherte „grüne“ Strom dann an andere Abnehmer weitergegeben werden. Einschränkung ist jedoch zu erwähnen, dass dazu weitere technische Überlegungen erforderlich sind, da i. d. R. ein Überschuss an erneuerbaren Energien eher tagsüber besteht, also genau in dem Zeitraum, in dem wenig Fahrzeuge an den Ladestationen angeschlossen sind, da sie sich bewegen, und nachts – wenn die Fahrzeuge an den Ladestationen angeschlossen sind – aufgrund geringerer regenerativer Stromerzeugung (z. B. Solar) und geringerem Verbrauch eher weniger Übertragungsengpässe herrschen. Insbesondere im Hinblick auf die zukünftige Zielsetzung der Bundes-

¹¹¹ atzonline.de (2009).

¹¹² GrüneAutos.com (2010).

¹¹³ NPE (2010), S. 50.

¹¹⁴ NPE (2010), S. 50.

¹¹⁵ S-Bahn Berlin GmbH/DB Regio Regionalbereich Berlin/Brandenburg/Tourismus-Marketing Brandenburg GmbH (2011).

regierung zur deutlichen Steigerung der regenerativen Energieerzeugung in Deutschland ist das V2G-Konzept als ein wesentlicher Baustein zu sehen.

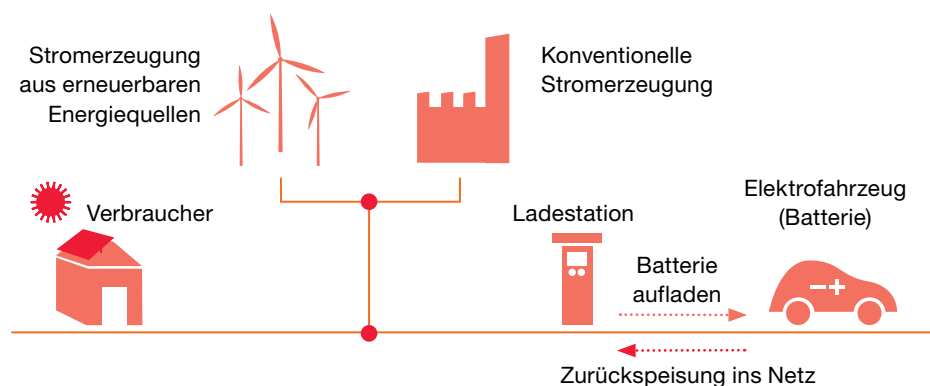
Die Rückspeisung „grünen“ Stroms kann c. p. auch die Entwicklung der Stromtarife positiv beeinflussen. Energieversorger können Strom, der ausschließlich aus der Nutzung erneuerbarer Energien stammt, zu ähnlichen Tarifen wie Strom aus konventionellen Energiequellen anbieten, wenn Nutzer im Gegenzug bereit sind, überschüssige Energie ins Netz zurückzuspeisen. Insbesondere das sog. Grünstromprivileg (vgl. EEG §§ 23–33) kann als Instrument für die Möglichkeit zum günstigen Angebot dieser Strommengen genutzt werden.

Hausenergiesysteme (Smart Home)

Das Haus des 21. Jahrhunderts soll viel können: sauberen Strom erzeugen, vernetzt sein, Elektrofahrzeuge aufladen und Haushaltsgeräte so intelligent steuern, das möglichst wenig Energie verbraucht wird. In diesem sogenannten Smart Home wohnt der Prosumer (Producer und Consumer). Strom produziert er z. B. mithilfe einer gebäudeintegrierten Photovoltaik-Anlage am Dach oder eines kleinen Windrads. Den aktuellen Output der Erzeugungseinheiten und den Stromverbrauch im Haus sieht er auf seinem Smartphone. Mit dem „Telefon“ kann er außerdem Haushaltsgeräte steuern und die Aufladung seines Elektrofahrzeugs starten.

Was wie Zukunftsmusik klingt, ist die Kombination von dezentraler, erneuerbarer Energieversorgung mit modernen Informations- und Kommunikationstechnologien und elektrifizierter Mobilität. Das Haus erzeugt Energie, die unmittelbar an Ort und Stelle verbraucht oder ins Netz eingespeist wird. Gleichzeitig kann die Batterie des Elektrofahrzeugs als mobiler Zwischenspeicher in den Stromkreislauf des Hauses integriert werden.¹¹⁶

Abb. 48 Vehicle to Grid.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Tab. 20 Vor- und Nachteile für Nutzer des „Vehicle-to-Grid-Konzepts“.

Vorteile	Nachteile
Wesentlicher Bestandteil für ein regeneratives, grünes Energieversorgungskonzept	Hohe Anforderungen an IKT für die Steuerung
Kostenoptimierung mittels Beteiligung der Nutzer an den wirtschaftlichen Vorteilen des Netzbetreibers (vermiedener Netzausbau führt zu geringeren Netznutzungsentgelten)	Hoher prozessualer Aufwand für Authentifizierung und Datenverarbeitung der Nutzerdaten
	Fester Stellplatz notwendig für Ladestation

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

¹¹⁶ Link/Kohrs/Dallinger/Wittwer (2010).

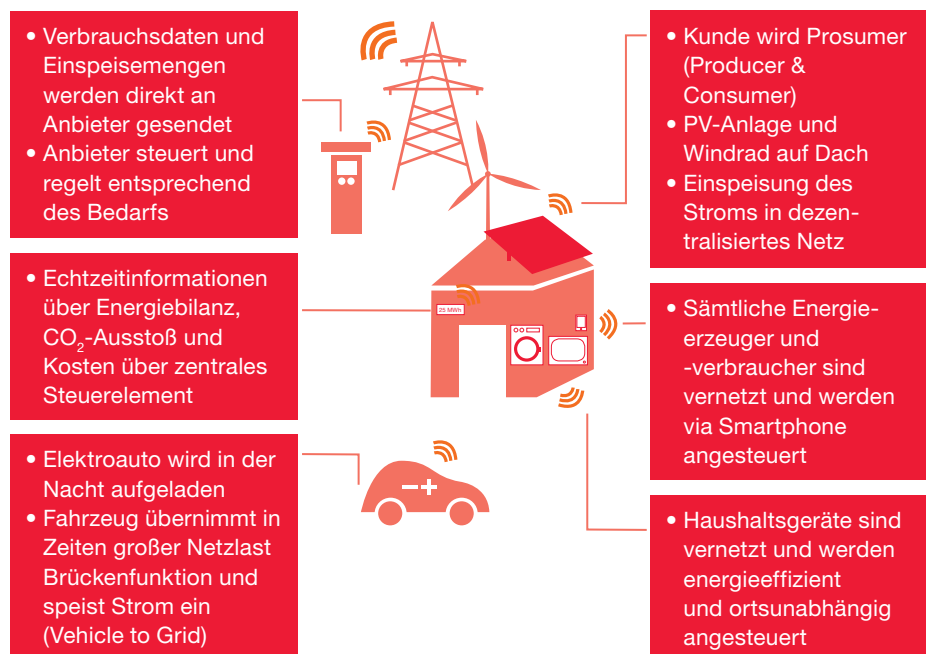
Der herkömmliche Konsument des 20. Jahrhunderts wird im Smart Home also zu einem Produzenten, dem Prosumer, und damit zu einem aktiven Teilnehmer des Energiemarkts, der Einnahmen generiert, indem er dem Energieversorger seinen (überschüssigen) Strom verkauft. Was nicht verbraucht oder eingespeist wird, kann von den Fahrzeugbatterien zwischengespeichert werden. Bei Wetterverhältnissen, die für erneuerbare Energietechnologien ungünstig sind, wird der Strom aus der Fahrzeugbatterie wieder ins Netz eingespeist um kurzfristig entstehende Nachfragespitzen auszugleichen. Geld verdient der Prosumer am Ende des Tages mit der Differenz zwischen erzeugtem und verbrauchtem Strom.

Um Smart Homes flächendeckend zu ermöglichen, müssen zudem intelligente Messzähler (Smart Meters) in großem Maße ausgerollt werden. Diese müssen sich mithilfe von Kommunikationstechnologien zu intelligenten Netzen, den Smart Grids, zusammenschließen. Erst so wird die multidirektionale Kommunikation zwischen Haus, Fahrzeug, Smartphone, Energieverbrauchern bzw. -erzeugern und allen anderen Akteuren der Energiewirtschaft möglich.

Ladeinfrastruktur und Betrieb von Parkflächen

Neben dem Laden im öffentlichen oder privaten Raum (Haushalt) gibt es speziell für die Betreiber von Parkflächen die Möglichkeit, ihr bestehendes Geschäftsmodell um die Integration einer Ladeinfrastruktur zu erweitern. Die Frage der Rechtssicherheit bzgl. der Kombination von Ladesäule und reservierten Parkplätzen für Elektroautos ist im privaten, öffentlich zugänglichen Raum weit größer als an rein öffentlichen Plätzen. So hat bspw. RWE infolge bürokratischer Hürden

Abb. 49 Schematisches Beispiel für ein Smart Home.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

bis zum Ende des Jahres 2010 von ursprünglich geplanten 1.000 lediglich 550 Ladestationen an öffentlichen Plätzen errichten können.¹¹⁷

Die Energieversorger haben generell ein gestiegenes Interesse am Aufbau einer Ladeinfrastruktur, da sie so die Möglichkeit haben, ihre Stromabsatzmengen zu erhöhen. Zudem können damit verbundene „neue, lukrative“ Geschäftstätigkeiten entstehen. A.T. Kearney hat berechnet, dass aus dem Mehrabsatz von Strom sowie damit einhergehenden kerngeschäftsnahen Leistungen ein Umsatzpotenzial von 5 Milliarden Euro

resultiert.¹¹⁸ Da es nur drei bis vier große Parkflächenbetreiber gibt, ist ein Wettbewerb der Energieversorger um potenzielle Partner wahrscheinlich. RWE und Europas größter Parkraumbewirtschafter APCOA sind bereits eine solche strategische Partnerschaft eingegangen.¹¹⁹

¹¹⁷ Handelsblatt GmbH (2011).

¹¹⁸ Kearney, A.T. (2009).

¹¹⁹ RWE Energy AG (2009).

Für die Betreiber von Parkhäusern gibt es die Möglichkeit, eine entsprechende Ladeinfrastruktur bereitzustellen. Betreiber könnten sowohl Normal- als auch Schnellladestationen anbieten.¹²⁰ Während der Zeit der Verweildauer im Parkhaus erhalten Autofahrer die Möglichkeit, ihr Auto zu laden. Die Abrechnung könnte, wie es derzeit im Rahmen des Frankfurter Modells erprobt wird, am Parkscheinautomaten erfolgen.

Falls zukünftig in den Innenstädten elektromobile Zonen errichtet werden, entsteht ein erweitertes Geschäftsmodell für Betreiber von Park-and-ride-Flächen: Neben Transportmöglichkeiten in elektromobile Zonen kann eine entsprechende Ladeinfrastruktur bereitgestellt werden.

Einzelne Tankstellenbetreiber wie z. B. AVIA beginnen ihr Geschäftsmodell um das Angebot einer Versorgung der Elektroautos mit Strom zu erweitern. In diesem Zusammenhang plant bspw. AVIA in Kooperation mit RWE die Errichtung von bundesweit 40 Ladepunkten an 20 Stationen. Der ländliche Raum wird in den Aufbau integriert.

Die Ladedauer soll auf 30 bis 60 Minuten begrenzt werden.¹²¹ Die immer noch erhebliche Zeitdauer des Ladevorgangs ist für Tankstellenbetreiber eines der großen Hindernisse, das mit diesem Aufbau verbunden ist. Oft verfügen die Betreiber nicht über genügend Stellflächen um eine Versorgung zu gewährleisten. Lange Ladezeiten resultieren zudem in einer begrenzten Möglichkeit, Einnahmen zu generieren. Alternative Geschäftsmodelle, die mit dem Ladevorgang verbunden sind und eine Überbrückung der Zeitspanne für den Nutzer betreffen, können für die Betreiber attraktiv sein.

Frankfurter Modell

Das Frankfurter Modell wird von der ABGnova einer Tochtergesellschaft der Unternehmen Mainova AG, Frankfurt, und ABG Frankfurt Holding, Frankfurt, koordiniert. Es handelt sich um ein Forschungsprojekt im Rahmen der Modellregion Rhein-Main.

Mit dem Frankfurter Modell sollen die Anforderungen, die an den Aufbau einer einheitlich nutzbaren Ladeinfrastruktur gestellt werden, begrenzt werden. Bestehende Infrastrukturen wie Parkschein- oder Kassenautomaten in Parkhäusern werden als Bezahlstation für naheliegende Ladesäulen genutzt. Die Abrechnung erfolgt über denselben Chip, der auch zum Parken genutzt wird.

Als mögliche Standorte für Ladesäulen können zudem u. a. Park-and-ride-Parkplätze oder 2-Rad-Parkplätze genutzt werden. Freischaltung und Abrechnung sind in diesem Fall z. B. über das Handy möglich.

So kann die Errichtung von Schnellladesäulen z. B. für Betreiber von Autobahnraststätten/Einkaufszentren (Supermärkten) ein lukratives Geschäftsmodell darstellen. Neben den Einnahmen aus dem Strom können sie zusätzliche Einnahmen aus ihrem Kerngeschäft generieren. Der Ladevorgang an Schnellladesäulen wird vermutlich weiterhin ca. 30 Minuten betragen. Diese Zeit gilt es für den Autofahrer z. B. an dem jeweiligen Ort zu überbrücken.

Je nach Geschäftsmodell muss die Ladeinfrastruktur unterschiedlichen Anforderungen genügen. Im Bereich der AC-Ladung gibt es drei verschiedene Stecker-Typen, bei denen der Typ 2 (Mennekes-Stecker) das größte Spektrum abdeckt. Im Bereich der DC-Schnellladung gibt es neben dem japanischen CHAdeMO-Konzept auch das Konzept des Combo-Steckers, der sowohl AC- wie auch DC-Schnellladung erlaubt. Im Vergleich mit induktiven Ladetechniken bietet die induktive Ladung aus Sicht der Parkraumgestaltung sowie der Nutzerfreundlichkeit Vorteile, allerdings besteht hier noch Forschungsbedarf. Eine sinnvolle Umsetzung der Geschäftsmodelle ist insbesondere mit einem einheitlichen

und bedienerfreundlichen Aufbau der Ladeinfrastruktur inklusive Kommunikation und preiswertem Abrechnungssystem verbunden. Der Zugang muss für die Verbraucher sicher, zuverlässig, barrierefrei und komfortabel sein.

Weitere Geschäftsmodelle

Darüber hinaus sind auch weitere Geschäftsmodelle denkbar, wie beispielsweise die Bereitstellung von Informationen über die nächste Ladesäule oder die Wegeoptimierung, Navigationsrouting inkl. Berücksichtigung von Ladeinfrastruktur etc. Ebenfalls kann eine Differenzierung der Ladeinfrastruktur (Normalladung und Schnellladung) spezifische Geschäftsmodelle hervorbringen. So kann – analog zur heutigen Tankstelleninfrastruktur – ein Angebot entstehen, bei dem stadtzenturnah eine Schnellladestation gegen einen Aufpreis genutzt werden kann, da hier i. d. R. verfügbare Parkplätze begrenzt sind und damit nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen.

¹²⁰ Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg/e-mobil BW GmbH/Fraunhofer IAO (2010), S. 19–21.

¹²¹ PR Konstant (2011).

2.3 Strategische Partnerschaften

Die Elektromobilität bietet viele Möglichkeiten und Ansätze für neue Partnerschaften. Strategische Partnerschaften werden sowohl für den Produktionsprozess als auch aus verkehrstechnischen Überlegungen geschlossen.

Die folgende Übersicht zeigt Beispiele für neue Allianzen von Unternehmen unterschiedlicher Branchen.

Gerade die Entwicklung der Kosten, die dem Batteriebereich zuzuordnen sind, ist der Faktor, der den Erfolg der Elektromobilität in den kommenden Jahren maßgeblich beeinflussen wird. Sowohl Automobil- als auch Batteriehersteller sind interessiert, das Geschäftsfeld der Elektromobilität neu und in einer Art Vorreiterrolle zu entwickeln. So haben bspw. Daimler und EVONIK die Firma Li-Tec gegründet, die in Sachsen Lithium-Ionen-Batteriezellen produziert.

In diesem Zusammenhang ergeben sich speziell in Bezug auf Transport,^{122, 123} Lagerung und Recycling der Batterien neue Themenstellungen. Zudem ist der Umgang mit beschädigten Batterien zu prüfen.¹²⁴ Das Vorliegen eines entsprechenden Normungsbedarfs wurde auch in der Normungs-Roadmap angesprochen.¹²⁵

Während deutsche Unternehmen bei ihren Aktivitäten im Batteriebereich bisher vielfach auf Kooperationen mit ausländischen Batterieherstellern angewiesen waren, scheint sich das Bild zu ändern. Nach einem Zeitungsbericht überlegt bspw. Daimler, mit seinem Unternehmen Li-Tec Batterien an Renault zu liefern.¹²⁶ VW plant nach einem aktuellen Bericht der FAZ, Batterien zukünftig von Bosch zu

Tab. 21 Beispiele für strategische Partnerschaften in der Elektromobilität.

Kategorie	Unternehmen
Batterie	Daimler (D)/Evonik (D)
	Bosch (D)/Samsung (KR)
	Daimler (D)/Tesla (US)
	BMW (D)/A123 (US)
Leichtbau	Evonik (D)/RWTH Aachen (D)/Johnson Controls (US)
	BMW (D)/SGL Carbon (D)
IKT	EWE (D)/Karmann (D)
	Siemens (D)/Vodafone (UK)
	BMW (D)/My City Way (US)
Automobilproduktion	RWE (D)/Renault (FR)/Nissan (JP)
	Daimler (D)/BYD (CN)
	BMW (D)/Brilliance (CN)
	BMW (D)/Peugeot (FR)

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

beziehen. Bisher stellt Bosch mit seinem Partner Samsung über das gemeinsame Tochterunternehmen SB LiMotive Batterien in Korea her. Eine neue Partnerschaft mit VW könnte in eine Batterieproduktion in Deutschland münden.¹²⁷

Auch in anderen Bereichen wie z. B. IKT entwickeln sich robuste Kooperationen. Karmann und EWE führen z. B. im Rahmen des BMWi-Technologiewettbewerbs „IKT für Elektromobilität“ ein gemeinsames Projekt zum Thema Energiespeichermanagement durch. Karmann ist darüber hinaus an einem Projekt des Forschungsinstituts Next Energy beteiligt, im Rahmen dessen u. a. die Entwicklung und der Betrieb einer Batteriewechselstation erforscht wird.¹²⁸

Die Zusammenführung unterschiedlichen Know-hows (Kapazitäten) aus verschiedenen Branchen ist für den Erfolg der Elektromobilität essenziell. Der Zukunftsmarkt Elektromobilität bietet daher weitreichende Chancen, Partnerschaften auf globaler Ebene zu etablieren, um möglichst hohe Effizienzen zu generieren. Nachfolgend werden exemplarisch bestehende Partnerschaften in ausgewählten Ländern vorgestellt.

Frankreich – Deutschland

Der französische Automobilkonzern Renault arbeitet gemeinsam mit Nissan und RWE an einem integrierten Angebot aus Elektrofahrzeugen, Ökostrom und Ladeinfrastruktur. Zudem arbeiten RWE und Renault im Rahmen der Modellregion Rhein-Ruhr gemeinsam an der Entwicklung von Pendlerkonzepten.

¹²² NPE (2010), S. 11.

¹²³ Fojcik/Schwarz (2010), S. 10.

¹²⁴ VDA (2008).

¹²⁵ DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2009), S. 48.

¹²⁶ FAZ (2010).

¹²⁷ FAZ (2011).

¹²⁸ EWE (2011).

Großbritannien – Deutschland

Im Rahmen des Projekts HARZ.EE-Mobility wird die Nutzung regional erzeugter Energien für Elektrofahrzeuge und deren Einbindung in das Smart Grid untersucht. In verschiedenen Bereichen arbeiten Hochschulen und Unternehmen an der Umsetzung des Projekts. Siemens und Vodafone bedienen den Bereich der IKT-Technologie.¹²⁹

USA – Deutschland

Daimler hat im Jahr 2009 einen zehnprozentigen Anteil an dem kalifornischen Elektroauto-Produzenten Tesla erworben. Da Daimler selbst zu dem Zeitpunkt über sein Joint Venture Li-Tec mit Evonik noch über keine Lithium-Ionen-Batterien verfügte, sollte Tesla Daimler kurzfristig mit Akkus für etwa 1.000 Elektro-Smarts versorgen. Zusätzlich hat Daimler damit gerechnet, von Teslas Erfahrungen in Produktion und Wartung im Bereich der Elektrofahrzeuge zu profitieren.¹³⁰ Im Jahr 2011 hat Daimler weitere 17 Millionen US-Dollar in das Unternehmen investiert.¹³¹

Neben namhaften Vertretern der Automobilindustrie wie General Motors und Ford verfügen die USA mit Johnson Controls Power Solutions über eines der führenden Unternehmen im Bereich der Batterieproduktion. Johnson Controls hat im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien kürzlich eine wegweisende Partnerschaft mit dem japanischen Konzern Hitachi geschlossen. Eine weitere wichtige Partnerschaft besteht mit dem französischen Batteriehersteller SAFT. Zudem entwickelt Johnson Controls (mit Europazentrale in Hannover (Entwicklung, Produktion, Testing und Verwaltung)) unter dem Projektnamen CAMISMA u. a. gemeinsam mit Evonik und der RWTH Aachen ein neues Leichtbaukonzept für Fahrzeuge.¹³² Auch andere deutsche

Unternehmen wie BMW und Daimler kooperieren mit Johnson Controls-SAFT. BMW ist zudem eine Partnerschaft mit dem amerikanischen Zellhersteller A123,¹³³ mit dem u. a. auch Better Place kooperiert,¹³⁴ eingegangen.

China – Deutschland

Um den chinesischen Markt für Elektromobilität weiterzuentwickeln, sind Partnerschaften von chinesischen und deutschen Unternehmen von großer Bedeutung. So haben Daimler und BYD im Jahr 2010 ein Forschungs- und Technologiezentrum zur Entwicklung von Elektrofahrzeugen für den chinesischen Markt gegründet. Auf diese Weise werden das Know-how von Daimler im Bereich Fahrzeugarchitekturen und das von BYD im Bereich Batterietechnologie und elektrische Fahrzeugsysteme verknüpft.¹³⁵ Eine andere wichtige Partnerschaft besteht z. B. zwischen BMW und Brilliance. Gemeinsam wird die Serienproduktion eines Elektrofahrzeugs für den chinesischen Markt ab dem Jahr 2013 geplant.¹³⁶

Japan – Deutschland

Japanische Unternehmen haben sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene wichtige Partnerschaften im Bereich Elektromobilität geschlossen. Auf internationaler Ebene kooperiert bspw. Toshiba mit dem VW-Konzern im Bereich der Entwicklung des Elektroantriebs und der Leistungselektronik. Zudem forschen beide Unternehmen gemeinsam im Bereich Batteriesysteme. Im Bereich der Batterietechnologie besteht zudem seit dem Jahr 2008 eine strategische Partnerschaft zwischen dem Unternehmen Sanyo und VW. Da der Konzern Sanyo seit dem Jahr 2009 zum Panasonic-Konzern gehört, beliefert der Konzern sowohl Toyota als auch Volkswagen mit seinen Batterien.¹³⁷

Korea – Deutschland

Das koreanische Unternehmen Samsung hat im Bereich der Batterieproduktion gemeinsam mit Bosch im Jahr 2008 das Joint Venture SB LiMotive gegründet. Es ist geplant, dass das Werk im koreanischen Ulsan bis zum Jahr 2015 Akkus für 180.000 Elektroautos produziert. Um dieses Ziel zu erreichen, werden Bosch und Samsung bis zum Jahr 2013 rund 500 Millionen US-Dollar in die Lithium-Ionen-Technologie investieren.¹³⁸

¹²⁹ Siemens AG (2009).

¹³⁰ Daimler steigt bei Elektroauto-Pionier Tesla ein (2009).

¹³¹ focus.de (2011).

¹³² Evonik (2011).

¹³³ BMBF (2010), S. 7.

¹³⁴ FAZ.NET (2009).

¹³⁵ Daimler (2010).

¹³⁶ CleanThinking.de (2011).

¹³⁷ Handelsblatt (2009).

¹³⁸ Robert Bosch GmbH (2011).

III. Recht

Die Elektromobilität eröffnet neue Fragestellungen hinsichtlich rechtlicher Aspekte. Dies betrifft die Integration der Ladeinfrastruktur in den öffentlichen Verkehrsraum (Haftungsfragen) und die insbesondere beim Ladevorgang und im Fall eines Unfalls zu gewährleistende Fahrzeugsicherheit. Die rechtlichen Aspekte müssen frühzeitig beachtet werden. Bestehende Defizite bei der Rechtssicherheit sind zu bearbeiten. Neben der Aufklärung der Nutzer über die Sicherheit der Fahrzeuge und der Infrastruktur ist die Festlegung von Sicherheitsmindestanforderungen für Fahrzeuge und Infrastruktur durch Normen und Standards ein wichtiger Bestandteil.

Um die Elektromobilität zu fördern, werden derzeit verkehrsrechtliche Anreizmaßnahmen diskutiert. Hierzu gehören beispielsweise die Bevorrechtigung von Elektrofahrzeugen beim Parken und die Erlaubnis der Nutzung von Busspuren.¹³⁹ Bei diesen Aspekten sind vorab eine Vielzahl von rechtlichen Fragestellungen zu klären.

Die Politik fördert die Elektromobilität, um die Abhängigkeit der Mobilität von fossilen Brennstoffen zu mindern. Mit der Ressourcenschonung und der Unabhängigkeit von Öl-Importen einhergehend, soll der Einsatz von Elektrofahrzeugen die lokalen Umweltbelastungen durch Abgase (u. a. CO₂, SO_x, NO_x), Feinstäube (PM10, PM2,5) und Lärm, die durch Verbrennungsmotoren entstehen, minimieren. Durch die Nutzung erneuerbarer Energien lassen sich auch überregionale Umweltschutzziele erreichen. In der europäischen Gesetzgebung sind hier insbesondere die Luftreinhalte- und Lärminderungspläne zu nennen, deren Maßnahmen durch neue Regelungen zugunsten von Elektrofahrzeugen ergänzt werden könnten. Nationale Regelungen wie strengere Grenzwerte oder die

Anpassung des Steuerrechts können Nutzer zusätzlich motivieren, auf Elektrofahrzeuge umzusteigen.

Der Datenschutz ist ein wichtiger Aspekt bei der Kommunikation zwischen den Nutzern, dem Fahrzeug, der (Lade-) Infrastruktur und den abrechnenden Unternehmen. Hierbei werden eine Vielzahl von Daten ausgetauscht, darunter auch personenbezogene Daten, die einer besonderen Sensibilität unterliegen.

Normung und Standardisierung sind wichtige Aspekte, wenn es um das Thema Rechtssicherheit geht. Normen können über entsprechende Referenzierungen Bestandteil von Gesetzen sein oder im Rahmen der „anerkannten Regeln der Technik“ mittelbar rechtsverbindlich werden. In den zuvor beschriebenen Rechtsgebieten können Normen und Standards bei der Gestaltung der Infrastruktur, der Fahrzeugsicherheit und beim Datenschutz einen wichtigen Beitrag leisten.

3.1 Verkehrsraumgestaltung

Die mit dem Aufbau einer Ladeinfrastruktur einhergehende Neugestaltung des Verkehrsraums kann eine Anpassung des Bauordnungs- und Planungsrechts notwendig machen. Bisher sind nach aktuellen Erfahrungen keine rechtlichen Probleme bei der Aufstellung von Ladestationen aufgetreten.¹⁴⁰ Neben den bau- und planungsrechtlichen Anforderungen sind das Verunstaltungsverbot und die Beachtung der Belange des Denkmalschutzes zu berücksichtigen. Problematischer wird die Betrachtung im Fall von Haftungsfragen bei Unfällen, die durch die Ladeinfrastruktur als Straßenmobiliar oder beim Ladevorgang geschehen können. Mithilfe von Normen und Standards können sowohl die bauliche Gestaltung als auch die notwendigen Sicherheitsanforderungen an die Ladeinfrastruktur grundlegend festgelegt werden.

Rechtliche Zuständigkeiten und bauliche Integration

Der öffentliche Verkehrsraum ist im öffentlichen Eigentum (durch Widmung), daneben gibt es halböffentliche und private Verkehrsflächen. Halböffentliche Verkehrsflächen sind dadurch charakterisiert, dass ein privater Eigentümer seinen Grund und Boden der Allgemeinheit zu einer bestimmten Nutzung zur Verfügung stellt (z. B. Parkplätze von Supermärkten, Parkhäuser). Oftmals sind die Übergänge zwischen dem öffentlichen und dem halböffentlichen Raum nicht klar abgegrenzt. Private Verkehrsflächen hingegen sind nur einem bestimmbaren Personenkreis zugänglich und sind gegenüber dem öffentlichen Raum in der Regel deutlich abgegrenzt (z. B. Firmenparkplätze, Straßen auf Werksgelände). Das Aufstellen von Ladeinfrastruktur (Ladepunkte, Parkstände mit induktiver Lademöglichkeit) im öffentlichen Verkehrsraum bedarf der Erlaubnis der Straßenbaubehörde (Sondernutzung) und ist entgeltpflichtig. Das Entgelt wird dem Antragsteller auferlegt, der für die Einhaltung der eingeräumten Sondernutzung und der Verkehrssicherheit Sorge zu tragen hat. Die Straßengesetze der Länder und kommunale Satzungen regeln die Details, dadurch ist es möglich, dass sich die Vorgaben von Bundesland zu Bundesland und auch zwischen den Kommunen unterscheiden. Bei halböffentlichen und privaten Räumen muss, bei Zustimmung des privaten Eigentümers, keine Genehmigung der Sondernutzung eingeholt werden. Die notwendigen Baumaßnahmen haben oftmals nur einen sehr geringen Umfang und sind daher meist baugenehmigungsfrei. Unabhängig davon gelten das Verunstaltungsverbot, der Denkmalschutz und die Verkehrssicherungspflicht auch für die Errichtung auf privatem oder halböffentlichem Grundeigentum.¹⁴¹ Eine Anpassung des Bauordnungs- und Planungsrecht kann bei großflächigeren und baulich aufwendigeren Anlagen notwendig werden.

¹³⁹ NPE (2011) S. 7.

¹⁴⁰ Die Bundesregierung (2011), S. 36.

¹⁴¹ Bachmann/Mayer (2011).

Im Straßengesetz des Landes Hessen heißt es exemplarisch: „Bei der Errichtung und bei dem Betrieb der Sondernutzungsanlage hat der Erlaubnisnehmer die anerkannten Regeln der Technik zu beachten. [...]“ (§ 16 (4) HStrG vom 08.06.2003). Um dieser rechtlichen Anforderung nachkommen zu können, müssen sowohl der beauftragten Baufirma als auch dem späteren Betreiber entsprechende Vorgaben zur baulichen Integration der Ladeinfrastruktur (u. a. Barrierefreiheit) und zum Betrieb auferlegt werden. Dies soll sowohl für die Nutzer als auch für die Energieversorgungsunternehmen einen möglichst barriere- und diskriminierungsfreien Zugang ermöglichen. Zugleich sollen die Mindestanforderungen von Normen und Standards nicht so ausgestaltet werden, dass einzelne Geschäftsmodelle ausgeschlossen werden.¹⁴²

Unfallgefahren und Haftung beim elektrischen Laden im öffentlichen Raum

Auf europäischer und internationaler Ebene divergiert die rechtliche Situation bzgl. der elektrischen Installation im öffentlichen Raum sehr stark und lässt sich nicht allgemeingültig darstellen. Der Schwerpunkt liegt in der vorliegenden Betrachtung daher auf Deutschland.

Nach der Errichtung der Anlage und der technischen Abnahme geht diese in die Betriebsphase über. Es ist zu erwarten, dass die Betreiber im Wesentlichen private und kommunale Energieversorgungsunternehmen, Verkehrsdienstleister (Verkehrsbetriebe, Parkhaus- und Tiefgaragenbetreiber) und andere privatwirtschaftliche Betreiber (z. B. Möbelhäuser mit Kundenstellplätzen, Unternehmen mit Mitarbeiterstellplätzen) sind. Analog zur Errichtung der Ladeinfrastruktur gelten auch für den Betrieb die Vorgaben nach den Straßengesetzen der Länder („Regeln der Technik“). Die Haftung liegt demnach

beim Betreiber der Anlage, der den ordnungsgemäßen Zustand sicherstellen muss. Insbesondere bei neuen Akteuren, wie z. B. Möbelhäusern, bedeutet dies die fachliche Fort- und Weiterbildung von Mitarbeitern, die Neueinstellung von Fachpersonal oder die Auslagerung auf externe Dienstleister. Im Markthochlauf ist eine Zurückhaltung der branchenfremden Unternehmen hinsichtlich des Aufbaus/Betriebs der Ladeinfrastruktur zu erwarten. Erst mit zunehmender Verbreitung von Elektrofahrzeugen ist eine Änderung dieses Zustands möglich, da dann die Investitionsrisiken abnehmen.

Die Betreiber der Anlagen müssen sich mit einem relativ breiten Spektrum an Sicherheitsanforderungen auseinandersetzen. Tabelle 22 zeigt die Sicherheitsaspekte beim Ladevorgang im Allgemeinen anhand von Beispielen:

Dem induktiven Laden kommt besondere Aufmerksamkeit zu, da sich die Ladeeinheit im Boden befindet und daher frei betreten werden kann, wenn kein Fahrzeug darüber abgestellt ist. Die induktiven Flächen müssen entsprechend markiert, nachts beleuchtet und mit Warnhinweisen versehen werden, um Komplikationen mit anderen technischen Geräten zu verhindern (elektromagnetische Verträglichkeit). Dabei spielen die Bedingungen für den Start des Ladens und die Fahrzeugpositionierung eine Rolle. Der Ladevorgang sollte nur bei ordnungsgemäß abgestelltem Fahrzeug und Autorisierung durch den Fahrer beginnen (z. B. Dialog über Bordcomputer), um eine Gefährdung auszuschließen.

Tab. 22 Sicherheitsaspekte beim Ladevorgang.

Sicherheitsaspekt	Beispiel
Elektrische Sicherheit	Elektrischer Schlag
Elektromagnetische Verträglichkeit	Störfestigkeit, Störaussendung
Bauliche Sicherheit	Bauliche Integration der Ladesäule
Funktionale Sicherheit	Zuverlässigkeit aktiver Sicherheitssysteme
Datenschutz	Schutz der personenbezogenen Daten

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

¹⁴² NPE (2011), S. 42.

3.2 Fahrzeugsicherheit

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Elektrofahrzeuge lassen sich in ähnlicher Weise zusammenstellen, wie dies bei der Ladeinfrastruktur vorgenommen wurde. Tabelle 23 zeigt die Kernaspekte, die bei der Betrachtung möglicher Gefahrenquellen relevant sein können.

Die Hersteller von Elektrofahrzeugen unterliegen der Produkthaftung nach dem Produkthaftungsgesetz. Ein Produkt im Sinne dieses Gesetzes ist gem. § 2 als bewegliche Sache oder als eine bewegliche Sache als Teil einer beweglichen Sache oder als eine bewegliche Sache als Teil einer unbeweglichen Sache definiert. Elektrizität selbst wird direkt als Produkt definiert. Um Schadensersatzansprüche von Nutzern aufgrund eines mangelhaften Fahrzeugs weitestgehend verhindern zu können, sind die Hersteller angehalten, Elektrofahrzeuge so sicher wie möglich zu bauen bzw. zu konzipieren. Die Haftung ist aus Sicht der Nutzer klar geregelt. Die Automobilhersteller müssen sich mit der Thematik der Produkthaftung schon lange auseinandersetzen, da die Anforderungen im Kfz-Bereich entsprechend hoch sind. Bisher branchenfremde Zulieferer haben es wesentlich schwerer und müssen gegebenenfalls mit hohen Regressansprüchen rechnen, sollten sich ihre zum Teil neu entwickelten Produkte als fehlerhaft erweisen. Auch die Vorgaben des Gesetzgebers können sich verschärfen. Aus den genannten Gründen ist eine klare Abgrenzung der juristischen Verantwortlichkeiten dringend geboten.¹⁴³

Tab. 23 Sicherheitstechnische Anforderungen an Elektrofahrzeuge mit Beispielen.

Sicherheitsaspekt	Beispiel
Elektrische Sicherheit	Elektrischer Schlag
Elektromagnetische Verträglichkeit	Störfestigkeit, Störaussendung
Funktionale Sicherheit	Zuverlässigkeit aktiver Sicherheitssysteme
Akustische Wahrnehmung	Lautloses Fahren

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Erhöhte Unfallgefahr durch geringe Geräuschemission

Zu den Vorzügen der Elektromobilität gehört die geringe Geräuschemission. Bei Geschwindigkeiten unter etwa 30 km/h weisen Elektrofahrzeuge eine geringere Geräuschemission als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor auf. Bei höheren Geschwindigkeiten überwiegen die Abrollgeräusche. Elektrofahrzeuge können somit einen wertvollen Beitrag zur Lärminderung in Wohngebieten liefern. Allerdings sehen viele Personen in der geringen Geräuschemission auch eine erhöhte Unfallgefahr.

Obwohl dieses Thema in der Öffentlichkeit verstärkt wahrgenommen wird (einige hundert Presseartikel), ist die Datenlage dürrftig.¹⁴⁴ In Deutschland gibt es (noch) keine Belege für eine höhere Gefährdung durch Elektrofahrzeuge. Das US Department of Transportation hat im September 2009 einen Report veröffentlicht, in dem beschrieben wird, dass in bestimmten Situationen Hybridfahrzeuge eine größere Unfallrate mit Fußgängern und Fahrradfahrern als andere Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor aufweisen.¹⁴⁵ Ulf Sandberg bemängelt, dass es keine Belege dafür gibt, dass die Unfälle auf die Geräuscharmheit zurückzuführen sind.¹⁴⁶ Christopher Hogan kommt in seiner Studie zu dem Schluss, dass zwischen den Jahren 2002 und 2006 kein blinder Fußgänger

bei einem Unfall mit einem Hybridfahrzeug getötet wurde. In tödliche Unfälle mit Fußgängern ist der Toyota Prius genauso häufig wie durchschnittliche Personenkraftfahrzeuge verwickelt.¹⁴⁷ Eine Umfrage unter E-Mobil-Fahrern im Rahmen des Projekts AUE-Mobility hat ergeben, dass immerhin 30 Prozent der Befragten gefährliche Situationen erlebten, die sie auf die geringeren Geräuschemissionen zurückführten. Alle Fälle ereigneten sich beim Herausfahren aus Parklücken oder in Ein- und Ausfahrtsituationen. Daraus wird geschlossen, dass es in solchen Situationen ein erhöhtes Risiko geben könnte, bei denen sich Verkehrsteilnehmer vornehmlich akustisch orientieren.¹⁴⁸

Die UNECE Working Party on Noise hat Anfang 2011 eine Empfehlung zur Verwendung von Geräuschgeneratoren, die auch von den Automobilverbänden mitgetragen wird, abgegeben. Es wird empfohlen, dass Elektrofahrzeuge bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h ein Geräusch von sich geben. Es wurde ein Negativkatalog definiert, der bestimmte Geräusche ausschließt. Darunter befinden sich u. a. Tierklänge und Feuerwehirsirenen. Die Lautstärke soll der Lautstärke eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor bei 20 km/h entsprechen. In den USA soll bis Mitte 2012 ein Gesetz zu „Noise Emission Electrovehicles“ in Kraft treten.¹⁴⁹

¹⁴³ Klindt (2011).

¹⁴⁴ D'Angelico (2011).

¹⁴⁵ U.S. Department of Transportation (2009).

¹⁴⁶ Sandberg/Goubert/Mioduszewski (2010).

¹⁴⁷ Hogan (2009).

¹⁴⁸ D'Angelico (2011).

¹⁴⁹ D'Angelico (2011).

3.3 Bevorrechtigung

Derzeit befindet sich ein Bündel verschiedener Anreizmaßnahmen in der Diskussion. Es ist zu ermitteln, wie sich diese auf das Nutzerverhalten auswirken und wie diese rechtlich umgesetzt werden könnten. Ideen sind unter anderem die Bevorrechtigung beim Parken (Parkstände für Elektrofahrzeuge, Parkdauer, Parkkosten) im öffentlichen Raum und die Freigabe von Bussonderfahrstreifen. Gemäß einer Studie von PwC und dem Fraunhofer IAO werden diese Anreizmaßnahmen von nur 30 Prozent der Befragten als sehr bzw. eher wichtige Voraussetzung für den Kauf eines Elektrofahrzeuges angesehen. Die Mehrheit der Befragten sehen mit 69 Prozent die Maßnahmen als eher oder völlig unwichtig an. Nur 1 Prozent machte keine Angaben oder hatte keine Meinung dazu.¹⁵⁰

Parken von Elektrofahrzeugen im öffentlichen Raum

Eine Möglichkeit zur Förderung der Elektromobilität ist die Ausweisung von Parkständen speziell für Elektrofahrzeuge und deren kostenlose oder kostenreduzierte Überlassung z. B. beim Ladevorgang. Hierfür wurden in Deutschland durch eine Verkehrsblattverlautbarung über eine einheitliche Beschilderung die Grundlagen geschaffen. Es wurden die Verkehrsschilder „Elektrofahrzeuge während des Ladevorgangs frei“, „Elektrofahrzeuge während des Ladevorgangs“, „Elektrofahrzeuge frei“ und „Elektrofahrzeuge“ veröffentlicht. Die Beschilderungen ohne die Ergänzung „frei“ können durch Zusatzregelungen (z. B. Zeitfenster, Ortsangaben) ergänzt werden.

Es stellt sich die Frage, ob spezielle Parkstände notwendig und aus verkehrspolitischer Sicht sinnvoll sind und wie hoch der Bedarf an Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum generell ist. Die Notwendigkeit von kostenlosen oder kostenreduzierten Parkständen könnte aus der Ladezeit von mehreren Stunden abgeleitet werden. Die reguläre Parkgebühr könnte bei einer Vollladung des

Elektrofahrzeugs zu einer finanziellen Benachteiligung führen. Wobei hier zu hinterfragen ist, ob das Fahrzeug nicht ohnehin diese Zeit dort stehen würde (z. B. während der täglichen Arbeitszeit). Aus verkehrspolitischer Sicht kann die Bevorrechtigung nur bedingt begrüßt werden. Sie löst nicht das Problem, dass durch den MIV weiterhin Flächen im Straßenraum durch den ruhenden Verkehr belegt werden. Durch die notwendige Infrastruktur werden zudem neue Flächen in Anspruch genommen, die derzeit durch andere Verkehrsteilnehmer genutzt werden. Es ist eine politische Entscheidung, wie weit die Bevorrechtigung reicht.

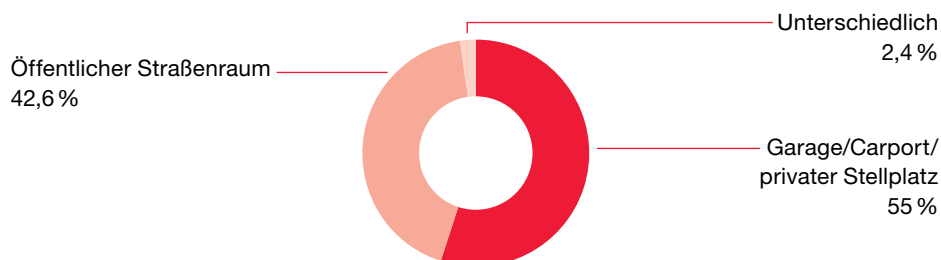
Um den Bedarf an Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum zu ermitteln, wurde von der FH-Frankfurt im Rahmen des Projektes „Elektrolöwe 2010 – der hessische Elektroautofahrer (Nachhaltigkeitsstrategie Hessen)“ die private Stellplatzverfügbarkeit u. a. in Frankfurt und Kassel anhand der SrV-Daten von

2008 ermittelt. Die Grafiken 50 und 51 zeigen die private Stellplatzverfügbarkeit in Frankfurt am Main und Kassel sowie den Anteil der abgestellten Fahrzeuge im öffentlichen Raum.

Die Analyse zeigt, dass in Frankfurt am Main 55 Prozent und in Kassel 69,5 Prozent der Befragten über einen privaten Stellplatz bzw. über einen Carport oder eine Garage verfügen. In Frankfurt stellen 42,6 Prozent und in Kassel 27,6 Prozent der Befragten ihre Fahrzeuge im Straßenraum ab. Die verbleibenden Anteile von 2,4 Prozent in Frankfurt und 2,9 Prozent in Kassel stellen ihr Fahrzeug an unterschiedlichen Standorten ab.

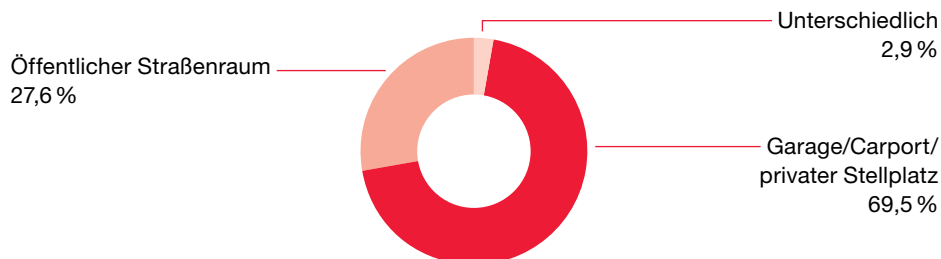
Während der Wert von Kassel aufgrund der räumlichen und städtebaulichen Struktur des Untersuchungsgebietes wenig überraschend ist, ist der Wert von Frankfurt am Main mit zum Teil hochverdichteten Stadträumen umso überraschender.

Abb. 50 Verteilung des ruhenden Verkehrs in Frankfurt am Main (n = 1.691).



Quelle: SrV 2008: Ahrens et al. (2009).

Abb. 51 Verteilung des ruhenden Verkehrs in Kassel (n = 1.006).



Quelle: SrV 2008: Ahrens et al. (2009).

¹⁵⁰ PwC, Fraunhofer IAO (2010), S. 12.

Die notwendige Anzahl an Ladepunkten bemisst sich aus dem Bedarf der Anwohner mit Elektrofahrzeug, dem Bedarf der Einpendler mit Elektrofahrzeug und dem Bedarf des Wirtschaftsverkehrs (Flotten- oder auch Nutzfahrzeuge). Für Einpendler liegen bisher keine ausreichenden Erkenntnisse vor, in wie weit diese auf Sonderparkstände angewiesen sind. Es ist zu vermuten, dass deren Bedarf durch private Stellplätze zu Hause zum größten Teil gedeckt wird. Ebenso könnte die Situation bei den Wirtschaftsverkehren angenommen werden, da die Fahrzeuge in der Regel einen festen Standort haben und sich dieser in den meisten Fällen auf privaten Flächen befinden wird. Es muss für jede Kommune und jeden Standort individuell festgelegt werden, ob die Installation eines Ladepunktes sinnvoll und ob die Bevorrechtigung des Elektrofahrzeuges notwendig ist.

Ein wichtiger Grund für den Aufbau der Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum kann die Installation von Schnellladepunkten sein. Diese können zur Akzeptanz von Elektrofahrzeugen beitragen, weil Sie den Nutzern die Sicherheit bieten, mobil zu bleiben, auch wenn sich deren Tagespläne und damit das Verkehrsverhalten ändern. Es wird eine mittelbare Verlängerung der Reichweite erzielt.

Die Situation im Ausland kann aufgrund der Vielfältigkeit der Anforderungen und mangelnder Datenverfügbarkeit nicht umfassend beschrieben werden. Exemplarisch wird ein Beispiel angeführt und eine Übersicht über die internationalen Fördermaßnahmen zum Parken gegeben.

Die Stadt London hat fast 500 kostenfreie Erlaubnisse für das Parken von emissionsfreien Fahrzeugen am Straßenrand ausgegeben, um die Aufmerksamkeit zu erhöhen und damit den Erwerb der Elektrofahrzeuge zu fördern. Zusätzlich wurden 539 Stellplätze zum kostenlosen Parken in den Parkhäusern zur Verfügung gestellt. Gegenwärtig ist eine andere Entwicklung festzustellen, da die Stadt seit dem Jahr 2008 die Stellplatzmieten in den Parkhäusern stufenweise auf den Normalpreis anhebt. Die Erlaubnisse für das Parken auf der Straße bleiben bestehen, jedoch müssen neue Elektrofahrzeugbesitzer

den für alle Pkw-Besitzer gültigen Preis von ca. 4,50 Euro pro Stunde an den Parkuhren bezahlen. Die Gründe hierfür liegen darin, dass von der Stadt London der Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel oder das Fahrrad gewünscht wird, um den MIV weiter zu reduzieren.¹⁵¹

Die Tabelle 24 gibt exemplarisch Aufschluss über Parkerleichterungen in verschiedenen Ländern. Da sich die Rahmenbedingungen gewöhnlich schnell verändern, ist dies nur eine Momentaufnahme.

Tab. 24 Internationale Fördermaßnahmen zum Thema Parken im Jahr 2008.

Land	Maßnahme
Großbritannien	Kostenlose Parkstände in der Innenstadt und Stellplätze in Parkhäusern (auslaufend), z. T. kostenloses Laden in Parkhäusern
Irland	Kostenfreie Parkstände
Frankreich	Kostenfreie Parkstände
Italien	Kostenfreie Parkstände und kostenloses Laden in ausgewählten Städten
Norwegen	Kostenfreies Parken an ausgewiesenen Stellen
Uruguay	Kostenfreie Parkstände in der Landeshauptstadt Montevideo
Vereinigte Staaten	Bevorzugtes Parken von Elektro-Pkw an ausgewiesenen Stellen

Quelle: Comtex Green (2008).

¹⁵¹ Williams (2008).

Parkentgelte und -gebühren im internationalen Vergleich

Das Institut der deutschen Wirtschaft, Köln, hat im Jahr 2008 eine Studie zu den Parkgebühren in Parkhäusern deutscher Großstädte erstellt. Es wurden die durchschnittlichen Parkkosten von drei Parkhäusern für den Parkzeitraum Samstag von 9 bis 13 Uhr ermittelt. Die Kosten lagen zwischen 0 Euro in Marl (NW) und 9 Euro in München (BY). Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die höchsten Kosten in Metropolen bzw. großen Ballungsräumen entstehen, sowie in Städten mit hoher Einzelhandelszentralität. Die Ergebnisse für die größten Städte sind in der Tabelle 25 aufgeführt.

Neben dem Parken in Parkhäusern kann auch im Straßenraum geparkt werden. Eine Befragung von Kommunen im Rahmen einer Dissertation aus dem Jahr 2007 kommt zu dem Ergebnis, dass die Mehrheit der deutschen Kommunen Parkgebühren von 0,50 bis 1,00 Euro pro Stunde erhebt. Ausreißer unter den Befragten waren München mit 2,50 Euro und Mainz mit 2,80 Euro pro Stunde (ausgewählte Standorte).¹⁵²

Beim Vergleich der Parkgebühren und der Parkentgelte zeigt sich, dass diese in den untersuchten deutschen Städten auf ähnlichem Niveau liegen. Werden diese Kosten den im Ausland erhobenen Parkgebühren und -entgelten gegenübergestellt, dann wird deutlich, dass die Kosten in Deutschland eher gering sind. Die Tabelle 26 zeigt die Höchstparkgebühren in ausgewählten niederländischen Städten und in Stockholm.

Tab. 25 Parkentgelte in Parkhäusern in deutschen Großstädten.

Rang	Stadt	Einwohner (2005)	Kosten in € (Sa, 4 Std)	Durchschnittliche Kosten in €/Std.
100	München	1.259.677	9,00	2,25
99	Hamburg	1.743.627	8,83	2,21
97	Köln	983.347	7,07	1,77
86	Frankfurt/Main	651.899	6,00	1,50
50	Berlin	3.395.189	4,57	1,14

Quelle: IW Consult GmbH Köln (2008), S. 4.

Tab. 26 Höchstparkgebühren in ausgewählten niederländischen Städten und in Stockholm.

Stadt	Einwohner	Höchstparkgebühr (€/Std.)
Groningen	175.000	1,50
Amsterdam	727.000	2,80
Gouda	73.000	1,50
Utrecht	265.000	2,42
Stockholm	736.000	3,40

Quelle: Schäfer (2007).

In Anbetracht der eher geringen Kosten für das Parken im öffentlichen Straßenraum in Deutschland kann die Bedeutung des Erlasses von Parkgebühren zur Förderung von Elektrofahrzeugen als eher gering eingeschätzt werden. In einem Bündel mit anderen Maßnahmen kann der Erlass ein zusätzlicher Anreiz sein. Insbesondere wenn die Parkgebühren in den Städten steigen, könnte dies einen positiven Effekt auf den Absatz von Elektrofahrzeugen haben, wenn diese dann kostenfrei oder kostenreduziert geparkt werden können. Für

ausländische Städte kann dies schon heute gelten, insofern die Parkgebühren und -entgelte ein entsprechend hohes Maß erreichen. Als Beispiel sei hier London genannt, wo die Parkentgelte in der Innenstadt bei ca. 8 Euro pro Stunde liegen.¹⁵³ Das Parken im Straßenraum kostet 4,50 Euro pro Stunde. Zudem ist die Verfügbarkeit von Parkständen im Straßenraum sehr gering. Hier gibt es Fördermaßnahmen, jedoch laufen diese aus umweltpolitischen Gründen im Jahr 2011 aus (siehe Abschnitt Parken von Elektrofahrzeugen im öffentlichen Raum).

¹⁵² Schäfer (2007).

¹⁵³ NPA – National Car Park Limited (2011).

Nutzung von Bussonderfahrstreifen

Busspuren werden im öffentlichen Straßenraum durch das Zeichen 245 der Allgemeinen Verwaltungsschrift zur Straßenverkehrsordnung (VwV-StVO) ausgewiesen. In den Anmerkungen zu diesem Zeichen nach § 41 StVO heißt es: „Der Sonderfahrstreifen soll im Interesse der Sicherheit oder Ordnung des Verkehrs Störungen des Linienverkehrs vermeiden und einen geordneten und zügigen Betriebsablauf ermöglichen. Er ist damit geeignet, den öffentlichen Personenverkehr gegenüber dem Individualverkehr zu fördern [...]“. Mit Zusatzschildern ist es möglich, sowohl Taxis als auch Fahrradfahrern die Nutzung zu gestatten. Für Bussonderfahrstreifen können spezielle Lichtzeichenanlagen eingesetzt werden, jedoch nur, wenn der Radverkehr nicht mitgeführt oder für ihn eigene Lichtzeichenanlagen installiert werden. Taxen müssen sich an die speziellen Lichtzeichenanlagen halten (zu § 41 StVO in VwV-StVO).

Eine Freigabe von Elektrofahrzeugen ist demnach nur möglich, wenn die Leistungsfähigkeit des ÖPNVs nicht eingeschränkt wird. Aus aktueller Sicht könnte dies nur für die Anfangsjahre der angestrebten Expansion sichergestellt werden. Sobald die Anzahl der Elektrofahrzeuge zu hoch ist, kann die Qualität des Verkehrsablaufs im ÖPNV nicht mehr sichergestellt werden. Daher sollte diese Maßnahme temporär begrenzt werden. Es ist zu vermuten, dass aufgrund der finanziellen Struktur der Ballungsräume („Speckgürtelgemeinden“) eine höhere Elektrofahrzeugdichte als im ländlichen Raum erreicht wird. Da in Ballungsräumen aufgrund der höheren Verkehrsdichte häufiger Bussonderstreifen eingerichtet werden, könnte hier ein Nutzungskonflikt entstehen. Zudem wird es schwierig sein, zu einem späteren

Zeitpunkt die Freigabe wieder rückgängig zu machen. Aus rechtlicher Sicht wäre perspektivisch eine Anpassung der StVO bzw. der Verwaltungsvorschriften sinnvoll.

Die Nutzung von Busspuren oder die Einrichtung von Sonderfahrstreifen ist im europäischen und internationalen Ausland ein gebräuchliches Mittel zur Förderung der Elektromobilität. Besondere Vorreiter sind die USA und Portugal, die sich auch durch nichtmonetäre Anreize vordere Positionen bei der Elektromobilität gesichert haben.¹⁵⁴ Allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, dass sie die wichtigsten Treiber für Elektromobilität sein werden, da sie aus Sicht der Nutzer zwar als gut angesehen, aber nicht als entscheidend bewertet werden.¹⁵⁵

3.4 Umweltrecht

Um die internationalen Umweltziele (u. a. Kyoto-Protokoll) erreichen zu können, sind Veränderungen im derzeitigen Verkehrsverhalten notwendig. Dies wird durch die Anpassung der rechtlichen Regelungen für den Umweltschutz in den Ländern realisiert. In der EU sind dies die Luftreinhalte- und Lärmmininderungspläne und die daraus entwickelten Aktionspläne, deren rechtliche Grundlage in Deutschland das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) ist. Die Chance für die Elektromobilität besteht darin, die bestehenden Regelungen für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und hohem Schadstoffausstoß zu verschärfen. In Deutschland wäre dies beispielsweise die Anpassung der Grenzwerte von Umweltzonen zugunsten von Elektrofahrzeugen. So könnten Fahrzeuge mit sehr hohen CO₂-Werten stufenweise aus den Innenstädten verbannt werden, wie dies bereits bei älteren Fahrzeugen ohne geregelten Katalysator oder hohe

Feinstaubemissionen der Fall war. Der Absatz von Elektrofahrzeugen könnte dadurch steigen, wobei die Maßnahme selbst vermutlich eher negativ von den Nutzern wahrgenommen werden würde.

Internationale Klimaschutzziele

Im Jahre 1992 wurde von der internationalen Staatengemeinschaft beschlossen, anthropogene Störungen des Klimasystems durch den Menschen zu verhindern. Zu diesem Zeitpunkt wurden noch keine festen Ziele vereinbart. Der erste Schritt zur Festlegung individueller Klimaziele (Mengen und Zeithorizonte) wurde im Jahre 1997 durch das Kyoto-Protokoll eingeleitet, das von den meisten Staaten, abgesehen von den USA und einigen kleineren Staaten, im Laufe der Jahre ratifiziert wurde. Das Protokoll läuft im kommenden Jahr (2012) aus. Aus diesem Grund wurde 2007 auf der 13. Klimakonferenz in Bali, Indonesien, beschlossen, ein neues Klimaschutzabkommen aufzusetzen. Das Abkommen sollte zur 15. Klimaschutzkonferenz in Kopenhagen, Dänemark, beschlossen werden. Dies scheiterte jedoch aufgrund der unterschiedlichen Interessen der Länder. Das Ergebnis der Konferenz ist der „Copenhagen Accord“, eine politische Vereinbarung. Dieser haben sich 140 Staaten angeschlossen, zum Teil unter Vorlage von konkreten Emissionsminderungszielen und -maßnahmen für das Jahr 2020. Auf der 16. Klimaschutzkonferenz in Cancún, Mexiko, wurden die getroffenen Vereinbarungen in den „Cancún Agreements“ fixiert. Zudem wurde die Begrenzung des Temperaturanstiegs um 2 °C erstmals als Obergrenze anerkannt. Die nächste Konferenz findet im Dezember 2011 in Durban, Südafrika, statt.¹⁵⁶

¹⁵⁴ Williams (2008).

¹⁵⁵ wiwo.de (2010).

¹⁵⁶ PwC, Fraunhofer IAO (2010), S. 12.

Ziel sollte es sein, die Elektromobilität in das Gesamtkonzept des weltweiten Klima- und Umweltschutzes zu integrieren und auf diese Weise die gesetzten Ziele zu unterstützen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Stromerzeugung, den Batteriesystemen und dem Recycling (Fahrzeug, Batterie und Ladeinfrastruktur). Die aus diesen Aspekten resultierenden Umweltauswirkungen können mit einer stärkeren Nutzung von erneuerbaren Energien sowie durch Ökobilanzen und Produktlebenszyklusbetrachtungen reduziert werden.^{157,158} Wenn in Zukunft die Elektrofahrzeuge als Energiespeicher im Smart Grid genutzt werden, dann könnten weitere Mengen umweltschädlicher Stoffe, die durch die bedarfsgerechte Stromproduktion anfallen, eingespart werden. Dies ist Teil von Förderprogrammen des BMU.¹⁵⁹

Luftreinhalte- und Lärm-minderungspläne der Europäischen Gemeinschaft

Um die Möglichkeiten der Elektromobilität zur Erreichung einer besseren Luftqualität und zur Reduzierung des Lärms einordnen zu können, sind die rechtlichen Rahmenbedingungen zu klären. Hierzu werden im Folgenden die Umweltgesetzgebung der Europäischen Gemeinschaft hinsichtlich der Luftreinhaltung und der Lärminderung eingehender beschrieben sowie die nationale Umsetzung der verabschiedeten EG-Richtlinien in Deutschland erläutert.

Die Luftreinhalteplanung begründet sich auf den EG-Richtlinien 96/62/EG „Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität“, 1999/30/EG „Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft“ und 2008/50/EG „Luftqualität und saubere Luft für Europa“. In Deutschland wurden diese Richtlinien durch § 47 des BImSchG in nationales Recht umgesetzt. Die Kernaussage dieses Paragraphen ist: „Werden die durch eine Rechtsverordnung [...] festgelegten Immissionsgrenzwerte einschließlich festgelegter Toleranzmargen überschritten, hat die zuständige Behörde einen Luftreinhalteplan aufzustellen, welcher die erforderlichen Maßnahmen zur dauerhaften Verminderung von Luftverunreinigungen festlegt und den Anforderungen der Rechtsverordnung entspricht [...]. Die Maßnahmen eines Luftreinhalteplans müssen geeignet sein, den Zeitraum einer Überschreitung von bereits einzuhaltenden Immissionsgrenzwerten so kurz wie möglich zu

halten.“ Die aufzustellenden Pläne können verschiedene Maßnahmen enthalten, darunter Pläne für kurzfristig zu ergreifende Maßnahmen „Aktionspläne“ (z. B. Beschränkungen des Schienen- und Straßenverkehrs), oder auch für langfristig zu ergreifende Maßnahmen wie die Einrichtung von Umweltzonen. Praktisch umgesetzt werden die Umweltzonen durch die 35. BImSchV: Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung, besser bekannt unter dem Namen Feinstaubverordnung. Diese ermächtigt Kommunen seit dem Jahr 2007 dazu, Umweltzonen auszuweisen und die Einfahrt von bestimmten Fahrzeugen zu verbieten. Es werden vier Feinstaubgruppen unterschieden, die in der Tabelle 27 dargestellt werden. Die genaue Zuteilung erfolgt anhand von Emissionsschlüsselnummern, die den Zulassungsunterlagen zu entnehmen sind.

Tab. 27 Schadstoffgruppen und Plaketten nach dem Anhang 2 der 35. Bundesimmissionsschutzverordnung.

Feinstaubgruppe	Einschränkungen	Plakette
1	Alte Diesel oder Benzinfahrzeuge ohne geregelten Katalysator	–
2	Bestimmte Fahrzeuge mit Dieselmotor	rot
3	Bestimmte Fahrzeuge mit Dieselmotor, Diesel PM1 (Partikelminderungsstufe)	gelb
4	Benziner mit geregeltem Katalysator, Fahrzeuge mit Flüssiggas-, Erdgas- und Ethanolantrieb, bestimmte Dieselfahrzeuge ohne Partikelfilter, Dieselfahrzeuge mit Partikelfilter	grün

Quelle: Schäfer (2007).

¹⁵⁷ NPE (2010).

¹⁵⁸ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011), S. 8 ff.

¹⁵⁹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011).

Die Bundesregierung plant im Rahmen der neuen 40. Bundesimmissionsschutzverordnung die Einführung einer blauen Plakette. Diese soll weitestgehend emissionslose Fahrzeuge im Straßenverkehr identifizierbar machen und somit die Kontrolle der Zulässigkeit von straßenverkehrsrechtlichen Privilegien (Nutzung von Busspuren, kostenfreies Parken etc.) vereinfachen.¹⁶⁰

Die Lärminderungsplanung findet ihre Ursprünge in der EG-Richtlinie 2002/49/EG „Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm“ und wurde in den §§ 47a bis 47f des deutschen BImSchG auf nationaler Ebene umgesetzt. Die praktische Realisierung aus juristischer Sicht erfolgte in der 34. Bundesimmissionsschutzverordnung: „Verordnung über die Lärmkartierung“. Es sind Lärmkarten von betroffenen Gebieten aufzustellen, die mithilfe von festgelegten Lärmindizes beschrieben werden. Die folgende Liste zeigt, für welche Gebiete bzw. unter welchen Voraussetzungen Lärmkarten in einer ersten Stufe (bis 2007) erstellt werden müssen:

- Ballungsräume mit mehr als 250.000 Einwohnern
- Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als sechs Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr
- Haupteisenbahnstrecken mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 60.000 Zügen pro Jahr und
- Großflughäfen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 50.000 Bewegungen pro Jahr

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass weite Teile der Bevölkerung von hohen Lärmbelastungen betroffen sind. Aufgrund dieser Ergebnisse mussten bis zum Juli 2008 unter Beteiligung der Öffentlichkeit

Tab. 28 Auslöseschwellen für Lärmaktionspläne.

Umwelthandlungsziel	Zeitraum	L _{DEN}	L _{NIGHT}
Vermeidung von Gesundheitsgefährdung	kurzfristig	65 dB(A)	55 dB(A)
Minderung der erheblichen Belästigung	mittelfristig	60 dB(A)	50 dB(A)
Vermeidung von erheblicher Belästigung	langfristig	55 dB(A)	45 dB(A)

Quelle: Umweltbundesamt (2011).

sog. Lärmaktionspläne (Lärminderungspläne) ausgearbeitet werden. Ob ein Plan ausgearbeitet werden musste, ergab sich aus den festgelegten Auslöseschwellen, die in der Tabelle 28 dargestellt werden. Kriterium für das Aufstellen eines Lärmaktionsplans ist die Überschreitung einer der angegebenen Werte LDEN (24-Stunden-Wert) oder LNIGHT (Nachtwert).

Die zweite Stufe besagt, dass die Lärmkartierung bis 30. Juni 2012 und die Lärmaktionsplanung bis 18. Juli 2013 erweitert werden muss. Dies bezieht sich auf die folgenden Gebiete:

- Ballungsräume mit mehr als 100.000 Einwohnern
- Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als drei Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr
- Haupteisenbahnstrecken mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 30.000 Zügen pro Jahr und
- Großflughäfen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 50.000 Bewegungen pro Jahr¹⁶¹

Sowohl für die Luftreinhaltung als auch für die Lärminderung kann die Elektromobilität ein Baustein sein, um die gesetzten Ziele schneller zu erreichen und die betroffenen Bürger schneller zu entlasten. Dies gilt nur unter der Voraussetzung, dass sie selbst nachhaltig

betrieben wird und somit auch keine überlokalen negativen Umwelteffekte verursacht. Durch entsprechende Prüf- und Qualitätsnormen für Fahrzeuge, die Infrastruktur etc. könnte dies sichergestellt werden.

Möglicher Beitrag von Elektrofahrzeugen zum Schutz der Umwelt

Die Umweltauswirkungen, die aus der Herstellung von Automobilen resultieren, werden sich aller Voraussicht nach bei Elektrofahrzeugen nur für einzelne Komponenten ändern. Änderungen sind vor allem beim Antriebsstrang und der Fahrzeugbatterie zu erwarten. Die Batterie ist ein wesentlicher Faktor bei der Betrachtung der Umweltauswirkungen sowohl bei der Herstellung als auch bei der Verwertung von Elektrofahrzeugen bzw. der Komponenten. Positiv auf die Ökobilanz wirkt sich der Wegfall von Komponenten des mechanischen Antriebsstrangs aus. Im Extremfall von radintegrierten Antrieben entfallen alle mechanischen Komponenten. „Purpose Design“-Elektrofahrzeuge bieten durch die neuen Freiheiten in der Gestaltung weiteres ökologisches Optimierungspotenzial.

¹⁶⁰ Die Bundesregierung (2011), S. 50.

¹⁶¹ Umweltbundesamt (2011).

Beim Betrieb von (fossil) betriebenen Fahrzeugen kommt es zu zahlreichen Emissionen, die in der Tabelle 29 dargestellt werden. Nicht alle Angaben sind dem fossilen Energieträger geschuldet und können bei Elektrofahrzeugen ebenfalls auftreten. Tabelle 29 zeigt die wesentlichen Umweltauswirkungen, die für die Umweltmedien Luft, Wasser und Boden zu erwarten sind.

Lokal verursachen elektrisch betriebene Fahrzeuge keine aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe resultierenden Emissionen (Abgase, Aerosole, Partikel). Bei geringen Geschwindigkeiten ist die Elektromobilität weitgehend lärmemissionsfrei. Lokale Emissionen von Elektroautos sind Abrieb von Reifen und Bremsen sowie bei höheren Geschwindigkeiten Abroll- und Windgeräusche.

Global gesehen, ist die Stromproduktion ein wesentlicher umweltrelevanter Faktor der Elektromobilität. Mit ihr steht und fällt der Beitrag der Elektromobilität zum Umweltschutz hinsichtlich der Klimaziele und der sonstigen Luftverschmutzung. Daher sind erneuerbare Energien ein unverzichtbarer Bestandteil der Elektromobilität. Dies gilt über deutsche, aber auch europäische Grenzen hinaus. Abbildung 52 zeigt die CO₂-Emissionen von Pkw unter Berücksichtigung von Emissionen aus Energiebereitstellung und Fahrzeugbetrieb.

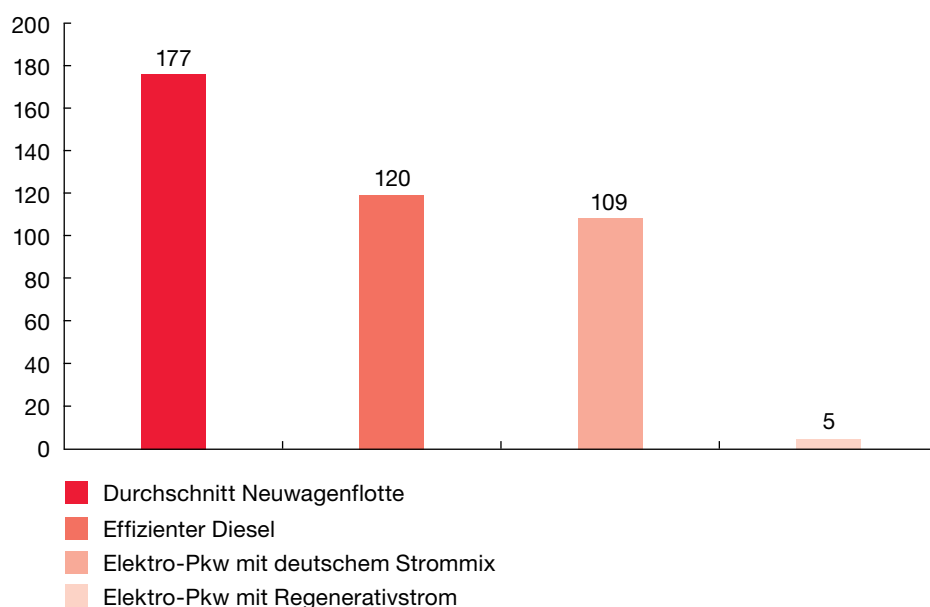
Der Vergleich zeigt die hohen Potenziale der CO₂-Einsparung bei der Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen gegenüber fossil betriebenen Fahrzeugen. Ebenso ist ersichtlich, dass Elektro-Pkw, die mit Strom aus dem derzeitigen Strommix betrieben werden,

Tab. 29 Umweltauswirkungen des Straßenverkehrs.

Medium	Emission und Einwirkung
Luft	Abgase, Aerosole, Partikel (z.B. CO ₂ , CO, NO _x , N ₂ O, NMVOC, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5}) und Lärm
Wasser	Auslaufende Treib- und sonstige Betriebsstoffe, Abschwämmung von Luftschadstoffen
Boden	Ablagerung von Luftschadstoffen

Quelle: Umweltbundesamt (2011) (2).

Abb. 52 CO₂-Emissionen von Pkw.



Quelle: BMU (2011).

kaum Potenziale für die Reduzierung der CO₂-Emissionen aufweisen. Dies bestätigt, dass für eine nachhaltige Entwicklung der Elektromobilität auch der Ausbau der erneuerbaren Energien vorangetrieben werden sollte.

3.5 Datenschutz

Der Datenschutz stellt vielfältige Anforderungen an die Fortentwicklung der Elektromobilität und in der weiteren Entwicklung auch an Smart Grids. Der deutsche Bundesbeauftragte für Datenschutz kritisiert, dass die Datenschutzbeauftragten der Länder bisher nicht in den Modellregionen beteiligt wurden und der Datenschutz bisher keine ausreichende Berücksichtigung findet.¹⁶² Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) hat im Januar 2011 einen technischen Report veröffentlicht, der die wesentlichen Kernaspekte bei der Betrachtung des Datenschutzes in Verbindung mit Smart Meter und der Elektromobilität in Deutschland herausarbeitet. Tabelle 30 zeigt die relevanten Themenfelder. In den Hinweisen sind die gemäß des „Bundesdatenschutzgesetzes“ zu beachtenden Gesichtspunkte und mögliche Komplikationen bei der Nutzung der Ladeinfrastruktur beschrieben.

Zusammenfassend betrachtet, kann das heutige Datenschutzrecht die neuen Anforderungen der Elektromobilität in Teilen nicht abdecken, da sich die Anwendungsfälle im Vergleich zum Telekommunikationsmarkt und der konventionellen Stromabrechnung im Haushalt in einigen Aspekten unterscheiden. Aus diesem Grund sieht das KIT den folgenden Handlungsbedarf zur Anpassung des „Bundesdatenschutzgesetzes“:¹⁶³

- Anpassung hinsichtlich der Festlegung des Zeitpunktes der Datenspeicherung von Messwerten am Ladepunkt
- Anpassung der Vorschriften hinsichtlich einer bereichsspezifischen Legitimation oder einer vereinfachten elektronischen Einwilligung, analog zum Telemediengesetz, vor dem Ladevorgang

Tab. 30 Datenschutzrechtliche Aspekte nach dem „Bundesdatenschutzgesetz“ und mögliche Komplikationen bei der Nutzung von Ladeinfrastruktur.

Datenschutzrechtlicher Aspekt	Erläuternde Hinweise
Personenbezug der Daten	Identifizierung bei der Abrechnung Mögliche Erstellung von Bewegungsprofilen Nutzung von Mobiltelefonen zur Fahrzeugüberwachung und damit zur Personenkontrolle Datenübertragung zwischen den Diensteanbietern
Rechtmäßigkeit	Festlegung des Zeitpunkts der Erhebung der Daten Rechtmäßigkeit der Datenerhebung Verarbeitung der Messdaten
Zweckbindung	Vertragserfüllung und Abrechnung Energiemanagement des Netzbetreibers
Erforderlichkeit der Datenerhebung	Abrechnungszweck (zwischen Kunden, Stromanbietern und Netzbetreibern) Netzmanagement im Smart Grid Einhaltung der Anforderungen des Eichrechts
Datensparsamkeit und -vermeidung	Begrenzung auf ein notwendiges Maß Anonymisieren oder Pseudonymisieren von Daten Dynamische ID-Vergabe zur Abrechnung
Nutzerrechte	Sicherstellung des Rechts auf Berichtigung, Löschung und Sperrung von Daten
Transparenz	Mitwirkungspflicht des Nutzers zur Datenerhebung und -verarbeitung Identifizierung der ladenden Person

Quelle: Karlsruher Institut für Technologie (2011), S. 44 ff.

- Bei Einsatz einer Clearingstelle (z. B. für internationales Roaming) soll für diese eine bereichsspezifische Regelung getroffen werden, welche die Datenübermittlung zwischen den Akteuren legitimiert
- Festlegung einer bereichsspezifischen Granularität¹⁶⁴ und der zulässigen Empfänger der mobilitätsbezogenen Abrechnungsdaten der Nutzer
- Generierung temporärer Identifikationsnummern und Einsatz von Ticketing-Verfahren
- Vermeidung der Übermittlung eines (mittelbaren) Ortsbezugs
- Eichrechtliche Verpflichtungen sollen durch vertrauenswürdige dritte Instanzen („Trusted Third Party“) und durch Nutzung von temporären Pseudonymen sichergestellt werden
- Gewährleistung der Datensicherheit beim Unfall

¹⁶² Der Bundesbeauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit (2011).

¹⁶³ Karlsruher Institut für Technologie (2011), S. 44 ff.

¹⁶⁴ Granularität beschreibt hier die Feinteiligkeit des Abrechnungsmodells. Diese greift insbesondere bei dynamischen Abrechnungsmodellen im Smart Grid.

3.6 Eichrecht

Hinsichtlich des Aufbaus einer Ladeinfrastruktur ist der Einsatz des sogenannten Smart Meter (intelligenter Zähler) ein wesentliches Element. Die Zähler sind mittels IKT-Technologien in der Lage, Zählerstände (z. B. Stromverbrauch) sekundengenau an Versorger und Endverbraucher zu melden. Umgekehrt können die Messgeräte auch Anweisungen von Versorgern und Endverbrauchern entgegennehmen. Die Möglichkeit zur detaillierten Erfassung des Stromverbrauchs auf Sekunden- und Minutenbasis und die Möglichkeit zur Datenfernübertragung können die entsprechende Ladestrombereitstellung in großem Maße unterstützen.

Damit Smart Meter in Deutschland eingesetzt werden können, bedarf es einiger Vorgänge, die aus dem deutschen Recht und dem EU-Recht hervorgehen. Wie bei heute verwendeten, analogen Zählern bedarf es vor der Inbetriebnahme der Eichung des Gerätes. Bevor das Gerät geeicht werden darf, muss es noch zur Eichung zugelassen werden. Viele weitere Vorschriften, Verordnungen und Gesetze müssen die Hersteller der Smart Meter und die Energieversorgungsunternehmen beachten.

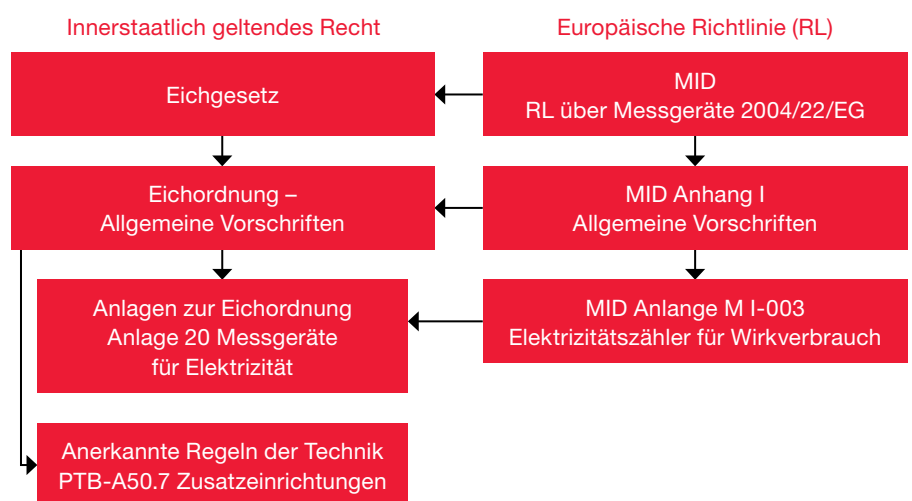
Eine wesentliche Grundlage für die Eichung ist die sogenannte MID, die Measuring Instruments Directive 2004/22/EG (EG-Messgeräte-richtlinie 2004/22/EG vom 30. April 2004), die eine Harmonisierung nationaler Rechtsvorschriften für Messgeräte auf europäischer Ebene verfolgt. Diese Zielsetzung beinhaltet dabei (u. a.) die Forderung, dass eine gesetzliche, messtechnische Kontrolle nicht zu einer Behinderung im freien Verkehr von Messgeräten innerhalb Europas führen

darf, soweit eine Angleichung der europäischen Rechtsvorschriften über Messgeräte und Mess- und Prüfverfahren erforderlich ist. Ebenso soll eine einheitliche Anerkennung eines Konformitätsnachweises in der EG (bzw. EU) und ein Wegfall der Einzelprüfungen von Geräten ermöglicht werden.

Eine weitere Grundlage für die Einführung bzw. Eichung von Smart Meters ist das Gesetz über das Mess- und Eichwesen bzw. das Eichgesetz (EichG), das im Juli 2008 zur Umsetzung der oben genannten MID geändert wurde. Vereinfacht bietet Abbildung 53 eine Übersicht zu allen relevanten eichrechtlichen Vorschriften im Bereich Elektromobilität.

Perspektivisch werden sich im Bereich der Elektromobilität verschiedene Konzepte und Entwicklungen bzgl. der Erfassung und Messung des Ladestroms entwickeln können. Insbesondere die Frage nach der mobilen Messung des Stroms und die Frage in welcher Art das Messen des Ladestroms mit stationären Zählern im Rahmen des Eichrechts zu berücksichtigen ist, sind zu klären. Eichrechtlich ist es unerheblich, ob die Zähler in einer Ladesäule, im Fahrzeug oder in einer Leitung zwischen Fahrzeug und Ladesäule untergebracht sind. Auch das Thema der Identifikation – also der Zuordnung von Messwerten zu Rechnungsschuldnern – muss bei den mobilen Zählern mit derselben Vertrauenswürdigkeit gelöst sein wie z. B. bei in Ladesäulen eingebauten Geräten.

Abb. 53 Vereinfachte Übersicht über relevante eichrechtliche Vorschriften im Bereich Elektromobilität.



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Mess- und Eichwesen (2011).

Für jedes Messgerät ist eine amtliche Eichung seitens der Landesbehörden der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt erforderlich. Dabei erfolgt entweder eine Ersteichung oder eine Nacheichung. Für die Ersteichung muss der zu eichende Zähler den zum Zeitpunkt der ersten Eichung geltenden Anforderungen entsprechen. Dies bedeutet, dass der Zähler die Bauartzulassung erhalten haben muss und zusätzlich folgende Angaben auf dem Gerät angebracht sein müssen:

- Name des Zulassungsinhabers oder sein Firmenname
- Fabriknummer des Gerätes
- Baujahr
- Ableseeinheit mit Namen der Einheiten
- Nennfrequenz, Nennstromstärke und Nennspannung
- Zählerart sowie Bauartbezeichnung des Herstellers
- Anzahl der Lauferumdrehungen
- Schaltplan oder Schaltungsnummer
- CE-Kennzeichnung und Meteorologie-Kennzeichen

Sofern diese Vorgaben auch bei mobilen Messgeräten eingehalten werden, spricht aus Sicht des Eichwesens nichts gegen einen Einsatz im Fahrzeug selbst.

Ebenfalls ist die Frage der Nacheichung relevant. Elektrisch betriebene Zähler haben eine Gültigkeitsdauer von acht Jahren, mechanische Elektrizitätszähler eine solche von 16 Jahren. Eine nur halb so lange Eichfrist für Smart Meter im Strombereich ist somit die wichtigste Auswirkung des Eichrechts auf Smart Metering. Dementsprechend ist zu berücksichtigen, dass die Smart Meter, ob mobil oder stationär eingebaut, im Rahmen dieser Zyklen nachgeeicht werden müssen. Das bedeutet, dass Fahrzeuge mit mobilem Zähler alle acht Jahre zu einer Eichstelle müssen, um nachgeeicht zu werden.

Wird Strom zum Aufladen der Elektrofahrzeuge verschenkt oder pauschal ohne Mengenbeschränkung („Flatrate“) abgerechnet, gibt es keine Eingriffe des Eichrechts. Jedoch muss bei der Pauschalabrechnung auf die Angabe von Werten in kWh oder kW verzichtet werden, sofern diese nicht mit geeichten Messgeräten bestimmt wurden.¹⁶⁵

¹⁶⁵ Arbeitsgemeinschaft Mess- und Eichwesen (2011).

IV. Politik

4.1 Zuständigkeit der Ministerien

Bundesebene

Im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität wird die Zuständigkeit für das Thema Elektromobilität den vier Bundesministerien für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und für Bildung und Forschung (BMBF) zugeschrieben.¹⁶⁶ Um das Know-how der Ministerien effizient zu nutzen, wird in einigen Fällen eine Kooperation der Ministerien durchgeführt bzw. angestrebt. So haben das BMVBS und das BMWi im Jahr 2010 gemeinsam die Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung gegründet. Während der Sitz der neuen Geschäftsstelle das BMWi ist, wird diese vom BMVBS geleitet. Die Geschäftsstelle ist u. a. für die NPE zuständig.

Das BMVBS fördert Aktivitäten im Bereich Elektromobilität in acht Modellregionen mit insgesamt 115 Millionen Euro. Die Mittel werden aus dem Konjunkturpaket II der Bundesregierung bereitgestellt. Weitere Projekte des BMVBS sind der Aufbau eines Batteriezentrums sowie die Errichtung von Wasserstofftankstellen.

Die Schwerpunkte der Förderung des BMWi liegen z. B. in den Bereichen Verkehrsforschung und IKT für Elektromobilität.¹⁶⁷

Das BMU fördert unterschiedliche Vorhaben im Bereich Elektromobilität aus Mitteln des Konjunkturpakets II.¹⁶⁸ Im Jahr 2009 wurden folgende

Themenschwerpunkte identifiziert: Feldversuche Pkw, Feldversuche Wirtschaftsverkehr, Forschung und Entwicklung zum Thema Batterierecycling, Hybridbusse und E-Energy.

Das BMBF fördert insbesondere Projekte im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien mit einem Volumen von insgesamt 60 Millionen Euro. Im Rahmen der Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie LIB 2015 von Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft tragen die Industrieunternehmen EVONIK, BASF, BOSCH, LiTec und VW weitere 360 Millionen Euro zur erfolgreichen Umsetzung des Projektes bei.¹⁶⁹

Landesebene

Je nach Bundesland sind die Strukturen und Aktivitäten im Bereich Elektromobilität unterschiedlich. Exemplarisch wird an dieser Stelle das Land Hessen dargestellt. In Hessen war die Zuständigkeit für das Thema Elektromobilität bis vor Kurzem auf drei verschiedene Ministerien und die Staatskanzlei verteilt. Die wesentlichen Aktivitäten im Bereich Elektromobilität werden unter der Dachmarke ZEBRA durchgeführt. Hierbei handelt es sich zum einen um die Projekte, die innerhalb der Modellregion Rhein-Main durchgeführt werden und zum anderen um das Projekt „Modellland zur nachhaltigen Nutzung von Elektroautos“. Während die Projekte der Modellregion vom BMVBS gefördert werden, wird das zweite Projekt vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV) gefördert und vom Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst (HMWK) koordiniert. Die Organisation und Aufgabenverteilung innerhalb des Landes ist kürzlich neu strukturiert worden. Die Aktivitäten werden

einheitlich unter dem Dach der Staatskanzlei koordiniert und zusammengeführt. Infolgedessen ist die Staatskanzlei zentraler Ansprechpartner des Landes Hessen für den Bereich Elektromobilität.¹⁷⁰

Europa

Im Rahmen des „European Economic Recovery Plans“ ist die Initiative European Green Cars initiiert worden. Die Initiative wurde als PPP gestaltet und wird von der Europäischen Kommission, den Mitgliedsländern und der Industrie getragen. Auf Ebene der Europäischen Kommission decken im Wesentlichen die folgenden Generaldirektionen (GD) die Anforderungen des Projekts ab: GD Forschung und Innovation, GD Informationsgesellschaft und Medien, GD Energie und Verkehr, GD Umwelt sowie GD Unternehmen und Industrie. Neben zinsgünstigen Darlehen der Europäischen Kommission stehen etwa 1 Milliarde Euro an Fördergeldern zur Verfügung. Innerhalb der ersten Ausschreibungsrunde im Jahr 2010 standen F&E-Themen wie Speichertechnologien, Elektrofahrzeuge, Hybridtechnologien oder Infrastruktur im Vordergrund. In der ebenso im Jahr 2010 initiierten zweiten Ausschreibungsrunde standen andere Themen wie Lkws, Verbrennungsmotoren, Logistik und intelligente Transportsysteme im Vordergrund. Beide Themenblöcke werden/wurden mit jeweils etwa 100 Millionen Euro gefördert.¹⁷¹

¹⁶⁶ Die Bundesregierung (2009).

¹⁶⁷ BMWi, BMVBS, BMU, BMBF, BMELV (2009).

¹⁶⁸ BMU (2009).

¹⁶⁹ <http://www.bmbf.de/de/11828.php> (2011).

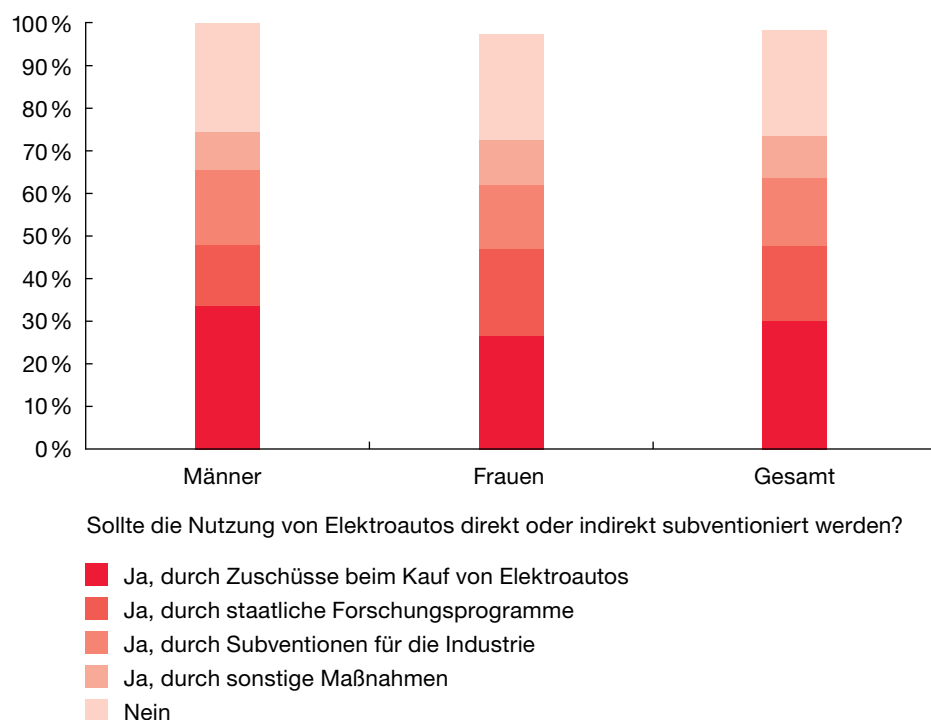
¹⁷⁰ Hessischer Landtag (2011).

¹⁷¹ <http://www.green-cars-initiative.eu>.

4.2 Politische Motivation und Fördermaßnahmen im internationalen Kontext

Die Elektromobilität wird im Wesentlichen aus zwei Gründen vorangetrieben: Zum einen soll die Abhängigkeit von der Ressource Öl vermindert werden und zum anderen soll die Umweltbelastung im Straßenverkehr abnehmen. Zusätzlich zählen weitere Argumente wie z.B. eine abnehmende Lärmbelastung oder neue Potenziale beim Design zu den Vorteilen der Elektromobilität. Um als Markt für und Anbieter von Elektromobilität wettbewerbsfähig zu sein, wurden in einzelnen Ländern unterschiedliche Fördermaßnahmen eingesetzt. Diese reichen von einfachen Bekenntnissen zur Elektromobilität über Maßnahmen zur Forschungsförderung des Gesamtbereichs oder einzelner Themenfelder bis hin zur finanziellen und nicht-finanziellen Absatzförderung. Insbesondere Vorschläge zu Maßnahmen der finanziellen Absatzförderung¹⁷² lösen regelmäßig kontroverse Diskussionen aus. Während viele Vertreter der Automobilindustrie deren Einführung fordern,¹⁷³ lehnt die Bundesregierung entsprechende Initiativen zurzeit ab.¹⁷⁴ Eine bereichsübergreifende Befragung von Experten führt hingegen zu dem Ergebnis, dass die Einführung von Kaufprämien für die Zukunft mehrheitlich erwartet wird.¹⁷⁵ Auch eine aktuelle Befragung von BITKOM führt zu dem Ergebnis, dass die Mehrzahl der Befragten eine Unterstützung beim Kauf von Elektroautos wünscht.¹⁷⁶

Abb. 54 Einstellung der Nutzer zur Subventionierung von Elektroautos.



Quelle: BITKOM (2010).

Gemäß einer anderen Befragung von DEKRA hoffen 55 Prozent der Nutzer auf zeitlich begrenzte Kaufzuschüsse des Staates. Daneben werden von 16 Prozent der Befragten auch „weiche Faktoren“ wie freies Parken in den Innenstädten (11 Prozent) oder die Erlaubnis, Sonderfahrspuren zu nutzen (5 Prozent) als Faktoren genannt, die die Kaufentscheidung zugunsten von Elektroautos beeinflussen könnten.¹⁷⁷

Dementsprechend haben Länder wie z. B. Frankreich oder Großbritannien bereits umfangreiche Maßnahmen der monetären Absatzförderung eingeleitet:

¹⁷² Welt-Online (2011).

¹⁷³ Wiwo.de (2011), (Handelsblatt GmbH (2010).

¹⁷⁴ BMU (2011).

¹⁷⁵ Fojcik/Schwarz (2010), S. 7.

¹⁷⁶ BITKOM (2010).

¹⁷⁷ DEKRA e. V. (2011)

Tab. 31 Beispiele zu Maßnahmen der Absatzförderung in ausgewählten Ländern.

Absatzförderung	
Deutschland	Kfz-Steuerbefreiung in den ersten fünf bis zehn Jahren, Auswirkungen der Dienstwagenbesteuerung von Elektrofahrzeugen analog zu Verbrennungsfahrzeugen geplant
Estland	Förderung des Kaufs von Elektroautos mit bis zu 18.000 Euro in Form von vergünstigten Einzelkrediten für einen bestimmten Personenkreis
Frankreich	Bis zu 5.000 Euro Umweltprämie
UK	Zuschuss in Höhe von 5.000 Pfund (ca. 5.700 Euro) ¹ beim Kauf eines Elektrofahrzeugs, Befreiung von der Kfz-Steuer für privat genutzte Elektroautos, Unternehmen werden infolge der Anschaffung eines Elektroautos für fünf Jahre von der Unternehmenskraftfahrzeugsteuer befreit
USA	7.500 US-Dollar (ca. 5.400 Euro) ¹ sind infolge des Kaufs eines Elektroautos bei der Einkommenssteuer anrechnungsfähig, auf regionaler Ebene Zuschüsse von bis zu 5.000 US-Dollar (ca. 3.600 Euro) ¹ möglich
China	50.000 Renminbi (ca. 5.700 Euro) ¹ für PHEV und maximal 60.000 Renminbi (ca. 6.800 Euro) ¹ für reine Elektrofahrzeuge, auf regionaler Ebene zusätzliche Förderung möglich (Bsp. Shenzhen: elektrisch betriebene Fahrzeuge i.H.v. 60.000 RMB (ca. 6.800 Euro) ¹ und Hybridfahrzeuge i. H. v. 20.000 Renminbi (ca. 2.300 Euro) ¹
Japan	Höhe der Förderung regional unterschiedlich, Unterstützung durch Kommunen bis zu 4.000 Euro; Befreiung oder Reduzierung der Erwerbs- und Tonnagesteuer
Korea	Steuervorteile i. H. v. bis zu 3,1 Millionen WON (ca. 2.000 Euro) ¹ für Hybridfahrzeuge

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011), PwC Recherche.

¹ Wechselkurs zum 20. Oktober 2011

Die Definition bei der Förderung der spezifischen Antriebstechnologie ist unterschiedlich geregelt. Im Rahmen des Projekts cologneE-mobil wurde eine Expertenbefragung zu regulativen Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität im Zeitraum 2010 bis 2020 durchgeführt. Ein Ergebnis ist die Erwartung an die Wahrung der Technologieoffenheit bei der Vergabe und Strukturierung von Fördermaßnahmen.¹⁷⁸

Im Folgenden werden die Programme und Fördermaßnahmen einiger ausgewählter Länder vergleichend gegenübergestellt.

Deutschland

Nach dem im Jahr 2009 veröffentlichten Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität ist der Inhalt des im Mai 2011 beschlossenen Regierungsprogramms der Bundesregierung¹⁷⁹ ein weiteres sichtbares Bekenntnis zu einem Umstieg auf einen neuen Mobilitätsmix. Bis zum Jahr 2030 wird eine Anzahl von mindestens sechs Millionen Elektroautos auf deutschen Straßen sowie die Position als Leitanbieter für Elektromobilität angestrebt.

Um diese Ziele zu erreichen, hat die Bundesregierung 1 Milliarde Euro an zusätzlichen Mitteln für die Erforschung und Entwicklung der Elektromobilität

bereitgestellt. Als bedeutende Themen hat sie die Batterietechnologie und in diesem Zusammenhang insbesondere den Aufbau einer Batterieproduktion in Deutschland sowie den Aufbau einer Ladeinfrastruktur definiert. Auch die zielgerichtete Entwicklung von „Normen und Standards“ wird als wichtiger Erfolgsfaktor für die Entwicklung der Elektromobilität genannt. Die Bundesregierung geht dabei über den Wunsch nach einem einheitlichen und harmonisierten Ladestecker hinaus und sieht Ansatzpunkte in nahezu allen Wertschöpfungsstufen der Elektromobilität. Exemplarisch werden das induktive Laden, die Sicherheit von Batterien sowie die Zulassung der Fahrzeuge genannt.

¹⁷⁸ Fojcik/Schwarz (2010), S. 10.

¹⁷⁹ Die Bundesregierung (2011).

Um die Nutzung der Elektromobilität und damit die Marktseite weiter zu stärken, wurden weitgehende Befreiungen von der Kfz-Steuer und Anpassungen in der Dienstwagenbesteuerung beschlossen. Zudem bieten die Freigabe von Busspuren, die Errichtung von Sonderparkplätzen sowie die Errichtung von Sonderfahrspuren weitere Anreize zum Umstieg auf elektrisch betriebene Fahrzeuge.

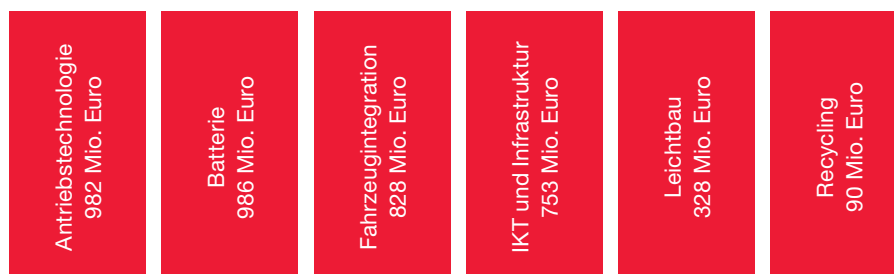
Weiterhin soll eine Lotsenstelle errichtet werden, die bei förderspezifischen Themen unterstützt. Durch den Aufbau von „Schaufenstern“ und „Leuchttürmen“ werden die deutschen Aktivitäten im Bereich Elektromobilität und definierte Schwerpunkte, wie z.B. solche aus Abbildung 55, gestärkt und sichtbar gemacht.

Im zweiten Bericht der NPE wird eine mögliche Auswahl an Themenfeldern und eine entsprechende Bedarfsplanung vorgestellt. Daraus folgt allein für die Umsetzung der oben angesprochenen Leuchttürme ein Finanzbedarf von etwa 4 Milliarden Euro.^{180, 181}

Innerhalb des Berichts der AG 4 der NPE wird die Anwendung des AC-Ladesteckers Typ 2 (IEC 62196-2) empfohlen. Für die DC-Ladung ist demnach eine Erweiterung des AC-Steckers Typ 2 (Combo-Ladesystem) geplant.¹⁸²

Abb. 55 „Leuchttürme Elektromobilität“.

Umsetzung der Leuchttürme erfordert Finanzbedarf i.H.v. 3.967 Mio. Euro



Quelle: NPE (2011).

Estland

In Estland wird die Elektromobilität innerhalb eines „Green Investment Scheme“ aktiv gefördert. So plant die Regierung, 500 Mitsubishi i-MiEV im sozialen Dienst einzusetzen. Im Rahmen der Übereinkunft mit Mitsubishi hat die Regierung dem Autohersteller Emissionsrechte für zehn Millionen Tonnen Schadstoffausstoß verkauft. In diesem Zusammenhang wird in Estland der Aufbau einer Ladeinfrastruktur vorangetrieben. Demnach werden in den Jahren 2011 bis 2012 etwa 280 Schnellladestationen in Großstädten, an Autobahnen und anderen wichtigen Verkehrswegen entstehen. Die Konzeption wird nach bisherigen Überlegungen dem in Japan entwickelten CHAdeMO-Standard folgen.¹⁸³ Zudem wird die Versorgung von Elektrofahrzeugen mit Strom aus erneuerbaren Energien vorgeschrieben bzw. garantiert (Guarantees of Origin Scheme).¹⁸⁴

Zusätzlich fördert die Regierung den Kauf von Elektroautos mit bis zu 18.000 Euro. Von dieser Fördermaßnahme profitieren zunächst jedoch maximal 500 Bürger in Form von vergünstigten Einzelkrediten.¹⁸⁵

Zusätzlich erhalten die Bürger die Möglichkeit, eine Subvention i. H. v. bis zu 1.000 Euro für den Aufbau einer privaten Ladestation zu beantragen.¹⁸⁶

Frankreich

Im Rahmen des französischen „Grenelle Environnement“ wurden Maßnahmen beschlossen, um die Verbreitung von Elektroautos weiter voranzubringen. In Frankreich wird der Kauf des jeweils ersten Elektroautos mit 5.000 Euro gefördert. Je nach CO₂-Ausstoß können auch andere Fahrzeuge wie z. B. Hybride von einer dann reduzierten Förderung profitieren. Auf der anderen Seite wird die Anschaffung von Fahrzeugen mit hohem CO₂-Ausstoß entsprechend sanktioniert.¹⁸⁷

Des Weiteren existieren substanzielle Investitionen in diverse Forschungsprogramme, z. B. für die Entwicklung von Mobilitätskonzepten.

Ein wichtiger in dem „Grenelle Environnement“ genannter Aspekt ist der Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur. Um die Versorgung mit Strom zu gewährleisten, haben verschiedene Gebietskörperschaften und Wirtschafts-

¹⁸⁰ NPE (2011).

¹⁸¹ Welt-Online (2011).

¹⁸² NPE (2010 (2)), S. 4,5.

¹⁸³ Kallas (2011).

¹⁸⁴ Government Communication Unit (2011).

¹⁸⁵ oekonews.at (2011).

¹⁸⁶ Kallas (2011).

¹⁸⁷ Le ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (2010).

akteure die Charta vom 13. April 2011 unterzeichnet in der es um die Förderung des Aufbaus von 400.000 öffentlichen Ladestationen bis zum Jahr 2020 geht. Zudem wird innerhalb des „Grenelle Environnement“ der Aufbau einer privaten Infrastruktur mit insgesamt 4 Millionen Ladepunkten (Privathäuser und Unternehmen) bis zum Jahr 2020 angestrebt.

Im Jahr 2011 wurden Vorschläge, Maßnahmen und Ziele hinsichtlich des Aufbaus einer großflächigen Ladeinfrastruktur in dem französischen Grünbuch¹⁸⁸ konkretisiert. Um das Ziel zu erreichen, bis zum Jahr 2020 eine Anzahl von zwei Millionen Elektrofahrzeugen auf Frankreichs Straßen zu bringen, sind gemäß den Berechnungen des Grünbuchs wesentliche private und öffentliche Investitionen in ein Netz an Ladestationen notwendig. Die entsprechende Investitionssumme für Ladestationen wird allein für die 25 größten städtischen Gebiete (Agglomerationen) mit 1.051 Mio. Euro angegeben. Bis zum Jahr 2020 sollen dort 150.000 Ladestationen entstehen.

Die Ladestationen sollen möglichst einheitlich und harmonisiert konzipiert werden. Sowohl das normale Laden als auch Schnellladetechniken werden jeweils ermöglicht. Für den Betrieb der öffentlichen Ladestationen werden verschiedene Konzepte, wie z. B. die Vergabe einer Konzession für Parkplätze oder die Bewirtschaftung durch öffentliche Wirtschaftsbetriebe, diskutiert.

Tab. 32 Bonus/Malus System in Frankreich.

Emissionen CO ₂ /km	Bonus (Euro)	Emissionen CO ₂ /km	Malus (Euro)
≤60 g	5.000	151≤155 g	200
61≤90 g	800	156≤190 g	750
91≤110 g	400	191≤240 g	1.600
111≤150 g	0	≥241 g	2.600

Quelle: Le ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (2010).

Tab. 33 Entwicklung der Anzahl an Ladestationen und der korrespondierenden Kosten in den 25 größten Agglomerationen Frankreichs.

Jahr	Anzahl Ladestationen in T	Kosten in T€
2011	7	45.000
2015	44	303.000
2020	150	1.051.000

Quelle: Negre (2011).

Um den Markt für Elektroautos weiter zu entwickeln und Hersteller wie Renault oder Peugeot zu unterstützen, hat der Staat im Jahr 2009 die Bestellung von zunächst 50.000 Elektroautos angekündigt. Die Elektroautos werden in Fahrzeugflotten von Unternehmen wie der Post oder Veolia eingesetzt.¹⁸⁹ Daneben gibt es weitere Maßnahmen der Regierung, um die Herstellung

von Elektroautos weiter zu fördern. Im Jahr 2010 hat die französische Regierung z. B. dem Automobilkonzern Renault ein zinsgünstiges Darlehen i. H. v. 100 Millionen Euro gewährt, um die Entwicklung des Elektroautos Zoe zu fördern.¹⁹⁰ Des Weiteren unterstützt der Staat die französische Batterieproduktion sowie das Batterierecycling.

¹⁸⁸ Negre (2011).

¹⁸⁹ <http://www.gtai.de/MKT201103248007> (2011).

¹⁹⁰ http://www.n24.de/news/newsitem_5859115.html (2011).

Großbritannien

Im Jahr 2011 ist von der Regierung ein Programm mit einem Gesamtvolumen von 250 Millionen Pfund (ca. 287 Millionen Euro) aufgelegt worden, anhand dessen der Markt für Elektroautos deutlich gefördert werden soll. Etwa 20 Millionen Pfund (ca. 23 Millionen Euro) werden in den Aufbau einer Ladeinfrastruktur investiert. Der Großteil, d. h.

etwa 230 Millionen Pfund (ca. 264 Millionen Euro) dienen der Förderung des Absatzes von Elektroautos. So wird der Kauf eines Elektroautos mit maximal 5.000 Pfund subventioniert.

Zusätzlich bestehen weitere Privilegien wie z. B. Steuererleichterungen oder spezielle Parkangebote.¹⁹¹

In einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung hat das britische Verkehrsministerium seine Strategie für den Aufbau einer Ladeinfrastruktur beschrieben. In diesem Zusammenhang sieht das Ministerium den Einsatz des deutschen Mennekes-Steckers (Typ 2) vor.¹⁹²

Tab. 34 Förderung der Elektromobilität in Großbritannien.¹

Anreize		Finanziell	Nicht-Finanziell
Fertigung/F&E Investitionen	350 Millionen Pfund (ca. 401 Millionen Euro) für Forschungs- und Demonstrationsprojekte	x	
Infrastrukturinvestitionen	Geplantes 20 Millionen Pfund (ca. 23 Millionen Euro) Programm um 25.000 Ladesäulen in London aufzustellen	x	
Fahrzeugkauf	Befreiung von der Kraftfahrzeugsteuer für privat genutzte Elektroautos	x	
	Unternehmen werden infolge der Anschaffung eines Elektroautos für fünf Jahre von der Unternehmenskraftfahrzeugsteuer befreit	x	
	Ab 2011 wird der Kauf eines Hybrid-/ Elektrofahrzeugs i. H. v. 25 Prozent des Listenpreises bis zu einem Maximum von 5.000 Pfund (ca. 5.700 Euro) vom Staat gefördert. Das Gesamtvolumen der Maßnahme liegt bei 230 Millionen Pfund (ca. 264 Millionen Euro)	x	
	Elektrofahrzeuge sind von der Zahlung der City-Maut befreit	x	
	Geplante Errichtung von reservierten Parkplätzen für elektrische Fahrzeuge		x

Quelle: World Bank (2011), S. 17 f.

¹ Wechselkurs zum 20. Oktober 2011

USA

In den USA können Nutzer beim Kauf eines Elektroautos maximal 7.500 US-Dollar (ca. 5.400 Euro) bei der Einkommensteuerberechnung geltend machen. Auf regionaler Ebene bestehen weitere Anreize.¹⁹³ Speziell in die Batterieforschung und -entwicklung wird die US-Regierung weiter investieren. Dort stehen seit dem Jahr 2009 etwa 1,5 Milliarden US-Dollar (ca. 1,1 Milliarden Euro) im Rahmen eines 2,4 Milliarden US-Dollar (ca. 1,7 Milliarden Euro) umfassenden Programms für

„US-Batterien und Elektrofahrzeuge“ bereit.¹⁹⁴

- 1,5 Milliarden US-Dollar Zuschüsse für in den USA ansässige Hersteller, um Batterien zu produzieren und Recyclingverfahren zu entwickeln
- 500 Millionen US-Dollar Zuschüsse für in den USA ansässige Hersteller, um Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs zu produzieren
- 400 Millionen US-Dollar Zuschüsse, um rein batteriebetriebene Fahrzeuge und PHEV zu Demonstrations-

zwecken zu erwerben. In diesem Zusammenhang soll auch die Errichtung einer Ladeinfrastruktur mit den Mitteln vorangetrieben werden.

Zusätzlich stehen noch einmal im Rahmen des „Advanced Technology Vehicle Manufacturing Program“ des Department of Energy Kredite in Höhe von 2,4 Milliarden US-Dollar zur Unterstützung von drei Fabriken zur Herstellung von Elektrofahrzeugen bereit.¹⁹⁵

¹⁹¹ Department for Transport (2011), S. 9.

¹⁹² World Bank (2011), S. 17 f.

¹⁹³ World Bank (2011), S. 17 f.

¹⁹⁴ The White House (2009).

¹⁹⁵ Kuntz & Höhne (2011).

Tab. 35 Förderung der Elektromobilität in den USA.¹

	Anreize	Finanziell	Nicht-Finanziell
Fertigung/F&E Investitionen	25 Milliarden US-Dollar (ca. 18 Milliarden Euro) Darlehensprogramm des Jahres 2008 um in den USA produzierende Automobilunternehmen zu fördern. Diese verpflichten sich im Gegenzug die Verbrauchswerte ihrer Fahrzeuge im Vergleich zu den durchschnittlichen Verbrauchswerten des Jahres 2005 um 25 Prozent zu senken.	x	
	2,4 Milliarden US-Dollar (ca. 1,7 Milliarden Euro) für F&E Entwicklung im Bereich elektrisch betriebener Fahrzeuge	x	
Infrastrukturinvestitionen	400 Millionen US-Dollar (ca. 290 Millionen Euro) für Demonstrations- und Evaluationsprojekte	x	
	54 Millionen (ca. 39 Millionen Euro) US-Dollar Steuervorteile zur Förderung einer alternativen Ladeinfrastruktur	x	
	100 Millionen US-Dollar (ca. 72 Millionen Euro) Unterstützung des „5-City Electric Vehicle Project“	x	
Fahrzeugkauf	7.500 US-Dollar (ca. 5.400 Euro) Steuervorteile beim Kauf eines neuen Hybrid- oder Elektrofahrzeugs	x	
	Zusätzliche Kaufanreize auf regionaler Ebene von bis zu 5.000 US-Dollar (ca. 3.600 Euro) ¹⁹⁶	x	
	Viele Regionen bieten Nutzern die Nutzung eigener Fahrspuren und/oder eigener Parkräume an		x

Quelle: World Bank (2011), S. 17 f.

¹ Wechselkurs zum 20. Oktober 2011

Derzeit wird an einer Normungs-Roadmap im Bereich Elektromobilität gearbeitet, um den Einsatz der Elektrofahrzeuge und den Aufbau der entsprechenden Infrastruktur zu unterstützen. In diesem Zusammenhang wurde vom American National Standards Institute (ANSI) das Electric Vehicles Standards Panel (EVSP) initiiert in dessen Rahmen die wesentlichen Maßnahmen identifiziert werden.

China

China wird gerade hinsichtlich der Marktentwicklung oftmals als einer der Pioniere im Bereich Elektromobilität genannt. Tatsächlich gibt es seit etwa dem Jahr 2001 mit der Regierungsinitiative „863“ (Program Electric Vehicle Special Project) Bestrebungen, das Thema weiter voranzubringen. Im Jahr 2009 wurde mit dem Programm „Thousand EV's in Ten Cities“ das Ziel ausgegeben, den Markt für Elektrofahrzeuge innerhalb eines 3-Jahres-Zeitraums

in zehn Städten u. a. in Megacities wie Shanghai oder Beijing zu entwickeln. Die Regierung förderte in den beteiligten Städten die Einführung von 1.000 Elektroautos p. a. maßgeblich. Innerhalb kurzer Zeit wurden weitere Städte in das Programm einbezogen.

Während das Programm „863“ hauptsächlich darauf ausgerichtet war, staatliche Fahrzeugflotten in den beteiligten Städten zu implementieren, wurde mittels einer neuen Initiative

¹⁹⁶ Handelszeitung (2010).

der Schwerpunkt auf private Nutzer gelegt. Im Jahr 2010 wurde in fünf Städten eine Unterstützung der Regierung von maximal 50.000 Renminbi (ca. 5.700 Euro) für PHEV und von maximal 60.000 Renminbi (ca. 6.800 Euro) für reine Elektrofahrzeuge eingeführt. In einigen Städten werden die Maßnahmen der Regierung durch regionale staatliche Maßnahmen ergänzt. So profitieren Privatanutzer bspw. in Shenzhen von einer zusätzlichen Förderung für rein elektrisch betriebene Fahrzeuge i. H. v. 60.000 Renminbi (ca. 6.800 Euro) und für Hybridfahrzeuge i. H. v. 20.000 Renminbi (ca. 2.300 Euro).¹⁹⁷

Um die Fahrzeug- und Batterieproduktion weiter zu fördern, hat die Regierung bis zum Jahr 2015 weitere 738 Millionen Renminbi (ca. 85 Millionen Euro) bereitgestellt von denen 42 Prozent der Batterieforschung zugutekommen. Nach derzeitigen Plänen scheint es wahrscheinlich, dass diese Förderung weiter erhöht wird.¹⁹⁸

Japan

Im Jahr 2010 hat das japanische Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie (METI) seine „Next-Generation Vehicle Strategy“ verkündet.

Der Plan enthält allgemeine Handlungsempfehlungen für Akteure im Bereich Elektromobilität (Industrie, Nutzer) im mittel- und langfristigen Zeitraum. METI hat diesbezüglich sechs Teilpläne erarbeitet, die sich wie folgt darstellen:

Der Erarbeitung und Anwendung international gültiger Standards wird innerhalb der Strategie hohe Priorität zugemessen. Insbesondere diesbezügliche Aktivitäten in den Bereichen Ladeverbindingssysteme und Batterie sollen möglichst kurzfristig umgesetzt werden.¹⁹⁹

Abb. 56 Politische Förderung der Elektromobilität in China im Zeitablauf.

2001

- „863“ Programm – Electric Vehicle Special Project

2004

- The Policy on Development of Automobile Industry

2006

- 863 New Energy and Energy Saving Project

2007

- Administration Provisions on Access of New Energy Vehicles Manufacturers
- Guiding Catalogue of Industrial Structure Adjustment

2008

- Fuel Tax Adjustment

2009

- Revitalization Plan for Auto Industry (2009–2011)
- Regulation on Access of New Energy Vehicle Manufacturers
- Notice on Launch of Energy Conservation & New Energy Vehicle Demonstration
- „Thousand Evs in Ten Cities“
- Notice on Reducing the Purchasing Tax for Vehicles with Engine Less than 1.6 liters

2010

- Subsidy Standards for Private Purchase of New Energy Vehicle
- 863 Plan – Key Technology and System Integration Project for Electric Vehicles (2011–2015)

Quelle: Aus verschiedenen offiziellen Dokumenten zusammengestellt.

Japanische Automobilhersteller, Telekommunikationsunternehmen und Energieversorger haben unter dem Namen „CHAdemo“ einen einheitlichen Standard im Bereich der DC-Schnell-ladesysteme geschaffen.

Mit Wirkung zum 1. April 2009 hat die japanische Regierung Steuererleichterungen für Käufer und Besitzer emissionsarmer Fahrzeuge eingeführt. Käufer eines Elektroautos werden z. B. von der Erwerbssteuer, die i. H. v. 5 Prozent des Kaufpreises angesetzt wird, befreit.

Bei den obligatorisch vorgesehenen Inspektionen wird in Japan eine sogenannte Tonnagesteuer erhoben. Besitzer von Elektroautos werden von der Steuerzahlung befreit. Die Steuererleichterungen gelten bis zum 30. April 2012.

Des Weiteren bestehen auf regionaler Ebene Förderungen beim Kauf von Elektroautos von bis zu 4.000 Euro.²⁰⁰ Der japanische Staat hat im Jahr 2010 gemeinsam mit dem Unternehmen Better Place einen Feldversuch zur Erprobung der Alltagstauglichkeit von Elektrotaxis (Nissan) im Straßenverkehr

¹⁹⁷ World Bank (2011), S. 13.

¹⁹⁸ Wechselkurs zum 20. Oktober 2011.

¹⁹⁹ METI (2010).

²⁰⁰ welt.de (2010).

gestartet. Im Rahmen des Versuchs werden die Batterien der Fahrzeuge

an einer Wechselstation in Tokio in regelmäßigen Abständen ausgetauscht.²⁰¹

Tab. 36 „Next-Generation Vehicle Strategy“, Japan.

Gesamtplan	Batterie	Seltene Erden	Infrastruktur	Systeme	Internationale Standards
Entwicklung und Produktion von Fahrzeugen der nächsten Generation	Verbesserungen in den Bereichen F&E und Technologie	Sicherstellung der Versorgung mit Seltenen Erden und Entwicklung von Recycling-technologien	Versorgung mit zwei Millionen Normallade- und 5.000 Schnellladestationen	Fahrzeuge in Systeme einbinden (Smart Grid etc.)	Erarbeitung und Implementierung internationaler Standardisierungsmaßnahmen

Quelle: METI (2010).

Tab. 37 Steuervorteile emissionsarmer Fahrzeuge in Japan.

Fahrzeugtyp	Anforderungen	Reduzierung/Wegfall	
		Erwerbssteuer	Tonnagesteuer
Fahrzeuge mit alternativen Antrieben/der nächsten Generation	Elektroautos		
	Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge		
	Emissionsarme Dieselfahrzeuge	befreit	befreit
	Hybridfahrzeuge		
	Erdgasfahrzeuge		
Kraftstoffsparende und emissionsarme Fahrzeuge	Mindestens 25 Prozent bessere Verbrauchswerte, als sie in den Standards des Jahres 2010 benannt sind, und Reduzierung der Emissionen um 75 Prozent im Vergleich zu den Standards 2005	75 Prozent Reduzierung	75 Prozent Reduzierung
	Mindestens 15 bis 20 Prozent bessere Verbrauchswerte, als sie in den Standards des Jahres 2010 benannt sind und Reduzierung der Emissionen um 75 Prozent im Vergleich zu den Standards 2005	50 Prozent Reduzierung	50 Prozent Reduzierung
Lastwagen und Busse (2,5t < GVW ¹ ≤ 3,5t)	(Dieselfahrzeuge) Übereinstimmend mit den Verbrauchswerten des Standards für 2015 und den Emissionsstandards des Jahres 2009	75 Prozent Reduzierung	75 Prozent Reduzierung
	(Konventionelle Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor) Übereinstimmend mit den Verbrauchswerten des Standards für 2015 und Senkung der Emissionswerte um 50 Prozent im Vergleich zum Standard des Jahres 2005	50 Prozent Reduzierung	50 Prozent Reduzierung
Schwerlastwagen und Busse (GVW ¹ > 3,5t)	Übereinstimmend mit den Verbrauchswerten des Standards für 2015 und den Emissionsstandards des Jahres 2009	75 Prozent Reduzierung	75 Prozent Reduzierung
	Übereinstimmend mit den Verbrauchswerten des Standards für 2015 und den Emissionsstandards des Jahres 2005, mit NO _x und/oder PM-Emissionen, die 10 Prozent unterhalb dieser Standards liegen	50 Prozent Reduzierung	50 Prozent Reduzierung

¹ Gross vehicle weight

Quelle: Japan Automobile Manufacturers Association (2010), S. 45.

²⁰¹ Spiegel Online (2010).

Republik Korea

Die koreanische Regierung hat ambitionierte Ziele hinsichtlich der Marktpositionierung im Bereich Elektromobilität. So plant die Regierung bis zum Jahr 2015 einen Weltmarktanteil für Elektroautos von 10 Prozent zu erreichen.

Zudem soll der Absatz von Elektroautos bis zum Jahr 2015 10 Prozent und bis zum Jahr 2020 20 Prozent des gesamten Kleinwagenabsatzes entsprechen. Einheimische Automobilhersteller wie Hyundai und KIA unterstützen dieses Ziel mit der frühzeitigen Bereitstellung von Hybrid- und Elektroautos. Nachdem die Regierung im Jahr 2009 400 Milliarden WON (ca. 256 Millionen Euro) für

Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich Elektromobilität bereitgestellt hat, ist derzeit der großflächige Aufbau einer entsprechenden Ladeinfrastruktur geplant. So sollen bis zum Jahr 2020 etwa 2,2 Millionen Ladepunkte entstehen.²⁰²

Im Bereich der Akkutechnologie plant die Regierung bis zum Jahr 2020 15 Billionen WON (ca. 9,6 Milliarden Euro) zu investieren um bis zu diesem Zeitpunkt einen Weltmarktanteil von 50 Prozent zu erreichen.²⁰³

Käufer von Hybrid-Fahrzeugen profitieren von diversen Steuervorteilen i. H. v. insgesamt 3,1 Millionen WON (ca. 1.982 Euro).²⁰⁴ In dem Betrag sind u. a. folgende Freibeträge enthalten: 1 Millionen WON Verbrauchssteuer, 0,3 Millionen WON Ausbildungssteuer, 0,4 Millionen WON Erwerbssteuer und 1 Millionen WON Zulassungssteuer.²⁰⁵

²⁰² Germany Trade and Invest (2010).

²⁰³ <http://www.gtai.de/MKT201010068005> (2010).

²⁰⁴ Wechselkurs zum 20. Oktober 2011.

²⁰⁵ Tae-jin/Byong-chol (2011).

V. Übertragung der sozioökonomischen Herausforderungen auf die technologischen Entwicklungen unter Berücksichtigung der relevanten Sekundärliteratur

5.1 Einleitung

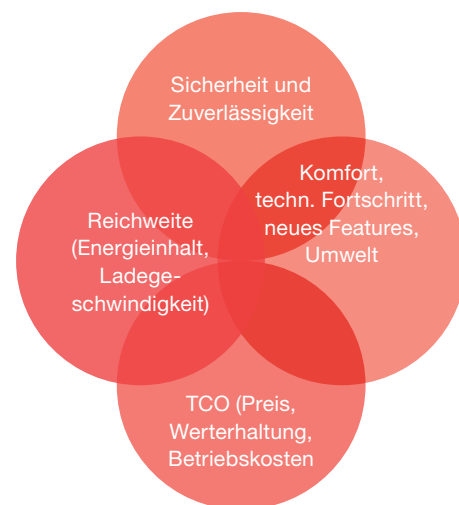
Produkt und Kunde stehen immer in Wechselwirkung zueinander. Marktakzeptanz wird nur dadurch erreicht, dass das gekaufte Produkt den Anforderungen und Wünschen des Kunden entspricht. Neue Produkte können dem Nutzer einen Mehrwert liefern, so dass der Kunde seine Anforderungen und Wünsche an die neuen Produkte anpasst. Beispielhaft können diese Wechselwirkungen bei der mobilen Kommunikation studiert werden. Aus den vorangegangenen Kapiteln ist ersichtlich, dass Nutzer von konventionellen Fahrzeugen auch konventionelle Maßstäbe an die Elektromobilität anlegen. Nutzer mit Elektromobilitätserfahrung passen sich in einigen Fragen den Möglichkeiten von Elektrofahrzeugen an, wollen aber in wesentlichen Fragen, wie Sicherheit, Zuverlässigkeit, Kosten und Komfort – keine großen Einbußen in Kauf nehmen. In Abbildung 57 ist die Erwartungshaltung der Kunden an die Technik dargestellt. Die einzelnen Themenfelder Sicherheit und Zuverlässigkeit, Reichweite, Kosten und Komfort gelten sowohl für das gesamte System Elektromobilität als auch für jede einzelne Komponente. Die Themenkomplexe stehen miteinander in Beziehung, je nach Blickwinkel mit unterschiedlicher Gewichtung.

5.2 Energiespeicher

Einleitung

Die von den Nutzern häufig angeführten Nachteile von Elektrofahrzeugen – geringe Reichweite, lange Ladezeiten und hoher Preis – liegen im Wesentlichen in der Energiespeichertechnologie begründet. Sicherheit und Zuverlässigkeit auf gleichem oder höherem Niveau wie bei heutigen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor sind Voraussetzung für die Akzeptanz durch den Kunden. Es gibt verschiedene Möglichkeiten die notwendige Energie in einem Fahrzeug zu speichern.

Abb. 57 Technische Themen.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Tab. 38 Möglichkeiten elektrische Energie zu speichern und Art der gespeicherten Energie.

Mechanisch	Chemisch	Physikalisch
Kinetische Energie	Chemische Energie	Feldenergie

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Mechanische Energiespeicher

Schwungradspeicher speichern die Energie in der Rotation des Schwungrades. Das Schwungrad muss möglichst reibungsfrei gelagert werden. Die gespeicherte Energie ist proportional zu Trägheitsmoment und Frequenz. Da das Trägheitsmoment mit der Masse skaliert, sind Schwungräder relativ schwer. Die Beherrschung schnell rotierender schwerer Schwungräder in mobilen Anwendungen ist technisch herausfordernd. Nach Einsätzen in den 1950er Jahren in Belgien, dem Kongo und der Schweiz in Gyrobussen werden Schwungradspeicher heute nur in sehr wenigen Demonstrationsprojekten eingesetzt.

Elektrochemische Energiespeicher

Sogenannte galvanische Zellen speichern die Energie chemisch. Sie bestehen aus zwei Elektroden, die in einen Elektrolyten eintauchen. Primär- und Sekundärbatterien sowie Brennstoffzellen sind galvanische Elemente. Die chemische Zusammensetzung von Elektroden und Elektrolyt bestimmen die Eigenschaften der Zellen.

Blei-Säure- bzw. Blei-Gel-Akkumulatoren sind Stand der Technik und dominieren den Bereich der Starterbatterien. Sie sind vergleichsweise kostengünstig. Die geringe Energiedichte von 25 Wh/kg und die geringe Zyklenzahl (ca. 800) machen sie für den Einsatz in reinen Elektroautos unbrauchbar.

Nickel-Cadmium-Batterien haben mit 2.000 Ladezyklen eine gute Lebensdauer und eine etwa doppelt so große Energiedichte wie Blei-Akkumulatoren. Schwerwiegende Nachteile sind allerdings der Memoryeffekt²⁰⁶ und die Toxizität von Cadmium.

Nickel-Metallhydrid-Batterien weisen im Vergleich mit den Nickel-Cadmium-Batterien eine um etwa 60 Prozent erhöhte Energiedichte auf. Nachteile der NiMH-Technik sind eine geringere Zyklenzahl, der Memoryeffekt und der aufwendige Recyclingprozess.

Sogenannte ZEBRA-Batterien sind Natrium-Nickelchlorid-Batterien. Bei diesen Hochtemperaturbatterien besteht die Kathode aus flüssigem Natrium, weshalb die Batterie immer auf einer Temperatur von ca. 300 °C gehalten werden muss. ZEBRA-Batterien sind wartungsarm und erreichen Energiedichten von bis zu 120 Wh/kg. Die wesentlichen Nachteile sind die geringe Lebensdauer und die hohe Selbstentladung aufgrund der Temperierung.

Heute dominiert die Lithium-Ionen-Technologie den Consumer-Bereich und hat insbesondere die Bereiche Mobile Computing, Smartphone oder auch Power Tools revolutioniert. Das liegt an den Vorteilen der Lithium-Ionen-Technologie im Gegensatz zu den oben genannten Technologien. Dies sind u. a. hohe Energie- und Leistungsdichten, hohe Zyklenzahl und die Abwesenheit des Memoryeffektes. Trotz der noch hohen Kosten geht die überwiegende Zahl von Studien von einer Dominanz der Lithium-Ionen-Batterien für den Einsatz in Elektrofahrzeugen aus. Deshalb fokussieren sich die folgenden Abschnitte auf Entwicklungen im Zusammenhang mit Lithium-Ionen-Batterien.

Bei Redox-Flow-Batterien wird entladener Elektrolyt durch geladenen Elektrolyt ausgetauscht. Das Elektrofahrzeug ist nicht mehr mehrere Stunden an einem Ladepunkt fixiert, sondern kann durch einen Tankvorgang aufgeladen werden. Redox-Flow-Batterien werden zurzeit in Laboren erprobt. Das Potenzial hinsichtlich der Kosten und der Energiedichte ist vielversprechend. Die Umsetzung im Feld und der Aufbau der Infrastruktur sind noch nicht in Sicht. Fragen nach Performance, Sicherheit und Zuverlässigkeit im realen Betrieb müssen erst noch gestellt werden. Eine Markteinführung in dem in dieser Studie betrachteten Zeitraum erscheint unrealistisch.

Auch die Brennstoffzelle wandelt chemische in elektrische Energie um. In der Regel wird Wasserstoff als Energielieferant gewählt. Die Brennstoffzellentechnik wird intensiv erforscht und bietet ein großes Potenzial. Die hohe Energiedichte von Wasserstoff führt zu Reichweiten der Brennstoffzellenfahrzeuge, die mit heutigen Kraftfahrzeugen vergleichbar ist. Brennstoffzellenfahrzeuge werden wie batterieelektrische Fahrzeuge über elektrische Motoren angetrieben. Die meisten technischen Probleme sind gelöst und es gibt einige Flottenversuche mit Brennstoffzellenfahrzeugen. Kritische Punkte sind aktuell der hohe Preis und der Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur.

Elektrophysikalische Energiespeicher

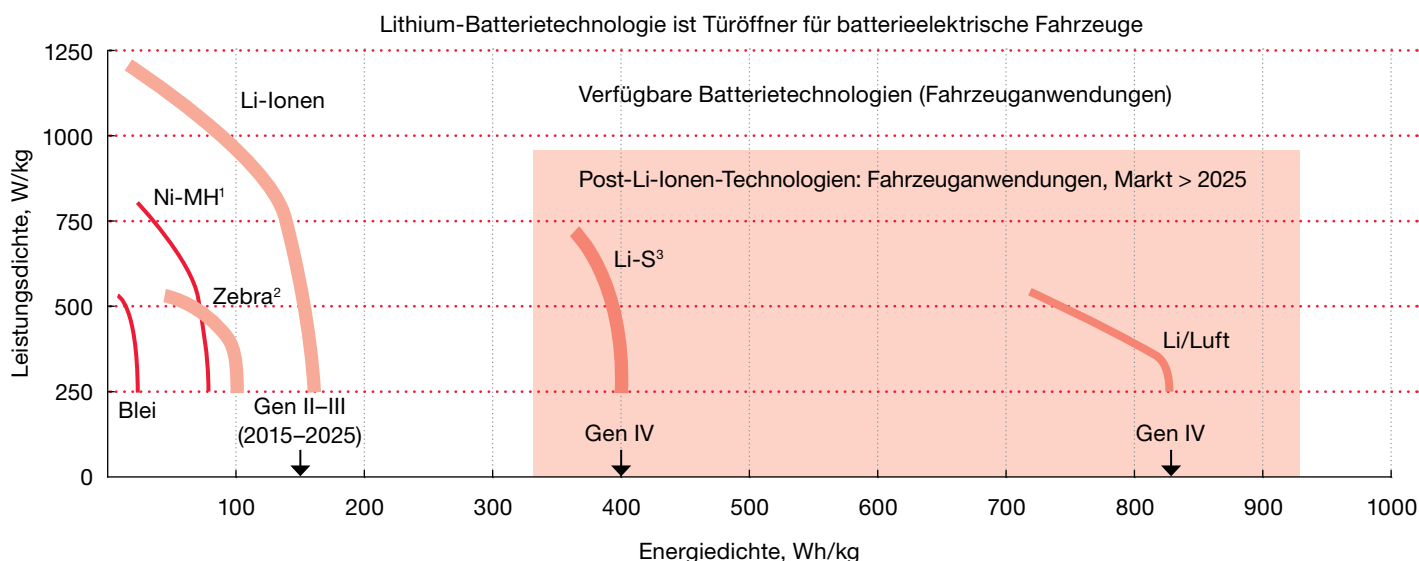
Elektrophysikalische Energiespeicher speichern die Energie im elektrischen Feld eines Kondensators. Im Zusammenhang mit Mobilitätsanwendungen werden immer die sogenannten Supercaps angeführt. Sie haben eine hohe Leistungsdichte und eine hohe Zyklenfestigkeit. Aufgrund ihrer sehr geringen Energiedichte sind sie für den Einsatz in rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen nicht geeignet. Ein Einsatzfeld könnten Hybrid-Nutzfahrzeuge (vgl. z. B. Hybrid-Müllfahrzeuge in Darmstadt) sein, die kurzzeitig hohe Leistungen abrufen bzw. rekuperieren. Supercaps sind zudem sehr teuer. Hybridspeicherkonzepte bestehend aus einer Lithium-Ionen-Batterie hoher Energiedichte und einem Supercap sind weder technisch noch wirtschaftlich sinnvoll.²⁰⁷

Im sogenannten Rangone-Diagramm (Abbildung 58) wird die Leistungsdichte über der Energiedichte der unterschiedlichen Batterietypen aufgetragen. Es zeigt die Vorteile der Lithium-Ionen-Technologie und stellt die großen Potenziale der Post-Lithium-Ionen-Technologien dar.²⁰⁸

²⁰⁶ Der Memoryeffekt führt zu einer verminderten Kapazität der Batterien aufgrund von Teilladungen. Die Ursache liegt in einer geänderten Kristallstruktur des Elektrodenmaterials.

²⁰⁷ VDE (2010), S. 121.

²⁰⁸ NPE (2011), S.19.

Abb. 58 Darstellung unterschiedlicher Batterietechnologien mit Zeitangaben.

Die Lithium-Ionen-Technologie bietet zurzeit die beste Batterieoption zur Erzielung akzeptabler Reichweiten für die Applikationen EV-, Plug-in- und Range-extended-Fahrzeuge. Ausgedehnte Forschung an Post-Li-Ionen-Technologien, wie Li-S- und Li-Luft-Systeme, bieten neue Optionen für 2025+.

¹ NiMH = Nickel-Metalhydrid-Batterie, ² Zebra = Natrium-Nickelchlorid-Zelle, ³ Li-S = Lithium-Schwefel-Batterie

Quelle: NPE (2011), S. 19.

Lithium-Ionen Batterien der zweiten und dritten Generation

Der technologische Fortschritt bei der Lithium-Ionen-Technologie wird die gravimetrische Energiedichte um etwa 30 Prozent erhöhen. Dies führt zu höheren Energieinhalten respektive Reichweiten bei gleichem Batteriegewicht oder zu kleineren und leichteren Batterien. Durch verbesserte Produktionstechniken und Skaleneffekte wird eine Kostenreduzierung pro kWh auf ein Drittel erwartet. Eine Standardisierung der Zellgeometrie unterstützt die Kostenreduzierung in der Zellproduktion. Im ISO TC21/SC21 wird zurzeit eine Spezifikation für standardisierte Maße von Zellen erarbeitet.²⁰⁹ Im Dezember 2010 wurde ein neues Normungsprojekt zu diesem Thema bei der IEC vorgeschlagen.²¹⁰ Für die weltweite Vermarktung ist die Verbesserung der Batterieperformance über einen weiten Temperaturbereich von

Bedeutung. Fahrzeuge werden typischerweise auf Temperaturen zwischen –40 °C und 75 °C ausgelegt. Die Leistungsfähigkeit der Lithium-Ionen-Systeme fällt außerhalb des Temperaturintervalls von etwa 10 °C bis 60 °C schnell ab. Weitere wesentliche Forschungsgebiete auf dem Gebiet der Lithium-Ionen-Technologie sind signifikante Steigerungen bei Sicherheit, Qualität und Lebensdauer (s. u.).

Sicherheit und Zuverlässigkeit von Lithium-Ionen-Batterien

Traktionsbatterien für Elektrofahrzeuge sind komplexe Systeme die während des Gebrauchs unterschiedlichen Einflüssen ausgesetzt werden. Die Belastungen sind mechanischer, elektrischer, thermischer und chemischer Natur. Belastungsintensität und -häufigkeit sowie die Interaktion der verschiedenen Belastungstypen sind noch nicht bekannt. Die täglichen Belastungen führen zu Verschleiß wobei

verschiedene Versagensmechanismen parallel auftreten können. Beispielhafte Fehler aufgrund von Verschleiß sind dendritisches Wachstum, Lithiumablagerung auf der Anode, Verlust von Elektrolyt aufgrund von chemischer Zersetzung oder Lecks, Austrocknen des Elektrolyten, Eindringen von Feuchtigkeit aufgrund kaputter Ventile oder Dichtungen und Risse im aktiven Material oder im Batteriegehäuse. Viele dieser Versagensmechanismen sind noch nicht verstanden und erfordern noch weitere Forschung.²¹¹

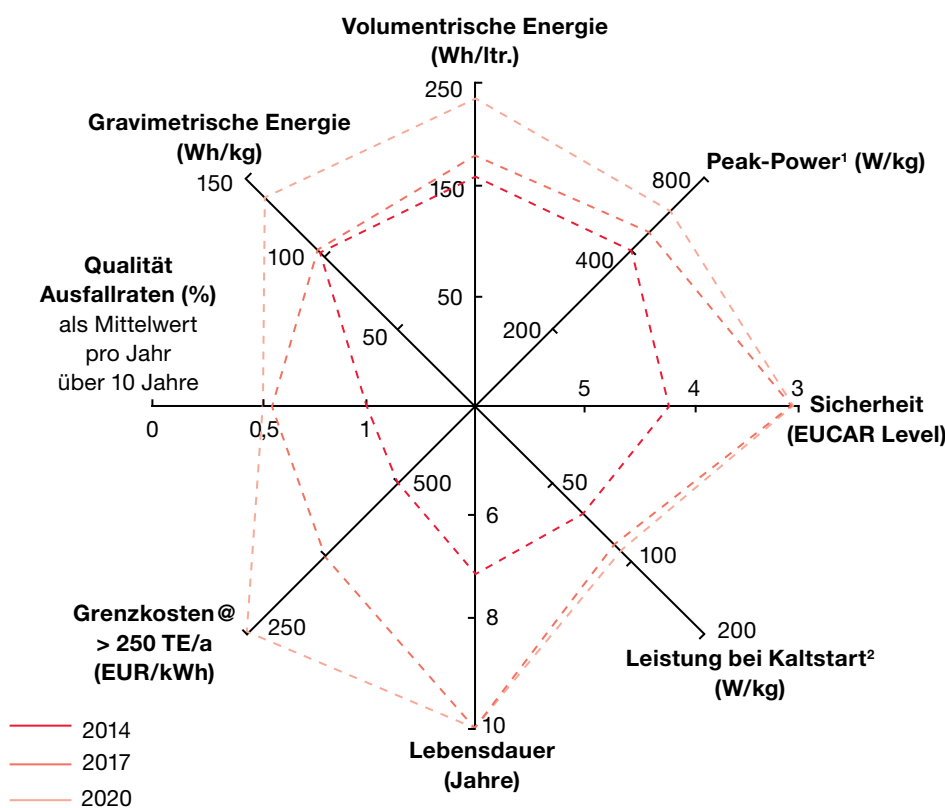
Lithium-Ionen-Batterien können durch Emission giftiger Substanzen oder Brand Mensch und Umwelt gefährden. Ausgangspunkt ist i. d. R. der „thermal runaway“ einer Zelle. Unterschiedliche Prozesse können einen „thermal runaway“ verursachen, hierzu zählen u. a. externer oder interner Kurzschluss, Überladung und lokale Überhitzung.

²⁰⁹ ISO (2011).

²¹⁰ IEC (2011).

²¹¹ NPE (2010), S. 9.

Abb. 59 Key-Performance für BEV-Stadtfahrzeug.

¹ 25°C, 50% SoC, 10s² -25°C, 50% SoC

Quelle: NPE (2010), S. 23.

Erschwerend kommt hinzu, dass sich ein Batteriebrand nicht immer sofort nach einem Unfall entwickelt, sondern z.T. erst Stunden oder gar Tage später ausbricht. Lithium-Ionen-Batterien bilden nach einem Unfall ein besonderes Gefährdungspotenzial für Retter und Abschleppdienste. Brennende Lithium-Ionen-Batterien können nicht mit Wasser gelöscht werden. Alternative Möglichkeiten müssen geprüft werden. Verfahren zur Überprüfung des Gefährdungspotenzials und für eine kontrollierte Entladung geschädigter Batterien sind zu entwickeln, um die Gefahren in der gesamten Rettungskette zu minimieren.

Qualität

Performance und Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien hängen stark von den verwendeten Materialien und dem zugrunde liegenden Produktionsprozess ab. Enge Toleranzen und eine strenge Prozesskontrolle über den gesamten Produktionsprozess sind essenziell. Verunreinigungen, Beschädigungen oder nicht sauber ausgeführte Prozesse können zu internen Kurzschlüssen führen. Manuelle Prozessschritte, wie dies z. T. im Bereich der Consumer-Batterien noch der Fall ist, führen zu einer großen Streuung in der Qualität und bedingen eine Produktion in

Niedriglohnländern. Standardisierte Prozessschritte ermöglichen den Übergang zu einer hoch automatisierten Fertigung. Diese ermöglicht eine sichere Massenproduktion von Lithium-Ionen-Zellen mit hoher, gleichbleibender Qualität auch in einem Hochlohnland wie Deutschland.

State of Health, Alterung von Lithium-Ionen-Batterien

Lithium-Ionen-Batterien unterliegen einer doppelten Alterung, der kalendarischen Alterung und der Alterung aufgrund von Ladezyklen. Moderne Lithium-Ionen-Batterien erreichen unter günstigen Verhältnissen eine Festigkeit von über 3000 Zyklen (80 Prozent DOD) und kalendarische Lebensdauern von über zehn Jahren.²¹² Signifikanten Einfluss auf die Lebensdauer von Batterien haben Temperatur, abgerufene Leistung und mechanische Belastungen. Temperaturgradienten innerhalb der Batterie oder Korrosion von Kontakten aufgrund von eingedrungener Feuchtigkeit sind weitere die Lebensdauer limitierende Faktoren.

Es gibt viele Ansätze, den elektrochemischen Zustand der Batterie (State of Health, SOH) zu bestimmen und zu modellieren (z. B.: US 2010/0244846 A1, US 7,072,871 B1). Ein standardisiertes, allgemein akzeptiertes Verfahren zur Bestimmung des SOHs existiert zurzeit nicht. Wie oben dargestellt, bildet der chemische Zustand der Zelle nur einen Teil des Zustands des Gesamtsystems Batterie ab. Ein standardisiertes Messverfahren zur Bestimmung des aktuellen Zustandes von Batteriesystemen wird dringend benötigt, um z. B. eine zuverlässige Basis zur Bestimmung des Restwerts von gebrauchten Batterien zu haben.

²¹² Köhler (2010), S. 105.

Post-Lithium-Ionen-Technologien

Signifikante Steigerungen in der Energiedichte werden erst durch Post-Lithium-Ionen-Technologien wie Li-S und Li-Luft erwartet. Mit der Li-S-Technologie sollen Energiedichten bis 400 Wh/kg möglich sein.²¹³ Die Li-Luft-Technologie hat das größte Potenzial. Ihre theoretische Energiedichte (10 kWh/kg) liegt nahe an der von Diesel (12 kWh/kg). In einer industriellen Produktion sollten Energiedichten von etwa 1 kWh/kg erreichbar sein (vgl. Abbildung 58).²¹⁴ Im Bereich der Grundlagenforschung für die Li-Luft-Technologie sind noch einige Probleme zu lösen. So müssen die Leistungsdichte und der energetische Wirkungsgrad verbessert werden. Die Zyklenfestigkeit und die langfristige Haltbarkeit der Batterie im Betrieb mit Luft sind weitere offene Punkte.²¹⁵ Die Markteinführung wird in Deutschland nicht vor dem Jahr 2025 gesehen.²¹⁶

5.3 Ladetechnik

Das Auffüllen des Energiespeichers dauert bei batterieelektrischen Fahrzeugen vergleichsweise lang. In dieser Zeit muss das Fahrzeug mit dem Stromversorgungsnetz verbunden sein. Elektrische Energie kann konduktiv oder induktiv übertragen werden. Jede Ladetechnik muss einfach und sicher in der Handhabung sein und ohne Aufsicht funktionieren. Im Fehlerfall muss das Ladesystem in einen sicheren Grundzustand überführt werden, bei dem auch das sichere Entfernen des Ladekabels gewährleistet ist. Für die Bewertung der Ökobilanz des Gesamtsystems Elektromobilität ist der Systemwirkungsgrad der Schnittstelle zwischen Energieversorgungsnetz und Fahrzeug ein wichtiger Teilaspekt. Im Mobilitätsverhalten der Deutschen steht das

Fahrzeug zu über 95 Prozent der Zeit ungenutzt. Die Verbindung während der Stillstandszeit mit dem Energieversorgungsnetz in Kombination mit einer Kommunikation, die gesteuertes Laden und Rückspeisung ermöglicht, unterstützt wirkungsvoll den weiteren Ausbau volatiler erneuerbarer Energien.

Kabelgebundenes Laden

In der IEC 61851 werden vier verschiedene Lademodi unterschieden. Das Laden am Hausanschluss ohne (Mode 1) und mit In-cable Control Box (Mode 2), an einer speziellen Ladesäule (Mode 3) und das Laden mit Gleichstrom (Mode 4). Das Ladegerät befindet sich bei den Modi 1 bis 3 im Fahrzeug.

Technisch ist der Bereich der konduktiven Wechselstromladung (Modi 1 bis 3) weitgehend vorangeschritten und es sind Vorschläge in die Normungs- und Standardisierungsarbeit eingegangen (IEC 61851-21, IEC 61851-22, IEC 62196-1, IEC 62196-2). Das Laden im Mode 1 wird aus Sicherheitsgründen nicht empfohlen. Gerade in der Anfangsphase der Elektromobilität ist aber damit zu rechnen, dass im Mode 1 geladen wird. Beim Laden an einer gewöhnlichen Haushaltssteckdose im Mode 1 ist der elektrischen Installation besondere Beachtung zu schenken. Die vergleichsweise hohe Anschlussleistung von Elektrofahrzeugen und der relativ lange Ladevorgang können eine unzulängliche Hausinstallation überlasten. Dadurch kann es zu Überhitzungen bis hin zum Brand kommen. Beim Laden im Mode 2 sichert die In-cable Control Box den Ladevorgang an der Schuko-Steckdose ab und es wird keine zusätzliche Hausinstallation benötigt. Laden im Mode 3 bietet dem Gesamtsystem Elektromobilität das größte Potenzial. Die Installation spezieller Ladestationen, die auf die Anforderungen der Elektromobilität ausgelegt sind, d. h. die

intrinsische Sicherheitsfunktionen erfüllen und den bidirektionalen Energiefluss ermöglichen, sind Voraussetzung für eine erfolgreiche Integration der Elektromobilität in das Smart Grid. In Europa wird für das Laden im Mode 3 eine einheitliche Lösung angestrebt.²¹⁷

Mode 4 beschreibt das Laden mit Gleichstrom (DC). Die DC-Schnellladung ermöglicht hohe Ladeleistungen (bis 60 kW). Damit lässt sich eine Batterie in wenigen Minuten bis etwa 80 Prozent (State of Charge, SOC) aufladen. Allerdings wirkt sich die DC-Schnellladung negativ auf die Lebensdauer der Batterie aus. In diesem Mode befindet sich das Ladegerät in der Säule. Während des Ladevorgangs muss die DC-Ladesäule mit dem Batteriemanagementsystem (BMS) kommunizieren, um den passenden Strom hierfür einstellen zu können. Das CHAdeMO-Konsortium hat einen Vorschlag für die Gestaltung des Steckers und des Kommunikationsprotokolls gemacht. Ein weiterer Vorschlag ist der Combo-Stecker, der sowohl für AC- als auch DC-Laden geeignet ist. Aktuell laufen im Bereich der DC-Ladung die Projekte zu den Normen IEC 61851-23 (DC-Ladestation), -24 (Kommunikationsprotokoll für das DC-Laden) und IEC 62196-3 (DC-Ladestecker).

²¹³ NPE (2011), S. 19.

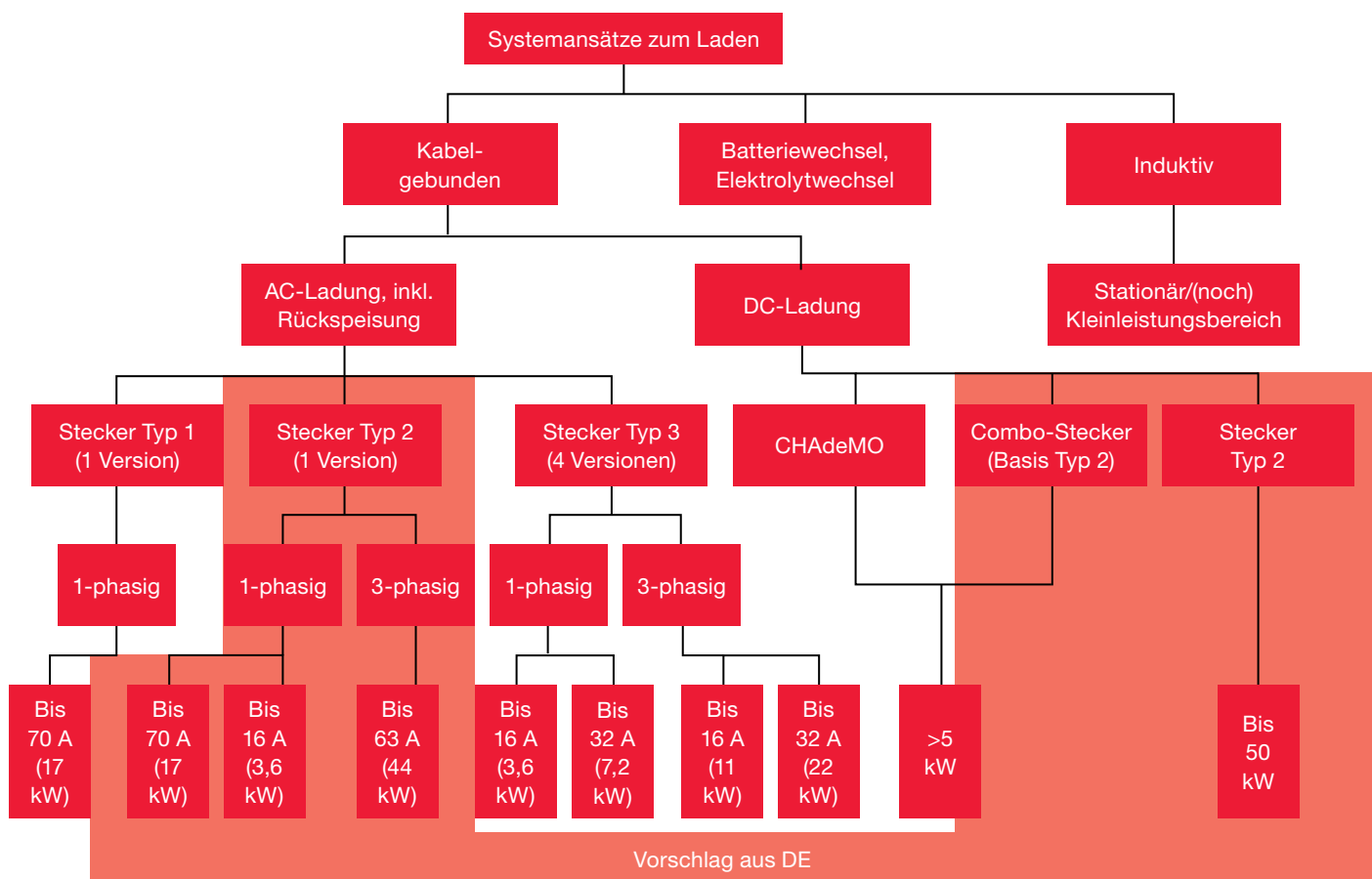
²¹⁴ Visco/Nimon/Katz/Chu/De Jonghe (2009).

²¹⁵ Wilcke (2011).

²¹⁶ NPE (2011), S. 19.

²¹⁷ Focus Group on European Electro-Mobility (2011), S. 2.

Abb. 60 Systemansätze zum Laden.



Quelle: NPE (2010), S. 36.

Induktives Laden

Die induktive Ladetechnik ist eine Wechselstromtechnik und benötigt ein Ladegerät im Auto. Induktive Ladetechnik bietet Vorteile bei Komfort und Sicherheit. So entfällt z. B. der Steckvorgang. Durch die automatische Verbindung mit dem Netz, wenn das Fahrzeug über der Induktionsspule zum Stehen kommt, kann die Einbindung in das Smart Grid über längere Zeit gewährleistet werden.

Zu den Nachteilen der induktiven Ladetechnik zählen die noch eingeschränkte Ladeleistung, der geringe Wirkungsgrad und die Fragestellungen zur elektromagnetischen Verträglichkeit. Aufgrund der geometrischen

Eigenschaften des energieübertragenden elektromagnetischen Feldes ist der Wirkungsgrad dieser Ladetechnik nichtlinear von Abstand und Richtung abhängig und eine sehr genaue Positionierung von Sender und Empfänger ist notwendig. Die Emission elektromagnetischer Strahlung („Elektrosmog“) kann zu kontroversen Diskussionen in der Bevölkerung und zu einer Ablehnung induktiver Ladestationen im öffentlichen Raum führen.

Es gibt zahlreiche Forschungs- und Demonstrationsprojekte zur induktiven Ladung. Im Bereich des ÖPNV werden seit 2002 in Genua und 2003 in Turin Midibusse eingesetzt, die an den Haltestellen induktiv geladen werden.²¹⁸

In Lörrach wurde in einem Demonstrationsprojekt 2005 ein Elektrobus auf einer 18 km langen Strecke eingesetzt. In der etwa einstündigen Mittagspause wurden die Blei-Gel-Batterien induktiv aufgeladen.²¹⁹ Das Projekt wurde nach einem halben Jahr wieder eingestellt, weil weder die Antriebstechnologie noch die Energiespeicher den Anforderungen im Schwarzwald entsprochen haben.²²⁰ Der TOHYCO-Rider in Luzern verbindet induktive Ladetechnik mit SuperCaps als Energiespeicher.²²¹ Alle Projekte verwenden eine kommerziell erhältliche induktive Ladetechnik (Inductive Power Transfer (ITP®) von Conductix-Wampfler). Obwohl die Lifecycle-Kosten als vergleichbar mit Dieselnissen abgeschätzt werden,²²² haben sich diese Systeme

²¹⁸ Conductix-Wampfler AG (2011).

²¹⁹ Regio Verkehrsverbund Lörrach GmbH (2005).

²²⁰ ecomotive media GmbH (2011).

²²¹ Voelmle (2004).

²²² Kudlicza (2009).

noch nicht am Markt durchgesetzt. Eine weitere denkbare Anwendung wären induktive Taxiwartestreifen z. B. an Flughäfen.

Das Projekt „W-Charge“ untersucht die induktive Ladetechnik für Elektroautos. Es konnten bisher Ladeleistungen von 3 kW mit einem Wirkungsgrad von über 90 Prozent unter Einhaltung der Sicherheitskriterien zum Schutz von Menschen, Tieren und Sachwerten (ICNIRP) im Labor realisiert werden.²²³

Die induktive Ladetechnik ermöglicht auch eine Energieaufnahme während der Fahrt. Bombardier hat die oberleitungsfreie Straßenbahn Primove entwickelt.²²⁴ Ein Testbetrieb auf einer kurzen Strecke in Augsburg startete im Herbst 2010.²²⁵

Im Rahmen des Programms Online Electric Vehicle (OLEV) werden am Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) Lösungen für die dynamische, induktive Ladung erforscht. Neben einer „Touristenbahn“, wurden kleine Elektrofahrzeuge und ein Bus in Demonstratoren umgesetzt. Das System arbeitet zurzeit bei geringen Geschwindigkeiten und mit hohen Übertragungsverlusten (26 Prozent).²²⁶ Ein flächendeckendes Netz induktiver Straßen würde die wesentlichen Nachteile von Elektrofahrzeugen – geringe Reichweite, hohes Gewicht und hohe Kosten – aufheben, da nur noch eine vergleichsweise kleine

Batterie notwendig wäre. Allerdings sind die zu überwindenden Herausforderungen enorm. Eine besondere Herausforderung bei diesen dynamischen Ladesystemen ist die Spurtreue, die den Wirkungsgrad massiv beeinflusst. Eine einfache Rechnung zeigt, dass für den vollständigen Betrieb eines Elektrofahrzeugs über die induktive Energieversorgung bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h eine dauerhafte Ladeleistung von 20 kW benötigt wird (Verbrauch 15 kWh/100km, Wirkungsgrad induktive Ladung 0,75). Pro Fahrspur und Kilometer wären Ladeleistungen von 390 kW notwendig. Eine Reduzierung der Geschwindigkeit auf 50 km/h würde den individuellen Energiebedarf zwar halbieren, aufgrund der geringeren Abstände zwischen den Fahrzeugen würde aber immer noch eine Anschlussleistung von bis zu 330 kW/km notwendig sein. Zu den Problemen bei der Infrastruktur kommt noch die ungeklärte Frage der Abrechnung (bspw. mehrere Verbraucher über der gleichen Primärspule oder der Wechsel eines Verbrauchers zur nächsten Primärspule während der Fahrt). Geringer Wirkungsgrad, die großen technischen Herausforderungen, ungeklärte Abrechnung und die Investitionskosten führen zu geringen Realisierungschancen im betrachteten Zeitraum.

5.4 Abrechnungskonzepte

Die Benutzung von Ladestationen ist nicht kostenlos. Der bezogene Strom muss bezahlt und dementsprechend auch erfasst und abgerechnet werden. Für die Abrechnung sind unterschiedliche Modelle denkbar. Deren Entwicklung wird in hohem Maße durch gesetzliche und regulatorische Vorgaben beeinflusst. So bestehen beispielsweise aufgrund der Vorgabe der sogenannten Diskriminierungsfreiheit in der Energiewirtschaft entsprechende Rahmenbedingungen, die bei der Umsetzung von Abrechnungsmodellen zu beachten sind.

Derzeitige Abrechnungskonzepte für Elektromobilität sind insbesondere die Folgenden:

- Gebündelte Abrechnung z. B. für Flottenfahrzeuge mittels einer zentralen Ladestation (z. B. der Fuhrpark eines Energieversorgers, der am Betriebsgrundstück aufgeladen wird)
- Abrechnung von bereits im Abrechnungssystem erfassten Fahrzeugen an dezentralen Ladestationen mittels Kundennummer (s. Smart Home)
- Abrechnung von „unbekannten“ Fahrzeugen, z. B. analog dem Roaming-Prinzip im Bereich Mobilfunk
- Abrechnung auf Basis im Fahrzeug gemessener Daten (Mobile Metering)

Diese Konzepte unterscheiden sich zum Beispiel in ihrer Art der Identifizierung des Nutzers. Dies kann etwa über eine RFID-Karte, über eine Kreditkarte oder über das Mobilfunktelefon (Freischalten der Ladestation durch SMS oder Anruf) erfolgen. Entsprechend ergibt sich bei der Anzahl von annähernd 900 Stromnetzbetreibern in Deutschland eine extrem hohe Komplexität aus Tarifen und Abrechnungsmodellen. Mittel- bis langfristig werden also Abrechnungssysteme gebraucht, die ähnlich wie im Mobilfunkbereich sämtliche Tarife aller Netzbetreiber, Stromlieferanten und Mobilitätsbenutzer korrekt abrechnen können. Auch Roaming-Partner und Wettbewerber können so eine einheitliche Abrechnungsplattform nutzen. Eignen würde sich hier eine zentrale Clearing-Stelle. Diese könnte die drohende Komplexität in deutlichem Maße reduzieren und den Einstieg in die Geschäftsmodelle vereinfachen.

Ein einfacheres Modell der Abrechnung wäre beispielsweise ein Stromliefervertrag, der gegebenenfalls sogar über den Liefervertrag zu Hause gekoppelt wird. Dieser berechtigt den Kunden, sein Elektrofahrzeug zu den im Vertrag

²²³ Fraunhofer IWES (2011).

²²⁴ Bombardier (2011).

²²⁵ Stadtwerke Augsburg (2010).

²²⁶ Kaist ICC (2009), Jolly (2009).

vereinbarten Stromtarifen an Ladesäulen des Energielieferanten, an der Ladestation des Nutzers zu Hause oder jener eines Roaming-Partners zu laden.

Die komplette Abwicklung kann dabei im Wesentlichen auf Basis heute bereits definierter energiewirtschaftlicher Prozesse erfolgen. Angefangen bei der Authentifizierung des Nutzers, der Messung der geladenen Strommenge bis hin zur Rechnungslegung kann die Abwicklung von bereits heute existierenden Marktakteuren (Netzbetreiber, Messstellenbetreiber und Energielieferant) übernommen werden. Ein Nutzer kann sich anhand eines PINs, einer RFID-Karte oder eines Mobiltelefons am Ladepunkt identifizieren und nach erfolgreicher Autorisierung den Ladevorgang beginnen.

Mobile Metering ermöglicht die fahrzeugbezogene Abrechnung der geladenen Strommengen. Durch die Verlagerung der Messeinrichtung in das Elektrofahrzeug kann die Ladeinfrastruktur einfacher gestaltet werden. Identisch zum stationären Messen müssen die Vorschriften zum Eichrecht zwingend eingehalten werden (siehe oben). Weiterhin ist eine eindeutige Zuordnung von Ladepunkt und entnommener Energiemenge wesentlich für die korrekte Abrechnung mit den verschiedenen Stromanbietern.

5.5 Antriebsstrang

Der Antriebsstrang eines Elektrofahrzeugs besteht im Wesentlichen aus Elektromotor, Leistungselektronik, Steuergerät, Hochvolt-Komponenten, Ladegerät und dem schon im vorangegangenen Kapitel betrachteten elektrischen Energiespeicher. In der radikalen Form von Elektromobilität (Purpose Design) entfallen u. a. Verbrennungskraftmaschine, Abgasanlage, Tank, Getriebe und Differential, in der einfachsten Form (Conversion Design) werden nur die notwendigen Komponenten ersetzt. In der nächsten Dekade werden Conversion-Design-Elektrofahrzeuge vorherrschen.

Gerade in Deutschland gibt es eine starke Elektroindustrie. Allerdings produziert diese im Wesentlichen für Industrieanwendungen. Häufig wird variantenreich im Kleinserienbereich produziert. Ein Übergang zu automotiven Fertigungstechnologien ist notwendig. Standards zur Definition wichtiger Kenndaten, der HV-Systemtechnik, der Diagnosetechnologien und des Spannungsniveaus für das Gesamtsystem helfen bei der zielgerichteten Entwicklung von Bauteilen. Eine Vereinheitlichung von Steckern, Gehäuse und Kabeln ermöglicht Modularisierung und Skaleneffekte und führt somit zu einer Kostendegression.²²⁷

²²⁷ Nationale Plattform Elektromobilität (2010 (2)), S. 9 ff.

VI. Überführung der Ergebnisse in eine SWOT-Analyse

Nachfolgend werden wichtige Ergebnisse der bisherigen Arbeiten für die Nutzerakzeptanz der Elektromobilität in einer SWOT-Analyse komprimiert zusammengefasst:

Abb. 61 SWOT-Analyse.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

E Zielgruppen

Die Marktdurchdringung der Elektromobilität wird erst dann möglich, wenn die Nutzer die neue Technologie akzeptieren und als vorteilhafter gegenüber anderen, konventionellen und alternativen Antriebstechnologien wahrnehmen. Die Nutzer werden wahrscheinlich nicht als Gesamtheit, sondern als Gruppen nach

und nach die Elektromobilität praktisch entdecken. Verschiedene Faktoren wie z. B. Alter, Geschlecht, Bildungsgrad, Herkunft und Erziehung, finanzieller Status, aktuelle Lebenssituation und Lebensumfeld (Wohn- und Arbeitsort) sind in diesem Zusammenhang von Bedeutung.

McKinsey beschreibt im „Electric Vehicle Concept Test Research Survey“ sechs verschiedene Zielgruppen, die unterschiedliche Erwartungen an die Elektromobilität haben. Als Basis der Untersuchung dient eine Befragung von 606 Shanghaier Bürgern. Obwohl China als Schwellenland anderen Anforderungen

Tab. 39 Zielgruppendefinition Elektromobilität nach McKinsey.

Früheinsteiger		Formbares Mittelfeld		Späteinsteiger	
Trendbewusst-ökologisch	Betriebskosten-sensitiv	Preisbewusst	Performance-suchend	Trendfolgend	Konservativ
Zeigen gerne Präsenz	–	–	Zeigen gerne Präsenz	–	Zeigen ungern Präsenz
Offen gegenüber neuer Technologie	Vertrauen in Sicherheit und Zuverlässigkeit	Kritisch bei der Zuverlässigkeit	Technologieaffin, kritisch bei Reichweite, Laden und Performance	Nutzen neue Produkte im Massenmarkt, bevorzugen etablierte Modelle, kritisch bei neuen Technologien (Zuverlässigkeit, Auswahl und Preis)	Geringe Anpassungs-bereitschaft an neue Produkte, kritisch gegenüber der Zuverlässigkeit
Preis spielt geringe Rolle	Betriebskosten-sensitiv, Anschaffungspreis spielt geringe Rolle, TCO ist wichtig	Anschaffungs- und Betriebskosten spielen eine wichtige Rolle, preisbewusst	Preis und Betriebskosten spielen fast keine Rolle	Geringe Preise und Betriebskosten wichtig	–
Ökologisches Bewusstsein steht über Performance	–	Preis steht über Performance	Markenbewusst	Markenbewusst	Kein besonders ausgeprägtes ökologisches Bewusstsein, Performance und Kosten sind gleichbedeutend wichtig
Komfort muss gegeben sein	Bereit das Verkehrsverhalten anzupassen	–	Hohe Erwartung an Performance, Komfort muss gegeben sein	–	Generelle Ablehnung von neuen Produkten
Designaffinität	Ausstattung und Design weniger wichtig als Fahreffizienz	–	–	–	–

Quelle: McKinsey & Company (2010).

als bspw. Deutschland unterliegt, sind die modernen Bedürfnisse der Mittel- und Oberschicht mit den Bedürfnissen der Bevölkerung in den westlichen Ländern gleichzusetzen. Das wird dahingehend begründet, dass Entwicklungen in Schwellenländern oftmals auf Trends in den westlichen Ländern folgen. Tabelle 39 gibt die Untersuchungsergebnisse der Analyse komprimiert wieder.

Je nach Gruppenzugehörigkeit werden die Faktoren unterschiedlich stark gewichtet. Je offener die Nutzer gegenüber neuen Technologien sind, je eher sind sie bereit, höhere Kosten zu akzeptieren. Obgleich dem ökologischen Aspekt allgemein eine hohe Bedeutung zugemessen wird, gibt

es in den ermittelten Zielgruppen unterschiedliche Meinungen über dessen Relevanz für die tatsächlich Entscheidung auf Elektromobilität umzusteuern.

Die Zielgruppe der Konservativen steht der Elektromobilität kritisch gegenüber, da sie nur begrenzt bereit ist, ihr bisheriges Verhalten anzupassen. Demgegenüber ist die trendbewusste ökologische Zielgruppe bereit, zugunsten des ökologischen Vorteils und der Öffentlichkeitswirksamkeit ihres Fahrzeuges ihr Verkehrsverhalten anzupassen. Die Interessen der anderen Gruppen variieren nach dem jeweiligen Schwerpunkt (Betriebskosten/TCO, Technikaffinität und Erfahrungswerte der bestehenden Nutzer). Die häufigste Übereinstimmung in den Merkmalen

der einzelnen Gruppen besteht in der eingeschränkten Akzeptanz von Kostenerhöhungen. Zusätzlich werden Leistungsfähigkeit (Reichweite, Ladedauer etc.) der Fahrzeuge sowie die Sicherheit und Zuverlässigkeit als wichtige gruppenübergreifende Parameter identifiziert.

Ein in Deutschland vom Fraunhofer ISI durchgeführter Experten-Workshop kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Im Zentrum des Workshops standen jedoch Themen wie Verkehrsverhalten, Einstellung zur Technologie und Umweltbewusstsein. Infolge der Identifikation von vier wesentlichen Typen von potenziellen Nutzern wurden Hypothesen zu den einzelnen Gruppen aufgestellt.

Tab. 40 Potenzielle Nutzer und Hypothesen (Fraunhofer ISI).

	Technikbegeisterte	Umweltengagierte	Urbane Individualisten	Wohlsituierte Ältere
Hypothesen	Begeisterung für Technologie und das innovative Image der Fahrzeuge	Umweltaspekte prägen die Kaufentscheidung und die Nutzung, die Umweltbilanz ist wichtig	Städtische oder stadtnahe Bewohner	Luxusgegenstand mit Alltagsnutzen
	Eher männlich und Interesse an besonderen technischen Eigenschaften der Fahrzeuge	Häufig inter- oder multimodal, d. h. verkehrsmittelübergreifend, mobil zugunsten der Umwelt	Hohes (oft berufliches) Mobilitätsbedürfnis	Technikaffinität
	Häufige Zweitwagennutzung	Nutzung des Pkw für bestimmte Zwecke (Transport, bestimmte Strecken)	Mobilität soll die Lebensqualität sichern und modern, flexibel und ökologisch sein	Altersgruppe der über 60-Jährigen mit überdurchschnittlichem Einkommen bzw. Vermögen
	Fahrspaß und Außenwirkung sind wichtige Faktoren	Offen insbesondere für die Verbindung der Elektromobilität mit Carsharing und erneuerbaren Energien	Ergänzung zu anderen Verkehrsmitteln, einfacher Zugang z.B. durch IKT, auch Nutzung von Carsharing möglich	Nutzung eher als Zweitwagen

Quelle: Fraunhofer ISI (2010), S. 20ff.

Die dargestellten Zielgruppen sind sehr von den soziodemografischen Daten der Personen abhängig. Diese beschreiben den „klassischen“ Weg, dass die Person dem Milieu angehört aus dem sie kommt. Es werden keine Trendbrüche oder sich verändernde soziale Rahmenbedingungen einbezogen. Eine von den Autoren Dziemba und Wenzel erarbeitete Prognose für das Marketing im Jahr 2020 berücksichtigt solche Veränderungen. Soziale Milieus („Hausfrau“,

„Facharbeiter“, „Akademiker“) und die daraus entwickelten Zielgruppen sind ihrer Ansicht nach nicht mehr zeitgemäß, weil sich der Megatrend der Individualisierung mehr und mehr durchsetzt und die einzelnen Milieus nicht mehr klar voneinander getrennt werden können. Als Beispiele werden Jugendliche genannt, die Startups gründen und Millionen verdienen sowie gut situierte Akademiker, die plötzlich arbeitslos werden.²²⁸

Die dargestellten Ausführungen zur Identifikation und Zuordnung von Zielgruppen werden modifiziert für die folgenden Betrachtungen übernommen. Demnach werden für insgesamt fünf Zielgruppen Aussagen über deren Einstellung zu bestimmten Themenbereichen getroffen.

Tab. 41: Merkmale von unterschiedlichen Nutzergruppen.

	Technik-begeisterte	Umwelt-bewusste	Kosten-bewusste	Sicherheits-bewusste	Konservative
Kosten	o	o	++	+	++
Reichweite	++	o	+	++	++
Zuverlässigkeit	o	+	+	++	++
Strommix statt Benzin	++	—	o	o	o
Strom aus erneuerbaren Energien	+	++	o	o	o
Ladevorgang mit Kabel	+	++	o	—	+
Induktives Laden	++	—	—	o	—
Komfort	+	o	+	++	++
Design	++	o	o	+	+

++ Sehr wichtig
 + Wichtig
 o Indifferent
 — Eher unwichtig
 — Völlig unwichtig

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

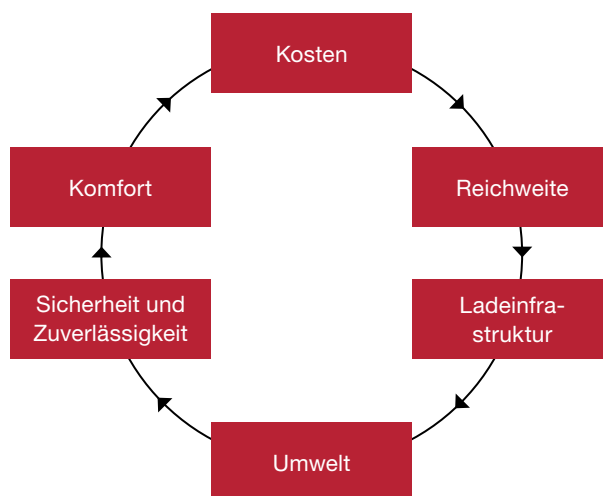
²²⁸ Dziemba/Wenzel (2009), S. 9ff.

F Erarbeitung von mittel- bis langfristigen Szenarien

I. Einleitung

Die Ergebnisse aus Kapitel D zeigen, dass speziell Reichweite, Ladeinfrastruktur und Kosten die Faktoren sind, die eine Barriere für die Marktdurchdringung von Elektromobilität darstellen. Die Mehrzahl der Nutzer wird speziell bei den Kosten nicht bereit sein, einen wesentlichen Aufschlag auf den Kaufpreis gegenüber einem vergleichbaren Verbrennungsfahrzeug zu akzeptieren. Die Reichweitenangst kann einem Großteil der Nutzer durch geeignete Öffentlichkeitsarbeit/Vermarktung, dem Angebot von Hybridkonzepten, dem punktuellen Aufbau einer Ladeinfrastruktur und geeigneten Geschäftsmodellen (z. B. kombinierte Modelle, Mobilitätskarte) hingegen auch kurzfristig genommen werden. Ergänzend zu diesen Treibern erwarten die Nutzer, dass Faktoren wie Sicherheit, Zuverlässigkeit und Komfort durch den Umstieg nicht beeinträchtigt werden. Ein Vorteil von Elektrofahrzeugen gegenüber konventionellen Fahrzeugen wird von vielen Nutzern in der „grünen“ Mobilität gesehen. Auch wenn dieser Faktor für das Image der Elektromobilität große Bedeutung hat, besitzt er nur begrenztes Potenzial, um die aus Reichweite und Kosten resultierenden Nachteile aufzuheben. Zudem muss analysiert werden, ob die oft oberflächlich angeführte ökologische Perspektive der Elektromobilität tatsächlich einer Überprüfung im Zeitablauf standhält. Die CO₂-Bilanz der Elektromobilität hängt entscheidend von der Art der Stromproduktion ab und variiert stark mit dem verwendeten Strommix. Auch werden im Bereich konventioneller Antriebe hinsichtlich der ökologischen Belastung erhebliche Effizienzsteigerungen erwartet.

Abb. 62 Kritische Faktoren der Elektromobilität.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011)

In einem ersten Schritt wird die Entwicklung der Anschaffungskosten der Entwicklung der Betriebskosten gegenübergestellt. Anhand eines Modells wird der Zeitpunkt berechnet, ab dem sich der Umstieg auf Elektromobilität für den Nutzer aus Kostengründen lohnt. Die Nutzer werden diesbezüglich in

Abhängigkeit der durchschnittlich im Jahr gefahrenen Kilometer in Gruppen eingeteilt. Anhand der durchschnittlich gefahrenen Kilometer pro Tag kann abgeschätzt werden, ob die Performance der Batterien insbesondere in Bezug auf den Faktor Reichweite ausreicht, um den Anforderungen der Nutzer zu entsprechen.

Tab. 42 Reichweite von Elektroautos nach Segmenten im Jahr 2010.

Fahrzeugsegment	K	M	O	Sp	G	T
Reichweite	108	160	260	340	200	210

K: Minis und Kleinwagen, M: Kompaktwagen und Mittelklasse, O: Obere Mittel- und Oberklasse, Sp: Sportwagen, G: Geländewagen und Vans, T: Transporter

Quelle: FfE (2010), S. 21

In einem zweiten Schritt wird überprüft, ob die Nutzerwünsche bzgl. Komfort und Sicherheit der Elektrofahrzeuge im Zeitablauf erfüllt werden können. Die Elektrifizierung des Fahrzeugs stellt neue Anforderungen an Hersteller, Zulieferer und Rettungskräfte, die Sicherheit des Nutzers zu gewährleisten. Noch zu bearbeitende Themenbereiche werden identifiziert und vor dem Hintergrund der technischen Entwicklung bewertet.

Um den ökologischen Mehrwert der Elektromobilität zu prüfen, werden Änderungen im Strommix dargestellt. Neben Ölknappheit und der Abhängigkeit von den Öl-Erzeugerstaaten bildet der ökologische Aspekt den Hauptgrund für die Überlegung eines Umstiegs auf Elektromobilität. Während die ersten beiden Aspekte ein dauerhaftes Problem für konventionelle Antriebsarten sind, gibt es Grund zu der Annahme, dass die Umweltbilanz konventioneller Fahrzeuge in Zukunft deutlich verbessert werden kann.

Die Ergebnisse aus den Szenarien werden genutzt, um Rückschlüsse auf das zukünftige Nutzerverhalten zu ziehen. Anhand qualitativer/charakteristischer Merkmale wurden Nutzertypen identifiziert. Deren Eigenschaften werden mit den Entwicklungen in der Elektromobilität gespiegelt. Auf diese Weise kann die Bereitschaft der Nutzer im Zeitablauf elektromobil zu werden, eingeschätzt werden.

II. Kritische Faktoren

2.1 Kosten, Reichweite und Ladeinfrastruktur

Es wurde gezeigt, dass gegenwärtiges und zukünftiges Verkehrsverhalten der Nutzer nicht wesentlich voneinander abweichen werden. Die Anzahl der Wege und die Wegstrecken werden ansteigen, sich aber nicht maßgeblich auf die Nutzbarkeit von Elektrofahrzeugen auswirken. Während die Anzahl der Pkw-Besitzer vermutlich sinken wird, ist für die Anzahl der Pkw-Nutzer keine entsprechende Änderung zu erwarten. E-Carsharing- und Mietkonzepte werden als Alternative zum Pkw-Besitz an Bedeutung gewinnen.

Die derzeitige Autofahrergeneration wird in Abhängigkeit der täglichen Kilometerleistung in fünf Gruppen aufgeteilt.²²⁹

Mehr als die Hälfte der deutschen Autofahrer fährt somit weniger als 30 km pro Tag. Die Vielfahrer aus Gruppe 5 stellen nur knapp 7,8 Prozent der Gesamtheit dar. Wird die durchschnittlich zurückgelegte Wegstrecke pro Tag zugrunde gelegt, bestünde schon heute lediglich für eine kleine Minderheit der Autofahrer überhaupt ein Reichweitenproblem. Die täglichen Wegstrecken wären in der Großzahl der Fälle ohne zwischenzeitlichen Ladevorgang

abzubilden. Der Aufbau einer „flächendeckenden“ öffentlich zugänglichen Infrastruktur scheint nicht notwendig zu sein, da während des Tages in den meisten Fällen nicht zwischengeladen werden muss. Die Bedeutung des Begriffs „flächendeckend“ geht in diesem Fall wesentlich von der Bereitstellung einer über das Land verteilten Basisversorgung hinaus. Die Zahl und Verteilung der (Normal- und Schnell-)Ladepunkte überträte damit die Zahl und Verteilung der Tankstellen um ein Vielfaches.

Tab. 43 Verteilung der Nutzer nach der durchschnittlichen Kilometerleistung.

	Kilometer pro Tag	Anteil in %
Gruppe 1	0–10	16,6 %
Gruppe 2	11–30	34,5 %
Gruppe 3	31–80	30,1 %
Gruppe 4	81–140	11 %
Gruppe 5	>140	7,8 %

Quelle: VDE (2010), S. 179.

²²⁹ (VDE, 2010), S. 179.

Faktoren wie Reichweite und Ladedauer bzw. Verfügbarkeit sind hier zu berücksichtigen. Falls es jedoch in anderen Ländern wie z. B. Frankreich oder Großbritannien zum Aufbau einer breiten (halb-)öffentlichen Ladeinfrastruktur kommen sollte, kann es durchaus sein, dass in Deutschland ähnliche Entwicklungen zu beobachten sein werden.

Tatsächlich ist dem punktuellen Aufbau einer Ladeinfrastruktur ein besonderes Augenmerk zu widmen. Ziel muss sein, eine Basisversorgung sicherzustellen und den Nutzern die zurzeit sicherlich vorhandene „Reichweitenangst“ zu nehmen. Dabei wird sich der Aufbau der Ladeinfrastruktur insbesondere an den Gruppen orientieren, für die besonders viele Vorteile aus der neuen Technologie resultieren. Eine in diesem Zusammenhang wichtige Voraussetzung ist der Besitz eines (überdachten) Stellplatzes mit vorhandenem Stromanschluss. Die Stellplatzdichte wird insbesondere im Speckgürtel von Großstädten und im ländlichen Raum besonders hoch sein. In vielen Großstädten wird die Stellplatzdichte, abhängig von der jeweiligen städtebaulichen Struktur, hingegen eher gering sein. Aus den bisherigen Beobachtungen können zwei unterschiedliche Schlüsse gezogen werden: Zum einen ist eine Ladeinfrastruktur insbesondere in Großstädten notwendig, da nur wenige andere Lademöglichkeiten bestehen (Alternative 1). Zum anderen kann eine Fokussierung auf Regionen mit hoher Stellplatzdichte sinnvoll sein, um die ohnehin vorhandene Infrastruktur mit der punktuellen Errichtung von (Schnell-)Ladesäulen z. B. auf Verbindungswegen zu Großstädten zu flankieren. In Großstädten bietet sich hingegen eine Fokussierung auf den elektro-mobilen ÖPNV sowie die Nutzung von intermodalen Verkehrskonzepten an (Alternative 2).

Die vielfach diskutierte Möglichkeit des Ladens am Arbeitsplatz wird wohl-möglich überschätzt, da eine wirklich umfassende Errichtung von Stellplätzen mit Lademöglichkeit einen erheblichen finanziellen Mehraufwand für die Unternehmen bedeutet. Konzepte für die Errichtung einer Ladeinfrastruktur sollten diese Möglichkeit zwar benennen, aber zugleich die Unsicherheit über die tatsächlich mögliche Abdeckung realistisch wiedergeben.

Etwa 37 Prozent der Autofahrer verfügen über keine eigene Lademöglichkeit.²³⁰ Für diese Gruppe können entweder Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz vorgehalten werden²³¹ oder andere Alternativen wie z. B. neue Geschäftsmodelle oder Hybridkonzepte interessant sein. Auch die partielle Errichtung von öffentlichen Lademöglichkeiten an Anwohnerparkplätzen scheint eine Lösung zu sein. Eine gut sichtbare, wenn auch nicht flächendeckende, Ladeinfrastruktur kann den Nutzern Sicherheit vermitteln und im Markthochlauf die Akzeptanz erhöhen. Wichtig ist, dass mit der Vermeidung der Errichtung einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur keine oder nur geringe Kosten entstehen, die auf den Nutzer umgelegt werden müssen. Teilweise wird angenommen, dass die Nutzer entgegen dem „günstigen“ Laden zu Hause an öffentlichen Ladestationen etwa 1 Euro pro kWh zahlen müssten.²³²

Die an dieser Stelle betrachteten Durchschnittswerte zu den benötigten Kilometern geben jedoch nur Anhaltspunkte und nicht den tatsächlichen Bedarf der Nutzer wieder. Tatsächlich werden Abweichungen vom Durchschnitt, an dieser Stelle als Ausfalltage bezeichnet, einen wesentlichen Einfluss auf die Entscheidung der Nutzer haben. Erfahrungswerte und geeignete Geschäftsmodelle können hier wichtige Treiber der Elektromobilität werden. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Möglichkeit der Implementierung von geeigneten kombinierten Modellen genannt: Ein Fahrzeugkauf verbunden mit der Möglichkeit an bspw. zehn beliebigen Tagen im Jahr ein konventionelles oder ein Hybridauto zu vergünstigten Konditionen zu mieten, kann der Problematik von „Ausfalltagen“ u. U. wirksam begegnen.

Unter Kostenaspekten könnte die Konzentration der Autofahrer in Gruppen mit geringer Kilometerleistung pro Jahr einen entscheidenden Nachteil darstellen. Nur bei entsprechender Kilometerleistung kann der Nachteil hoher Anschaffungskosten durch den Vorteil niedriger Betriebskosten kompensiert werden. Bezüglich der Entwicklung der Anschaffungskosten von Elektro- und Verbrennungsfahrzeugen ist anzunehmen, dass zukünftig eine Annäherung stattfinden wird. Die Verringerung der Differenz ist zu einem Großteil auf sinkende Batteriekosten

Tab. 44 Kostenvergleich Tanken/Laden (zu Hause vs. öffentlich).

	Tanken	Laden zuhause	Laden im öffentlichen Raum
Preis in €	1,55/l	0,22/kWh	1/kWh
€/140km	11,94	4,16	18,90

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

²³⁰ Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg/e-mobil BW GmbH/Fraunhofer IAO (2010), S. 105.

²³¹ Der Anteil der Autofahrer die keine Möglichkeit hätten, ihr Auto zu Hause oder am Arbeitsplatz zu laden, beträgt nach Berechnungen des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg lediglich 10 bis 15 Prozent, vgl.: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg/e-mobil BW GmbH/Fraunhofer IAO, (2010), S. 105.

²³² Resch (2011).

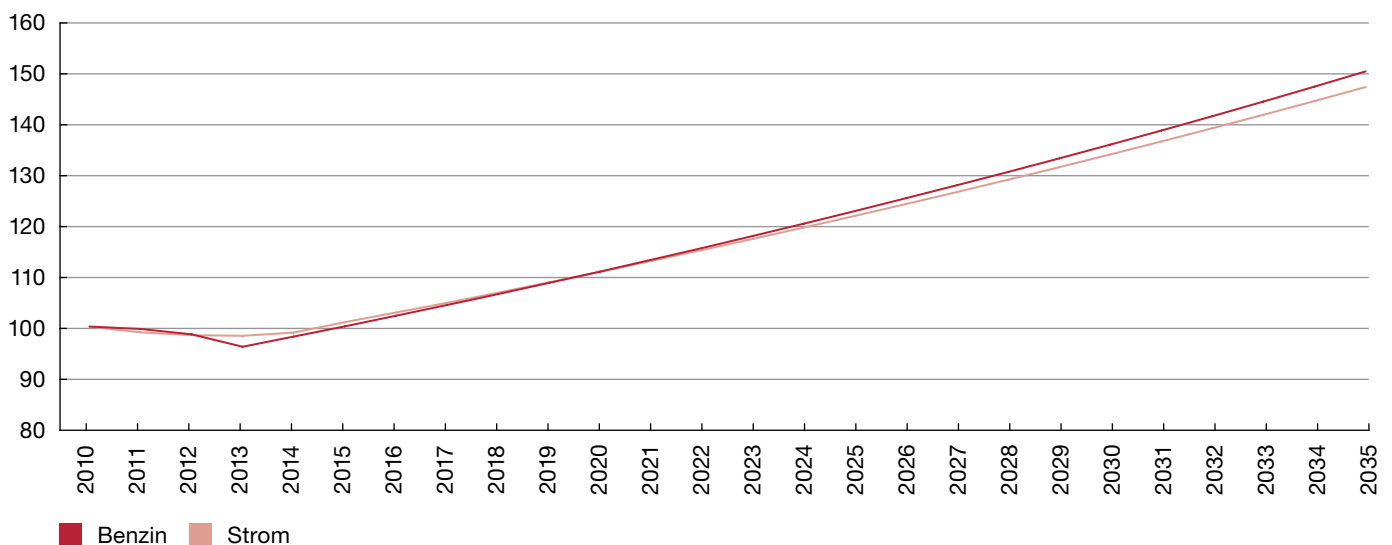
zurückzuführen. Eine Standardisierung von Bauteilen für den Antriebsstrang kann ebenfalls positive Effekte haben. Basis für die Entwicklung der Differenz der Anschaffungskosten eines Kleinwagens bilden die Berechnungen der NPE (s. o.).²³³ Bezüglich der Entwicklung der Strom- und Ölpreise hat PwC eigene Berechnungen angestellt.²³⁴ Demnach werden Öl- und Strompreis im Basis-szenario langfristig auf einem Niveau von etwa 2 Prozent p. a. anwachsen.

Neben den Strom- und Benzinkosten sind die Instandhaltungs- und Wartungskosten von Elektro- und Verbrennungsfahrzeug zu berücksichtigen.²³⁵ Themen wie Wartung mittels Ferndiagnose können die Kostenentwicklung beeinflussen. Gerade in diesem Fall ist jedoch zu überprüfen, ob etwaige Kosteneinsparungen durch geeignete Integration von IKT nicht auch bei Verbrennungsfahrzeugen erreicht werden können. Genauso kann der mit Kosten verbundene erhöhte IKT-Bedarf die durch die Fernwartung bestehenden Kostenvorteile substituieren. Aus dem Grund wird angenommen, dass die

Differenz über den Betrachtungszeitraum auf einem bestimmten Niveau bestehen bleibt. Für den Vergleich von Verbrennungs- und Elektrofahrzeug ist des Weiteren der Restwert der jeweiligen Fahrzeuge im Zeitablauf relevant. Der Wertverlust eines Elektroautos wird maßgeblich durch den Wert der Batterie beeinflusst, der etwa ein Drittel der Herstellungskosten ausmacht. Der Wertverlust eines Elektroautos wird stärker als bei einem konventionellen Auto auftreten, sodass bereits nach wenigen Jahren davon ausgegangen werden kann, dass der Wiederverkaufswert von Verbrennungs- und Elektrofahrzeug nahezu identisch ist. Infolge dieser Annahmen wurde das ökonomische Substitutionspotenzial von Elektrofahrzeugen anhand eines Modells abgeleitet. Als Grundlage dienen die Annahmen zur Entwicklung der Nettolistenpreise von Elektrofahrzeugen der NPE, die um eigene Annahmen ergänzt wurden.²³⁶ Die Entwicklung der Strom- und Benzinpreise wurde in vier betrachteten Szenarien unterschiedlich dargestellt. Die im Basisszenario angenommene Entwicklung ist in

Abbildung 63 wiedergegeben. In Szenario 1 steigt der Strompreis um einen Prozentpunkt stärker als im Basisszenario an. Die Benzinpreisentwicklung bleibt identisch. In Szenario 2 ist der umgekehrte Fall abgebildet. Im Rahmen von Szenario 3 wird ein paralleles Wachstum von Strom- und Benzinpreis i. H. v. 4 Prozent p. a. angenommen. Wartungs- und Instandhaltungskosten werden annahmegemäß über den gesamten Zeitraum auf ein und demselben Niveau angesetzt.²³⁷ Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse zeigen die tägliche Kilometeranzahl, die nach einem Kauf in unterschiedlichen Jahren (2015, 2020, 2025) bei einer durchschnittlichen Haltedauer von sechs Jahren jeweils im Durchschnitt gefahren worden sein muss, damit die Kosten (Anschaffungs- und Betriebskosten) eines Verbrennungsfahrzeugs denen eines Elektroautos mindestens entsprechen. Die Berechnungen führen zu dem überraschenden Ergebnis, dass Elektromobilität in relativ kurzer Zeit für einen Großteil der Nutzer kostendeckend ist.

Abb. 63 Entwicklung der Strom- und Benzinpreise in Deutschland (indexiert).



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

²³³ NPE (2011).

²³⁴ Die Benzinkosten werden im Ausgangsjahr mit 1,55 €/l und die Stromkosten mit 0,22 €/kWh angenommen.

²³⁵ Baum, Dobberstein und Schuler (2011).

²³⁶ (NPE, 2011), Anhang.

²³⁷ (Baum, Dobberstein, & Schuler, 2011), eigene Berechnungen.

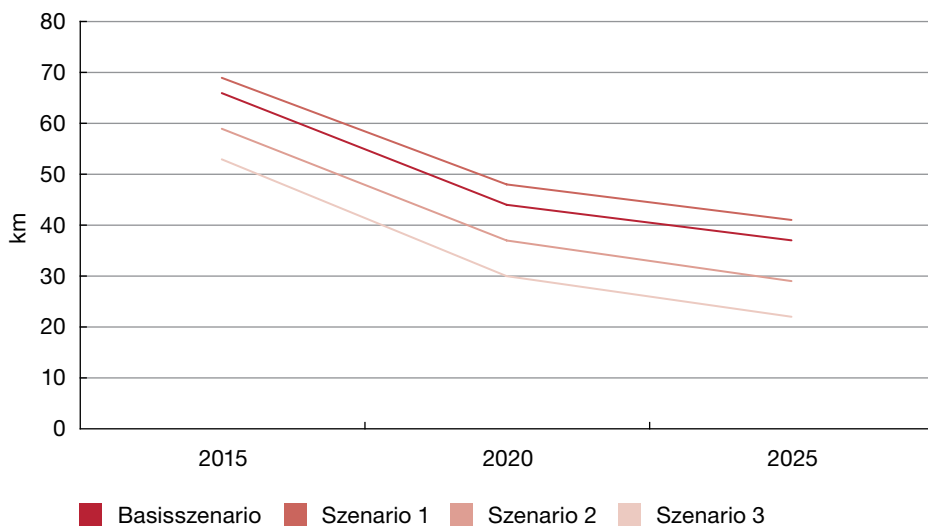
Die dargestellte notwendige Kilometerzahl pro Tag kann auch auf einzelne Wochentage verteilt werden. Das hat den Vorteil, dass durchschnittliche „Ausreißer“ noch einmal deutlich machen, welche Reichweite an welchem Tag erzielt werden muss. Hier ist insbesondere der Maximalwert von Interesse. Es wird gezeigt, dass zwar auch bei der Betrachtung von einzelnen Wochentagen bereits ab dem Jahr 2015 unter Reichweitenaspekten relativ geringe Kilometerleistungen ausreichen, damit der Kauf eines Elektroautos gegenüber dem Kauf eines Verbrennungsfahrzeugs ökonomisch attraktiv ist. In der Praxis fährt jedoch ein Großteil der Nutzer im Durchschnitt noch deutlich weniger Kilometer.

In Tabelle 45 wird den Ergebnissen der Berechnungen das unter Kosten- und Reichweitenaspekten zu erreichende Potenzial an Nutzern (Fahrzeughalter) zugeordnet. Es werden nur die Nutzer berücksichtigt, die auch potenziell über einen Stellplatz verfügen.²³⁸

Unter Kosten- und Reichweitenaspekten scheint es im Basisszenario möglich, bis zum Jahr 2025 mehr als zehn Millionen Nutzer für die Elektromobilität zu gewinnen. In der Praxis sind jedoch neben Kosten und Reichweite auch andere Gründe (z. B. Sicherheit, Flexibilität) für den Umstieg auf eine neue Technologie zu beachten. Somit dürften die tatsächlichen Zahlen deutlich darunter liegen.

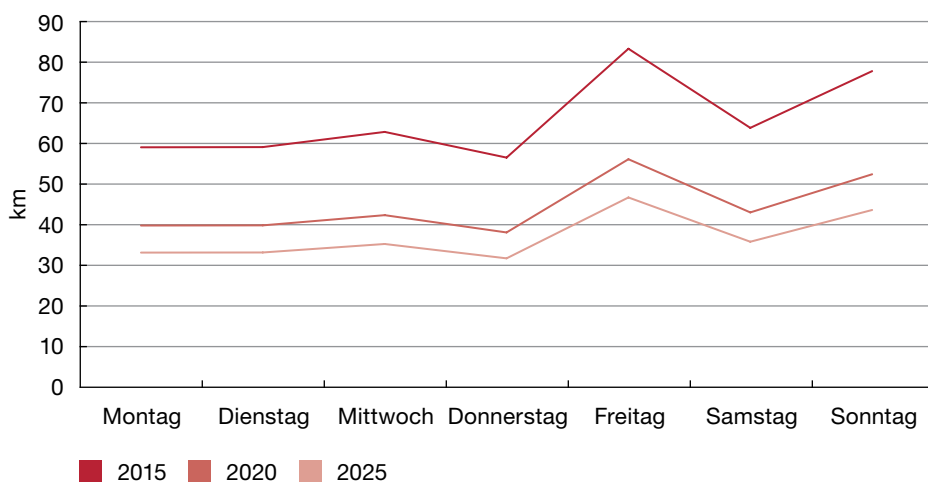
Neben dem Barkauf werden die Möglichkeiten einer anteiligen Fremdfinanzierung sowie Leasingmodelle transparent dargestellt. Demnach sind Leasingmodelle aufgrund der meist kurzen Haltedauer, die in diesem Beispiel mit drei Jahren angenommen wurde sowie des höheren prozentualen Abschlags auf den Neupreis (Risiko der Haltbarkeit der Batterie wird eingepreist) zurzeit weitgehend unattraktiv.

Abb. 64 Bis zur Amortisation zu fahrende Kilometer pro Tag.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Abb. 65 Bis zur Amortisation zu fahrende Kilometer pro Wochentag.



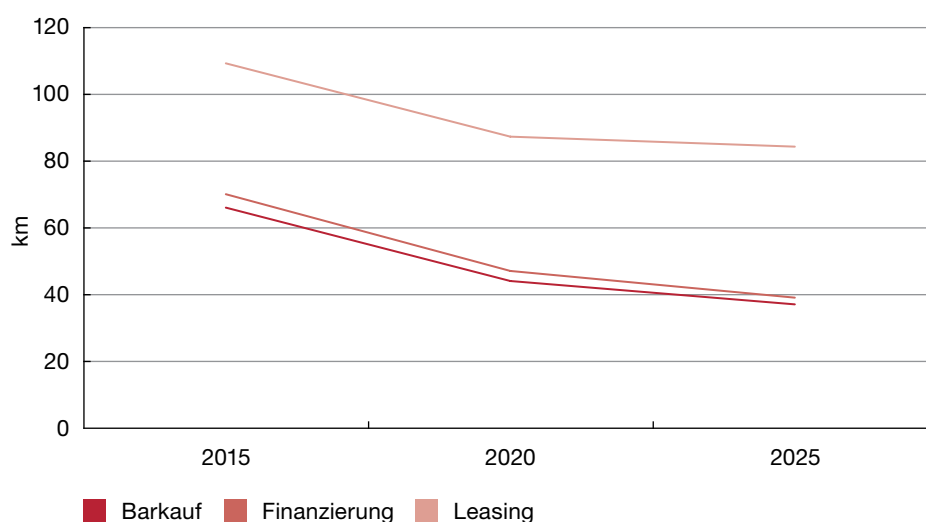
Quelle: VDE (2010), PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

²³⁸ Statistisches Bundesamt, (2009), VDE (2010) S. 179, KBA (2011).

Tab. 45 Potenzial an Nutzern in unterschiedlichen Szenarien.

	2015	2020	2025
Basisszenario			
km/Tag	66	44	37
Nutzerpotenzial in Mio.	5,31–6,37	7,59–9,54	9,54–11,75
Szenario 1			
km/Tag	69	48	41
Nutzerpotenzial in Mio.	5,31–6,37	7,59–9,54	7,59–9,54
Szenario 2			
km/Tag	59	37	29
Nutzerpotenzial in Mio.	6,37–7,59	9,54–11,75	11,75–15,57
Szenario 3			
km/Tag	53	30	22
Nutzerpotenzial in Mio.	6,37–7,59	11,75	11,75–15,57

Quelle: Bundesamt, Statistisches (2009), VDE (2010) S. 179, KBA (2011), PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Abb. 66 Vorteilhaftigkeit von Finanzierungsoptionen im Vergleich zum Verbrennungsfahrzeug (km/Tag).

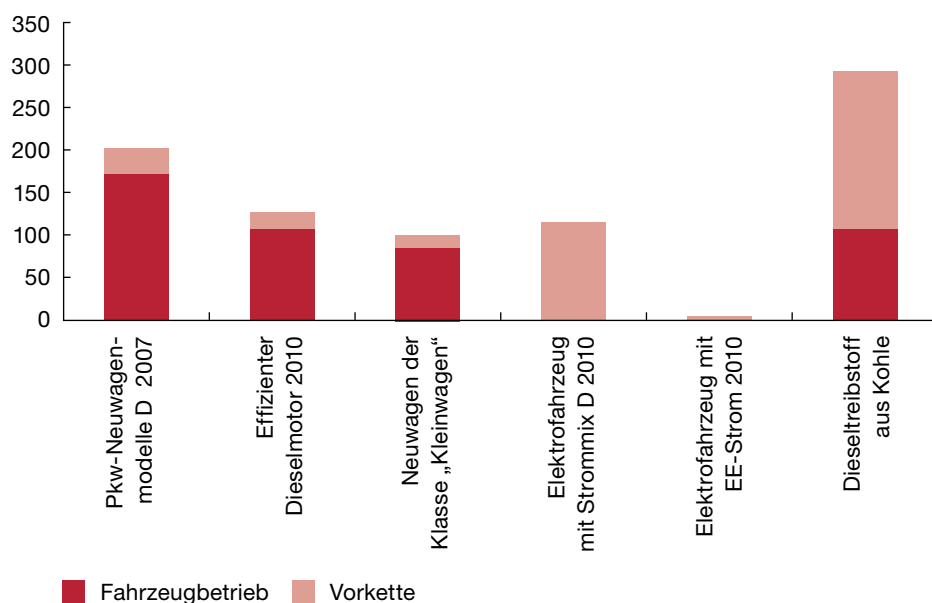
2.2 Umwelt

Für viele Nutzer sind Umweltaspekte die Begründung für den Umstieg auf Elektromobilität. Sollte die Entwicklung zeigen, dass Elektroautos nur unwesentlich umweltfreundlicher als konventionelle Fahrzeuge sind, hätte das massiven Einfluss auf das Verhalten der Nutzer. Bei konventionellen Fahrzeugen entstehen Belastungen sowohl in der Vorkette, d. h. der Produktion des Öls als auch während des Betriebs der Fahrzeuge. Bei Elektroautos entstehen Umweltbelastungen nahezu ausschließlich bei der Erzeugung des Stroms. Gegenwärtig wird Strom zu etwa einem Fünftel aus erneuerbaren Energien erzeugt. In einer aktuellen PwC-Studie wird gezeigt, dass Elektrofahrzeuge unter Zugrundelegung des heutigen Strommixes ähnliche CO₂-Emissionen wie Dieselfahrzeuge oder konventionelle Kleinwagen verursachen.²³⁹ Im Gegensatz zu konventionellen Fahrzeugen können Elektrofahrzeuge emissionsfrei fahren, wenn sie mit Strom aus erneuerbaren Energien geladen wurden. Elektroautos können als mobile Speicher einen Beitrag zur Umstellung auf die volatilen erneuerbaren Energien leisten.

Berechnungen des ADAC zeigen, dass die CO₂-Emissionen eines Smart ForTwo mit Elektromotor bei geringerer Leistung auf einem höheren Niveau als die eines Dieselfahrzeugs liegen, wenn der Strom hauptsächlich in Steinkohlekraftwerken erzeugt werden würde. Unter Zugrundelegung des heutigen Strommixes würde ein Elektro-Smart bei geringerer Leistung unwesentlich besser abschneiden.²⁴⁰ Elektrofahrzeuge werden aktuell nach den gleichen Kriterien wie Benzin- und Dieselfahrzeuge bewertet. Nicht zuletzt durch die Technik bedingt, werden sich die Einsatzspektren von Elektrofahrzeugen und Verbrennungsfahrzeugen unterscheiden. Gerade im städtischen Verkehr haben Elektrofahrzeuge

²³⁹ PwC, Fraunhofer IAO (2010), S. 45, 46.

²⁴⁰ ADAC (2011).

Abb. 67 CO₂-Emissionen (g/km).

Quelle: PwC, Fraunhofer IAO (2010), eigene Annahmen.

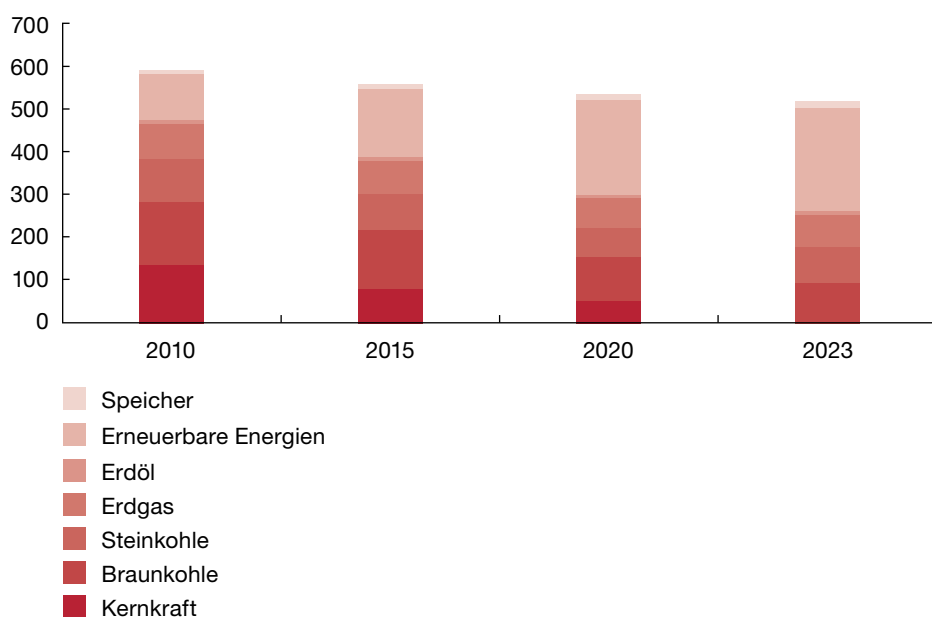
Verbrauchsvorteile wohingegen sie für lange Strecken auf Autobahnen ungeeignet sind. Eine differenziertere Betrachtung für unterschiedliche Antriebskonzepte ist notwendig.

Die aktuellen Beschlüsse der Bundesregierung, langfristig auf Kernenergie zu verzichten und erneuerbare Energien stärker einzubinden, werden den Strommix grundlegend verändern. Demnach wird der Anteil erneuerbarer Energien am Strommix auf etwa 47 Prozent im Jahr 2023 steigen.²⁴¹

Einen sinnvollen Beitrag gegen die Klimaveränderung kann Elektromobilität nur dann leisten, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien der für Elektroautos genutzt wird, nicht normalerweise anderen Anwendungen zu Gute kommen würde. Anderenfalls sinkt der Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien der für andere Anwendungen zur Verfügung stünde. Demnach muss die überschüssige Energie aus Peak-Zeiten in Batterien gespeichert werden. Das V2G-Konzept in dem die Batterie als Zwischenspeicher genutzt wird, kann hier einen wichtigen Beitrag leisten. Auch die Integration des Elektrofahrzeugs in das Smart-Home scheint eine gute Alternative zu sein.

Während der erhöhte Anteil erneuerbarer Energien zu einer deutlichen Reduzierung der CO₂-Emissionen eines Elektrofahrzeugs führen wird, werden auch Verbrennungsfahrzeuge CO₂-ärmer konstruiert werden. Gemäß einer aktuellen Studie²⁴² besteht ein Einsparungspotenzial von 40 Prozent, das bei entsprechenden Anstrengungen der Automobilhersteller bis zum Jahr 2020 erreicht werden kann. Demnach könnten die CO₂-Zielwerte für Pkw erreicht werden. Zudem sinken die Kosten für konventionelle Fahrzeuge.

Abb. 68 Entwicklung des Strommix in Deutschland.



Quelle: VBW (2011).

²⁴¹ VBW (2011).

²⁴² The Boston Consulting Group (2011).

Es zeigt sich, dass die negativen Umweltauswirkungen sowohl für Verbrennungsfahrzeuge als auch für Elektrofahrzeuge sinken werden. Sofern Elektromobilität in Zukunft aus erneuerbaren Energien gespeist wird, besteht das Potenzial, langfristig weitgehend CO₂-frei zu fahren. Der Strombedarf von einer Million Elektrofahrzeugen entspricht ungefähr 0,3 Prozent des deutschen Gesamtstrombedarfs. Das ist sehr viel weniger als die nachhaltig erzeugte Strommenge (s. o.).

Neben der Energiebereitstellung für Elektrofahrzeuge hat auch der Bau von Infrastruktur, Fahrzeugen und Batterien Umweltauswirkungen. Daher sollte hierfür ein standardisiertes Modell zur Ökobilanzierung (LCA – Life Circle Assessment) entwickelt werden. Dies könnte helfen, eine gute Vergleichbarkeit von Produkten sicherzustellen, umweltrelevante Produktionsprozesse zu optimieren und gegebenenfalls auch positive ökologische und ökonomische Effekte zu erzielen.

2.3 Sicherheit und Zuverlässigkeit

Die vorherigen Ausführungen haben gezeigt, dass Nutzer Sicherheitsaspekten von Elektrofahrzeugen weniger kritisch gegenüberstehen. Dies hängt vermutlich mit zwei Dingen zusammen: Zum einen

erwarten Nutzer, dass die hohen Sicherheitsstandards für konventionelle Fahrzeuge auch bei Elektrofahrzeugen angewandt werden. Zum anderen sind sicherheitskritische Aspekte eines Elektrofahrzeugs vielen Nutzern unbekannt. Ein sicherheitsrelevantes und elektromobilitätsspezifisches Ereignis wie z. B. ein Brand der Traktionsbatterie nach einem Unfall kann die Einstellung der Nutzer abrupt ändern. Dann können sicherheitskritische Themen in den Fokus der Öffentlichkeit gelangen und die Marktdurchdringung der Elektromobilität erheblich beeinträchtigen. Tabelle 46 gibt einen Überblick über die identifizierten sicherheitsrelevanten Themen. In diesen Bereichen liegen erhebliche Unsicherheiten bzgl. der Entwicklung der sicherheitsrelevanten Faktoren und bzgl. der Reaktion der Nutzer vor. Diesen Unsicherheiten sollte kurzfristig mit entsprechenden Konzepten

entgegengewirkt werden. So sollte bspw. die Rettungskette auf den Markthochlauf der Elektromobilität vorbereitet werden. Eine einfache und eindeutige Kennzeichnung von Elektrofahrzeugen²⁴³ ist für die (Erst-) Helfer essenziell. Hier kann Normung und Standardisierung unterstützen, die Entwicklung positiv zu beeinflussen.

2.4 Komfort

Die Nutzer werden bei Elektroautos den gleichen Komfort wie bei Verbrennungsfahrzeugen erwarten. Einzig auf Sonderausstattungen wie Ledersitze oder eine Standheizung könnten sie sich vorstellen, zu verzichten.²⁴⁴ Die Elektromobilität wird dem Nutzer diesen Wunsch in vielen Punkten erfüllen können. Die Bedienung des Fahrzeuges sollte intuitiv möglich sein. Wichtig ist,

Tab. 46 Sicherheitsrelevante Themen der Elektromobilität.

Unfall	Ladevorgang	Fahrzeugbetrieb	Batterie
Unfallursache in Fehlfunktion der Technik	Personenschäden durch elektrischen Schlag aufgrund von z. B. Fehlbedienung, Vandalismus	„Funktionale Sicherheit“	Gefahr von Ausgasung bis zum Brand durch z. B. Überladung etc.
Personenschäden (Insassen/ Helfer) durch elektrischen Schlag	Materieller Schaden durch Vandalismus	Zuverlässigkeit der SOC-Anzeige	Gewährleistung von Sicherheitsfunktionen bei leerer Traktionsbatterie
Zurückhaltung von Helfern aufgrund unzureichender Kenntnis über die Rettung aus EV	Haftung für Schäden Dritter	Auslegung auf die Beanspruchungen	
Direkter oder verzögerter Brand	Brandgefahr bei unzureichender elektrischer Installation	Zuverlässigkeit bei jedem Wetter	
Transport verunfallter EV	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Problematik insbes. beim induktiven Laden		
	„Grundzustand“ im Störfall		

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

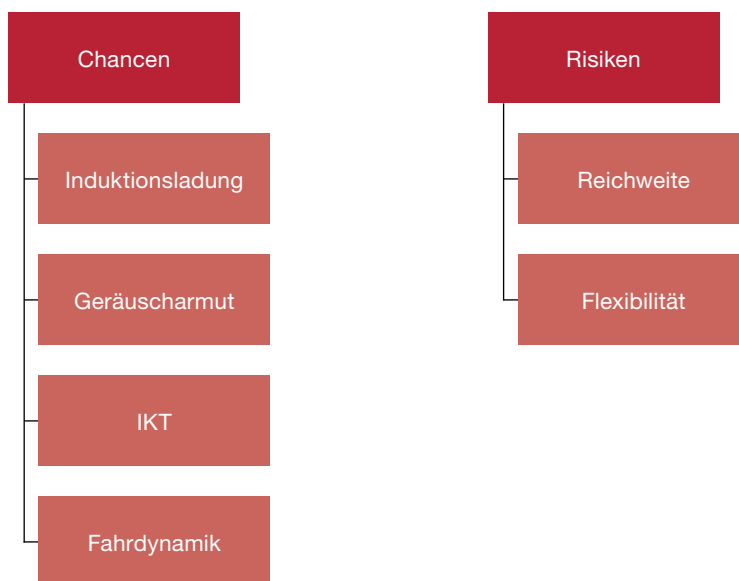
²⁴³ NPE (2010), S. 48: Das Thema Kennzeichnung von Elektrofahrzeugen wird auch in der Normungs-Roadmap angesprochen. Vorschläge für eine Umsetzung wurden bisher nicht genannt.

²⁴⁴ Fojzik (2010).

dass die verwendeten User Interfaces (im Fahrzeug, an der Ladestation etc.) ein einheitliches Erscheinungsbild haben und die Basisfunktionalität immer gleich ist. Die Eigendiagnose von Fahrzeug und Ladeinfrastruktur mit standardisierten Signalen ermöglicht den Nutzern die Identifikation fehlerhafter Subsysteme. Diese Aspekte vereinfachen die Bedienung und erleichtern dem Nutzer das Zurechtfinden in einem unbekannten Fahrzeug oder einer unbekannten Infrastruktur und senken Hemmschwellen, die aufgrund der neuen Technik entstehen können.

In mehreren Bereichen bestehen deutliche Potenziale der Elektromobilität. So würde bspw. die Induktion den Ladevorgang erheblich vereinfachen. Hierzu müssten aber noch bestehende Probleme z. B. im Bereich der Positionierung des Fahrzeugs gelöst werden. Der geräuscharme Betrieb von Elektroautos stellt für Nutzer einen deutlichen Komfortgewinn dar. Zukünftige Einschränkungen können auftreten, wenn Regelungen zu Geräuschmindestanforderungen für Elektroautos in Kraft treten sollten. Auch im Bereich IKT bestehen große Potenziale. Diese sind aber nicht immer elektromobilitätspezifisch. Im Bereich Fahrdynamik bestehen ebenfalls Potenziale, z. B. in der Beschleunigung oder der aktiven Fahrdynamikregelung.²⁴⁵ Mit einer einheitlichen Positionierung des Ladeanschlusses am Fahrzeug kann möglicherweise ebenfalls der Komfort der Nutzer erhöht werden. Gerade die zunehmende Bedeutung von Mobilitätskonzepten, wie bspw. E-Carsharing führt zur verstärkten Nutzung

Abb. 69 Komfort bei Elektroautos – Chancen und Risiken.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

unterschiedlicher Fahrzeuge. Eine einheitliche Position könnte den Umgang erleichtern.²⁴⁶

Einzig bei den Themen Reichweite und Flexibilität wird der bisherige Komfort im Untersuchungszeitraum nicht gewährleistet werden können und muss durch ausgleichende Maßnahmen wie E-Carsharing, Mietwagen oder die Nutzung einer Mobilitätskarte (intermodale Verkehrsnutzung) kompensiert werden. Dies bietet für die Nutzer auch

Vorteile. Sie können je nach Bedarf flexibel auf verschiedene Fahrzeugarten zurückgreifen (z. B. Minivan, Transporter) und benötigen daher nur ein Basisfahrzeug für die alltäglichen privaten Wege oder den Weg zur Arbeit. Im städtischen Umfeld könnte dann auch der ÖPNV im Rahmen einer Mobilitätskarte als Ersatz dienen.

²⁴⁵ Weitere Potenziale bestehen z. B. infolge der Substitution des Tankvorgangs durch den Ladevorgang.

²⁴⁶ Mein Elektroauto (2011 (2)).

III. Darstellung zukünftiger Entwicklungen

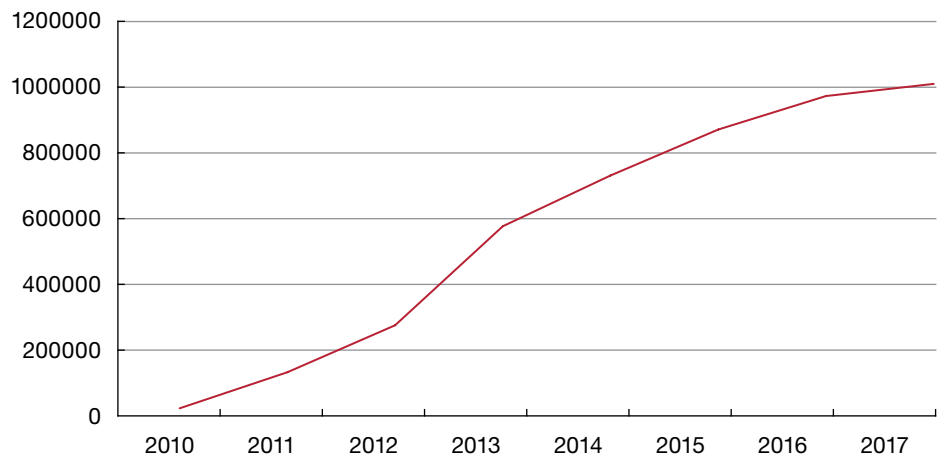
Aus den in diesem Kapitel bisher erarbeiteten Punkten können mögliche Entwicklungen der Elektromobilität abgeleitet und die Zielgruppen den entsprechenden Entwicklungsschritten zugeordnet werden. Anhand eines Basisszenarios wird gezeigt, dass Elektromobilität mittelfristig umgesetzt werden kann. Demgegenüber wird ein Negativszenario vorgestellt anhand dessen Problemfelder, deren Auftreten die Marktdurchdringung der Elektromobilität erheblich verlangsamt, aufzeigt werden.

3.1 Basisszenario

Technologische Entwicklungen befördern die Entwicklung der Elektromobilität bis zum Jahr 2025. Diese Entwicklungen führen dazu, dass die Batterie- und damit auch die Anschaffungskosten der Elektroautos deutlich sinken werden und bereits im Jahr 2017 global etwa eine Million reine Elektroautos produziert werden. Zusätzlich nimmt die Bedeutung von PHEV weiter zu, sodass dem Nutzer ein breites Spektrum an (teil-)elektrischen Fahrzeugen zur Verfügung steht. Die anfänglichen Probleme der Temperaturempfindlichkeit der Batterien treten u.a. aufgrund milder Winter nicht bzw. nur in Ausnahmefällen zutage, sodass das Sicherheitsgefühl der Nutzer steigt. Technologische Entwicklungen führen zudem dazu, dass die Batterien im Zeitablauf wesentlich robuster auf Temperaturschwankungen reagieren.

Die Umweltfreundlichkeit von Elektroautos nimmt unabhängig vom jeweiligen Stromvertrag weiter zu, da der Anteil erneuerbarer Energien am deutschen Strommix weiter steigt. Im Jahr 2025 wird der Anteil erneuerbarer Energien

Abb. 70 Entwicklung der Produktionszahlen von reinen Elektroautos (global).



Quelle: PwC Autofacts Q3/2011.

am deutschen Strommix etwa 50 Prozent betragen. Die Akzeptanz von Ökostrom scheint bei den Käufern von Elektrofahrzeugen sehr hoch zu sein, die Anbieter bieten kombinierte Modelle an (Ökostrom + Fahrzeug).

Generell ist es so, dass im Betrachtungszeitraum die Käufer von reinen Elektroautos nach wie vor größtenteils über einen eigenen Stellplatz mit Lademöglichkeit im privaten Umfeld verfügen werden. Die auf diese Weise angesprochene Gruppe bietet ein großes Potenzial (s.o.). Stadtbewohner werden insbesondere über Angebote des ÖPNV (Mobilitätskarte) und andere Mobilitätsdienstleister (E-Carsharing) an der Elektromobilität teilhaben.

Nachfolgend werden wesentliche Entwicklungen in den einzelnen Perioden verkürzt dargestellt.

2011 bis 2015

In der Marktvorbereitungsphase bringen die Hersteller eine wachsende Anzahl von Hybrid- und Elektroautos auf den Markt. Unternehmen und vermögende Technikbegeisterte zählen zu den ersten Abnehmern der Autos. Andere Zielgruppen werden durch die Projekte und Maßnahmen der öffentlichen Hand mehr und mehr auf die Elektromobilität und deren Vorteile aufmerksam. Zudem bekommen Nutzer selbst die Gelegenheit, Elektromobilität zu erfahren. In diesem Zusammenhang kommt E-Carsharing-Konzepten und der inter- und multimodalen Verkehrsnutzung eine wichtige Bedeutung zu. Die Einfachheit der Bedienung der Elektroautos sowie die speziellen Features im Bereich IKT tragen dazu bei, dass der Kaufanreiz beim Kunden gestärkt wird. Die Ladeinfrastruktur wird punktuell ausgebaut. In einem ersten Schritt werden Unternehmen sowie E-Carsharing-Anbieter und andere Mobilitätsanbieter erste Ladepunkte errichten. Die öffentliche Hand ergänzt die Aktivitäten, sodass eine Basisversorgung gewährleistet wird. Der Errichtung von Schnellladestationen auf Verbindungswegen zu Großstädten

²⁴⁷ NPE (2010), S. 30: Das Thema Rettungsleitfäden wird auch in der Normungs-Roadmap aufgegriffen. Vorschläge für eine Umsetzung wurden bisher nicht genannt.

kommt in diesem Zusammenhang Bedeutung zu. Auf diese Weise kann insbesondere einem Großteil der Pendler, die oftmals infolge der Streckenlänge und der Stellplatzverfügbarkeit sehr gut für die Elektromobilität geeignet scheinen, die Reichweitenangst genommen werden. Nichtsdestotrotz werden die ersten Nutzer auch in diesem Zeitraum hauptsächlich zu Hause laden. Eine Überprüfung der Elektroinstallationen in den jeweiligen Häusern wird vorgenommen. In vielen Fällen wird noch an der Schuko-Steckdose geladen. In dieser Phase werden weitreichende Maßnahmen zur Qualifizierung der Rettungskette vorgenommen, um auf Unfälle mit Elektroautos professionell reagieren zu können. In diesem Zusammenhang werden insbesondere Konzepte zum geeigneten Umgang mit der Batterie (Diagnose, Entladung, Abtransport) und allgemein der Elektrizität im Auto (Rettungsleitfäden²⁴⁷) entwickelt.

2015 bis 2020

Der steigende Anteil erneuerbarer Energien am deutschen Strommix und die zunehmende Erkenntnis, dass autarke Energieversorgungsmodelle möglich sind, bringt die Gruppe der Umweltbewussten dazu, elektromobil zu werden. Die Reichweitenangst wird den Nutzern durch die Strukturierung geeigneter Geschäftsmodelle genommen. Kombinierten Modellen kommt hier eine große Bedeutung zu. So wird Nutzern von reinen Elektroautos z. B. beim Kauf angeboten, zusätzlich mehrfach im Jahr konventionelle oder

Hybridfahrzeuge zu vergünstigten Konditionen zu mieten. Auch eine zunehmende Anzahl an Kostenbewussten kommt zu dem Ergebnis, dass je nach Fahrverhalten die TCO vieler Elektroautos unter denen von Verbrennungsfahrzeugen liegen. Zu dieser Zeit ist dafür Sorge zu tragen, dass geeignete Konzepte vorliegen, die das Laden am eigenen Stellplatz großflächig möglich und sicher machen. Die Überprüfung des Hausanschlusses, die standardmäßige Integration einer Wall-Box und damit das Laden im Mode 3 befördern die Sicherheit erheblich. Zudem ist die Entwicklung der induktiven Ladung marktreif. Erste Konzepte werden insbesondere im Bereich des ÖPNV und der Mobilitätsanbieter angewandt. Infolge der wachsenden Anzahl von Elektroautos auf deutschen Straßen ereignen sich vermehrt Unfälle. Die Folgen sind jedoch weitgehend identisch mit denen von Unfällen mit konventionellen Fahrzeugen, da die in der Marktvorbereitungsphase durchgeführten Maßnahmen zum Thema Rettungskette (z. B. Entwicklung von Rettungsleitfäden, Ausbildung von Rettungskräften, Anpassung von Erste-Hilfe-Kursen) greifen.

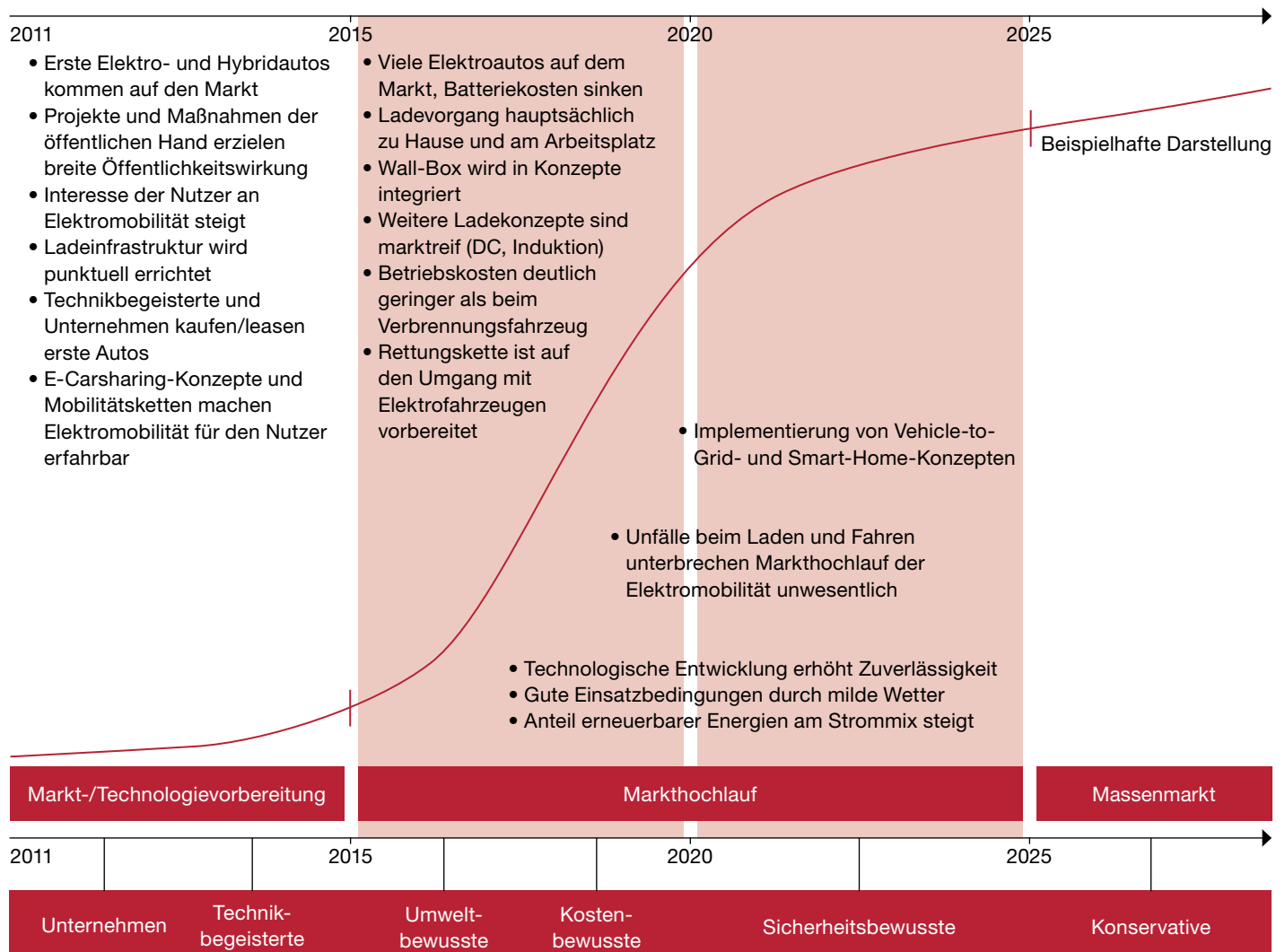
2020 bis 2025

Zu diesem Zeitpunkt ist eine Großzahl von Elektroautos auf dem Markt. Die vorliegenden positiven Erfahrungswerte mit Elektroautos tragen dazu bei, dass auch Sicherheitsbewusste von den Vorteilen der Elektromobilität überzeugt werden können. Die Verbreitung der vorher vielfach diskutierten und kleinteilig angewandten V2G- und Smart-Home-Konzepte nimmt deutlich zu. Dadurch wird die Nutzung von (erneuerbaren) Energien optimiert und Nutzer erhalten die Möglichkeit, zusätzliche ökonomische Vorteile aus der Elektromobilität zu ziehen (Prosumer).²⁴⁸ So ist mit dieser Einbindung von E-Fahrzeugen in das bestehende Stromnetz eine Nutzung der Batterien als Einspeiser und Verbraucher zu verstehen, die je nach Bedarf zu- und abgeschaltet werden können.

Die Gruppe der Konservativen wird erst später, d. h. nach dem Jahr 2025 und damit im Massenmarkt elektromobil werden. Zunächst werden Hybridkonzepte dazu dienen, die Elektromobilität an diese Gruppe heranzuführen.

²⁴⁸ Hausbesitzer können zukünftig sowohl Produzent als auch Konsument von Strom sein.

Abb. 71 Szenario 1 – Basisszenario.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

3.2 Negativszenario

Das Negativszenario wurde so konzipiert, dass einzelne Faktoren, die das Potenzial haben, die Marktdurchdringung der Elektromobilität entscheidend zu behindern, besonders herausgestellt werden.

Der Anteil erneuerbarer Energien am Strommix wird analog zum Basis-szenario deutlich steigen, sodass Elektroautos deutlich attraktiver werden. Die Energiewende führt jedoch dazu, dass die damit verbundenen Kosten auf die Endverbraucher umgelegt werden und die Strompreise deutlich stärker als die Benzinpreise steigen. Gleichzeitig treten erhebliche Verbesserungen hinsichtlich der Umweltbelastung konventioneller Fahrzeuge auf, die von den Automobilherstellern entsprechend vermarktet werden. Die technologische Entwicklung führt zwar auch in diesem Szenario dazu, dass die Batteriekosten deutlich sinken und die Zuverlässigkeit der Autos erhöht wird. Die Rahmenbedingungen sind jedoch deutlich schlechter, sodass harte Winter die Einsatzmöglichkeiten der Elektroautos erheblich behindern und es zu temporären Ausfällen kommt. Das Vertrauen der Nutzer in die Technologie wird dadurch beeinträchtigt.

2011 bis 2015

Das Negativszenario ist gerade in der Marktvorbereitungsphase ähnlich aufgebaut wie das Basisszenario. Ein wesentlicher Unterschied besteht in dem Beginn des Aufbaus einer (halb-)öffentlichen flächendeckenden Ladeinfrastruktur. Die Notwendigkeit des Aufbaus wird zu einem Großteil mit diesbezüglichen Entwicklungen in anderen Ländern wie u. U. Frankreich und/oder Großbritannien begründet. Ein anderer wesentlicher Grund besteht darin, von vornherein alle Nutzer von konventionellen Fahrzeugen anzusprechen, indem eine flächendeckende Ladeinfrastruktur angeboten wird. Unternehmen und Technikbegeisterte werden erste verfügbare Elektroautos erwerben. Hinsichtlich der Bearbeitung der Rettungskette finden einzelne, wenig koordinierte Aktivitäten statt. Die Vorbereitung wird den einzelnen Parteien bzw. Beteiligten weitgehend selbst überlassen.

2015 bis 2020

Während das Angebot an Elektroautos zunächst analog zum Basisszenario besteht und DC- und induktive Ladetechnologien marktreif sind bzw. eingesetzt werden, werden die Kosten des großflächigen Aufbaus der (halb)öffentlichen Ladeinfrastruktur komplett auf den Nutzer umgelegt.²⁴⁹ Die Nutzer können dementsprechend günstig zu Hause oder kostenintensiv an der Ladesäule laden. Das führt dazu, dass nur Nutzer mit eigenem Stellplatz über den Kauf eines Elektroautos nachdenken und die Kosten über Steuern von der öffentlichen Hand finanziert werden. Zudem verschlechtern die hohen Gebühren an öffentlichen Ladestationen die Wahrnehmung der Nutzer erheblich. Dennoch werden auch Umweltbewusste mit hohem

Einkommen, die das Potenzial der CO₂-freien Fahrt von Elektroautos erkennen, erste Autos kaufen. Die unzureichenden Maßnahmen zur Entwicklung/Stärkung der Rettungskette führen dazu, dass die Auswirkungen von Unfällen mit Elektroautos deutlich negativer als bei konventionellen Autos ausfallen. Schwere Verletzungen durch Batteriebrände bei Unfallbeteiligten und Helfern sowie Komplikationen beim Abtransport werden von den Medien aufgegriffen und verunsichern die Nutzer erheblich.

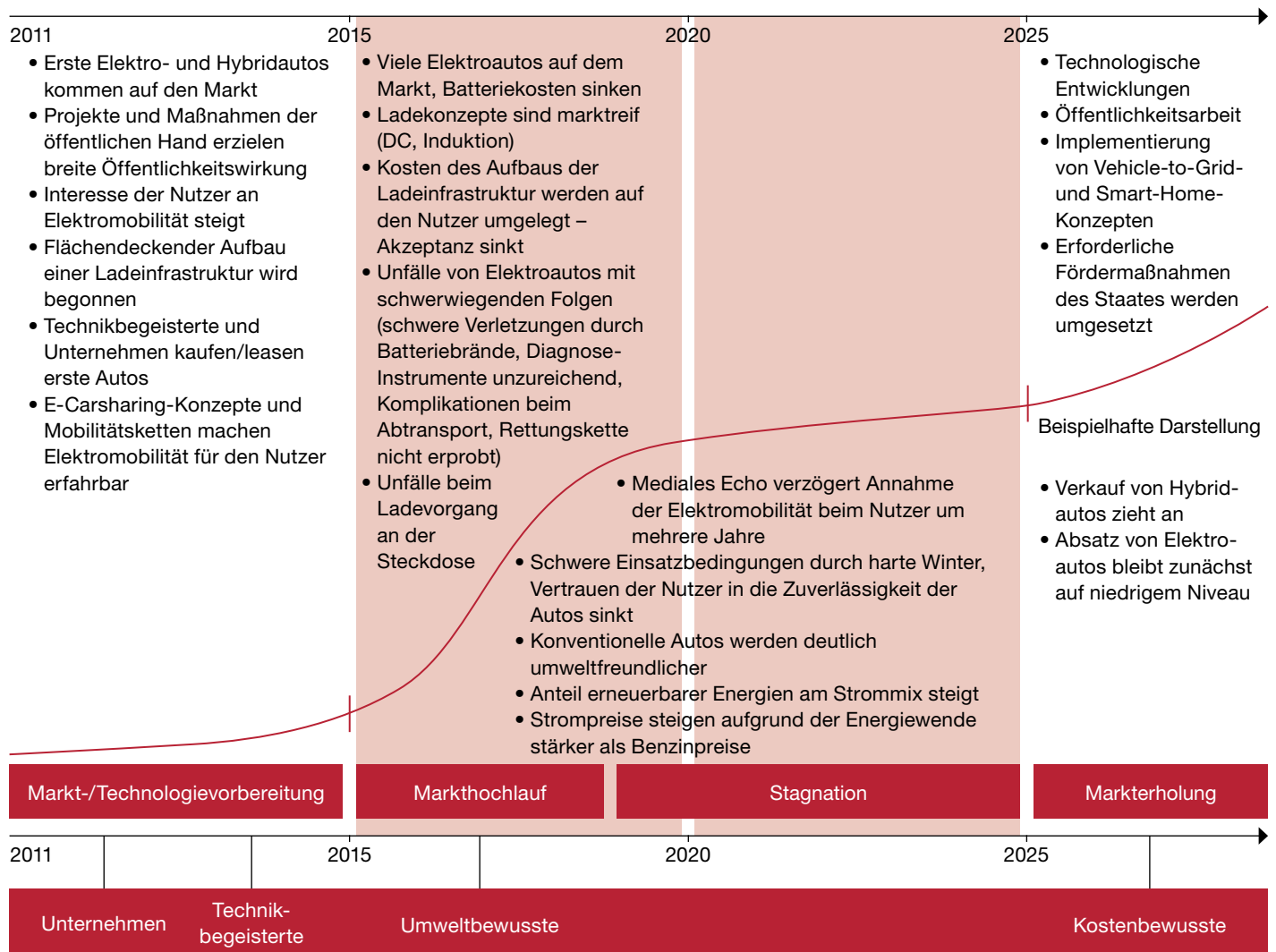
2020 bis 2025

Die Ereignisse im Zeitraum 2015 bis 2020 haben erhebliche Auswirkungen auf die Marktdurchdringung von Elektroautos. Im Zeitraum 2020 bis 2025 wird demnach eine Stagnation der Entwicklung eintreten, in der sich die einzelnen Akteure neu formieren.

Infolge der vielen Aspekte, die in diesem Fall zur Stagnation der Marktdurchdringung von Elektroautos führen, wird Elektromobilität im Untersuchungszeitraum neben den Unternehmen nur für zwei Gruppen von Nutzern interessant: gut situierte Technikbegeisterte und Umweltbewusste. Die Kostenbewussten werden nicht zuletzt infolge der Umlage der Kosten des Infrastrukturaufbaus erst dann in den Markt eintreten, wenn auch die Anschaffungskosten von Elektro- und Verbrennungsfahrzeugen annähernd identisch sind. Für Sicherheitsbewusste und Konservative wird der Markt aufgrund der negativen Erfahrungen auch nach dem Untersuchungszeitraum noch einige Zeit uninteressant bleiben. Hybridkonzepte haben möglicherweise das Potenzial, auch diese Gruppe deutlich nachgelagert an die Elektromobilität heranzuführen.

²⁴⁹ Im Basisszenario wurden nur punktuell Ladestationen errichtet, die per Annahme nicht zu wesentlichen Umlagen auf die Nutzer geführt haben.

Abb. 72 Szenario 2 – Negativszenario.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

G Ableitung des Normungs- und Standardisierungsbedarfs

I. Anzuwendender Filter

Die Identifikation der Bereiche in denen potenziell Normungsbedarf bestehen könnte, ist an der Anwendung eines für diesen Zweck entwickelten Filters orientiert:

1. Das Themenfeld ist für die Elektromobilität grundsätzlich relevant
2. Das Themenfeld wird voraussichtlich im Zeitraum 2015 bis 2025 für die Elektromobilität relevant
3. Das Themenfeld wird nicht bzw. nicht umfassend in der Normungs-Roadmap behandelt

Innerhalb dieses Kapitels wird der Filter für die Ableitung des Normungsbedarfs angewandt. Dies geschieht anhand der Detailbetrachtung der identifizierten kritischen Faktoren. Zudem wurden für Teilgebiete Use Cases entwickelt. Insgesamt lässt sich feststellen, dass viele wichtige Themen – insbesondere die sicherheitsrelevanten – schon in der Normungs-Roadmap aufgegriffen wurden und Normungsvorhaben häufig schon aktiv bearbeitet bzw. abgeschlossen wurden.

II. Kritische Faktoren

Im Rahmen der Situations- und Sekundärliteraturanalyse wurde die grundsätzliche Relevanz von Themenbereichen für die Elektromobilität herausgearbeitet. Anhand der Erarbeitung von Szenarien wurde deren Relevanz im Zeitraum 2015 bis 2025 und gleichzeitig deren Wirkungskraft analysiert und dargestellt. Die sechs identifizierten Faktoren, die die Marktdurchdringung der Elektromobilität in diesen Jahren entscheidend beeinflussen werden, wurden einer Detailbetrachtung unterzogen, um die Stellen zu identifizieren, bei denen Normen und Standards sinnvoll erscheinen. Es werden nur Anregungen benannt, die bisher noch nicht im Mittelpunkt der Normungsaktivitäten zur Elektromobilität stehen. Da die kritischen Faktoren

wesentlich für den Erfolg der Elektromobilität und die Akzeptanz der Nutzer sind, sollten die beschriebenen Anregungen rechtzeitig in die Diskussion in den einzelnen Normungsgremien eingebracht und dort inhaltlich detailliert ausgestaltet werden. Tabelle 47 zeigt, welchen kritischen Faktoren die abgeleiteten Anregungen für Normen und Standards zugeordnet wurden. Die dort aufgeführten Normvorschläge decken ein breites Spektrum rund um die Themen Elektrofahrzeug, (Lade-) Infrastruktur und Rahmenbedingungen ab. Zusätzlich ist perspektivisch zu prüfen, ob Normen und Standards einen wesentlichen Beitrag bei der Entwicklung von Recyclingverfahren für Fahrzeuge, Batterien und Ladeinfrastruktur leisten können.

Eine zielgerichtete Normung kann die Entwicklung der Elektromobilität maßgeblich fördern, da nur durch sie die Bereitschaft zur Nutzung von Elektrofahrzeugen im Alltag erhöht werden kann und sie ebenfalls Maßstäbe für die Wirtschaftlichkeit des Systems Elektromobilität setzt.

Tab. 47 Kritische Faktoren und Normen.

	Kosten	Reich- weite	Lade- infra- struktur	Umwelt	Sicherheit und Zuver- lässigkeit	Komfort
Ein standardisiertes Verfahren zur Bestimmung des aktuellen Zustands und des noch zu erwartenden Leistungsvermögens gebrauchter Batterien	x	x			x	
Normiertes, zuverlässiges Messverfahren für State of Charge/Reichweitenvorhersage		x	x		x	x
Normierte Benutzerschnittstelle		x	x		x	x
Standardisierte Modelle für Life Cycle Cost/Total Cost of Ownership und Life Cycle Assessment	x		x	x		
Geräuschkatalog				x	x	x
Grundzustand im Störfall beim Ladevorgang			x		x	x
Periodische Überwachung von Hausinstallationen			x		x	
Rettungsleitfäden					x	
Messverfahren/Leitfaden zur Bestimmung des Restrisikos durch verunfallte Batterien				x	x	
Festlegung von Mindestanforderungen an die Qualität bei Produktionsprozessen	x			x	x	x
Kennzeichnung von Elektrofahrzeugen					x	
Sicherheitsanforderungen Informations- und Kommunikationstechnologie			x		x	x
Bauliche Integration und barrierefreie Gestaltung der Ladeinfrastruktur			x		x	x
Gewährleistung von Sicherheitsfunktionen und weiterer wichtiger Funktionen, wenn der Hauptenergiespeicher leer ist, z. B. Warnblinker, E-Call, Sicherheitseinrichtungen, Türverriegelung etc.					x	x
Auf die Elektromobilität angepasste Fahrzyklen		x				
Position für den Ladeanschluss			x			x

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

III. Anwendung von Use Cases

In einem Use Case werden die Akteure und Aktivitäten eines zu betrachtenden Vorgangs auf unterschiedlichen Detail-ebenen transparent und einfach dargestellt. Die Granularität von Use Cases kann je nach Vorgang und Zweck sehr unterschiedlich gestaltet werden.

Ein Use Case ist grundsätzlich dreistufig aufgebaut:

- Verbale Beschreibung des Use Cases
- Abbildung von Akteuren, Aktivitäten und Beziehungen in einem Use-Case-Diagramm
- Zerlegung der Aktivitäten in Einzelschritte

Die verbale Beschreibung kann je nach Zielsetzung unterschiedlich ausfallen. Für Geschäftsmodelle bietet sich eine Einteilung in den Nutzen, die Art der Leistungserstellung und das Ertragsmodell an.

Im Use-Case-Diagramm werden die Akteure in ihren unterschiedlichen Markttrollen außerhalb, die Aktivitäten innerhalb einer Box dargestellt. Die Verbindungslinien (Beziehungen/Assoziationen) zeigen welche Akteure in die einzelnen Aktivitäten involviert sind und wie die Beziehungen zwischen den Akteuren und Aktivitäten ablaufen. Je nach Use Case kann das Diagramm eine Zeitschiene beinhalten, auf der der Vorgang entsprechend eingeordnet wird.

Die Zerlegung einer Aktivität in Einzelschritte wird in der zeitlichen Abfolge dargestellt. Jeder Einzelschritt kann dann gesondert hinsichtlich des bestehenden Normungs- und Standardisierungsbedarfs untersucht werden. Das erfolgt in der Art, dass die Anwendung der verschiedenen Normenarten auf den jeweiligen Einzelschritt und die jeweilige Wirkung von Maßnahmen auf die einzelnen Markttrollen/das einzelne System geprüft wird.

Tab. 48: Relevante Normenarten aus DIN 820.

Normart	Erklärung
Gebrauchstauglichkeitsnorm	Norm, in der objektiv feststellbare Eigenschaften in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit eines Gegenstandes festgelegt sind
Liefernorm	Norm, in der technische Grundlagen und Bedingungen für Lieferungen festgelegt sind
Maßnorm	Norm, in der Maße und Toleranzen von materiellen Gegenständen festgelegt sind
Planungsnorm	Norm, in der Planungsgrundsätze und Grundlagen für Entwurf, Berechnung, Aufbau, Ausführung und Funktion von Anlagen, Bauwerken und Erzeugnissen festgelegt sind
Qualitätsnorm	Norm, in der die für die Verwendung eines materiellen Gegenstandes wesentlichen Eigenschaften beschrieben und objektive Beurteilungskriterien festgelegt sind
Sicherheitsnorm	Norm, in der Festlegungen zur Abwendung von Gefahren für Menschen, Tiere und Sachen (Anlagen, Bauwerke, Erzeugnisse u. Ä.) enthalten sind
Stoffnorm	Norm, in der physikalische, chemische und technologische Eigenschaften von Stoffen festgelegt sind
Verständigungsnorm	Norm, in der zur eindeutigen und rationellen Verständigung terminologische Sachverhalte, Zeichen oder Systeme festgelegt sind

Quelle: Relevante Normenarten aus DIN 820.

Ein Use Case beschreibt daher Vorgänge aus Sicht der beteiligten Markttrollen und abstrahiert technische Details. Die Akteure zu definieren, ihnen die jeweilige Rolle zuzuweisen, die Aktivitäten darzustellen und das System einzugrenzen sind wichtige Aufgaben, die den Aufbau eines Use Cases

wesentlich beeinflussen. Die Methode der Use Cases zeigt somit die logisch nachvollziehbare Aufteilung eines Vorgangs in seine Einzelschritte. Ein Use-Case-Diagramm dient dazu, die Nutzeranforderungen für einen klar abgrenzbaren Vorgang zu verstehen und Schnittstellen zu definieren.

Die Arbeit der Normungsgremien besteht darin, aus den jeweiligen Use Cases technische Anforderungen für ihren Bereich abzuleiten und in Normen umzusetzen. Use Cases können somit in einem frühen Stadium Vorgänge abbilden und Pläne beschreiben, die systemisch noch umzusetzen sind.

Die Methode der Use Cases wurde für unterschiedliche Themenstellungen angewandt und der Normungsbedarf entsprechend abgeleitet. Die Auswahl der an dieser Stelle vorgestellten

Themenstellungen folgte zum einen aus der Anwendung des Filters und zum anderen aus dem Abgleich des Normungsbedarfs unterschiedlicher Use Cases, um so Dopplungen zu

vermeiden. Ein Beispiel für Dopplungen ist das Thema Authentifizierung das in vielen Use Cases enthalten ist.

Tab. 49: Auswahl der Use Cases zur Ermittlung des Normungsbedarfs.

Use Case	Elektromobilitäts-spezifisch	Relevanz für die Elektromobilität im Untersuchungs-zeitraum in Deutschland ²⁵⁰	Noch keine detaillierte Bearbeitung des Themenfeldes im Bereich Normung und Standardisierung	Keine Dopplung zu in dieser Tabelle vorangestellten Use Cases	Normungsbedarf
1. Authentifizierung					
On-Demand	(x)	x	x	x	x
RFID-Karte	(x)	x	x	x	x
2. Rettungskette					
Unfall mit Personenschaden	x	x	x	x	x
Unfall ohne Personenschaden	x	x	x		
3. Metering					
Mobil	x	x	(x)		
Stationär	x	x			
4. Ferndiagnose					
Wartung	x	x	(x)	x	x
Pannenhilfe	x	x	x		
5. Eigendiagnose					
	x	x	x	x	x
6. Fahrzeugleasing					
7. Vorbereitung zur Zweitnutzung von Batterien					
	x	x	x	x	x
8. Batteriewechselsysteme					
	x				
9. Batterieleasing					
	x	x	x	x	
10. E-Carsharing					
	(x)	x	x		
11. Mobilitätskarte					
	x	x	x		
12. Hausenergiesysteme					
	x	x	(x)	x	x
13. V2G					
	x	x			

x: Gegeben, (x): Einschränkung, die nicht zum Ausschluss führt

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

²⁵⁰ Die Betrachtung erfolgt für Deutschland. Die Mehrzahl der aufgeführten Use Cases hat auch europäische und internationale Relevanz.

Somit verbleiben im Wesentlichen sechs Themenbereiche, für die der Normungsbedarf unter Verwendung von Use Cases abgeleitet wurde:

- Vorbereitung von Batterien zur Zweitnutzung (VBZ)
- Hausenergiesysteme (HES)
- Authentifizierung – RFID-Karte (ARK), on Demand (AOD)
- Wartung mittels Ferndiagnose (WmF)
- Rettungskette – Unfall mit Personenschaden (RUmP)
- Eigendiagnose Fahrzeug und Ladestation (ED)

Tab. 50: Relevanz von Normarten bei ausgewählten Use Cases.

Norm	VBZ	HES	ARK	AOD	WmF	ED	RUmP
Gebrauchstauglichkeitsnorm	k. N. i.	x	x	x	k. N. i.	x	k. N. i.
Liefernorm	k. N. i.	k. N. i.	x	x	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.
Maßnorm	k. N. i.	x	x	x	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.
Planungsnorm	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.
Qualitätsnorm	x	x	x	x	x	k. N. i.	k. N. i.
Sicherheitsnorm	x	x	x	x	x	k. N. i.	X
Stoffnorm	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.	k. N. i.
Verständigungsnorm	x	x	x	x	x	x	x

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Anhand eines Exkurses zum Thema Vorbereitung zur Zweitnutzung von Batterien wird im Folgenden verdeutlicht, wie welche Normen aus den Use Cases abgeleitet wurden.

1. Verbale Beschreibung des Geschäftsmodells

Welcher Nutzen wird für die Kunden sowie Partner des Unternehmens gestiftet?
Der Kunde hat den Nutzen, dass er Batterien, die nicht mehr seinen Anforderungen genügen bzw. die aufgrund eines Schadens am Fahrzeug nicht mehr benötigt werden, aber grundsätzlich noch zu benutzen sind, veräußern kann.

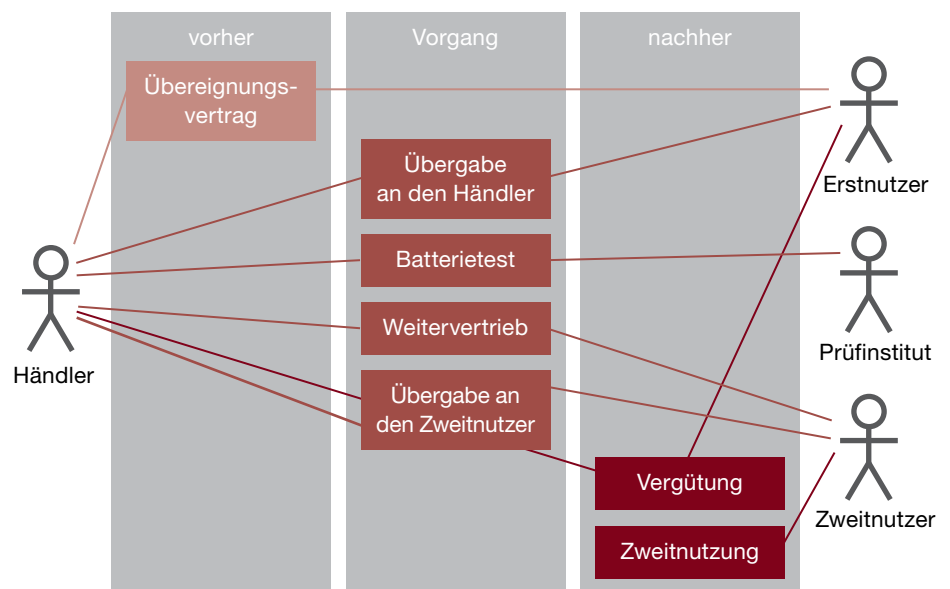
Wie sieht die Art der Leistungserstellung aus?
Der Gebraucht Batteriehändler testet die Batterie mit Hilfe eines Prüfinstituts, um eine detaillierte sicherheitstechnische sowie monetäre Bewertung vorzunehmen. Im Anschluss ermittelt der Gebraucht Batteriehändler mögliche Einsatzgebiete der Batterie und bietet sie den relevanten Kundengruppen zum Kauf an.

Aus welchen Quellen können welche Einnahmen generiert werden?

Der Gebraucht Batteriehändler kann Erlöse erzielen, indem er in den Wiederverkaufspreis der Batterie, die Kosten für den Ankauf und die Prüfung der Batterie sowie einen Risikoaufschlag für einen möglichen Gewährleistungsanspruch einkalkuliert. Denkbar ist beispielsweise die Zweitnutzung der Batterien als stationäre Speicher.

2. Grafische Darstellung des Geschäftsmodells

Abb. 73 Use-Case-Vorbereitung von Batterien zur Zweitnutzung.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

3. Zerlegung der Aktivitäten in Einzelschritte und Ermittlung des Normungsbedarfs

Abb. 74 Aktivität: Übergabe an den Händler.



Normungsart	Normungsbewertung
Gebrauchstauglichkeitsnorm	k. N. i.
Liefernorm	k. N. i.
Maßnorm	k. N. i.
Planungsnorm	k. N. i.
Qualitätsnorm	k. N. i.
Sicherheitsnorm	k. N. i.
Stoffnorm	k. N. i.
Verständigungsnorm	k. N. i.

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

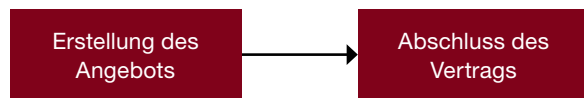
Abb. 75 Aktivität: Batterietest.¹



Normungsart	Normungsbewertung
Gebrauchstauglichkeitsnorm	k. N. i.
Liefernorm	k. N. i.
Maßnorm	k. N. i.
Planungsnorm	k. N. i.
Qualitätsnorm	Test der Performance
Sicherheitsnorm	Test der Sicherheit
Stoffnorm	k. N. i.
Verständigungsnorm	Bewertung der Testergebnisse

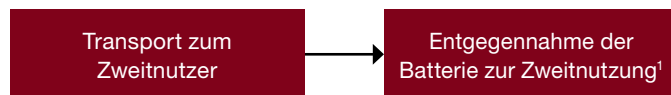
¹ Zell-/Modul- oder Batterieebene je nach Geschäftsmodell

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Abb. 76 Aktivität: Weitervertrieb.

Normungsart	Normungsbewertung
Gebrauchstauglichkeitsnorm	k. N. i.
Liefernorm	k. N. i.
Maßnorm	k. N. i.
Planungsnorm	k. N. i.
Qualitätsnorm	k. N. i.
Sicherheitsnorm	k. N. i.
Stoffnorm	k. N. i.
Verständigungsnorm	Bewertung der Testergebnisse

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Abb. 77 Aktivität: Übergabe an den Zweitnutzer.

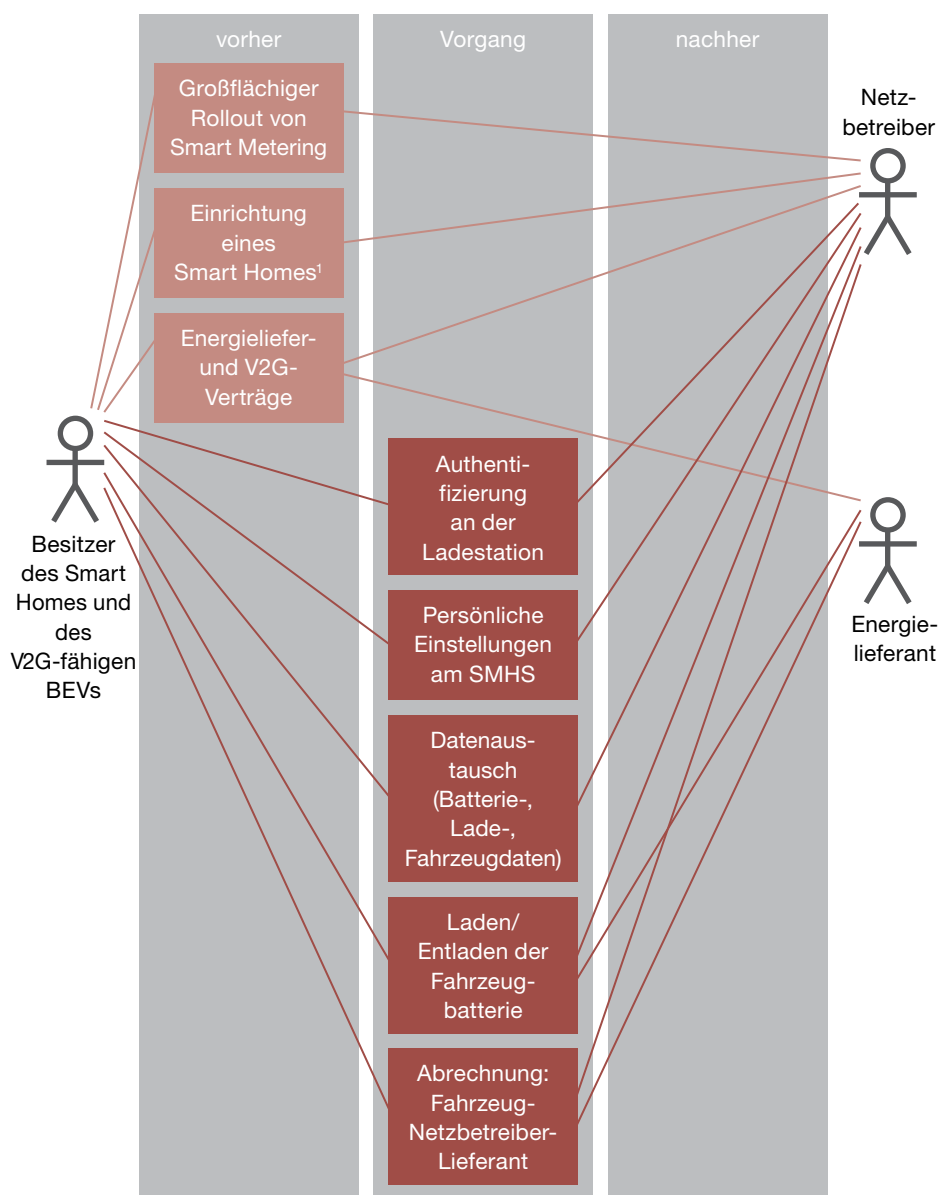
Normungsart	Normungsbewertung
Gebrauchstauglichkeitsnorm	k. N. i.
Liefernorm	k. N. i.
Maßnorm	k. N. i.
Planungsnorm	k. N. i.
Qualitätsnorm	k. N. i.
Sicherheitsnorm	k. N. i.
Stoffnorm	k. N. i.
Verständigungsnorm	k. N. i.

¹ Je nach Art der Zweitnutzung ist eine gesonderte Prüfung des Normungsbedarfs erforderlich.

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Für die nachfolgenden Darstellungen von Use Cases wird eine komprimierte Darstellung gewählt, in der nur noch das Diagramm und die abgeleiteten Normen je Aktivität (ohne Einzelschritte) aufgeführt werden. Die detaillierten Use Cases sind in einem separaten Dokument dargestellt.

Abb. 78 Use-Case-Hausenergiesysteme.



¹ Besitz eines V2G-fähigen BEVs, eines angeschlossenen und vernetzten intelligenten Strom-Management-Haussystems (SMHS) und einer stromgenerierenden Anlage (PV, Wind, ...) mit Überschusseinspeisung

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Aktivität: Authentifizierung an der Ladestation

Gebrauchstauglichkeitsnorm	Ergonomische Funktionalität und Zuverlässigkeit der Ladestation
Maßnorm	Anschlüsse, Verbindungselemente, Vorrichtungen zur Erkennung von Identifizierungsdaten
Qualitätsnorm	Langzeitverhalten der technischen Komponenten und der Software (bei normaler und abnormaler Nutzung)
Sicherheitsnorm	Manipulationsresistenz, Datenschutz
Verständigungsnorm	Deklaration der Ladesäule, Funktionalität der Schnittstellen zwischen Kommunikationsmodul und Ladesäule

Aktivität: Persönliche Einstellungen am SMHS

Sicherheitsnorm	Datenschutz
Verständigungsnorm	Schnittstellen, Kommunikationsprotokolle, Datenformate

Aktivität: Datenaustausch (Batterie-, Lade-, Fahrzeugdaten)

Maßnorm	Messung des Ladezustands
Sicherheitsnorm	Datenschutz
Verständigungsnorm	Schnittstellen, Kommunikationsprotokolle, Datenformate

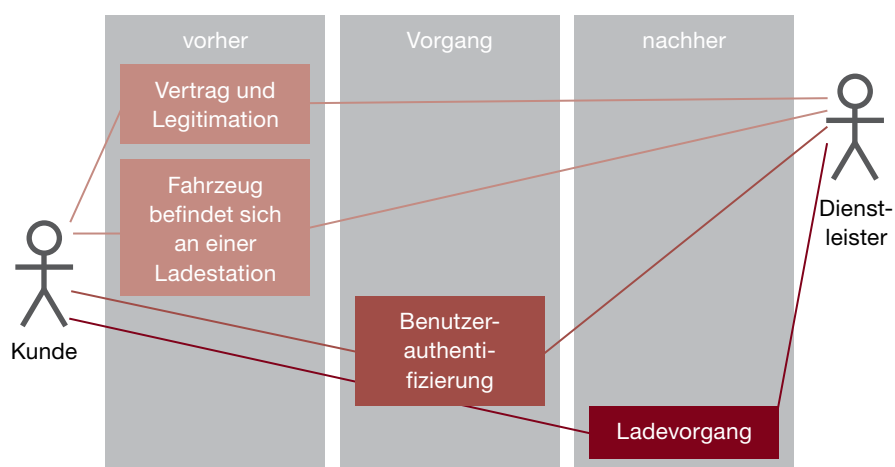
Aktivität: Laden/Entladen der Fahrzeugbatterie

Maßnorm	Messung des Ladezustands
Sicherheitsnorm	Manipulationsresistenz
Verständigungsnorm	Schnittstelle zwischen SMHS und Ladestation, Datenformate, Kommunikationsprotokolle

Aktivität: Fahrzeug – Netzbetreiber – Lieferant

Verständigungsnorm	Schnittstellen, Kommunikationsprotokolle, Datenformate
--------------------	--

Abb. 79 Use-Case-Authentifizierung.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

RFID-Karte

Gebrauchstauglichkeitsnorm

Ergonomische Funktionalität und Zuverlässigkeit der interaktiven Systeme, barrierefreier Zugang, Gewährleistung der Kompatibilität zwischen Kommunikationsmodul und Ladesäule

Liefernorm

Technische Lieferbedingungen von RFID-Lesegeräten, Ladestation

Maßnorm

Anschlüsse, Verbindungselemente, Vorrichtungen zur Erkennung von Identifizierungsdaten

Qualitätsnorm

Effizienz, Funktionalität, Verfügbarkeit und Korrektheit der Systeme, Langzeitverhalten der technischen Komponenten und der Software (bei normaler und abnormaler Nutzung)

Sicherheitsnorm

Manipulationsresistenz der technischen Geräte, Datenschutzbestimmungen bei der Verwaltung von Identitäten und Stammdaten

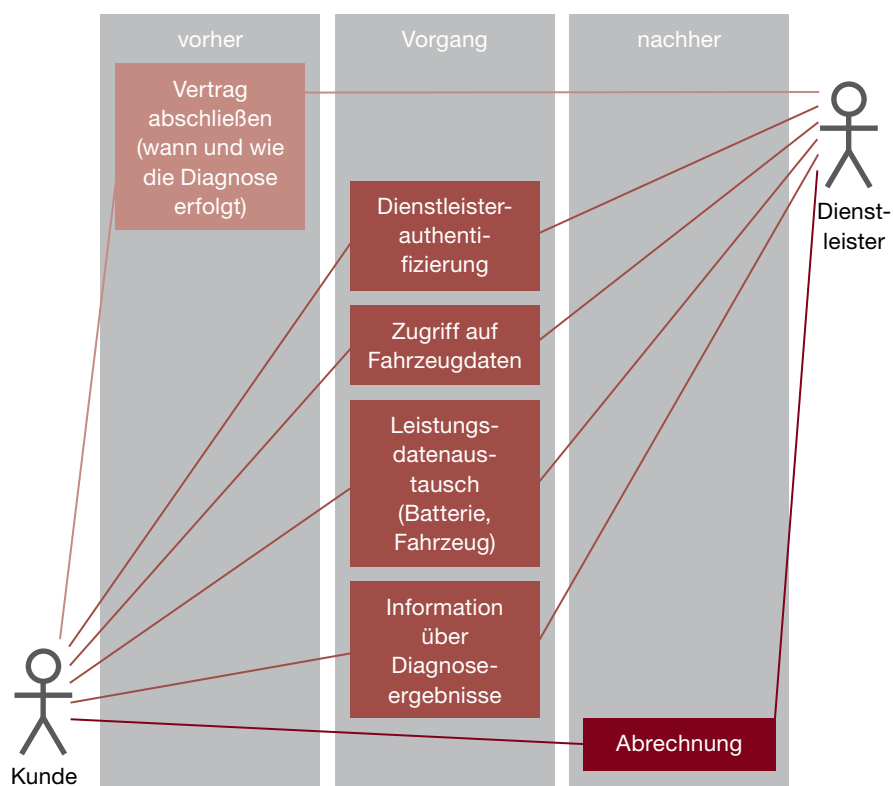
Verständigungsnorm

Kennzeichnung und Bedienungshinweise zu technischen Komponenten, Kommunikationsprotokolle

on Demand

Gebrauchstauglichkeitsnorm	Ergonomische Anforderungen für interaktive Systeme, barrierefreier Zugang zu Systemen
Liefernorm	Technische Lieferbedingungen
Maßnorm	Anschlüsse, Verbindungselemente, Vorrichtungen zur Erkennung von Identifizierungsdaten
Qualitätsnorm	Effizienz, Funktionalität, Verfügbarkeit und Korrektheit der Systeme
Sicherheitsnorm	Manipulationsresistenz der technischen Geräte, Datenschutzbestimmungen bei der Verwaltung von Identitäten und Stammdaten
Verständigungsnorm	Kennzeichnung, Schnittstellen, Protokolle, Datenformate

Abb. 80 Use-Case-Wartung mittels Ferndiagnose.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Aktivität: Dienstleisterauthentifizierung

Sicherheitsnorm

Verschlüsselung

Verständigungsnorm

Definition Schnittstelle, Protokoll, Datenformat

Aktivität: Zugriff auf Fahrzeugdaten

Kein Normungsbedarf identifiziert

Aktivität: Leistungsdatenaustausch (Batterie, Fahrzeug)

Qualitätsnorm

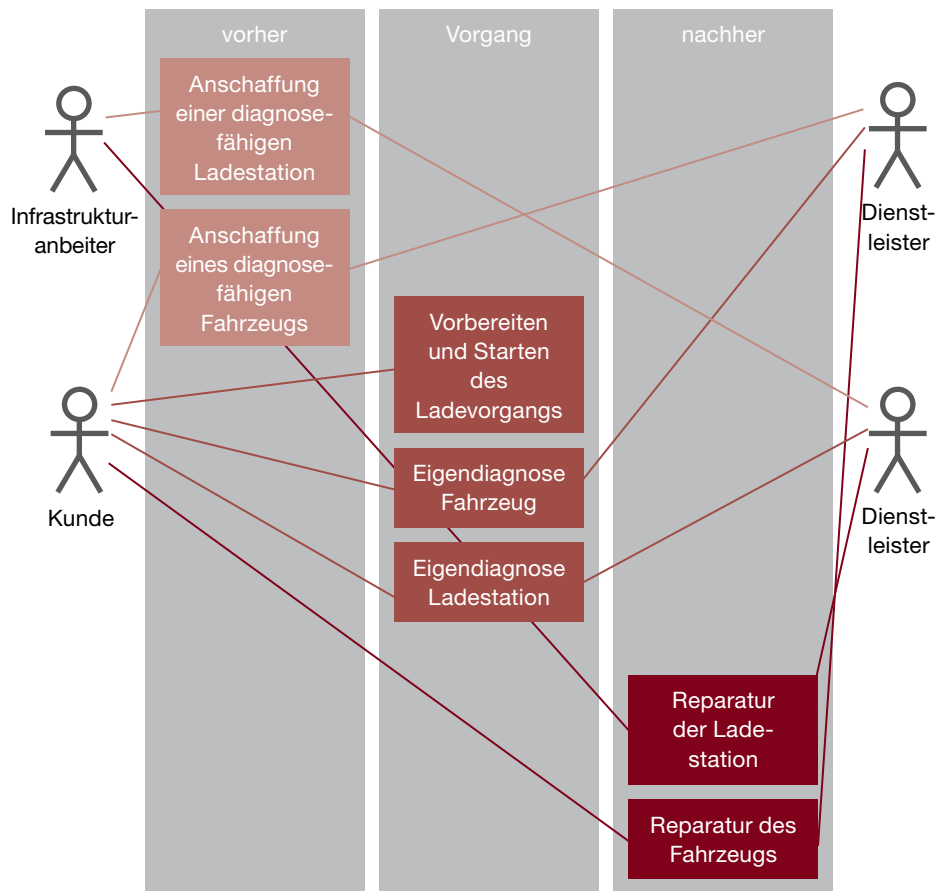
Vollständigkeit der übertragenen Daten (Checksum o. Ä.)

Verständigungsnorm

Einheitliche Codierung der Fahrzeuginformationen (z. B. Verschlüsselung)

Aktivität: Information über Diagnoseergebnisse

Kein Normungsbedarf identifiziert

Abb. 81 Use-Case-Eigendiagnose Fahrzeug und Ladestation.

Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Aktivität: Vorbereiten und Starten des Ladevorgangs

Verständigungsnorm

k. N. i.

Aktivität: Eigendiagnose Fahrzeug

Gebrauchstauglichkeitsnorm

Wartung des Diagnoseinstruments

Verständigungsnorm

Definition Schnittstelle, Protokoll,
Datenformat, Gestalt des Signals zur
Funktionstüchtigkeit im Fahrzeug

Aktivität: Eigendiagnose Ladestation

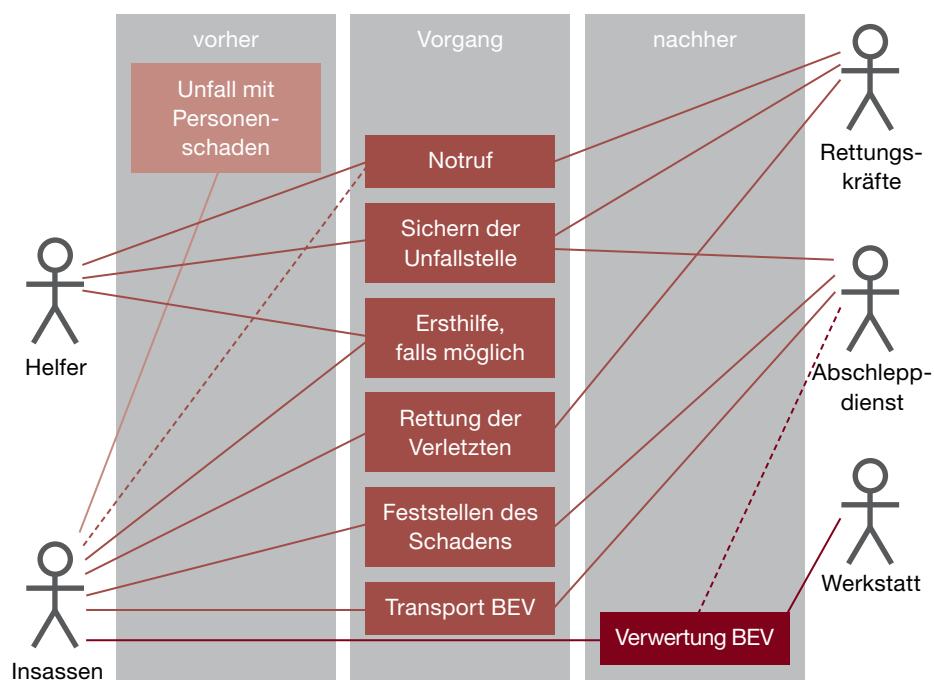
Gebrauchstauglichkeitsnorm

Wartung des Diagnoseinstruments,
Testvorrichtung für das Kabel
(Übergangswiderstand, Kabelbruch)

Verständigungsnorm

Definition Schnittstelle, Protokoll,
Datenformat, einheitliches Signal zur
Funktionstüchtigkeit an der Ladestation

Abb. 82 Use-Case-Rettungskette: Unfall mit Personenschaden.



Quelle: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Aktivität: Notruf

Verständigungsnorm

Bei E-Call: Identifikation als Elektrofahrzeug

Aktivität: Sichern der Unfallstelle

Sicherheitsnorm

Vorgaben zum Erreichen von Spannungsfreiheit

Verständigungsnorm

Einfache, eindeutige Identifikation EV, einheitliche Kennzeichnung der Schutzschalter

Aktivität: Ersthilfe (falls möglich)

Kein Normungsbedarf identifiziert

Aktivität: Rettung der Verletzten

Verständigungsnorm	Einheitliche Rettungsleitfäden für die Rettungskräfte
--------------------	--

Aktivität: Feststellen des Schadens

Sicherheitsnorm	Schutz und Rettung von (persönlichen) Daten
Verständigungsnorm	Einheitliche Leitfäden zur Vorgehensweise mit verunfalltem EV für den Abschleppdienst und die Werkstatt

Aktivität: Transport EV

Sicherheitsnorm	Verfahren zum Entladen von Batterien; Sicherheit der Daten vor ungewolltem Zugriff
-----------------	--

Literaturverzeichnis

ABGnova (2010): *Einführung der Elektromobilität – das „Frankfurter Modell“*. Frankfurt am Main.

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2010): *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann*. Berlin.

ADAC (2011a): *Der Elektroantrieb*. Abgerufen am 12.08.2011 unter: <http://www.adac.de/infotestrat/tankenkraftstoffe-und-antrieb/elektroantrieb/default.aspx?tabid=tab2>.

ADAC (2011b): *Modellregion München: Flottenversuch mit E-Minis abgeschlossen*. Abgerufen am 23.09.2011 unter: <http://adacemobility.wordpress.com/2011/07/04/modellregion-munchen-flottenversuch-mit-e-minis-abgeschlossen/#more-2618>.

Adam Opel AG (2011): *Elektrisch Fahren ohne Kompromisse*. Abgerufen am 14. September 2011 unter: <http://www.opel.de/fahrzeuge/modelle/personenwagen/ampere/index.html>.

Ahrens et al. (2009): *Sonderauswertung zur Verkehrserhebung „Mobilität in Städten – SrV 2008“ Städtevergleich*. Dresden.

Angerer, G./Marscheider-Weidemann, F./Wendl, M./Wietschel, M. (2009): *Lithium für Zukunftstechnologien*. Karlsruhe.

ARAL AG (2011): *ARAL-Studie – Trends beim Autokauf 2011*. Bochum.

Arbeitsgemeinschaft Mess- und Eichwesen (2011): *Eichrechtliche Grundlagen im Bereich der Elektromobilität*. München.

ATZ online (2009): *Second Life - Nissan und Sumitomo planen Joint Venture für ausrangierte EV-Akkus*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.atzonline.de/index.php;do=show/alloc=1/id=10806>.

Aubel, T. (2010): *TÜV Rheinland. Elektromobilität – Chancen und Herausforderungen*.

Aul, R./Krause, T. (2010): *Zur Verfügbarkeit des Rohstoffs Lithium*. In Korthauer, R.: *Handbuch Elektromobilität*. Frankfurt am Main, S. 123–130.

Aul, R. (2011): *Lithiumrecycling aus Batteriematerialien*, in: Korthauer, R.: *Handbuch Elektromobilität*. Frankfurt am Main, S. 101–108.

AXA Konzern AG (2010): *AXA Verkehrssicherheitsreport*. Köln.

Bachmann, P./Mayer, C. A. (2011): *Ladeinfrastruktur für E-Mobile: Juristische Kollisionen vermeiden*. Abgerufen am 27.05.2011 unter: <http://www.energy20.net/pi/index.php?StoryID=317&articleID=183925>.

Bain & Company (2010): *Zum E-Auto gibt es keine Alternative*. München.

Bakker, D. (2010): *Battery electric vehicles*. Utrecht.

Bauer Digital KG (2011): *Neuzulassungen im Mai 2011 – Auto-Verkäufe ziehen an*. Abgerufen am 04.08.2011 unter: <http://www.autozeitung.de/auto-news/auto-neuzulassungen-mai-2011-von-alfa-romeo-bis-vw>.

Baum, H./Dobberstein, J./Schuler, B. (2011): *Nutzen-Kosten-Analyse der Elektromobilität*. Köln.

Becker, L. (2011a): *Marktforscher: iPad dominiert globalen Tablet-Web-Traffic*. Abgerufen am 29.06.2011 unter: <http://www.heise.de/mac-and-i/meldung/Marktforscher-iPad-dominiert-globalen-Tablet-Web-Traffic-1267033.html>.

Becker, L. (2011b): *Apple vs. Samsung: Kein Einblick ins iPhone 5 für die Südkoreaner*. Abgerufen am 29.06.2011 unter: <http://www.heise.de/mac-and-i/meldung/Apple-vs-Samsung-Kein-Einblick-ins-iPhone-5-fuer-die-Suedkoreaner-1265577.html>.

Becker, T. (2011): *BMW Group's electro-mobility work*. London.

BITKOM (2010): *Studie „Elektromobilität“*. Berlin.

BMBF (2010): *Elektromobil in die Zukunft*. Bonn.

BMBF (2011): *Elektromobilität: Das Auto neu denken*. Abgerufen am 18.05.2011 unter: <http://www.bmbf.de/de/14706.php>.

BMBF (2011): *Innovationsallianz „Lithium Ionen Batterie LIB 2015“*. Abgerufen am 28.10.2011 unter: <http://www.bmbf.de/de/11828.php>.

BMU (2009): *Bekanntmachung über die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität*. Berlin.

BMU (2011a): *Internationale Klimapolitik*. Abgerufen am 07.07.2011 unter: http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/doc/37650.php.

BMU (2011b): *Nationale Plattform Elektromobilität übergibt zweiten Bericht an die Bundesregierung*. Berlin.

- BMU (2011c): *Kurzinfo Elektromobilität*. Abgerufen am 01.09.2011 unter: <http://www.bmu.de/verkehr/elektromobilitaet/doc/print/44795.php?>
- BMVBS (2009): *Verkehr in Zahlen 2009/2010*. Hamburg.
- BMW (2011): *Ergebnisse Feldversuch. Modellregion Elektromobilität München*. München.
- BMW, BMVBS, BMU, BMBF, BMELV (2009): *Auszug aus dem Bericht an den Haushaltsausschuss Konjunkturpaket II, Ziffer 9 Fokus „Elektromobilität“*.
- Bombardier (2011): *PRIMOVE fahrdrahtloser Betrieb*. Abgerufen am 02.08.2011 unter: <http://www.bombardier.com/de/transportation/nachhaltigkeit/technologie/primove-fahrdrahtloser-betrieb>.
- Bühler, R./Kunert, U. (2008): *Trends und Determinanten des Verkehrsverhaltens in den USA und in Deutschland*. Berlin.
- Bundesnetzagentur (2010): *Marktuntersuchung Eisenbahnen 2010*. Bonn.
- Bundesverband eMobilität e. V. (2011): *eMobilität in deutschen Fuhrparks*. Abgerufen am 30.06.2011 unter: <http://www.bem-ev.de/emobilitat-in-deutschen-fuhrparks/>.
- CleanThinking.de (2011): *Elektroauto News: BMW und Brilliance bauen ab 2013 Elektroauto in China*. Leipzig.
- Comtex Green (2008): *Internationale Förderprogramme*. Abgerufen am 01.09.2011 unter: http://www.comtex-green.at/internationale_forderprogramme.html.
- Conductix-Wampfler AG (2011): *Elektrobusse im öffentlichen Personennahverkehr [Innenstadt]*. Abgerufen am 28.02.2011 unter: <http://www.conductix.cz/index.asp?id=345&kgref=197&lang=D>.
- Credit Suisse Securities (USA) LLC (2010): *Electric vehicles & fuel efficiency in 2010*.
- DailyGreen (2011): *85 % der US-Amerikaner würden Elektro-Autos kaufen*. Balve.
- Daimler (2010): *BYD Company Limited und Daimler AG unterzeichnen Vertrag für die Gründung eines Joint Ventures zur Entwicklung von Elektrofahrzeugen in China*. Stuttgart.
- D'Angelico, A. (2011): *Sind geräuscharme Elektroautos gefährlich?* In: *Mobility 2.0*, S. 46–49.
- De La Fuente Layos, L. A. (2007). *Mobilität im Personenverkehr in Europa*. Luxemburg.
- DEKRA e. V. (2011): *Jeder zweite ist für staatlichen Kaufanreiz. DEKRA Umfrage zur Zukunft von Elektroautos*. Abgerufen am 03.08.2011 unter: http://www.dekra.de/de/pressemitteilung?p_p_lifecycle=0&p_p_id=ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay&_ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay_articleID=5976780.
- Department for Transport (2011): *Making the connection*. London.
- Der Bundesbeauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit (2011): *Für Elektromobilität, aber gegen gläserne Autofahrer!* Abgerufen am 07.07.2011 unter: http://www.bfdi.bund.de/DE/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/2011/14_Elektromobilitaet.html.
- Destatis/STAT magazin (2009): *Pendler: Die Mehrheit nimmt weiter das Auto*. Wiesbaden.
- Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2011): *DAT Report 2011*. Ostfildern.
- Die Bundesregierung (2009): *Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung*. Berlin.
- Die Bundesregierung (2011): *Regierungsprogramm Elektromobilität*. Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2004): *Die deutsche Normungsstrategie*. Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2009): *Die deutsche Normungsstrategie aktuell*. Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2011): *Elektromobilität: DIN koordiniert*. Abgerufen am 15.06.2011 unter: <http://www.din.de/cmd?menuid=47387&cmstextid=123694&cmsareaid=47387&menurubricid=47393&level=tpl-artikel&languageid=de&contextid=din&cmsrubid=47393&2=&print=true>.
- Drewitz, M./Rommerskirchen, S. (2011): *Mehr als kosmetische Korrekturen*, in: *Internationales Verkehrswesen*, Januar 2011, S. 12–17.
- Dziemba, O./Wenzel, E. (2009): *Marketing 2020. Die elf neuen Zielgruppen – wie sie leben und was sie kaufen*. Frankfurt/New York.
- e-mobility-21.de (2010a): *Johnson Controls fördert einheitliches Autobatterie-Testverfahren*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.e-mobility-21.de/nc/related-e-auto-news/artikel/46192-johnson-controls-foerdert-einheitliches-autobatterie-testverfahren/187/>.
- e-mobility-21.de (2010b): *McKinsey: Stromtankstellen bringen Elektrohandwerk 15.000 neue Jobs*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.e-mobility-21.de/nc/related-e-auto-news/artikel/47257-mckinsey-stromtankstellen-bringen-elektrohandwerk-15000-neue-jobs/187/>.
- ecomotive media GmbH (2011): *Stromzufuhr durch Induktion – Laden wie von selbst*. ELECTRIC MOBILITY, Ausgabe, 03/2011, S. 4–7.

- elektroauto-fahren.com (2011): *Der Erdgas-Hybrid: die Zukunft des Erdgasautos – Downsizing und Hybrid*. Abgerufen am 04.08.2011 unter: <http://www.elektroauto-fahren.com/erdgas-hybrid.html>.
- Europäische Kommission (2011a): *From concept to reality: smart transition to clean alternative fuels*. Brüssel.
- Europäische Kommission (2011b): *Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem*. Brüssel.
- Evonik (2011): *CAMISMA – Neue Faserverbundwerkstoffe für leichtere Autos*. Essen.
- EWE (2011): *Projekt GridSurfer*. Hannover.
- FAZ (2010): *Daimler will Batterien an Renault liefern*. Frankfurt.
- FAZ (2011): *VW bestellt Batterien bei Bosch*. Frankfurt.
- FAZ.NET (2009): *Better Place präsentiert Batteriewechselstation*. Frankfurt. Abgerufen 31.10.2011 unter: <http://www.faz.net>
- FfE (2010): *Modellregion Elektromobilität München*. München.
- FGSV (1988): *FGSV RAS-N*. Köln.
- Focus Group on European Electromobility (2011): *Standardization for road vehicles and associated infrastructure*. Brüssel.
- Focus Online (2008): *Arbeitnehmer: Mobilität fördert Karriere*. Abgerufen am 14.08.2011 unter: http://www.focus.de/finanzen/karriere/management/tid-8924/arbeitnehmer_aid_237735.html.
- Focus Online (2011): *Elektroautos – Bosch setzt auf Batterie und Verbrenner*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: http://www.focus.de/auto/neuheiten/sprit-sparkonzepte/tid-22625/elektroautos-bosch-setzt-auf-batterie-und-verbrenner_aid_636076.html.
- Focus.de (2011): *Daimler steckt Millionen in Tesla-Elektroautos*.
- Fojcik, M./Schwarz, S. (2010): *Regulative Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität im Zeitraum 2010–2020*. Duisburg.
- Fojzik, T. (2010): *Informationsstand des Autohandels über Elektrofahrzeuge*, in: CAMA-STUDIE. Abgerufen am 05.08.2011 unter: http://www.cama-automotive.de/templates/studies/CAMA_Studie_Autohandel_Endversion_TMF.pdf.
- Frankfurter Rundschau (2011): *Wie man das Auto mit dem Nachbarn teilt*. Frankfurt.
- Fraunhofer ISI (2010): *Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität – Analyse aus Expertensicht*. Karlsruhe.
- Fraunhofer IWES (2011): *Kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen*. Abgerufen am 02.08.2011 unter: <http://www.w-charge.de>.
- Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)/NEW-IG/European Hydrogen Association (EHA)/HyRaMP/FuelCellEurope (2011): *From concept to reality: smart transition to clean alternative fuels*. Brüssel.
- Germany Trade and Invest (2010): *Korea (Rep.) will bei Autobatterien ganz nach vorne*. Abgerufen am 28.10.2011 unter: <http://www.gtai.de/MKT201010068005>.
- Germany Trade and Invest (2010): *Korea (Rep.) setzt auf Elektromobilität*. Berlin.
- Germany Trade and Invest (2011): *Frankreich beansprucht bei Elektroautos die Pole Position*. Abgerufen am 28.10.2011 unter: <http://www.gtai.de/MKT201103248007>.
- Germany Trade and Invest (2011): *Branche kompakt – Kfz-Industrie und Kfz-Teile – USA, 2011*. Berlin.
- gibgas.de (2011): *Statistik*. Abgerufen am 04.08.2011 unter: <http://www.gibgas.de/Tankstellen/Service/Statistik>.
- Golem.de (2011): *Smart ForTwo Electric Drive für 16.000 Euro*. Abgerufen am 14.09.2011 unter: <http://www.golem.de/1109/86431.html>.
- Government Communication Unit (2011): *Estonia will promote the use of electric cars under a Green Investment Scheme*. Abgerufen am 15.06.2011 unter: <http://www.valitsus.ee/en/news/press-releases/28702/estonia-will-promote-the-use-of-electric-cars-under-a-green-investment-scheme>.
- GrüneAutos.com (2010): *4R Energy: Nissan und Sumitomo gründen Unternehmen zur Wiederverwertung von Lithium-Ionen-Akkus*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.grueneautos.com/2010/09/4r-energy-nissan-und-sumitomo-grunden-unternehmen-zur-wiederverwertung-von-lithium-ionen-akkus/>.
- Grünweg, T. (2010): *Nissans KampfpPreis schockiert die Branche*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,696532,00.html>.
- Handelsblatt (2009): *Panasonic wird Partner von VW und Toyota*. Düsseldorf.
- Handelsblatt (2010): *Industrie dringt auf Staatshilfe für Elektroautos*. Düsseldorf.
- Handelsblatt (2011a): *Daimler und Linde wollen Wasserstoff-Tankstellen bauen*. Düsseldorf.

- Handelsblatt (2011b): *Ladesäulen lassen auf sich warten*. Düsseldorf.
- Handelszeitung (2010): *Mehr Saft für Elektroautos*. Zürich.
- Hessischer Landtag (2011): *Drucksache 18/3957*. Wiesbaden.
- Hock, L. (2011): *Preis für seltene Erden steigt deutlich*, in: *Financial Times Deutschland*, 3/2011.
- Hogan, C. (2009): Analysis of blind pedestrian deaths and injuries from motor vehicle crashes, 2002–2006. Vienna.
- IEA (2009): Technology roadmap electric and plug-in hybrid electric vehicles. Paris.
- IEC (2011): *Dimensions and markings of secondary lithium-ion cells for vehicle propulsion*. PNW 21-735 Ed. 1.0. Abgerufen am 26.09.2011 unter: http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:23:0:::FSP_ORG_ID:1290.
- infas/DLR (2010): *Mobilität in Deutschland 2008*. Bonn und Berlin.
- ISO (2011): *ISO/NP PAS 16898*. Abgerufen am 07.10.2011 unter: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=57871.
- ITP/BVU (2007): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025 – Gesamtbericht. München/Freiburg.
- IW Consult GmbH Köln (2008): *Parkgebühren in Deutschland*. Köln.
- Jolly, A. (2009): *An electric car sans batteries*. Abgerufen am 02.08.2009 unter: <http://www.ecofriend.com/entry/eco-cars-kaist-s-olev-an-electric-car-sans-batteries/>.
- Kaist ICC (2009): *Concept*. Abgerufen am 02.08.2011 unter: <http://olev.kaist.ac.kr/en/olevco/1.php>.
- Kallas, K. (2011): *Electricarification of Estonia begins*. Abgerufen am 17.06.2011 unter: http://hei.eas.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=1445:electricarification-of-estonia-begins&catid=99:2011-april.
- Karlsruher Institut für Technologie (2011): *Datenschutz im Smart Grid und in der Elektromobilität*. Karlsruhe.
- Kearney, A.T. (2009): *Energiewirtschaft macht mobil*. Düsseldorf.
- Klindt, T. (2011): *Haftungsrisiken bei der Elektromobilität gefährden wirtschaftlichen Erfolg*, in: *Elektromobilität und Recht*. Abgerufen am 05.07.2011 unter: <http://diemagazine.de/recht/hauptbericht.php?id=7851&ok=92&uk=160&uuk=0&uuuk=0&typ=>
- Köhler, U. (2010): *Batteriesysteme für Elektro- und Hybridfahrzeuge*, in: Korthauer, R.: *Handbuch Elektromobilität*. Frankfurt am Main. S. 91–108.
- Korea Automobile Manufactures Association (2010): *Excel Summary*. Abgerufen am 01.09.2011 unter: <http://www.kama.or.kr/RS/pdf/w/Summary.xls>.
- Kortlüke, N./Pieprzyk, B. (2010): *Klimafreundliche Elektromobilität: Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020*. Bielefeld.
- Kosłowski, T. (2011): *Gartner Study: Strategic market considerations for electric vehicle and e-mobility adoption in Germany*. Stamford.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2011a): *Emissionen, Kraftstoffe – Zeitreihe 2006 bis 2011*. Abgerufen am 04.08.2011 unter: http://www.kba.de/cln_030/nn_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/EmissionenKraftstoffe/b__emi__z__teil__2.html.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2011b): *Fahrerlaubniserteilungen*. Abgerufen am 25.08.2011 unter: http://www.kba.de/cln_033/nn_125346/DE/Statistik/Kraftfahrer/Fahrerlaubnisse/Fahrerlaubniserteilungen/fahrerlaubniserteilungen__node.html?__nnn=true.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2011c): *Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2011 gegenüber 1. Januar 2010*.
- Kudlicza, P. (2009): *Chancen der Elektromobilität im Stadtverkehr*. Abgerufen am 05.08.2011 unter: http://www.gsv.co.at/vl/veranstaltungsberichte/iir_elektromobilitaet_kudlicza.pdf.
- Kuntz, L./Höhne, K. (2011): *Electric vehicle deployment outlook in the United States*. Darmstadt.
- Le ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (2010): *Le bonus écologique, c'est facile et ça rapporte !* Paris.
- Linde AG (2009): „H2 Mobility“ – *Gemeinsame Initiative führender Industrieunternehmen zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland*. Berlin.
- Link, J./Kohrs, R./Dallinger, D./Wittwer, C. (2010): *Optimierte Betriebsführungskonzepte von Plug-in-Fahrzeugen und dezentraler Erzeuger im Smart Home*. Leipzig.
- McKinsey (2009): *EVI Report für Wirtschaftswoche*.
- McKinsey & Company (2010a): *McKinsey electric vehicle concept test research survey*.
- McKinsey & Company et al. (2010b): *A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis*. Brüssel.
- Mein Elektroauto (2011): *Vorne links kann man das Elektroauto am besten aufladen*. Abgerufen am 26.09.2011 unter: <http://www.mein-elektroauto.com/tag/stecker/>.
- MeinAuto GmbH (2011): *Neuwagenkauf: Steigende Ölpreise machen Erdgasautos zur günstigen Alternative*. Abgerufen am 04.08.2011 unter: <http://www.mein-auto.de/presse/pressemitteilungen/26-steigende-oelpreise-machen-erdgasautos-zu-guenstigen-alternativen/>.

- METI (2010): *Next-generation vehicle strategy 2010*. Tokio.
- Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg (2011). Tanja Gönner: *Im Land soll eine Wasserstoff-Infrastruktur für eine zukunftsfähige Energienutzung und nachhaltige Mobilität aufgebaut werden*. Stuttgart.
- n24.de (2011): *100-Millionen-Darlehen für Renault*. Abgerufen am 28.10.2011 unter: http://www.n24.de/news/newsitem_5859115.html.
- Negre, L. (2011): *Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules « décarbonés »*. Paris.
- NPA (2011): *Find a car park*. NCP Car Parking. Abgerufen am 04.07.2011 unter: <http://www.ncp.co.uk/find-a-car-park.htm?t=link&q=&via=0>.
- NPE (2010): *Zwischenbericht der AG 2 – Batterietechnologie*. Berlin.
- NPE (2010a): *Zwischenbericht der Arbeitsgruppe 1 – Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration*. Berlin.
- NPE (2010b): *AG 4 – Eckpunktepapier*. Berlin.
- NPE (2010c): *Bericht der AG 2 – Batterie-technologie*. Berlin.
- NPE (2010d): *Die deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität – Version 1*. Berlin.
- NPE (2010e): „*Lithium- und Lithium-Ionen-Batterien unterliegen aus Gründen der Sicherheit und der Vermeidung von Brand- und Explosionsgefahren bei der Beförderung den in völkerrechtlich verbindlichen internationalen und europäischen verkehrsrechtlichen Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter festgelegten Anforderungen und Vorschriften.*“
- NPE (November 2010e): *Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität*. Berlin.
- NPE (2011): *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität*. Berlin.
- n-tv (2011): *Mehr Elektro für den Hybrid*. Abgerufen am 14.09.2011 unter: <http://www.n-tv.de/auto/IAA/Mehr-Elektro-fuer-den-Hybrid-article4051271.html>.
- oekonews.at (2011): *Tallinn–Monte-Carlo Electric Race Marathon 2011: „And the WINNER is from Austria!“*. Abgerufen am 15.06.2011 unter: http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1059912.
- Portal-21 Onlineverlag GmbH (2010): *McKinsey: Stromtankstellen bringen Elektrohandwerk 15.000 neue Jobs*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.portel.de/nc/nachricht/artikel/47257-mckinsey-stromtankstellen-bringen-elektrohandwerk-15000-neue-jobs/>.
- PR Konstant (2011): *AVIA eröffnet ihre erste Stromtankstelle*. München.
- Pressestelle der Bundesregierung (2011): *Wenn das Elektroauto mitdenkt*. Abgerufen am 18.05.2011 unter: http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2011/03/2011-03-10-elektroauto_layoutVariant=Druckansicht.html.
- PwC (2011): *Charging forwards: Electric vehicle survey*. USA.
- PwC, Fraunhofer IAO (2010): *Elektromobilität. Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand*. Frankfurt am Main.
- Regio Verkehrsverbund Lössach GmbH (2005): *Erster Elektrobus Deutschlands fährt jetzt im Lössacher Linienverkehr*. Abgerufen am 05.08.2011 unter: <http://www.rvl-online.de/web/Auf-leisen-Sohlen-durch-die-Stadt.63.0.html>.
- Resch, J. (2011): *Elektromobile leisten keinen Beitrag zum Klimaschutz*. VCS Magazin/Auto Umweltliste 2011, S. 10 f.
- Robert Bosch GmbH (2011): *In grüne Ideen investieren*. Magazin 1/2011. Abgerufen am 29.06.2011 unter: http://www.bosch.com/de/com/sustainability/current/magazine/green_ideas/magazine.html.
- RWE Energy AG (2009): *„Tankstelle der Zukunft“*. RWE und Europas größter Parkhausbetreiber APCOA kooperieren. Essen.
- S-Bahn Berlin GmbH/DB Regio Regionalbereich Berlin/Brandenburg/Tourismus-Marketing Brandenburg GmbH (2011): *Testen Sie ein neues Angebot!* Punkt 3, S. 11.
- Sandberg, U./Goubert, L./Mioduszewski, P. (2010) *Are vehicles driven in electric mode so quiet that they need acoustic warning signals?* Sydney.
- Schäfer, P. (2007): *Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren*. Darmstadt.
- Schraven, D. (2011): *Deutscher Städtetag sieht Elektroautos kritisch*. Abgerufen am 04.07.2011 unter: <http://www.derwesten.de/leben/auto-und-verkehr/Deutscher-Staedtetag-sieht-Elektroautos-kritisch-id4397072.html>.
- Schwan, B. (2011): *GfK: Apple überholt in Deutschland Smartphone-Marktführer Nokia*. Abgerufen am 29.06.2011 unter: <http://www.heise.de/mac-and-i/meldung/GfK-Apple-ueberholt-in-Deutschland-Smartphone-Marktfuehrer-Nokia-1252126.html>.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2010): *Verkehrssicherheitsbericht Berlin 2010*. Berlin.
- Shell (2009): *Shell Pkw-Szenarien bis 2030*. Hamburg, Deutschland.
- Siemens AG (2009): *Harz.EE-mobility*. Abgerufen am 01.07.2011 unter: <https://www.harzee-mobility.de/>.

- Spiegel Online (2009): *Daimler steigt bei Elektroauto-Pionier Tesla ein*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,625710,00.html>.
- Spiegel Online (2010): *Taxiflotte mit Wechselakku*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,692635,00.html>.
- Stadtwerke Augsburg (2010): *Oberleitungsfreie Straßenbahn*. Abgerufen am 02.08.2011 unter: http://www.stawa.de/ueber_uns/aktuelle_meldungen_6112.php.
- Stadtwerke Düsseldorf Aktiengesellschaft (2011): *Fragen & Antworten*. Abgerufen am 04.08.2011 unter: http://www.erdgasautos.de/fragen_antworten.html.
- Statistisches Bundesamt (2009): *Wirtschaftsrechnungen – Einkommens- und Verbrauchsstichprobe Haus- und Grundbesitz sowie Wohnverhältnisse privater Haushalte*. Berlin.
- Statistisches Bundesamt (2010): *Bevölkerung nach Altersgruppen, Familienstand und Religionszugehörigkeit*. Abgerufen am 25.08.2011 unter: <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/Content75/AltersgruppenFamilienstand,templateId=renderPrint,psml>.
- Statistisches Bundesamt (2011): *Basisdaten Personenkraftwagen International*. Abgerufen am 01.09.2011 unter: http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Internationales/InternationaleStatistik/Thema/Tabellen/Basistabelle__Pkw.psml.
- Steinbild, M./
- Tae-jin, K./Byong-chol, K. (2011): *Small cars passed by hybrid, diesel*. Abgerufen am 30.06.2011 unter: <http://www.hyundai-cars.co.za/small-cars-passed-by-hybrid-diesel/>.
- Tahil, W. (2006): *The trouble with lithium*. Martainville.
- Teichmann, G. A. (2011): *Mobilitätsverhalten und Erwartungen an das Elektroauto*, in: Korthauer, R.: *Handbuch Elektromobilität*. Frankfurt am Main. S. 51–73.
- The Boston Consulting Group (2010): *Batteries for electric cars*. Boston.
- The Boston Consulting Group (2011): *Kampf der Technologien: Benzin- und Diesel haben enormes CO₂-Einsparpotenzial bei sinkenden Kosten*. München.
- The White House (2009): *President Obama announces \$2.4 billion in grants to accelerate the manufacturing and deployment of the next generation of U.S. batteries and electric vehicles*. Washington D.C.
- Tsinghua University Beijing (2006): *Passenger transport modal split based on budgets and implication for energy consumption: approach and application in China*. Beijing.
- TU Darmstadt (2008): *Entwicklung der Verkehrstechnik in China*. Darmstadt.
- U.S. Department of Transportation (2009): *Incidence of pedestrian and bicyclist crashes by hybrid electric passenger vehicles*. Washington D. C.
- Umweltbundesamt (2011a): *Umgebungs-lärmrichtlinie*. Abgerufen am 06. 07.2011 unter: <http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/ulr.html>.
- Umweltbundesamt (2011b): *Luft- und Luftreinhaltung*. Abgerufen am 15.09.2011 unter: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/index.htm>.
- UN (2009): *UN recommendations on the transport of dangerous goods – manual of test and criteria*. New York, Genf.
- UNITY (2011): *Elektromobilität – Perspektiven und Chancen für Unternehmen*. Paderborn.
- VBW (2011): *Konsequenzen eines Ausstiegs aus der Kernenergie bis 2022 für Deutschland und Bayern*. München.
- VDA (2008): *VDA-Position zur Elektromobilität*. Frankfurt.
- VDE (2010): *VDE-Studie sieht für Elektroautos noch Hürden bis zum Massenmarkt*. Abgerufen am 04.07.2011 unter: <http://www.vde.com/de/verband/pressecenter/pressemeldungen/fach-und-wirtschaftspresse/seiten/2010-35.aspx>.
- VDE (2010): *VDE-Studie Elektrofahrzeuge*. Frankfurt am Main.
- VDI (2011): *China fördert Elektromobilität bis 2020 mit 11 Mrd. €*. Abgerufen am 10.06.2011 unter: http://www.vdinachrichten.com/artikel/China_f%C3%B6rdert_Elektromobilit%C3%A4t_bis_2020_mit_11_Mrd_Euro/53493/2/Google-News.
- Visco, S./Nimon, E./Katz, B./Chu, M.-Y./De Jonghe, L. (2009): *Lithium/Air semi-fuel cells: high energy density batteries based on lithium metal electrodes*. Berkeley.
- Voelmle, A. (2004): *Umweltfreundliche IPT-Technologie*. Abgerufen am 05.08.2011 unter: http://preview-de.innovations-report.de/html/berichte/energie_elektrotechnik/bericht-33093.html.
- Volkswagen AG (2011): *Die neue E-Flotte. VIAVISION 2/2011*, S. 4–5.
- Wallentowitz, H./Freialdenhoven, A. (2011): *Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstrangs*. Wiesbaden.
- Welt-Online (2010): *Kaufprämie für Elektroautos bleibt weiterhin tabu*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.welt.de/wirtschaft/article11309992/Kaufpraemie-fuer-Elektroautos-bleibt-weiter-tabu.html>.

Welt-Online (2011): *Deutsche sollen auf Elektro-Autos umsteigen*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.welt.de/wirtschaft/article13348946/Deutsche-sollen-auf-Elektro-Autos-umsteigen.html>.

Wilcke, W. (2011): „800 km Reichweite!“, *automotive*, S. 18 f.

Williams, D. (2008): *Free parking for electric cars axed – for being too successful*. Abgerufen am 05.07.2011 unter: : <http://www.thisislondon.co.uk/standard/article-23498569-free-parking-for-electric-cars-axed---for-being-too-successful.do>.

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg/e-mobil BW GmbH/
Fraunhofer IAO (2010a): *Strukturstudie BWe mobil*. Stuttgart.

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg/e-mobil BW GmbH/
Fraunhofer IAO (2010b): *Systemanalyse BWe mobil*. Stuttgart.

Wiwo.de (2011): *Autoindustrie drängt Merkel zu Kaufprämie für Elektroautos*. Abgerufen am 31.10.2011 unter: <http://www.wiwo.de/unternehmen-maerkte/autoindustrie-draengt-merkel-zu-kaufpraemie-fuer-elektroautos-454285/>.

wiwo.de (2010): *USA und Frankreich sind Elektroauto Vorreiter*. Abgerufen am 15.09.2011 unter: <http://www.wiwo.de/unternehmen-maerkte/usa-und-frankreich-sind-elektroauto-vorreiter-427840/>

World Bank (2011): *The China new energy vehicles program*. Washington D.C.

Wyman, O. (2009): *Management Summary – Powerplay beim Elektrofahrzeug*. Frankfurt.

Wyman, O. (2010): *automotive manager 1/2010; Elektrofahrzeugen gehört die Zukunft*.

Impressum

Ableitung des mittel- bis langfristigen Normungs- und Standardisierungsbedarfs im Bereich Elektromobilität auf Basis der sozioökonomischen Entwicklung

Herausgegeben vom DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Verantwortlich:

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

Mario Beier

Am DIN-Platz

Burggrafenstraße 6

10787 Berlin

Durchgeführt von:

PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft

Friedrich-Ebert-Anlage 35–37

60327 Frankfurt am Main

Unter Mitarbeit von:

Fachhochschule Frankfurt am Main – University of Applied Sciences

Nibelungenplatz 1

60318 Frankfurt am Main

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Bartningstr. 47

64289 Darmstadt

Autoren:

Dr. Georg A. Teichmann (PwC)

Jan Trützschler (PwC)

Christian Hahn (PwC)

Prof. Dr.-Ing. Petra K. Schäfer (FH FFM)

Alexander Hermann (FH FFM)

Klaus Höhne (Fraunhofer LBF)

Finanzierung:

Diese Studie wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln aus dem Konjunkturprogramm II finanziert.

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigungen, Mikroverfilmung, die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Medien sind ohne Zustimmung der Herausgeber nicht gestattet. Die Ergebnisse der Studie sind zur Information unserer Mandanten bestimmt. Sie entsprechen dem Kenntnisstand der Autoren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung. Für die Lösung einschlägiger Probleme greifen Sie bitte auf die in der Publikation angegebenen Quellen zurück oder wenden sich an die genannten Ansprechpartner. Alle Meinungsbeiträge geben die Auffassung der Autoren wieder.

Ihre Ansprechpartner

PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft

Hansjörg Arnold
Tel.: +49 69 9585-1314
hansjoerg.arnold@de.pwc.com

Über uns

Unsere Mandanten stehen tagtäglich vor vielfältigen Aufgaben, möchten neue Ideen umsetzen und suchen Rat. Sie erwarten, dass wir sie ganzheitlich betreuen und praxisorientierte Lösungen mit größtmöglichem Nutzen entwickeln. Deshalb setzen wir für jeden Mandanten, ob Global Player, Familienunternehmen oder kommunaler Träger, unser gesamtes Potenzial ein: Erfahrung, Branchenkenntnis, Fachwissen, Qualitätsanspruch, Innovationskraft und die Ressourcen unseres Expertennetzwerks in über 158 Ländern. Besonders wichtig ist uns die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit unseren Mandanten, denn je besser wir sie kennen und verstehen, umso gezielter können wir sie unterstützen.

PwC. 8.900 engagierte Menschen an 28 Standorten. 1,45 Mrd. Euro Gesamtleistung. Führende Wirtschaftsprüfungs- und Beratungsgesellschaft in Deutschland.

Elektromobilität als Verknüpfung von Kompetenzen und Ressourcen aus Automotive, Energy Consulting und der Öffentlichen Hand

Elektromobilität ist für alle beteiligten Unternehmen eine große Herausforderung, sei es in strategischen wie auch operativen Fragestellungen. In einem branchenübergreifenden Team arbeiten Experten von PwC mit langjähriger Prüfungs- und Beratungserfahrung in den jeweiligen Industrien daran, gemeinsam mit unseren Mandanten zukunftsfähige Lösungen für ihren jeweiligen Markt zu erarbeiten. Das globale Netzwerk von PricewaterhouseCoopers gewährleistet den Zugang zu unserem Branchen-Knowhow in lokalen Märkten und ermöglicht eine effiziente Projektdurchführung nach weltweit einheitlichen Qualitätsstandards.

Fachhochschule Frankfurt am Main – University of Applied Sciences

Prof. Dr.-Ing. Petra K. Schäfer
Tel.: +49 69 1533-2797
petra.schaefer@fb1.fh-frankfurt.de

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Klaus Höhne
Tel.: +49 6151 705-8278
klaus.hoehne@lbf.fraunhofer.de

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Mario Beier
Tel.: +49 30 2601-2194
mario.beier@din.de

